

**MEMOIRE DE MAITRISE**

**INRS-EAU**

**EVALUATION DE L'APPLICABILITÉ D'UN MODELE  
MATHÉMATIQUE SIMULANT LE DEVENIR DES NITRATES DANS  
LES EAUX SOUTERRAINES AGRICOLES**

**par**

**Luc Trépanier**

**Directeur: Jean-Pierre Villeneuve**

**Codirecteur: Olivier Banton**

**UNIVERSITE DU QUEBEC**

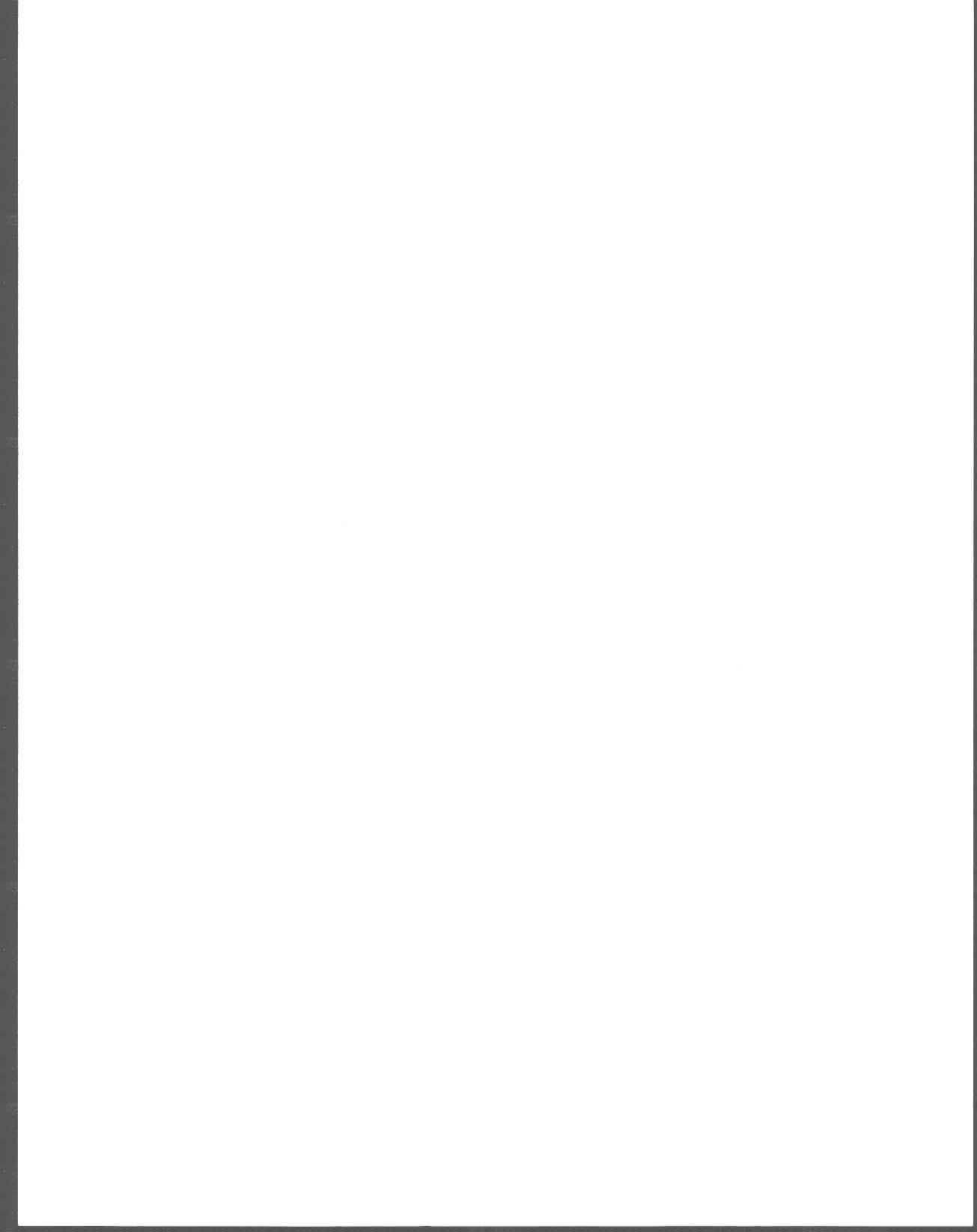
**2800, rue Einstein**

**Suite 105**

**Québec (Québec)**

**G1X 4N8**

**MARS 1992**





## RÉSUMÉ

L'application irrationnelle d'engrais chimiques azotés en agriculture représente un danger potentiel pour l'environnement. Ils contribuent à l'augmentation des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines. Récemment, le développement de modèles mathématiques a permis une meilleure compréhension des mécanismes régissant le transport et les transformations des nitrates dans le sol. Cette étude a pour but de vérifier l'applicabilité d'un tel modèle aux conditions québécoises. Pour ce faire, les résultats de simulation sont confrontés à des mesures de terrain.

Le modèle étudié simule le devenir de l'eau, de la température et de l'azote dans le sol. Il s'agit d'un modèle de recherche unidimensionnel basé sur des processus physiques. La première partie, SOIL, simule les processus physiques alors que la deuxième partie, SOILN, représente les processus chimiques. L'évolution des concentrations en nitrates dans le profil de sol a été simulée entre les mois de mai et octobre 1990.

Au cours de cette même période, des lysimètres avec tension ont été utilisés pour recueillir des échantillons d'eau dans le profil de sol afin d'en mesurer les concentrations en nitrates et en ammonium. Le site expérimental étudié était composé d'un loam sableux à graveleux, cultivé de maïs sucré, ayant reçu 133 kg N-inorganique/ha divisé en deux applications de 40 kg N/ha (de phosphate d'ammonium) et de 93.5 kg N/ha (de nitrate d'ammonium).

Les résultats obtenus ont montré une bonne concordance entre les concentrations observées et simulées pour la période comprise entre les mois de mai et septembre. Une différence plus importante a cependant été enregistrée au mois d'octobre. Pour l'ensemble de la période étudiée, les précipitations ont été de 751 mm, l'évapotranspiration réelle simulée de 529 mm et le flux d'eau cumulé passant 1 mètre de 198 mm. Les résultats des simulations concernant la dynamique de l'azote dans le premier mètre de sol ont révélé que la minéralisation a été de 12.25 g N/m<sup>2</sup>, la nitrification de 9.22 g N/m<sup>2</sup>, la dénitrification de 1.60 g N/m<sup>2</sup>, le prélèvement par les plantes de 11.0 g N/m<sup>2</sup> et le lessivage de 2.69 g N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>. De plus, l'utilisation des concentrations mesurées et des flux d'eaux simulés a permis d'établir que l'eau s'échappant de la zone racinaire avait une concentration moyenne en nitrates inférieure à 10 mg N-NO<sub>3</sub>/l.

## **AVANT-PROPOS**

Ce mémoire de maîtrise a été rendu possible grâce à l'assistance de plusieurs personnes. Je tiens particulièrement à remercier M. Jean-Pierre Villeneuve et M. Olivier Banton qui m'ont dirigé tout au long de cette étude. Mes remerciements vont aussi aux professeurs et autorités de l'INRS-EAU, à son personnel technique et à plusieurs autres gens dont M. Pierre Lafrance et M. François Brisseault. Je voudrais également remercier le Ministère de l'Environnement du Québec pour avoir mis à notre disposition le site expérimental nécessaire à la réalisation de cette étude ainsi que le fond FCAR pour son soutien financier.

## TABLE DES MATIERES:

RÉSUMÉ.....	i
AVANT-PROPOS.....	ii
TABLE DES MATIERES.....	iii
LISTES DES TABLEAUX.....	vi
LISTES DES FIGURES.....	viii
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique.....	1
1.2 État de la recherche.....	3
1.3 Objectif et méthodologie.....	5
2. LE CYCLE DE L'EAU ET DE L'AZOTE DANS LE SOL.....	6
2.1 Introduction.....	6
2.2 Eau.....	6
2.2.1 État de l'eau dans le sol.....	6
A) Eau de rétention.....	6
B) Eau capillaire.....	7
C) Eau de gravité.....	7
2.2.2 Notion d'eau utile.....	7
A) Potosité.....	7
B) Capacité au champ.....	7
C) Point de flétrissement.....	8
D) Eau utile.....	8
2.2.3 Mouvement de l'eau dans le sol.....	8
A) Milieu saturé.....	8
B) Milieu non saturé.....	9
2.2.4 Le bilan hydrique du sol.....	11
2.3 Azote.....	12
2.3.1 Formes d'azote dans le sol.....	12
A) Azote organique.....	12
-Litière.....	13
-Humus.....	13
B) Azote inorganique.....	14
-Forme cationique.....	14
-Forme anionique.....	14
-Forme gazeuse.....	15
2.3.2 Facteurs régissant les transformations de l'azote.....	15
A) Température.....	16
B) Humidité et aération.....	16
C) pH.....	16
D) Ratio carbone/azote.....	17
3. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	18
3.1 Terrain.....	18
3.1.1 Localisation.....	18
3.1.2 Pédologie.....	19
3.1.3 Pratiques culturales.....	20
3.1.4 Échantillonnage.....	22

3.1.5	Données météorologiques .....	24
3.2	Laboratoire .....	24
3.2.1	Nitrates .....	25
3.2.2	Ammonium .....	25
3.3	Modèles mathématiques SOIL et SOILN .....	25
3.3.1	Présentation de SOIL et SOILN .....	25
3.3.2	SOIL: théorie et fonctionnement .....	27
A)	Équations .....	27
	-Évapotranspiration .....	27
	-Hydrodynamique souterraine .....	29
	-Flux thermique .....	31
B)	Entrées et sorties du modèle .....	31
C)	Analyse de sensibilité .....	32
3.3.3	SOILN: théorie et fonctionnement .....	32
A)	Structure du modèle .....	32
B)	Équations .....	34
	-Apport en azote .....	34
	-Minéralisation, immobilisation et nitrification .....	34
	-Influence des facteurs abiotiques .....	37
	-Azote puisé par les plantes .....	38
	-Dénitrification .....	39
	-Transport des nitrates .....	40
C)	Entrées et sorties du modèle .....	40
D)	Analyse de sensibilité .....	41
3.4	Détermination des paramètres nécessaires aux simulations .....	41
3.4.1	SOIL .....	41
A)	Fichier climatologique .....	42
B)	Fichier des propriétés hydrauliques du sol .....	42
C)	Fichier des paramètres du site .....	44
D)	Fichier des propriétés thermiques du sol .....	45
3.4.2	SOILN .....	45
A)	Fichier des variables motrices .....	45
B)	Fichier des paramètres du site .....	45
C)	Fichier caractérisant l'état initial du sol .....	46
4.	RÉSULTATS .....	47
4.1	Mesures de terrain .....	47
4.1.1	Concentration en nitrates .....	47
4.1.2	Concentration en ammonium .....	49
4.1.3	Volumes d'eau recueillis par les collecteurs .....	51
4.2	Simulations .....	53
4.2.1	Résultats du modèle SOIL .....	53
A)	Précipitation .....	53
B)	Évapotranspiration réelle .....	54
C)	Évapotranspiration réelle et précipitations cumulées .....	54
D)	Teneur en eau .....	55
E)	Flux d'eau journalier et cumulé .....	56
4.2.2	Résultats du modèle SOILN .....	58
A)	Apports atmosphériques .....	58
B)	Apports par fertilisation .....	59
C)	Minéralisation de l'humus .....	59
D)	Nitrification .....	60
E)	Prélèvement en nitrates par les plantes .....	61

	F)	Pertes par dénitrification .....	62
	G)	Pertes par lessivage.....	64
	H)	Concentration en nitrates.....	65
5.		DISCUSSION.....	66
	5.1	Campagne d'échantillonnage.....	66
		5.1.1 Validité des concentrations mesurées .....	66
		5.1.2 Validité des flux d'eau mesurés .....	66
		5.1.3 Variabilité spatiale des résultats .....	67
		5.1.4 Variabilité temporelle des résultats.....	67
	5.2	Simulation .....	68
		5.2.1 SOIL.....	68
		A) Évapotranspiration réelle.....	68
		B) Recharge de la nappe.....	69
		C) Teneur en eau.....	69
		D) Flux de l'eau dans le sol.....	70
		5.2.2 SOILN.....	70
		A) Bilan de l'azote dans le sol .....	70
	5.3	Comparaison des concentrations en nitrates simulées et observées .....	72
	5.4	Essai de bilan environnemental.....	74
		5.4.1 Flux de masse en nitrates.....	75
		5.4.2 Risque de contamination de l'aquifère .....	76
	5.5	Recommandations pour la poursuite des travaux .....	79
6.		CONCLUSION.....	80
		BIBLIOGRAPHIE.....	82
		ANNEXE A: Nomenclature et unités des différentes variables du modèle SOIL... 90	
		ANNEXE B: Nomenclature et unités des différentes variables du modèle SOILN 94	
		ANNEXE C: Valeurs et références des paramètres du modèle SOIL..... 99	
		ANNEXE D: Valeurs et références des paramètres du modèle SOILN .....	105
		ANNEXE E: Coefficients de la régression de Gupta.....	113
		ANNEXE F: Variables météorologiques utilisées par le modèle SOIL.....	115
		ANNEXE G: Variables motrices utilisées par le modèle SOILN.....	121
		ANNEXE H: Résultats sommaires de la simulation avec SOIL.....	147
		ANNEXE I: Résultats sommaires de la simulation avec SOILN.....	155
		ANNEXE J: Résultats des concentrations en nitrates mesurées .....	167
		ANNEXE K: Résultats des concentrations en ammonium mesurées .....	171
		ANNEXE L: Résultats des volumes d'eau mesurés aux collecteurs.....	175

## **LISTE DE TABLEAUX:**

3.1	Distributions statistiques des caractéristiques chimiques du site de St-Augustin en g/kg .....	19
3.2	Distributions statistiques des paramètres de sol caractérisant le site de St-Augustin .....	20
3.3	Divers stades de croissance du maïs sucré pour l'été 1990.....	21
3.4	Pratiques culturales à la parcelle de maïs sucré de Saint-Augustin-de-Desmaures .....	21
3.5	Relation tension-teneur en eau telle que calculée à partir de la régression de Gupta et Larson.....	43
3.6	Valeur des paramètres de l'équation de Brooks et Corey ajustée afin de représenter les valeurs ponctuelles.....	43
3.7	Quantité d'azote (g N/m <sup>2</sup> ) présente dans le sol au début de la simulation... 46	
4.1	Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote minéralisée pour les différentes couches de sol.....	60
4.2	Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote nitrifiée pour les différentes couches de sol .....	61
4.3	Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote, sous forme nitrates, prélevée par les racines pour chaque couches de sol.....	61
4.4	Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote dénitrifiée pour les différentes couches de sol .....	63

4.5	Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote perdue par lessivage pour les différentes couches de sol .....	64
4.6	Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote minéral résiduel à la fin de la simulation pour les différentes couches de sol .....	64
5.1	Bilan de l'azote simulé dans les couches composant le premier mètre de sol .....	71
5.2	Concentration moyenne en nitrates ayant percolés à différentes profondeurs .....	78

## LISTE DE FIGURES:

2.1	Influence de la succion sur la conductivité pour des sols de textures différentes.....	10
2.2	Le cycle de l'azote dans le sol.....	13
3.1	Localisation de la parcelle expérimentale de Saint-Augustin-de-Desmaures	18
3.2	Réseau de lysimètres avec et sans tension .....	23
3.3	Structure du modèle de l'azote. Les éléments inclus à l'intérieur des lignes pointillées représentent la couche superficielle du sol. Les couches sous-jacentes ont la même structure mais n'ont pas de contact avec les dépôts atmosphériques et les fertilisants.....	32
3.4	Cheminement de l'azote et du carbone dans la litière.....	36
3.5	Courbes tension-teneur en eau obtenues à l'aide de Brooks et Corey et valeurs ponctuelles calculées à partir de la régression de Gupta et Larson..	44
4.1	Concentrations mesurées en nitrates à 50 cm .....	48
4.2	Concentrations mesurées en nitrates à 100 cm .....	48
4.3	Concentrations mesurées en nitrates à 150 cm .....	49
4.4	Concentrations mesurées en ammonium à 50 cm.....	50
4.5	Concentrations mesurées en ammonium à 100 cm.....	50
4.6	Concentrations mesurées en ammonium à 150 cm.....	51
4.7	Volumes cumulés de l'infiltration mesurée à l'aide de collecteurs à 50 cm..	52



4.8	Volume cumulé de l'infiltration mesurée à l'aide de collecteurs à 100 cm ...	52
4.9	Précipitations mesurées majorées de 7 % .....	53
4.10	Évapotranspiration réelle simulée.....	54
4.11	Évapotranspiration réelle et précipitation cumulées .....	55
4.12	Teneur en eau simulée pour les couches comprises dans les premiers 80 cm.....	56
4.13	Flux d'eau simulé à 20 cm, 80 cm, et 140 cm .....	57
4.14	Flux d'eau cumulé simulé à 20 cm, 60 cm, 100 cm et 140 cm .....	57
4.15	Dépositions atmosphériques simulées. Inclus les dépôts secs et humides .....	58
4.16	Minéralisation simulée de l'humus dans le premier mètre de sol.....	59
4.17	Nitrification simulée de l'azote dans le premier mètre de sol .....	60
4.18	Simulation du prélèvement en nitrates par les plantes dans le premier mètre de sol.....	62
4.19	Dénitrification simulée dans le premier mètre de sol .....	63
4.20	Lessivage simulé des nitrates en fonction de la profondeur.....	65
4.21	Concentrations en nitrates simulées.....	65
5.1	Concentrations en nitrates mesurées et simulées à 0.5 mètre .....	72
5.2	Concentrations en nitrates mesurées et simulées à 1.0 mètre .....	73
5.3	Concentrations en nitrates mesurées et simulées à 1.5 mètre .....	73

5.4	Évolution de la médiane des concentrations mesurées en nitrates à 50, 100 et 150 cm .....	76
5.5	Flux de masse en nitrates. Calculé en multipliant les concentrations mesurées par les flux d'eau simulés .....	77
5.6	Flux de masse cumulé en nitrates.....	77

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 PROBLÉMATIQUE

En 1981, plus de 6.2 millions de Canadiens, soit 26 % de la population, dépendaient des eaux souterraines pour leur alimentation en eau potable (Hess, 1986). Au Québec, on estime que c'est 20 % de la population, dont 65 % des municipalités, qui utilise cette eau comme source d'approvisionnement (MENVIQ,1988). Celle-ci, abondante et encore sous utilisée, doit être considérée comme une ressource de grande valeur tant sur la base des utilisations actuelles que potentielles et ce particulièrement en milieu rural où elle constitue souvent l'unique source possible d'approvisionnement.

Au cours des dernières décennies, on a assisté à une industrialisation du milieu agricole. Ce secteur de l'économie a dû augmenter sa productivité afin de répondre à la demande sans cesse croissante. Pour ce faire, des quantités de plus en plus importantes de fertilisants inorganiques ont été utilisées pour augmenter le rendement des cultures. Les engrais appliqués sont composés d'une part importante d'azote servant à pallier aux carences nutritives engendrées par un mode de production intensif. Sur les 230 millions d'hectares fertilisés en Amérique du Nord, le dosage moyen d'application est passé de 43.5 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> en 1976 à 48.6 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> en 1980. Haynes (1986a) rapporte que la consommation de fertilisant azoté était estimée en 1980 à 11 X 10<sup>9</sup> kg N an<sup>-1</sup> en Amérique du Nord et à 53 X 10<sup>9</sup> kg N an<sup>-1</sup> dans le monde. Au Québec, le recours aux engrais chimiques a augmenté de plus de 400 % en 25 ans pour se stabiliser aux environs de 500 000 tonnes par année (MENVIQ,1988). Cette pratique constitue une source potentielle importante de contamination pour l'eau souterraine. Les engrais azotés ne sont cependant pas les seuls en cause, les pratiques culturales, l'épandage des fumiers et lisier contribuent également à la pollution par les nitrates.

L'azote entre dans le sol sous forme minérale et organique dans un cycle très dynamique où le point final est la forme nitrate,  $\text{NO}_3$  (Miller, 1990), forme jugée dangereuse pour la santé humaine. Une concentration trop élevée peut causer un dérèglement sanguin, la méthémoglobinémie, pouvant être mortelle pour les enfants et les foetus des femmes enceintes. Kaufman (1974) rapporte qu'entre 1945 et 1974, plus de 2 000 cas ont été rapportés en Amérique du Nord et en Europe, dont 7 à 8 % ont été mortels. Le règlement québécois sur l'eau destinée à la consommation humaine stipule que la concentration maximale permise en nitrates est de 10 mg N- $\text{NO}_3$ /l (Gouvernement du Québec, 1990).

D'après Powers et Schepers (1989), 6.4 % des 124 000 échantillons d'eau souterraine analysés au cours des 25 dernières années par le "United States Geological Service" contenaient au-delà de 10 mg N- $\text{NO}_3$ /l. En Iowa, plus de 40 % des municipalités rurales distribuent une eau ne rencontrant pas la norme sur les nitrates (Côté, 1990a). En Ontario, de nombreuses études ont démontré que des teneurs en  $\text{NO}_3$  supérieures aux normes acceptables étaient fréquemment mesurées dans la nappe phréatique des zones agricoles (Miller, 1990). Au Québec, la seule étude qu'il a été possible consultée est celle de Asselin (1991). Ce dernier rapporte une concentration moyenne en nitrates supérieure à 10 mg N- $\text{NO}_3$ /l dans l'eau de drainage. L'étude a été réalisée sur un sol sableux subissant une culture de maïs en continue depuis trois ans et une fertilisation azotée de 190 kg N/ha. Bien qu'il y a peu de travaux disponibles sur le sujet au Québec, comme les pratiques culturales et les types de sol sont similaires à certaines régions de l'Ontario et des États-Unis, rien ne peut nous laisser supposer qu'aucun problème ne se pose avec les fertilisants inorganiques. Par ailleurs, des analyses d'eau provenant de drains agricoles au dessus desquels on a appliqué une fertilisation organique, ont démontré dans certaines régions des concentrations en nitrates supérieures à la norme (Côté, 1990b, Laperrière, 1991).

Il est important de réaliser que la contamination diffuse d'origine agricole agit sur de grandes surfaces et risque alors de porter préjudice à des aquifères régionaux entiers. Les vitesses de migration des eaux souterraines étant très lentes, des décennies peuvent être nécessaires avant d'assister au retour à la potabilité d'aquifères contaminés. Il est donc urgent d'agir avant qu'il ne soit trop tard si l'on ne veut pas perdre cette ressource d'une valeur inestimable.

## 1.2 ÉTAT DE LA RECHERCHE

Avant les années 60, les recherches sur les fertilisants inorganiques azotés portaient sur leur efficacité en terme de rendement des cultures. A ce moment, on n'avait aucune information quantitative sur ce que devenait l'azote non utilisé par les plantes. Ce n'est qu'à la fin des années 60 que l'on a commencé à s'intéresser aux problèmes environnementaux occasionnés par l'utilisation des fertilisants (Gilliam et al., 1985). On a alors pris conscience qu'ils pouvaient occasionner l'eutrophisation des eaux de surface, qu'ils augmentaient l'émission d'oxyde nitrique ( $N_2O$ ) néfaste à la couche d'ozone ( $O_3$ ) et qu'ils représentaient un risque pour la santé humaine lorsque présent dans l'eau potable (en concentration supérieure à 10 mg N- $NO_3$ /l).

Les dangers reliés à la contamination des eaux souterraines utilisées pour la consommation domestique ont conduit à la réalisation de travaux de recherche de plus en plus nombreux. Ces travaux peuvent être séparés en deux catégories.

Il y a d'abord les recherches qui contribuent à l'analyse du problème selon une approche réductionniste. Les travaux en ce sens tentent de démontrer l'influence qu'ont certains paramètres sur le lessivage des nitrates et permettent de voir quelles sont les modifications permettant de minimiser l'impact sur l'environnement de l'épandage d'engrais. L'analyse des pratiques culturales se divise en deux catégories (Strebel et al., 1989), soit l'utilisation du sol (type de culture, eau et azote assimilés par les plantes, durée du couvert végétal, intensité des cultures) et la fertilisation (type de fertilisant azoté, date et nombre d'applications, dosage).

Il y a ensuite les recherches qui portent sur la synthèse du problème. Elles ont pour objectif de rassembler les connaissances acquises afin de modéliser le devenir de l'azote dans les sols. Ces efforts de modélisation ont deux buts. Certains de ces modèles servent d'outils de gestion et permettent de prédire le destin de l'azote pour un sol donné. D'autres modèles servent à vérifier les hypothèses concernant les processus de transformation et de transport de l'azote.

Les modèles de gestion et de prédiction sont d'une grande utilité. Ils permettent d'optimiser le rendement des cultures tout en minimisant l'utilisation des fertilisants. Leur traitement mathématique est simple et repose sur les statistiques des années précédentes. Ils sont fonction d'un type de culture et spécifiques à un site (Frissel et Van Ven, 1982). Ce type de modèle, peu exigeant en ce qui concerne les données d'entrées (Addiscott et Wagenet, 1985), peut être d'une grande utilité aux gestionnaires.

Les modèles de recherche permettent, quant à eux, de faire le point sur l'ensemble des connaissances se rapportant à un sujet. Basés sur les mécanismes régissant le transport et les transformations de l'azote, ils servent à vérifier les hypothèses et à établir les champs de recherche. La complexité des phénomènes pris en compte par ce type de modèle limite cependant leur utilisation aux sites dont les caractéristiques sont connues de manière extensive (Johnsson et al., 1987). En fonction de la formation et des objectifs des modélisateurs, certaines parties des modèles sont décrites avec beaucoup de détails alors que d'autres sont très simplifiées. Frissel et Van Veen (1982) divisent les modèles de recherche en 3 catégories: les modèles de transport (où l'accent est mis sur les processus tels le lessivage des nitrates et la volatilisation de l'ammoniac,  $\text{NH}_3$ ), les modèles axés sur la matière organique (où la disponibilité en azote minéral pour les plantes et la variation en matière organique des sols dominant) et les modèles sol-plante (où la quantité d'azote assimilée, la matière sèche produite et les facteurs limitant la production dominant).

Au cours des dernières années, avec l'arrivée d'outils informatiques de plus en plus puissants, on a assisté au développement d'un nombre sans cesse croissant de nouveaux modèles. Cependant, peu de modèles ont été comparés à des mesures de terrain. La plupart des applications ont été réalisées par les auteurs des modèles et ont été limitées à un type de sol, de culture et de climat (Gustafson, 1988).

### **1.3 OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE:**

Le but de la présente étude consiste à vérifier, pour un site Québécois, l'applicabilité d'un modèle mathématique de recherche simulant les concentrations en nitrates dans la zone vadose. Les pratiques culturales retenues pour l'étude sont celles normalement recommandées au Québec pour un champ de maïs sucré.

Dans un premier temps, le modèle est utilisé afin de simuler sur une période de 6 mois, les concentrations en nitrates ainsi que les volumes d'eau percolant de la zone racinaire. Les nombreux paramètres d'entrée du modèle proviennent soit de mesures effectuées au champ, soit de valeurs typiques de la littérature.

Par la suite, les eaux interstitielles du sol provenant de lysimètres avec tension installés au champ sont analysées pour leur concentration en nitrates. L'échantillonnage débute au moment de la première fertilisation (fin mai) et se poursuit jusqu'aux premières neiges (début novembre). Afin de s'assurer d'avoir toute l'information, les fréquences d'échantillonnage sont plus rapprochées dans les premières semaines suivant les deux fertilisations.

Finalement, les résultats mesurés et simulés sont comparés afin d'évaluer l'applicabilité du modèle dans des conditions québécoises.

## **2 LE CYCLE DE L'EAU ET DE L'AZOTE DANS LE SOL**

### **2.1 INTRODUCTION**

L'étude de la contamination des eaux souterraines par les nitrates passe par la compréhension (1) du cycle de l'azote et (2) du mouvement de l'eau dans le sol. La présence et la migration dans le sol des nitrates sont les conditions nécessaires et essentielles à une contamination de l'aquifère. L'objectif de ce chapitre est de présenter les bases théoriques conduisant à la compréhension de ces mécanismes.

### **2.2 EAU**

Les principes et les équations de base décrivant l'écoulement de l'eau dans le sol sont présentés par de nombreux auteurs (Hillel (1988), Castany (1967), de Marsily (1981) et Freeze et Cherry (1979)).

#### **2.2.1 ÉTAT DE L'EAU DANS LE SOL**

La manière la plus rationnelle de définir l'état de l'eau dans le sol est de considérer son énergie en terme de potentiel. Cette classification est très utile dans les écoulements en milieux poreux. En fonction de l'accessibilité de l'eau contenue dans la matrice, on distingue trois types d'eau.

##### **A) EAU DE RÉTENTION:**

La molécule d'eau, par son caractère polaire, est attirée par les charges électroniques se trouvant à la surface des minéraux. Elle constitue alors l'eau liée. On distingue deux catégories en fonction des forces qui la retiennent à la matrice:

-eau hygroscopique; fixée à la surface des grains par des forces d'adsorption; elle ne peut être déplacée qu'à l'état de vapeur.



-eau pelliculaire; entoure les particules du sol et leur eau hygroscopique d'une mince pellicule dont l'épaisseur ne dépasse pas 0.1 micromètre; elle peut se déplacer à l'état liquide par le jeu des attractions moléculaires des particules voisines.

#### **B) EAU CAPILLAIRE:**

L'eau capillaire remplit les pores entre les grains. Elle est retenue par les forces de capillarité. Elle peut s'élever au dessus de la surface piézométrique et s'y maintenir en équilibre grâce aux tensions superficielles. Cette eau peut être extraite par dépression.

#### **C) EAU GRAVIFIQUE:**

L'eau de gravifique peut être définie comme étant l'eau se déplaçant librement dans le sol sous l'effet de la gravité. Elle se situe dans les espaces libres des pores, des interstices et des fissures des roches. Elle constitue la partie active des eaux souterraines et c'est elle qui est principalement responsable du transport des solutés tels les nitrates. Les efforts de modélisation se concentrent donc plus particulièrement sur cette fraction des eaux souterraines.

### **2.2.2 NOTION D'EAU UTILE**

#### **A) POROSITÉ:**

La porosité est définie comme étant le volume des vides sur le volume total de sol. Elle est un indice du volume relatif des pores dans le sol mais ne donne aucun renseignement sur leurs distributions. Sa valeur oscille généralement entre 0,3 et 0,6.

#### **B) CAPACITÉ AU CHAMP:**

La capacité au champ correspond au maximum d'eau pouvant être retenue par le sol (capillaire et liée). Lorsque la teneur en eau dépasse cette limite,

il y a écoulement de l'eau dans le sol. Cette notion bien qu'extrêmement précieuse, n'est cependant pas une propriété physique réelle, caractéristique et constante pour chaque sol.

#### C) POINT DE FLÉTRISSEMENT:

Le point de flétrissement est la valeur limite de l'eau liée, donc non absorbable par les plantes. Il est relativement uniforme et indépendant de la granulométrie et correspond à une succion de 16 atmosphères, soit un pF de 4.2.

#### D) EAU UTILE:

L'eau utile correspond à la quantité d'eau emmagasinée dans le sol et pouvant être utilisée par les plantes. Elle est donnée en fait par la différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement.

### 2.2.3 MOUVEMENT DE L'EAU DANS LE SOL

Comme toute substance dans la nature, l'eau souterraine se déplace d'un point où l'énergie potentielle est plus élevée vers un point où elle est plus basse. Elle tend aussi à se mettre en équilibre avec son entourage. La connaissance de l'état énergétique de l'eau du sol permet de connaître les forces relatives en présence et de déterminer quelles seront la direction et la vitesse de l'eau. Bien que la force motrice demeure la différence de pression, on traite différemment l'écoulement en fonction que l'on soit en milieu saturé ou non saturé.

#### A) MILIEU SATURÉ:

Le premier chercheur à étudier l'écoulement de l'eau dans le sol fût Henry Darcy en 1856. Il réalisa pour le compte des "fontaines publiques de la ville de Dijon" des expérimentations portant sur l'écoulement à travers une colonne de sable. Il constata que le débit,  $Q$ , était proportionnel à la charge (pression d'eau),  $H$ , à la section de passage,  $A$ , et inversement proportionnel à la longueur de l'écoulement,  $L$ . Il établit un facteur de proportionnalité,  $K$ , appelé conductivité hydraulique.

$$Q = K \frac{A H}{L} = K A i$$

Le rapport H/L représente le gradient hydraulique, i, ou perte de charge par unité de longueur. Ce paramètre constitue le moteur de la circulation des eaux souterraines.

L'équation de Darcy a par la suite été modifiée afin de représenter l'écoulement dans les sols en place. On est arrivé en travaillant en trois dimensions, à une formule générale d'écoulement pour les régimes permanents en milieu homogène et isotrope:

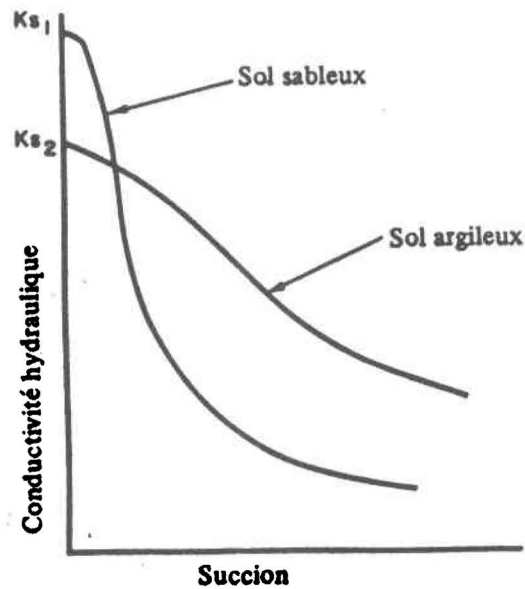
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

où h joue le rôle de potentiel des vitesses (Castany, 1967).

## B) MILIEU NON SATURÉ:

Le milieu non saturé est caractérisé par la présence de trois phases; solide, liquide et gazeuse. Dans la zone non saturée, l'eau est soumise à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Cette pression négative, aussi appelée succion matricielle, est causée par l'affinité physique de l'eau pour la surface des particules du sol. Le gradient de cette succion constitue la force motrice de l'écoulement.

La différence la plus importante entre les écoulements saturés et non saturés réside dans la conductivité hydraulique. En effet, en sol non saturé, cette dernière n'est pas constante mais fonction de la teneur en eau (ou plus souvent exprimée en fonction du potentiel de succion). Dans les sols non saturés certains pores se remplissent d'air, limitant la surface pouvant être utilisée par l'écoulement. La Figure 2.1 montre par ailleurs que la granulométrie du sol est très importante dans la relation succion-conductivité hydraulique.



**Figure 2.1:** Influence de la succion sur la conductivité pour des sols de textures différentes (échelles logarithmiques). Tiré de Hillel, 1988.

La loi de Darcy a été étendue aux conditions non saturées par Richard (1931) en spécifiant que la conductivité était fonction de la charge de succion,  $\psi$ . En couplant l'équation de continuité à celle de Richard, une équation générale d'écoulement tenant aussi bien compte des régimes transitoires que permanents a été obtenue. Dans le cas d'un écoulement unidimensionnel, il s'agit de l'équation suivante:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right]$$

Cette équation ne tient pas compte du phénomène d'hystérèse, c'est-à-dire des variations de la relation conductivité hydraulique-potentiel de succion, en fonction que le sol soit en cycle de mouillage ou de séchage.

#### 2.2.4 LE BILAN HYDRIQUE DU SOL

La percolation de l'eau dans le sol occupe une place importante dans la compréhension et l'évaluation des phénomènes conduisant à la contamination des aquifères. Il n'existe cependant pas encore d'outils permettant de mesurer efficacement in situ les flux d'eau en milieu non saturé (Wagenet, 1986). C'est pourquoi, l'utilisation du bilan hydrique basé sur l'équation de continuité demeure le moyen le plus utilisé.

Si l'on considère un élément de sol, on peut représenter le bilan hydrique par la relation suivante: les gains moins les pertes plus ou moins la variation du stock d'eau égalent zéro. Les apports proviennent des précipitations (Pr) et/ou de l'irrigation (Ir). Ils s'expriment habituellement en unité de volume par unité de surface, c'est-à-dire en terme de hauteur d'eau. Les pertes peuvent se produire par ruissellement (Ru), par évaporation à partir de la surface du sol, par transpiration des végétaux et par drainage profond. Le ruissellement peut être un apport dans le cas où l'élément de sol considéré reçoit de l'eau d'un élément voisin. Les termes évaporation et transpiration sont souvent regroupés en un terme appelé évapotranspiration (ET) représentant le passage de l'eau vers l'atmosphère. La variation du stock d'eau ( $\Delta\theta$ ) dans un l'élément de sol est négligeable si l'on travaille sur une base annuelle, mais prend une grande importance dans les travaux de plus courte durée. Pour un élément de sol, on peut isoler le terme drainage, ce qui conduit à l'équation suivante:

$$\text{DRAINAGE} = \text{Pr} + \text{Ir} - \text{ET} \pm \text{Ru} \pm \Delta\theta$$

Dans cette dernière équation, la précipitation, l'irrigation et la variation du stock d'eau peuvent être mesurées directement, alors que le ruissellement et l'évapotranspiration sont généralement évalués à partir d'équations mathématiques ou de données statistiques.

Au Québec, on assiste à la recharge de la nappe phréatique (drainage profond) au printemps et à l'automne. Dans le premier cas elle correspond à la

fonte des neiges alors qu'à l'automne elle s'explique par la diminution de l'évapotranspiration et par l'augmentation des précipitations. En été, l'évapotranspiration potentielle dépasse les précipitations alors qu'en hiver les précipitations tombent sous forme de neige et il y a très peu d'infiltration.

## **2.3 AZOTE**

Les diverses formes d'azote présentes dans le sol et les paramètres influençant les mécanismes de transformation sont présentés de façon détaillée par de nombreux auteurs (Stevenson (1982a), Haynes (1986d) et Follett (1989)).

### **2.3.1 FORMES D'AZOTE DANS LE SOL**

L'azote est présent dans le sol sous différentes formes, tant organiques qu'inorganiques. Il constitue un système complexe où de nombreux processus chimiques et biochimiques contrôlent les différentes formes. Le cycle de l'azote dans le sol n'est qu'une partie du cycle complet se produisant dans la nature (Figure 2.2). Notons que cette notion de "cycle de l'azote" n'est qu'une schématisation et qu'en fait les atomes se déplacent d'une forme à une autre de façon complètement aléatoire et irrégulière (Stevenson, 1982b).

#### **A) AZOTE ORGANIQUE:**

Dans les horizons de surface, plus de 95 % de l'azote se trouve sous forme organique (Tisdale et al., 1985), mais il n'a pas encore été possible de caractériser adéquatement plus de 50 % de l'azote organique du sol (Stevenson, 1982c). On s'entend cependant pour diviser l'azote organique en une fraction rapidement décomposable, la litière, et en une autre lentement décomposable, l'humus.

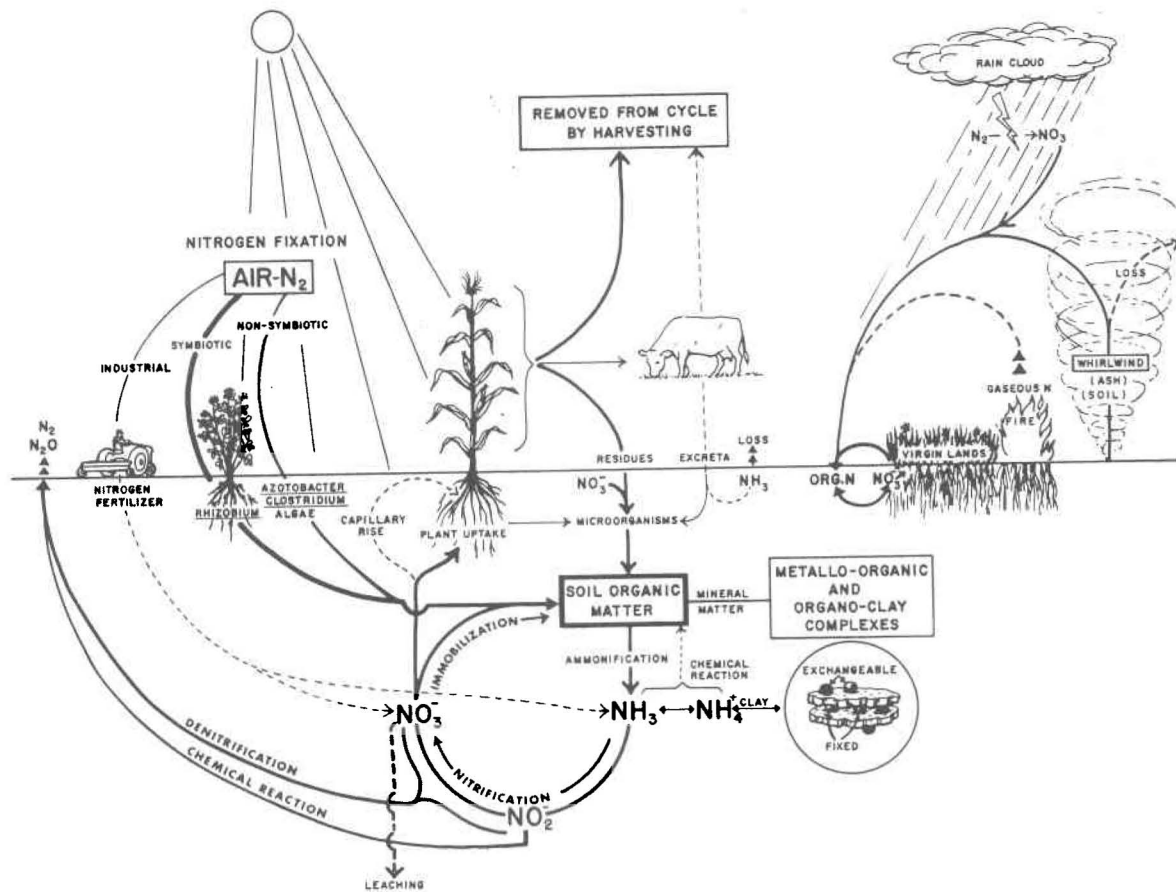


Figure 2.2: Le cycle de l'azote dans le sol (Stevenson, 1982b)

### -LITIERE

La litière, ou matière organique fraîche, est composée de débris de végétaux et d'animaux de toutes sortes. Cette fraction est caractérisée par une décomposition rapide où le rapport C/N oriente l'azote vers la minéralisation (C/N bas) ou l'humification (C/N élevé) (Duchaufour, 1988).

### -HUMUS

L'humus résulte de la décomposition d'une partie de la litière. Il s'agit d'un composé stable se minéralisant à des vitesses très lentes où la demi-vie varie entre 49.5 ans pour la forme physiquement stabilisée et 1980 ans pour la forme chimiquement stabilisée (Jenkinson et Rayner, 1977). Son ratio carbone-azote est de l'ordre de 10:1 (Haynes, 1986b).

## B) AZOTE INORGANIQUE:

En sol agricole l'azote inorganique provient à la fois de la déposition atmosphérique, des fertilisants et de la minéralisation des formes organiques les plus labiles, dites minéralisables. Bien qu'elles ne représentent qu'environ 5 % de l'azote du sol, les formes minérales sont très importantes tant au point de vue agronomique (formes assimilables par les plantes) qu'environnemental (risque de méthémoglobinémie occasionnée par une concentration trop élevée en nitrates dans l'eau potable).

### -FORME CATIONIQUE:

On fait ici référence à l'ammonium,  $\text{NH}_4^+$ , issu des apports en fertilisants où de la minéralisation de l'azote organique. L'ammonium peut se trouver dans le sol sous forme échangeable (disponible à l'assimilation par les plantes) où fixe (pris à l'intérieur de la structure des minéraux silicatés). Il est considéré peu mobile dans le sol, ce qui s'explique par la charge positive de l'ion qui est électriquement retenu par les charges négatives de la matière organique et de l'argile.

Sa distribution dans le sol est corrélée à la teneur en argile et à la granulométrie. Les sols argileux à loameux contiennent généralement plus d'ammonium fixé que les sols limoneux, qui à leur tour en contiennent plus que les sables (Stevenson, 1982d).

### -FORME ANIONIQUE:

La forme anionique fait référence aux nitrites,  $\text{NO}_2^-$  et aux nitrates,  $\text{NO}_3^-$ . Ces formes, assimilables par les plantes, sont issues d'un processus où l'ammonium est oxydé via  $\text{NO}_2^-$  en  $\text{NO}_3^-$ . La réaction est régie par un premier groupe de bactéries (Nitrosomonas) qui oxydent  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_2^-$  et par un second groupe de bactéries (Nitrobacter) qui complètent rapidement le processus en convertissant le  $\text{NO}_2^-$  en  $\text{NO}_3^-$ . Les nitrites sont généralement en très faible quantité dans les sols.



Stevenson (1982d) stipule qu'en climat tempéré humide, "on enregistre dans les couches de surface les quantités en nitrates les plus basses en hiver, puis une augmentation au printemps lorsque la minéralisation de la matière organique commence, suivi d'une diminution en été suite à la consommation des plantes et à une diminution de la minéralisation due à l'assèchement du sol, et finalement à une nouvelle augmentation à l'automne au moment où les plantes cessent de croître et que les résidus commencent à se décomposer".

La charge négative des nitrates fait qu'ils sont facilement lessivables. Les pertes par lessivage se produisent surtout au printemps et à l'automne au moment où les quantités de nitrates et les infiltrations sont à leur plus haut niveau.

En plus des pertes par lessivage et de l'assimilation par les plantes, la quantité de nitrates dans les sols peut être diminuée par dénitrification, c'est à dire par la réduction des nitrates en forme gazeuse. Le cheminement de la réduction est le suivant:



#### -FORME GAZEUSE:

Tout comme dans l'atmosphère, la forme  $\text{N}_2$  est de loin l'espèce gazeuse la plus abondante dans les sols bien aérés (Stevenson, 1982d). De toutes les autres formes gazeuses de l'azote dans le sol, il n'y a que  $\text{N}_2\text{O}$  qui ait été clairement détecté sur le terrain. Bien que les formes gazeuses  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$  aient été mesurées dans les émissions s'échappant de la surface, elles n'ont pas été décelées dans un profil naturel.

### 2.3.2 FACTEURS RÉGISSANT LES TRANSFORMATIONS DE L'AZOTE

L'essentiel des transformations des produits azotés est le résultat de l'activité bactérienne. Les transformations de l'azote sont donc directement liées aux conditions de vie de la biomasse (température, humidité, pH, ratio C/N).

## A) TEMPÉRATURE:

La température est un facteur déterminant dans la cinétique de l'azote. Pour des valeurs variant entre 10 °C et 35 °C le taux de dénitrification double suite à une augmentation de 10 °C (Haynes et Sherlock, 1986). Haynes, 1986c, stipule que la nitrification atteint son optimum entre 25 °C et 35 °C alors que la dénitrification est au maximum entre 60 °C et 75 °C. En dessous de 10 °C on considère que les transformations sont presque entièrement inhibées.

## B) HUMIDITÉ ET AÉRATION:

"La teneur en eau des sols joue plusieurs rôles dans les transformations du cycle de l'azote. Tout d'abord elle augmente les surfaces de contact entre les agrégats et permet la diffusion des nutriments vers les sites bactériens fixés" (Dalou, 1989). Une augmentation de la teneur en eau dans le sol a aussi pour effet de diminuer ses capacités d'aération et ainsi d'inhiber les processus aérobiques. Power et Broadbent (1989) affirment que les processus aérobies, tel que la nitrification, sont à leur maximum lorsque 60 % du volume des pores sont saturés, et que les processus anaérobies, tel que la dénitrification, dominent lorsqu'il y a plus de 80 % d'eau dans les pores. Pour les sols sableux à loameux, la minéralisation de l'azote est linéairement reliée à la teneur en eau pour des valeurs se situant entre la capacité au champ et le point de flétrissement. L'aération des sols varie également avec la profondeur en milieu non saturé. Il est fréquent d'observer que des débris végétaux incorporés par labour peuvent mettre plus d'une année pour se décomposer, à cause d'une diminution de l'oxygène en profondeur.

## C) pH:

Le pH exprime la concentration en ion hydrogène dans le sol. La nitrification, qui est le passage de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ , a pour effet de libérer des ions  $\text{H}^+$  et de contribuer à l'acidification des sols. La dénitrification, étant le processus inverse, provoque une augmentation du pH. L'équilibre entre ces deux formes

d'azote peut être représenté par l'équation suivante:



où l'on voit qu'une augmentation du pH, c'est à dire une diminution de la concentration en ion hydrogène, favorise la volatilisation ammoniacale. Haynes et Sherlock (1986) rapportent que la proportion de  $\text{NH}_3(\text{aq})$  dans l'azote ammoniacale aqueuse ( $\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{NH}_3(\text{aq})$ ) est approximativement de 0.0004, 0.004, 0.04 et 0.3 à des pH respectifs de 6, 7, 8 et 9.

Power et Broadbent, 1989, mentionnent que la minéralisation et l'immobilisation sont à leur maximum dans les sols neutres à légèrement alcalins. Le pH optimum pour la nitrification semble être entre 6 et 7. Des valeurs de pH supérieures à 8 jumelées à des quantités élevées de  $\text{NH}_3$  peuvent diminuer l'activité des nitrobacters et provoquer une accumulation temporaire de  $\text{NO}_2^-$  (Boswel et al., 1985). La dénitrification est quant à elle à son plus fort pour des valeurs de pH oscillant entre 7 et 8 (Haynes et Sherlock, 1986).

#### D) RATIO CARBONE/AZOTE:

L'azote est utilisé comme élément nutritif par les microorganismes du sol qui décomposent la matière organique. Si cette dernière contient une faible quantité d'azote par rapport au carbone, les microorganismes doivent utiliser l'ammonium ou les nitrates du sol pour poursuivre la décomposition. L'azote permet une croissance rapide de la population microbienne qui accompagne un apport en matériel carboné (fumier, paille...). D'autre part, si le matériel ajouté contient une proportion importante d'azote par rapport au carbone, la biomasse n'a pas à puiser dans les réserves d'azote inorganique du sol. Dans ces conditions, la décomposition favorise la minéralisation.

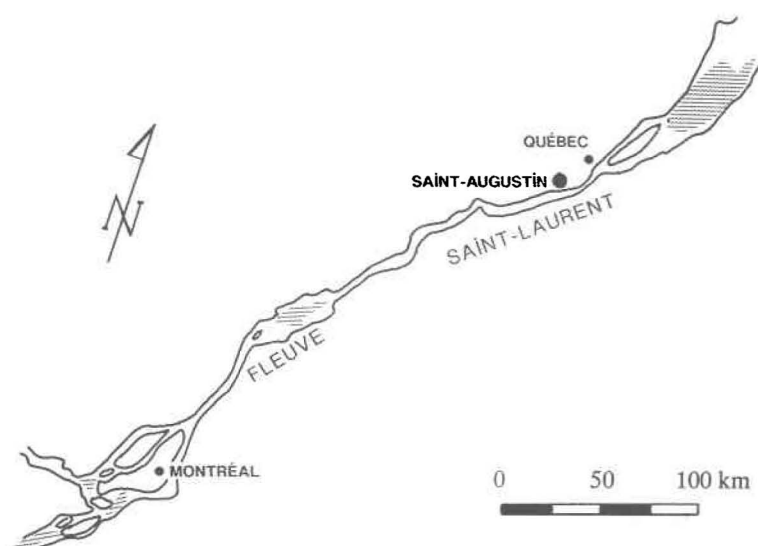
Tisdale et al. (1985) mentionnent qu'en général on assiste à une immobilisation lorsque que le ratio C/N est supérieur à 30:1 et à une minéralisation pour un ratio inférieur à 20:1. Entre ces valeurs il ne peut y avoir ni immobilisation ni minéralisation.

### 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

#### 3.1 TERRAIN

##### 3.1.1 LOCALISATION

Le site est situé à Saint-Augustin-de-Desmaures, 25 kilomètres au sud-ouest de la ville de Québec ( $46^{\circ}44'N$ ,  $71^{\circ}31'O$ ). Il est localisé plus précisément sur la station expérimentale du ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation du Québec située à l'extrémité ouest de la station agronomique de l'Université Laval. La parcelle étudiée (52 m x 18 m) forme la limite inférieure d'une terrasse alluviale dont la pente varie entre 2% et 5%.



**Figure 3.1:** Localisation de la parcelle expérimentale de Saint-Augustin-de-Desmaures.

### 3.1.2 PÉDOLOGIE

Le sol est peu fertile et faiblement pierreux. Il subit un drainage rapide et est apparenté à la série Saint-Antoine (matériaux originels perturbés en surface). Ce sol du groupe podzol humo-ferrique orthique et régosol orthique, correspond à un loam sableux fin (Baril, 1974) à graveleux (Raymond et al., 1976). Selon Clark et Globensky (1973) le socle rocheux est composé d'un schiste argileux et gréseux friable (formation de Nicolet) localisé à une profondeur moyenne de 1.6 mètre. Un sondage réalisé à l'été 1990 a cependant révélé une profondeur supérieure à 2.8 mètres à la limite sud de la parcelle.

Un échantillonnage (Lafrance et al, 1991) réparti selon un maillage régulier (25 points, 3 profondeurs; 10 cm, 45 cm, 80 cm) a permis de déterminer, pour différentes profondeurs, les distributions statistiques du contenu en carbone total, en azote total et en matière organique. Les distributions des paramètres physiques tel; la porosité efficace, la granulométrie, la densité apparente sèche et la conductivité hydraulique saturée ont été déterminés par les travaux de Jobidon (1990) au cours de l'été 1988.

VARIABLES	PROFONDEUR		
	5-15 cm	40-50 cm	85-95 cm
AZOTE (N)	M: 2.0 ET: 0.5	M: 1.3 ET: 0.5	M: 1.0 ET: 0.4
CARBONE (C)	M: 19.0 ET: 5.7	M: 9.4 ET: 4.4	M: 5.5 ET: 3.0
MATIERE ORGANIQUE (MO)	M: 40.4 ET: 7.7	M: 28.2 ET: 10.2	M: 18.4 ET: 6.7
N/MO	M: 0.05 ET: 0.01	M: 0.05 ET: 0.01	M: 0.06 ET: 0.02
C/MO	M: 0.47 ET: 0.12	M: 0.34 ET: 0.11	M: 0.33 ET: 0.18
C/N	M: 9.09	M: 6.67	M: 4.17

M: moyenne, ET: écart-type.

Tableau 3.1: Distributions statistiques des caractéristiques chimiques du site de St-Augustin en g/kg (Lafrance et al., 1990).

PARAMETRE	PROFONDEUR		
	0-35 cm	35-75 cm	75-115 cm
$K_{sat}$ (cm/min)	M:1.98E-3 ET:4.8E-3	M:3.72E-3 ET:6.0E-3	M:4.56E-3 ET:1.2E-2
% SABLE	M:51.2 ET:1.6	M:53.0 ET:7.4	M:64.7 ET:4.1
% LIMON	M:23.7 ET:1.2	M:25.1 ET:3.7	M:19.1 ET:4.1
% ARGILE	M:21.2 ET:1.6	M:18.9 ET:4.8	M:14.2 ET:3.2
% Mat. org.	M:3.97 ET:0.7	M:2.93 ET:1.0	M:1.98 ET:0.5
POROSITÉ (%)	M:44.7 ET:4.0	M:46.0 ET:3.9	M:44.0 ET:4.2
DENSITÉ APP. SECHE (g/cc)	M: 1.50 ET:0.08	M: 1.41 ET:0.10	M: 1.50 ET:0.09

M: moyenne, ET: écart-type.

**Tableau 3.2:** Distributions statistiques des paramètres de sol caractérisant le site de St-Augustin (Jobidon, 1990).

### 3.1.3 PRATIQUES CULTURALES

La parcelle expérimentale, artificiellement drainée, a servi à la culture du maïs sucré (cultivar; Early Vee) au cours des dernières années. Les taux d'application des pesticides et des fertilisants sont présentés au Tableau 3.4. La fertilisation de l'été 1990 a été divisée en deux applications, soit une première 40 N kg/ha de phosphate d'ammonium le 29 mai et une deuxième de 93.5 N kg/ha Nitrate d'ammonium réalisée le 26 juillet. Au niveau de l'équipement, un semoir à maïs deux rangs, modèle 56 international, a été utilisé pour le semis et un épandeur Planet Jr. a permis l'application de l'engrais en bandes de chaque côté des rangs de culture. L'espace entre les rangs était de 1.15 m. A l'automne, le maïs sucré est coupé et les résidus sont laissés au champ. On passe par la suite un rotoculteur allant à une profondeur de 7 à 13 centimètres et au printemps une petite herse à disque. Le Tableau 3.3 présente les dates des différents stades de culture pour l'été 1990.

STADE	DATE
Semis.....	28-05-90
Émergence.....	11-06-90
Maturité.....	27-08-90
Coupe.....	15-10-90

**Tableau 3.3: Divers stades de croissance du maïs sucré pour l'été 1990.**

ANNÉE	CULTURE	DATE DE SEMIS & ENGRAIS	TYPE ENGRAIS DOSE (kg/ha)	ÉPANDAGE D'HERBICIDE			AUTRES ÉPANDAGES PESTICIDES		
				HERBICIDE	DATE	DOSE (kg/ha)	INSECTICIDE OU HERBICIDE	DATE	DOSE
1981	Maïs	--	--	Atrazine 85%	--	--	--	--	--
1982	Maïs	--	--	Atrazine 85%	--	--	--	--	--
1983	Maïs	--	--	Atrazine 85%	--	--	--	--	--
1984	--	--	--	--	--	--	Metolachlore Alachlore	--	--
1985	Jachère	--	--	--	--	--	Glyphosate	--	--
1986	Maïs	14-05	08-16-16 500	Atrazine 80%	29-05	2	Metolachlore Carbofurane Carbofurane	28-05 28-07 04-08	2.5 1.1 1.1
1987	Maïs	22-05	08-12-12 500	Atrazine 80%	25-05	2	Carbofurane	13-08	1.1
1988	Maïs	27-07	08-16-08 567	Atrazine 80%	31-05	2	Fonofos 10 G	31-05	10 kg/ha
1989	Maïs	29-05 04-07	08-16-08 567 34-00-00 100	Atrazine 80%	30-05	2	Fonofos 10 G Carbofurane	29-05 06-07	10 kg/ha 1.1
1990	Maïs	29-05 26-07	08-16-16 500 34-00-00 275	Atrazine 90%	06-06	2	Fonofos	28-05	--

**Tableau 3.4: Pratiques culturales à la parcelle de maïs sucré de Saint-Augustin-de-Desmaures.**

### 3.1.4 ÉCHANTILLONNAGE

Des lysimètres avec (32) et sans (8) tension ont été utilisés afin de suivre respectivement la qualité des eaux interstitielles et les volumes d'eau percolant dans la zone non saturée.

Les lysimètres sans tension ont été installés au printemps 1990. Ils ont été construits à partir d'entonnoirs en plastique de 30 cm de diamètre. Afin de lui donner une certaine résistance et de permettre à l'eau de s'écouler rapidement vers la base, des morceaux de quartz centimétriques ont été placés à l'intérieur des collecteurs. Un géotextile (du type commercial que l'on retrouve sur le marché) a été installé dans la partie supérieure pour empêcher le passage des particules fines pouvant colmater le système. Les échantillons ont été prélevés en aspirant l'eau à l'aide d'un tube reliant la base des collecteurs à la surface. Des essais préalables au laboratoire ont démontré qu'il était possible de recueillir des volumes inférieurs à 5 millilitres, soit une lame d'eau infiltrée de 0.1 mm, à l'aide de ce système. Les lysimètres sans tension ont été disposés en quatre stations espacées de 15 mètres (voir Figure 3.2). Chaque station est composée de deux lysimètres (50 cm et 100 cm de profondeur) recouverts de sol remanié. A chaque prélèvement, les volumes d'eau recueillis ont été mesurés afin d'obtenir la hauteur d'eau percolée entre deux échantillonnages successifs.

Les lysimètres avec tension (Hoskin Soil Moisture Model #1920; avec capsule poreuse en céramique) ont été installés en décembre 1985 par le ministère de l'environnement du Québec. Ils sont répartis en 12 stations (Figure 3.2), chacune étant constituée de deux ou trois lysimètres installés respectivement à 0.5 m, 1.0 m et entre 1.4 et 1.8 m de profondeur. L'espacement entre les stations est de 3 m et 6 m dans une direction et de 15 m dans l'autre. Afin d'échantillonner l'eau interstitielle, une tension de 60 kPa (0.6 bar) est appliquée pendant une quinzaine d'heures sur les lysimètres. Par la suite, les échantillons sont recueillis dans des contenants de marque "nalgen" de 60 ml, rincés 7 fois à l'eau déminéralisée entre chaque utilisation. A partir du 11 septembre 1990, des bouteilles de verre de 250 ml ont été utilisées. En raison de l'utilisation des mêmes échantillons pour l'analyse des pesticides, 3 rinçages à l'eau millipore suivis d'un rinçage à l'acétone et d'un autre à l'hexane ont été effectués sur les bouteilles de verre entre chaque collecte.



Pour mener à bien le projet, un nombre total de 20 campagnes d'échantillonnage ont été nécessaires. La collecte a débuté suite à la première application d'azote, et s'est terminée à la fin de l'automne, moment où l'on assiste généralement à une plus importante perte en nitrates occasionnée par une augmentation de l'infiltration et par la disparition des cultures (Camaron et Haynes, 1986). Au cours de l'été, les échantillonnages ont été effectués sur une base hebdomadaire, sauf dans les premières semaines suivant la fertilisation de mai où, pour s'assurer de ne pas manquer le passage rapide potentiel d'une forte concentration, les campagnes ont été resserrées à deux échantillonnages par semaine. La deuxième fertilisation ayant été suivie d'une période sèche, il n'a pas été nécessaire d'augmenter la fréquence. A partir du 28 août, la collecte d'échantillons est devenue bimensuelle et s'est terminée le 6 novembre avec l'arrivée de la première neige.

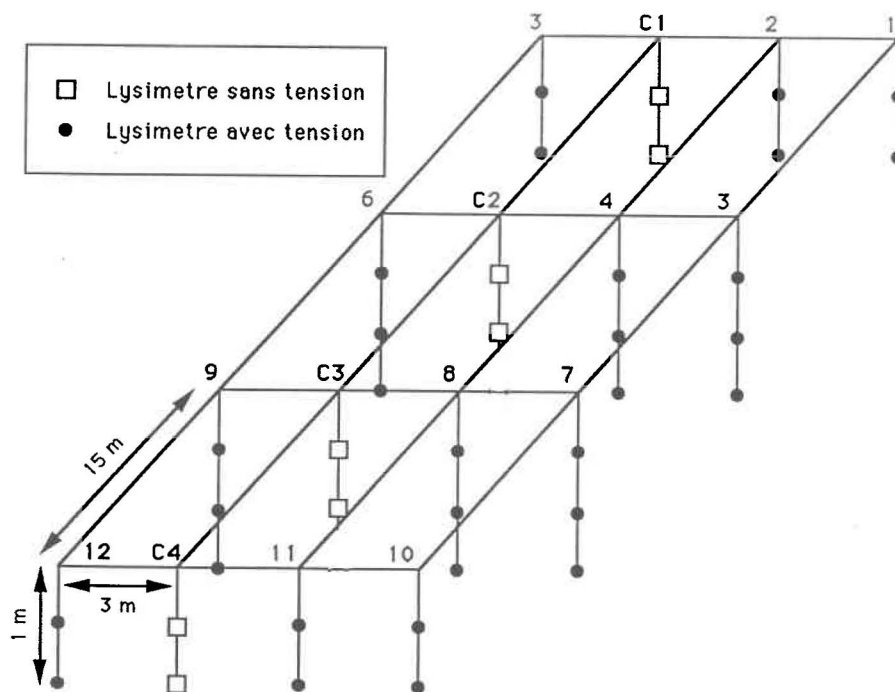


Figure 3.2: Réseau de lysimètres avec et sans tension.

### 3.1.5 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Les données météorologiques journalières, nécessaires à l'établissement du bilan hydrique du sol, proviennent de l'aéroport de Québec situé à une douzaine de kilomètres au nord-est du site expérimental. La température moyenne, l'enroulement (complément du pourcentage d'ensoleillement), les précipitations et l'évapotranspiration potentielle sont tirés des sommaires agrométéorologiques mensuels préparés par Environnement Canada. Les valeurs de la vitesse moyenne des vents proviennent des sommaires météorologiques mensuels publiés par le service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada. Quant aux valeurs de pressions de vapeur dans l'air (P), elles résultent de la moyenne de quatre évaluations journalières, calculées à partir de l'équation de Murray (Sinclair, 1990);

$$P = 6.1078 \times 10^{-4} \times e \left( \frac{17.2614 T_{\text{rosée}} - 4717.31}{T_{\text{rosée}} - 35.86} \right)$$

où les valeurs de la température du point de rosée ( $T_{\text{rosée}}$ ) nécessaires aux calculs sont extraites des relevés météorologiques synoptiques de la direction de la météorologie du ministère de l'environnement du Québec. Les différentes données météorologiques utilisées sont présentées à l'annexe F.

### 3.2 LABORATOIRE

Un délai maximum de deux heures existait avant l'arrivée des échantillons au laboratoire. Dans un premier temps, les volumes d'eaux provenant des lysimètres sans tension étaient mesurés, puis tous les échantillons étaient filtrés pour ne conserver que la partie dissoute. Les filtrations ont été effectuées à l'aide de seringues sur des filtres en polycarbonates (Nucléopore) de 0.4 micron et de 25 mm de diamètre. A ce moment les échantillons étaient divisés en deux, une partie allant à l'analyse de l'ammonium et l'autre aux nitrates.

### **3.2.1 NITRATES**

Les concentrations en nitrates ont été déterminées par chromatographie ionique. Les échantillons ont été analysés dans un délai maximum de 48 heures et conservés entre temps à une température de 4°C. Le chromatographe utilisé (DIONEX; Auto Ion system 12 analyser) était pourvu d'une précolonne HPIC-AG3, d'une colonne HPIC-AS3 et d'un supresseur Anion Micromembrane Suppressor AMMS-1. Des essais ont permis de situer la limite inférieure de détection pour les échantillons analysés avant le 25 septembre à 0.02 mg N-NO<sub>3</sub>/l avec une précision relative de 2.0 % à 0.16 mg N-NO<sub>3</sub>/l. Par la suite, l'installation d'une nouvelle précolonne a fait passer la limite à 0.009 mg N-NO<sub>3</sub>/l et la précision relative à 2.3 % pour une concentration de 0.10 mg N-NO<sub>3</sub>/l.

### **3.2.2 AMMONIUM**

Les concentrations en ammonium ont été déterminées par colorimétrie, utilisant la Réaction de Berthelo (Technicon industrial systems, 1973), à l'aide d'un auto-analyseur II de Technicon. Après avoir été acidifiés à l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.2 % v/v), les échantillons ont été conservés, à 4°C, au maximum 28 jours avant d'être analysés. La limite de détection de l'appareil était de 3 µg N-NH<sub>4</sub>/l et la précision de 0.31 % à 112 µg N-NH<sub>4</sub>/l.

## **3.3 MODELES MATHÉMATIQUES SOIL ET SOILN**

### **3.3.1 PRÉSENTATION DE SOIL ET SOILN**

Le modèle utilisé simule le devenir de l'eau, de la température et de l'azote dans les sols. Il est composé des parties SOIL et SOILN. Il s'agit d'un modèle de recherche unidimensionnel basé sur des processus physiques. La partie hydrodynamique et thermique, SOIL, a été développée à la fin des années 70 au département des sciences du sol de l'Université Suédoise des Sciences de l'Agriculture, située à Uppsala. A l'origine, SOIL a été construit pour représenter les processus hydrologiques et thermiques relatifs aux sols forestiers. Il a par la suite été adapté au milieu agricole. La partie SOILN a été développée en 1986. Elle

permet de simuler la minéralisation de l'azote et le lessivage des nitrates à partir des températures, humidités et flux de l'eau fournis par SOIL.

La structure verticale, commune aux deux parties du modèle, facilite la division du profil pédologique en un certain nombre de couches. Différentes divisions peuvent être retenues en fonction des objectifs et de la disponibilité des informations caractérisant les aspects physiques et biologiques.

Le modèle a été appliqué à plusieurs reprises et a été le sujet de plus d'une vingtaine de publications (Jansson, 1990c). Ces dernières ont été principalement réalisées par les auteurs et ce pour des sites suédois. Jansson et Gustafson (1987) ont testé l'applicabilité du modèle au ruissellement de surface et à l'écoulement aux drains alors que d'autres études ont porté sur l'évolution de la température, de la tension et de la teneur en eau dans les sols (Jansson, 1980, 1987). La minéralisation de l'azote et le lessivage des nitrates ont été simulés (Borg et al., 1990; Jansson et Andersson, 1988; Johnsson et al., 1987) à des échelles allant de la parcelle au bassin versant, et ce pour différents types de sol et de culture.

Compte tenu des objectifs de notre étude et des caractéristiques du site, toutes les possibilités du modèle n'ont pas été utilisées (neige, gel, macroporosité...). Dans les sections suivantes, nous ne passerons en revue que les processus retenus pour notre simulation. Il ne s'agit pas d'une description exhaustive du modèle (voir; Halldin, 1980, Jansson, 1980, 1990a, 1990b, Johnsson et al., 1987), mais plutôt d'une présentation des équations de base et de leurs interrelations. Nous verrons quels sont les paramètres pour lesquels le modèle est le plus sensible. Les fichiers d'entrée et de sortie du modèle seront par la suite examinés.

### 3.3.2 SOIL: THÉORIE ET FONCTIONNEMENT

#### A) ÉQUATIONS:

Le volume d'eau percolant à la nappe phréatique repose sur les calculs d'évapotranspiration proposés par Penman et modifiés par Monteith. Le mouvement de l'eau et le transfert de chaleur sont basés sur les équations différentielles partielles tirées respectivement des lois de Darcy et de Fourier. Les conditions aux limites sont réalisées par des sous-modèles calculant l'interception et l'évapotranspiration.

#### -ÉVAPOTRANSPIRATION:

L'évapotranspiration réelle se produisant au champ est calculée à partir de l'évapotranspiration potentielle (quantité maximum d'eau pouvant être perdue, dans un climat donné, par une végétation continue couvrant complètement la surface du sol, lorsque ce dernier est maintenu saturé), laquelle est réduite en fonction des contraintes physiques et agronomiques rencontrées.

L'évapotranspiration potentielle est calculée dans le modèle à l'aide de l'équation de Penman tel que modifiée par Monteith. Cette équation est basée sur des principes physiques provenant de la combinaison du bilan énergétique et de l'influence du vent.

$$\lambda E_{ps} = \frac{\Delta(R_n - q_h) + e_a c_p \delta_e / r_a}{\Delta + \gamma(1+r_s/r_a)}$$

où,  $\lambda$  est la chaleur latente de vaporisation,  $E_{ps}$  l'évaporation potentielle,  $R_n$  le rayonnement net,  $q_h$  le transfert de chaleur dans le sol,  $e_a$  la densité de l'air,  $c_p$  la chaleur spécifique de l'air,  $\delta_e$  le déficit de pression de vapeur,  $\Delta$  la pente de la pression de vapeur saturante versus la température,  $\gamma$  la constante psychométrique,  $r_s$  la résistance de surface effective (présumée constante) et  $r_a$  la résistance aérodynamique tel que,

$$r_a = \frac{\left( \ln \frac{z - d}{z_0} \right)^2}{k^2 u}$$

où  $u$  est la vitesse du vent mesurée à une hauteur de référence  $z$ ,  $k$  est la constante de von Karman,  $d$  la hauteur de déplacement du plan de référence et  $z_0$  l'épaisseur de rugosité du couvert végétal. Connaissant les équations de base conduisant à l'évaluation de l'évapotranspiration potentielle, voyons comment cette dernière est réduite afin d'obtenir l'évapotranspiration réelle se produisant au champ.

Lors des précipitations, une partie de l'eau est retenue par la végétation et n'atteint pas le sol. Cette interception peut être vue comme un réservoir possédant un seuil d'emmagasinement maximum (variable dans le temps et fonction du développement de la culture) au-delà duquel l'eau de précipitation passe tout droit et atteint le sol. Cette représentation a pour effet de créer une évaporation provenant d'une part de l'eau retenue sur le feuillage ( $E_w$ ) et d'autre part de la surface du sol ( $E'_{ps}$ ).

Lorsqu'il y a de l'eau dans le réservoir d'interception, l'évaporation à partir de la surface des plantes est donnée par;

$$E_w = \min (aE_{ps}, S_i)$$

où  $S_i$  est la quantité d'eau emmagasinée sur le feuillage et "a" un paramètre.

L'évaporation potentielle à la surface du sol est alors réduite à l'expression suivante;

$$E'_{ps} = \max (E_{ps} - E_w/a, 0)$$

signifiant qu'il y a une réduction de la demande au sol lorsqu'il y a évaporation de l'eau interceptée.

La demande potentielle en eau par les plantes est distribuée en fonction du développement racinaire dans le sol. Pour chaque couche, la quantité réelle d'eau enlevée est réduite lorsque la tension excède une valeur critique ( $\psi_c$ ). L'évaporation réelle du sol est alors;

$$E_{as} = R E'_{ps}$$

où R est un facteur de réduction donné par;

$$R = \begin{cases} 1 & \psi < \psi_c \\ \left( \frac{\psi_c}{\psi} \right)^{cE'_{ps} + d} & \psi_w > \psi > \psi_c \\ 0 & \psi_w < \psi \end{cases}$$

$\psi_c$  est le potentiel critique où commence la réduction,  $\psi_w$  correspond au point de flétrissement, c et d sont des paramètres.

L'utilisation de ces dernières équations jumelées à la capacité maximale d'interception de la végétation nous permet de calculer l'évapotranspiration réelle se produisant au champ.

#### -HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE:

L'écoulement non saturé est représenté dans le modèle par l'équation de Richard (1931) à laquelle est ajoutée un terme, S (t), représentant l'eau puisée par les plantes. Cette équation néglige les phénomènes d'hystérèse engendrés par les cycles de mouillage-séchage et suppose un écoulement essentiellement unidimensionnel.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(\psi) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + \rho g \right) \right] + S(t)$$

Cette dernière équation ne peut cependant être résolue que si le potentiel de succion,  $\psi$ , et la conductivité non saturée,  $k_w$ , peuvent être reliés à la teneur en eau volumétrique,  $\theta$ . Pour ce faire, Brooks et Corey (1964) ont suggéré que la courbe de désaturation reliant la teneur en eau au potentiel de succion pouvait être décrite par l'équation analytique suivante:

$$S_e = (\psi/\psi_a)^{-\lambda}$$

où  $\psi_a$  est la pression d'entrée d'air,  $\lambda$  l'indice de distribution des pores et  $S_e$  la saturation effective donnée par:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{p - \theta_r}$$

avec  $p$  la porosité et  $\theta_r$  la teneur en eau résiduelle.

En ce qui a trait à la conductivité hydraulique non saturée ( $k_w$ ), le modèle la relie à la conductivité saturée ( $k_{sat}$ ) à l'aide de la relation de Mualem (1976).

$$k_w = k_{sat} S_e^{n+2+2/\lambda}$$

où  $n$  est un facteur tenant compte de la tortuosité du patron d'écoulement.



Les propriétés hydrauliques de chaque horizon de sol considéré homogène peuvent donc être décrites à partir des six paramètres suivants:

- $k_{sat}$  :conductivité hydraulique saturée
- $\lambda$  :indice de distribution des pores
- $\psi_a$  :pression d'entrée d'air
- $p$  :porosité
- $n$  :facteur de tortuosité
- $\theta_r$  :teneur en eau résiduelle

Ces derniers peuvent être obtenus à partir de valeurs typiques tirées de la littérature ou directement mesurés sur le terrain ou en laboratoire. Ces paramètres, jumelés aux équations précédentes, représentent les conditions nécessaires et suffisantes permettant de décrire l'écoulement non saturé dans les sols.

#### **-FLUX THERMIQUE:**

La chaleur peut être transportée dans le sol par conduction et par convection. La partie convection est plus particulièrement importante lors de grandes infiltrations d'eau alors que c'est généralement le processus de conduction qui domine le flux thermique.

#### **B) ENTRÉES ET SORTIES DU MODELE:**

Pour son fonctionnement, SOIL nécessite un certain nombre de valeurs caractérisant les conditions particulières rencontrées sur le terrain. Les entrées du modèle sont divisées en paramètres (quantités à fixer librement, maintenues constantes, dont dépend une fonction) et en variables (termes auxquels on peut attribuer plusieurs valeurs numériques différentes). Ces informations, nécessaires aux simulations, sont regroupées à l'intérieur de quatre fichiers. Il y a d'abord un fichier contenant l'ensemble des variables climatiques journalières permettant de calculer l'apport et les pertes en eau dans le sol (annexe F). Il y a un deuxième

fichier donnant les divers paramètres caractérisant les processus hydrodynamiques du sol en fonction de la profondeur. Un autre fichier donne les paramètres thermiques du sol. Finalement, un dernier fichier regroupe l'ensemble des informations relatives aux pratiques culturales et au type de simulation désirée. Ces divers fichiers sont présentés dans le sommaire à l'annexe H.

Les résultats d'une simulation nous informent sur les valeurs des différentes variables telles; la température, la teneur en eau, le potentiel de succion, le flux thermique, le flux d'eau et l'eau prise par les plantes. Les sorties sont fournies sur une base journalière et sous forme de résultats cumulés et ce pour chaque couche de sol. Le modèle est de plus couplé à un utilitaire graphique, PGRAPH, permettant de rapidement visualiser les résultats.

#### C) ANALYSE DE SENSIBILITÉ:

SOIL a été le sujet de diverses études mentionnant les paramètres d'entrées les plus influents sur les sorties du modèle. Ce travail ayant déjà été fait, nous nous sommes limités à quelques vérifications non systématiques. Les paramètres les plus influents sont dans l'ordre selon Halldin (1980):  $r_s$ , la résistance de surface effective, les paramètres déterminant la conductivité non saturée,  $k_w$ , et la quantité d'eau interceptée emmagasinée sur le feuillage,  $S_i$ .

### 3.3.3 SOILN: THÉORIE ET FONCTIONNEMENT

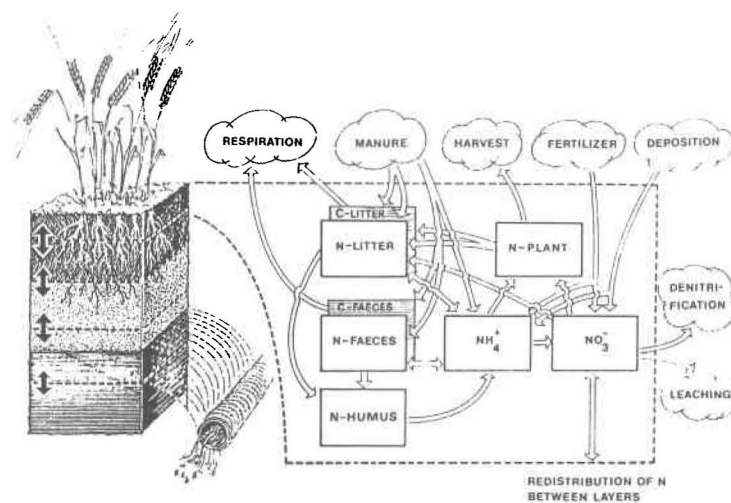
La description du modèle SOILN est tirée de Johnsson et al. (1987).

#### A) STRUCTURE DU MODELE:

Le modèle inclut les principaux processus déterminant les entrées, les transformations et les sorties de l'azote dans les sols agricoles. Les variables "motrices", (i.e. infiltration, écoulement entre les couches de sol, teneur en eau et température du sol) proviennent du modèle SOIL.

Le modèle permet de diviser le profil de sol en couches (maximum 22) possédant des caractéristiques physiques et biologiques homogènes. A l'intérieur de chaque couche on retrouve des réservoirs contenant les formes organiques et inorganiques de l'azote. L'azote minéral est constitué des formes ammonium et nitrates alors que l'azote organique est classifié en litière, fumier (faeces) et humus (Figure 3.3). Des réservoirs de carbone sont aussi présents pour la litière et le fumier afin de contrôler la minéralisation et l'immobilisation. La litière représente les matériaux non décomposés (résidus de plantes, racines mortes et masse microbienne) alors que les produits de décomposition stabilisés constituent l'humus. Le compartiment représentant les plantes inclut l'azote présent dans la biomasse aérienne et souterraine.

La fertilisation inorganique, les fumiers et les dépôts atmosphériques constituent les apports possibles pour la couche superficielle. Les pertes par dénitrification et lessivage peuvent se produire au niveau de toutes les couches.



**Figure 3.3:** Structure du modèle de l'azote. Les éléments inclus à l'intérieur des lignes pointillées représentent la couche superficielle du sol. Les couches sous-jacentes ont la même structure mais n'ont pas de contact avec les dépôts atmosphériques et les fertilisants (Johnsson et al., 1987).

## B) ÉQUATIONS:

### -APPORT EN AZOTE:

Les apports en azote fournis par les dépôts atmosphériques se divisent en une fraction humide, calculée à partir du volume des précipitations et de la concentration moyenne en azote minéral dans l'eau de pluie, et en une fraction sèche, donnée par un taux journalier constant. Les fertilisants azotés sont ajoutés à la couche superficielle du sol et un taux constant de dissolution contrôle leur entrée dans le réservoir d'azote minéral.

Le matériel est incorporé dans la litière à deux occasions; au moment de la récolte et au labour. La quantité d'azote racinaire allant à la litière au moment de la récolte est donnée par:

$$N_{p \rightarrow l}(z) = f_r(z) (1 - f_{ar} - f_{lr} - f_{hp}) N_p$$

où  $f_r(z)$  est la fraction racinaire dans la couche  $z$ ,  $f_{ar}$  est la fraction d'azote de la plante demeurant à la surface du sol après la récolte,  $f_{lr}$  est la fraction des racines vivantes après la récolte,  $f_{hp}$  est la fraction récoltée de la plante et  $N_p$  est l'azote contenu dans la plante avant la récolte. Pour les récoltes annuelles,  $f_{lr}$  vaut 0. Le transfert du carbone vers la litière est proportionnel à celui de l'azote et repose sur le ratio C/N des racines.

### -MINÉRALISATION, IMMOBILISATION ET NITRIFICATION:

Afin de représenter les parties actives et passives de la matière organique dans le sol, le modèle possède deux réservoirs principaux. Un premier, à cycle rapide (litière) représente le complexe matière organique-biomasse microbienne recevant de la matière organique fraîche et un deuxième, à cycle lent (humus) formé des produits de décomposition stables. Un autre réservoir est aussi inclus afin de représenter les dérivés du fumier dont la composition chimique est substantiellement différente de celle des plantes entrant dans la litière. La minéralisation de l'humus ( $N_h(z)$ ) est du premier ordre,

$$N_{h \rightarrow NH_4}(z) = k_h e_t(z) e_m(z) N_h(z)$$

où  $k_h$  est la constante de minéralisation et  $e_t(z)$  et  $e_m(z)$  sont les facteurs tenant respectivement compte de la température du sol et de son humidité.

La décomposition se produisant dans les réservoirs de carbone organique (litière et fumier) contrôle la minéralisation de l'azote. La décomposition du carbone dans la litière est fonction de la constante spécifique ( $k_l$ ), de la température et de l'humidité.

$$C_{l(d)}(z) = k_l e_t(z) e_m(z) C_l(z)$$

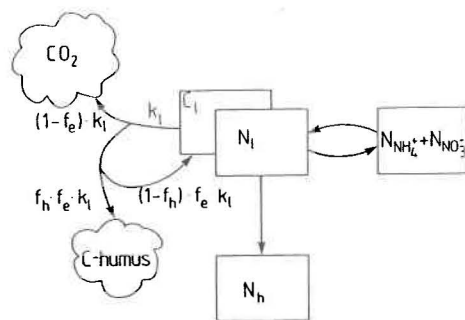
Les produits de décomposition sont le  $CO_2$ , l'humus et la biomasse microbienne et métabolite (Figure 3.4). Comme un seul réservoir (litière) représente le complexe litière-décomposeurs, la synthèse de la biomasse microbienne et métabolite constitue un cycle interne. La quantité relative des produits de décomposition formés est contrôlée par une constante d'efficacité de synthèse ( $f_e$ ) et par une fraction d'humification ( $f_h$ ).

$$C_{l \rightarrow CO_2}(z) = (1 - f_e) C_{l(d)}(z)$$

$$C_{l \rightarrow h}(z) = f_e f_h C_{l(d)}(z)$$

$$C_{l \rightarrow l}(z) = f_e (1 - f_h) C_{l(d)}(z)$$

La minéralisation et l'immobilisation de l'azote dans la litière reposent sur les deux hypothèses suivantes; (1) le cycle interne du carbone et la formation de l'humus ont une demande en azote contrôlée par un ratio C/N constant de la biomasse des décomposeurs et des produits de l'humification ( $r_0$ ); (2) la décomposition du carbone dans la litière libère une quantité d'azote proportionnelle au ratio C/N réel de ce réservoir.



**Figure 3.4:** Cheminement de l'azote et du carbone dans la litière

A partir des équations précédentes, la minéralisation et l'immobilisation nette de l'azote dans la litière sont fonction du bilan entre l'azote libéré au cours de la décomposition et de l'azote fixé par la synthèse microbienne et l'humification.

$$N_{l \rightarrow NH_4}(z) = \left( \frac{N_l(z)}{C_l(z)} - \frac{f_e}{r_0} \right) C_{l(d)}(z)$$

On assiste au passage entre l'immobilisation et la minéralisation lorsque le ratio C/N de la litière égale  $r_0/f_e$ . Pour simplifier, on pose que le ratio C/N de la matière organique humifiée est le même que celui de la biomasse microbienne et métabolite.

L'immobilisation peut être réduite lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'azote minéral disponible dans le sol. Cette réduction de l'immobilisation, tout comme celle de l'assimilation par les racines des plantes, est contrôlée en assumant qu'une certaine fraction seulement de l'azote minéral est disponible.

Au cours de la décomposition de la litière, l'humification de l'azote est fonction du rapport C/N des microorganismes et du produit d'humification ( $r_0$ ). Au niveau du réservoir représentant les fumiers, la décomposition, la minéralisation, l'immobilisation et la formation de l'humus sont calculés de la même façon que pour la litière.

La nitrification n'est pas modélisée explicitement par des processus microbiologiques. On assume plutôt que les transferts entre les formes minérales sont contrôlés par un ratio ammonium/nitrate caractéristique du sol. Le taux de transfert de l'ammonium en nitrate dépend du taux potentiel,  $k_n$ , qui est réduit à l'approche du ratio nitrate/ammonium,  $n_q$ . Il n'y a pas de transfert de l'ammonium vers les nitrates lorsque  $N_{NO_3}(z)/N_{NH_4}(z) > n_q$ .

$$N_{NH_4 \rightarrow NO_3}(z) = k_n e_t(z) e_m(z) \left[ N_{NH_4}(z) - \frac{N_{NO_3}(z)}{n_q} \right]$$

#### -INFLUENCE DES FACTEURS ABIOTIQUES:

La décomposition, la minéralisation et la nitrification sont influencées par la température et l'humidité du sol. L'effet de la température est exprimé dans le modèle à l'aide du  $Q_{10}$ ,

$$e_t(z) = Q_{10}^{\left( \frac{T_{(z)} - T_b}{10} \right)}$$

où  $T_{(z)}$  est la température dans la couche  $z$ ,  $T_b$  est la température de base pour laquelle  $e_t$  égal 1 et  $Q_{10}$  est le facteur équivalent à une variation de 10 °C.

En ce qui a trait à l'humidité, son influence est nulle (i.e. facteur égal à 1) autour d'un optimum, et elle ralentit les processus lorsque la teneur en eau devient trop élevée ou trop basse dans le sol. Les équations suivantes représentent cette tendance.

$$e_m(z) = e_s + (1 - e_s) \left[ \frac{\theta_s(z) - \theta(z)}{\theta_s(z) - \theta_{ho}(z)} \right]^m \quad \theta_s(z) \geq \theta(z) > \theta_{ho}(z)$$

$$e_m(z) = 1 \quad \theta_{ho}(z) \geq \theta(z) \geq \theta_{lo}(z)$$

$$e_m(z) = \left[ \frac{\theta(z) - \theta_w(z)}{\theta_{lo}(z) - \theta_w(z)} \right]^m \quad \theta_{lo}(z) > \theta(z) \geq \theta_w(z)$$

où  $\theta_s(z)$  est la teneur en eau à saturation,  $\theta_{ho}(z)$  et  $\theta_{lo}(z)$  sont respectivement les teneurs en eau maximale et minimale pour lesquelles le facteur d'humidité est maximum.  $\theta_w(z)$  est la teneur en eau minimale où les processus peuvent se dérouler. Un coefficient,  $e_s$ , présente l'effet relatif de l'humidité à saturation et  $m$  est une constante empirique. Les deux seuils limitant le domaine optimal sont calculés de la façon suivante;

$$\theta_{lo}(z) = \theta_w(z) + \Delta\theta_1$$

$$\theta_{ho}(z) = \theta_s(z) + \Delta\theta_2$$

où  $\Delta\theta_1$  est la variation de teneur en eau volumique pour laquelle la réponse augmente et  $\Delta\theta_2$  est la variation pour laquelle elle diminue.

#### -AZOTE PUISÉ PAR LES PLANTES:

Les plantes puisent l'azote dans le sol à la fois sous forme de nitrates et d'ammonium. Une courbe de prélèvement suivant un modèle logistique est utilisée pour définir la demande potentielle en azote au cours de la saison végétative,

$$\int u(t)dt = \frac{u_a}{1 + \left( \frac{u_a - u_b}{u_b} \right) e^{-u_c t}}$$



où  $u_a$  est la demande potentielle annuelle,  $u_b$  et  $u_c$  sont des paramètres de forme et  $t$  est le nombre de jours après le début de la croissance des plantes. La diffusion et l'absorption racinaire sont les principaux mécanismes contrôlant le prélèvement de l'azote par les racines. Par conséquent, le prélèvement minéral n'est pas associé au prélèvement en eau de la plante. Afin de limiter le prélèvement si la concentration en azote minéral du sol est trop faible, on pose une fraction maximale disponible,  $f_{ma}$ , proportionnelle à la quantité totale d'ammonium et de nitrate dans chaque couche. Le prélèvement journalier en azote est alors calculé à partir de la fraction racinaire dans la couche,  $f_r(z)$ , de la proportion d'azote se trouvant sous forme nitrate et de la dérivée de la courbe de prélèvement,  $u$ . Le prélèvement est réparti entre les différentes couches par une distribution racinaire empirique évoluant au cours du temps. Le prélèvement réel correspond à la valeur minimale des deux fonctions.

$$N_{NO_3 \rightarrow p}(z) = \text{MIN} \left| \begin{array}{l} f_r(z) \frac{N_{NO_3}(z)}{N_{NO_3}(z) + N_{NH_4}(z)} u \\ f_{ma} N_{NO_3}(z) \end{array} \right.$$

Les calculs sont les mêmes dans le cas de l'ammonium, mais proportionnels à sa quantité relative dans le profil. Pour une couche donnée, si le prélèvement réel est en dessous de la valeur potentielle, alors la quantité en surplus (potentielle moins réelle) est transférée à la couche sous-jacente.

#### -DÉNITRIFICATION:

La dénitrification est la réduction des nitrates en azote gazeux ( $N_2$  et  $N_2O$ ). Il s'agit d'un processus anaérobie, donc dépendant des conditions d'aération du sol. Le modèle utilise la teneur en eau ( $\theta(z)$ ) comme un indicateur de l'oxygénation du sol. L'influence de l'humidité sur le taux de dénitrification est exprimée par une fonction qui augmente à partir d'un certain seuil ( $\theta_d(z)$ ) pour atteindre un maximum à saturation ( $\theta_s(z)$ ). Dans l'équation,  $d$  est une constante empirique.

$$e_{md}(z) = \left( \frac{\theta(z) - \theta_d(z)}{\theta_s(z) - \theta_d(z)} \right) d$$

En bas de la teneur en eau limite, il n'y a pas de dénitrification. Pour chaque couche le taux de dénitrification dépend du taux potentiel de dénitrification,  $k_d(z)$ , de l'aération du sol,  $e_{md}(z)$ , et de la température  $e_t(z)$ .

$$N_{NO_3 \rightarrow gaz}(z) = k_d(z) e_{md}(z) e_t(z) \left( \frac{[N_{NO_3}(z)]}{[N_{NO_3}(z)] + C_s} \right)$$

L'effet de la concentration en nitrates est contrôlé par une constante de demi-saturation,  $C_s$  (i.e. la concentration où le taux est à 50 % de la valeur maximale, si toutes les autres conditions sont optimales).

#### -TRANSPORT DES NITRATES:

Les nitrates sont considérés comme étant entièrement en solution et se déplacent entre les couches de sol en suivant le patron d'écoulement de l'eau. Le flux de nitrates est donc calculé, pour chaque couche de sol, en multipliant le flux d'eau par la concentration en nitrates.

L'ammonium est considéré comme immobile (fortement fixé sur les colloïdes du sol) et n'est pas influencé par l'écoulement de l'eau.

#### C) ENTRÉES ET SORTIES DU MODELE:

Trois fichiers sont nécessaires au fonctionnement du modèle. Un premier contient les paramètres caractérisant le site au niveau de la végétation, du sol, des apports externes, des transformations et des pertes en azote. Un deuxième fichier est utilisé pour définir les conditions initiales de la simulation. On y retrouve

les formes et les quantités d'azote présentes dans chaque couche de sol au départ. Un troisième fichier fournit finalement au modèle les variables motrices du système. Ce sont les variables d'environnement (telles la température, l'humidité et l'écoulement) qui sont la cause des transformations et du transport de l'azote. Ces variables sont établies à l'aide du modèle SOIL. Elles sont fournies pour chaque couche de sol sur une base journalière.

Les résultats des simulations nous renseignent sur la quantité des différentes formes d'azote présentes au niveau de chaque couche de sol. Les sorties sont fournies sur une base journalière et sous forme de résultats cumulés. On peut de plus, tout comme avec SOIL, utiliser un utilitaire graphique (PGRAPH) permettant de rapidement visualiser les résultats.

#### D) ANALYSE DE SENSIBILITÉ:

Les paramètres les plus influents, c'est-à-dire ceux pour lesquels une petite variation influence de façon importante les résultats, sont selon Johnsson et al. (1987); la fraction maximale disponible en azote,  $f_{ma}$ , les constantes spécifiques de minéralisation,  $k_h$ , de l'humus et de décomposition,  $k_l$ , de la litière, la valeur du  $Q_{10}$ , l'effet relatif de la saturation sur l'activité,  $e_s$ .

### 3.4 DÉTERMINATION DES PARAMETRES NÉCESSAIRES AUX SIMULATIONS

#### 3.4.1 SOIL

Les paramètres utilisés dans la simulation sont regroupés à l'intérieur des quatre fichiers représentant; la météorologie, les propriétés hydrodynamiques, les propriétés thermiques, et les paramètres relatifs au site et à la simulation.

## A) FICHER CLIMATOLOGIQUE:

Le fichier utilisé par le modèle est composé des variables météorologiques journalières suivantes: température moyenne, vitesse moyenne des vents, pression de vapeur dans l'air, précipitations totales et pourcentage d'ennuagement. L'origine de ces variables est présentée à la section "Matériel et méthodes".

## B) FICHER DES PROPRIÉTÉS HYDRAULIQUES DU SOL:

Ce fichier est établi à l'aide du programme PLOTPF et porte le nom SOILP.DAT. Il regroupe, pour chaque couche de sol jugée homogène, la position (borne supérieure et inférieure) et l'ensemble des paramètres nécessaires aux conditions d'écoulement.

Les processus décrivant les mouvements de l'eau en zone vadose nécessitent la connaissance de la relation entre la tension,  $\psi$ , et la teneur en eau,  $\theta$ , du sol. La courbe de rétention n'a pas été mesurée directement sur le sol de St-Augustin mais plutôt évaluée à partir des travaux de Gupta et Larson (1979). Ces derniers ont échantillonné différents types de sol provenant d'une dizaine de régions géographiques de l'est et du centre des États-Unis. Ils en ont fait différents mélanges qu'ils ont compactés à divers degrés puis ont mesuré la teneur en eau en fonction du potentiel de succion. Cette étude leur a permis d'établir la régression suivante:

$$\theta_p = [a \times \text{sable}(\%)] + [b \times \text{limon}(\%)] + [c \times \text{argile}(\%)] \\ + [d \times \text{matière organique}(\%)] + [e \times \text{densité sèche}(\text{g/cm}^3)]$$

où  $\theta_p$  est la teneur en eau prédite ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) pour une succion donnée et  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , et  $e$  sont les coefficients correspondant à cette succion (voir annexe E). La granulométrie, la densité et le pourcentage en matière organique nécessaire à l'utilisation de cette relation étant connus pour le site de St-Augustin (Jobidon, 1990), il a été possible d'établir les valeurs suivantes:

SUCCION		TENEUR EN EAU (%)		
m EAU	pF	0-35 cm	35-75 cm	75-115 cm
0.00	0.00	45	46	44
-0.40	1.60	36	39	33
-0.70	1.85	32	34	28
-1.00	2.00	30	32	26
-2.00	2.30	27	29	23
-3.30	2.52	26	27	21
-6.00	2.78	25	25	20
-10.0	3.00	24	23	19
-20.0	3.30	23	22	18
-40.0	3.60	21	20	16
-70.0	3.85	21	19	16
-100.0	4.00	20	19	15
-150.0	4.18	20	18	14

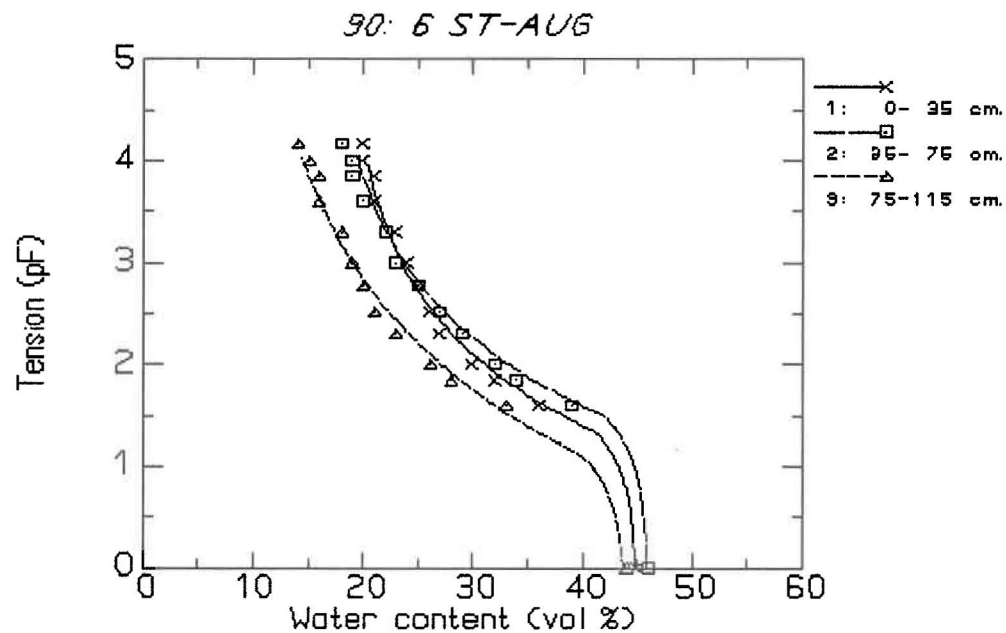
**Tableau 3.5:** Relation tension-teneur en eau telle que calculée à partir de la régression de Gupta et Larson (1979).

La teneur en eau résiduelle ( $\theta_r$ ), la pression d'entrée d'air ( $\psi_a$ ) et l'indice de distribution des pores ( $\lambda$ ) ont été déterminés à l'aide du programme PLOT PF. Ce dernier permet d'ajuster les paramètres de l'équation de Brooks et Corey sur les valeurs de succion-teneur en eau caractérisant le sol.

PARAMETRE	PROFONDEUR		
	0-35 cm	35-75 cm	75-115 cm
$\theta_r$	18	16	9
$\lambda$	0.38	0.35	0.26
$\psi_a$	15	21	8

**Tableau 3.6:** Valeur des paramètres de l'équation de Brooks et Corey ajustée afin de représenter les valeurs ponctuelles.

Si l'on compare les courbes de tension-teneur en eau obtenues à l'aide de ces paramètres, on constate qu'elles représentent bien les valeurs calculées à l'aide de l'équation de Gupta et Larson (1979). Ces courbes sont par ailleurs comparables à d'autres valeurs typiques (Frenette (1977); banque de données incluse à l'intérieur de PLOT PF) pour ce type de sol.



**Figure 3.5:** Courbes tension-teneur en eau obtenues à l'aide de Brooks et Corey, et valeurs ponctuelles calculées à partir de la régression de Gupta et Larson (1979).

Le point de flétrissement est défini comme étant la valeur limite de l'eau liée, donc non absorbable par les racines. Il correspond à la teneur en eau volumétrique présente à une tension de 15 atmosphères, soit un pF de 4.2 (Richter, 1987; Schulze, 1989). Pour St-Augustin, la régression de Gupta et Larson nous indique des valeurs de 20%, 18% et 14% pour les horizons de 0-35 cm, 35-75 cm et 75-115 cm.

### C) FICHER DES PARAMETRES DU SITE:

Ce fichier fourni au modèle l'ensemble des paramètres relatifs à l'évapotranspiration, à la végétation, aux propriétés thermiques et au mode de simulation désiré. Les valeurs de ces paramètres sont présentées à l'annexe C sous forme de tableau. On peut classer leur origine en trois catégories. Ils peuvent venir (1) de mesures de terrain ou de laboratoire, (2) de valeurs typiques tirées de la littérature et finalement, dans les cas où il n'y avait aucune référence fiable, (3) de données provenant de l'exemple d'utilisation fourni avec le modèle, correspondant au site de Lanna, Suède.

#### **D) FICHER DES PROPRIÉTÉS THERMIQUES DU SOL:**

Ce fichier porte le nom THCOEF.DAT. Il contient les paramètres de conductivité thermique et de capacité calorifique. Pour notre simulation, le fichier représentant les conditions prévalant à Lanna, Suède, a été utilisé.

#### **3.4.2 SOILN**

##### **A) FICHER DES VARIABLES MOTRICES:**

Les variables motrices sont responsables des transformations et du déplacement de l'azote dans le sol. Les valeurs journalières des différentes variables sont le résultat d'une simulation effectuée avec SOIL. Ce fichier est composé des variables suivantes; infiltration de surface, écoulement entre les couches, écoulement aux drains, température du sol, teneur en eau, ruissellement, température de l'air et radiations globales. Les valeurs de ces différentes variables sont présentées à l'annexe G.

##### **B) FICHER DES PARAMETRES DU SITE:**

Ce fichier fourni au modèle l'ensemble des paramètres caractérisant les apports externes, la minéralisation, l'immobilisation, la dénitrification, l'influence des plantes, l'influence des facteurs abiotiques, et la gestion du site. Les valeurs de ces paramètres sont présentées à l'annexe D sous forme de tableau. Elles proviennent de mesures de terrain où de valeurs typiques tirées de la littérature.

### C) FICHER CARACTÉRISANT L'ÉTAT INITIAL DU SOL:

Ce fichier présente l'état initial de l'azote dans le sol. On y retrouve les types d'azote et leurs quantités respectives dans les différentes couches. Au départ, 2 formes d'azote inorganique ont été considérées, soit les nitrates et l'ammonium. L'azote organique du sol a été considéré comme lentement décomposable, c'est-à-dire faisant partie du réservoir humus. Cette hypothèse suppose que la litière formée à l'automne précédent a entièrement disparu lorsque débute la simulation.

Les quantités de nitrates comprises dans les couches 40-60 cm, 80-100 cm et 140-200 cm ont été déterminées en multipliant les concentrations mesurées par les volumes d'eau simulés. Les valeurs intermédiaires ont été interpolées linéairement alors que l'extrapolation pour les couches de surface a été basée sur l'augmentation de l'azote total mesuré par Lafrance et al. (1990) à l'été 1989.

La quantité d'ammonium contenue dans le sol au départ est basée sur le ratio nitrate/ammonium. Ce ratio a été fixé à 10 (Jansson, 1990b).

La quantité d'azote organique dans le sol a été évaluée à partir des mesures d'azote total effectuées par Lafrance et al. (1990). Les mesures ont permis de déterminer directement les quantités d'azote présentes dans les couches 0-20 cm et 40-60 cm. La valeur de la couche 20-40 cm résulte de l'interpolation linéaire des couches avoisinantes. Les couches 60-80 cm et 80-100 cm ont quant à elles été posées de façon à ce que les concentrations en nitrates simulées concordent aux valeurs mesurées à 100 cm.

FORME D'AZOTE	PROFONDEUR EN cm						
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-140	140-200
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.800	0.650	0.490	0.420	0.360	0.650	0.860
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.080	0.065	0.049	0.042	0.036	0	0
humus	600.0	480.0	360.0	100.0	50.0	0	0

Tableau 3.7: Quantité d'azote (g N/m<sup>2</sup>) présent dans le sol au début de la simulation.



## 4 RÉSULTATS

### 4.1 MESURES DE TERRAIN

Au cours de l'été et de l'automne 1990, des échantillons d'eau provenant de la zone non-saturée du site de St-Augustin ont été prélevés à l'aide de lysimètres avec tension. Les échantillons ont été analysés par chromatographie ionique et par la méthode technicon pour déterminer respectivement les concentrations en nitrates et en ammonium. Des collecteurs ont aussi été utilisés afin de mesurer les volumes d'eau percolant dans le sol. Les résultats des analyses sont présentés sous forme graphique donnant l'ensemble des mesures pour une profondeur donnée. En ordonnée on a les dates d'échantillonnage données selon le calendrier Julien. Les résultats d'analyse se situant sous la limite de détection ont été utilisés tels quels, sans aucune modification.

#### 4.1.1 CONCENTRATIONS EN NITRATES

Les points représentent les concentrations mesurées en mg N-NO<sub>3</sub>/l. Les lignes correspondent à la moyenne et les traits pointillés à la médiane. Pour les trois profondeurs, les concentrations sont relativement stables en été alors qu'elles augmentent à l'automne. L'augmentation des concentrations se manifeste dans un premier temps à 50 cm, puis à 100 cm et à 150 cm. Les concentrations mesurées vont de moins de 0.5 mg N-NO<sub>3</sub>/l à plus de 70 mg N-NO<sub>3</sub>/l. A 50 cm la médiane atteint un maximum de 40 mg N-NO<sub>3</sub>/l au jour 268, à 100 cm elle est de 19 mg N-NO<sub>3</sub>/l au jour 310 alors qu'elle est de 9 mg N-NO<sub>3</sub>/l à 150 cm au jour 310. Les résultats de toutes les analyses sont présentés à l'annexe J sous forme de tableau.

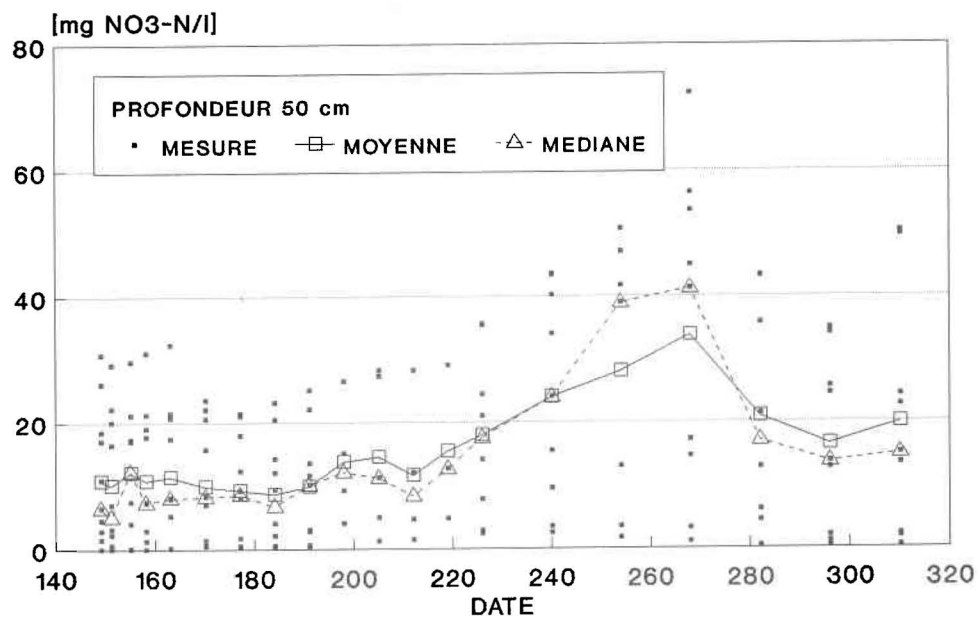


Figure 4.1: Concentrations mesurées en nitrates à 50 cm.

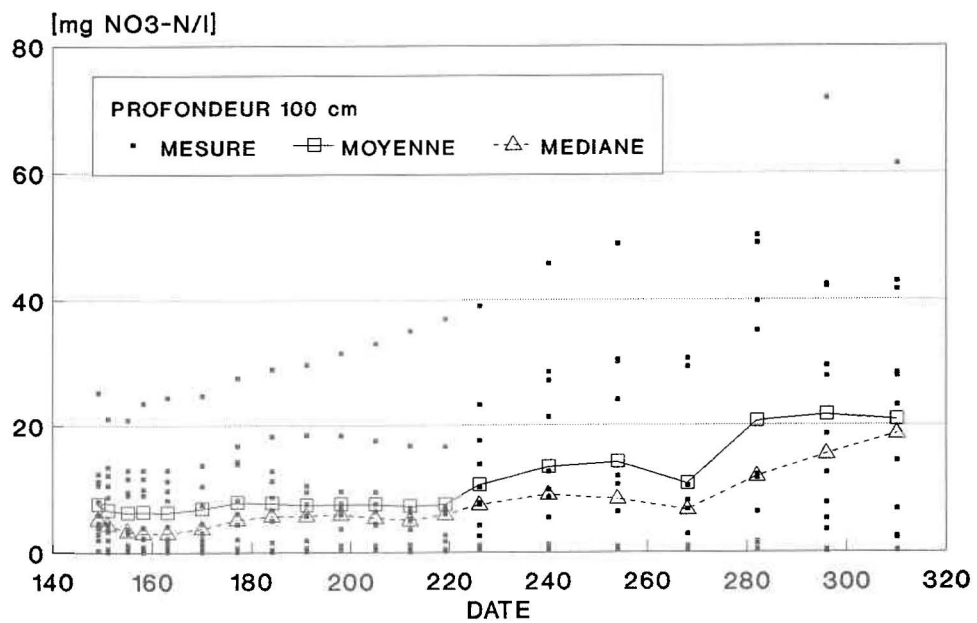
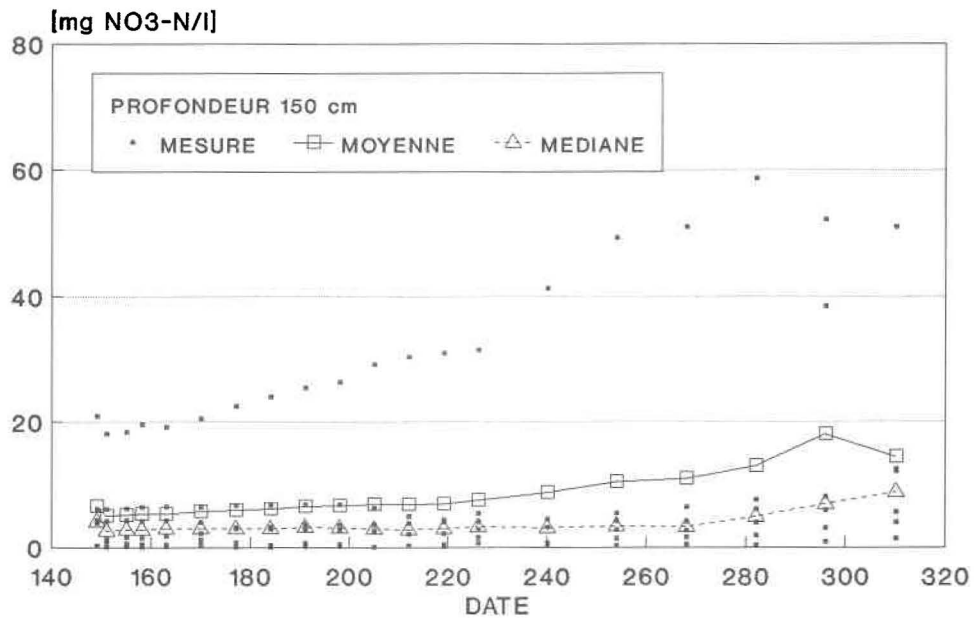


Figure 4.2: Concentrations mesurées en nitrates à 100 cm.



**Figure 4.3:** Concentrations mesurées en nitrates à 150 cm.

#### 4.1.2 CONCENTRATIONS EN AMMONIUM

Les points représentent les concentrations mesurées en  $\mu\text{g N-NH}_4/\text{l}$ . Les concentrations mesurées vont de 1 à  $83 \mu\text{g N-NH}_4/\text{l}$ . La médiane oscille entre 10 et  $40 \mu\text{g N-NH}_4/\text{l}$  à 50 cm et entre 5 et  $20 \mu\text{g N-NH}_4/\text{l}$  à 100 et 150 cm. Contrairement aux nitrates, on n'assiste pas à une augmentation des concentrations en ammonium à l'automne.

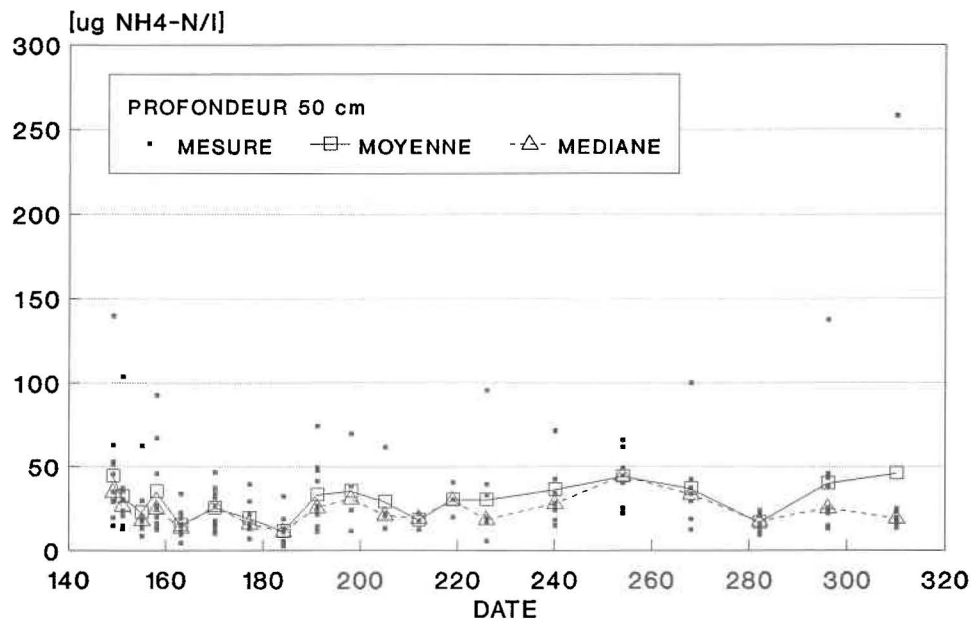


Figure 4.4: Concentrations mesurées en ammonium à 50 cm.

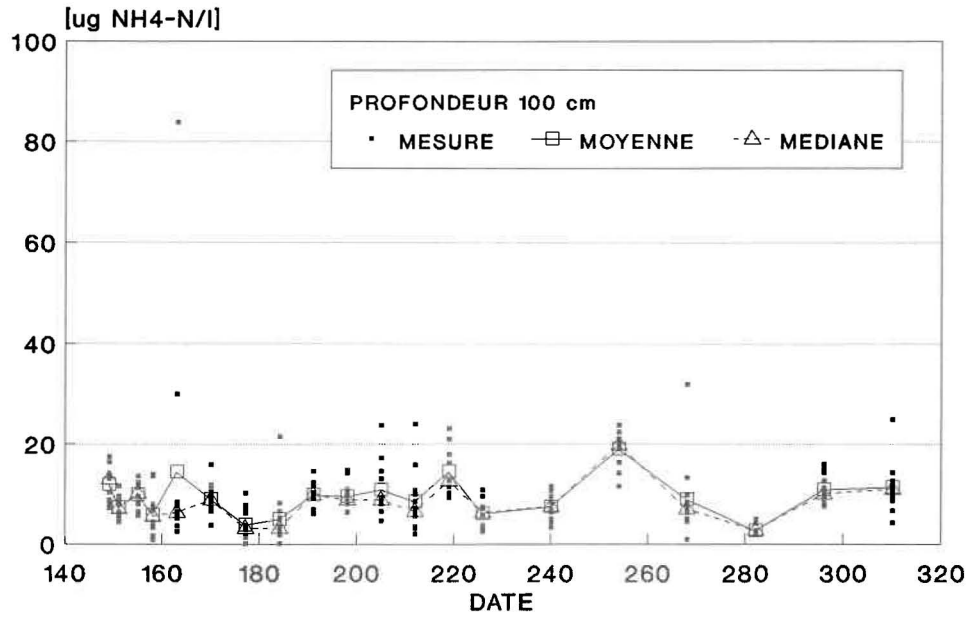


Figure 4.5: Concentrations mesurées en ammonium à 100 cm.

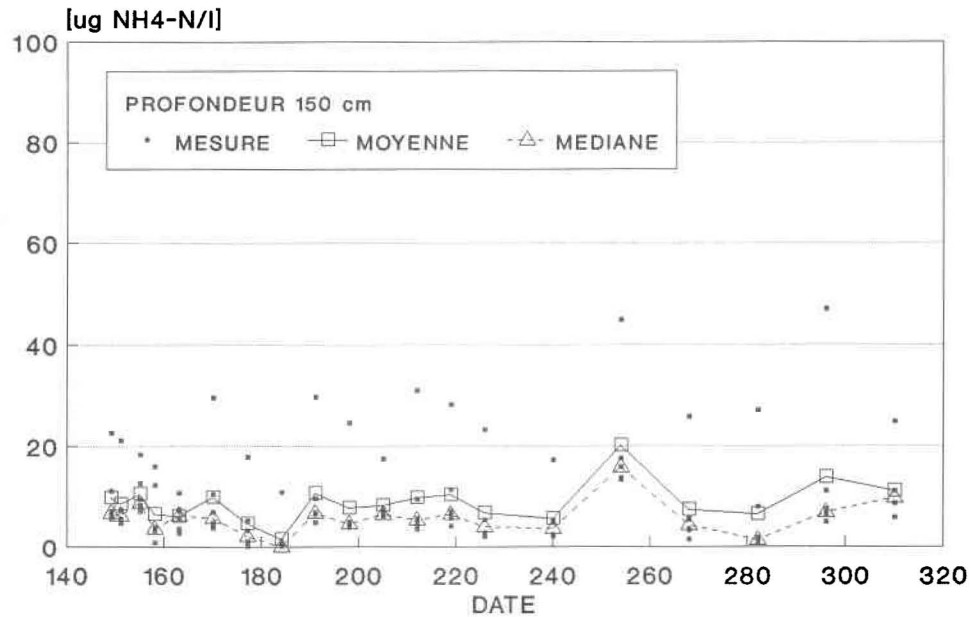
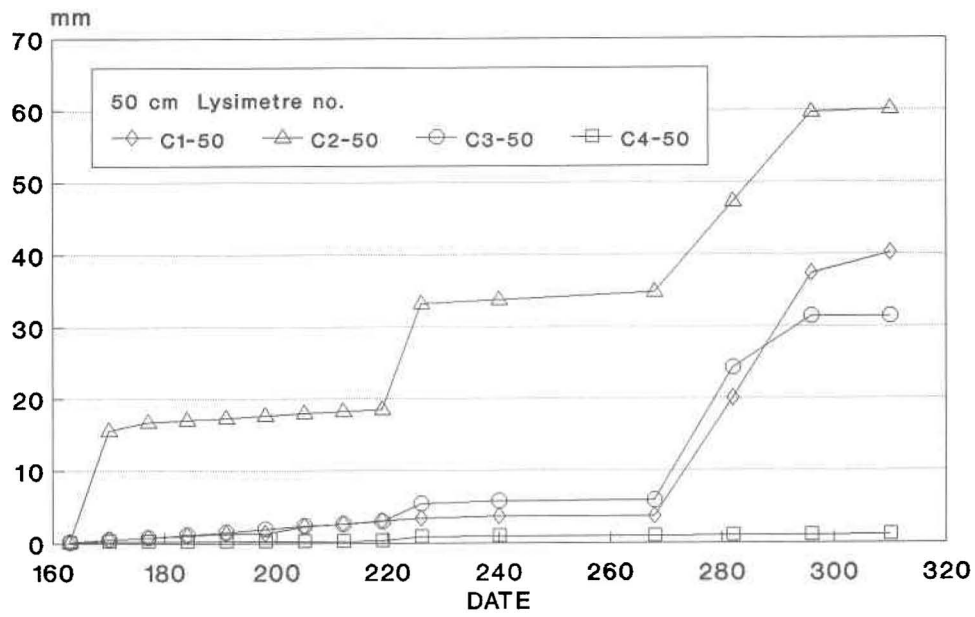


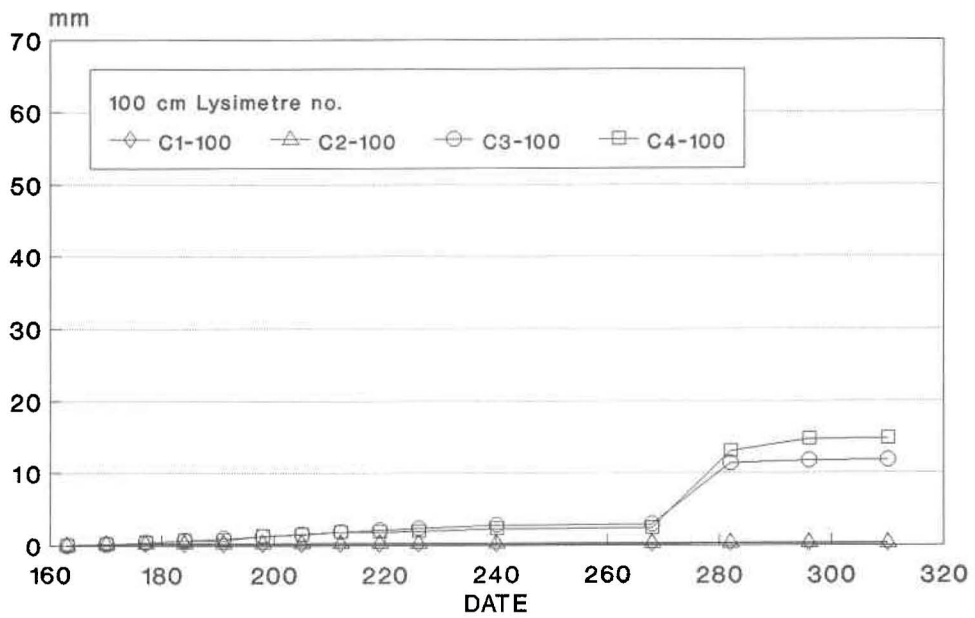
Figure 4.6: Concentrations mesurées en ammonium à 150 cm.

#### 4.1.3 VOLUMES D'EAU RECUEILLIS PAR LES COLLECTEURS

L'infiltration, donnée en millimètre, correspond au volume d'eau mesuré divisé par la surface du collecteur. Pour la période étudiée les volumes cumulés d'eau infiltrés dans les différents collecteurs ont varié entre 31 et 60 mm à 50 cm et entre 12 et 15 mm à 100 cm. Les collecteurs C4-50, C3-100 et C4-100 n'ont pas fonctionnés. Les volumes d'eau les plus importants ont percolé après le jour 268 (25 septembre).



**Figure 4.7:** Volumes cumulés de l'infiltration mesurée à l'aide de collecteurs à 50 cm.



**Figure 4.8:** Volumes cumulés de l'infiltration mesurée à l'aide de collecteurs à 100 cm.

## 4.2 SIMULATION

Les modèles mathématiques SOIL et SOILN ont été utilisés pour simuler les conditions hydrodynamiques et chimiques relatives au site expérimental de Saint-Augustin-de-Desmaures. Les résultats obtenus par les simulations sont présentés sous forme graphique. L'échelle de temps utilisée est le calendrier Julien où le premier janvier correspond au jour 1.

### 4.2.1 RÉSULTATS DU MODELE SOIL

#### A) PRÉCIPITATION:

La Figure 4.9 présente les entrées en eau du modèle. Il s'agit des précipitations mesurées, majorées de 7 % afin de tenir compte des erreurs de mesures engendrées par les facteurs aérodynamiques (Jansson, 1990a).

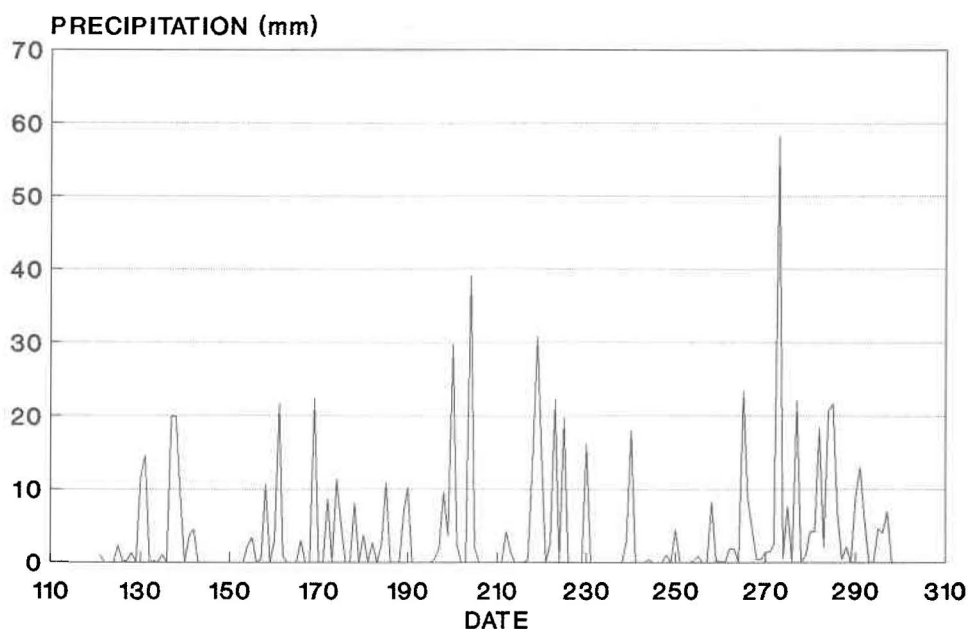


Figure 4.9: Précipitations mesurées majorées de 7 %.

## B) ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE:

La Figure 4.10 présente l'évapotranspiration réelle simulée. Chaque point constitue une valeur moyenne intégrée sur trois jours. On constate que les pertes en eau sont à leur maximum aux mois de juillet et août. Cette période correspond aux températures les plus chaudes de l'été et au stade maximum de croissance du maïs. Les valeurs maximales rencontrées sont de l'ordre de 8 mm par jour.

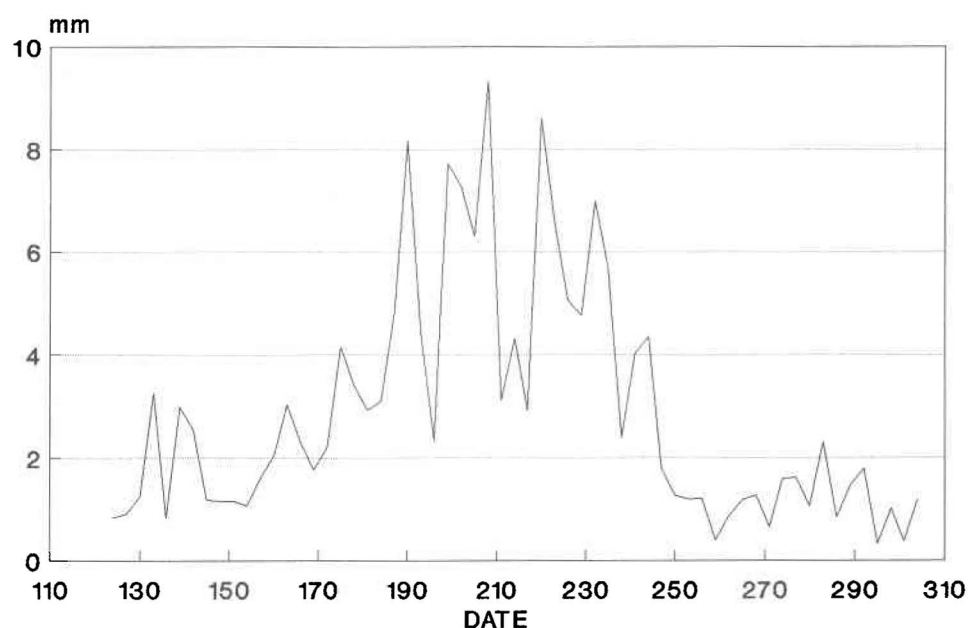


Figure 4.10: Évapotranspiration réelle simulée.

## C) ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE ET PRÉCIPITATIONS CUMULÉES:

Entre les mois de mai et octobre 1990, il est tombé 751 mm de pluie (une fois majoré de 7%) et le maïs a évapotranspiré 529 mm d'eau. L'apport total en eau à la nappe est donc de 222 mm. Au mois de septembre les deux courbes ont la même valeur, ce qui signifie que le sol a perdu autant d'eau qu'il en a reçu. Ce n'est que par la suite que les précipitations viennent excéder l'évapotranspiration réelle pour contribuer à la recharge de la nappe phréatique.



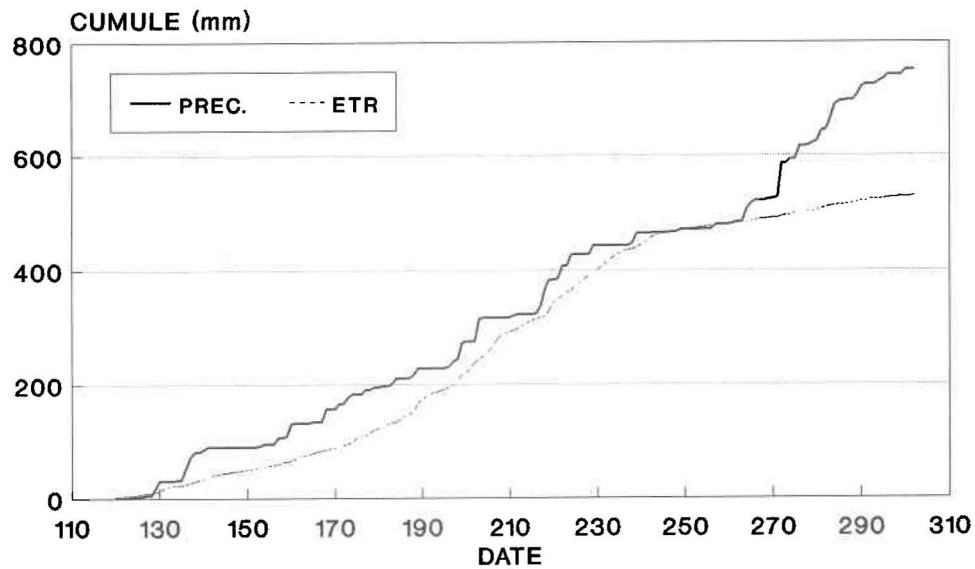
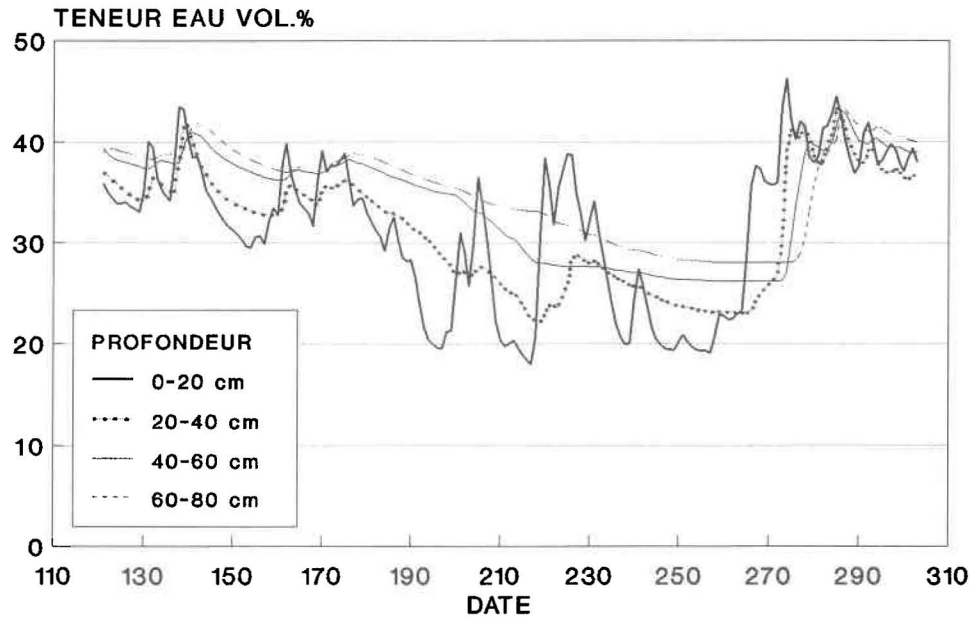


Figure 4.11: Évapotranspiration réelle et précipitation cumulées.

#### D) TENEUR EN EAU:

En regardant l'évolution des teneurs en eau dans le temps, on constate que les horizons supérieurs sont beaucoup plus soumises aux conditions extérieures (précipitations, évapotranspiration) que les couches plus profondes. A partir de 40 cm de profondeur, les variations de la teneur en eau sont plus lentes et ne vont pas sous les 25 %. A l'automne on assiste a une humidification du sol. Le contenu en eau dépasse alors la capacité au champ, ce qui engendre un écoulement.



**Figure 4.12:** Teneur en eau simulée pour les couches comprises dans les premiers 80 cm.

#### E) FLUX D'EAU JOURNALIER ET CUMULÉ:

Le modèle nous renseigne sur les flux d'eau journaliers passant une profondeur donnée. Les trois courbes reflètent une percolation plus importante au début de l'été et à l'automne. On remarque de plus un certain décalage des pics dans le temps en fonction de la profondeur. Ils sont aussi plus étroits et atteignent des valeurs plus élevées en surface. Ces différences indiquent que plus on est près de la surface plus les flux sont reliés aux précipitations. La Figure 4.14 des flux d'eau cumulés nous indique que les volumes d'eau percolés entre mai et octobre sont respectivement de 282 mm, 215 mm, 198 mm et 182 mm pour 20 cm, 60 cm, 100 cm et 140 cm.

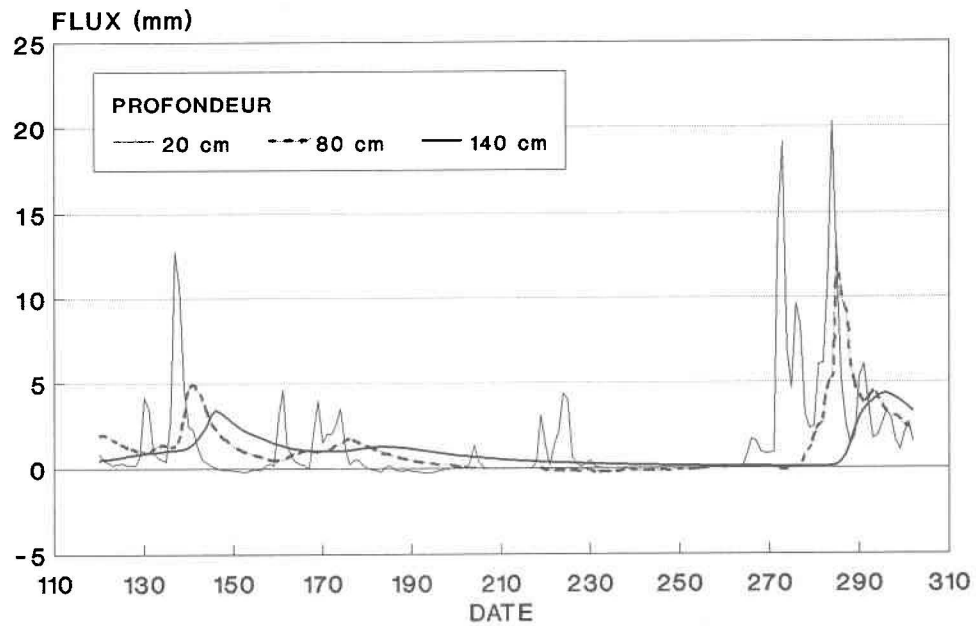


Figure 4.13: Flux d'eau simulé à 20 cm, 80 cm, et 140 cm.

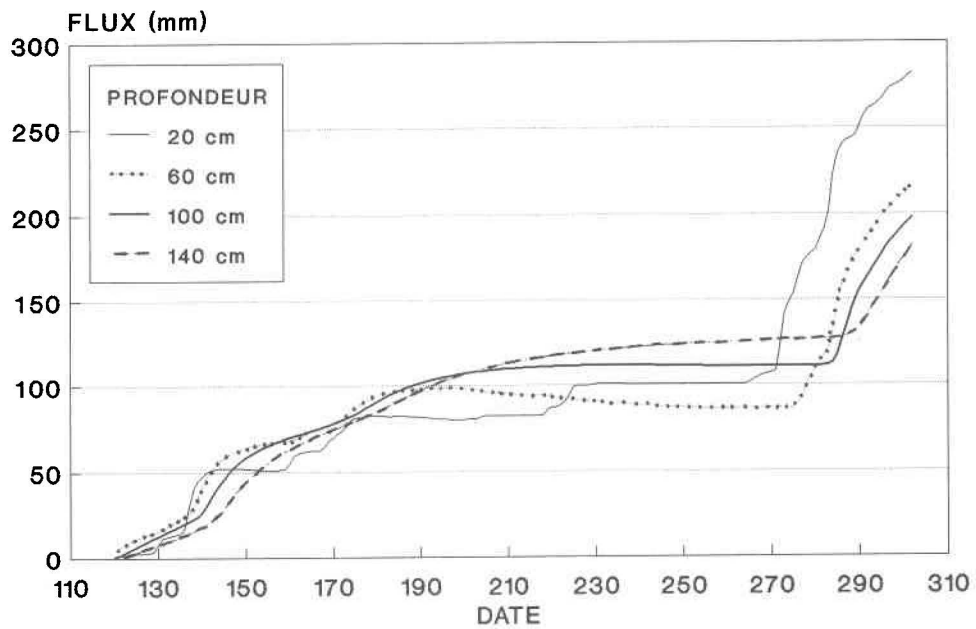


Figure 4.14: Flux d'eau cumulé simulé à 20 cm, 60 cm, 100 cm et 140 cm.

## 4.2.2 RÉSULTATS DU MODELE SOILN

Les résultats sont présentés à l'annexe I sous forme de sommaire. On y retrouve pour chaque variable de sorties les valeurs initiales, finale, minimale, maximale, moyenne et cumulée. Les résultats présentant un plus grand intérêt pour notre étude sont présentés dans cette section-ci. Ils se divisent en trois catégories. Il y a pour les différentes couches modélisées les apports, les pertes et l'état de l'azote inorganique dans le temps.

### A) APPORTS ATMOSPHÉRIQUES:

Les apports atmosphériques regroupent les dépôts secs et humides. Ils sont donnés en  $\text{g N-NO}_3^-/\text{m}^2\text{jour}$  tombant à la surface du sol. Au cours de la période étudiée, un total de  $0.64 \text{ g N-NO}_3^-/\text{m}^2$  est tombé au sol.

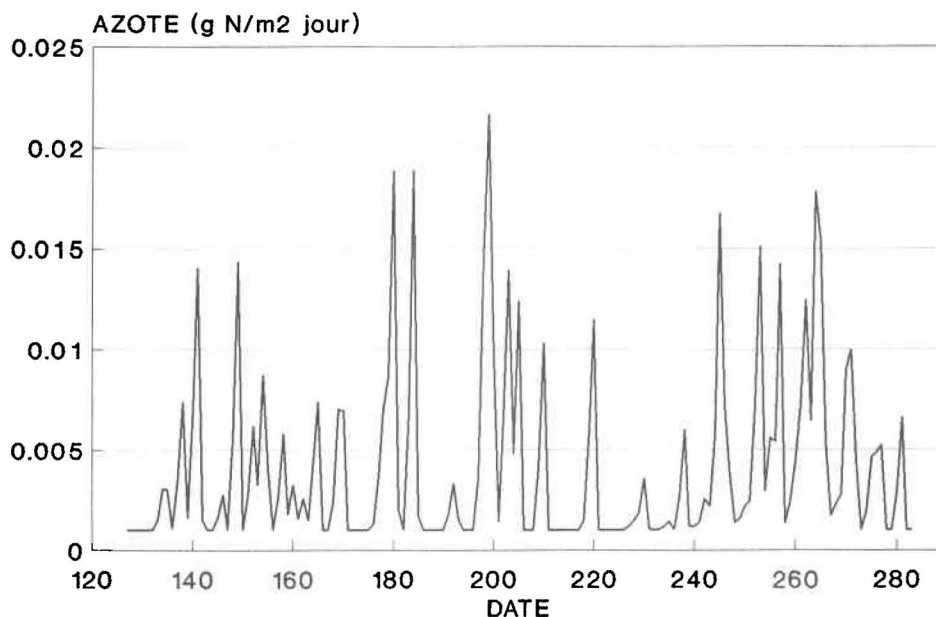


Figure 4.15: Dépositions atmosphériques simulées. Inclus les dépôts secs et humides.

## B) APPORTS PAR FERTILISATION:

Deux fertilisations ont été effectuées au cours de l'été. Une première, de  $4 \text{ g N-NO}_3^-/\text{m}^2$  sous forme de phosphate d'ammonium, a eu lieu le 29 mai et une deuxième de  $9.35 \text{ g N-NO}_3^-/\text{m}^2$  sous forme de nitrate d'ammonium a été effectuée le 26 juillet. Un total de  $13.35 \text{ g N-NO}_3^-/\text{m}^2$  a donc été appliqué au champ.

## C) MINÉRALISATION DE L'HUMUS:

La minéralisation est le passage de l'azote de la forme organique à la forme inorganique. Celle-ci décroît en fonction de la profondeur. Les taux maximums ont eu lieu aux mois de juillet et août. Le Tableau 4.1 présente pour chaque couche la quantité totale d'azote minéralisé. Les fortes valeurs de minéralisation obtenues entre 20 et 60 cm de profondeur sont associées au taux de matière organique très élevé pour ces profondeurs.

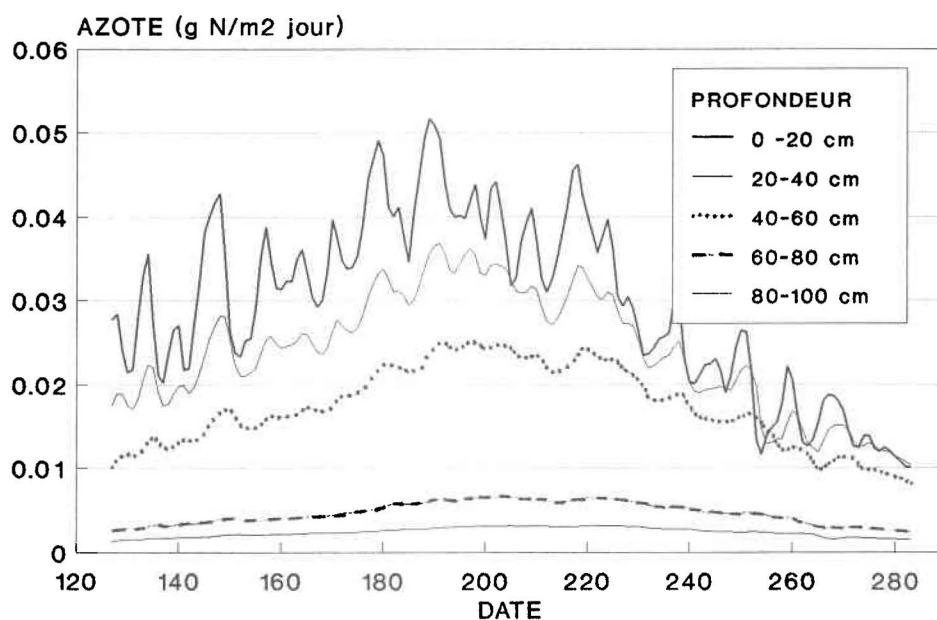


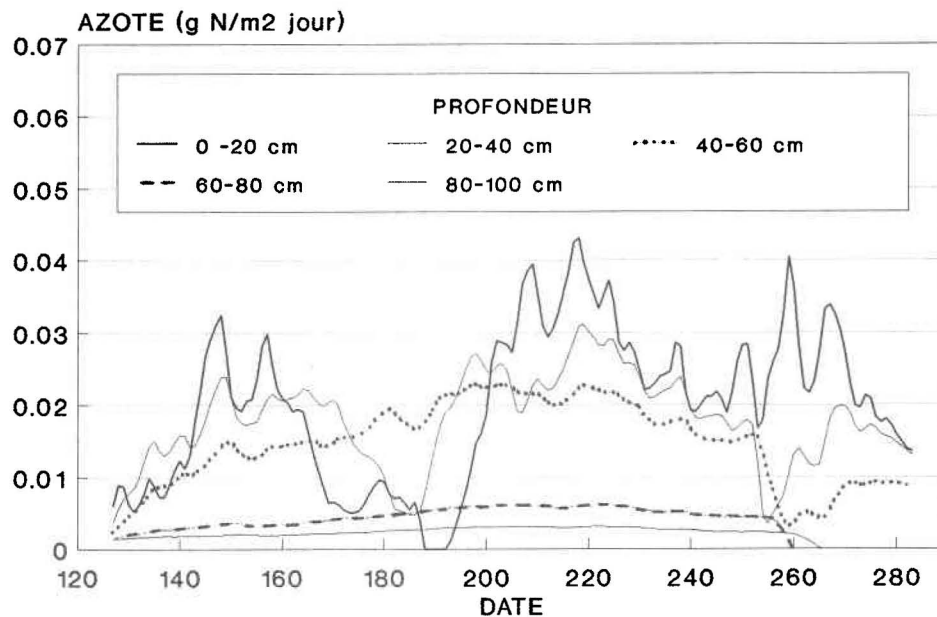
Figure 4.16: Minéralisation simulée de l'humus dans le premier mètre de sol.

PROFONDEUR EN CM	MINÉRALISATION g N/m <sup>2</sup>
0-20	4.65
20-40	3.75
40-60	2.73
60-80	0.74
80-100	0.38
TOTAL	12.25

**Tableau 4.1:** Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote minéralisée pour les différentes couches de sol.

#### D) NITRIFICATION:

La nitrification est le passage de la forme  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ . La quantité totale de nitrates formé par nitrification décroît avec la profondeur. Le Tableau 4.2 présente pour les différentes profondeurs la quantité totale d'azote nitrifié. Les fortes valeurs de nitrification obtenues entre 20 et 60 cm de profondeur sont associées au taux de matière organique très élevé pour ces profondeurs.



**Figure 4.17:** Nitrification simulée de l'azote dans le premier mètre de sol.

PROFONDEUR EN CM	NITRIFICATION g N/m <sup>2</sup>
0-20	3.15
20-40	2.81
40-60	2.32
60-80	0.60
80-100	0.33
TOTAL	9.22

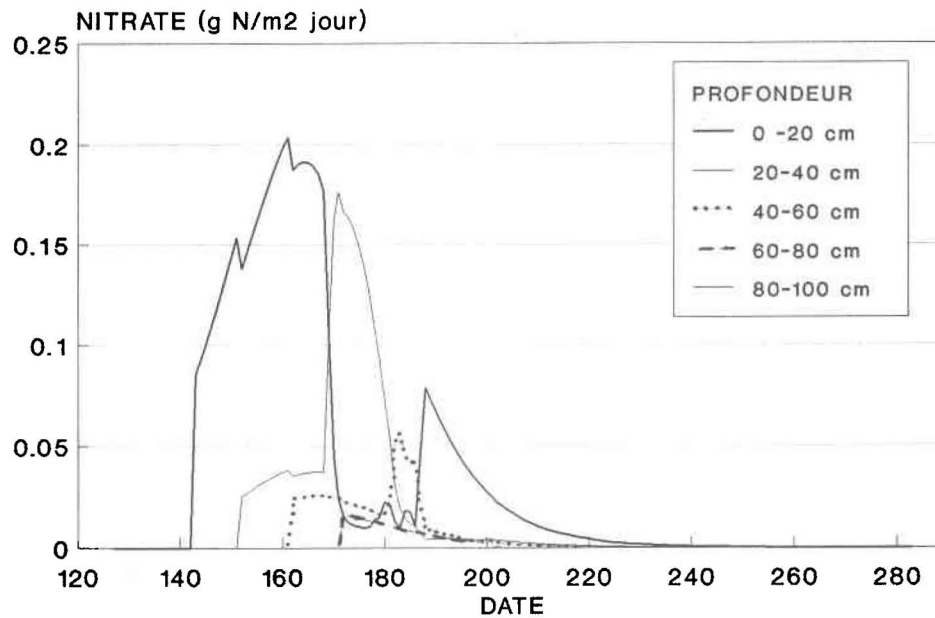
**Tableau 4.2:** Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote nitrifiée pour les différentes couches de sol.

#### E) PRÉLEVEMENT EN NITRATES PAR LES PLANTES:

La demande potentielle en azote a été fixée arbitrairement à 120 kg N/ha (A.F.E.Q., 1987). Le prélèvement réel a été réparti suivant un modèle logistique (section 3.3.3-B). Le taux de prélèvement en nitrates a atteint un maximum de 0.20 g N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> jour vers la fin juin. La répartition du prélèvement entre les différentes couches est fonction du pourcentage relatif de racine dans la couche. L'azote est puisé par les plantes dans la couche 0-20 cm (70 % des racines) jusqu'à ce que la quantité disponible chute, la plante réoriente alors sa demande vers la couche inférieure et ainsi de suite. Le Tableau 4.3 présente la quantité totale d'azote, sous forme nitrate, puisée dans les différentes couches de sol. Les plantes ont prélevé au total 11.0 g N/m<sup>2</sup> (ammonium + nitrate).

PROFONDEUR EN CM	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> PUISÉ PAR LES PLANTES (g N/m <sup>2</sup> )
0-20	5.45
20-40	2.45
40-60	0.81
60-80	0.25
80-100	6.2E-4
TOTAL	8.96

**Tableau 4.3:** Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote, sous forme nitrates, prélevée par les racines pour chaque couches de sol.



**Figure 4.18:** Simulation du prélèvement en nitrates par les plantes dans le premier mètre de sol.

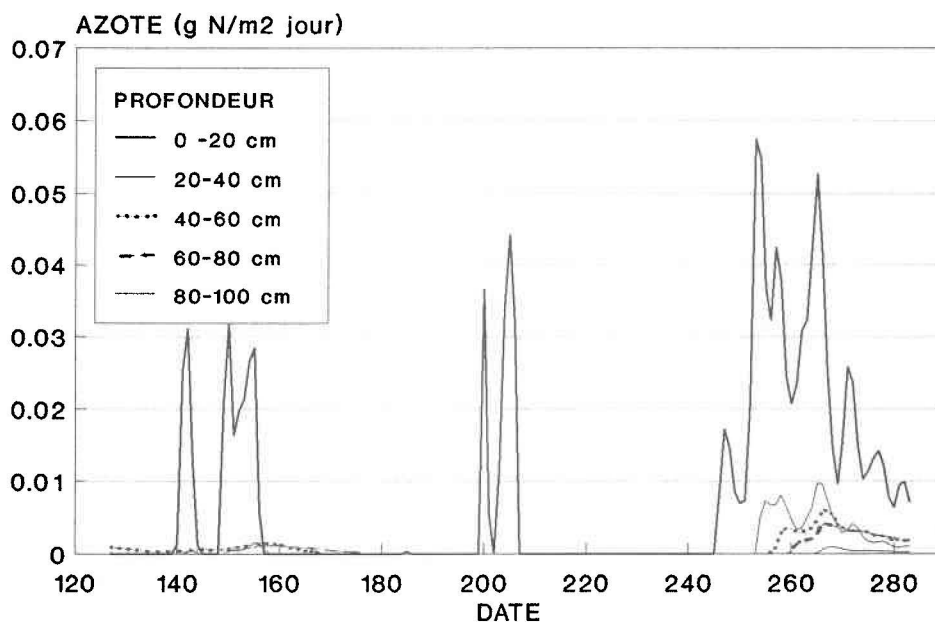
#### F) PERTES PAR DÉNITRIFICATION:

Les pertes par dénitrification reflètent les conditions anaérobies du sol. On retrouve à l'occasion ces conditions dans les couches de surface après de fortes pluies. La simulation nous indique que près de 80 % de la dénitrification se produit dans la couche 0-20 cm.



PROFONDEUR EN CM	DÉNITRIFICATION (g N/m <sup>2</sup> )
0-20	1.25
20-40	1.34E-1
40-60	1.14E-1
60-80	9.37E-2
80-100	8.58E-3
TOTAL	1.60

**Tableau 4.4:** Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote dénitrifiée pour les différentes couches de sol.



**Figure 4.19:** Dénitrification simulée dans le premier mètre de sol.

### G) PERTES PAR LESSIVAGE:

Les pertes par lessivage sont calculées en multipliant la concentration en nitrates par le flux d'eau. Les pertes sont évaluées pour chaque couche de sol. Le lessivage se produit majoritairement à l'automne, au moment où les flux sont les plus importants. Le Tableau 4.5 présente la quantité de nitrates perdu par lessivage pour chacune des couches modélisées alors que le tableau 4.6 présente l'azote minéral résiduel à l'automne exposé au lessivage du printemps.

PROFONDEUR EN CM	PERTES PAR LESSIVAGE (g N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /m <sup>2</sup> )
0-20	11.20
20-40	9.44
40-60	7.45
60-80	4.44
80-100	2.69
100-140	1.13

**Tableau 4.5:** Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote perdue par lessivage pour les différentes couches de sol.

PROFONDEUR EN CM	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g N/m <sup>2</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g N/m <sup>2</sup> )
0-20	0.33	1.06
20-40	0.34	2.62
40-60	0.33	3.88
60-80	0.15	3.68
80-100	0.08	2.44
100-140	0.00	2.20

**Tableau 4.6:** Résultats de simulation présentant la quantité totale d'azote minéral résiduel à la fin de la simulation pour les différentes couches de sol.

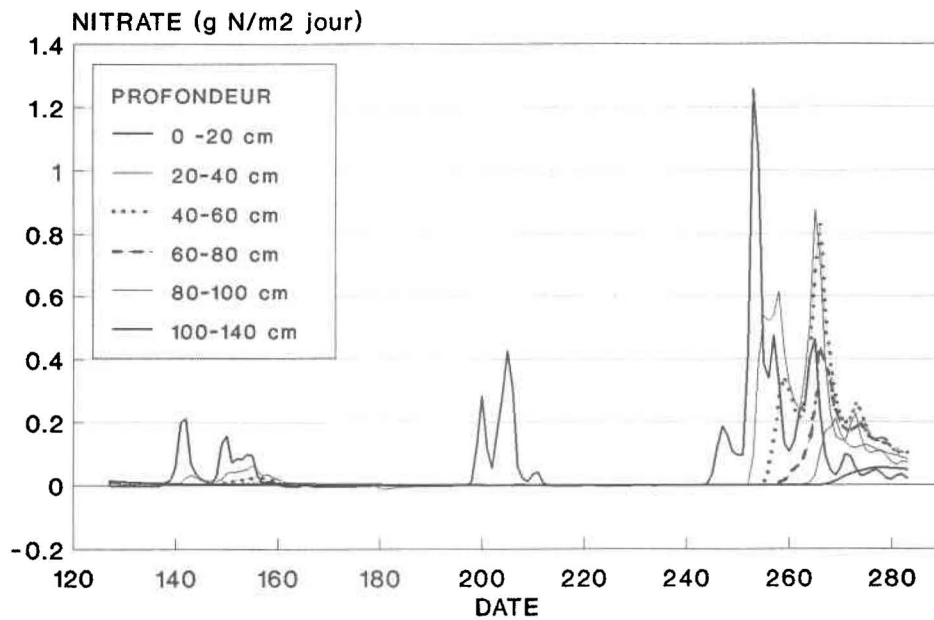


Figure 4.20: Lessivage simulé des nitrates en fonction de la profondeur.

#### H) CONCENTRATION EN NITRATES:

Les concentrations fournies par le modèle sont exprimées en mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l. Le modèle indique que plus les couches sont près de la surface plus les concentrations en nitrates sont élevées. Pour les trois courbes on note une augmentation des concentrations à l'automne. Elles atteignent respectivement 58.0, 34.3 et 4.6 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l à 50, 100 et 150 cm.

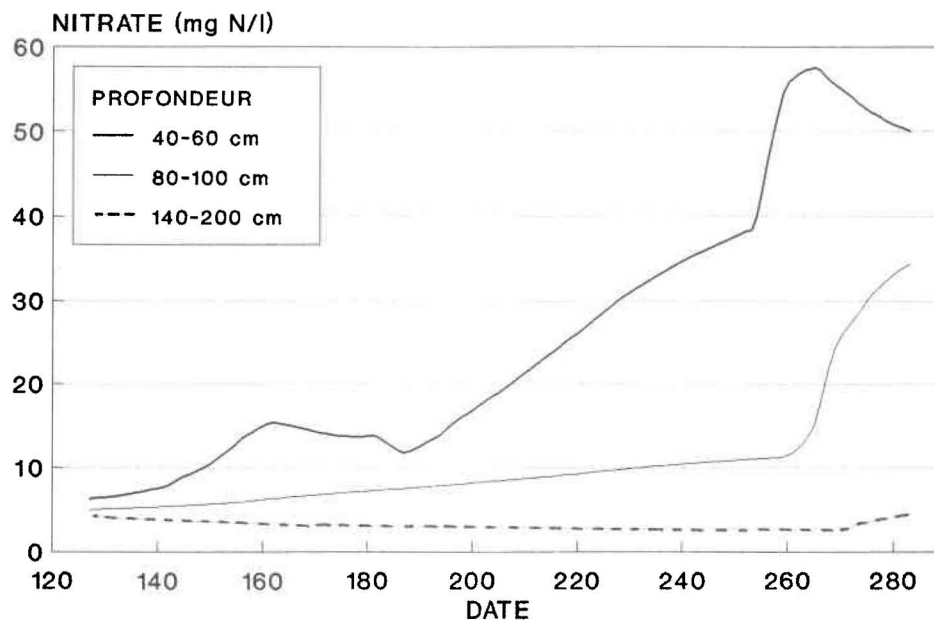


Figure 4.21: Concentration en nitrates simulée.

## **5 DISCUSSION**

### **5.1 CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE**

#### **5.1.1 VALIDITÉ DES CONCENTRATIONS MESURÉES**

L'objectif de la campagne d'échantillonnage était d'obtenir une représentation la plus exacte possible des concentrations en nitrates dans les eaux interstitielles du sol. La représentativité des résultats obtenue à l'aide de lysimètres avec tension est mise en doute par certains auteurs (Barbee et Brown, 1986; England, 1974). Malgré les critiques, cette technique peu coûteuse et facilement utilisable, est très répandue (Gold et al., 1990; Rhoades et Oster, 1986; Silkworth et Grigal, 1981), ce qui offre l'avantage de pouvoir comparer nos résultats avec ceux d'autres auteurs. Dans une revue sur les différentes façons d'échantillonner les eaux interstitielles du sol, Litaor (1988) indique qu'il n'y a pas encore de technique universellement applicable, alors que Alberts et al. (1977) concluent que l'échantillonnage à l'aide de lysimètres avec tension est la seule manière pratique d'obtenir une solution interstitielle in situ sur le terrain.

#### **5.1.2 VALIDITÉ DES FLUX D'EAU MESURÉS**

Les volumes d'eau mesurés à l'aide des lysimètres sans tension ne sont présentés qu'à titre indicatif. Ils ne sont pas représentatifs de l'eau s'écoulant par unité de surface au champ, car la présence des lysimètres modifie le patron d'écoulement. L'eau dans le sol se déplace toujours du potentiel le plus élevé vers le plus faible. Or en surface des lysimètres la présence de quartz centimétriques présente de forces capillaires nulles, et le sol naturel en place présente un potentiel de succion. Ainsi, lorsque l'eau arrive à proximité de la surface du lysimètre, où la tension est nulle, elle tend à être déviée vers le sol naturel (Russel et Ewel, 1985; Radulovich et Sollins, 1987). L'écoulement de l'eau à proximité des capteurs n'est donc pas essentiellement verticale.

L'intérêt de ces mesures est qu'elles représentent une valeur de flux minimum. Il n'est pas possible d'affirmer que le volume capté représente un pourcentage donné de l'eau s'écoulant dans le sol, car le patron d'écoulement change en fonction de la teneur en eau présente dans le sol.

### **5.1.3 VARIABILITÉ SPATIALE DES RÉSULTATS**

En examinant les résultats présentés aux Figures 4.1 à 4.6, on constate que pour une même profondeur et pour une même date, les concentrations obtenues sont très étalées. Cette variabilité spatiale des concentrations en nitrates mesurées peut s'expliquer par l'hétérogénéité texturale du sol et par l'hétérogénéité des conductivités hydrauliques de celui-ci. Il y a plus d'un ordre de grandeur entre les faibles et les fortes valeurs. Cette variabilité spatiale rend difficile le choix d'une concentration représentative. Le nombre d'échantillons (12 dans le meilleur des cas) ne permet pas de déterminer une loi statistique caractérisant notre population. Certains auteurs (Biggar et Nielsen, 1976; Gold et al., 1990) mentionnent que les concentrations en zone non-saturée ont une distribution log-normale, ce qui nous a été impossible de vérifier. Dans le but d'enlever du poids aux valeurs extrêmes (Dixon, 1986), la médiane a été retenue à la place de la moyenne arithmétique comme valeur représentative de notre population.

### **5.1.4 VARIABILITÉ TEMPORELLE DES RÉSULTATS**

L'évolution des concentrations en nitrates dans le temps est présentée aux Figures 4.1 à 4.3. Il est admis que les concentrations en azote dans les couches de surface croissent au maximum suite aux fertilisations et qu'elles diminuent en été à cause des prélèvements de la récolte et augmentent à nouveau à l'automne après la récolte. L'échantillonnage d'eau interstitielle le plus près de la surface a été réalisé à 0.5 m de profondeur. Les concentrations en nitrates mesurées (Figure 4.1) oscillent légèrement au cours de l'été et augmente brusquement à l'automne. L'absence d'augmentation des concentrations suite aux fertilisations témoigne de l'été sec de 1990, ainsi l'azote de surface n'a pas migré jusqu'à 0.5 m de profondeur. Plus en profondeur, un examen de l'évolution des concentrations en nitrates dans le temps (Figures 4.2 et 4.3) indique qu'elles sont relativement stables en été et

qu'elles augmentent à l'automne. Cette observation est d'ailleurs mentionnée par divers auteurs (Cameron et Haynes, 1986; Hallberg, 1989). L'augmentation des concentrations se produit dans un premier temps à 0.5 m (jour 219), puis à 1.0 m (jour 226) et finalement à 1.5 m (jour 282). Ce décalage dans le temps reflète bien que les nitrates mesurés proviennent de la surface et s'écoulent en suivant un patron d'écoulement de haut en bas (Legg et Meisinger, 1982). Les concentrations en ammonium (Figures 4.4 à 4.6) sont quant à elles relativement stables tout au long de la campagne d'échantillonnage.

## **5.2 SIMULATION**

### **5.2.1 SOIL**

Les résultats obtenus à l'aide du modèle SOIL sur le régime hydrodynamique donnent des valeurs raisonnables compte tenu de la localisation et du type de culture. Dans cette étude, il n'a cependant pas été possible de confronter les résultats de simulation à des mesures de terrain. En fait, il n'existe pas de moyen simple d'évaluer avec fiabilité sur le terrain les flux de l'eau se produisant à diverses profondeurs. Ces derniers étant le facteur responsable du transport des nitrates hors de la zone racinaire.

#### **A) ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE:**

L'évapotranspiration réelle cumulée (Figure 4.11) entre les mois de mai et octobre est de 529 mm. Pour cette même période, l'évapotranspiration potentielle compilée à partir des sommaires agrométéorologiques mensuels préparés par Environnement Canada est de 497.4 mm. En comparant ces données sur une base journalière on constate qu'au début de l'été, avant l'arrivée de la végétation, l'évapotranspiration potentielle est supérieure à l'évapotranspiration réelle. Au cours de la saison, l'apparition du maïs qui a un pouvoir de transpiration plus élevé que la surface de gazon retenue pour l'évapotranspiration potentielle, inverse cette tendance de sorte que sur la période simulée les deux valeurs sont à peu près équivalentes.

Le taux maximal d'évapotranspiration (Figure 4.10) se produisant lorsque les conditions agronomiques et météorologiques sont favorables est de l'ordre de 8 mm/jour correspondant aux valeurs mentionnées dans la littérature (Rhoads et Bennett, 1990).

#### B) RECHARGE DE LA NAPPE:

L'examen des courbes cumulées d'évapotranspiration et des précipitations (Figure 4.11) nous révèle qu'au cours de la période estivale les pertes et les gains en eau avec l'atmosphère sont équivalents. Ce n'est qu'à l'automne que les précipitations excèdent l'évapotranspiration. Le modèle évalue pour cette période, mai à septembre, un surplus de 222 mm d'eau. Cette valeur est comparable aux 200 mm obtenus (à partir des sommaires agrométéorologiques mensuels préparés par Environnement Canada) en soustrayant l'évapotranspiration (somme des totaux mensuels égale 500 mm) des précipitations (somme de totaux mensuels égale 700 mm).

#### C) TENEUR EN EAU:

L'évolution de la teneur en eau dans le profil de sol n'a pas été contrôlée sur le terrain, sauf à une occasion. A ce moment, le 10 octobre 1990, des échantillons prélevés à différentes profondeurs ont donné une teneur en eau volumétrique relativement uniforme de 33 % entre 25 cm et 115 cm (Gauthier, 1990). A cette date les teneurs en eau simulées sont elles aussi assez uniformes et de l'ordre de 37 %.

L'évolution des teneurs en eau simulées (Figure 4.12) dans le temps nous indique que les horizons de surface sont beaucoup plus sensibles aux conditions extérieures (précipitations, évapotranspiration...) que les couches plus profondes. De plus, le graphique des teneurs en eau révèle un assèchement progressif du sol au cours de l'été, suivi d'une humidification à l'automne.

## D) FLUX DE L'EAU DANS LE SOL:

Les Figures 4.13 et 4.14 nous indiquent que la majeure partie de l'écoulement de l'eau dans le sol se produit au mois de mai et à l'automne. On constate de plus qu'en réponse à de fortes précipitations, les pics de flux sont décalés dans le temps en fonction de la profondeur et sont aussi plus aigus en surface.

### 5.2.2 SOILN

#### A) BILAN DE L'AZOTE DANS LE SOL:

Une façon d'évaluer les résultats du modèle SOILN est d'effectuer le bilan en azote total au niveau des différentes couches simulées. Dans cette étude les pertes en azote se produisent par: 1) prélèvement par les plantes, 2) dénitrification, et 3) lessivage des nitrates vers les couches sous-jacentes. Les gains proviennent, pour la couche de surface, des dépôts secs et humides provenant de l'atmosphère et 2) des fertilisations alors que pour les autres couches ils résultent 3) du lessivage des nitrates de la couche supérieure.

Le Tableau 5.1 résume, pour le premier mètre de sol, l'ensemble des apports et des pertes survenus au cours de la période étudiée. Pour les 5 premières couches (0 à 100 cm) une perte nette de 1.36 g N/m<sup>2</sup> a été enregistrée. Les réserves d'azote ont diminué dans les couches de surface (0 à 40 cm) alors qu'elles ont augmenté dans les horizons plus profonds.



APPORTS ET PERTES EN AZOTE POUR CHAQUE COUCHE EN g N/m <sup>2</sup>	PROFONDEURS (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
<b>APPORTS:</b>					
atmosphériques	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
fertilisations	13.35	0.00	0.00	0.00	0.00
lessivage	0.00	11.20	9.44	7.45	4.44
<b>PERTES:</b>					
prélève. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> plantes	1.25	0.67	0.13	0.03	0.00
prélève. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> plantes	5.45	2.45	0.81	0.25	0.00
dénitrification	1.25	0.13	0.14	0.09	0.01
lessivage	11.20	9.44	7.45	4.44	2.69
<b>TOTAL:</b>					
apports - pertes	-5.16	-1.49	0.91	2.64	1.74

**Tableau 5.1:** Bilan de l'azote simulé dans les couches composant le premier mètre de sol.

Les gains et les pertes nets de chaque couche peuvent s'expliquer de la façon suivante: 1) Les pertes dans les horizons de surface résultent de l'important prélèvement des plantes dans ces couches. Il est permis d'anticiper qu'à l'automne, suite à la récolte, les racines vont se décomposer et libérer l'azote nécessaire pour combler le déficit. 2) Les gains dans les horizons plus profonds proviennent du lessivage des nitrates de la surface vers les profondeurs. Au printemps suivant, la fonte des neiges entraînera vers les profondeurs une partie de l'azote et contribuera à rétablir les conditions de départ.

Le bilan de l'azote dans le sol permet de mettre en évidence la capacité qu'a le modèle à reproduire l'équilibre atteint au champ. De plus, les changements anticipés pour une simulation basée sur un cycle annuel complet contribueraient à améliorer d'avantage les résultats obtenus au niveau du bilan.

### 5.3 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS EN NITRATES SIMULÉES ET OBSERVÉES

Rappelons que l'objectif principal de cette étude est d'évaluer les capacités du modèle à prévoir l'évolution des concentrations en nitrates dans un profil de sol pour des conditions québécoises. Pour ce faire, les travaux ont consisté à réaliser une application de type gestion (plusieurs paramètres étant tirés de la littérature) des modèles SOIL et SOILN.

La concordance des concentrations observées et simulées est très bonne entre les mois de mai et septembre alors que les différences deviennent plus importantes au mois d'octobre. Comme il ne s'agit pas d'une validation (où la totalité des paramètres d'entrées doivent être connus avec exactitude) mais d'une application, la faiblesse des résultats obtenus à l'automne ne peut être imputée au modèle. Elle peut provenir de la non validité des paramètres retenus pour les conditions d'automne.

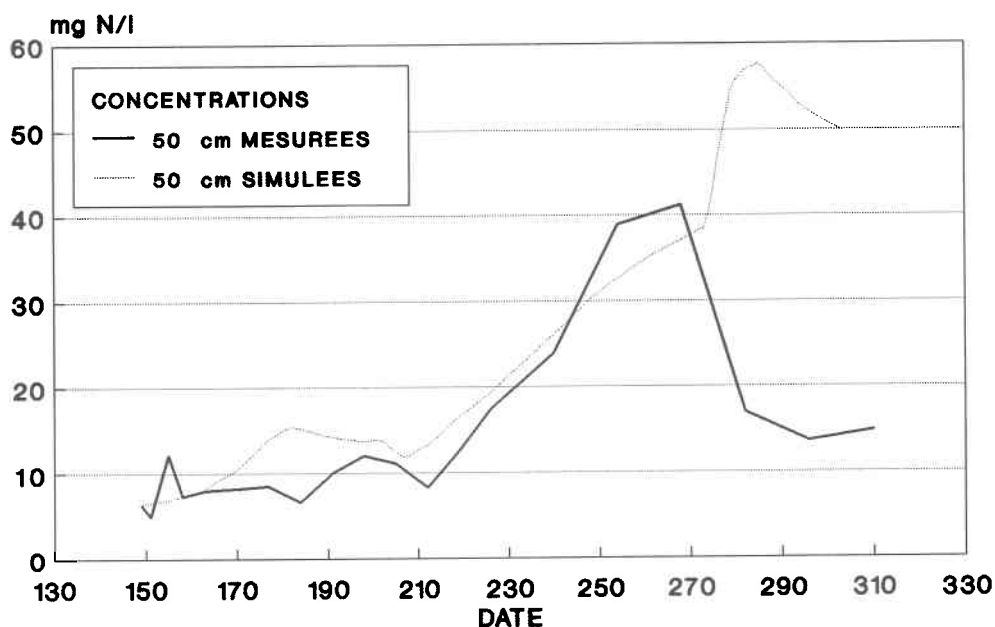
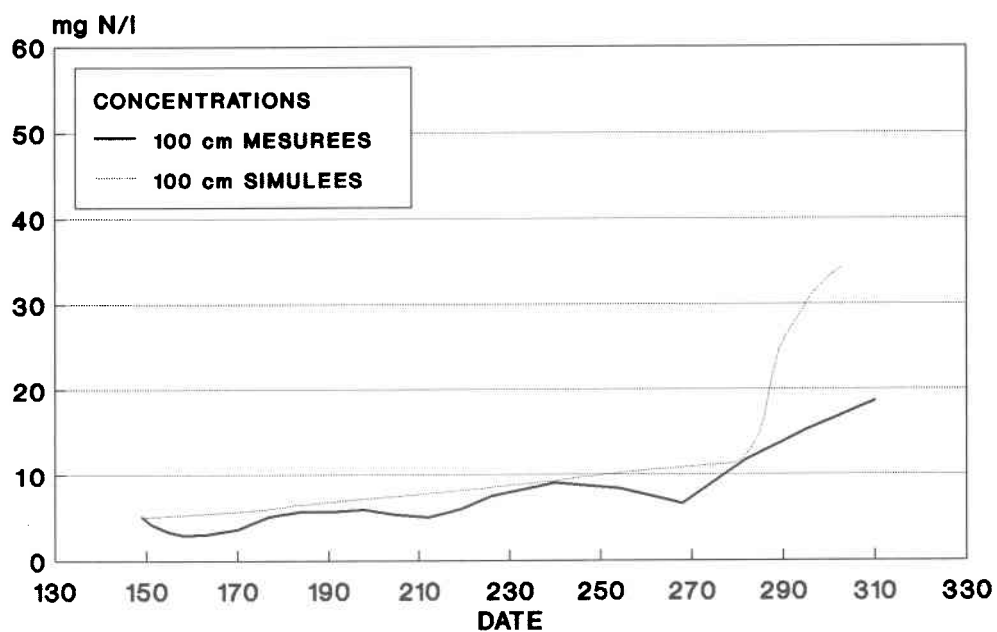
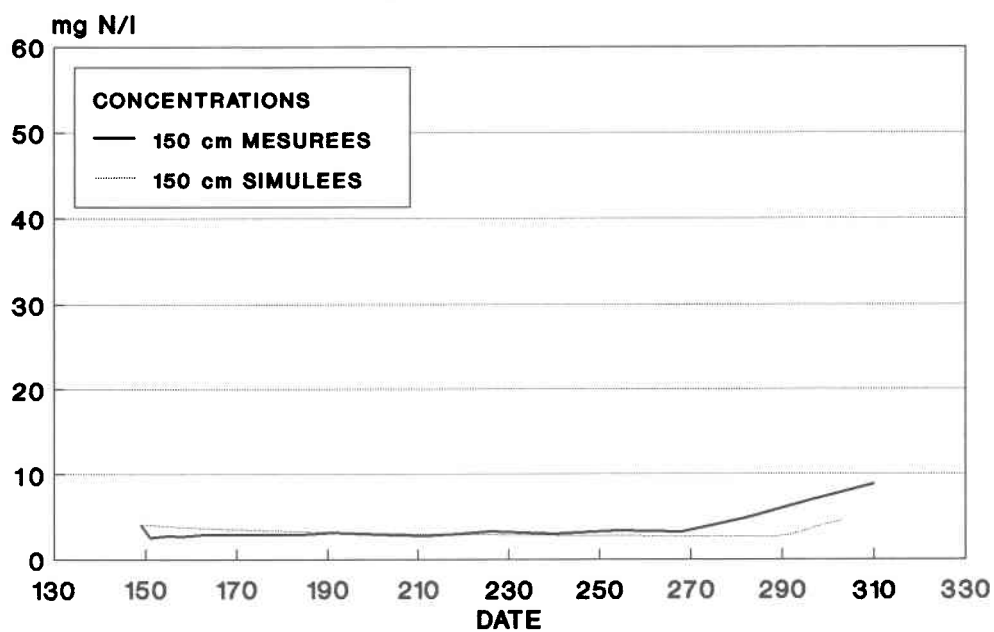


Figure 5.1: Concentrations en nitrates mesurées et simulées à 0.5 mètre.



**Figure 5.2:** Concentrations en nitrates mesurées et simulées à 1.0 mètre.



**Figure 5.3:** Concentrations en nitrates mesurées et simulées à 1.5 mètre.

Malgré les différences observées entre les simulations et les concentrations mesurées au champ il en ressort les points suivants:

**1) Concentrations relatives en fonction de la profondeur.** Dans l'ensemble de la période étudiée le modèle rend bien compte des concentrations relatives en fonction de la profondeur. Ainsi, tout comme il a été observé, le modèle reflète la diminution des concentrations en fonction de la profondeur.

**2) Concentrations maximales atteintes.** La modélisation a eu tendance à surestimer et à retarder les pics de concentration atteints. Les valeurs maximales demeurent néanmoins à l'intérieur de la plage des concentrations mesurées au champ pour les profondeurs de 1 m et 1.5 m. Dans une approche environnementale, la tendance à surestimer les concentrations donne un certain facteur de sécurité dans une utilisation prévisionnelle du modèle, et doit être préférée à la sous estimation.

**3) Évolution des concentrations en nitrates.** Bien que le modèle éprouve certaines faiblesses à l'automne, il est intéressant de remarquer la bonne concordance de l'évolution des concentrations au cours de la période végétative. Entre les mois de mai et septembre le modèle reflète la stabilité des concentrations mesurées à 1.5 m. A 1.0 m il témoigne de la légère augmentation alors qu'à 0.5 m il suit la brusque augmentation observée. Cette dernière s'explique par une diminution du prélèvement par les plantes et par la minéralisation de la matière organique provenant des débris des plantes mortes. La justesse des résultats obtenus dans la période de croissance des plantes fait du modèle un bon outil de gestion agronomique. Il pourrait être utilisé afin d'optimiser les doses et les dates d'application des engrais en vue d'accroître le rendement du maïs tout en diminuant les impacts néfastes reliés à la fertilisation.

#### **5.4 ESSAI DE BILAN ENVIRONNEMENTAL**

Les concentrations en nitrates parvenant à la nappe phréatique varient au cours d'une même saison. Il est cependant permis de supposer qu'avec le temps il y a homogénéisation des concentrations au sein de l'aquifère. Dans une approche environnementale, on s'intéresse alors à la concentration moyenne plutôt qu'aux concentrations journalières.

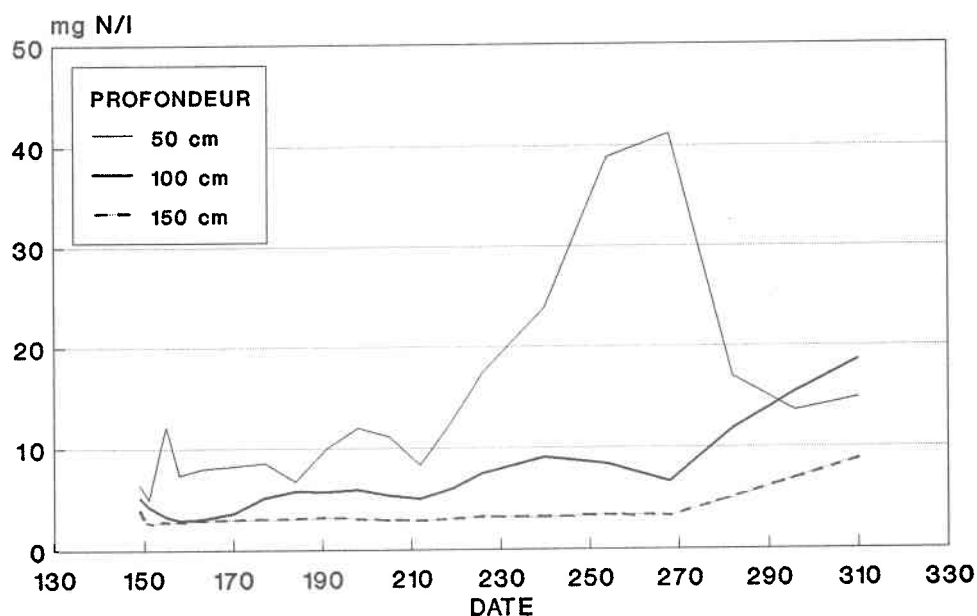
Pour arriver à déterminer s'il y a risque de contamination des eaux souterraines sous le site de St-Augustin, les concentrations mesurées en nitrates ont été couplées aux flux simulés de l'eau dans le sol. Les flux de masse passant une certaine profondeur ont ainsi été obtenus. En intégrant ces flux de masse entre mai et novembre et en les divisant par le volume total d'eau ayant percolé, on arrive à une concentration moyenne représentative de la période étudiée.

Ces calculs reposent sur trois hypothèses. Dans un premier temps, compte tenu de leurs charges négatives, on suppose que les nitrates agissent dans le sol comme un traceur et voyage à la même vitesse que l'eau (Jury et Nielsen, 1989). Deuxièmement, on néglige les phénomènes de diffusion/dispersion. Finalement, on suppose que les nitrates s'échappant de la zone racinaire vont migrer jusqu'à la nappe.

#### **5.4.1 FLUX DE MASSE EN NITRATES**

Le flux de masse des nitrates est calculé en jumelant les concentrations mesurées au mouvement de l'eau simulé. Compte tenu de la grande variabilité spatiale, la médiane a été retenue comme valeur représentative des concentrations mesurées. Ces dernières dépassent la norme de potabilité de 10 mg N-NO<sub>3</sub>/l pour les profondeurs de 0.5 et 1.0 m (Figure 5.4).

Une interpolation linéaire entre chaque mesure de concentration permet d'obtenir des informations journalières que l'on peut associer au flux d'eau simulé (Figure 4.13) afin d'avoir un flux de masse (mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>jour). La Figure 5.5 présente les flux de masse passant 0.5, 1.0 et 1.5 m sur une base journalière. On y remarque que le mouvement des nitrates s'effectue essentiellement à l'automne sur une période d'une trentaine de jours. Les flux de masse augmentent dans un premier temps à 0.5 m puis à 1.0 m et à 1.5 m pour atteindre des valeurs maximales respectives de 252 , 128 et 31 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> jour. La forme, la date et les valeurs maximales des pics caractérisent un écoulement vertical de la surface vers le bas.



**Figure 5.4:** Évolution de la médiane des concentrations mesurées en nitrates à 50, 100 et 150 cm.

Le graphique des flux de masse cumulés révèle pour la période étudiée des valeurs totales de 2118, 1568 et 674 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> à 0.5, 1.0 et 1.5 m. On y voit par ailleurs que la courbe représentant la profondeur 50 cm décroît au cours de l'été. Cette diminution affecte beaucoup la masse cumulée. Elle est causée par l'ascension capillaire résultant d'un assèchement des horizons superficiels.

#### 5.4.2 RISQUE DE CONTAMINATION DE L'AQUIFERE

Le risque de contamination de l'aquifère est fonction de la concentration moyenne en nitrates dans l'eau quittant la zone racinaire. Cette dernière est calculée en prenant la masse totale en nitrates passant une certaine profondeur et en la divisant par le volume d'eau ayant percolé pour la même période.

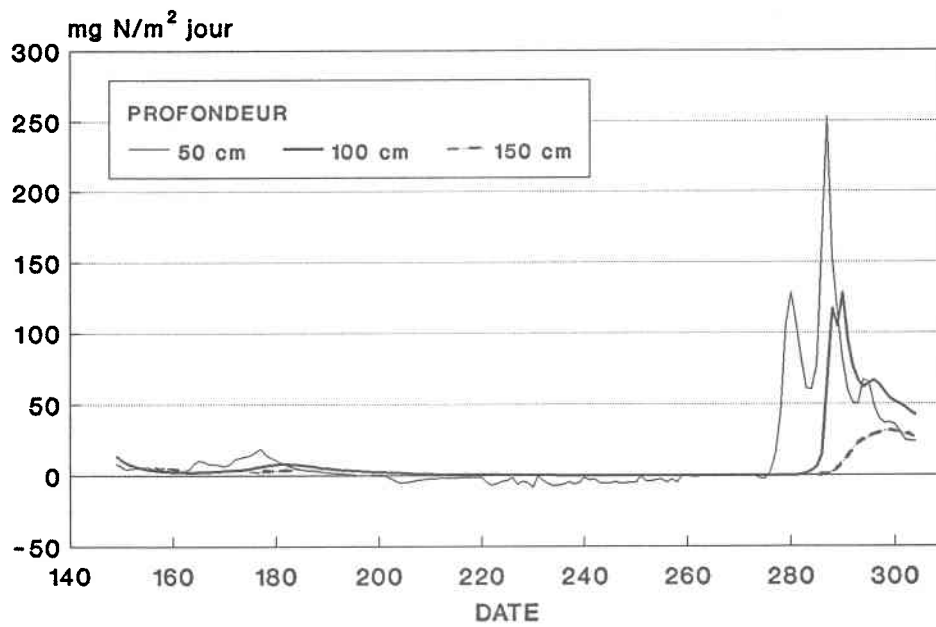


Figure 5.5: Flux de masse en nitrates. Calculé en multipliant les concentrations mesurées par les flux d'eau simulés.

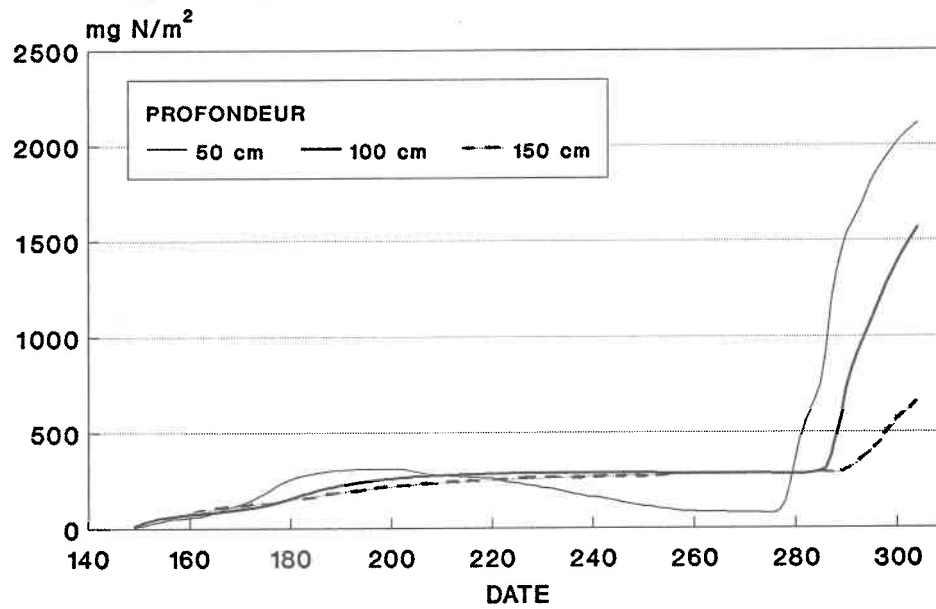


Figure 5.6: Flux de masse cumulé en nitrates.

La concentration moyenne passant 1.5 m (4 mg N-NO<sub>3</sub>/l) est inférieure aux 10 mg N-NO<sub>3</sub>/l permis par la norme. Les valeurs obtenues nous indiquent donc qu'il n'y a pas eu contamination de l'aquifère par les nitrates au cours de la période étudiée. On ne peut cependant affirmer que les pratiques agricoles (maïs, fertilisation, type de sol...) effectuées ne présentent aucun risque pour l'aquifère. En fait, pour en être certain, il faudrait avoir de l'information sur les flux se produisant au printemps suivant l'échantillonnage. Il serait alors possible de déterminer si la fonte de la neige occasionne une dilution des concentrations moyennes ou si au contraire elle génère des concentrations importantes en nitrates par élution des nitrates résultant de la minéralisation.

PROFONDEUR cm	MASSE CUMULÉE mg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>2</sup>	FLUX CUMULÉ mm	[NO <sub>3</sub> ] MOYENNE mg N-NO <sub>3</sub> /l
50	2118	215	10
100	1568	198	8
150	674	182	4

**Tableau 5.2:** Concentration moyenne en nitrates ayant percolés à différentes profondeurs

Cet exercice met en évidence les différences importantes entre les masses cumulées obtenues par les mesures de terrain (et les flux d'eaux simulés) et celles obtenues par la modélisation. Ainsi, le modèle tend à surévaluer les pertes en nitrates d'un facteur 3.5 à 0.5 m et d'un facteur 1.7 à 1.0 m et 1.5 m. Les pertes simulées en nitrates sont respectivement à 0.5 m, 1.0 m et 1.5 m de 7 450 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>, 2 690 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> et de 1 130 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> alors que les pertes obtenues à partir de concentrations mesurées sont de 2 118 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>, 1 568 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> et 674 mg N-NO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> aux mêmes profondeurs. Cet écart entre les deux types de valeurs provient de la surévaluation des concentrations en nitrates obtenue par simulation à l'automne (Figures 5.1 à 5.3). Cette période où les différences de concentrations sont les plus importantes coïncide avec le moment de l'année où il y a recharge de la nappe et a donc un poids majeur dans l'évaluation du flux de masse cumulé en nitrates.



## **5.5 RECOMMANDATIONS POUR LA POURSUITE DES TRAVAUX**

Dans cette étude, plusieurs interrogations demeurent sans réponse. La vérification de certains paramètres ou la réalisation de travaux supplémentaires pourraient aider à les résoudre.

**1) Mesure du profil d'humidité du sol.** La connaissance de ces valeurs permettrait dans un premier temps d'évaluer la validité du modèle pour les teneurs en eau. Dans un deuxième temps, il permettrait d'évaluer par la méthode du bilan hydrique les volumes d'eau percolés dans le sol.

**2) Caractérisation du type et de la quantité d'azote contenue dans le profil initial de sol.** La connaissance de l'état initial s'avère d'une grande utilité dans le cas de simulation de courte durée comme celle de cette étude.

**3) Acquisition d'information sur le devenir de l'azote dans les 40 premiers cm de sol.** Le modèle nous indique que 1) la plus grande influence des facteurs abiotiques (température et teneur en eau), 2) le plus grand pourcentage de racines prélevant l'azote, et 3) la quantité la plus importante de carbone organique ont pour effet de provoquer des variations importantes du stock et de la forme de l'azote dans les horizons supérieurs. Une meilleure connaissance du devenir de l'azote dans cette zone permettrait de mieux vérifier l'applicabilité du modèle SOILN.

**4) Validité des échantillons recueillis par les lysimètres avec tension.** L'applicabilité du modèle est évaluée en comparant les résultats de simulation aux concentrations en nitrates provenant d'échantillons d'eau recueillis à l'aide de lysimètres avec tension. La représentativité des concentrations en nitrates percolant dans le sol obtenues à l'aide de ce type d'échantillonnage devrait être évaluée afin de s'assurer de la bonne évaluation du modèle.

**5) Durée de l'étude.** L'intérêt de cette étude sur l'azote se situe au niveau environnemental. Il serait intéressant d'étendre les travaux sur un cycle annuel complet afin de vérifier l'importance de la période de fonte des neiges, et de déterminer une concentration annuelle moyenne en nitrates s'échappant de la zone racinaire. L'étude permettrait d'évaluer les risques pour l'aquifère qu'engendre ce type de pratique agricole.

## 6. CONCLUSION

Le danger de contamination des eaux souterraines par les fertilisants inorganiques azotés employés en agriculture est un problème environnemental sérieux. Malheureusement, la complexité des processus relatifs aux transformations de l'azote et à son transport dans la zone non-saturée ne facilite pas la gestion rationnelle de son utilisation. La modélisation apparaît donc comme un outil intéressant permettant de guider l'élaboration des stratégies de protection de l'environnement.

En conséquence, le but de cette étude était d'utiliser un modèle mathématique afin de simuler le devenir de l'azote dans un sol agricole et d'en confronter les résultats à des mesures de terrain. Il existe de nombreux modèles de complexités diverses, mais peu d'applications ont été réalisées par des personnes autres que les auteurs. Le modèle retenu pour cette étude, SOIL et SOILN, est basé sur des processus physiques, ce qui permet son adaptation à différents types d'écosystèmes.

L'étude comportait deux parties distinctes. Premièrement, il y a eu l'acquisition de données de terrain. La campagne de terrain a permis de déterminer certains paramètres entrant dans le modèle et d'établir les concentrations en nitrates et en ammonium percolant dans le sol. Les deux formes d'azote analysées ont évolué de façons différentes. L'ammonium est demeuré relativement stable en oscillant autour de  $35 \mu\text{g N-NH}_4/\text{l}$  à 50 cm et à environ  $10 \mu\text{g N-NH}_4/\text{l}$  à 100 cm et 150 cm. Les concentrations mesurées en nitrates ont augmenté légèrement au cours de la période végétative. Elles ont par la suite progressé plus rapidement à l'automne pour dépasser la norme de  $10 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}$  atteignant des sommets de  $41 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}$ ,  $19 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}$  et  $9 \text{ mg N-NO}_3/\text{l}$  à 50 cm, 100 cm et 150 cm. La fréquence rapprochée des échantillonnages dans les semaines suivant les fertilisations a permis de mettre en évidence l'absence d'augmentation des concentrations en nitrates dans le profil de sol en dépit des ajouts effectués.

La deuxième partie de l'étude a consisté à simuler les conditions de terrain. L'application du modèle s'est faite dans une optique de gestion en utilisant des valeurs typiques pour une partie des paramètres d'entrées. Le bilan de l'azote total dans le premier mètre de sol indique une perte nette de 1.36 g N/m<sup>2</sup> pour la période simulée. Les couches de surface (0-40 cm) sont caractérisées par un appauvrissement en azote alors que les couches plus profondes (40-100 cm) enregistrent un enrichissement. La concordance entre les concentrations en nitrates simulées et observées est très bonne au cours de la période végétative (mai à septembre). Au mois d'octobre, les résultats du modèle s'éloignent cependant des valeurs mesurées au champ. A cette période, les pics de concentrations simulées sont décalés dans le temps et sont plus importants que ceux mesurés.

L'application du modèle SOILN a permis de démontrer l'importance d'un tel outil dans la compréhension et la gestion du devenir de l'azote dans les sols agricoles. Suite à cette étude plusieurs interrogations demeurent; 1) il serait intéressant de confronter les résultats de la partie hydrodynamique, SOIL, à des mesures de terrain, 2) il serait important d'élucider les causes des écarts entre les concentrations obtenues au mois d'octobre, et 3) la réalisation de simulations portant sur plusieurs cycles annuels consécutifs permettrait de vérifier l'applicabilité du modèle dans le cas d'études à plus long terme.

## **BIBLIOGRAPHIE:**

Addiscott, T.M. et Wagenet, R.J. (1985). Concepts of solute leaching in soils: a review of modelling approaches. *J. Soil Sci.* 36:411-424.

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.

Asselin, R. (1991). Combien avez-vous perdu de nitrates l'an dernier. *La terre de chez nous*, vol. 9, No 5.

Association des Fabricants d'Engrais du Québec (1987). Guide des fertilisants. 2<sup>iem</sup> édition.

Barbee, G.C. et Brown, K.W. (1986). Comparison between suction and free-drainage soil solution samplers. *Soil Sci.* 141:149-154.

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.

Biggard, J.W. et Nielsen D.R. (1976). Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resour. Res.* 12:78-84.

Borg, G.Ch., Jansson, P-E. et Lindén, B. (1990). Simulated and measured nitrogen conditions in a manured and fertilised soil. *Plant Soil*, 121:251-267.

Boswel, F.C., Meisigner, J.J. et Case N.L. (1985). Production, marketing and use of nitrogen fertilizers. Dans "Fertilizer Technologie and use". O.P. Engelstad éditeur. troisième édition. pp. 229-292.

Bourdu, R. (1983). Bases physiologiques de l'action des températures. Dans "Physiologie du maïs". A. Gallais coordonnateur. Communication au colloque "physiologie du maïs" organisé par l'INRA, le CNRS et l'AGPM, Royan 15-17 mars 1983.

Brooks, R.H. et Corey, A.T. (1964). Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper No. 3, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 27 pp.

Camaron, K.C. et Haynes, R.J. (1986). Retention and movement of nitrogen in soils. Dans "Mineral nitrogen in the plant-soil system". Academic Press. pp. 166-241.

Castany, G. (1967). Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris. 661 pp.

Clark, T.H. et Globemsky, Y. (1973). Portneuf et partie de St-Raymond et de Lyster, comtés de Portneuf et de Lobinière, R.G.-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.

Côté, D. (1990b). Ministère de l'agriculture du Québec. Communication personnelle.

Dalou, F. (1989). Contamination d'un aquifère hétérogène par les nitrates en zone agricole: nappe plioquaternaire de la Costière-Sud (Saint-Gilles - Gard). Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier.

Dixon, W.J. (1986). Extraneous values. Dans "Soil analysis, part 1. Physical and mineralogical methods". Agronomy monograph no.9. ASA-SSSA. pp. 83-90.

Duchaufour, P. (1988). Pédologie. Masson, Paris. 224 pp.

England, C.B. (1974). Comments on " A technique using porous cups for water sampling at any depth in the unsaturated zone", by W.W. Wood. Water Resour. Res. 10:1049.

Follett, R.F. (1974). Distribution of corn roots in sandy soil with a declining water table. *Agr. J.* 66:288-292.

Follett, R.F. (1989). Nitrogen management and ground water protection. Elsevier, *developments in agricultural and managed-forest ecology* 21. 395 pp.

Freeze, R.A. et Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. Practice-Hall. 605 pp.

Frenette, Marcel (1977). *Écoulement dans les milieux poreux*. Presse de l'Université Laval. 236 p.

Frissel, M.J. et Van Ven, J.A. (1982). A review of models for investigating the behaviour of nitrogen in soil. *Phil Trans. R. Soc. Lond. B* 296, 341-349.

Gauthier, J. (1990). Détermination de la teneur en eau à l'aide de la résistivité apparente du sol: validation d'une méthode. *Projet de fin d'étude*. Université Laval. Département de géologie. 69 pp.

Gilliam, J.W., Logan, T.J. et Broadbent, F.E. (1985). Fertilizer use in relation to the environment, dans "Fertilizer technology and use", pp. 561-588, Soil Science Society of America inc., troisième édition, Madison, Wisconsin USA.

Gold, A.J., DeRagon, W.R., Sullivan, W.M. et Leminyon, J.L. (1990). Nitrate-nitrogen losses to groundwater from rural and suburban land uses. *J. Soil and Water Cons.* 45:305-310.

Gouvernement du Québec (1990). *Règlement sur l'eau potable*. Éditeur officiel du Québec. Q-2,r.4.1.

Gupta, S.C. et Larson, W.E. (1979). Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water Resour. Res.* 15:6, 1633-1635.

Gustafson, A. (1988). Simulation of nitrate leaching from arable land in southern Sweden. *Acta Agric. Scand.* 38, 13-23.

- Hallberg, G.R. (1989). Nitrate in groundwater in the United States. Dans "Nitrogen management and ground water protection". R.F. Follett éditeur. pp. 35-74.
- Halldin, S. (1980). SOIL water and heat model. I. Syntheses of physical processes. Acta Universitatis Upsaliensis. Abstract of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science 567, 26 pp.
- Haynes, R.J. (1986a). Origin, distribution, and cycling of nitrogen in terrestrial ecosystems. Dans "Mineral nitrogen in the plant-soil system". Academic Press. pp. 1-51.
- Haynes, R.J. (1986b). The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation. Dans "Mineral nitrogen in the plant-soil system". Academic Press. pp. 52-126.
- Haynes, R.J. (1986c). Nitrification. Dans "Mineral nitrogen in the plant-soil system". Academic Press. pp. 127-165.
- Haynes, R.J. (1986d). Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press. 483 pp.
- Haynes, R.J. et Sherlock, R.R. (1986). Gaseous losses of nitrogen. Dans "Mineral nitrogen in the plant-soil system". Academic Press. pp. 242-302.
- Hess, P.J. (1986) Ground-water use in Canada, 1981. National Hydrology Research Institute Paper No, 28, Inland Water Directorate Bulletin No.140, Ottawa. 45 pp.
- Hillel, D. (1988). L'eau et le sol: principes et processus physiques. Academia. 294 p.
- Jansson, P-E. (1980). SOIL water and heat model. II. Field studies and applications. Acta Universitatis Upsaliensis. Abstract of Uppsala Disertations from the faculty of Science 568, 26 pp.
- Jansson, P-E. (1987). Simulated soil temperature and moisture at a clearcutting in central Sweden. Scand. J. For. Res., 2:127-140.

Jansson, P-E. (1990a). SOIL water and heat model, user's manual. Departement of soil sciences. Swedish Univ. of Agric. Sciences, 60 pp.

Jansson, P-E. (1990b). SOILN nitrogen model, user's manual. Departement of soil sciences. Swedish Univ. of Agric. Sciences, 26 pp.

Jansson, P-E. (1990c). Mathematical models for soil moisture dynamics and nitrate leaching - toys for scientist or tools for the decision maker. Dept of Soil Sciences, Swedish Univ. of Agric. Sciences, P.O. Box 7014, 750 07 Uppsala. 9 pp.

Jansson, P-E. et Andersson, R. (1988). Simulation of runoff and nitrate leaching from an agricultural district in Sweden. Jour. of Hydro., 99:33-47.

Jansson, P-E. et Gustafson, A. (1987). Simulation of surface runoff and pipe discharge from an agricultural soil in northern Sweden. Nordic Hydrology, 18:151-166.

Jenkinson, D.S. et Rayner, J.H. (1977). The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Sci. 123:298-305.

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.

Johnsson, H., Bergström, L., Jansson, P-E. et Paustrian, K. (1987). Simulation of nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 18:333-356.

Jury, W.A. et Nielsen, D.R. (1989). Nitrate transport and leaching mechanisms. Dans "Nitrogen management and ground water protection". R.F. Follett éditeur. pp. 139-157.

Kaufman, W.J. (1974). Chemical pollution of groundwaters. Jour. AWWA, 66, 152-159.



Lafrance, P., Banton, O. et Villeneuve, J.P. (1991). Spatial variability of total carbon, nitrogen and organic matter, and their relationships in a sandy soil in Quebec. Soumis en février 1990 à Soil Science Society of America Journal

Laperrière, L. (1991). Impacts des périodes d'épandage du lisier de porc sur la qualité des eaux de drainage. *Conservation*, 8.

Legg, J.O. et Meisinger, J.J. (1982). Soil nitrogen budgets. Dans "Soil analysis, part 1. Physical and mineralogical methods". Agronomy monograph no.9. ASA-SSSA. pp. 503-566.

Litaor, M.I. (1988). Review of soil solution samplers. *Water Resour. Res.* 24:727-733.

Marsily, G. de (1981). Hydrogéologie quantitative. Collection "Sciences de la terre". Masson. 215 p.

Miller, M. H. (1990). Impact of nutrient use in crop production on water quality. Compte rendu du "Colloque sur la conservation de l'eau en milieu agricole", Conseil des Productions Végétales du Québec, Québec, 12-13 février, pp. 137-150.

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 p.

Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12, 513-522.

Power, J.F. et Broadbent, F.E. (1989). Proper accounting for N in cropping systems. Dans "Nitrogen management and ground water Protection". R.F. Follett éditeur. pp. 160-182.

Powers, J.F. et Schepers, J.S. (1989). Nitrate contamination of groundwater in North America. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 26, 165-189.

Radulovich, R. et Sollins, P. (1987). Improved performance of zero-tension lysimeters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1386-1388.

Raymond, R., Laflamme, G. et Godbout, G. (1976). *Pédologie du comté de Portneuf, Québec*. Ministère de l'Agriculture du Québec, Direction générale de la recherche et de l'enseignement.

Rhoades, J.D. et Oster, J.D. (1986). Solute content. Dans "Soil analysis, part 1. Physical and mineralogical methods". *Agronomy monograph no.9. ASA-SSSA.* pp. 985-1006.

Rhoads, F.M. et Bennett, J.M. (1990). Corn. Dans "Irrigation of agricultural crops", édité par B.A. Stewart et D.R. Nielsen. *Agronomy monograph no. 30*, pp.569-596.

Richards, L.A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics.* 1:318-333.

Richter, Jörg (1987). *The soil as a reactor: modelling processes in the soil*. Catana Verlag. 192 p.

Ritchie, J.T. (1973). Influence of soil water and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. *Agr. J.* 65:893-897.

Russel, A.E. et Ewel, J.J. (1985). Leaching from a tropical anedept during big storms: a comparison of three methods. *Soil Sci.* 139:181-189.

Schulze, R.E. (1989). *ACRU: background, concepts and theory*. Department of Agricultural Engineering University of Natal. WRC Report No 154/1/89. ACRU Report No 35.

Silkworth, D.R. et Grigal, D.F. (1981). Field comparaison of soil solution samplers. *Soil Sci. Am. J.* 45:440-442.

Sinclair, T.R. (1990). Theoretical considerations in the description of evaporation and transpiration. Dans "Irrigation of agricultural crops", édité par B.A. Stewart et D.R. Nielsen. *Agronomy No. 30*, pp. 343-362.

Stevenson, F.J.(1982a). Nitrogen in agricultural soils. Agronomy monograph no.22. ASA-CSSA-SSSA. 940 pp.

Stevenson, F.J.(1982b). Origin and distribution of nitrogen in soil. Dans "Nitrogen in agricultural soils". Agronomy monograph no.22. ASA-CSSA-SSSA. pp. 1-42.

Stevenson, F.J.(1982c). Organic forms of soil nitrogen. Dans "Nitrogen in agricultural soils". Agronomy monograph no.22. ASA-CSSA-SSSA. pp. 67-122.

Stevenson, F.J.(1982d). Inorganic forms of nitrogen in soil. Dans "Nitrogen in agricultural soils". Agronomy monograph no.22. ASA-CSSA-SSSA. pp. 43-66.

Strebel, O., Duynisveld, V.H.M. et Böttcher, J. (1989). Nitrate pollution of groundwater in western Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment, 26, 189-214.

Technicon industrial systems (1973). "Manuel d'utilisation", Technicon Auto Analyzer II, Industrial method No.154-71W.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L. et Beaton, J.D. (1985). Soil and Fertilizer nitrogen (chap.5). Dans "Soil fertility and fertilizers". Mcmillan Publishing company. pp. 12-188.

Wagenet, R.J. (1986). Water and solute flux. Dans "Methods of soil analysis, part 1: Physical and mineralogical methods". A. Klute éditeur. ASA-SSSA. pp. 1055-1088.

## **ANNEXE A**

Nomenclature et unités des différentes variables du modèle SOIL

## SOIL.TRA

### State variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
WATER	Water storage	mm		
HEAT	Heat storage	Jm <sup>2</sup>		
PLANT	Accumulated water	mm	plant uptake	
STREAM	Accumulated water	mm	pipes	
SURPOOL	Water storage	mm	surface	
HSNOW	Snow depth	m		
WSNOW	Water equivalent	mm	snow pack	

### Flow variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
WFLOW	Water flow	mm/day		
EFLOW	Heat flow	J/m <sup>2</sup> day		
WUPTAKE	Water flow	mm/day	root upt	
DRIVF	Heat flow	J/m <sup>2</sup> day	surface inflow	
INFIL	Water flow	mm/day	surface infiltra	
EVAG	Water loss	mm/day	Soil evaporation	
DFLOW	Water flow	mm/day	to pipes	
PUMP	Heat flow	J/m <sup>2</sup> day	extraction	
HEATSINK	Heat flow	J/m <sup>2</sup> day	sink	
SPOOLA	water flow	mm/day	su-pool inflow	
SPOOLINF	water flow	mm/day	su-pool infiltra	
SURR	Surface runoff	mm/day	(inf capacity)	

Auxiliary variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
=====				
TEMP	Temperature	°C		
THQUAL	Thermal quality			
THETA	Water content	vol %		
PSI	Tension	cm water		
INTCAP	Interception capac.	mm	vegetation	
INTERC	Max interc. storage	mm	vegetation	
EINTPOT	Water loss	mm/day	Int. potential	
EACTI	Water loss	mm/day	Int. actual	
ISTORE	Intercepted storage	mm	vegetation	
RA	Resistance	s/m	air	
ROUGH	Roughness length	m	air	
DISPL	Displacement height	m	air	
RS	Resistance	s/m	vegetation	
WUPPOT	Water loss	mm/day	Transp. potential	
EACT	Water loss	mm/day	Transp. actual	
REDF	Act/pot transp.	-	vegetation	
EVAPO	Water loss	mm/day	Total evapotransp.	
VPD	Vap pressure deficit	Pa	air	
RNTG	Net radiation	J/m <sup>2</sup> day	surface	
SENS	Sensibel heat flow	J/m <sup>2</sup> day	surface outflow	
LATENT	Latent heat flow	J/m <sup>2</sup> day	surface outflow	
SURFMOS	Surface water cont		surface	
LAI	Leaf area index	-	vegetation	
SATLEV	Ground water level	m		
DENSS	Density of snow			
PREC	Precipitation	mm/day	corrected	
TOTQ	Water flow	mm/day	runoff total	
PIPEQ	Water flow	mm/day	pipes total	
PERC	Water flow	mm/day	groundwater	
SURRE	Surface runoff	mm/day	(hydraulic cond)	
SWATS	Unfrozen water	mm	snow pack	
SAGE	Age of surface snow	Days	snow pack	
SWELL	Total swelling	m	whole profile	
FROSTBL	Frost boundary	m	lower	
FROSTBU	Frost boundary	m	upper	

---

Auxiliary variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
=====			=====	
TTSTEP	Time step	log. day	integration	
TQUALP	Thermal quality		precipitation	
DINFIL	Water flow	mm/day	pot. infiltration	
RAC	Resistance	s/m	air corrected	
VPS	Vapour pressure	Pa	soil surface	
VPA	Vapour pressure	Pa	air	
RSSOIL	Resistance	s/m	soil surface	

---

Driving variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
=====			=====	
EPOT	Evapotranspiration	mm/day	potential	
PRECMM	Precipitation	mm/day	uncorrected	
TA	Temperature	°C	air	
TD	Temperature	°C	surface	
HR	Relative humidity	%	air	
WS	Wind speed	m/s	above vegetation	
RNT	Net radiation	J/m <sup>2</sup> day	above vegetation	
CLOUDN	Cloud/durat.of sun			
RIS	Global radiation	J/m <sup>2</sup> day	above vegetation	
IRIG	Water irrigated	mm/day		
SPSOURCE	Water flow	mm/day	Source - soil surface	
WSOURCE	Water flow	mm/day	Source flow to soil	

## **ANNEXE B**

Nomenclature et unités des différentes variables du modèle SOILN



## SOILN.TRA

### State variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
N03	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	N03-N	
PLANT	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Plant-N	
DENIT	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Denitrified N03	
DLOSST	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Leached N03-N	
FERT	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Solid fertilizer	
NLIT	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Litter	
NF	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Faeces	
NH	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Humus	
CL	Carbon	g/m <sup>2</sup>	Litter	
CF	Carbon	g/m <sup>2</sup>	Faeces	
NH4	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	NH4-N	
LITABOVE	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Harvest residues	
GRAINC	Carbon	g/m <sup>2</sup>	Grain	
LEAFC	Carbon	g/m <sup>2</sup>	Leaf	
STRAWC	Carbon	g/m <sup>2</sup>	Straw	
ROOTC	Carbon	g/m <sup>2</sup>	Roots	
GRAINN	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Grain	
LEAFN	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Leaf	
STRAWN	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Straw	
ROOTN	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Roots	

### Flow variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
UPPNO3	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Plant uptake	
DENI	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Denitrification	
DLOSS	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	To tiles	
DEP	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Deposition (total)	
NFLOW	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day		
NFERT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Fertilizer dissolved	
FINNB	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Man-faeces	
NHARV	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Harvest export	
NEWNL	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Pla-litter	
NLMIN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Lit-NH4	
NLHUM	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Lit-humus	

Flow variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
FINNA	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Man-litter	
NHMIN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Hum-NH4	
NFHUM	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Fae-humus	
FINNH	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Man-NH4	
FNIT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	NH4-NO3	
CLLOSS	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Lit loss (tot)	
NEWCL	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Pla-litter	
CFLOSS	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Fae loss (tot)	
FINCB	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Man-faeces	
NFMIN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Fae-NH4	
UPPNH4	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	NH4-plant	
INCALIT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Plant-residues	
DECALIT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Res-litter	
PHOS	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Photosynthesis	
RESPGC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Respiration grain	
RESPLC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Respiration leaf	
RESPSC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Respiration straw	
RESPRC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Respiration root	
HARVGC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Harvest of grain	
HARVLC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Harvest of leaf	
HARVSC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Harvest of straw	
ALEAFSC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Leaf to straw	
ALEAFGC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Leaf to grain	
ASTRAWGC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Straw to grain	
ASTRAWRC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Straw to root	
LEAFLC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Leaf to litter	
STRAWLC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Straw to litter	
ROOTSLC	Carbon flow	g/m <sup>2</sup> day	Roots to litter	
ACTUPTN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Actual uptake	
AROOTSN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Roots to straw	
ASTRAWLN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Straw to leaf	
ASTRAWGN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Straw to grain	
ALEAFGN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Leaf to grain	
HARVGN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Harvest of grain	
HARVLN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Harvest of leaf	
HARVSN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Harvest of straw	

Auxiliary variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
=====			=====	
NCONC	Nitrate-N	mg/l	water	
PIPEL	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	N03-N tile drainage	
STREAMT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	N03-N stream Q	
TOTFI	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	N03-N Q-after consumption	
NLTprof	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Litter tot profile	
NFTprof	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Faeces tot profile	
NHTprof	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	Humus tot profile	
NH4T	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	NH4-N tot profile	
N03T	Nitrogen	g/m <sup>2</sup>	N03-N tot profile	
ROOTLAY	Root depth	layer	No of layers	
POTUPT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Pot root uptake	(tot)
TOTDEN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Act denitrification	(tot)
TOTUPT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Act root uptake	(tot)
PIPEQ	Water flow	mm/day	In drainage tiles	
STREAMQ	Water flow	mm/day	In stream	
TOTMAL	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Manure-litter	
TOTMAE	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Manure-faeces	
TOTMAN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Manure-NH4	
TOTNLMIN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Litter-NH4	
TOTNFMIN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Faeces-NH4	
TOTMOC	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Humus-NH4	
TOTNHMIN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Org-NH4	
TOTNIT	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	NH4-N03	
CLTprof	Carbon	g/m <sup>2</sup>	Litter	
RATCNL	C-N ratio	-	Litter	
RATCNF	C-N ratio	-	Faeces	
QNO3C1	Nitrogen	mg/l	N03-N stream	
QNO3C2	Nitrogen	mg/l	N03-N after consumption in stream	
RUSEN03	Nitrogen flow		N03 consumption in stream	
AEFF	Abiotic effect	-	Min-imm processes	
ODN03	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Meas&sim leaching	
PIPEN03C	Nitrogen	mg/l	N03-N tile drainage	
ATEFF	Abiotic effect	-	Temperature response	
VDEV	Growth index	-	Vegetation development	
GDEV	Growth index	-	Grain development	
LEAFDN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Leaf demand	
STRAWDN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Straw demand	

---

Auxiliary variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
=====				
ROOTDN	Nitrogen flow	g/m <sup>2</sup> day	Root demand	
NMAXG	Nitrogen content	-	Maximum in grain	
NMAXL	Nitrogen content	-	Maximum in leaf	
NMINL	Nitrogen content	-	Minimum in leaf	
NLEAF	Nitrogen content	-	Actual in leaf	
NGRAIN	Nitrogen content	-	Actual in grain	
NSTRAW	Nitrogen content	-	Actual in straw	
NROOT	Nitrogen content	-	Actual in roots	
RPTEM	Response function	-	Photo. temp.	
RPMOS	Response function	-	Photo. moist.	
RPN	Response function	-	Photo. nitrogen	
ROOTDEP	Root depth	m		

---

Driving variables:

MNEMONIC	NAME	UNIT	IDENTIFICATION	POS
=====				
INF	Water flow	mm/day	Infiltration	
WFLOW	Water flow	mm/day		
DFLOW	Water flow	mm/day	To pipes	
TEMP	Temperature	°C		
THETA	Water content	Vol %		
SURR	Water flow	mm/day	Surface runoff	
SURRE	Water flow	mm/day	Surface runoff (soil)	
PERC	Water flow	mm/day	Percolation	
MEACONC	Nitrogen conc.	mg/l	NO <sub>3</sub> -N measured	
TA	Temperature	°C	Air	
RIS	Radiation	jm <sup>2</sup> day	Solar radiation	
ETR	Transpiration ratio	-	Actual/potential	

## **ANNEXE C**

Valeurs et références des paramètres du modèle SOIL

**DRIVING VARIABLES:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
CNUMD		1	manuel de l'utilisateur	type de donnée nécessaire à la simulation.
HEIGHT	m	2		
PRECAO		1.07	manuel de l'utilisateur	facteur de correction pour la pluie mesurée.

**INITIAL CONDITIONS:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
CINIT		5	manuel de l'utilisateur	la quantité d'eau est calculée en fonction de IPOT, ITHETA et IGWLEV.
CTEMPI		5	manuel de l'utilisateur	
IGWLEV	m	-5	estimé	
IPOT	cm eau	40	estimé	
ITEMPS	°C	6	estimé	

**SOIL PROFILE:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
NUMLAY		7	arbitraire	
THICK(1)	m	0.05	arbitraire	
THICK(2)	m	0.05	arbitraire	
THICK(3)	m	0.05	arbitraire	
THICK(4)	m	0.05	arbitraire	
THICK(5)	m	0.05	arbitraire	
THICK(6)	m	0.10	arbitraire	
THICK(7)	m	0.15	arbitraire	
VC		4	arbitraire	
UNUM		6	arbitraire	identifie le fichier SOILP.DAT
UPROF		90	arbitraire	identifie le fichier SOILP.DAT

**EVAPOTRANSPIRATION:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
ALBEDO	%	20	Hillel, (1988)	
INTLAI	mm/LAI	0.20	exemple du démo	
INTRS	s/m	0.50	exemple du démo	
LATID		46.75	localisation du site	
ROUGHV(1)	m	0.01	manuel de l'utilisateur	1/10 de la hauteur de la végétation
ROUGHV(2)	m	0.01	manuel de l'utilisateur	1/10 de la hauteur de la végétation
ROUGHV(3)	m	0.20	manuel de l'utilisateur	1/10 de la hauteur de la végétation
ROUGHV(4)	m	0.20	manuel de l'utilisateur	1/10 de la hauteur de la végétation
ROUGHV(5)	m	0.01	manuel de l'utilisateur	1/10 de la hauteur de la végétation
RSV(1)	s/m	80	exemple du démo	
RSV(2)	s/m	60	exemple du démo	
RSV(3)	s/m	40	exemple du démo	
RSV(4)	s/m	60	exemple du démo	
RSV(5)	s/m	80	exemple du démo	
LAIV(1)		0	Eik, (1966)	
LAIV(2)		0.05	Ritchie, (1973)	
LAIV(3)		3.5		
LAIV(4)		3.5		



**EVAPOTRANSPIRATION:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
LAIV(5)		0		
DISPLV(1)	m	0.01	manuel de l'utilisateur	70 % de la hauteur de végétation.
DISPLV(2)	m	0.07	manuel de l'utilisateur	70 % de la hauteur de végétation.
DISPLV(3)	m	1.40	manuel de l'utilisateur	70 % de la hauteur de végétation.
DISPLV(4)	m	1.40	manuel de l'utilisateur	70 % de la hauteur de végétation.
DISPLV(5)	m	0.01	manuel de l'utilisateur	70 % de la hauteur de végétation.
DAYNUM(1)		149		
DAYNUM(2)		172		
DAYNUM(3)		202		
DAYNUM(4)		232		
DAYNUM(5)		262		
CFORM(1)		0.5		ajusté de façon à obtenir une courbe de même allure que celle de Ritchie (1973).
CFORM(2)		2.0		
CFORM(3)		1.0		
CFORM(4)		1.0		
PSIRS		200	exemple du démo	

**WATER UPTAKE:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
ROOTF(1)	%	70	Follett, (1974)	
ROOTF(2)	%	13		
ROOTF(3)	%	9		
ROOTF(4)	%	6		
ROOTF(5)	%	2		
ROOTL(1)		0		
ROOTL(2)		1		
ROOTL(3)		5		
ROOTT(1)		149	semence	
ROOTT(2)		162	émergence	
ROOTT(3)		239	maturité	
ROOTT(4)		273	mort	
WUPATE		0.8	manuel de l'utilisateur	
WUPBTE		0.4	manuel de l'utilisateur	
WUPCRI	cm eau	3000	exemple du démo	
WUPF		0.3	exemple du démo	
WUPFB		0.0	exemple du démo	

## **ANNEXE D**

Valeurs et références des paramètres du modèle SOILN

**EXTERNAL INPUTS:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
DEPDY	g N/m <sup>2</sup> an	0.001	manuel de l'utilisateur	dépôts secs
DEPWC	mg N/l	0.8	manuel de l'utilisateur	dépôts humides
FERK	/jour	0.15	manuel de l'utilisateur	taux de dissolution du fertilisant
FERN	g N/m <sup>2</sup>	4.00	08-16-16 500 kg/ha	dose de la première fertilisation
FERN(1)	g N/m <sup>2</sup>	9.35	34-00-00 275 kg/ha	dose de la deuxième fertilisation
FERDAY	nombre	149	29-05-90	date de la première fertilisation
FERDAY(1)	nombre	207	25-07-90	date de la deuxième fertilisation
GWCONC	mg/l	0.0	pas utilisé	concentration en nitrates dans la nappe.

**CROP AND MANAGEMENT:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
PLODAY	NOMBRE	365	sans labour	date de labour
PLOLAY		1	20 cm	profondeur des labours
CNARES		60	Haynes, (1986b) p.82	ratio C/N dans les résidus de surface
CNROOT		25	manuel de l'usager	ratio C/N dans les racines
HARAR(1)		0	sans récolte	fraction N récoltée de la plante
HARAR(2)		0	sans récolte	fraction N récoltée de la plante
HARAR(3)		0	sans récolte	fraction N récoltée de la plante
HARHP(1)		0	sans récolte	fraction N dans les résidus de surface à la récolte
HARHP(2)		0	sans récolte	fraction N dans les résidus de surface à la récolte
HARHP(3)		0	sans récolte	fraction N dans les résidus de surface à la récolte
HARLR(1)		0	sans récolte	fraction N des racines vivantes à la récolte
HARLR(2)		0	sans récolte	fraction N des racines vivantes à la récolte
HARLR(3)		0	sans récolte	fraction N des racines vivantes à la récolte
UPET(1)	nombre	288	15-10-90	date de la récolte

**MINERALISATION AND IMMOBILISATION:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
HUMK	/jour	7.0 E <sup>-5</sup>	manuel de l'utilisateur	taux de minéralisation de l'humus.
LITK	/jour	0.035	manuel de l'utilisateur	taux spécifique de décomposition de la litière.
LITEFF		0.5	manuel de l'utilisateur	efficacité du cycle interne de la biomasse dans la litière.
LITHF		0.15	manuel de l'utilisateur	fraction d'humification du carbone dans la litière.
CNORG		7.1	Lafrance, (1990)	ratio C/N des microorganismes et de l'humus.
UPMA	/jour	0.9	manuel de l'utilisateur	fraction disponible de l'N minéral pour immobilisation et prélèvement par les plantes.
NITK	/jour	0.2	manuel de l'utilisateur	taux spécifique de nitrification.
NITR		20	manuel de l'utilisateur	ratio ammonium/nitrate.
FECK	/jour	0	sans faeces	taux spécifique de décomposition des faeces.
FECEFF		0	sans faeces	efficacité des faeces.
FECF		0	sans faeces	fraction d'humification du carbone dans le faeces.

## SOIL MOISTURE AND TEMPERATURE RESPONSE:

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
MOSM		1	réponse linéaire	coefficient dans la fonction d'humidité.
PORO(1)	%	45.0	modèle SOIL	porosité au milieu de la couche.
PORO(2)	%	45.2	modèle SOIL	porosité au milieu de la couche.
PORO(3)	%	46.0	modèle SOIL	porosité au milieu de la couche.
PORO(4)	%	45.6	modèle SOIL	porosité au milieu de la couche.
PORO(5)	%	44.0	modèle SOIL	porosité au milieu de la couche.
PORO(6)	%	44.0	modèle SOIL	porosité au milieu de la couche.
PORO(7)	%	44.0	modèle SOIL	porosité au milieu de la couche.
WILT(1)	%	9.20	modèle SOIL	point de flétrissement au milieu de la couche.
WILT(2)	%	9.78	modèle SOIL	point de flétrissement au milieu de la couche.
WILT(3)	%	12.10	modèle SOIL	point de flétrissement au milieu de la couche.
WILT(4)	%	11.96	modèle SOIL	point de flétrissement au milieu de la couche.
WILT(5)	%	11.40	modèle SOIL	point de flétrissement au milieu de la couche.
WILT(6)	%	11.40	modèle SOIL	point de flétrissement au milieu de la couche.
WILT(7)	%	11.40	modèle SOIL	point de flétrissement au milieu de la couche.
MOSSA		0.06	Haynes, (1986b) p.86	activité à saturation dans la fonction d'humidité.
MOS(1)	%	11.0	Haynes, (1986b) p.86	intervalle supérieur dans la fonction d'humidité.
MOS(2)	%	11.0	Haynes, (1986b) p.86	intervalle inférieur dans la fonction d'humidité.
TEMQ10		2.0	Bourdu, (1983) p.395	réponse à un changement de 10 °C de la température.
TEMBAS	°C	20.0	manuel de l'utilisateur	température de base où l'effet de la température =1

**PLANT UPTAKE:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
UPST(1)	nombre	162	date d'émergence	début de la demande par les plantes.
UPST(2)	nombre	0		
UPST(3)	nombre	0		
UPA(1)	g N/m <sup>2</sup> an	12	120 kg/ha A.F.E.Q. (1987)	demande potentielle en N par les plantes.
UPA(2)	g N/m <sup>2</sup> an	0		
UPA(3)	g N/m <sup>2</sup> an	0		
UPB(1)		12	manuel de l'utilisateur similaire à UPA	coefficient dans la fonction de prélèvement.
UPB(2)		0		
UPB(3)		0		
UPC(1)	/jour	0.10	manuel de l'utilisateur	coefficient dans la fonction de prélèvement.
UPC(2)		0		
UPC(3)		0		
UPMOV		1	manuel de l'utilisateur	fraction compensatoire de la demande lors de stress. 1=compensation parfaite.
ROOTT(1)	nombre	149	semences	date de la couche la plus profonde ayant des racines
ROOTT(2)	nombre	162	émergence	date de la couche la plus profonde ayant des racines
ROOTT(3)	nombre	192	entre 2	date de la couche la plus profonde ayant des racines
ROOTT(4)	nombre	222	maturité	date de la couche la plus profonde ayant des racines
ROOTT(5)	nombre	288	récolte	date de la couche la plus profonde ayant des racines



**PLANT UPTAKE:**

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
ROOTL(1)	# couche	0	semences	couche la plus profonde ayant des racines au jour ROOTT.
ROOTL(2)	# couche	1	émergence	couche la plus profonde ayant des racines au jour ROOTT.
ROOTL(3)	# couche	4	entre 2	couche la plus profonde ayant des racines au jour ROOTT.
ROOTL(4)	# couche	5	maturité	couche la plus profonde ayant des racines au jour ROOTT.
ROOTL(5)	# couche	0	récolte	couche la plus profonde ayant des racines au jour ROOTT.
ROOT(1)		.70	modèle SOIL	fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(2)		.13	modèle SOIL	fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(3)		.09	modèle SOIL	fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(4)		.06	modèle SOIL	fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(5)		.02	modèle SOIL	fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(6)	0			fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(7)	0			fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(8)	0			fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(9)	0			fraction racinaire dans la couche à maturité.
ROOT(10)	0			fraction racinaire dans la couche à maturité.

## DENITRIFICATION

MNÉMONIQUE	UNITÉ	VALEUR	ORIGINE	COMMENTAIRES
DENPOT	g/m <sup>2</sup> jour	0.2	manuel de l'utilisateur	taux potentiel de dénitrification
DENHS	mg/l	10	manuel de l'utilisateur	constante de mi-saturation
MOSDEN	%	10	manuel de l'utilisateur	effet eau du sol/aération sur la dénitrification
DEND		1.0	Power et Broadbent (1989)	coefficient fonction de l'humidité dans la fonction de dénitrification.
DFRAC(1)		.70	distri. racinaire	fraction de la dénitrification potentielle dans les différentes couches.
DFRAC(2)		.13	distri. racinaire	
DFRAC(3)		.09	distri. racinaire	
DFRAC(4)		.06	distri. racinaire	
DFRAC(5)		.02	distri. racinaire	
DFRAC(6)		0		
DFRAC(7)		0		
DFRAC(8)		0		
DFRAC(9)		0		
DFRAC(10)		0		

## **ANNEXE E**

Coéfficients de la régression de Gupta

## GUPTA

Coefficients de régression et de corrélation prédisant la teneur en eau pour un potentiel matriciel spécifique (selon Gupta, 1979)

Potentiel matriciel bars	COEFFICIENTS DE RÉGRESSION					-pF-
	$ax10^{-3}$	$bx10^{-3}$	$cx10^{-3}$	$dx10^{-3}$	$ex10^{-2}$	
-0.04	7.053	10.242	10.070	6.333	-32.120	1.60
-0.07	5.678	9.228	9.135	6.103	-26.960	1.85
-0.10	5.018	8.548	8.833	4.966	-24.230	2.00
-0.20	3.890	7.066	8.408	2.817	-18.780	2.30
-0.33	3.075	5.886	8.039	2.208	-14.340	2.52
-0.60	2.181	4.557	7.557	2.191	-9.276	2.78
-1.00	1.563	3.620	7.154	2.388	-5.759	3.00
-2.00	0.932	2.643	6.636	2.717	-2.214	3.30
-4.00	0.483	1.943	6.128	2.925	-0.204	3.60
-7.00	0.214	1.538	5.908	2.855	1.530	3.85
-10.00	0.076	1.334	5.802	2.653	2.145	4.00
-15.00	-0.059	1.142	5.766	2.228	2.671	4.18

% sable + % silt + % argile = 100 %

sable=2.0-0.05 mm, silt=0.05-0.002 mm, argile=<0.002 mm

## **ANNEXE F**

Variables météorologiques utilisées par le modèle SOIL

## MÉTÉO.BIN

DATE	Temperature °C	Vapour pressure Pa	Wind speed m/s	Precipitation mm	Cloudiness %
121	17.00	580.00	2.42	1.00	0.86
122	7.00	934.72	4.64	0.00	0.52
123	7.00	425.08	2.69	0.00	0.23
124	9.50	463.08	2.17	0.00	0.38
125	7.50	572.82	2.94	2.20	1.00
126	8.00	804.96	2.58	0.20	1.00
127	8.00	742.08	1.97	0.20	0.63
128	8.00	678.37	2.25	1.20	0.23
129	15.50	805.45	4.58	0.00	0.40
130	12.50	878.54	8.03	10.80	0.66
131	7.50	1089.14	6.50	13.60	0.93
132	9.00	627.10	5.06	0.00	0.17
133	11.50	806.77	1.03	0.20	0.77
134	14.50	894.33	1.33	0.00	0.13
135	13.00	784.00	1.61	1.00	0.89
136	12.00	1049.13	2.78	0.00	0.19
137	9.00	756.69	8.31	18.60	1.00
138	8.50	907.54	4.39	18.60	1.00
139	6.50	950.60	4.44	8.80	0.95
140	6.50	758.76	6.08	0.00	0.71
141	6.50	716.82	5.92	3.40	0.99
142	5.50	759.47	3.72	4.20	1.00
143	7.50	753.51	5.33	0.00	0.61
144	7.00	689.99	4.06	0.00	0.32
145	12.00	569.35	1.56	0.00	0.08
146	14.00	656.28	1.92	0.00	0.26
147	16.00	867.60	3.33	0.00	0.39
148	17.00	1005.32	4.81	0.00	0.17
149	10.50	852.18	3.89	0.00	0.63
150	10.00	638.47	4.42	0.00	0.26
151	8.50	435.99	3.25	0.00	0.36
152	18.00	845.79	5.58	0.00	0.24
153	17.50	979.95	4.72	0.00	0.46
154	22.50	1613.41	2.64	2.20	0.83
155	11.50	1889.08	4.72	3.20	0.96
156	8.00	1002.97	4.86	0.00	0.54
157	7.50	682.04	0.94	0.40	0.80
158	13.50	1175.89	2.50	10.00	0.69

DATE	Temperature °C	Vapour pressure Pa	Wind speed m/s	Precipitation mm	Cloudiness %
159	14.00	1261.95	2.08	0.00	0.23
160	16.00	1218.97	3.19	2.80	0.99
161	12.00	1333.76	5.50	20.20	1.00
162	14.00	1288.33	3.00	0.80	0.41
163	16.50	992.67	2.58	0.00	0.08
164	17.50	1121.89	1.00	0.00	0.88
165	21.50	1495.53	0.64	0.00	0.78
166	20.50	1928.22	0.97	2.80	0.56
167	21.50	1949.96	1.75	0.00	0.60
168	22.00	1665.66	0.81	0.00	0.77
169	20.50	2353.31	2.22	20.90	0.97
170	13.80	1811.91	8.06	0.00	0.84
171	12.00	1107.59	5.92	0.00	0.99
172	13.00	1225.55	3.25	8.20	1.00
173	16.00	1437.29	2.33	0.00	0.76
174	14.50	1452.95	5.72	10.60	1.00
175	19.00	1708.86	2.58	4.80	0.54
176	19.00	1793.23	3.89	0.00	0.63
177	21.00	1840.26	4.47	0.00	0.46
178	17.00	1631.50	3.19	7.60	0.74
179	15.00	1384.22	2.64	0.00	0.20
180	15.50	1170.46	2.92	3.60	0.61
181	17.00	1410.24	1.47	0.00	0.35
182	15.50	1537.35	1.39	2.60	0.99
183	18.50	1447.92	1.53	0.00	0.06
184	19.00	1554.59	3.42	2.20	0.85
185	16.50	2005.82	2.47	10.20	0.96
186	14.50	1503.87	3.36	0.00	0.09
187	14.00	1019.57	2.50	0.00	0.58
188	15.00	1052.88	2.64	0.00	0.44
189	16.50	1067.61	1.94	6.60	0.39
190	22.00	1604.85	3.61	9.60	0.48
191	17.50	1729.79	5.50	0.00	0.32
192	17.00	1233.93	4.14	0.00	0.11
193	16.50	1190.41	2.03	0.00	0.21
194	17.00	1022.81	2.75	0.00	0.08
195	18.50	1276.44	3.58	0.00	0.09
196	21.50	1516.68	1.58	0.40	0.99

DATE	Temperature °C	Vapour pressure Pa	Wind speed m/s	Precipitation mm	Cloudiness %
197	23.50	2171.38	4.64	1.80	0.48
198	22.00	2056.60	3.42	9.00	0.45
199	23.50	2011.88	3.31	3.40	0.60
200	22.50	2144.23	4.25	27.80	0.45
201	18.00	1971.87	2.22	2.20	1.00
202	19.00	1865.04	1.56	0.00	0.14
203	20.50	1582.86	1.39	0.00	0.23
204	17.50	1767.01	4.92	36.60	1.00
205	17.50	1808.70	2.08	1.80	1.00
206	20.00	1760.28	1.33	0.00	0.48
207	21.50	2006.66	1.92	0.00	0.29
208	23.00	1901.56	2.22	0.00	0.17
209	24.00	1879.47	0.44	0.00	0.12
210	23.00	1995.70	1.64	0.00	0.09
211	25.00	2108.38	1.06	0.00	0.11
212	19.50	2007.71	0.64	4.00	0.84
213	19.00	1850.18	2.78	1.40	0.14
214	20.50	1260.18	2.64	0.00	0.03
215	22.50	1556.42	2.69	0.00	0.16
216	22.50	1997.38	2.28	0.00	0.05
217	24.00	1985.57	1.50	0.40	0.79
218	20.00	2139.97	1.33	12.60	1.00
219	18.00	2081.07	3.78	28.80	1.00
220	21.00	2053.76	2.31	14.00	0.52
221	20.50	1792.01	3.28	0.00	0.24
222	20.50	1838.11	1.53	2.60	0.96
223	20.50	2037.49	1.11	20.80	1.00
224	20.50	2175.39	2.64	0.00	0.25
225	17.00	1894.93	1.72	18.40	1.00
226	18.50	1693.95	1.89	0.00	0.49
227	17.50	1681.04	3.92	0.00	0.64
228	19.00	1715.89	1.58	0.00	0.19
229	20.50	1658.31	3.22	0.00	0.65
230	17.50	2228.74	3.39	15.20	0.99
231	14.50	1319.73	2.19	0.00	0.11
232	14.00	1007.39	1.25	0.00	0.16
233	16.00	1148.45	1.50	0.00	0.04
234	17.00	1286.99	1.86	0.00	0.07



DATE	Temperature °C	Vapour pressure Pa	Wind speed m/s	Precipitation mm	Cloudiness %
235	19.00	1451.38	1.81	0.00	0.10
236	20.00	1649.23	0.44	0.00	0.18
237	22.50	1988.84	1.06	0.00	0.38
238	23.50	2000.43	1.86	0.00	0.32
239	19.50	2204.88	2.31	2.80	0.96
240	19.00	1893.84	1.89	16.80	0.32
241	18.00	1885.24	2.64	0.00	0.24
242	16.00	1216.92	2.44	0.00	0.09
243	18.50	1282.95	2.94	0.00	0.34
244	20.00	1636.17	2.47	0.40	0.45
245	17.50	1658.44	2.86	0.00	0.19
246	13.50	1103.66	3.08	0.00	0.05
247	15.00	888.09	2.61	0.00	0.14
248	17.00	1506.87	2.72	1.00	0.41
249	15.00	1130.29	1.89	0.00	0.15
250	11.50	1727.40	2.61	4.20	0.87
251	9.00	813.08	2.11	0.00	0.12
252	11.00	841.80	1.06	0.00	0.48
253	12.50	1208.04	1.72	0.00	0.99
254	14.00	1362.82	1.75	0.20	0.09
255	14.00	987.98	2.83	0.80	0.27
256	13.00	1274.57	4.44	0.00	0.18
257	19.00	841.86	2.50	0.00	0.57
258	15.00	1755.99	4.61	7.80	1.00
259	8.00	1225.83	4.72	0.20	0.64
260	7.50	827.27	3.39	0.20	0.50
261	8.00	685.48	4.42	0.00	0.46
262	9.50	740.12	2.08	1.80	0.38
263	11.00	937.40	1.67	1.80	0.98
264	10.00	993.59	2.47	0.00	0.77
265	11.00	1036.20	3.08	21.80	1.00
266	12.50	1293.54	4.14	8.20	0.67
267	8.00	1138.74	5.67	4.20	1.00
268	12.50	1003.47	2.03	0.40	0.90
269	14.00	1215.18	2.08	0.40	0.66
270	15.00	1448.80	1.56	1.40	0.57
271	15.00	1469.23	1.89	1.40	0.96
272	11.50	1514.84	1.61	2.40	0.86

DATE	Temperature °C	Vapour pressure Pa	Wind speed m/s	Precipitation mm	Cloudiness %
273	9.00	1014.44	7.00	54.40	1.00
274	8.00	987.56	4.31	0.60	0.89
275	7.50	826.26	3.42	7.20	0.91
276	8.00	780.33	3.61	0.00	0.91
277	11.50	799.12	3.42	20.60	0.74
278	11.00	1236.24	5.22	0.20	0.60
279	16.00	905.52	3.75	0.80	0.45
280	11.50	1373.53	2.72	4.00	1.00
281	7.50	969.17	4.67	4.00	1.00
282	6.00	742.89	6.06	17.20	1.00
283	6.00	791.10	7.14	2.00	1.00
284	9.50	895.36	5.00	19.40	1.00
285	14.00	1356.46	1.22	20.20	1.00
286	14.00	1560.78	2.08	6.60	1.00
287	11.00	1411.71	2.28	0.40	0.68
288	10.00	1028.75	4.06	2.00	0.69
289	8.00	840.21	4.53	0.00	0.33
290	9.00	712.38	2.58	8.40	0.98
291	9.00	957.65	4.25	12.20	1.00
292	5.50	1039.70	8.19	5.40	1.00
293	3.50	506.66	5.08	0.00	0.06
294	6.00	490.42	1.33	0.00	0.11
295	6.50	729.86	1.58	4.40	1.00
296	3.50	769.91	4.94	3.80	0.52
297	4.50	648.29	3.92	6.60	1.00
298	5.50	760.06	1.44	0.00	0.64
299	2.50	596.92	3.36	0.00	0.57
300	1.00	352.33	1.67	0.00	0.23
301	3.00	438.66	1.50	8.80	0.99
302	1.00	650.90	3.86	0.00	0.59
303	0.00	424.59	3.67	0.00	0.75
304	2.00	595.94	3.28	0.00	0.17

## **ANNEXE G**

Variables motrices utilisées par le modèle SOILN

DRIV\_N.BIN

DATE	INFIL mm/day	WFLOW(1) mm/day	WFLOW(2) mm/day	WFLOW(3) mm/day	WFLOW(4) mm/day	WFLOW(5) mm/day	WFLOW(6) mm/day
121	1.07	0.89	1.64	3.47	2.00	0.63	0.49
122	0.00	0.47	1.38	2.23	2.00	0.83	0.53
123	0.00	0.32	1.11	1.68	1.90	1.05	0.55
124	0.00	0.20	0.93	1.37	1.69	1.22	0.59
125	2.35	0.25	1.18	1.27	1.51	1.29	0.63
126	0.21	0.32	0.98	1.22	1.40	1.33	0.67
127	0.21	0.23	0.79	1.09	1.31	1.34	0.72
128	1.28	0.21	0.66	0.96	1.22	1.32	0.76
129	0.00	0.17	0.58	0.86	1.13	1.29	0.81
130	11.56	0.71	0.55	0.79	1.06	1.25	0.84
131	14.55	4.18	0.86	0.81	1.01	1.21	0.88
132	0.00	3.47	2.18	1.13	1.01	1.17	0.91
133	0.21	0.98	2.10	1.63	1.16	1.15	0.94
134	0.00	0.67	1.64	1.67	1.33	1.17	0.96
135	1.07	0.54	1.30	1.53	1.41	1.22	0.99
136	0.00	0.41	1.04	1.34	1.41	1.28	1.02
137	19.90	2.84	0.98	1.18	1.35	1.32	1.05
138	19.90	12.74	2.86	1.40	1.30	1.32	1.08
139	9.42	10.64	7.82	3.93	1.73	1.35	1.11
140	0.00	4.77	7.35	6.08	3.20	1.64	1.15
141	3.64	2.47	5.10	5.79	4.78	2.44	1.24
142	4.49	2.27	4.95	4.96	4.95	3.47	1.42
143	0.00	1.31	3.36	4.35	4.67	4.27	1.73
144	0.00	0.53	2.16	3.30	3.98	4.36	2.12
145	0.00	0.37	1.53	2.42	3.31	3.94	2.49
146	0.00	0.18	1.16	1.92	2.74	3.46	3.16
147	0.00	0.05	0.89	1.56	2.32	3.04	3.45
148	0.00	-0.04	0.68	1.29	2.00	2.68	3.29
149	0.00	-0.08	0.52	1.08	1.73	2.37	3.10
150	0.00	-0.09	0.39	0.89	1.50	2.11	2.89
151	0.00	-0.11	0.31	0.74	1.30	1.87	2.69
152	0.00	-0.16	0.25	0.64	1.14	1.66	2.48
153	0.00	-0.21	0.20	0.57	1.02	1.49	2.29
154	2.31	-0.20	0.15	0.50	0.93	1.36	2.14
155	3.37	-0.08	0.12	0.45	0.85	1.25	2.02

DATE	INFIL mm/day	WFLOW(1) mm/day	WFLOW(2) mm/day	WFLOW(3) mm/day	WFLOW(4) mm/day	WFLOW(5) mm/day	WFLOW(6) mm/day
156	0.00	-0.05	0.11	0.39	0.78	1.16	1.91
157	0.37	-0.11	0.10	0.35	0.70	1.06	1.80
158	10.64	0.13	0.10	0.32	0.64	0.97	1.69
159	0.00	0.28	0.15	0.31	0.59	0.90	1.59
160	2.93	0.18	0.18	0.32	0.56	0.84	1.49
161	21.54	2.98	0.34	0.34	0.54	0.79	1.40
162	0.78	4.64	1.43	0.54	0.54	0.75	1.32
163	0.00	1.43	1.95	1.05	0.63	0.72	1.25
164	0.00	0.70	1.61	1.29	0.79	0.73	1.19
165	0.00	0.39	0.85	1.19	0.92	0.76	1.14
166	2.91	0.26	0.86	0.99	0.96	0.81	1.10
167	0.00	0.17	0.95	0.99	0.96	0.85	1.08
168	0.00	-0.05	0.70	0.92	0.96	0.88	1.06
169	22.27	2.07	0.66	0.81	0.93	0.91	1.04
170	0.00	4.00	1.67	0.97	0.91	0.92	1.04
171	0.00	1.48	1.90	1.38	1.00	0.93	1.03
172	8.67	2.04	1.68	1.46	1.12	0.96	1.02
173	0.00	2.01	1.95	1.57	1.21	1.00	1.02
174	11.24	2.61	1.89	1.67	1.32	1.06	1.02
175	5.03	3.51	2.62	1.92	1.44	1.13	1.02
176	0.00	1.28	2.21	2.22	1.66	1.23	1.03
177	0.00	0.21	1.18	1.75	1.75	1.36	1.06
178	8.01	0.47	1.44	1.53	1.66	1.45	1.09
179	0.00	0.51	1.19	1.44	1.58	1.51	1.14
180	3.71	0.16	0.88	1.24	1.48	1.52	1.18
181	0.00	0.02	0.68	1.05	1.36	1.49	1.22
182	2.62	-0.09	0.49	0.88	1.23	1.44	1.25
183	0.00	-0.13	0.33	0.73	1.11	1.37	1.27
184	2.16	-0.22	0.16	0.60	0.99	1.29	1.28
185	10.70	0.05	0.09	0.47	0.88	1.20	1.28
186	0.00	0.18	0.14	0.41	0.79	1.12	1.27
187	0.00	-0.08	0.08	0.37	0.71	1.04	1.25
188	0.00	-0.17	-0.02	0.31	0.65	0.96	1.23
189	6.77	-0.16	-0.11	0.24	0.58	0.89	1.20
190	9.96	-0.13	-0.13	0.18	0.53	0.83	1.16
191	0.00	-0.16	-0.16	0.14	0.48	0.77	1.13
192	0.00	-0.18	-0.18	0.10	0.43	0.72	1.09
193	0.00	-0.23	-0.23	0.07	0.39	0.67	1.05

DATE	INFIL mm/day	WFLOW(1) mm/day	WFLOW(2) mm/day	WFLOW(3) mm/day	WFLOW(4) mm/day	WFLOW(5) mm/day	WFLOW(6) mm/day
194	0.00	-0.28	-0.28	0.03	0.35	0.62	1.02
195	0.00	-0.26	-0.26	-0.00	0.31	0.58	0.98
196	0.00	-0.23	-0.23	-0.01	0.28	0.54	0.94
197	1.41	-0.16	-0.16	-0.01	0.25	0.51	0.90
198	9.08	-0.07	-0.07	0.01	0.24	0.48	0.87
199	3.05	-0.05	-0.05	0.04	0.23	0.45	0.84
200	29.12	0.00	-0.44	0.02	0.22	0.43	0.81
201	1.69	0.08	-0.81	-0.16	0.20	0.41	0.78
202	0.00	0.02	-0.66	-0.30	0.15	0.39	0.75
203	0.00	-0.01	-0.57	-0.43	0.09	0.36	0.72
204	29.34	0.27	-0.47	-0.45	0.03	0.33	0.70
205	1.23	1.36	-0.42	-0.42	-0.00	0.30	0.67
206	0.00	0.37	-0.36	-0.36	-0.02	0.27	0.64
207	0.00	0.06	-0.33	-0.33	-0.03	0.24	0.62
208	0.00	-0.00	-0.31	-0.31	-0.04	0.22	0.59
209	0.00	-0.02	-0.28	-0.28	-0.04	0.20	0.57
210	0.00	-0.02	-0.26	-0.26	-0.04	0.19	0.54
211	0.00	-0.02	-0.23	-0.23	-0.04	0.17	0.52
212	3.58	-0.01	-0.21	-0.21	-0.04	0.16	0.50
213	0.80	-0.01	-0.19	-0.19	-0.04	0.15	0.48
214	0.00	-0.01	-0.17	-0.17	-0.04	0.14	0.47
215	0.00	-0.00	-0.14	-0.14	-0.03	0.13	0.45
216	0.00	-0.00	-0.12	-0.12	-0.03	0.13	0.43
217	0.00	-0.00	-0.11	-0.11	-0.02	0.12	0.42
218	12.78	-0.00	-0.10	-0.10	-0.02	0.11	0.40
219	29.62	0.33	-0.09	-0.09	-0.01	0.11	0.39
220	14.28	3.11	-0.08	-0.36	-0.04	0.10	0.37
221	0.00	1.36	-0.06	-0.47	-0.09	0.10	0.36
222	2.08	0.13	-0.06	-0.40	-0.14	0.09	0.35
223	21.56	1.36	-0.06	-0.26	-0.15	0.08	0.34
224	0.00	2.15	-0.05	-0.22	-0.16	0.07	0.33
225	18.99	4.37	-0.02	-0.09	-0.07	0.06	0.32
226	0.00	4.00	0.08	-0.36	-0.15	0.05	0.31
227	0.00	0.65	0.13	-0.22	-0.16	0.05	0.30
228	0.00	0.23	0.12	-0.27	-0.16	0.04	0.29
229	0.00	0.05	0.09	-0.44	-0.18	0.03	0.28
230	15.56	0.26	0.07	-0.01	-0.00	0.03	0.27
231	0.00	0.48	0.08	-0.18	-0.18	0.03	0.26

DATE	INFIL mm/day	WFLOW(1) mm/day	WFLOW(2) mm/day	WFLOW(3) mm/day	WFLOW(4) mm/day	WFLOW(5) mm/day	WFLOW(6) mm/day
232	0.00	0.08	0.07	-0.30	-0.19	0.02	0.25
233	0.00	0.02	0.05	-0.34	-0.19	0.01	0.24
234	0.00	-0.00	0.01	-0.31	-0.20	0.01	0.23
235	0.00	-0.02	0.01	-0.29	-0.20	0.00	0.22
236	0.00	-0.02	0.00	-0.21	-0.20	-0.00	0.22
237	0.00	-0.02	0.00	-0.25	-0.20	-0.01	0.21
238	0.00	-0.02	-0.00	-0.24	-0.20	-0.01	0.20
239	2.46	-0.02	-0.01	-0.06	-0.07	-0.01	0.20
240	17.46	-0.00	-0.01	-0.13	-0.16	-0.01	0.19
241	0.00	0.01	-0.01	-0.10	-0.13	-0.02	0.19
242	0.00	0.00	-0.01	-0.21	-0.17	-0.02	0.18
243	0.00	-0.00	-0.02	-0.20	-0.17	-0.02	0.17
244	0.01	-0.01	-0.02	-0.19	-0.17	-0.03	0.17
245	0.00	-0.01	-0.02	-0.16	-0.16	-0.03	0.16
246	0.00	-0.00	-0.02	-0.17	-0.16	-0.03	0.16
247	0.00	-0.00	-0.02	-0.16	-0.15	-0.04	0.15
248	0.74	-0.00	-0.02	-0.16	-0.15	-0.04	0.15
249	0.00	-0.00	-0.02	-0.15	-0.14	-0.04	0.14
250	4.21	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	0.14
251	0.02	-0.00	-0.02	-0.11	-0.13	-0.04	0.14
252	0.00	-0.00	-0.02	-0.11	-0.13	-0.04	0.13
253	0.00	-0.00	-0.02	-0.08	-0.10	-0.04	0.13
254	0.03	-0.00	-0.02	-0.07	-0.08	-0.04	0.12
255	0.69	-0.00	-0.02	-0.13	-0.12	-0.04	0.12
256	0.00	-0.00	-0.02	-0.08	-0.09	-0.04	0.12
257	0.00	-0.00	-0.02	-0.12	-0.11	-0.04	0.11
258	8.25	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	0.11
259	0.24	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.11
260	0.24	-0.00	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	0.11
261	0.00	-0.00	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	0.10
262	1.93	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.10
263	1.93	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.10
264	0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.10
265	23.33	0.05	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	0.09
266	8.77	0.79	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	0.09
267	4.49	1.71	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.09
268	0.43	1.55	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.09
269	0.43	0.96	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.09

DATE	INFIL mm/day	WFLOW(1) mm/day	WFLOW(2) mm/day	WFLOW(3) mm/day	WFLOW(4) mm/day	WFLOW(5) mm/day	WFLOW(6) mm/day
270	1.50	0.85	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	0.08
271	1.50	0.85	0.02	-0.00	-0.00	-0.00	0.08
272	2.57	0.91	0.03	-0.00	-0.00	-0.00	0.08
273	23.30	14.30	0.08	-0.08	-0.08	-0.02	0.08
274	0.64	19.11	4.52	-0.09	-0.09	-0.03	0.08
275	7.70	6.98	6.98	0.09	-0.08	-0.02	0.08
276	0.00	4.67	6.96	0.59	-0.03	-0.01	0.08
277	22.04	9.64	6.54	1.81	-0.04	-0.02	0.07
278	0.21	8.32	9.34	4.76	0.09	-0.01	0.07
279	0.86	3.11	6.60	6.28	0.79	0.00	0.07
280	4.28	2.29	4.74	5.69	1.07	0.00	0.07
281	4.28	2.45	4.24	4.80	1.93	0.03	0.07
282	18.40	6.09	2.95	3.62	2.50	0.12	0.07
283	2.14	6.15	5.27	3.65	2.67	0.25	0.07
284	20.76	10.77	5.87	4.77	4.90	0.47	0.08
285	21.61	20.31	15.78	10.32	5.33	1.15	0.09
286	7.06	12.17	15.78	16.04	13.13	4.97	0.13
287	0.43	5.27	8.96	9.89	10.00	8.77	0.35
288	2.14	2.65	5.26	7.43	9.21	7.65	0.73
289	0.00	1.36	3.37	5.37	6.23	9.28	1.39
290	8.99	1.80	3.27	4.02	4.64	6.72	2.27
291	13.05	5.30	2.89	3.51	4.14	5.30	2.98
292	5.78	6.08	4.01	3.51	3.75	4.54	3.43
293	0.00	3.74	5.96	4.78	4.02	4.15	3.72
294	0.00	1.71	3.96	4.69	4.55	4.25	3.94
295	4.71	1.87	2.77	3.59	4.20	4.32	4.15
296	4.07	2.54	2.54	3.00	3.61	4.06	4.30
297	7.06	3.34	2.68	2.79	3.20	3.67	4.33
298	0.00	2.87	2.99	2.89	3.02	3.34	4.25
299	0.00	1.59	2.57	2.84	2.96	3.14	4.10
300	0.00	1.03	1.97	2.46	2.80	2.99	3.92
301	9.42	1.98	1.69	2.07	2.52	2.81	3.74
302	0.00	2.67	2.08	2.02	2.29	2.60	3.53
303	0.00	1.50	2.01	2.07	2.19	2.42	3.32



DATE	DFLOW(1) mm/day	DFLOW(2) mm/day	DFLOW(3) mm/day	DFLOW(4) mm/day	DFLOW(5) mm/day	DFLOW(6) mm/day	DFLOW(7) mm/day
121	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
122	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
123	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
124	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
126	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
127	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54
128	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55
129	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
130	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57
131	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
132	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
133	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
134	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65
136	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67
137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69
138	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
139	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73
140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76
141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78
142	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82
143	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86
144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
145	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03
146	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
147	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35
148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55
149	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.73
150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89
151	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01
152	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09
153	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.14
154	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15
155	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15
156	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13
157	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10
158	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.06

DATE	DFLOW(1) mm/day	DFLOW(2) mm/day	DFLOW(3) mm/day	DFLOW(4) mm/day	DFLOW(5) mm/day	DFLOW(6) mm/day	DFLOW(7) mm/day
159	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.02
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96
161	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90
162	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84
163	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78
164	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.73
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67
166	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61
167	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56
168	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52
169	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48
170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44
171	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41
172	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
173	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36
174	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33
175	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31
176	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
177	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27
178	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26
179	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
181	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25
182	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26
183	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26
184	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27
185	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27
186	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
187	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
188	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
189	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
191	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27
192	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26
193	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24
194	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.23
195	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21
196	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20

DATE	DFLOW(1) mm/day	DFLOW(2) mm/day	DFLOW(3) mm/day	DFLOW(4) mm/day	DFLOW(5) mm/day	DFLOW(6) mm/day	DFLOW(7) mm/day
197	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18
198	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
199	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11
201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07
203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
204	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03
205	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01
206	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99
207	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
208	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94
209	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92
210	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
211	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88
212	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86
213	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
214	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82
215	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
216	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78
217	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77
218	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
219	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73
220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
221	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70
222	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68
223	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67
224	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65
225	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64
226	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62
227	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
228	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
229	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
230	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57
231	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
232	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55
233	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
234	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52

DATE	DFLOW(1) mm/day	DFLOW(2) mm/day	DFLOW(3) mm/day	DFLOW(4) mm/day	DFLOW(5) mm/day	DFLOW(6) mm/day	DFLOW(7) mm/day
235	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51
236	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
237	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49
238	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
239	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47
240	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46
241	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45
242	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44
243	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
244	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42
245	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41
246	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41
247	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
248	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39
249	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
250	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
251	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
252	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
253	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35
254	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35
255	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34
256	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
257	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
258	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
259	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
260	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
261	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
262	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
263	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
264	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
265	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28
266	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
267	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
268	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
269	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
270	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
271	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
272	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25

DATE	DFLOW(1) mm/day	DFLOW(2) mm/day	DFLOW(3) mm/day	DFLOW(4) mm/day	DFLOW(5) mm/day	DFLOW(6) mm/day	DFLOW(7) mm/day
273	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
274	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
275	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
276	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
277	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
278	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
279	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
280	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
281	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
282	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
283	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
284	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
285	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
286	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
287	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
288	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
289	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
290	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
291	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
292	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
293	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
294	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62
295	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
296	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03
297	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
298	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.58
299	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.87
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.14
301	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.38
302	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.57
303	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70

DATE	TEMP(1) °C	TEMP(2) °C	TEMP(3) °C	TEMP(4) °C	TEMP(5) °C	TEMP(6) °C	TEMP(7) °C
121	11.29	7.28	6.24	6.04	6.00	6.00	6.00
122	9.62	8.87	7.32	6.45	6.13	6.01	6.00
123	7.44	7.79	7.43	6.84	6.41	6.09	6.01
124	8.36	7.61	7.26	6.90	6.57	6.19	6.02
125	8.01	7.80	7.35	6.96	6.65	6.29	6.05
126	7.80	7.59	7.32	7.01	6.72	6.36	6.09
127	7.88	7.59	7.30	7.03	6.77	6.43	6.13
128	7.88	7.59	7.31	7.05	6.80	6.49	6.17
129	11.48	8.48	7.49	7.09	6.84	6.53	6.22
130	12.16	10.01	8.33	7.42	6.97	6.59	6.27
131	9.35	9.62	8.73	7.82	7.22	6.68	6.32
132	8.82	8.77	8.49	7.95	7.42	6.81	6.37
133	10.15	8.98	8.40	7.95	7.51	6.93	6.44
134	12.25	9.89	8.71	8.05	7.58	7.02	6.51
135	12.52	10.75	9.29	8.34	7.74	7.12	6.59
136	11.85	10.81	9.64	8.66	7.97	7.24	6.67
137	10.11	10.32	9.68	8.87	8.19	7.40	6.76
138	9.07	9.51	9.38	8.88	8.31	7.54	6.86
139	7.82	8.82	9.01	8.76	8.33	7.65	6.95
140	7.17	8.08	8.53	8.54	8.28	7.73	7.05
141	6.97	7.70	8.14	8.27	8.15	7.77	7.15
142	6.39	7.34	7.84	8.04	8.01	7.76	7.23
143	7.04	7.17	7.56	7.81	7.87	7.73	7.31
144	7.24	7.38	7.53	7.67	7.74	7.69	7.36
145	9.53	7.92	7.60	7.62	7.66	7.64	7.41
146	11.89	9.35	8.18	7.77	7.66	7.61	7.44
147	13.69	10.68	8.98	8.15	7.81	7.62	7.46
148	14.99	11.88	9.84	8.68	8.09	7.69	7.49
149	12.40	11.99	10.49	9.23	8.46	7.82	7.52
150	10.56	10.85	10.35	9.51	8.78	8.00	7.57
151	9.46	10.10	9.99	9.51	8.93	8.18	7.64
152	13.49	10.58	9.81	9.40	8.96	8.31	7.73
153	15.75	12.53	10.58	9.59	9.02	8.41	7.81
154	18.52	13.99	11.50	10.09	9.27	8.52	7.90
155	14.77	14.44	12.42	10.73	9.66	8.69	7.99
156	10.50	12.29	12.07	11.05	10.05	8.91	8.10
157	8.87	10.62	11.18	10.85	10.17	9.12	8.22
158	11.30	10.44	10.54	10.46	10.07	9.26	8.36

DATE	TEMP(1) °C	TEMP(2) °C	TEMP(3) °C	TEMP(4) °C	TEMP(5) °C	TEMP(6) °C	TEMP(7) °C
159	13.03	11.47	10.71	10.32	9.95	9.33	8.48
160	14.34	12.29	11.12	10.44	9.96	9.37	8.60
161	13.00	12.55	11.53	10.69	10.09	9.43	8.71
162	13.14	12.25	11.53	10.84	10.24	9.52	8.81
163	14.77	12.83	11.72	10.95	10.36	9.63	8.91
164	16.00	13.72	12.19	11.19	10.51	9.74	9.01
165	18.39	14.83	12.80	11.55	10.73	9.87	9.12
166	19.21	16.09	13.67	12.07	11.05	10.03	9.23
167	19.76	16.72	14.37	12.64	11.45	10.25	9.35
168	20.40	17.38	14.97	13.16	11.87	10.50	9.48
169	19.94	17.72	15.49	13.66	12.29	10.79	9.64
170	16.53	16.97	15.64	14.03	12.67	11.08	9.81
171	13.72	15.13	15.02	14.06	12.92	11.37	9.99
172	13.27	14.01	14.22	13.76	12.94	11.60	10.19
173	14.78	14.00	13.78	13.43	12.83	11.74	10.39
174	14.80	14.36	13.81	13.30	12.74	11.82	10.58
175	16.75	14.76	13.88	13.28	12.72	11.88	10.75
176	18.10	15.88	14.38	13.44	12.78	11.95	10.90
177	19.22	16.64	14.92	13.77	12.96	12.04	11.05
178	17.87	16.91	15.41	14.14	13.21	12.18	11.19
179	16.11	16.14	15.38	14.37	13.46	12.36	11.34
180	15.62	15.52	15.08	14.37	13.60	12.53	11.48
181	16.35	15.48	14.90	14.30	13.64	12.68	11.64
182	15.92	15.56	14.93	14.29	13.67	12.79	11.78
183	17.06	15.65	14.91	14.30	13.72	12.89	11.93
184	18.11	16.37	15.19	14.39	13.78	12.98	12.06
185	17.06	16.48	15.48	14.60	13.91	13.08	12.20
186	15.64	15.88	15.40	14.71	14.04	13.19	12.32
187	14.76	15.23	15.10	14.66	14.11	13.31	12.45
188	14.95	14.92	14.82	14.52	14.10	13.40	12.57
189	15.89	15.13	14.74	14.42	14.05	13.46	12.68
190	19.38	16.26	15.02	14.45	14.05	13.50	12.79
191	18.71	17.38	15.79	14.77	14.17	13.56	12.89
192	17.43	16.93	16.00	15.09	14.40	13.66	12.99
193	16.91	16.61	15.95	15.22	14.57	13.79	13.08
194	16.82	16.41	15.86	15.26	14.68	13.91	13.19
195	17.56	16.57	15.86	15.28	14.74	14.02	13.29
196	19.38	17.24	16.09	15.37	14.81	14.12	13.39

DATE	TEMP(1) °C	TEMP(2) °C	TEMP(3) °C	TEMP(4) °C	TEMP(5) °C	TEMP(6) °C	TEMP(7) °C
197	21.22	18.34	16.63	15.61	14.95	14.21	13.50
198	21.41	19.15	17.28	16.01	15.18	14.34	13.60
199	22.29	19.70	17.77	16.42	15.48	14.50	13.71
200	22.34	20.23	18.28	16.83	15.80	14.70	13.83
201	19.92	19.81	18.52	17.18	16.11	14.91	13.95
202	19.12	18.87	18.23	17.29	16.34	15.13	14.09
203	20.09	18.97	18.12	17.27	16.44	15.32	14.24
204	18.74	18.88	18.18	17.32	16.53	15.48	14.40
205	17.91	18.12	17.89	17.29	16.60	15.61	14.55
206	19.15	18.21	17.70	17.18	16.60	15.72	14.70
207	20.62	18.98	17.94	17.20	16.61	15.80	14.84
208	22.10	19.89	18.42	17.41	16.71	15.89	14.97
209	23.15	20.78	19.02	17.76	16.91	16.00	15.10
210	22.72	21.17	19.52	18.16	17.19	16.15	15.23
211	23.43	21.40	19.82	18.49	17.47	16.33	15.36
212	21.29	21.24	20.05	18.77	17.73	16.53	15.50
213	19.73	20.14	19.71	18.84	17.93	16.73	15.65
214	20.11	19.83	19.42	18.74	17.99	16.91	15.81
215	21.36	20.25	19.47	18.71	18.01	17.04	15.96
216	21.91	20.75	19.71	18.81	18.08	17.15	16.11
217	22.73	21.14	19.95	18.97	18.21	17.26	16.26
218	21.21	21.08	20.14	19.16	18.36	17.39	16.40
219	19.18	20.01	19.83	19.19	18.48	17.52	16.54
220	20.26	19.66	19.43	19.04	18.49	17.64	16.68
221	21.04	20.25	19.56	19.01	18.48	17.72	16.81
222	20.86	20.40	19.73	19.10	18.53	17.79	16.93
223	20.66	20.31	19.76	19.17	18.61	17.87	17.06
224	20.74	20.28	19.74	19.20	18.67	17.95	17.17
225	18.80	19.74	19.64	19.20	18.71	18.04	17.28
226	18.67	18.97	19.20	19.06	18.71	18.10	17.38
227	18.41	18.90	19.01	18.90	18.64	18.15	17.48
228	18.81	18.76	18.84	18.77	18.57	18.17	17.57
229	20.02	19.23	18.92	18.73	18.52	18.17	17.65
230	18.80	19.29	19.08	18.79	18.53	18.19	17.72
231	16.74	18.31	18.78	18.74	18.54	18.21	17.78
232	15.52	17.27	18.21	18.51	18.47	18.23	17.84
233	16.12	16.89	17.72	18.19	18.30	18.21	17.89
234	17.05	17.20	17.61	17.96	18.12	18.16	17.93



DATE	TEMP(1) °C	TEMP(2) °C	TEMP(3) °C	TEMP(4) °C	TEMP(5) °C	TEMP(6) °C	TEMP(7) °C
235	18.38	17.76	17.74	17.90	18.01	18.10	17.96
236	19.42	18.48	18.08	17.98	17.99	18.05	17.97
237	20.94	19.26	18.49	18.17	18.06	18.03	17.98
238	22.15	20.24	19.10	18.49	18.20	18.05	17.99
239	20.66	20.43	19.57	18.85	18.42	18.11	18.00
240	19.51	19.75	19.49	19.03	18.62	18.21	18.02
241	18.86	19.30	19.29	19.03	18.71	18.31	18.05
242	17.58	18.70	19.02	18.95	18.73	18.38	18.09
243	18.22	18.37	18.70	18.80	18.70	18.43	18.13
244	19.48	18.87	18.73	18.71	18.63	18.45	18.17
245	18.61	19.00	18.89	18.74	18.62	18.45	18.21
246	16.04	18.08	18.67	18.72	18.63	18.46	18.24
247	15.56	17.08	18.07	18.49	18.56	18.47	18.27
248	16.64	17.07	17.73	18.20	18.40	18.44	18.30
249	16.16	17.13	17.66	18.03	18.24	18.38	18.31
250	13.94	16.30	17.36	17.86	18.12	18.32	18.32
251	11.70	14.90	16.64	17.52	17.95	18.24	18.31
252	11.75	13.97	15.83	17.02	17.66	18.13	18.30
253	12.73	14.00	15.41	16.56	17.31	17.98	18.27
254	13.80	14.36	15.32	16.28	17.03	17.80	18.22
255	14.24	14.75	15.43	16.17	16.84	17.63	18.15
256	13.83	14.79	15.49	16.14	16.73	17.48	18.08
257	16.50	15.32	15.56	16.11	16.65	17.36	17.99
258	16.12	16.20	16.07	16.26	16.64	17.26	17.90
259	11.93	15.00	15.99	16.38	16.69	17.20	17.81
260	9.68	13.04	15.08	16.10	16.63	17.15	17.73
261	9.37	12.07	14.19	15.55	16.35	17.06	17.64
262	10.00	11.81	13.63	15.04	15.99	16.91	17.56
263	11.04	12.05	13.41	14.68	15.66	16.71	17.46
264	10.96	12.24	13.41	14.49	15.42	16.51	17.35
265	11.21	12.20	13.33	14.36	15.24	16.31	17.22
266	12.18	12.50	13.34	14.26	15.09	16.14	17.09
267	10.44	12.33	13.40	14.23	14.99	15.99	16.96
268	11.38	11.86	13.05	14.08	14.88	15.85	16.82
269	13.19	12.79	13.21	13.97	14.73	15.72	16.68
270	14.27	13.63	13.64	14.08	14.69	15.59	16.55
271	14.72	14.23	14.08	14.30	14.74	15.50	16.41
272	13.15	14.09	14.32	14.51	14.84	15.45	16.29

DATE	TEMP(1) °C	TEMP(2) °C	TEMP(3) °C	TEMP(4) °C	TEMP(5) °C	TEMP(6) °C	TEMP(7) °C
273	10.60	12.81	13.97	14.52	14.89	15.42	16.17
274	9.23	11.39	13.12	14.19	14.79	15.39	16.07
275	8.75	10.72	12.36	13.68	14.51	15.29	15.98
276	8.74	10.33	11.86	13.20	14.17	15.14	15.88
277	10.48	10.63	11.64	12.83	13.84	14.94	15.76
278	11.15	11.30	11.84	12.70	13.61	14.73	15.64
279	13.57	12.10	12.13	12.72	13.48	14.55	15.51
280	12.87	12.94	12.74	12.95	13.48	14.40	15.37
281	10.03	12.06	12.77	13.14	13.56	14.31	15.24
282	8.01	10.64	12.17	12.99	13.54	14.25	15.11
283	7.34	9.65	11.43	12.60	13.35	14.16	14.99
284	8.81	9.55	10.92	12.14	13.03	14.01	14.87
285	11.84	10.67	11.02	11.89	12.75	13.81	14.74
286	13.22	12.03	11.67	11.99	12.61	13.61	14.61
287	12.11	12.34	12.19	12.28	12.66	13.45	14.46
288	10.93	11.83	12.21	12.45	12.76	13.37	14.32
289	9.63	11.19	11.98	12.43	12.79	13.33	14.18
290	9.41	10.62	11.60	12.27	12.73	13.29	14.06
291	9.52	10.47	11.35	12.07	12.60	13.22	13.93
292	7.81	9.94	11.11	11.89	12.46	13.13	13.83
293	5.86	8.73	10.50	11.59	12.28	13.02	13.71
294	6.22	8.02	9.81	11.13	12.00	12.87	13.60
295	6.91	8.13	9.50	10.74	11.67	12.69	13.48
296	5.63	7.85	9.32	10.48	11.41	12.48	13.35
297	5.26	7.18	8.89	10.19	11.16	12.27	13.21
298	5.82	7.11	8.58	9.87	10.89	12.06	13.06
299	4.64	6.88	8.40	9.63	10.64	11.85	12.90
300	3.10	5.97	7.95	9.35	10.40	11.64	12.74
301	3.42	5.41	7.39	8.96	10.11	11.42	12.57
302	2.84	5.19	7.06	8.59	9.79	11.18	12.39
303	1.81	4.52	6.63	8.25	9.49	10.93	12.21

DATE	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %
121	35.91	37.11	39.44	38.96	32.40	32.05	32.03
122	34.98	36.69	38.81	39.37	33.00	32.10	32.03
123	34.51	36.27	38.46	39.36	33.52	32.20	32.03
124	33.92	35.89	38.21	39.22	33.85	32.34	32.04
125	33.95	35.47	38.07	39.07	34.02	32.50	32.05
126	34.09	35.07	38.00	38.97	34.10	32.67	32.08
127	33.61	34.76	37.86	38.87	34.11	32.83	32.10
128	33.41	34.50	37.71	38.75	34.08	32.97	32.14
129	33.05	34.30	37.56	38.62	34.01	33.11	32.17
130	35.14	34.16	37.43	38.48	33.92	33.22	32.22
131	40.05	34.89	37.37	38.36	33.82	33.31	32.27
132	39.40	36.52	37.62	38.32	33.73	33.39	32.32
133	36.38	36.30	38.06	38.49	33.69	33.44	32.37
134	35.38	35.77	38.16	38.70	33.73	33.50	32.42
135	34.67	35.34	38.09	38.82	33.82	33.55	32.48
136	34.22	34.99	37.95	38.83	33.91	33.62	32.53
137	38.25	35.00	37.81	38.76	33.95	33.68	32.60
138	43.54	38.04	37.95	38.71	33.95	33.75	32.66
139	43.26	41.66	39.55	39.18	34.00	33.80	32.72
140	40.44	41.75	40.78	40.56	34.45	33.88	32.78
141	38.47	40.07	40.96	41.67	35.47	34.08	32.85
142	38.60	38.86	40.78	41.80	36.48	34.48	32.94
143	37.07	37.67	40.53	41.76	36.98	35.05	33.06
144	35.22	36.71	39.97	41.52	36.96	35.68	33.22
145	34.49	36.03	39.46	41.10	36.70	36.15	33.44
146	33.62	35.49	39.05	40.67	36.35	36.40	33.71
147	32.84	35.04	38.70	40.28	35.99	36.36	34.07
148	32.15	34.64	38.38	39.91	35.64	36.23	34.40
149	31.66	34.31	38.08	39.57	35.31	36.06	34.66
150	31.30	34.04	37.82	39.25	35.00	35.87	34.86
151	30.88	33.81	37.59	38.96	34.70	35.67	35.00
152	30.32	33.61	37.38	38.69	34.43	35.47	35.10
153	29.67	33.40	37.19	38.45	34.18	35.26	35.14
154	29.60	33.21	37.01	38.23	33.96	35.06	35.16
155	30.61	33.06	36.84	38.02	33.75	34.87	35.15
156	30.76	32.98	36.68	37.82	33.56	34.68	35.12
157	29.90	32.89	36.55	37.64	33.37	34.50	35.07
158	32.20	32.82	36.43	37.47	33.19	34.31	35.01

DATE	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %
159	33.51	32.89	36.33	37.32	33.04	34.14	34.95
160	32.71	32.91	36.26	37.19	32.89	33.97	34.87
161	37.93	33.24	36.21	37.08	32.75	33.81	34.79
162	39.86	35.33	36.38	37.01	32.64	33.67	34.71
163	36.89	35.75	36.91	37.12	32.55	33.53	34.62
164	35.27	35.37	37.22	37.36	32.54	33.40	34.53
165	33.97	35.01	37.21	37.57	32.60	33.30	34.44
166	33.42	34.77	37.06	37.63	32.68	33.21	34.36
167	32.94	34.41	37.05	37.65	32.75	33.15	34.27
168	31.70	34.02	36.99	37.65	32.80	33.09	34.19
169	36.17	33.91	36.87	37.60	32.83	33.05	34.11
170	39.17	35.35	36.97	37.57	32.83	33.02	34.05
171	37.05	35.62	37.34	37.69	32.84	33.00	33.98
172	37.75	35.48	37.50	37.87	32.90	32.98	33.92
173	37.62	35.78	37.66	38.04	32.99	32.97	33.86
174	38.16	35.73	37.80	38.22	33.12	32.97	33.80
175	38.95	36.39	38.03	38.41	33.26	32.98	33.76
176	36.24	36.28	38.29	38.69	33.44	33.02	33.71
177	33.70	35.81	38.07	38.85	33.66	33.08	33.67
178	34.41	35.28	37.91	38.79	33.81	33.16	33.64
179	34.45	34.93	37.83	38.73	33.88	33.26	33.61
180	33.03	34.54	37.67	38.64	33.90	33.35	33.60
181	32.13	34.22	37.49	38.50	33.85	33.42	33.59
182	31.25	33.87	37.29	38.33	33.77	33.48	33.58
183	30.65	33.55	37.10	38.15	33.65	33.52	33.58
184	29.24	33.15	36.89	37.96	33.51	33.54	33.58
185	31.50	32.90	36.67	37.75	33.35	33.53	33.59
186	32.64	32.91	36.52	37.56	33.19	33.50	33.59
187	30.28	32.73	36.38	37.38	33.03	33.45	33.58
188	28.53	32.40	36.23	37.21	32.87	33.39	33.58
189	28.19	32.08	36.05	37.04	32.72	33.32	33.57
190	28.36	31.69	35.89	36.86	32.56	33.24	33.55
191	26.50	31.34	35.73	36.69	32.42	33.15	33.53
192	23.85	31.04	35.59	36.53	32.27	33.06	33.50
193	21.50	30.65	35.44	36.36	32.13	32.97	33.47
194	20.40	30.23	35.29	36.20	31.99	32.87	33.44
195	19.94	29.69	35.14	36.05	31.85	32.77	33.40
196	19.55	29.16	35.03	35.90	31.72	32.67	33.36

DATE	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %
197	19.56	28.64	34.92	35.76	31.59	32.57	33.32
198	21.22	28.11	34.87	35.63	31.46	32.48	33.27
199	21.26	27.53	34.83	35.53	31.35	32.38	33.22
200	26.10	26.91	34.75	35.44	31.24	32.28	33.17
201	31.01	26.97	34.38	35.30	31.14	32.19	33.12
202	29.17	27.17	34.00	35.10	31.02	32.10	33.07
203	25.69	27.02	33.55	34.86	30.90	32.01	33.02
204	30.19	26.82	33.19	34.61	30.75	31.91	32.96
205	36.54	27.34	33.04	34.38	30.61	31.82	32.90
206	33.62	27.64	32.83	34.19	30.46	31.73	32.85
207	30.32	27.44	32.51	34.03	30.32	31.64	32.79
208	26.35	27.01	32.10	33.89	30.18	31.54	32.73
209	22.16	26.50	31.66	33.77	30.05	31.45	32.67
210	20.38	26.06	31.27	33.65	29.93	31.36	32.61
211	19.74	25.53	30.82	33.55	29.82	31.28	32.55
212	20.03	25.20	30.53	33.46	29.71	31.19	32.49
213	20.35	25.08	30.38	33.38	29.61	31.11	32.43
214	19.60	24.59	29.97	33.31	29.52	31.02	32.38
215	18.86	23.75	29.34	33.25	29.44	30.94	32.32
216	18.35	23.07	28.83	33.20	29.36	30.86	32.26
217	17.91	22.51	28.40	33.15	29.28	30.79	32.20
218	20.63	22.13	28.10	33.11	29.22	30.71	32.14
219	30.60	22.12	28.05	33.06	29.15	30.64	32.08
220	38.44	22.84	28.00	32.89	29.09	30.57	32.02
221	35.80	23.83	27.91	32.55	29.01	30.51	31.97
222	31.82	23.71	27.82	32.20	28.90	30.44	31.91
223	35.40	23.63	27.75	31.97	28.79	30.37	31.86
224	37.22	24.64	27.71	31.84	28.68	30.31	31.80
225	38.81	25.61	27.68	31.76	28.59	30.24	31.75
226	38.71	28.28	27.71	31.62	28.50	30.18	31.70
227	34.93	28.84	27.72	31.45	28.40	30.12	31.64
228	32.90	28.72	27.72	31.29	28.30	30.06	31.59
229	30.20	28.35	27.68	31.02	28.19	30.00	31.54
230	32.22	28.08	27.66	30.82	28.13	29.94	31.49
231	34.20	28.20	27.67	30.78	28.08	29.88	31.44
232	31.17	28.01	27.64	30.63	27.97	29.82	31.39
233	28.83	27.66	27.59	30.40	27.87	29.76	31.34
234	26.41	27.29	27.52	30.17	27.77	29.71	31.29

DATE	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %
235	23.95	26.91	27.42	29.95	27.66	29.65	31.24
236	21.87	26.60	27.34	29.79	27.56	29.60	31.19
237	20.62	26.35	27.29	29.66	27.46	29.54	31.15
238	19.92	26.00	27.18	29.48	27.37	29.49	31.10
239	20.09	25.77	27.10	29.37	27.30	29.44	31.06
240	24.39	25.68	27.08	29.34	27.24	29.39	31.01
241	27.45	25.58	27.06	29.31	27.16	29.34	30.97
242	25.64	25.41	27.01	29.23	27.06	29.29	30.92
243	23.53	25.11	26.89	29.07	26.94	29.24	30.88
244	21.46	24.80	26.76	28.90	26.82	29.19	30.84
245	20.46	24.59	26.69	28.80	26.72	29.14	30.80
246	19.95	24.43	26.65	28.72	26.63	29.09	30.76
247	19.53	24.20	26.55	28.60	26.53	29.04	30.71
248	19.43	23.98	26.46	28.49	26.44	29.00	30.67
249	19.37	23.82	26.41	28.41	26.36	28.95	30.63
250	20.19	23.73	26.39	28.36	26.32	28.91	30.59
251	20.91	23.69	26.37	28.35	26.29	28.87	30.56
252	20.19	23.60	26.35	28.31	26.23	28.83	30.52
253	19.69	23.53	26.33	28.28	26.17	28.78	30.48
254	19.41	23.48	26.32	28.26	26.14	28.74	30.44
255	19.35	23.40	26.29	28.22	26.09	28.70	30.40
256	19.34	23.31	26.27	28.18	26.04	28.66	30.37
257	19.04	23.21	26.22	28.13	26.00	28.62	30.33
258	20.71	23.12	26.19	28.08	25.96	28.59	30.30
259	22.90	23.12	26.19	28.08	25.96	28.56	30.26
260	22.77	23.12	26.19	28.08	25.96	28.53	30.23
261	22.39	23.12	26.19	28.08	25.96	28.50	30.19
262	22.44	23.12	26.19	28.08	25.95	28.47	30.16
263	23.01	23.12	26.19	28.08	25.95	28.44	30.13
264	23.07	23.12	26.19	28.08	25.95	28.42	30.10
265	28.45	23.13	26.19	28.08	25.95	28.39	30.06
266	35.62	23.30	26.19	28.08	25.95	28.36	30.03
267	37.64	23.94	26.19	28.08	25.95	28.33	30.00
268	37.32	24.83	26.19	28.08	25.95	28.31	29.97
269	36.14	25.44	26.19	28.08	25.95	28.29	29.95
270	35.80	25.88	26.19	28.08	25.95	28.27	29.92
271	35.78	26.30	26.19	28.08	25.95	28.24	29.89
272	36.03	26.72	26.21	28.08	25.95	28.22	29.86

DATE	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %	THETA(1) VOL %
273	43.35	29.19	26.24	28.08	25.94	28.20	29.83
274	46.29	38.65	26.94	28.07	25.91	28.18	29.81
275	42.13	41.37	30.23	28.10	25.88	28.15	29.78
276	40.25	40.97	33.58	28.28	25.86	28.13	29.75
277	42.07	40.38	36.34	28.87	25.85	28.11	29.73
278	41.58	42.01	38.86	30.34	25.85	28.08	29.70
279	38.48	40.38	40.02	33.16	26.04	28.06	29.68
280	37.96	38.99	39.71	35.65	26.50	28.05	29.65
281	38.57	37.80	39.46	37.54	27.24	28.03	29.63
282	41.36	37.81	39.10	38.56	28.35	28.03	29.60
283	41.60	39.54	39.25	38.97	29.53	28.06	29.58
284	42.84	40.12	39.92	39.49	30.99	28.13	29.56
285	44.53	43.43	41.58	40.17	33.26	28.29	29.54
286	42.63	43.31	43.16	42.70	36.64	28.86	29.52
287	40.08	41.49	42.81	43.16	38.74	30.71	29.52
288	38.30	39.79	41.97	42.64	39.89	32.47	29.58
289	36.91	38.68	40.87	42.00	39.23	34.49	29.71
290	37.64	37.77	40.12	41.62	37.89	36.05	29.97
291	40.85	37.84	39.83	41.33	37.08	36.90	30.38
292	41.91	39.24	39.77	41.07	36.60	37.31	30.83
293	40.09	39.27	40.30	41.18	36.34	37.50	31.36
294	37.99	37.97	40.38	41.51	36.42	37.58	31.90
295	38.12	37.15	39.95	41.36	36.49	37.65	32.46
296	39.04	36.95	39.63	41.03	36.34	37.65	33.01
297	39.78	37.10	39.48	40.77	36.10	37.54	33.54
298	39.30	37.35	39.49	40.63	35.89	37.34	34.02
299	37.94	37.02	39.46	40.59	35.77	37.10	34.44
300	37.07	36.53	39.26	40.47	35.69	36.87	34.78
301	38.43	36.25	39.02	40.27	35.56	36.64	35.04
302	39.41	36.65	38.94	40.08	35.41	36.40	35.24
303	38.06	36.64	38.96	39.99	35.27	36.17	35.37

DATE	SURR mm/day	SURRE mm/day	PERC mm/day	TA °C
121	0.00	0.00	0.52	17.00
122	0.00	0.00	0.52	7.00
123	0.00	0.00	0.52	7.00
124	0.00	0.00	0.52	9.50
125	0.00	0.00	0.52	7.50
126	0.00	0.00	0.53	8.00
127	0.00	0.00	0.54	8.00
128	0.00	0.00	0.55	8.00
129	0.00	0.00	0.56	15.50
130	0.00	0.00	0.57	12.50
131	0.00	0.00	0.58	7.50
132	0.00	0.00	0.60	9.00
133	0.00	0.00	0.61	11.50
134	0.00	0.00	0.63	14.50
135	0.00	0.00	0.65	13.00
136	0.00	0.00	0.67	12.00
137	0.00	0.00	0.69	9.00
138	0.00	0.00	0.71	8.50
139	0.00	0.00	0.73	6.50
140	0.00	0.00	0.76	6.50
141	0.00	0.00	0.78	6.50
142	0.00	0.00	0.82	5.50
143	0.00	0.00	0.86	7.50
144	0.00	0.00	0.93	7.00
145	0.00	0.00	1.03	12.00
146	0.00	0.00	1.16	14.00
147	0.00	0.00	1.35	16.00
148	0.00	0.00	1.55	17.00
149	0.00	0.00	1.73	10.50
150	0.00	0.00	1.89	10.00
151	0.00	0.00	2.01	8.50
152	0.00	0.00	2.09	18.00
153	0.00	0.00	2.14	17.50
154	0.00	0.00	2.15	22.50
155	0.00	0.00	2.15	11.50
156	0.00	0.00	2.13	8.00
157	0.00	0.00	2.10	7.50
158	0.00	0.00	2.06	13.50



DATE	SURR mm/day	SURRE mm/day	PERC mm/day	TA °C
159	0.00	0.00	2.02	14.00
160	0.00	0.00	1.96	16.00
161	0.00	0.00	1.90	12.00
162	0.00	0.00	1.84	14.00
163	0.00	0.00	1.78	16.50
164	0.00	0.00	1.73	17.50
165	0.00	0.00	1.67	21.50
166	0.00	0.00	1.61	20.50
167	0.00	0.00	1.56	21.50
168	0.00	0.00	1.52	22.00
169	0.00	0.00	1.48	20.50
170	0.00	0.00	1.44	13.80
171	0.00	0.00	1.41	12.00
172	0.00	0.00	1.38	13.00
173	0.00	0.00	1.36	16.00
174	0.00	0.00	1.33	14.50
175	0.00	0.00	1.31	19.00
176	0.00	0.00	1.29	19.00
177	0.00	0.00	1.27	21.00
178	0.00	0.00	1.26	17.00
179	0.00	0.00	1.25	15.00
180	0.00	0.00	1.25	15.50
181	0.00	0.00	1.25	17.00
182	0.00	0.00	1.26	15.50
183	0.00	0.00	1.26	18.50
184	0.00	0.00	1.27	19.00
185	0.00	0.00	1.27	16.50
186	0.00	0.00	1.28	14.50
187	0.00	0.00	1.28	14.00
188	0.00	0.00	1.28	15.00
189	0.00	0.00	1.28	16.50
190	0.00	0.00	1.28	22.00
191	0.00	0.00	1.27	17.50
192	0.00	0.00	1.26	17.00
193	0.00	0.00	1.24	16.50
194	0.00	0.00	1.23	17.00
195	0.00	0.00	1.21	18.50
196	0.00	0.00	1.20	21.50

DATE	SURR mm/day	SURRE mm/day	PERC mm/day	TA °C
197	0.00	0.00	1.18	23.50
198	0.00	0.00	1.16	22.00
199	0.00	0.00	1.14	23.50
200	0.00	0.00	1.11	22.50
201	0.00	0.00	1.09	18.00
202	0.00	0.00	1.07	19.00
203	0.00	0.00	1.05	20.50
204	1.66	0.00	1.03	17.50
205	1.90	0.00	1.01	17.50
206	1.14	0.00	0.99	20.00
207	0.69	0.00	0.97	21.50
208	0.41	0.00	0.94	23.00
209	0.25	0.00	0.92	24.00
210	0.15	0.00	0.90	23.00
211	0.09	0.00	0.88	25.00
212	0.05	0.00	0.86	19.50
213	0.03	0.00	0.84	19.00
214	0.02	0.00	0.82	20.50
215	0.01	0.00	0.80	22.50
216	0.01	0.00	0.78	22.50
217	0.00	0.00	0.77	24.00
218	0.00	0.00	0.75	20.00
219	0.03	0.00	0.73	18.00
220	0.12	0.00	0.71	21.00
221	0.08	0.00	0.70	20.50
222	0.05	0.00	0.68	20.50
223	0.03	0.00	0.67	20.50
224	0.02	0.00	0.65	20.50
225	0.01	0.00	0.64	17.00
226	0.01	0.00	0.62	18.50
227	0.00	0.00	0.61	17.50
228	0.00	0.00	0.60	19.00
229	0.00	0.00	0.58	20.50
230	0.00	0.00	0.57	17.50
231	0.00	0.00	0.56	14.50
232	0.00	0.00	0.55	14.00
233	0.00	0.00	0.53	16.00
234	0.00	0.00	0.52	17.00

DATE	SURR mm/day	SURRE mm/day	PERC mm/day	TA °C
235	0.00	0.00	0.51	19.00
236	0.00	0.00	0.50	20.00
237	0.00	0.00	0.49	22.50
238	0.00	0.00	0.48	23.50
239	0.00	0.00	0.47	19.50
240	0.00	0.00	0.46	19.00
241	0.00	0.00	0.45	18.00
242	0.00	0.00	0.44	16.00
243	0.00	0.00	0.43	18.50
244	0.00	0.00	0.42	20.00
245	0.00	0.00	0.41	17.50
246	0.00	0.00	0.41	13.50
247	0.00	0.00	0.40	15.00
248	0.00	0.00	0.39	17.00
249	0.00	0.00	0.38	15.00
250	0.00	0.00	0.38	11.50
251	0.00	0.00	0.37	9.00
252	0.00	0.00	0.36	11.00
253	0.00	0.00	0.35	12.50
254	0.00	0.00	0.35	14.00
255	0.00	0.00	0.34	14.00
256	0.00	0.00	0.33	13.00
257	0.00	0.00	0.33	19.00
258	0.00	0.00	0.32	15.00
259	0.00	0.00	0.31	8.00
260	0.00	0.00	0.31	7.50
261	0.00	0.00	0.30	8.00
262	0.00	0.00	0.30	9.50
263	0.00	0.00	0.29	11.00
264	0.00	0.00	0.29	10.00
265	0.00	0.00	0.28	11.00
266	0.00	0.00	0.27	12.50
267	0.00	0.00	0.27	8.00
268	0.00	0.00	0.26	12.50
269	0.00	0.00	0.26	14.00
270	0.00	0.00	0.26	15.00
271	0.00	0.00	0.25	15.00
272	0.00	0.00	0.25	11.50

DATE	SURR mm/day	SURRE mm/day	PERC mm/day	TA °C
273	3.72	1.71	0.24	9.00
274	2.70	4.29	0.24	8.00
275	1.34	0.00	0.23	7.50
276	0.81	0.00	0.23	8.00
277	0.48	0.00	0.23	11.50
278	0.29	0.00	0.22	11.00
279	0.18	0.00	0.22	16.00
280	0.11	0.00	0.22	11.50
281	0.06	0.00	0.21	7.50
282	0.04	0.00	0.21	6.00
283	0.02	0.00	0.21	6.00
284	0.01	0.00	0.20	9.50
285	0.01	0.00	0.20	14.00
286	0.00	0.00	0.20	14.00
287	0.00	0.00	0.20	11.00
288	0.00	0.00	0.20	10.00
289	0.00	0.00	0.21	8.00
290	0.00	0.00	0.24	9.00
291	0.00	0.00	0.30	9.00
292	0.00	0.00	0.38	5.50
293	0.00	0.00	0.48	3.50
294	0.00	0.00	0.62	6.00
295	0.00	0.00	0.80	6.50
296	0.00	0.00	1.03	3.50
297	0.00	0.00	1.29	4.50
298	0.00	0.00	1.58	5.50
299	0.00	0.00	1.87	2.50
300	0.00	0.00	2.14	1.00
301	0.00	0.00	2.38	3.00
302	0.00	0.00	2.57	1.00
303	0.00	0.00	2.70	0.00

## **ANNEXE H**

Résultats sommaires de la simulation avec SOIL

```

*****
* SOIL V2.1, Januari 1989   No: 50                      run no:   8      *
* User : Pej's Soil                08-02-91   10:18      *
*****

```

Switches ON:

```

XAVERAGE TAVERAGE GAVERAGE DAVERAGE DRIVPGRA WATEREQ HEATEQ WUPTAKE
HEATWF DDAILY

```

Switches OFF:

```

OUTFORN  INSTATE  OUTSTATE  SELOUTPV  LISALLV  GWFLOW  FRLOADP  FRLIMINF
FRLIMUF  FRINTERA  FRSWELL  SUREBAL  CHAPAR  CRACK   ADDSIM   ATIRRIG

```

FILE NAME FOR PARAMETER VALUES :st-aug.PAR

Driving variable file : METEO 5 variables in 731 records  
 From 19900501-1200 to 19851231-1200

```

Temperature      °C      sommaire agrometeo  aero
Vapour pressure  Pa      Skara_533
Wind speed       ms#     som. meteo mensuel  aero
Precipitation    mm      sommaire agrometeo
Cloudiness (daytime)-  sommaire agrometeo  aero

```

START	STOP	INTERVAL (DAYS)	ITERATIONS	
			/DAY	/PERIOD
1990-0501-0000	1990-1031-0000	1	16	2928

----- Parameter values -----

\* DRIVING VARIABLES

CHOEN	.00000	CIECO	.00000	CNUMD	1.0000
HEIGHT	2.0000	PRECAO	1.0700	PRECA1	.00000
YAINF	.00000	YCH	.00000	YFAINF	.00000
AWS	.00000	YPHAS	.00000	YTAM	.00000
YTAMP	.00000	NSOURCE	.00000	AHR	.00000
ACLOUD	.00000	SOILCOVER	.00000	SIFRAC	.00000
ISTOREMIN	.00000	ISTOREL	.00000	IRRIRATE	.00000
IRRIAM	.00000				

\* INITIAL CONDITIONS

CINIT	5.0000	CTEMPI	5.0000	IGWLEV	-5.0000
IPOT	40.000	ITEMPS	6.0000	ITHETA	.00000

\* NUMERICAL

XADIV	4.0000	XINFLI	10.000	XLOOP	2.0000
XNLEV	6.0000				

\* SOIL PROFILE

NUMLAY	7.0000	THICK(1)	.50000E-01	THICK(2)	.50000E-01
THICK(3)	.50000E-01	THICK(4)	.50000E-01	THICK(5)	.50000E-01
THICK(6)	.10000	THICK(7)	.15000	THICK(8)	.00000
THICK(9)	.00000	THICK(10)	.00000	THICK(11)	.00000
THICK(12)	.00000	THICK(13)	.00000	THICK(14)	.00000
THICK(15)	.00000	THICK(16)	.00000	THICK(17)	.00000
THICK(18)	.00000	THICK(19)	.00000	THICK(20)	.00000
THICK(21)	.00000	THICK(22)	.00000	UNUM	6.0000
UPROF	90.000	UTHICK(1)	.00000	UTHICK(2)	.00000
UTHICK(3)	.00000	UTHICK(4)	.00000	UTHICK(5)	.00000
VC	4.0000	ASCALE	.00000		

\* EVAPOTRANSPIRATION

ALBEDO	20.000	EPRAT	2.0000	INTLAI	.20000
INTRS	.50000	LATID	46.750	ROUGHV(1)	.10000E-01
ROUGHV(2)	.10000E-01	ROUGHV(3)	.20000	ROUGHV(4)	.20000
ROUGHV(5)	.10000E-01	RSV(1)	80.000	RSV(2)	60.000
RSV(3)	40.000	RSV(4)	60.000	RSV(5)	80.000
LAIV(1)	.00000	LAIV(2)	.50000	LAIV(3)	3.5000
LAIV(4)	3.5000	LAIV(5)	.00000	DISPLV(1)	.10000E-01
DISPLV(2)	.70000E-01	DISPLV(3)	1.4000	DISPLV(4)	1.4000
DISPLV(5)	.10000E-01	DAYNUM(1)	149.00	DAYNUM(2)	172.00
DAYNUM(3)	202.00	DAYNUM(4)	232.00	DAYNUM(5)	262.00
CFORM(1)	.50000	CFORM(2)	2.0000	CFORM(3)	1.0000
CFORM(4)	1.0000	PSIRS	200.00		

\* WATER UPTAKE

CHOWUP	10.000	ROOTF(1)	.70000	ROOTF(2)	.13000
ROOTF(3)	.90000E-01	ROOTF(4)	.60000E-01	ROOTF(5)	.20000E-01
ROOTF(6)	.00000	ROOTF(7)	.00000	ROOTF(8)	.00000
ROOTF(9)	.00000	ROOTF(10)	.00000	ROOTL(1)	.00000
ROOTL(2)	1.0000	ROOTL(3)	5.0000	ROOTT(1)	149.00
ROOTT(2)	162.00	ROOTT(3)	239.00	ROOTT(4)	273.00
WUPATE	.80000	WUPBTE	.40000	WUPCRI	3000.0
WUPF	.30000	WUPFB	.00000		

\* GROUND WATER

DDIST	10.000	DDRAIN	.00000	GFLEV(1)	2.0000
GFLEV(2)	2.0000	GFLOW(1)	1.0000	GFLOW(2)	.00000
GWSOF	.00000	GWSOL	3.0000	SURDEL	.50000

\* THERMAL PROPERTIES

GEOTER	-1.0000	HUMUS	.00000		
--------	---------	-------	--------	--	--

\* SNOW

PRLIM	2.0000	PSLIM	-2.0000	SAGEM1	2.5000
SAGEM2	.10000	SAGEZP	5.0000	SAGEZQ	.90000
SD10L	100.00	SD20M	.90000	SDENS	100.00
SLWLO	3.0000	SMAFR	.10000	SMRIS	.10000E-06
SMTEM	3.0000	SRET	.70000E-01	STCON	.28600E-05

\* FROST

FCOND	8.0000	FDF	30.000	FWFRAC	1.0000
-------	--------	-----	--------	--------	--------

\* HEAT PUMP

HPAMP	.00000	HPBAS	.00000	HPCUT	.00000
HPLAY	3.0000	HPMAX	.00000	HPZERO	.00000

\* SURFACE E-BALANCE

EGPSI	5.0000	RALAI	10.000	RNTLAI	.00000
-------	--------	-------	--------	--------	--------

SOIL IDENTIFICATION: ST-AUG

6QC C 90 7130000/4645000 22

SOIL PARAMETERS AT BOUNDARIES BETWEEN LAYERS

DEPTH	N	SATC	SATCT	LAMBDA	RESIDAL	PORO	PSIE	TCON	TCONF
20.0	1.0	30.0	30.0	.38	17.80	45.10	15.60	1.24	1.82
40.0	1.0	42.5	42.5	.36	16.80	45.60	18.60	1.23	1.81
60.0	1.0	54.6	54.6	.34	15.30	45.80	19.70	1.25	1.92
80.0	1.0	60.7	60.7	.30	11.80	44.80	13.20	1.28	1.93
100.0	1.0	65.8	65.8	.26	9.00	44.00	8.00	1.22	1.68
140.0	1.0	65.8	65.8	.26	9.00	44.00	8.00	1.22	1.68
200.0	1.0	65.8	65.8	.26	9.00	44.00	8.00	1.22	1.68



SOIL PARAMETERS IN THE MIDDLE OF LAYERS

DEPTH	ROOTF	LAMBDA	RESIDAL	PORO	PSIE	WILTP	HCAP	HCAPI
10.0	.70	.38	18.00	45.00	15.00	9.20	2.64	1.80
30.0	.13	.37	17.60	45.20	16.20	9.78	2.66	1.80
50.0	.09	.35	16.00	46.00	21.00	12.10	2.76	1.84
70.0	.06	.33	14.60	45.60	18.40	11.96	2.71	1.82
90.0	.02	.26	9.00	44.00	8.00	11.40	2.47	1.73
120.0	.00	.26	9.00	44.00	8.00	11.40	2.47	1.73
170.0	.00	.26	9.00	44.00	8.00	11.40	2.47	1.73

State Variables

Number	Variable	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated
1	WATER(1)	7.30E+01	7.48E+01	3.54E+01	9.86E+01	6.30E+01	1.15E+04
2	WATER(2)	7.45E+01	7.30E+01	4.42E+01	8.83E+01	6.29E+01	1.15E+04
3	WATER(3)	7.97E+01	7.79E+01	5.24E+01	8.67E+01	6.78E+01	1.24E+04
4	WATER(4)	7.71E+01	7.99E+01	5.61E+01	8.64E+01	7.04E+01	1.29E+04
5	WATER(5)	6.44E+01	7.04E+01	5.17E+01	8.07E+01	6.23E+01	1.14E+04
6	WATER(6)	1.28E+02	1.44E+02	1.12E+02	1.51E+02	1.28E+02	2.34E+04
7	WATER(7)	1.92E+02	2.13E+02	1.77E+02	2.13E+02	1.94E+02	3.54E+04
8	HEAT(1)	3.90E+06	7.93E+05	7.93E+05	1.15E+07	6.74E+06	1.23E+09
9	HEAT(2)	3.19E+06	2.19E+06	2.19E+06	9.38E+06	6.68E+06	1.22E+09
10	HEAT(3)	3.30E+06	3.45E+06	3.30E+06	9.50E+06	6.86E+06	1.26E+09
11	HEAT(4)	3.25E+06	4.45E+06	3.25E+06	9.52E+06	6.96E+06	1.27E+09
12	HEAT(5)	2.97E+06	4.85E+06	2.97E+06	8.69E+06	6.53E+06	1.19E+09
13	HEAT(6)	5.92E+06	1.14E+07	5.92E+06	1.73E+07	1.31E+07	2.39E+09
14	HEAT(7)	8.87E+06	1.89E+07	8.87E+06	2.64E+07	1.94E+07	3.56E+09
15	PLANT	0.00E+00	2.40E+02	0.00E+00	2.40E+02	1.18E+02	2.16E+04
16	STREAM	3.23E-02	1.61E+02	3.23E-02	1.61E+02	9.30E+01	1.70E+04
17	SURPOOL	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.17E+01	1.77E-01	3.23E+01
18	HSNOW	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
19	WSNOW	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Flow Variables

Number	Variable	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated
20	WFLOW(1)	1.09E+00	1.13E+00	-3.12E-01	2.39E+01	1.54E+00	2.82E+02
21	WFLOW(2)	2.75E+00	1.85E+00	-9.69E-01	2.07E+01	1.29E+00	2.37E+02
22	WFLOW(3)	5.68E+00	2.03E+00	-6.54E-01	1.86E+01	1.18E+00	2.15E+02
23	WFLOW(4)	5.41E+00	2.16E+00	-2.02E-01	1.86E+01	1.12E+00	2.05E+02
24	WFLOW(5)	5.17E-01	2.36E+00	-3.96E-02	1.00E+01	1.08E+00	1.98E+02
25	WFLOW(6)	0.00E+00	3.21E+00	0.00E+00	4.34E+00	9.93E-01	1.82E+02
26	EFLOW(1)	2.74E+04	-1.44E+06	-1.62E+06	2.72E+06	1.41E+05	2.57E+07

27	EFLOW(2)	6.92E+04	-1.13E+06	-1.13E+06	1.57E+06	1.46E+05	2.67E+07
28	EFLOW(3)	1.43E+05	-8.49E+05	-8.49E+05	1.03E+06	1.45E+05	2.66E+07
29	EFLOW(4)	1.36E+05	-6.22E+05	-6.22E+05	7.92E+05	1.39E+05	2.54E+07
30	EFLOW(5)	1.30E+04	-4.46E+05	-4.46E+05	6.18E+05	1.28E+05	2.35E+07
31	EFLOW(6)	0.00E+00	-1.39E+05	-1.96E+05	3.50E+05	9.86E+04	1.80E+07
32	WUPTAKE(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.21E+00	8.84E-01	1.62E+02
33	WUPTAKE(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.83E+00	2.56E-01	4.69E+01
34	WUPTAKE(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.26E+00	1.27E-01	2.33E+01
35	WUPTAKE(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.58E-01	4.15E-02	7.59E+00
36	WUPTAKE(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-01	4.77E-03	8.73E-01
37	WUPTAKE(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
38	WUPTAKE(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
39	DRIVF	1.19E+07	-1.63E+06	-8.05E+06	1.19E+07	1.28E+05	2.34E+07
40	INFIL	1.07E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.06E+01	3.77E+00	6.90E+02
41	EVAG	3.04E+00	1.18E+00	5.89E-02	7.16E+00	1.49E+00	2.73E+02
42	DFLOW(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
43	DFLOW(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
44	DFLOW(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
45	DFLOW(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
46	DFLOW(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
47	DFLOW(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
48	DFLOW(7)	5.17E-01	2.74E+00	1.97E-01	2.74E+00	8.82E-01	1.61E+02
49	PUMP	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
50	SPOOLA	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.56E+01	2.43E-01	4.45E+01
51	SPOOLINF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.90E+01	1.52E-01	2.78E+01
52	SURR	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.85E+00	9.03E-02	1.65E+01
53	HEATSINK(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
54	HEATSINK(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
55	HEATSINK(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
56	HEATSINK(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
57	HEATSINK(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
58	HEATSINK(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
59	HEATSINK(7)	1.30E+04	1.39E+05	1.20E+04	1.39E+05	4.36E+04	7.98E+06

-----Auxiliary Variables-----							
Number	Variable	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated
60	TEMP(1)	6.00E+00	1.50E+00	1.50E+00	2.39E+01	1.43E+01	2.61E+03
61	TEMP(2)	6.00E+00	4.20E+00	4.20E+00	2.18E+01	1.41E+01	2.58E+03
62	TEMP(3)	6.00E+00	6.39E+00	6.00E+00	2.02E+01	1.39E+01	2.55E+03
63	TEMP(4)	6.00E+00	8.07E+00	6.00E+00	1.92E+01	1.38E+01	2.52E+03
64	TEMP(5)	6.00E+00	9.34E+00	6.00E+00	1.87E+01	1.36E+01	2.49E+03
65	TEMP(6)	6.00E+00	1.08E+01	6.00E+00	1.85E+01	1.34E+01	2.45E+03

66	TEMP(7)	6.00E+00	1.21E+01	6.00E+00	1.83E+01	1.32E+01	2.41E+03
67	THQUAL(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
68	THQUAL(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
69	THQUAL(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
70	THQUAL(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
71	THQUAL(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
72	THQUAL(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
73	THQUAL(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
74	THETA(1)	3.66E+01	3.75E+01	1.77E+01	4.93E+01	3.16E+01	5.77E+03
75	THETA(2)	3.73E+01	3.65E+01	2.21E+01	4.41E+01	3.14E+01	5.75E+03
76	THETA(3)	3.99E+01	3.89E+01	2.62E+01	4.33E+01	3.39E+01	6.20E+03
77	THETA(4)	3.86E+01	4.00E+01	2.81E+01	4.32E+01	3.52E+01	6.44E+03
78	THETA(5)	3.20E+01	3.52E+01	2.58E+01	4.03E+01	3.12E+01	5.70E+03
79	THETA(6)	3.20E+01	3.61E+01	2.80E+01	3.77E+01	3.19E+01	5.85E+03
80	THETA(7)	3.20E+01	3.54E+01	2.95E+01	3.54E+01	3.23E+01	5.90E+03
81	PSI(1)	4.00E+01	3.55E+01	-1.00E+01	3.00E+04	3.20E+03	5.86E+05
82	PSI(2)	4.00E+01	4.46E+01	6.61E+00	2.09E+03	3.10E+02	5.68E+04
83	PSI(3)	4.00E+01	4.52E+01	2.11E+01	4.60E+02	1.67E+02	3.05E+04
84	PSI(4)	4.00E+01	3.37E+01	1.67E+01	2.26E+02	9.04E+01	1.65E+04
85	PSI(5)	4.00E+01	2.43E+01	1.17E+01	1.33E+02	6.02E+01	1.10E+04
86	PSI(6)	4.00E+01	2.15E+01	1.72E+01	8.34E+01	4.60E+01	8.43E+03
87	PSI(7)	0.00E+00	2.36E+01	0.00E+00	6.24E+01	4.04E+01	7.39E+03
88	INTCAP	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.00E-01	2.30E-01	4.20E+01
89	INTERC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.00E-01	9.68E-02	1.77E+01
90	EINTPOT	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	8.23E+01	7.92E+00	1.45E+03
91	EACTI	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.00E-01	8.92E-02	1.63E+01
92	ISTORE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.99E-01	7.66E-03	1.40E+00
93	RA	6.89E+01	4.54E+01	1.46E+00	2.58E+02	4.18E+01	7.65E+03
94	ROUGH	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02	2.00E-01	6.71E-02	1.23E+01
95	DISPL	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02	1.40E+00	4.39E-01	8.04E+01
96	RS	8.00E+01	8.00E+01	4.00E+01	8.00E+01	6.74E+01	1.23E+04
97	WUPPOT	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-04	1.39E+01	2.05E+00	3.76E+02
98	EACT	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.08E+01	1.31E+00	2.40E+02
99	REDF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.38E-01	4.65E-01	8.51E+01
100	EVAP0	3.04E+00	1.18E+00	6.00E-02	1.38E+01	2.89E+00	5.29E+02
101	VPD	1.40E+03	1.94E+02	0.00E+00	1.40E+03	4.83E+02	8.84E+04
102	RNTG	5.67E+06	5.02E+05	-1.67E+06	1.50E+07	7.38E+06	1.35E+09
103	SENS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
104	LATENT	7.45E+06	2.89E+06	1.44E+05	1.75E+07	3.65E+06	6.68E+08
105	SURFMOS	-1.23E-01	-3.62E-01	-2.00E+00	1.00E+00	-6.45E-01	-1.18E+02
106	LAI	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.50E+00	1.15E+00	2.10E+02
107	SATLEV	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

108	PREC	1.07E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.82E+01	4.10E+00	7.51E+02
109	TOTQ	5.17E-01	2.74E+00	1.97E-01	1.44E+01	1.00E+00	1.84E+02
110	PIPEQ	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
111	PERC	5.17E-01	2.74E+00	1.97E-01	2.74E+00	8.82E-01	1.61E+02
112	SURRE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.59E+00	3.28E-02	6.01E+00
113	TQUALP	0.00E+00	5.00E-01	0.00E+00	5.00E-01	5.46E-03	1.00E+00
114	DENSS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
115	SWATS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
116	SAGE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
117	SWELL	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
118	FROSTBU(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
119	FROSTBU(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
120	FROSTBL(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
121	FROSTBL(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
122	TTSTEP	-1.20E+00	-1.20E+00	-1.81E+00	-1.20E+00	-1.29E+00	-2.35E+02
123	DINFIL	1.07E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.82E+01	4.01E+00	7.35E+02
124	RAC	6.89E+01	4.54E+01	2.01E+01	2.62E+02	5.33E+01	9.75E+03
125	VPS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
126	VPA	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
127	RSSOIL	2.00E+02	3.65E+01	0.00E+00	1.10E+03	4.44E+02	8.13E+04

----- Driving Variables -----							
Number	Variable	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated
128	EPOT	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.39E+01	2.08E+00	3.81E+02
129	PREMM	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.44E+01	3.84E+00	7.02E+02
130	TA	1.70E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.50E+01	1.42E+01	2.60E+03
131	TD	1.70E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.50E+01	1.42E+01	2.60E+03
132	HR	2.94E+01	6.87E+01	2.94E+01	1.37E+02	7.38E+01	1.35E+04
133	WS	2.42E+00	3.67E+00	5.00E-01	8.31E+00	3.06E+00	5.59E+02
134	RNT	5.67E+06	5.02E+05	-1.67E+06	1.50E+07	7.38E+06	1.35E+09
135	CLOUDN	8.60E-01	7.50E-01	3.00E-02	1.00E+00	5.74E-01	1.05E+02
136	RIS	1.07E+07	5.05E+06	3.39E+06	2.95E+07	1.51E+07	2.75E+09
137	IRIG	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
138	SPSOURCE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
139	WSOURCE(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
140	WSOURCE(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
141	WSOURCE(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
142	WSOURCE(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
143	WSOURCE(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
144	WSOURCE(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
145	WSOURCE(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

The simulation occupied the computer during:

TIME USED 0 h 7 m 23 sec

## **ANNEXE I**

Résultats sommaires de la simulation avec SOILN

```
*****
* SOILN V2.1, Januari 1989   No: 80                      run no: 88      *
* User : Olivier Banton     21-05-91    12:36             *
*****
```

Switches ON:

XAVERAGE TAVERAGE GAVERAGE DAVERAGE INSTATE DRIVPGRA CHAPAR

Switches OFF:

OUTFORN OUTSTATE SELOUTPV LISALLV GWFLOW GROWTH ADDSIM

FILE NAME FOR INITIAL STATE VARIABLES :a.INI

FILE NAME FOR PARAMETER VALUES :a.PAR

The following parameters changed 199007250000

FERDAY(1)        149.00        MODIFIED TO : 207.00  
 FERN(1)         4.0000        MODIFIED TO : 9.3500

Driving variable file : DRIV\_N    33 variables in    183 records  
 From 19900501-1200 to 19901030-1200

Water flow	mmdayá	surface infiltra	9
Water flow	mmdayá	20 cm	9 10
Water flow	mmdayá	40 cm	9 30
Water flow	mmdayá	60 cm	9 50
Water flow	mmdayá	80 cm	9 70
Water flow	mmdayá	100 cm	9 90
Water flow	mmdayá	140 cm	9 120
Water flow	mmdayá	0- 20 to pipes	9 10
Water flow	mmdayá	20- 40 to pipes	9 30
Water flow	mmdayá	40- 60 to pipes	9 50
Water flow	mmdayá	60- 80 to pipes	9 70
Water flow	mmdayá	80-100 to pipes	9 90
Water flow	mmdayá	100-140 to pipes	9 120
Water flow	mmdayá	140-200 to pipes	9 170
Temperature	°C	0- 20	9 10
Temperature	°C	20- 40	9 30
Temperature	°C	40- 60	9 50
Temperature	°C	60- 80	9 70
Temperature	°C	80-100	9 90
Temperature	°C	100-140	9 120

Temperature	°C	140-200	9 170
Water content	vol %	0- 20	9 10
Water content	vol %	20- 40	9 30
Water content	vol %	40- 60	9 50
Water content	vol %	60- 80	9 70
Water content	vol %	80-100	9 90
Water content	vol %	100-140	9 120
Water content	vol %	140-200	9 170
Surface runoff	mmdaya	(infil cap)	9
Surface runoff	mmdaya	(hydraulic cond)	9
Water flow	mmdaya	groundwater	9
Temperature	°C	air	9
Global radiation	Jm dayá	above vegetation	9

START	STOP	INTERVAL (DAYS)	ITERATIONS	
			/DAY	/PERIOD
1990-0527-0000	1990-1031-0000	1	2	314

----- Parameter values -----

\* EXTERNAL INPUTS

DEPDRY	.10000E-02	DEPWC	.80000	FERK	.15000
FERN	4.0000	GWCONC	.00000		

\* MANURE APPLICATION

CNBED(1)	.00000	CNBED(2)	.00000	CNBED(3)	.00000
CNFEC(1)	.00000	CNFEC(2)	.00000	CNFEC(3)	.00000
MANET(1)	.00000	MANET(2)	.00000	MANET(3)	.00000
MANF(1)	.00000	MANF(2)	.00000	MANF(3)	.00000
MANFN(1)	.00000	MANFN(2)	.00000	MANFN(3)	.00000
MANLN(1)	.00000	MANLN(2)	.00000	MANLN(3)	.00000
MANNH(1)	.00000	MANNH(2)	.00000	MANNH(3)	.00000
MANST(1)	.00000	MANST(2)	.00000	MANST(3)	.00000

* MANAGEMENT					
CNARES	60.000	CNROOT	25.000	FERDAY	149.00
HARAR(1)	.00000	HARAR(2)	.00000	HARAR(3)	.00000
HARHP(1)	.00000	HARHP(2)	.00000	HARHP(3)	.00000
HARLR(1)	.00000	HARLR(2)	.00000	HARLR(3)	.00000
PLODAY	365.00	PLOLAY	1.0000		
* MINERALIZATION AND IMMOBILIZATION					
CNORG	7.1000	FECEFF	.00000	FECHF	.00000
FECK	.00000	HUMK	.70000E-04	LITEFF	.50000
LITHF	.15000	LITK	.35000E-01	NITK	.20000
NITR	20.000				
* SOIL MOISTURE RESPONSE					
MOS(1)	11.000	MOS(2)	11.000	MOSM	1.0000
MOSSA	.60000	PORO(1)	45.000	PORO(2)	45.200
PORO(3)	46.000	PORO(4)	45.600	PORO(5)	44.000
PORO(6)	44.000	PORO(7)	44.000	PORO(8)	.00000
PORO(9)	.00000	PORO(10)	.00000	WILT(1)	9.2000
WILT(2)	9.7800	WILT(3)	12.100	WILT(4)	11.960
WILT(5)	11.400	WILT(6)	11.400	WILT(7)	11.400
WILT(8)	.00000	WILT(9)	.00000	WILT(10)	.00000
WILT(11)	.00000	WILT(12)	.00000	WILT(13)	.00000
WILT(14)	.00000	WILT(15)	.00000	WILT(16)	.00000
WILT(17)	.00000	WILT(18)	.00000	WILT(19)	.00000
WILT(20)	.00000	WILT(21)	.00000	WILT(22)	.00000
* SOIL TEMPERATURE RESPONSE					
TEMBAS	20.000	TEMQ10	2.0000		
* PLANT UPTAKE					
ROOT(1)	.70000	ROOT(2)	.13000	ROOT(3)	.90000E-01
ROOT(4)	.60000E-01	ROOT(5)	.20000E-01	ROOT(6)	.00000
ROOT(7)	.00000	ROOT(8)	.00000	ROOT(9)	.00000
ROOT(10)	.00000	ROOTL(1)	.00000	ROOTL(2)	1.0000
ROOTL(3)	4.0000	ROOTL(4)	5.0000	ROOTL(5)	.00000
ROOTT(1)	149.00	ROOTT(2)	162.00	ROOTT(3)	192.00
ROOTT(4)	222.00	ROOTT(5)	288.00	ROOTT(6)	.00000
UPA(1)	12.000	UPA(2)	.00000	UPA(3)	.00000
UPB(1)	12.000	UPB(2)	.00000	UPB(3)	.00000
UPC(1)	.10000	UPC(2)	.00000	UPC(3)	.00000
UPET(1)	288.00	UPET(2)	.00000	UPET(3)	.00000
UPMA	.90000	UPMOV	1.0000	UPST(1)	162.00
UPST(2)	.00000	UPST(3)	.00000		



\* DENITRIFICATION

DEND	1.0000	DENHS	10.000	DENPOT	.20000
MOSDEN	10.000	DFRAC(1)	.70000	DFRAC(2)	.13000
DFRAC(3)	.90000E-01	DFRAC(4)	.60000E-01	DFRAC(5)	.20000E-01
DFRAC(6)	.00000	DFRAC(7)	.00000	DFRAC(8)	.00000
DFRAC(9)	.00000	DFRAC(10)	.00000		

\* STRUCTURAL

THICK(1)	.20000	THICK(2)	.20000	THICK(3)	.20000
THICK(4)	.20000	THICK(5)	.20000	THICK(6)	.40000
THICK(7)	.60000	THICK(8)	.00000	THICK(9)	.00000
THICK(10)	.00000	THICK(11)	.00000	THICK(12)	.00000
THICK(13)	.00000	THICK(14)	.00000	THICK(15)	.00000
THICK(16)	.00000	THICK(17)	.00000	THICK(18)	.00000
THICK(19)	.00000	THICK(20)	.00000	THICK(21)	.00000
THICK(22)	.00000	NUMLAY	7.0000		

\* TECHNICAL

ZNUM	.00000	ZVER	.00000
------	--------	------	--------

\* STREAM WATER

CONCRI	.00000	CONPOT	.00000	CONTEM	.00000
--------	--------	--------	--------	--------	--------

\* CROP GROWTH

ALFA	.10000	DEVTA(1)	.10000	DEVTA(2)	.10000
DEVDAYL(1)	.10000	DEVDAYL(2)	.10000	DEVGP(1)	.10000
DEVGP(2)	.10000	DEVGP(3)	.10000	WLAI	.10000
AROOT	.10000	AROOTE	.10000	ALEAFS	.10000
ALEAFE	.10000	ASTRAW	.10000	NMAXS	.10000
NMAXE	.10000	PHTMAX	.10000	PHTMIN	.10000
EXTCOEF	.10000	RESPK	.10000	PHOEFF	.10000
NMINS	.10000	NMINE	.10000	LAT	.10000
NSTRAWS	.10000	NSTRAWE	.10000	NROOTS	.10000
NROOTE	.10000	NMAXG	.10000		

----- State Variables -----

Number	Variable	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated
1	N03(1)	8.03E-01	1.06E+00	9.65E-03	8.58E+00	4.33E+00	6.80E+02
2	N03(2)	6.48E-01	2.62E+00	1.04E-02	6.40E+00	2.13E+00	3.35E+02
3	N03(3)	4.90E-01	3.88E+00	4.90E-01	4.96E+00	1.71E+00	2.69E+02
4	N03(4)	4.19E-01	3.68E+00	4.14E-01	3.70E+00	9.95E-01	1.56E+02
5	N03(5)	3.59E-01	2.44E+00	3.51E-01	2.44E+00	6.69E-01	1.05E+02
6	N03(6)	6.50E-01	2.20E+00	5.70E-01	2.20E+00	7.31E-01	1.15E+02
7	N03(7)	8.62E-01	9.95E-01	4.80E-01	9.95E-01	6.19E-01	9.72E+01
8	PLANT	0.00E+00	1.10E+01	0.00E+00	1.10E+01	8.00E+00	1.26E+03
9	DENIT	9.19E-04	1.60E+00	9.19E-04	1.60E+00	4.94E-01	7.75E+01
10	DLOSST	5.69E-03	1.00E+00	5.69E-03	1.00E+00	6.28E-01	9.86E+01
11	FERT	0.00E+00	2.73E-06	0.00E+00	8.65E+00	5.64E-01	8.85E+01
12	NLIT(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

13	NLIT(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
14	NLIT(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
15	NLIT(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
16	NLIT(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
17	NLIT(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
18	NLIT(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
19	NF(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
20	NF(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
21	NH(1)	6.00E+02	5.95E+02	5.95E+02	6.00E+02	5.97E+02	9.38E+04
22	NH(2)	4.80E+02	4.76E+02	4.76E+02	4.80E+02	4.78E+02	7.50E+04
23	NH(3)	3.60E+02	3.57E+02	3.57E+02	3.60E+02	3.59E+02	5.63E+04
24	NH(4)	1.00E+02	9.93E+01	9.93E+01	1.00E+02	9.96E+01	1.56E+04
25	NH(5)	5.00E+01	4.96E+01	4.96E+01	5.00E+01	4.98E+01	7.82E+03
26	NH(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
27	NH(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
28	CL(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
29	CL(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
30	CL(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
31	CL(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
32	CL(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
33	CL(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
34	CL(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
35	CF(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
36	CF(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
37	NH4(1)	9.10E-02	3.33E-01	3.20E-02	6.28E-01	3.85E-01	6.05E+01
38	NH4(2)	7.19E-02	3.41E-01	2.76E-02	4.07E-01	2.39E-01	3.75E+01
39	NH4(3)	5.31E-02	3.26E-01	5.31E-02	3.27E-01	1.90E-01	2.98E+01
40	NH4(4)	4.25E-02	1.49E-01	4.25E-02	1.49E-01	6.90E-02	1.08E+01
41	NH4(5)	3.60E-02	8.21E-02	3.53E-02	8.21E-02	4.37E-02	6.86E+00
42	NH4(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
43	NH4(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
44	LITABOVE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
45	GRAINC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
46	LEAFC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
47	STRAWC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
48	ROOTC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
49	GRAINN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
50	LEAFN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
51	STRAWN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
52	ROOTN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Number Variable	Flow Variables					
	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated

53	UPPNO3(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.04E-01	3.47E-02	5.45E+00
54	UPPNO3(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-01	1.56E-02	2.45E+00
55	UPPNO3(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.88E-02	5.17E-03	8.11E-01
56	UPPNO3(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-02	1.60E-03	2.51E-01
57	UPPNO3(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.20E-04	3.95E-06	6.20E-04
58	UPPNO3(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
59	UPPNO3(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
60	DENI(1)	0.00E+00	7.07E-03	0.00E+00	6.04E-02	7.96E-03	1.25E+00
61	DENI(2)	0.00E+00	1.00E-03	0.00E+00	1.02E-02	8.56E-04	1.34E-01
62	DENI(3)	8.77E-04	1.76E-03	0.00E+00	6.16E-03	7.25E-04	1.14E-01
63	DENI(4)	8.46E-04	1.92E-03	0.00E+00	4.22E-03	5.97E-04	9.37E-02
64	DENI(5)	1.14E-04	1.90E-04	0.00E+00	9.77E-04	5.47E-05	8.58E-03
65	DENI(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
66	DENI(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
67	DLOSS(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
68	DLOSS(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
69	DLOSS(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
70	DLOSS(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
71	DLOSS(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
72	DLOSS(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
73	DLOSS(7)	1.14E-02	2.49E-02	1.07E-03	2.49E-02	6.37E-03	1.00E+00
74	DEP	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	2.47E-02	4.06E-03	6.37E-01
75	NFLOW(1)	5.98E-04	2.09E-02	-5.39E-03	1.28E+00	7.12E-02	1.12E+01
76	NFLOW(2)	8.26E-03	7.23E-02	-1.12E-02	8.93E-01	6.01E-02	9.44E+00
77	NFLOW(3)	9.90E-03	1.04E-01	-3.85E-03	9.21E-01	4.74E-02	7.45E+00
78	NFLOW(4)	1.21E-02	1.01E-01	-1.81E-03	4.51E-01	2.83E-02	4.44E+00
79	NFLOW(5)	1.52E-02	8.34E-02	-1.99E-04	2.24E-01	1.71E-02	2.69E+00
80	NFLOW(6)	1.54E-02	5.01E-02	3.53E-04	5.56E-02	7.22E-03	1.13E+00
81	NFERT	0.00E+00	4.43E-07	0.00E+00	1.40E+00	9.14E-02	1.44E+01
82	FINNB(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
83	FINNB(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
84	NHARV	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
85	NEWNL(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
86	NEWNL(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
87	NEWNL(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
88	NEWNL(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
89	NEWNL(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
90	NEWNL(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
91	NEWNL(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
92	NLMIN(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
93	NLMIN(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
94	NLMIN(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
95	NLMIN(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

96	NLMIN(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
97	NLMIN(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
98	NLMIN(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
99	NLHUM(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
100	NLHUM(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
101	NLHUM(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
102	NLHUM(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
103	NLHUM(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
104	NLHUM(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
105	NLHUM(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
106	FINNA(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
107	FINNA(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
108	NHMIN(1)	2.71E-02	1.01E-02	1.01E-02	5.21E-02	2.96E-02	4.65E+00
109	NHMIN(2)	1.71E-02	1.04E-02	1.04E-02	3.69E-02	2.39E-02	3.75E+00
110	NHMIN(3)	1.02E-02	8.47E-03	8.47E-03	2.54E-02	1.74E-02	2.73E+00
111	NHMIN(4)	2.44E-03	2.47E-03	2.44E-03	6.60E-03	4.69E-03	7.36E-01
112	NHMIN(5)	1.34E-03	1.54E-03	1.34E-03	3.19E-03	2.42E-03	3.80E-01
113	NHMIN(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
114	NHMIN(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
115	NFHUM(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
116	NFHUM(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
117	FINNH(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
118	FINNH(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
119	FNIT(1)	5.17E-03	1.36E-02	0.00E+00	4.41E-02	2.01E-02	3.15E+00
120	FNIT(2)	3.30E-03	1.31E-02	3.17E-03	3.14E-02	1.79E-02	2.81E+00
121	FNIT(3)	1.98E-03	8.91E-03	1.98E-03	2.31E-02	1.48E-02	2.32E+00
122	FNIT(4)	1.47E-03	0.00E+00	0.00E+00	6.21E-03	3.84E-03	6.02E-01
123	FNIT(5)	1.38E-03	0.00E+00	0.00E+00	3.11E-03	2.12E-03	3.33E-01
124	FNIT(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125	FNIT(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
126	CLLOSS(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
127	CLLOSS(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
128	CLLOSS(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
129	CLLOSS(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
130	CLLOSS(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
131	CLLOSS(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
132	CLLOSS(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
133	NEWCL(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
134	NEWCL(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
135	NEWCL(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
136	NEWCL(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
137	NEWCL(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
138	NEWCL(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

139	NEWCL(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
140	CFLOSS(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
141	CFLOSS(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
142	FINCB(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
143	FINCB(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
144	NFMIN(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
145	NFMIN(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
146	UPPNH4(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.30E-02	7.93E-03	1.25E+00
147	UPPNH4(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.75E-02	4.28E-03	6.72E-01
148	UPPNH4(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.84E-03	8.37E-04	1.31E-01
149	UPPNH4(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.57E-03	1.71E-04	2.68E-02
150	UPPNH4(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.31E-05	3.38E-07	5.31E-05
151	UPPNH4(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
152	UPPNH4(7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
153	INCALIT	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
154	DECALIT(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
155	DECALIT(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
156	DECALIT(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
157	DECALIT(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
158	DECALIT(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
159	PHOS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
160	RESPLC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
161	RESPSC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
162	RESPRC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
163	RESPGC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
164	HARVGC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
165	HARVLC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
166	HARVSC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
167	ALEAFSC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
168	ALEAFGC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
169	ASTRAWGC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
170	ASTRAWRC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
171	LEAFLC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
172	STRAWLC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
173	ROOTSLC	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
174	ACTUPTN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
175	AROOTSN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
176	ASTRAWLN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
177	ASTRAWGN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
178	ALEAFGN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
179	HARVGN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
180	HARVLN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
181	HARVSN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

-----Auxiliary Variables-----							
Number	Variable	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated
182	NCONC(1)	1.22E+01	1.40E+01	1.59E-01	2.20E+02	8.02E+01	1.26E+04
183	NCONC(2)	9.28E+00	3.60E+01	1.91E-01	7.81E+01	3.47E+01	5.45E+03
184	NCONC(3)	6.33E+00	4.99E+01	6.33E+00	5.80E+01	2.54E+01	3.99E+03
185	NCONC(4)	5.21E+00	4.61E+01	5.21E+00	4.61E+01	1.36E+01	2.14E+03
186	NCONC(5)	5.00E+00	3.44E+01	5.00E+00	3.44E+01	1.05E+01	1.65E+03
187	NCONC(6)	4.47E+00	1.51E+01	4.47E+00	1.51E+01	5.63E+00	8.84E+02
188	NCONC(7)	4.21E+00	4.63E+00	2.71E+00	4.63E+00	3.18E+00	4.99E+02
189	PIPEL	5.69E-03	1.25E-02	5.35E-04	1.25E-02	3.18E-03	5.00E-01
190	STREAMT	1.14E-02	2.49E-02	1.07E-03	2.49E-02	6.45E-03	1.01E+00
191	TOTFI	1.14E-02	2.49E-02	1.07E-03	2.49E-02	6.45E-03	1.01E+00
192	NLTPROF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
193	NFTPROF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
194	NHTPROF	1.59E+03	1.58E+03	1.58E+03	1.59E+03	1.58E+03	2.49E+05
195	NH4T	2.72E-01	1.23E+00	2.72E-01	1.33E+00	9.24E-01	1.45E+02
196	NO3T	4.23E+00	1.69E+01	3.00E+00	1.69E+01	1.12E+01	1.75E+03
197	ROOTLAY	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.00E+00	2.01E+00	3.15E+02
198	POTUPT	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.00E-01	7.03E-02	1.10E+01
199	TOTDEN	1.84E-03	1.19E-02	0.00E+00	7.15E-02	1.02E-02	1.60E+00
200	TOTUPT	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.00E-01	7.03E-02	1.10E+01
201	PIPEQ	0.00E+00	2.38E-07	0.00E+00	4.77E-07	3.06E-08	4.80E-06
202	STREAMQ	1.35E+00	2.70E+00	1.97E-01	7.23E+00	1.06E+00	1.67E+02
203	TOTAL	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
204	TOTMAE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
205	TOTMAN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
206	TOTNLMIN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
207	TOTNFMIN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
208	TOTNHMIN	5.82E-02	3.29E-02	3.29E-02	1.22E-01	7.80E-02	1.22E+01
209	TOTNIT	1.33E-02	3.56E-02	1.33E-02	1.06E-01	5.87E-02	9.21E+00
210	CLTPROF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
211	RATCNL(1)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
212	RATCNL(2)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
213	RATCNL(3)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
214	RATCNL(4)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
215	RATCNL(5)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
216	RATCNL(6)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
217	RATCNL(7)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
218	RATCNF(1)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
219	RATCNF(2)	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.00E+01	1.57E+03
220	QNO3C1	8.41E+00	9.25E+00	4.79E-01	9.25E+00	6.03E+00	9.47E+02
221	QNO3C2	8.41E+00	9.25E+00	4.79E-01	9.25E+00	6.03E+00	9.47E+02

222	RUSEN03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
223	AEFF	4.03E-01	5.32E-01	3.94E-01	8.90E-01	6.80E-01	1.07E+02
224	ODNO3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-08	4.00E-10	6.28E-08
225	PIPEN03C	5.69E+04	1.24E+05	5.35E+03	1.24E+05	3.18E+04	5.00E+06
226	ATEFF	4.19E-01	5.83E-01	4.19E-01	8.90E-01	6.88E-01	1.08E+02
227	VDEV	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
228	GDEV	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
229	NGRAIN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
230	NMAXL	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
231	NMINL	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
232	NLEAF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
233	RPTM	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
234	RPMOS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
235	RPN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236	ROOTDEP	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
237	NSTRAW	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238	NROOT	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
239	LEAFDN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
240	STRAWDN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
241	ROOTDN	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

----- Driving Variables -----

Number	Variable	Initial	Final	Min	Max	Mean	Cumulated
242	INF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.96E+01	3.82E+00	6.00E+02
243	WFLOW(1)	4.91E-02	1.50E+00	-2.78E-01	2.03E+01	1.47E+00	2.30E+02
244	WFLOW(2)	8.91E-01	2.01E+00	-8.11E-01	1.58E+01	1.15E+00	1.81E+02
245	WFLOW(3)	1.56E+00	2.07E+00	-4.75E-01	1.60E+01	1.00E+00	1.57E+02
246	WFLOW(4)	2.32E+00	2.19E+00	-2.00E-01	1.31E+01	9.58E-01	1.50E+02
247	WFLOW(5)	3.04E+00	2.42E+00	-3.92E-02	9.28E+00	9.64E-01	1.51E+02
248	WFLOW(6)	3.45E+00	3.32E+00	6.93E-02	4.33E+00	9.74E-01	1.53E+02
249	DFLOW(1)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
250	DFLOW(2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
251	DFLOW(3)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
252	DFLOW(4)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
253	DFLOW(5)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
254	DFLOW(6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
255	DFLOW(7)	1.35E+00	2.70E+00	1.97E-01	2.70E+00	9.18E-01	1.44E+02
256	TEMP(1)	1.37E+01	1.81E+00	1.81E+00	2.34E+01	1.51E+01	2.37E+03
257	TEMP(2)	1.07E+01	4.52E+00	4.52E+00	2.14E+01	1.50E+01	2.36E+03
258	TEMP(3)	8.98E+00	6.63E+00	6.63E+00	2.01E+01	1.49E+01	2.34E+03
259	TEMP(4)	8.15E+00	8.25E+00	8.15E+00	1.92E+01	1.48E+01	2.32E+03
260	TEMP(5)	7.81E+00	9.49E+00	7.81E+00	1.87E+01	1.46E+01	2.30E+03
261	TEMP(6)	7.62E+00	1.09E+01	7.62E+00	1.85E+01	1.45E+01	2.27E+03

262	TEMP(7)	7.46E+00	1.22E+01	7.46E+00	1.83E+01	1.43E+01	2.24E+03
263	THETA(1)	3.28E+01	3.81E+01	1.79E+01	4.63E+01	3.08E+01	4.83E+03
264	THETA(2)	3.50E+01	3.66E+01	2.21E+01	4.34E+01	3.06E+01	4.80E+03
265	THETA(3)	3.87E+01	3.90E+01	2.62E+01	4.32E+01	3.31E+01	5.20E+03
266	THETA(4)	4.03E+01	4.00E+01	2.81E+01	4.32E+01	3.45E+01	5.41E+03
267	THETA(5)	3.60E+01	3.53E+01	2.58E+01	3.99E+01	3.06E+01	4.81E+03
268	THETA(6)	3.64E+01	3.62E+01	2.80E+01	3.77E+01	3.17E+01	4.97E+03
269	THETA(7)	3.41E+01	3.54E+01	2.95E+01	3.54E+01	3.22E+01	5.06E+03
270	SURR	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.72E+00	1.05E-01	1.65E+01
271	SURRE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.29E+00	3.83E-02	6.01E+00
272	PERC	1.35E+00	2.70E+00	1.97E-01	2.70E+00	9.18E-01	1.44E+02
273	TA	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
274	RIS	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
275	ETR	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
276	MEACONC	1.60E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.50E+01	1.49E+01	2.34E+03

The simulation occupied the computer during:

TIME USED 0 h 2 m 10 sec



## **ANNEXE J**

Résultats des concentrations en nitrates mesurées

# CAMPAGNE ST-AUGUSTIN 1990

## EAUX DE LYSIMETRES

NITRATES mg/l N (Chromatographie ionique)

LYSIMETRE No.	JOURS						
	149	151	155	158	163	170	177
1-50-	6.39	6.87	7.37	7.18	7.91	8.24	9.15
2-50-	16.98	16.40	17.27	17.68	17.44	15.66	12.25
3-50-	10.89			7.46	8.12	6.88	
4-50-	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.46	0.24
5-50-	26.06	22.10	21.12	21.20	20.71	20.56	21.41
6-50-	4.47	0.62				0.59	0.37
8-50-	30.75	29.07	29.57	31.06	32.33	22.05	21.02
9-50-	1.48	2.18	4.00	1.26	0.16	0.49	0.44
10-50-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.16	1.34	1.69
11-50-	2.75	3.06		2.88	5.24	8.30	7.93
12-50-	18.36	19.99	16.96	19.04	21.46	23.53	17.90
1-100-	2.82	3.22	3.58	3.80	3.99	4.35	4.27
2-100-	11.11	12.02	11.58	11.58	11.14	13.65	13.88
3-100-	1.84	1.88	1.04	0.81	0.66	0.90	0.57
4-100-	0.18	0.01	0.14	0.01	0.18	2.12	0.07
5-100-	25.13	21.08	20.82	23.41	24.35	24.67	27.48
6-100-	4.34	0.45	0.37	0.32	0.36	0.20	0.01
7-100-	3.74	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01
8-100-	5.83	3.96	2.98	2.14	2.10	2.96	6.01
9-100-	4.47	4.54	3.06	2.12	1.40	1.42	2.01
10-100-	7.90	8.66	8.93	8.93	8.08	7.32	8.15
11-100-	10.54	10.42	9.40	9.82	9.63	10.33	14.33
12-100-	12.31	13.33	12.82	12.90	12.90	13.67	16.66
4-150-	0.16	1.15	1.51	1.35	1.67	2.08	2.89
5-150-	20.85	18.01	18.31	19.50	19.16	20.39	22.50
6-150-	4.24	0.75	0.44	0.36	0.33	1.08	0.63
7-150-	3.81	0.01	0.09	0.01	0.05	0.27	0.01
8-150-	3.97	4.06	4.16	4.14	4.22	3.86	3.06
9-150-	6.06	6.06	6.09	6.33	6.38	6.30	6.66
C1-50-					0.28	0.26	0.30
C2-50-					0.26	26.83	27.74
C3-50-					0.42	0.16	0.11
C4-50-					0.55	0.25	
C1-100-						0.84	
C2-100-					1.01	21.73	5.47
C3-100-						0.79	0.44
C4-100-						0.59	0.19

Le jour 1 correspond au premier janvier.

# CAMPAGNE ST-AUGUSTIN 1990

## EAUX DE LYSIMETRES

NITRATES mg/l N (Chromatographie ionique)

LYSIMETRE No.	JOURS						
	184	191	198	205	212	219	226
1-50-	9.35	10.01	9.09	11.12	11.97	12.56	13.97
2-50-	11.97	11.52					
3-50-							
4-50-	0.14	0.18		0.01			2.25
5-50-	23.19	25.10	26.45	27.26			35.37
6-50-	0.42						2.74
8-50-	20.40	22.03	14.96	28.17	28.16	29.00	35.59
9-50-	0.39	0.54		1.17	1.41		
10-50-	2.07	2.72	4.03	4.92	4.62	4.67	7.69
11-50-	4.03	2.97					20.95
12-50-	14.17	13.46					24.40
1-100-	4.92	5.60	6.02	6.30	6.85	6.95	7.58
2-100-	11.13	10.45	9.51	9.42	6.91	7.27	10.10
3-100-	0.31	0.58	0.97	0.94	1.09	1.58	4.15
4-100-	0.12	0.14	0.20	0.23	0.28	0.02	0.34
5-100-	28.86	29.61	31.40	32.96	34.97	36.90	38.87
6-100-	0.14	0.18	0.21	0.20	0.01	0.02	0.58
7-100-	0.01	0.08	0.14	0.27	0.21	0.40	0.94
8-100-	6.58	5.76	5.79	4.42	4.79	6.11	17.49
9-100-	1.44	1.81	3.56	4.16	3.54	2.59	2.34
10-100-	8.60	7.54	6.94	6.34	5.25	5.93	7.35
11-100-	12.81	9.44	7.63	7.49	6.07	5.98	13.79
12-100-	18.20	18.42	18.27	17.51	16.70	16.61	23.18
4-150-	2.75	2.79	2.63	2.30	2.00	2.06	2.68
5-150-	23.94	25.38	26.28	29.12	30.27	30.87	31.37
6-150-	0.28	0.53	0.38	0.01	0.19	0.02	1.49
7-150-	0.01	0.08	0.10	0.01	0.19	0.32	0.53
8-150-	3.22	3.55	3.51	3.54	3.65	4.02	3.97
9-150-	6.65	6.72	6.75	6.12	4.84	4.27	5.35
C1-50-	0.24	0.40		0.31	0.25	0.17	14.82
C2-50-	4.71	2.13	1.04	0.50	0.30	0.13	45.38
C3-50-	0.07	0.01	0.06	0.09	0.13	0.34	23.94
C4-50-							0.58
C1-100-	0.54						
C2-100-							
C3-100-	0.34	0.30	0.23	0.34	0.27	0.41	0.52
C4-100-	0.11		0.09	0.11	0.07		

Le jour 1 correspond au premier janvier.

# CAMPAGNE ST-AUGUSTIN 1990

## EAUX DE LYSIMETRES

NITRATES mg/l N (Chromatographie ionique)

LYSIMETRE	JOURS						
	No.	240	254	268	282	296	310
1-50-	15.43		17.08	21.27	33.89	49.69	
2-50-							
3-50-							
4-50-	2.35	3.41	3.04	12.68	13.58	14.87	
5-50-	43.50		72.22		34.70	50.25	
6-50-	3.36	1.60	0.96	0.30	0.23	0.26	
8-50-	40.07	47.05	53.59	35.63	24.34	22.54	
9-50-	23.93	38.84	41.18	5.98	1.86	1.71	
10-50-	9.47	12.87	14.53	4.33	0.92	2.05	
11-50-	43.32	50.71	56.46	43.25	12.61	13.30	
12-50-	33.93	41.58	44.92	43.09	25.50	24.19	
1-100-	9.70	10.55	10.37	11.53	12.32	14.27	
2-100-	8.43	6.20		39.73	42.32	41.51	
3-100-	5.28	6.20	6.58	12.10	18.49	23.03	
4-100-	0.21	0.18	0.21	1.45	7.61	2.28	
5-100-	45.59	48.77	0.31	50.02	41.99	42.76	
6-100-	0.15	0.15	0.84	0.23	0.23	0.16	
7-100-	0.46	0.74	30.56	1.18	5.13	6.57	
8-100-	26.96	30.29	0.19		29.41	28.16	
9-100-	1.08	0.69	8.01		0.00	0.10	
10-100-	12.55	11.86	29.17	6.26	3.41	2.07	
11-100-	21.28	23.93	29.24	34.98	27.66	27.66	
12-100-	28.42	30.01	2.65	48.89	71.70	61.39	
4-150-	3.10	2.69	2.61	5.97	0.77	1.31	
5-150-	41.17	49.19	50.84	58.62	52.12	50.88	
6-150-	0.28	0.21	0.33	0.29	38.42	3.90	
7-150-	0.60	1.23	1.52	1.74	3.00	12.38	
8-150-	4.36	5.27	6.32	7.55	8.02	12.10	
9-150-	3.04	4.14	3.95	3.89	5.79	5.51	
C1-50-	2.08	2.27		0.84	1.74	26.66	
C2-50-	25.68	0.58	32.95	35.22	30.94	1.48	
C3-50-	2.90	0.37		32.21	27.76	27.34	
C4-50-	0.43					13.41	
C1-100-							
C2-100-							
C3-100-	0.86	1.56	1.99	17.05	17.83		
C4-100-		1.03	1.84	11.30	9.70		

Le jour 1 correspond au premier janvier.

## **ANNEXE K**

Résultats des concentrations en ammonium mesurées

# CAMPAGNE ST-AUGUSTIN 1990

## EAUX DE LYSIMETRES

AMMONIUM ug/l N (Technicon)

LYSIMETRE No.	JOURS						
	149	151	155	158	163	170	177
1-50-	18.97	20.17	8.21	13.38	9.01	9.61	6.78
2-50-	28.59	13.78	12.59	45.57	14.98	15.29	13.67
3-50-	62.72			92.56		34.57	
4-50-	14.18	12.19	13.38		3.85	11.64	12.45
5-50-	14.18	14.18	20.17	26.58	10.60	17.33	14.07
6-50-	52.89	37.06				37.05	39.12
8-50-	45.16	30.20	16.97	11.79	9.41	14.07	16.11
9-50-	139.28	103.47	62.31	66.83	33.42	32.09	15.29
10-50-	29.39	23.37	18.17	19.37	13.38	26.33	21.41
11-50-	51.26	35.04		24.17	22.17	31.68	21.82
12-50-	34.63	29.39	29.40	15.78	19.37	46.19	28.79
1-100-	13.78	5.04	9.41	13.38	7.42	9.21	1.54
2-100-	13.38	9.41	5.44	13.78	6.23	6.38	2.75
3-100-	12.99	7.82	11.39	7.42	83.80	7.18	3.55
4-100-	8.61	5.44	6.23	0.69	29.80	7.18	-0.87
5-100-	8.61	7.82	12.19	6.63	8.00	7.99	5.97
6-100-	12.99	11.39	11.39	4.25	6.23		6.78
7-100-	10.20	5.44	8.21	3.46	2.29	3.55	3.55
8-100-	12.99	9.41	13.38	7.82	8.21	15.70	10.02
9-100-	16.17	8.61	11.79	7.02	6.23	8.80	7.59
10-100-	7.02	4.25	7.82	0.69	3.46	11.64	-0.47
11-100-	17.37	5.83	9.41	1.48	5.04	10.83	2.75
12-100-	7.82	6.23	11.00	3.06	5.44	9.61	1.14
4-150-	11.00	4.64	8.21	12.19	7.02	6.78	5.16
5-150-	22.57	20.97	18.17	15.78	10.60	29.62	17.74
6-150-	6.63	5.44	9.41	3.06	5.44	10.42	3.15
7-150-	5.44	5.44	12.59	0.69	7.42	3.95	0.73
8-150-	6.23	7.02	7.02	3.85	3.46	4.76	-0.07
9-150-	7.02	7.42	7.82	3.46	2.66	3.55	1.14
C1-50-						929.99	1052.18
C2-50-						68.51	40.78
C3-50-						916.97	895.31
C4-50-						1057.76	
C1-100-						398.92	
C2-100-						177.33	96.48
C3-100-						3404.66	2881.26
C4-100-						804.78	685.14

# CAMPAGNE ST-AUGUSTIN 1990

## EAUX DE LYSIMETRES

AMMONIUM ug/l N (Technicon)

LYSIMETRE No.	JOURS						
	184	191	198	205	212	219	226
1-50-	2.75	10.851	11.136	12.733	17.095	19.53	5.22
2-50-	5.16	74.062					
3-50-							
4-50-	4.36	13.723					19.40
5-50-	12.04	20.886	69.427				16.48
6-50-	32.09	22.231					39.00
8-50-	10.42	26.314	37.971	61.308	21.334	40.18	17.73
9-50-	12.45	41.259		20.415	21.375		
10-50-	12.45	24.493	23.594	21.643	12.033	30.30	16.07
11-50-	1.94	49.323					32.75
12-50-	18.55	47.430					95.31
1-100-	21.41	6.701	7.857	7.932	8.355	12.61	2.30
2-100-	2.75	9.040	10.204	8.552	5.962	16.07	10.64
3-100-	4.76	11.383	14.103	17.060	15.676	12.61	3.55
4-100-	-1.68	6.331	9.149	6.373	2.984	11.31	3.14
5-100-	1.54	11.394	8.307	8.950	3.353	20.82	7.31
6-100-	5.16	12.006	8.251	23.688	7.045	ERR	7.31
7-100-	1.94	9.272	6.269	4.514	9.829	12.61	5.64
8-100-	7.99	14.468	14.652	14.445	10.641	17.80	9.39
9-100-	6.38	12.126	10.748	12.961	23.891	22.98	10.64
10-100-	1.54	5.912	6.142	8.909	1.836	9.14	3.14
11-100-	3.55	9.005	7.834	7.837	5.429	12.61	2.72
12-100-	2.34	10.176	9.864	7.874	5.818	10.01	6.89
4-150-	-1.28	4.759	4.354	6.795	9.448	6.54	1.89
5-150-	10.83	29.672	24.493	17.297	3.348	28.15	23.16
6-150-	-0.87	6.727	4.875	6.107	5.185	11.31	2.72
7-150-	-1.68	6.741	4.780	6.136	4.117	6.97	2.30
8-150-	1.14	6.362	4.357	5.784	5.609	3.94	5.22
9-150-	0.33	9.512	3.724	7.364	31.019	5.67	5.22
C1-50-	986.56	471.52	471.52			78.06	50.68
C2-50-	210.44	64.76	61.584			101.62	29.00
C3-50-	865.06	981.57	701.620			188.98	42.34
C4-50-							335.76
C1-100-	1527.03						
C2-100-							
C3-100-	2032.90	1795.06	1212.776			284.79	117.83
C4-100-	438.45		385.586				

Le jour 1 correspond au premier janvier.



# CAMPAGNE ST-AUGUSTIN 1990

## EAUX DE LYSIMETRES

AMMONIUM ug/l N (Technicon)

LYSIMETRE No.	JOURS					
	240	254	268	282	296	310
1-50-	14.26		37.04	8.76	14.23	24.41
2-50-						
3-50-						
4-50-	42.11	24.91	28.82	21.43	45.72	18.30
5-50-	24.91		42.22		136.93	258.07
6-50-	33.92	61.51	41.79	23.60	42.84	23.18
8-50-	27.77	40.06	18.38	21.86	23.18	15.86
9-50-	17.54	49.10	99.53	11.39	25.22	22.37
10-50-	23.68	21.86	11.82	9.20	12.61	13.02
11-50-	71.18	44.37	18.38	14.45	21.96	19.11
12-50-	70.77	65.77	33.58	20.12	37.91	18.70
1-100-	3.20	14.01	4.81	1.73	9.37	14.23
2-100-	8.12	23.60		4.81	15.86	9.37
3-100-	10.58	19.69	9.64	3.93	7.34	8.55
4-100-	4.84	16.20	0.85	1.73	7.74	10.18
5-100-	9.35	20.99	31.85	1.73	12.61	12.20
6-100-	6.89	20.56	4.37	2.61	10.99	11.39
7-100-	10.58	19.69	8.32	1.73	9.77	24.82
8-100-	6.07	20.12	13.14		14.23	10.99
9-100-	11.39	22.30	7.01		15.05	10.99
10-100-	4.02	11.39	6.13	1.73	10.18	12.61
11-100-	4.84	20.56	7.88	4.81	8.55	6.53
12-100-	8.12	18.81	4.37	1.73	7.74	4.10
4-150-	1.98	15.76	3.05	1.73	4.91	5.72
5-150-	17.13	44.80	25.78	7.88	46.96	24.83
6-150-	4.84	17.51	5.69	0.85	6.13	8.55
7-150-	2.38	13.14	1.29	0.85	6.53	10.99
8-150-	2.38	13.57	3.49	27.08	7.34	10.99
9-150-	5.25	15.76	5.25	0.85	10.99	5.72
C1-50-	81.76	117.89		14.01	26.86	13.02
C2-50-	90.43	183.96	26.21	4.37	20.74	117.27
C3-50-	290.61	75.81		14.01	12.61	
C4-50-						
C1-100-						
C2-100-						
C3-100-	313.54	123.86		14.89	29.72	
C4-100-	484.91	734.12	531.70	10.07	42.02	

Le jour 1 correspond au premier janvier.



## **ANNEXE L**

Résultats des volumes d'eau mesurés aux collecteurs

# CAMPAGNE ST-AUGUSTIN 1990

## LYSIMETRES SANS TENSION

### INFILTRATION EN ml

LYSIMETRE NO.	DATE							
	163	170	177	184	191	198	205	212
C1-50	3	34	15	21	19		69	25
C2-50	7	1093	81	18	18	27	25	20
C3-50	7	31	18	25	24	28	31	24
C4-50	7	7				2		3
C1-100		9		4				
C2-100	5	9	6		1			
C3-100		13	18	14	21	19	24	19
C4-100		11	19	15		44	18	21

LYSIMETRE NO.	DATE							
	219	226	240	254	268	282	296	310
C1-50	27	29	18	15		1156	1229	200
C2-50	21	1039	40	10	75	877	878	34
C3-50	25	175	25	20	2	1299	506	
C4-50	5	37	5	5		6		7
C1-100						2		1
C2-100						2		
C3-100	20	19	29	22	4	598	30	2
C4-100		5	24	22	7	759	115	4

LYSIMETRE NO.	TOTAL
C1-50	2860
C2-50	4263
C3-50	2238
C4-50	82
C1-100	16
C2-100	24
C3-100	853
C4-100	1064

Le jour 1 correspond au premier janvier.  
Une infiltration de 1 mm équivaut à 70.7 ml.