

**Record Number:** 147110  
**Author, Monographic:** Garbouj, M. S.//Rousseau, A. N.//Quilbé, R.//Savary, S.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Étude de l'influence passé de l'occupation agricole du territoire sur l'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière à l'aide d'un système de modélisation intégrée

**Translated Title:**

**Reprint Status:**

**Edition:**

**Author, Subsidiary:**

**Author Role:**

**Place of Publication:** Québec

**Publisher Name:** INRS-Eau, Terre & Environnement

**Date of Publication:** 2006

**Original Publication Date:** 21 septembre 2006

**Volume Identification:**

**Extent of Work:** xiv, 112

**Packaging Method:** pages incluant 11 annexes

**Series Editor:**

**Series Editor Role:**

**Series Title:** INRS-Eau, Terre & Environnement, rapport de recherche

**Series Volume ID:** 887

**Location/URL:**

**ISBN:** 2-89146-380-3

**Notes:** Rapport annuel 2006-2007

**Abstract:** Numéro demandé par MSGarbouj le 21 septembre, attribué par pdion le même jour.

ISBN? oui Date de dépôt aux archives INRS-ETE prévues \_\_\_\_\_. Date réellement déposée 23 novembre 2006

Rapport réalisé pour le projet FACC A946, Programme Impacts et adaptation

Dépôt légale BNC et BNQ fait le 26 janvier 2007. Pas de prix

R000887

**Call Number:**

**Keywords:**

rapport/ ok/ pdl

**Étude de l'influence passée de l'occupation  
agricole du territoire sur l'écoulement du bassin  
versant de la rivière Chaudière à l'aide d'un  
système de modélisation intégrée**

*Rapport de recherche No 887*

*Septembre 2006*

**Étude de l'influence passée de l'occupation agricole du territoire sur  
l'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière à l'aide d'un  
système de modélisation intégrée**

Rapport pour le projet :

FACC A946  
Programme Impacts et Adaptation

Direction des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique  
Secteur des sciences de la terre  
Ressources Naturelles Canada/Gouvernement du Canada

Préparé par :  
Mohamed Slim Garbouj  
Alain N. Rousseau, Ph.D., ing.  
Renaud Quilbé, D.Sc.  
Stéphane Savary, M.Sc.

Centre Eau, Terre et Environnement  
Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-ETE)  
490, rue de la Couronne, Québec (Qc), G1K 9A9

Rapport N° 887

21 Septembre 2006

ISBN 2-89146-380-3

# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>xi</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1. CADRE DU STAGE</b> .....	<b>3</b>
1.1. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL .....	3
1.2. PRÉSENTATION DU PROJET .....	4
1.2.1. <i>Cadre du projet</i> .....	4
1.2.2. <i>Approche rétrospective</i> .....	5
1.2.3. <i>Approche prédictive</i> .....	5
1.2.4. <i>Objectif de l'étude</i> .....	6
1.3. TERRITOIRE À L'ÉTUDE .....	6
<b>2. TRAITEMENT DES CARTES D'OCCUPATION DU SOL</b> .....	<b>9</b>
2.1. LES DONNÉES DISPONIBLES POUR L'ÉTUDE .....	9
2.2. MÉTHODE DE TRAITEMENT .....	11
2.2.1. <i>Changement de résolution des cartes d'occupation du sol</i> .....	12
2.2.2. <i>Comblement des lacunes</i> .....	13
2.3. INTÉGRATION DES CARTES ET MISE À JOUR DES DONNÉES DANS GIBSI .....	18
2.3.1. <i>Intégration des cartes dans le modèle GIBSI</i> .....	18
2.3.2. <i>Mise à jour des données dans GIBSI</i> .....	22
<b>3. ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL ET SON IMPACT SUR LE RÉGIME D'ÉCOULEMENT DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE</b> .....	<b>25</b>
3.1. ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE DE 1976 À 2003 .....	25
3.1.1. <i>A l'échelle de tout le bassin versant de la rivière Chaudière</i> .....	25
3.1.2. <i>Au niveau des sous bassins versants</i> .....	29
3.1.3. <i>Matrice de transition</i> .....	31

3.2.	IMPACT DE L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL SUR LE RÉGIME D'ÉCOULEMENT DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE.....	34
3.2.1.	<i>Effet sur les lames d'eau annuelles et mensuelles</i> .....	34
3.2.2.	<i>Effet sur les débits d'étiage</i> .....	41
3.2.2.1.	<i>Approche annuelle</i> .....	42
3.2.2.2.	<i>Approche estivale</i> .....	51
3.2.3.	<i>Tableau récapitulatif</i> .....	55
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>59</b>
	<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>61</b>
	<b>ANNEXE A ÉTAPES D'APPLICATION DE MASQUE SUR LES CARTES D'OCCUPATION DU SOL</b> .....	<b>63</b>
	<b>ANNEXE B PRÉSENTATION DE GIBSI</b> .....	<b>65</b>
	<b>ANNEXE C ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL AU NIVEAU DES SOUS BASSINS VERSANT</b> .....	<b>69</b>
	<b>ANNEXE D MATRICES DE TRANSITIONS SELON LES DIFFÉRENTES CLASSES THÉMATIQUES</b> .....	<b>79</b>
	<b>ANNEXE E MATRICES DE TRANSITIONS SELON LES DIFFÉRENTS CHAMPS D'OCCUPATION DU SOL</b> .....	<b>83</b>
	<b>ANNEXE F STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES</b> .....	<b>85</b>
	<b>ANNEXE G PRÉSENTATION DU MODULE HYDROTEL</b> .....	<b>87</b>
	<b>ANNEXE H PROBABILITÉ DE NON DÉPASSEMENT AU NIVEAU DES SOUS BASSINS</b> .....	<b>89</b>
	<b>ANNEXE I ÉVOLUTION DE LA LAME D'EAU ANNUELLE SIMULÉE AU NIVEAU DES SOUS BASSINS</b> .....	<b>97</b>
	<b>ANNEXE J PRÉSENTATION DU LOGICIEL HYFRAN</b> .....	<b>101</b>
	<b>ANNEXE K COEFFICIENTS DE CORRÉLATION ET DE DÉTERMINATION ENTRE LES DIFFÉRENTS DÉBITS D'ÉTIAGE ET L'OCCUPATION DU SOL AU NIVEAU DES SOUS BASSINS</b> .....	<b>103</b>

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 2.1.	Images utilisées dans le cadre du projet.....	9
Tableau 2.2.	Classes d'occupation du sol suivant Gauthier(1996).....	14
Tableau 3.1.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le bassin versant de la rivière Chaudière.....	27
Tableau 3.2.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1987 à 1990 dans le bassin versant de la Chaudière. ....	32
Tableau 3.3.	Évolution de l'occupation du sol entre 1987 et 1990 sur le bassin versant de la rivière Chaudière. ....	33
Tableau 3.4.	Quantiles des lames d'eau annuelles (en mm) simulées à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction de l'occupation du sol. ....	36
Tableau 3.5.	Écart relatif des quantiles des lames d'eau annuelles simulées par rapport à l'occupation du sol 1995. ....	37
Tableau 3.6.	Évolution annuelle des débits d'étiage $Q_{2-7}$ , $Q_{10-7}$ et $Q_{5-30}$ (en $m^3/s$ ) à l'exutoire de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003. ....	42
Tableau 3.7.	Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre $Q_{2-7}$ et l'occupation du sol. ....	46
Tableau 3.8.	Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre $Q_{10-7}$ et l'occupation du sol. ....	47
Tableau 3.9.	Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre $Q_{5-30}$ et l'occupation du sol. ....	47
Tableau 3.10.	Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre $Q_{2-7}$ et l'occupation du sol (tronçon 204). ....	50
Tableau 3.11.	Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre $Q_{10-7}$ et l'occupation du sol (tronçon 204). ....	50
Tableau 3.12.	Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre $Q_{5-30}$ et l'occupation du sol (tronçon 204). ....	50
Tableau 3.13.	Évolution estivale des débits d'étiage en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003 (en $m^3/s$ ). ....	51
Tableau 3.14.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ estival et l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant. ....	54

Tableau 3.15.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ estival et l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant. ....	54
Tableau 3.16.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ estival et l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant. ....	54
Tableau 3.17	Récapitulatif des pourcentages d'occupation agricole et forestière du sol et des coefficients de détermination avec les débits d'étiage annuels au niveau des sous bassins versants.....	56
Tableau 3.18.	Récapitulatif des pourcentages d'occupation agricole et forestière du sol et des coefficients de détermination avec les débits d'étiage estivaux au niveau des sous bassins versants.....	57
Tableau B.1.	Tableau de synthèse du contenu de GIBSI. ....	65
Tableau C.1.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Abénaquis.....	69
Tableau C.2.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Araignées.....	70
Tableau C.3.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Arnold.....	71
Tableau C.4.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Basse-Chaudière.....	72
Tableau C.5.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Du Loup.....	73
Tableau C.6.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Famine.....	74
Tableau C.7.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Haute-Chaudière.....	75
Tableau C.8.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Samson. ....	76
Tableau C.9.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Tring.....	77
Tableau C.10.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Veilleux. ....	78
Tableau D.1.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1976 à 1981 pour le bassin versant de la rivière Chaudière. ....	79
Tableau D.2.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1981 à 1987 pour le bassin versant de la rivière Chaudière. ....	80
Tableau D.3.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1990 à 1995 pour le bassin versant de la rivière Chaudière. ....	80

Tableau D.4.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1995 à 1999 pour le bassin versant de la rivière Chaudière.....	81
Tableau D.5.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1999 à 2003 pour le bassin versant de la rivière Chaudière.....	81
Tableau E.1.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1976 à 1981.....	83
Tableau E.2.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1981 à 1987.....	83
Tableau E.3.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1990 à 1995.....	83
Tableau E.4.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1995 à 1999.....	84
Tableau E.5.	Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1999 à 2003.....	84
Tableau F.1.	Stations météorologiques.....	85
Tableau H.1.	Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Beurivage.....	89
Tableau H.2.	Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Arnold.....	90
Tableau H.3.	Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Araignées.....	91
Tableau H.4.	Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Du Loup.....	92
Tableau H.5.	Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Samson.....	93
Tableau H.6.	Représentation des quantiles au niveau des sous bassins Abénaquis – Veilleux - Famine.....	94
Tableau H.7.	Représentation des quantiles au niveau des sous bassins Saint-Victor/Tring.....	95
Tableau H.8.	Représentation des quantiles au niveau des sous bassins Tring.....	96
Tableau K.1.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.....	103
Tableau K.2.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.....	103
Tableau K.3.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.....	103
Tableau K.4.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.....	103
Tableau K.5.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.....	104

Tableau K.6.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.....	104
Tableau K.7.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.....	104
Tableau K.8.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.....	104
Tableau K.9.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.....	104
Tableau K.10.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.....	104
Tableau K.11.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.....	105
Tableau K.12.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.....	105
Tableau K.13.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.....	105
Tableau K.14.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.....	105
Tableau K.15.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.....	105
Tableau K.16.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.....	105
Tableau K.17.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.....	106
Tableau K.18.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.....	106
Tableau K.19.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.....	106
Tableau K.20.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.....	106
Tableau K.21.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.....	106
Tableau K.22.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.....	106
Tableau K.23.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.....	107

Tableau K.24.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.....	107
Tableau K.25.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine. .....	107
Tableau K.26.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine. .....	107
Tableau K.27.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine. .....	107
Tableau K.28.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine. .....	107
Tableau K.29.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine. .....	108
Tableau K.30.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine. .....	108
Tableau K.31.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.....	108
Tableau K.32.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.....	108
Tableau K.33.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.....	108
Tableau K.34.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{2-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.....	108
Tableau K.35.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{10-7}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.....	109
Tableau K.36.	Coefficient de corrélation et de détermination entre $Q_{5-30}$ estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.....	109



## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1.1.	Localisation du bassin versant de la rivière Chaudière (Guillot et al. 2004) ....	7
Figure 1.2.	Sous-bassins pour le bassin versant de la rivière Chaudière.....	8
Figure 2.1.	Exemple d'anomalies pour les bandes 1 et 2 de l'image de 1981.....	10
Figure 2.2.	Présentation des deux formats.....	12
Figure 2.3.	Changement de la résolution d'une carte.....	13
Figure 2.4.	Carte 1976 avant correction.....	15
Figure 2.5.	Différentiation entre les nouvelles et l'ancienne carte d'occupation du sol ...	16
Figure 2.6.	Carte 1990 corrigée, présentant la totalité du bassin versant la Chaudière....	17
Figure 2.7.	Conversion raster à ascii.....	19
Figure 2.8.	Importation des cartes dans Grassland.....	20
Figure 2.9.	Choix des options pour la création de fichier statistique.....	21
Figure 2.10.	Différentes composantes d'un fichier statistique.....	22
Figure 3.1.	Fenêtre principale du programme matrice et statistiques.....	26
Figure 3.2.	Fichier statistique généré à partir du programme matrice et statistique.....	26
Figure 3.3.	Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du territoire pour chacun des champs thématiques.....	28
Figure 3.4.	Évolution de l'occupation du sol au niveau du sous bassin versant Beurivage.....	29
Figure 3.5.	Évolution de l'occupation du sol au niveau du sous bassin versant Saint-Victor.....	30
Figure 3.6.	Redistribution de la classe Céréales entre 1987 et 1990.....	33
Figure 3.7.	Variation de la lame d'eau annuelle moyenne simulée par HYDROTEL à l'exutoire du bassin versant la Chaudière en fonction des scénarios d'occupation du sol.....	35
Figure 3.8.	Courbe de probabilité de non dépassement de la lame d'eau annuelle à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.	37
Figure 3.9.	Lame d'eau mensuelle (moyenne sur les 30 ans de simulation) en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière.....	38

Figure 3.10. Variation de la lame d'eau annuelle moyenne simulée par HYDROTEL au niveau du sous bassin Beurivage en fonction de l'occupation du sol utilisée.....	39
Figure 3.11. Évolution de la lame d'eau annuelle moyenne simulée par HYDROTEL au niveau du sous bassin St-Victor/ Tring en fonction de l'occupation du sol utilisée.....	40
Figure 3.12. Évolution annuelle des débits d'étiage $Q_{2-7}$ , $Q_{10-7}$ et $Q_{5-30}$ à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.....	43
Figure 3.13. Évolution annuelle du débit d'étiage $Q_{2-7}$ en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.....	44
Figure 3.14. Évolution annuelle du débit d'étiage $Q_{10-7}$ en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.....	44
Figure 3.15. Évolution annuelle du débit d'étiage $Q_{5-30}$ en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.....	45
Figure 3.16. Exemple, avec et sans l'année 1981, de la relation entre l'évolution de l'occupation du sol et le débit d'étiage annuel ( $Q_{2-7}$ ) .....	46
Figure 3.17. Évolution du débit d'étiage $Q_{2-7}$ en fonction de l'occupation du sol au niveau du tronçon 204 (Saint-Victor/ Tring).....	48
Figure 3.18. Évolution du débit d'étiage $Q_{10-7}$ en fonction de l'occupation du sol au niveau du tronçon 204(Saint-Victor/ Tring).....	48
Figure 3.19. Évolution du débit d'étiage $Q_{5-30}$ en fonction de l'occupation du sol au niveau du tronçon 204(Saint-Victor/ Tring).....	49
Figure 3.20. Évolution des débits d'étiages estivaux à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.....	51
Figure 3.21. Évolution estivale du débit d'étiage estival $Q_{2-7}$ par rapport à l'évolution de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière.....	52
Figure 3.22. Évolution estivale du débit d'étiage estival $Q_{10-7}$ par rapport à l'évolution de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière.....	53
Figure 3.23. Évolution estivale du débit d'étiage estival $Q_{5-30}$ par rapport à l'évolution de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière.....	53
Figure A.1. Étapes d'application de masque.....	63
Figure B.1. Schéma conceptuel de la structure de GIBSI.....	67

Figure C.1.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Abénaquis.....	69
Figure C.2.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Araignées. ....	70
Figure C.3.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Arnold. ....	71
Figure C.4.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Basse-Chaudière.....	72
Figure C.5.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Du Loup. ....	73
Figure C.6.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Famine.....	74
Figure C.7.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Haute-Chaudière. ....	75
Figure C.8.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Samson.....	76
Figure C.9.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Tring.....	77
Figure C.10.	Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Veilleux.....	78
Figure H.1.	Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Beurivage. ....	89
Figure H.2.	Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Arnold. ....	90
Figure H.3.	Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Araignées. ....	91
Figure H.4.	Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Du Loup. ....	92
Figure H.5.	Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Samson.....	93
Figure H.6.	Probabilité de non dépassement au niveau des sous bassins Abénaquis– Veilleux-Famine.....	94
Figure H.7.	Probabilité de non dépassement au niveau des sous bassins Saint-Victor/ Tring.....	95
Figure H.8.	Probabilité de non dépassement au niveau des sous bassins Tring.....	96
Figure I.1.	Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Arnold. ....	97
Figure I.2.	Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Araignées.....	98
Figure I.3.	Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin DuLoup. ....	98

Figure I.4.	Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Samson.....	99
Figure I.5.	Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau des sous bassins Abénaquis - Veilleux - Famine.....	99
Figure I.6.	Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Tring.....	100

## INTRODUCTION

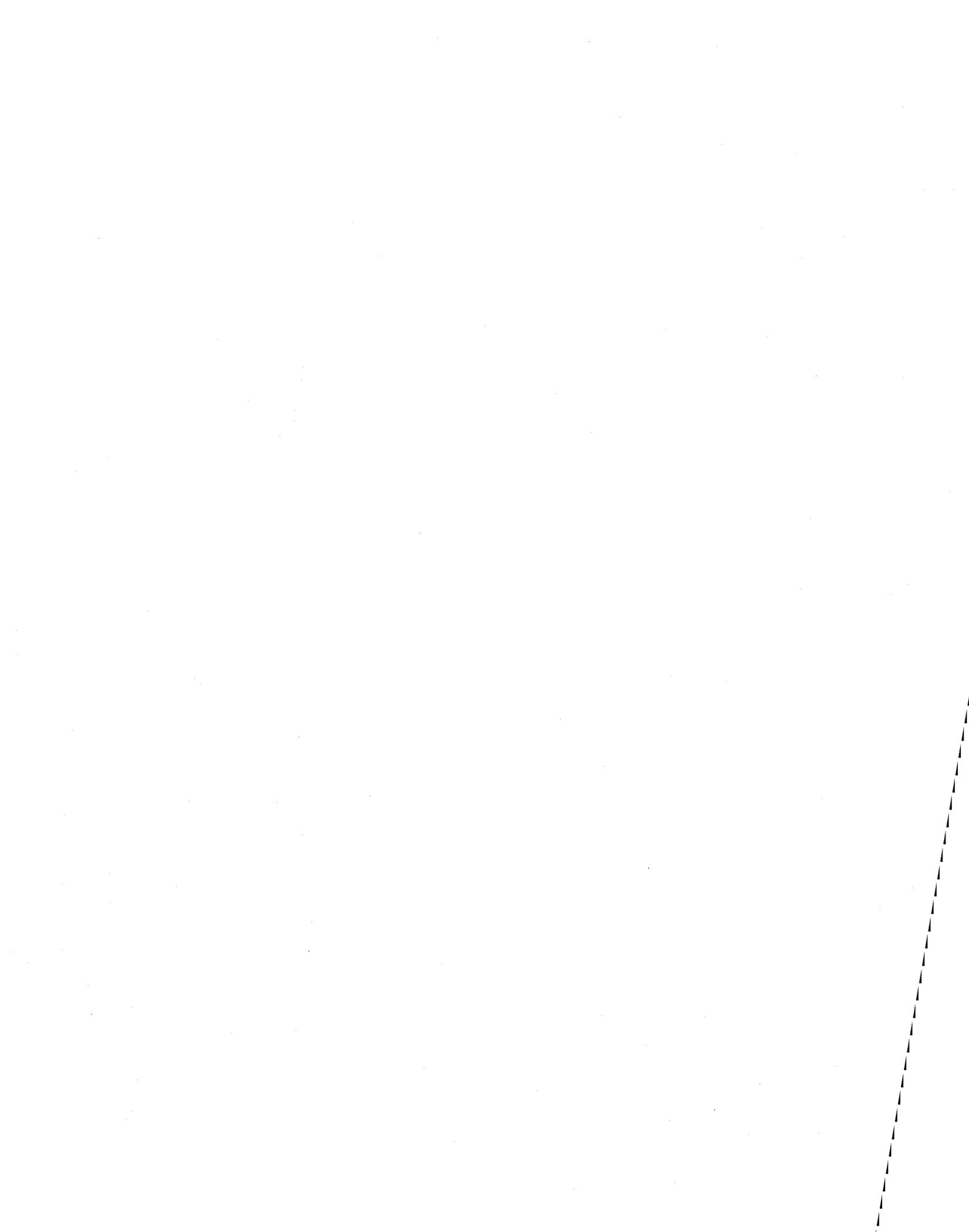
---

L'occupation du sol peut être succinctement définie comme la couverture biophysique de la surface des terres émergées (FAO, 1998). Cette description repose sur la représentation d'une homogénéité de la couverture terrestre. Donc chaque portion du territoire étudié appartient à une classe d'occupation du sol.

Dans le temps, l'occupation du sol peut présenter une stabilité qui indique le maintien d'un équilibre entre ses constituants et avec son environnement (climax ou formation climatique) ou de stade terminal d'évolution ou de stade terminal de succession. Elle peut, au contraire, subir des modifications plus ou moins profondes, brutales ou progressives. Ces modifications présentent une grande importance, car elles touchent à des problèmes économiques et sociaux, tels que l'amélioration de la production agricole et forestière, la conservation des sols, l'urbanisation, Mais elle peut avoir des conséquences importantes sur le comportement hydrologique d'un bassin versant.

L'observation des changements de l'occupation du sol au cours du temps permet d'estimer la nature des processus naturels et anthropiques en jeu et d'évaluer l'impact des ces changements sur les ressources naturelles. L'objectif de ce travail consiste à l'étude de l'influence passée de l'occupation agricole du territoire sur l'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière, à l'aide d'un système de modélisation intégrée.

Ce rapport de recherche présentera deux problématiques globales qui entourent le projet : les étapes de traitement et correction des cartes d'occupation du sol et leur intégration dans le modèle GIBSI, suivies d'une analyse de l'impact de l'évolution du sol sur l'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière.



# 1. CADRE DU STAGE

---

## 1.1. Présentation de la structure d'accueil

L'Institut National de la Recherche Scientifique (INRS) est un établissement universitaire voué à la recherche, aux études de cycles supérieurs et à la formation de chercheurs dans les domaines suivants :

- Eau, Terre et Environnement
- Énergie, Matériaux et Télécommunications
- Santé humaine, animale et environnementale
- Urbanisation, Culture et Société

Le centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut National de Recherche Scientifique (INRS-ETE) situé à Québec est un pôle international en sciences de l'eau.

Les principaux axes de recherche prospectés par cette structure sont les risques environnementaux liés aux aléas naturels et à la contamination, la gestion intégrée des ressources, l'aménagement du territoire, les technologies de réhabilitation des milieux urbains et naturels et l'impact et l'adaptation liés aux changements climatiques et aux événements extrêmes. Il a aussi pour mandat le développement de la recherche fondamentale et appliquée sur l'eau, son aménagement et sa conservation.

Le centre possède une expertise reconnue, entre autre, dans les domaines suivants :

- **gestion intégrée par bassin versant,**
- hydrologie, hydraulique et écohydraulique,
- biogéochimie et écotoxicologie des métaux et des contaminants organiques,
- télédétection appliquée au suivi du couvert nival,

- hydrométallurgie et minéralogie environnementales,
- valorisation de biomasses et de résidus,
- hydrogéologie régionale,
- géomorphologie glaciaire, périglaciaire, fluviale et littorale,
- diagenèse minérale et organique,
- géologie des Appalaches et du Grenville,
- géologie du quaternaire et prospection glacio-sédimentaire,
- prévention des risques géologiques.

En terme de gestion intégrée de l'eau par bassins versants, les chercheurs s'attachent à comprendre, à modéliser et simuler les écoulements d'eau et le transport de polluants, ainsi qu'à développer des outils facilitant les processus de décision et de gestion intégrée des eaux. C'est dans ce cadre que s'intègre cette étude.

## **1.2. Présentation du projet**

### **1.2.1. Cadre du projet**

Ce projet est financé par le Fond d'Action pour les Changements Climatiques (FACC) sur une durée de 2 ans (2004-2006) Dans le cadre de ce projet, nous proposons d'utiliser une méthode d'évaluation de la vulnérabilité agricole et des mesures d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle du bassin versant de la **rivière chaudière**, basé sur le système de modélisation intégrée GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un système Informatisé) (Villeneuve et al., 1998).

Dans ce contexte, les principaux objectifs de ce projet se résument en deux grandes parties :

- (i) Identifier, à l'échelle d'un bassin versant et sur la base des 30 dernières années, la vulnérabilité de l'agriculture aux changements climatiques et aux événements extrêmes, et déterminer l'influence des changements d'occupation du sol

- (ii) Évaluer et comparer l'influence des scénarios d'occupation du sol sur le régime d'écoulement, l'érosion et la qualité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant, et estimer leur intérêt en fonction de leur ratio avantage-coût.

De nombreux partenaires sont associés à l'INRS-ETE dans le cadre de ce projet : OURANOS, le ministère de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), la Financière Agricole Du Québec (MDDEP), l'Université de Moncton, l'Institut de Recherche et Développement en Agroenvironnement (IRDA) et l'Université du Manitoba.

### **1.2.2. Approche rétrospective**

Cette première partie du projet, a pour but de retracer l'évolution historique de l'occupation du sol du bassin versant de la **rivière Chaudière** au cours des 30 dernières années (1970-1999) ainsi que la détermination de l'influence des modifications d'occupation du sol sur l'évolution de la sensibilité au climat.

### **1.2.3. Approche prédictive**

Cette deuxième partie du projet, a pour objectifs l'élaboration d'un scénario de chroniques météorologiques dans un contexte de changement climatique, l'identification des scénarios probables d'adaptation de l'occupation agricole des sols sur le bassin versant de **la rivière Chaudière**, l'estimation de l'évolution de la sensibilité des sols à l'érosion à l'échelle parcellaire et l'évaluation des effets des scénarios d'occupation agricole du sol sur le rendement moyen des cultures, le régime d'écoulement, l'érosion et la qualité de l'eau du bassin versant de **la rivière Chaudière**.

#### 1.2.4. Objectif de l'étude

Cette étude s'intègre dans l'approche rétrospective du projet FACC. Il s'agit d'étudier l'influence passée de l'occupation agricole du territoire sur l'écoulement du bassin versant, à l'aide d'un système de modélisation intégrée. Dans la première partie de ce rapport, on va s'intéresser à présenter la méthode suivie pour la correction des nouvelles cartes d'occupation du sol, ainsi que leur intégration dans le modèle GIBSI. Dans la deuxième partie, on va s'intéresser à étudier l'impact de l'évolution de l'occupation du sol sur l'écoulement du bassin versant de la **rivière Chaudière**.

#### 1.3. Territoire à l'étude

Situé sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de Québec, le bassin hydrographique de la **rivière Chaudière** draine une vaste région de 6 682 km<sup>2</sup>. Borné au sud par la frontière américaine, il est limité à l'est par les bassins des rivières Etchemin, Daaquam et Saint-Jean-sud-ouest et à l'ouest par ceux des rivières Saint-François, Bécancour, du Chêne et du ruisseau Bourret. La **rivière Chaudière** prend sa source dans le lac Mégantic à l'extrémité sud du bassin et coule en direction nord, pour aller se jeter dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Saint-Romuald. Ses quatre principaux tributaires sont, de l'amont vers l'aval, les rivières du Loup et Famine, le Bras Saint-Victor et la rivière Beaurivage, qui drainent ensemble environ 46 % de la superficie totale du bassin (figure 1.2).

Le bassin chevauche deux régions administratives : soit la région de Chaudières-Appalaches et la région de l'Estrie. On dénombre 93 municipalités à l'intérieur des limites du bassin versant et une population dépassant les 170 000 habitants. En ce qui a trait à l'utilisation du sol sur le territoire, des données de 1994 révèlent que 63% de la superficie du bassin est couverte par la forêt, 17% par les cultures et les pâturages, 15% par les friches, 3% par des zones urbaines et 2% par l'eau (Villeneuve et al., 1998). Le bassin versant de la **rivière Chaudière** est divisé en trois sous régions : soit la Basse, la Moyenne et la Haute Chaudière (figure 1.1). Les pressions agricoles sont concentrées dans les



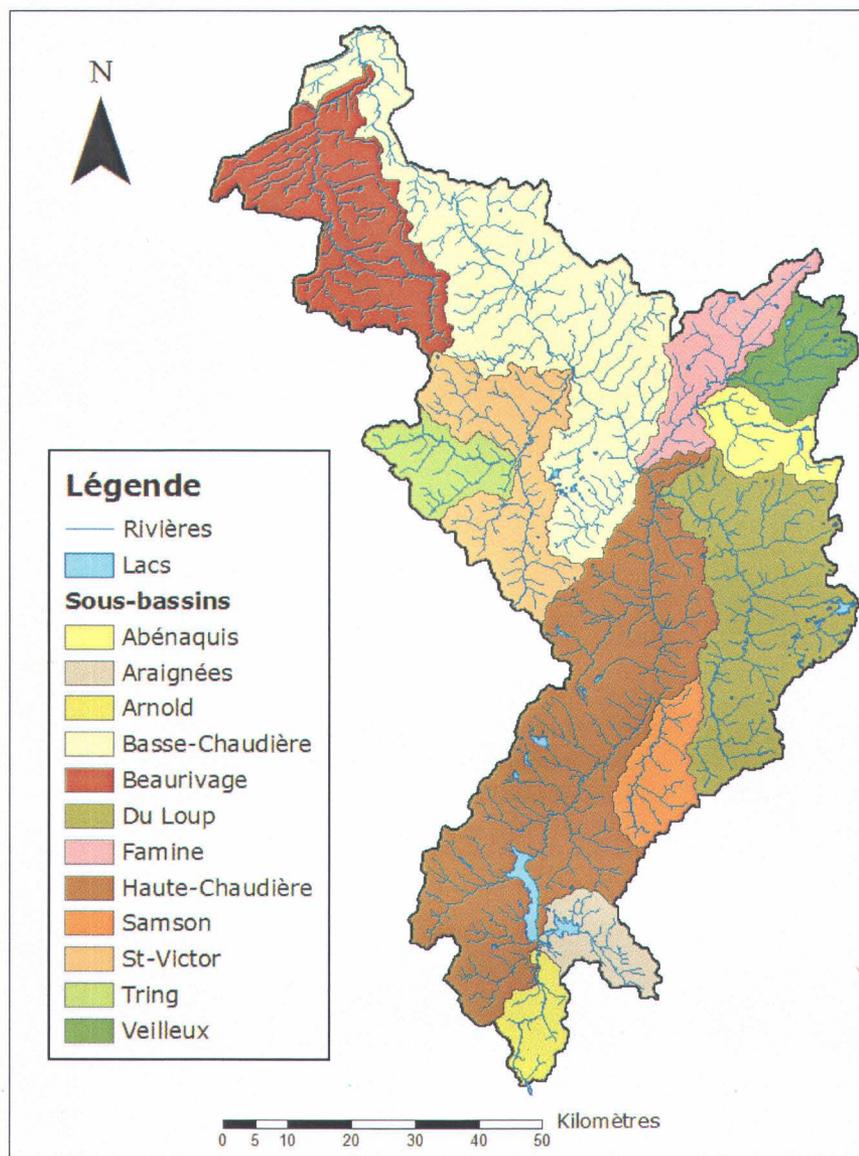


Figure 1.2. Sous-bassins pour le bassin versant de la rivière Chaudière

## 2. TRAITEMENT DES CARTES D'OCCUPATION DU SOL

---

### 2.1. Les données disponibles pour l'étude

- *Cartes d'occupation du sol*

Ce sont des cartes d'occupation du sol réalisées à partir d'images satellitaires « Landsat » acquises dans le cadre du projet selon des critères de sélection assez stricts. Les images disponibles au Centre Canadien de Télédétection étant peu nombreuses, il fut impossible d'obtenir des images qui respectent parfaitement les critères fixés. Les images acquises dans le cadre de ce projet sont présentées dans le tableau 2.1. Il est à noter que les cartes 1995 et 1999 étaient déjà disponibles à l'INRS avant le début de ce projet.

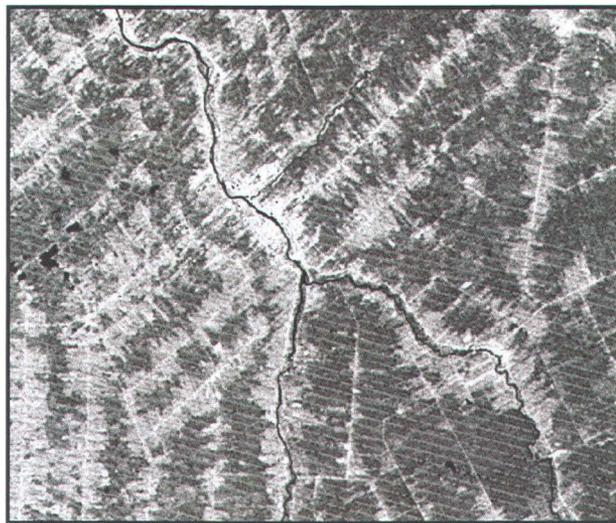
**Tableau 2.1.** Images utilisées dans le cadre du projet

Date d'acquisition	Satellite et Capteur
4 août 1976	Landsat-2 MSS
14 août 1981	Landsat-2 MSS
6 août 1987	Landsat-5 TM
29 juillet 1990	Landsat-5 TM
28 août 1995	Landsat-5 TM
14 juillet 1999	Landsat-7 ETM+
2 septembre 2003	Landsat-5 TM

Plusieurs corrections et traitements ont été appliqués à ces images dans le but d'obtenir des cartes d'occupation du sol reflétant au maximum la réalité du terrain. Ainsi, toutes les cartes d'occupation du sol présentaient une 11<sup>ème</sup> classe non classifiée due à la présence de zones ennuagées ou encore à la non couverture du bassin. Plus précisément, la scène de 1976, 1987 et celle de 1995 n'offrent pas une couverture complète du bassin. Également,

on note la présence de nuages sur les images de 1987, 1990, 1999 et 2003 (moins de 10% de la superficie).

Pour l'image de 1981, nous avons constaté un problème d'acquisition d'image. En ce sens les bandes 1 et 2 présentent des anomalies (figure 2.1) qui peuvent engendrer des erreurs lors de la segmentation et la classification de l'image. Toutefois aucune correction valable n'a permis de rectifier ces anomalies. Par conséquent, il convient d'être prudent dans l'interprétation des résultats d'occupation du sol pour cette année, en particulier pour la comparaison avec les autres années ou encore pour l'impact de ce scénario d'occupation du sol sur le régime hydrique du bassin versant de la rivière Chaudière.



**Figure 2.1.** Exemple d'anomalies pour les bandes 1 et 2 de l'image de 1981

D'autres cartes d'occupation du sol ont été obtenues auprès du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Ces cartes couvrent uniquement le bassin pour l'année 1977.

- **Données de simulation**

Le bassin versant de la **rivière Chaudière** présente 41 stations météorologiques réparties de façon à couvrir la totalité du territoire d'étude. Ces dernières collectent les données de température minimale et maximale ainsi que les précipitations totales journalières. Les données collectées sont intégrées à HYDROTEL pour permettre de simuler le régime hydrique au niveau du bassin versant de la **rivière Chaudière**. Un tableau qui présente toutes les stations météorologiques ainsi que leurs périodes de recouvrement est présenté à l'annexe F.

- **Autres données**

Parmi les autres données disponibles et qui peuvent être mises à profit, on retrouve des rapports et des cartes d'occupation du sol. D'abord, Gauthier (1996) a produit un rapport technique qui explique la démarche employée pour la classification de l'image de 1995. Ensuite Grenier (2005) a produit un rapport technique qui explique la démarche employée pour la classification de l'image de 2003. Enfin, le rapport de Savary *et al.* (2006) présente en détail les traitements et classifications réalisés sur l'ensemble des images pour déterminer l'occupation du sol. Ces trois documents sont assez détaillés et s'avèrent pertinents à l'établissement d'un protocole de recherche pour le projet actuel. Le rapport de Guillot *et al.* (2004) présente le projet FACC et fait état des avancements de celui-ci. Il intègre aussi une partie sur la manière dont GIBSI gère l'occupation du sol et une autre sur la recherche d'information satellitaire. Enfin, le rapport de Villeneuve *et al.* (1998) présente dans son intégralité la gestion des informations reliées à l'utilisation du sol par le système GIBSI.

## **2.2. Méthode de traitement**

La démarche de recherche comporte deux grandes étapes : le changement de résolution des cartes d'occupation du sol et le comblement des lacunes. Chacune de ces étapes est abordée dans cette section.

### 2.2.1. Changement de résolution des cartes d'occupation du sol

À l'origine, toutes les cartes d'occupation du sol dont on dispose ont une résolution de 60 mètres et sont en format Ascii. Un format d'image est une représentation informatique de l'image, associée à des informations sur la façon dont l'image est codée. La plupart des formats sont composées d'un en-tête contenant des attributs (dimension de l'image, type de codage...), suivi des données (l'image proprement dite). La structuration des attributs et des données diffère pour chaque format d'image. De plus, les formats actuels intègrent souvent une zone de métadonnées servant à préciser les informations concernant l'image comme la date, la résolution et les coordonnées.

Étant donné que chaque logiciel informatique utilise un ou plusieurs formats bien définis, le changement du format des images dont nous disposons était obligatoire afin de pouvoir les traiter sous le logiciel ArcGis9.0 qui permet de lire et de manipuler des fichiers Shape file avec un en-tête ESRI. La figure 2.2, montre les différences entre les deux formats ASCII et ESRI.

1- Entête format Ascii	2- Entête format ESRI
North: xxxxxxxxxxxx	
South: xxxxxxxxxxxx	
East: xxxxxxxxxxxx	
West: xxxxxxxxxxxx	
Rows: xxxxxxxxxxxx	
Cols: xxxxxxxxxxxx	
<data>	
<data>	
	NCOLS <cols>
	NROWS <cols>
	XLLCORNER<west>
	YLLCRNER<south>
	CELLSIZE x (GIBSI=25)
	NODATA_VALUE x

Figure 2.2. Présentation des deux formats

Le changement de l'en-tête Ascii en Raster a été réalisé avec le module «Arctoolbox» d'ArcGIS9.0. L'en-tête ainsi modifié, le changement de la résolution de l'image est rendu possible. La résolution d'une image est définie par son nombre de pixels et détermine le degré de détail de l'image. Ainsi, plus la résolution est élevée, meilleure est la restitution.

En effet, la résolution d'image utilisée dans le modèle GIBSI est de 25 mètres. Ce qui n'est pas le cas pour les cartes présentant une résolution de 60m. Il s'agit dans notre cas d'augmenter la résolution pour ces cartes afin de pouvoir les intégrer dans le modèle GIBSI. Le menu "Editor" d'Arc Gis 9.0 permet de changer automatiquement la résolution des images. La figure 2.3 montre les étapes de modification d'une résolution d'image sous Arc Gis 9.0.

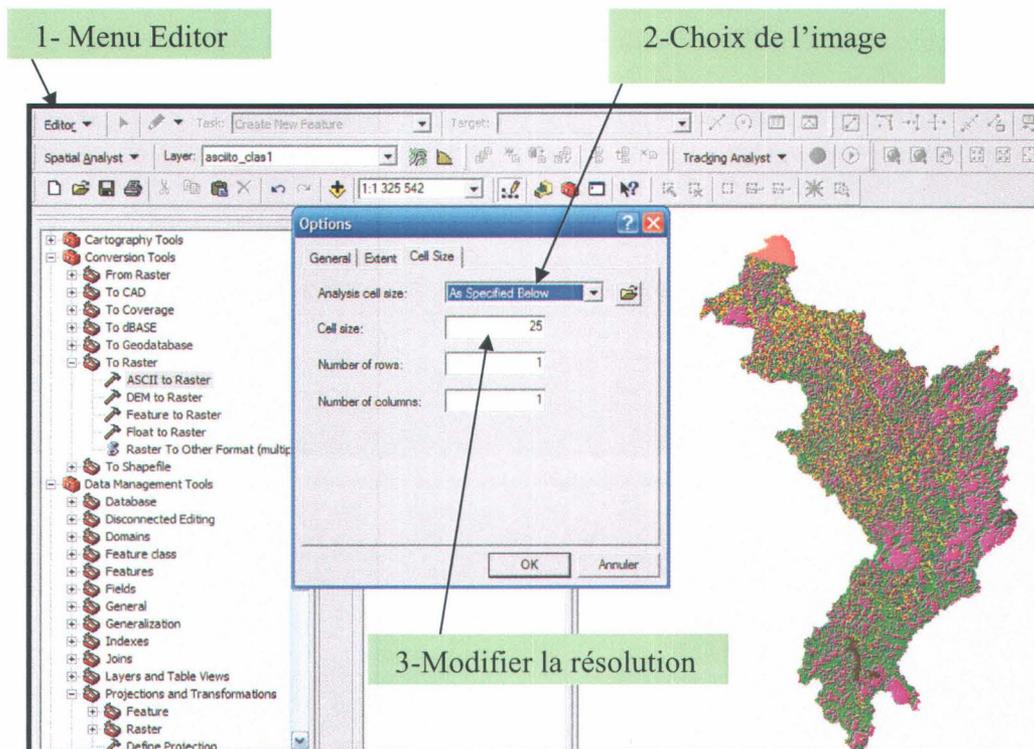


Figure 2.3. Changement de la résolution d'une carte

### 2.2.2. Comblement des lacunes

Dans le cadre du présent projet, les classes ont été préalablement établies lors de travaux antérieurs (Gauthier, 1996) et sont celles utilisées dans le logiciel GIBSI. La présence de nuages ou la non-couverture du bassin versant par une image a rendu la classification totale des cartes impossible. Ainsi une couche non classifiée est présente dans toutes les cartes. La solution apportée est de donner aux valeurs des pixels de cette couche non classifiée les

mêmes valeurs des pixels présents dans l'ancienne carte d'occupation du sol. Le prochain paragraphe présente le processus de classification de ces zones non classifiées. Ce processus de classification a été appliqué sur la totalité des cartes d'occupation du sol.

Une fois les cartes affichées sous Arc Gis 9.0, on observe que l'écran comporte deux parties distinctes. En partant du haut, on trouve la couche non classifiée, sous laquelle figure le reste de la carte d'occupation du sol bien classifiée lors de travaux antérieurs. Le tableau 2.2 présente les différentes classes d'occupation du sol selon Gauthier (1996) et la figure 2.4 présente la carte 1976 avant correction.

**Tableau 2.2.** Classes d'occupation du sol suivant Gauthier(1996)

<b>Numéros de classes</b>	<b>Classes thématiques</b>
1	Urbain
2	Pâturage et foin
3	Céréales
4	Maïs
5	Eau
6	Milieu humide
7	Sol nu
8	Friche
9	Feuillus
10	Conifères
11	Non-Classifiée

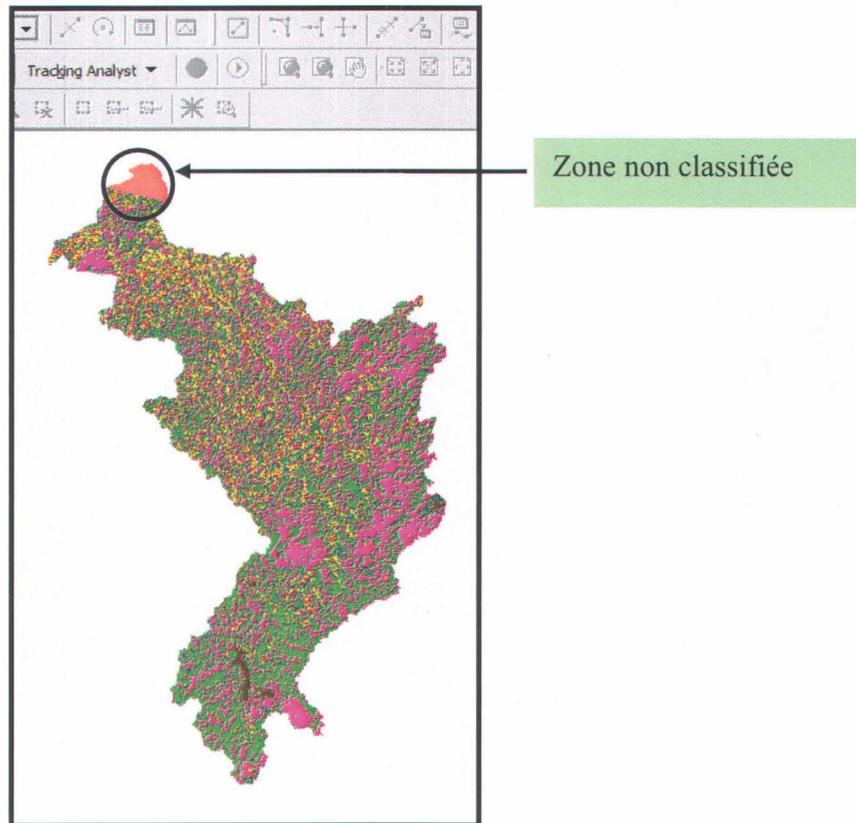


Figure 2.4. Carte 1976 avant correction

La commande « convert » ou « con » dans le menu « Raster calculator » sous « Spatial Analyst » d'Arc Gis 9.0 permet la classification de cette 11<sup>e</sup> classe en lui attribuant les valeurs de pixels de l'ancienne carte déjà présente dans GIBSI. Il s'agit en effet d'exécuter l'opération suivante :

```
Con([nouvelle carte]==valeur de la couche non classifiée, [ancienne carte],  
[nouvelle carte])
```

En superposant les nouvelles cartes, après classification, sur l'ancienne présente dans GIBSI, on remarque qu'une partie du contour manque dans les nouvelles cartes. La figure 2.5 illustre ces observations.

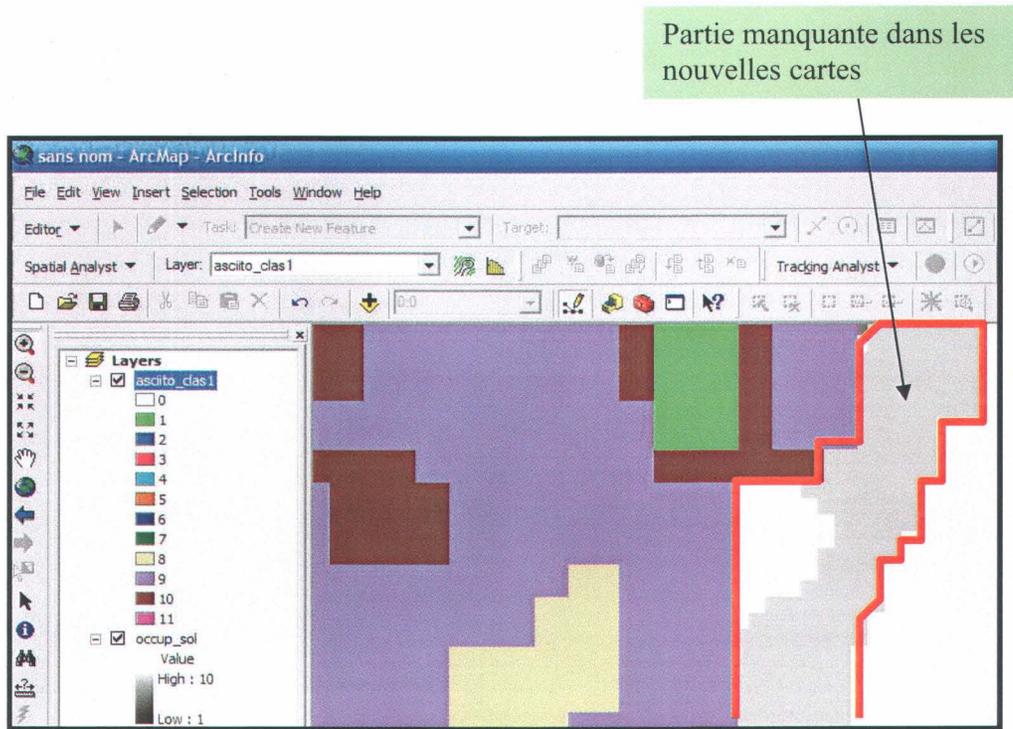
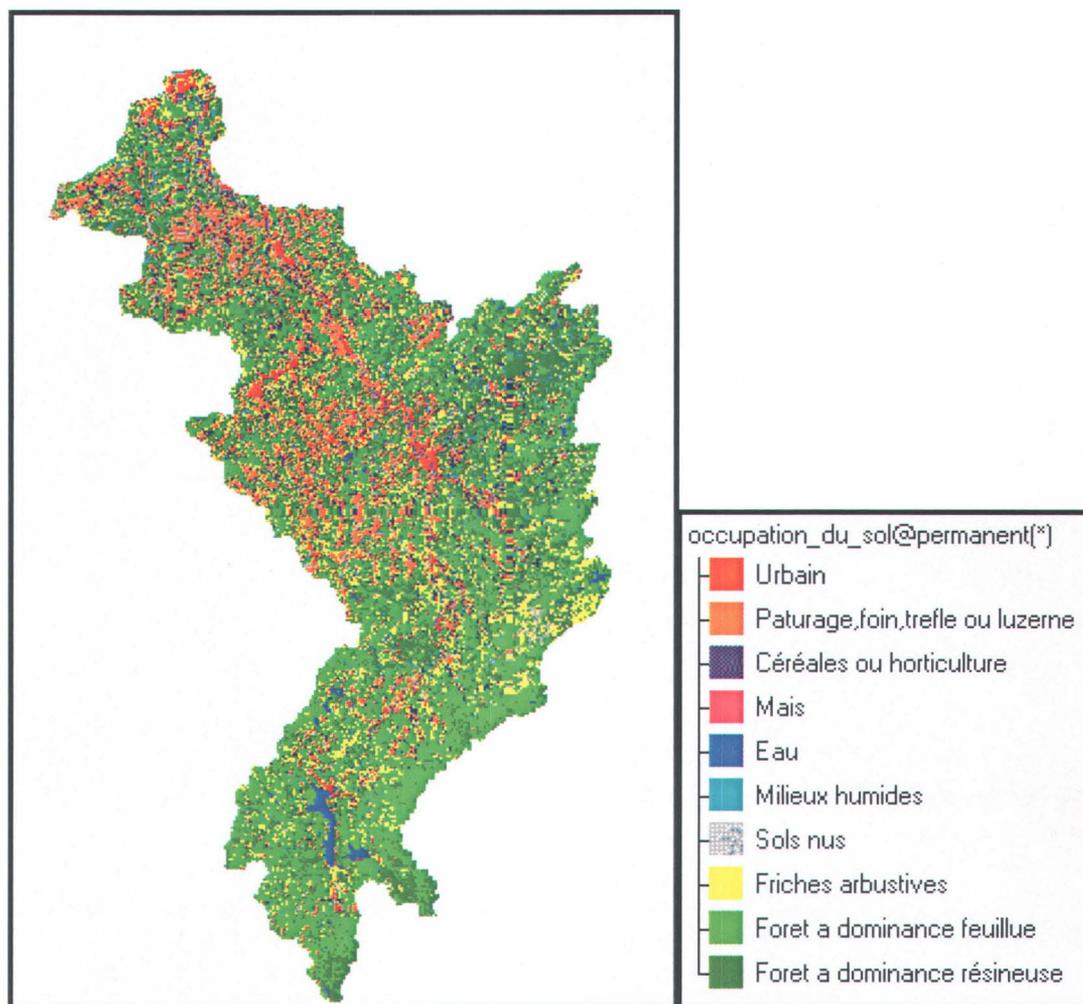


Figure 2.5. Différentiation entre les nouvelles et l'ancienne carte d'occupation du sol

Pour combler ce manque, on a procédé par application d'un masque de l'ancienne carte sur les nouvelles. Ce masque permet, en effet, d'ajouter des pixels à partir de l'ancienne carte permettant ainsi l'obtention de cartes complètes. Toutes les étapes d'application du masque sur les nouvelles cartes seront présentées dans l'annexe A. La figure 2.6 présente la carte 1990 complète après correction et création de contour.



**Figure 2.6.** Carte 1990 corrigée, présentant la totalité du bassin versant la Chaudière

Les différents prétraitements réalisés sur l'image Landsat représentant l'année 1981 (transformation radiométrique, transformation géométrique, classification) ont permis d'obtenir la carte d'occupation du sol 1981. Toutefois, tel que mentionné, les bandes 1 et 2 de l'image de 1981 présentent des anomalies (figure 2.1) qui peuvent engendrer des erreurs lors de la segmentation et la classification de l'image. Il convient donc d'être prudent dans l'interprétation des résultats d'occupation du sol pour cette année, en particulier pour la comparaison avec les autres années ou encore pour l'impact de ce

scénario d'occupation du sol sur le régime hydrique du bassin versant de la rivière Chaudière.

## **2.3. Intégration des cartes et mise à jour des données dans GIBSI**

### **2.3.1. Intégration des cartes dans le modèle GIBSI**

L'intégration des nouvelles cartes dans le modèle GIBSI se fait de façon simple et rapide. La première étape à réaliser consiste en la création de nouveaux répertoires dont chacun va contenir la base de données GIBSI et l'occupation du sol appropriée. Dans le présent projet, il s'agit de sept répertoires contenant les cartes 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.

En premier lieu, l'intégration des cartes dans le modèle GIBSI exige le passage par le logiciel Grassland sous le quel se fera l'actualisation de ces cartes. Ce dernier permet d'ouvrir des fichiers Ascii. Ce qui rend nécessaire un passage de format raster en Ascii. C'est sous le logiciel ArcGis9.0 que cette étape était faite. La figure 2.7, présente la fenêtre de conversion sous Arc Gis 9.0.

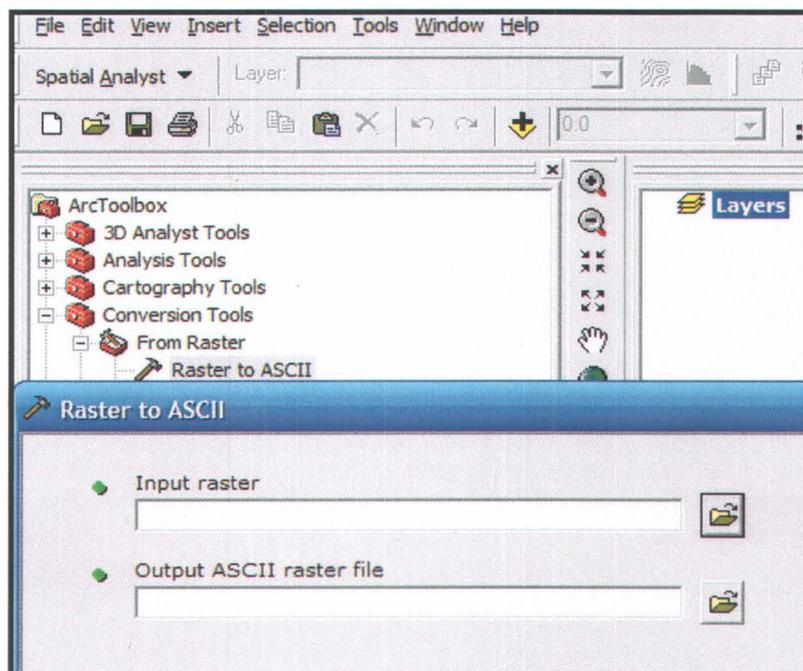


Figure 2.7. Conversion raster à ascii

**Remarque :** Avant de faire la conversion, les en-têtes des fichiers présentant les cartes ont été aussi changés pour permettre leur lecture avec le logiciel Grassland.

L'importation se fait à l'aide de la commande « r.in.asci » dans le menu « Spatial Analysis Toolbox » du logiciel Grassland qui permet, en effet, de transformer un fichier Ascii de format texte en une image raster binaire ce qui rend sa visualisation possible. Il est à noter que chaque carte a été importée séparément et enregistrée dans le dossier approprié.

La figure 2.8 illustre les étapes de l'importation.

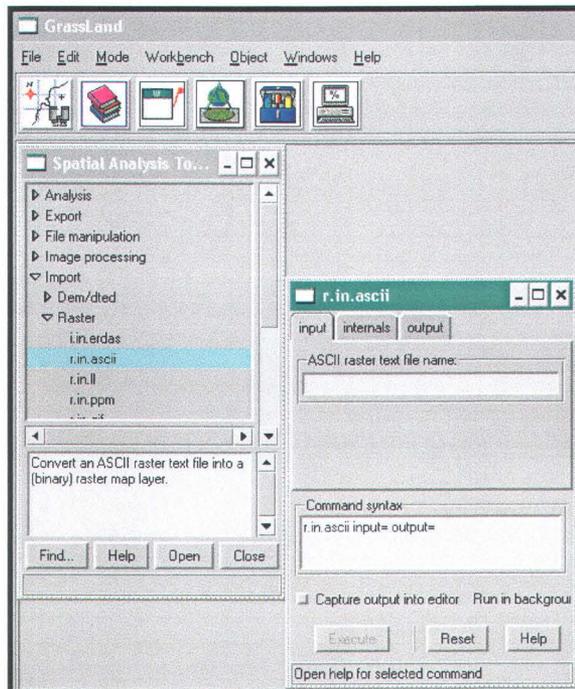


Figure 2.8. Importation des cartes dans Grassland

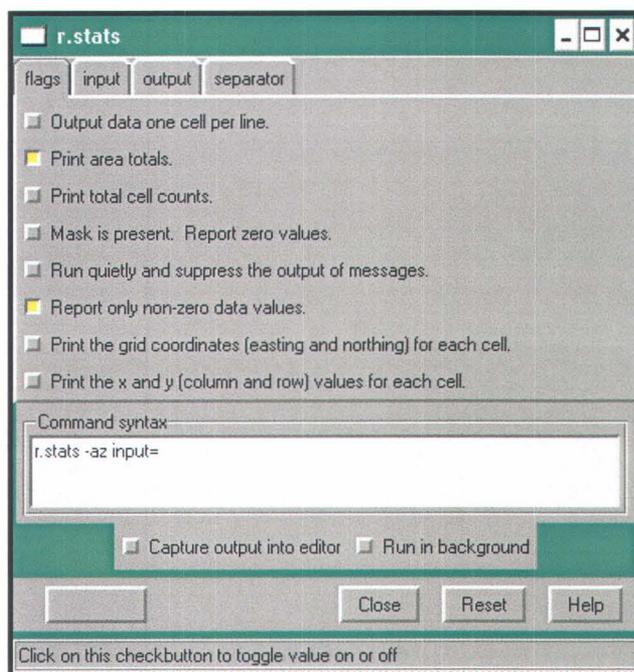
Chaque carte complète et corrigée d'occupation du sol a été introduite dans un nouveau répertoire qui doit contenir aussi un fichier statistique de la carte présente. Afin de générer ces fichiers statistiques, le sous menu « Report » de « Spatial Analysis Toolbox » dans Grassland présente une grande variété de commandes permettant l'exécution de tâches diverses. Dans notre cas, c'est la commande « r.stats » qui nous intéresse.

Cette commande permet en effet de générer des aires statistiques de la carte présente. Donc, elle calcule les surfaces de chacune des classes pour les différentes cartes d'occupation du sol. (Grassland User's Guide. Version 1.1)

Le menu « flags » de la fenêtre « r.stats » présente un ensemble d'options parmi les quelles on peut choisir celles qui nous intéressent (figure.2.9). Il est préférable d'utiliser les options suivantes :

- Print area totals (pour prendre en considération toute la surface occupée par la carte).

- Report only non\_zero data values (prendre en consideration seulement les éléments de la matrice présentant la carte).



**Figure 2.9.** Choix des options pour la création de fichier statistique

Les données d'entrée doivent contenir dans l'ordre les données suivantes:

- USS
- Municipalité
- Sous bassin
- Occupation du Sol

La figure 2.10, montre les composantes du fichier statistique de la carte 1981.

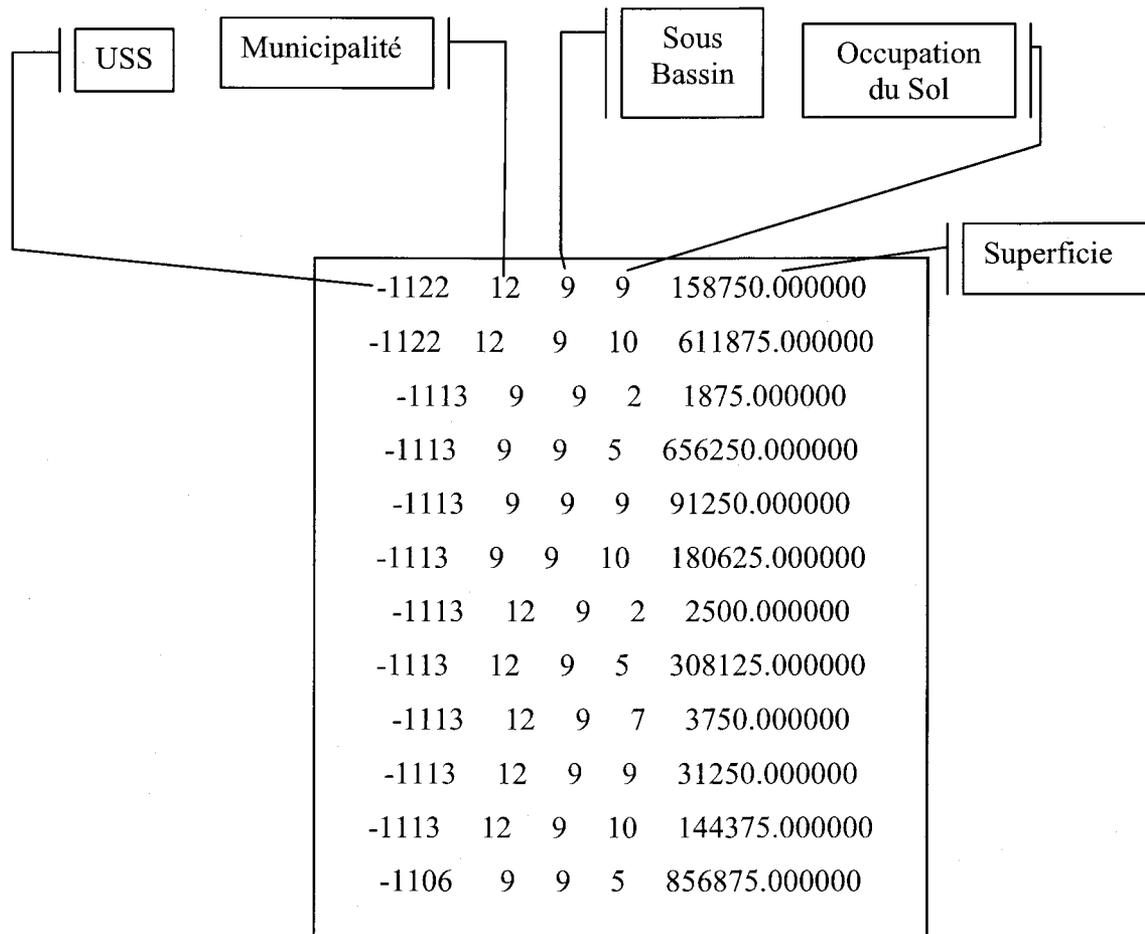


Figure 2.10. Différentes composantes d'un fichier statistique

### 2.3.2. Mise à jour des données dans GIBSI

GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé) est un système permettant aux gestionnaires de l'eau d'explorer divers modes de gestion de l'eau et du territoire à l'échelle du bassin versant (tant en termes de qualité que de volume et de masse). <http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/gibsi/francais/accueilgibsi.htm>.

Le logiciel GIBSI est présenté en détail à l'annexe B.

Afin d'étudier l'impact du changement de l'occupation du sol sur le régime d'écoulement durant la période 1976-2003, il a été nécessaire de mettre à jour les données dans la base de

données GIBSI. La mise à jour des données constitue la dernière étape de la première partie de ce travail. Les tables à mettre à jour sont au nombre de sept.

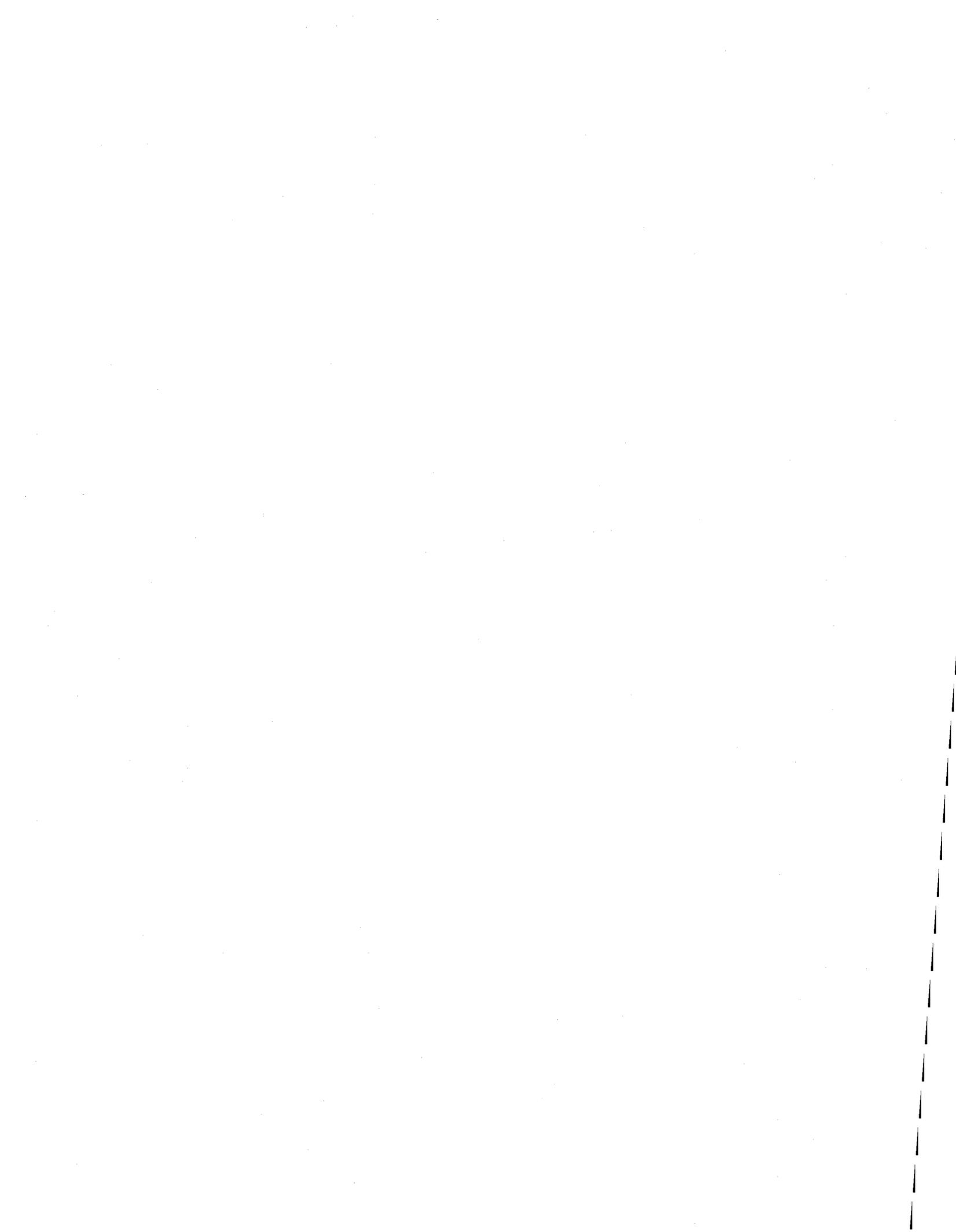
La mise à jour doit se faire dans l'ordre suivant :

- Table Occupation du sol
- Table ReferenceIdBDIdGrass
- Table Données Cheptel
- Table Données Engrais Couches
- Table Données Prod Veg Couches
- Table PhysicoChimiqueUssOccup
- Table Données BilansUss

Cette étape est faite à l'aide du fichier statistique et de l'utilitaire « GIBSI\_util\_2 ».

L'exécution d'une requête SQL «suppression» a été obligatoire pour l'élimination des redondances de données :

```
DELETE *  
FROM OccupationSol  
WHERE Id_Municip not in (SELECT Distinct ID_Municip FROM CouchesMunicipalites);
```



### **3. ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL ET SON IMPACT SUR LE RÉGIME D'ÉCOULEMENT DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE**

---

Plusieurs travaux de recherche ont montré que le changement climatique peut avoir des effets directs sur l'occupation du sol et la ressource en eau. Cependant, il est intéressant d'étudier l'impact de l'évolution de l'agriculture sur la ressource en eau. C'est notamment l'objet de ce projet qui vise, entre autre, à évaluer l'impact de différents scénarios d'évolution d'occupation des sols sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière.

#### **3.1. Évolution de l'occupation du territoire de 1976 à 2003**

L'analyse des résultats de l'évolution de l'occupation du sol consistera à comparer les proportions de territoire occupées par les différentes occupations du sol de 1976 à 2003. Ce qui permettra de déceler des tendances dans l'évolution du territoire du bassin versant de la rivière Chaudière.

##### **3.1.1. A l'échelle de tout le bassin versant de la rivière Chaudière**

Nous avons d'abord conçu un petit programme statistique pour déterminer les pourcentages d'occupation du sol au niveau de tout le bassin versant ainsi que tous les sous bassins. Les données d'entrée pour ce programme sont les différentes cartes d'occupation du sol, le nombre de lignes pour l'en-tête, la «No data value» (valeur correspondant au quadrillage de chaque carte) et le nombre de classes pour la distribution. La figure 3.1 présente la fenêtre principale de ce programme et la figure 3.2 présente le type de fichier généré par ce programme.

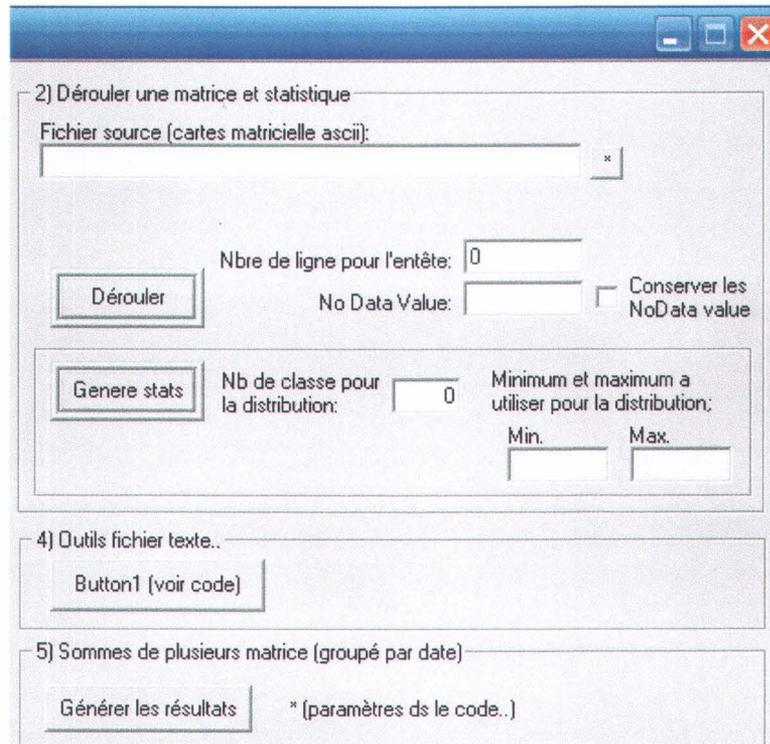


Figure 3.1. Fenêtre principale du programme matrice et statistiques.

Nombre total de valeurs; 11025153	[ 1.00 - 1.90[;	518701;	4.70%
Maximum; 10,00	[ 1.90 - 2.80[;	1152453;	10.45%
Mínimum; 1,00	[ 2.80 - 3.70[;	612211;	5.55%
Somme; 85336240,00	[ 3.70 - 4.60[;	81200;	0.74%
Moyenne; 7,74	[ 4.60 - 5.50[;	154387;	1.40%
Médiane; 9,00	[ 5.50 - 6.40[;	45623;	0.41%
Variance; 9,41	[ 6.40 - 7.30[;	118664;	1.08%
Écart type; 3,07	[ 7.30 - 8.20[;	396309;	3.59%
Distribution des valeurs	[ 8.20 - 9.10[;	4151643;	37.66%
Nombre de classes; 10	[ 9.10 - 10.00[;	3793962;	34.41%
Longueur des classes; 0,90			

Intervalle présenté par chaque classe

Surface occupée par chaque classe

Pourcentage d'occupation du sol présenté par chaque classe

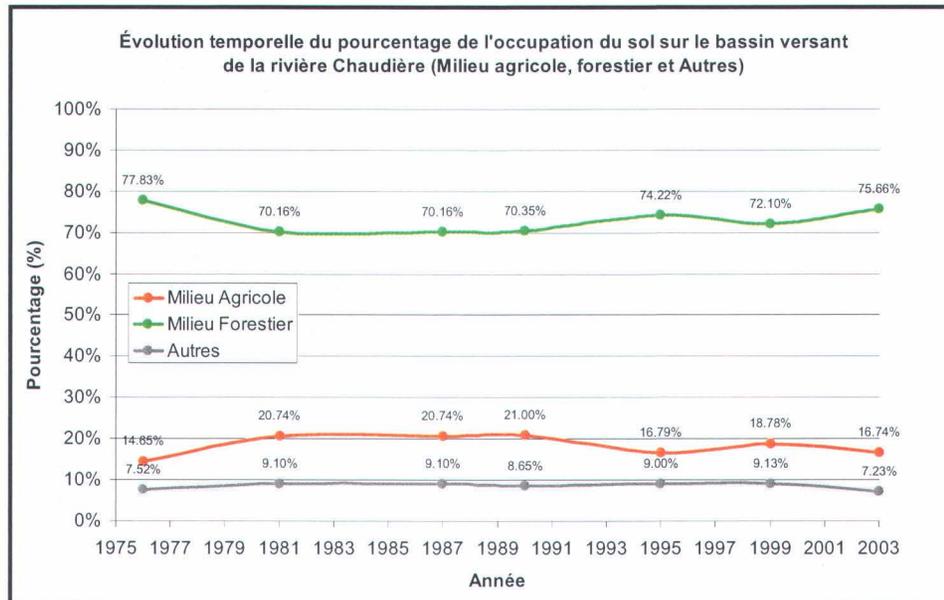
Figure 3.2. Fichier statistique généré à partir du programme matrice et statistique.

L'analyse a été orientée sur l'évolution de l'occupation du territoire par les différentes classes de 1976 à 2003. Le tableau 3.1 présente un résumé du pourcentage occupé par chaque classe pour la totalité du bassin versant de la **rivière Chaudière**.

**Tableau 3.1.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le bassin versant de la rivière Chaudière.

% classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	3,99	4,54	4,54	4,45	4,25	4,69	4,70
Pâturage et foin	6,67	10,94	10,94	10,39	9,98	11,69	10,45
Céréales	7,91	8,76	8,76	9,32	6,18	6,47	5,55
Maïs	0,07	1,04	1,04	1,29	0,63	0,62	0,74
Eau	1,20	1,17	1,17	1,20	1,31	1,37	1,04
Milieu Humide	1,72	1,66	1,66	2,33	2,14	2,04	0,41
Sol nu	0,61	1,73	1,73	0,67	1,30	1,03	1,08
Friche	3,79	5,11	5,11	4,36	5,31	3,79	3,59
Feuillus	39,00	34,18	34,18	33,23	36,27	35,47	37,66
Conifères	35,04	30,87	30,87	32,76	32,64	32,84	34,41

L'évolution temporelle peut également être présentée sous forme graphique permettant le regroupement de certaines classes en champs thématiques. Ce regroupement facilite ainsi l'analyse de l'évolution globale de l'occupation du sol. Par conséquent, les classes Pâturage et foin, Céréales et Maïs peuvent être regroupées sous le champ «Milieu agricole» alors que les classes Feuillus, Conifères et Friche peuvent être regroupés sous le champ «Milieu forestier». Les autres classes ont été regroupées sous le champ «Autres». La figure 3.3 représente l'évolution temporelle du pourcentage d'occupation du territoire pour chacun des champs thématiques.



**Figure 3.3.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du territoire pour chacun des champs thématiques.

La figure 3.3 démontre que le milieu forestier occupe près des trois quarts du territoire du bassin versant de la **rivière Chaudière**. Le milieu agricole occupe un espace moindre qui semble en légère augmentation. Les terres utilisées pour l'agriculture et l'élevage ont graduellement empiété sur le milieu forestier jusqu'à l'année 1990 à partir de laquelle on remarque une diminution de ces terres agricoles pour céder la place au milieu forestier. Pour sa part, l'agriculture occupe près de 20% du territoire du bassin versant de la rivière Chaudière, proportion qui tend à diminuer légèrement ces 10 dernières années en raison de la diminution des superficies cultivées en céréales dont le pourcentage de territoire occupé au niveau de tout le bassin versant de la **rivière Chaudière** passe de 9.98% en 1995 à 5.55% en 2003. Le troisième champ ne présente pas de fluctuations remarquables et son évolution reste relativement constante au cours du temps. Finalement, l'observation de la figure 3.3 montre que le milieu agricole évolue en opposition au milieu forestier.

### 3.1.2. Au niveau des sous bassins versants

Dans ce qui suit, on va se baser sur l'analyse de l'évolution de l'occupation du sol au niveau des sous bassins versants à caractère agricole. Tel que mentionné dans la première partie du rapport, on sait que le bassin versant de la **rivière Chaudière** est représenté par 70% de forêt, tandis que le milieu agricole n'occupe que 20% de tout le territoire d'étude.

Le logiciel GIBSI, grâce à son module de statistique intégré, a permis de déterminer deux sous bassins versants à dominance agricole. Ces sous bassins versants sont Beurivage et Saint-Victor (voir figure 1.2). Les figures 3.4 et 3.5 présentent l'évolution de l'occupation du sol au niveau de ces deux sous bassins.

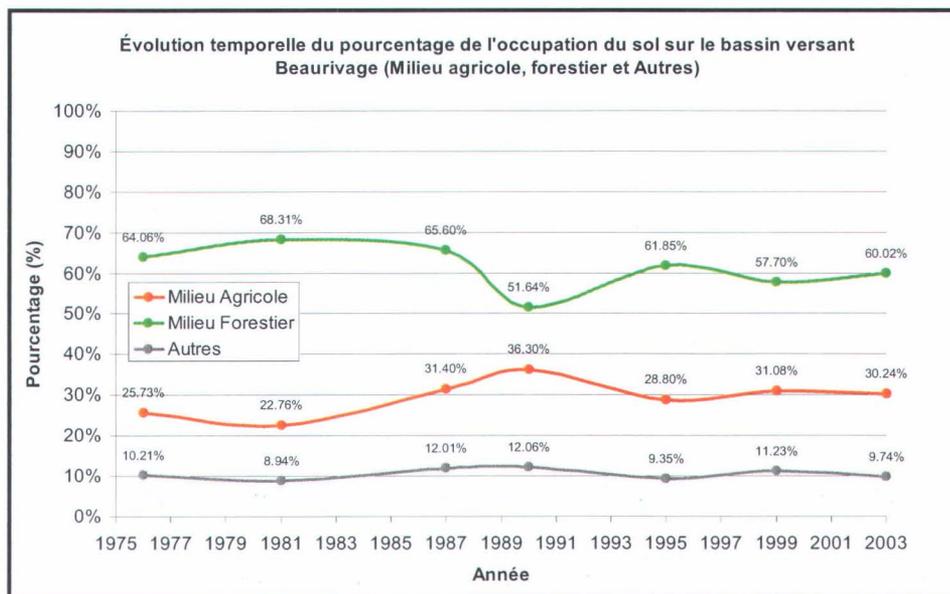
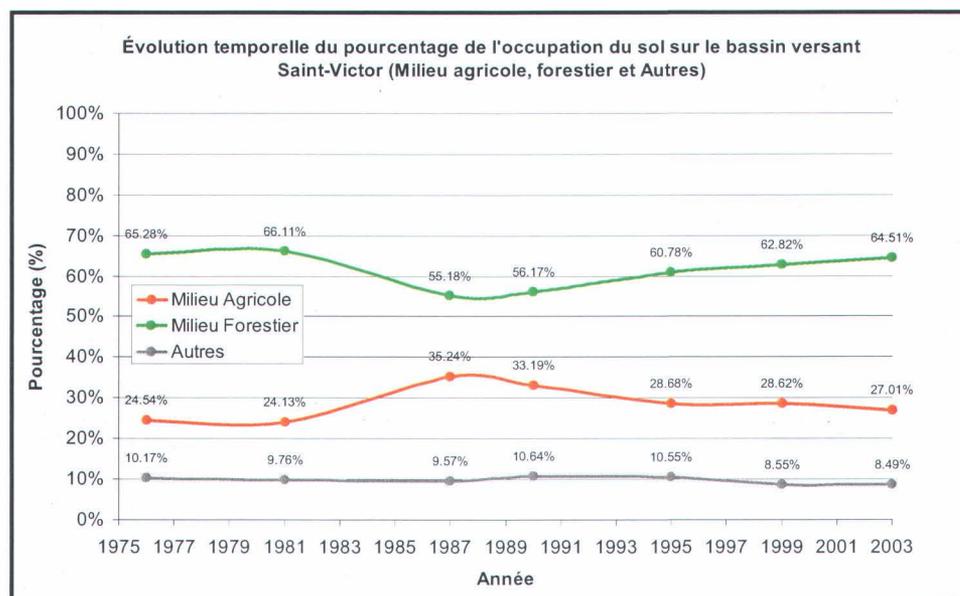


Figure 3.4. Évolution de l'occupation du sol au niveau du sous bassin versant Beurivage.



**Figure 3.5.** Évolution de l'occupation du sol au niveau du sous bassin versant Saint-Victor.

En tenant compte de l'évolution de l'occupation des principales classes d'occupation du sol, on constate que l'évolution des champs présentés dans les deux figures ci-dessus est semblable pour les deux sous bassins. Les courbes présentant les deux champs «Milieu agricole» et «Milieu forestier» évoluent en opposition de phases. La déforestation ou la baisse du milieu forestier s'accorde avec l'augmentation du milieu agricole alors que la régénérescence ou l'augmentation du milieu forestier coïncide avec la diminution du milieu agricole. L'annexe C présente l'évolution temporelle du pourcentage de l'occupation du sol pour les milieux agricoles et forestiers pour le reste des sous bassins versants du secteur d'étude.

Le champ «Autres», évolue linéairement et son évolution dans le temps est pratiquement constante. Les fluctuations les plus importantes représentées par les différents champs montrent l'existence d'une année de transition à partir de laquelle on commence à avoir des grands changements au niveau de l'occupation du sol. Il s'agit, en effet, de l'année 1987 dans le cas du sous bassin Saint-Victor et 1990 dans le cas du sous bassin versant Beaurivage.

### 3.1.3. Matrice de transition

L'analyse de résultats peut être approfondie par l'étude de la distribution spatiale de l'occupation du sol au cours du temps qui peut être menée à l'aide de matrice de transition entre les occupations du sol consécutives. Ces matrices présentent l'évolution de la distribution des classes thématiques entre les différentes dates d'occupation du sol. Dans le cas présent, une fenêtre défilante de 1km x 1km a été utilisée pour le calcul de l'évolution des différentes classes. Les cartes d'occupation du sol corrigées et classifiées sont donc subdivisées en plusieurs images d'une superficie de 100ha. Par la suite, il est possible de déterminer l'évolution de l'occupation du territoire sous chacune des images créées. Cette évolution se traduit par la confirmation dans le temps de l'occupation du sol pour une classe donnée ou l'affectation de nouvelles classes thématiques à l'utilisation du territoire. Cette analyse permet une première évaluation de la qualité des classifications basée sur la récurrence de l'utilisation du territoire. En effet, certains changements d'occupation du territoire ne peuvent être logiquement envisagés et suggèrent plutôt une confusion entre deux classes. Le tableau 3.2 expose le pourcentage de redistribution de l'occupation du sol entre l'année 1987 et 1990 (année de transition à partir de laquelle on obtient des grandes variations de l'occupation du sol). Le reste des matrices de transitions entre les différentes dates seront présentées dans l'annexe D.

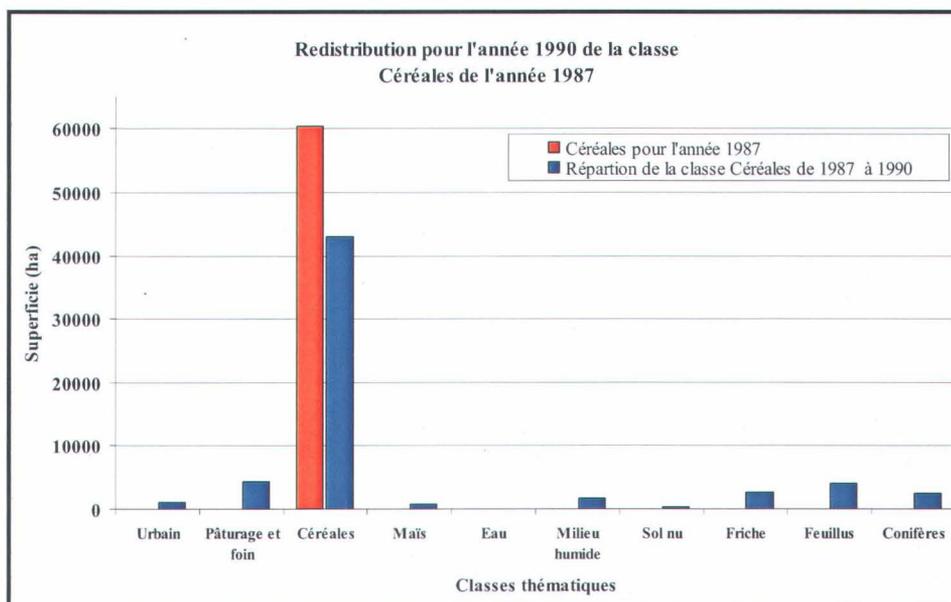
En l'absence de vérité terrain, il demeure difficile d'attribuer un changement d'occupation du territoire à une simple évolution des différentes classes. À cette évolution s'intègre alors la notion de confusion entre les classes. Cette confusion découle des similitudes entre les signatures spectrales des différentes classes. En effet, le degré d'activité chlorophyllienne, l'apparence du sol sous-jacent, les conditions d'humidité de surfaces et la densité de la classe sont tous des facteurs pouvant occasionner un chevauchement entre les signatures spectrales des différentes classes et par conséquent réduire leur séparabilité (Savary et al., 2006).

**Tableau 3.2.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1987 à 1990 dans le bassin versant de la Chaudière.

		1990										
Classes		Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Total
1987	Urbain	20814,88	1637,43	2097,41	499,34	33,62	1354,08	220,39	1094,23	1912,09	1599,68	31263,13
	Pâturage et foin	1395,75	52260,56	7083,85	1193,42	43,90	2187,01	298,90	3537,77	4722,02	2669,06	75392,24
	Céréales	1135,57	4323,79	42994,50	834,01	37,35	1655,66	234,08	2569,28	4050,42	2496,34	60331,00
	Maïs	300,88	817,17	929,44	2849,88	5,25	506,38	59,33	458,57	796,83	460,90	7184,63
	Eau	15,59	29,69	39,45	15,62	7811,00	33,13	3,46	11,56	28,67	40,90	8029,06
	Milieu humide	762,48	974,25	761,10	327,23	15,95	5243,38	117,54	371,60	1254,29	1637,07	11464,87
	Sol nu	854,57	1497,91	1488,01	446,77	69,66	852,09	2035,25	1042,55	2054,74	1582,95	11924,50
	Friche	1098,30	2886,36	2432,74	680,77	83,22	969,19	204,80	16601,13	6577,30	3676,90	35210,70
	Feuillus	2379,28	4152,86	3414,86	1170,23	84,19	1434,69	882,57	2381,44	200064,90	19591,63	235556,65
	Conifères	1896,02	2999,79	2999,52	839,75	108,43	1845,09	562,13	1987,56	7500,41	191976,60	212715,29
	Total	30653,32	71579,81	64240,87	8857,00	8292,56	16080,69	4618,44	30055,69	228961,66	225732,03	689072,07

L'analyse du tableau 3.2 montre que ce sont les classes du milieu agricole qui ont subi, de loin, le plus fort changement; puisque 20.73% de la couverture agricole en 1987 a changé de catégorie d'utilisation du sol en 1990.

Il est d'ailleurs intéressant de noter que, selon cette approche, c'est la classe «Céréales» qui démontre le plus grand changement. En effet, 42994.5ha de la classe «Céréales» n'ont pas évolué entre 1987 et 1990. Cependant, 1135.57ha ont été transformés en urbain, 4323.79ha ont été transformés en pâturage et foin, 834.01ha en maïs et 37.35ha ont été immergés par l'eau. 1655.66ha de céréales ont été remplacés par des milieux humides, 234.08ha sont devenus des sols nus et 9116.04ha ont été remplacés par des forêts. La figure 3.6 illustre les changements observés pour la classe « Céréales » entre 1987 et 1990.



**Figure 3.6.** Redistribution de la classe Céréales entre 1987 et 1990

Les milieux forestiers ont subi aussi des changements, puisque 6.85% de la couverture forestière ont changé de catégorie d'utilisation du sol en 1990. Les autres classes ont aussi évoluées entre ces deux années. Cependant les changements sont inférieurs à ceux présentés par les milieux agricoles.

Pour faciliter la compréhension du tableau 3.2, il est pertinent de procéder au regroupement des différentes classes dans un autre tableau (tableau 3.3) récapitulatif présentant les pourcentages d'évolution de l'occupation du sol entre les années 1987 et 1990.

**Tableau 3.3.** Évolution de l'occupation du sol entre 1987 et 1990 sur le bassin versant de la rivière Chaudière.

		1990		
		Récurrence et Confusion		
Classes		Milieu Agricole	Milieu Forestier et arbustif	Autres
1987	Milieu Agricole	79,27%	15,23%	5,50%
	Milieu forestier et arbustif	4,46%	93,15%	2,39%
	Autres	15,66%	20,15%	64,19%

L'analyse du tableau 3.3, montre que sur une période de 3 ans, soit entre 1987 et 1990, 79.27% du milieu agricole n'ont pas changé de catégorie d'occupation du sol. Cependant, 15.23% des milieux agricoles en 1987 sont devenues des milieux forestiers et arbustifs en 1990 et 5.5% de ces terres agricoles ont migrées vers d'autres classes.

D'autre part, les milieux forestiers et arbustifs ont subi une légère évolution entre ces deux années puisque 93.15% du territoire occupé par les forêts ou friches n'ont pas changé. Parallèlement, 4.46% du territoire occupé par les milieux forestiers et arbustifs ont été remplacés par des milieux agricoles et 2.39% ont été substitués par les autres classes. L'ensemble des tableaux présentant l'évolution de l'occupation du sol entre les dates est présenté à l'annexe E.

Enfin, l'analyse des résultats de l'évolution de l'occupation du sol montre que les données obtenues sont cohérentes et que la méthode qui a été utilisée pour la classification des cartes d'occupation du sol est très satisfaisante en regard de la classification de la totalité des pixels des cartes thématiques. Cependant, l'absence de vérité de terrain engendre une grande incertitude au sein même de l'évolution de certaines classes.

## **3.2. Impact de l'évolution de l'occupation du sol sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière**

### **3.2.1. Effet sur les lames d'eau annuelles et mensuelles**

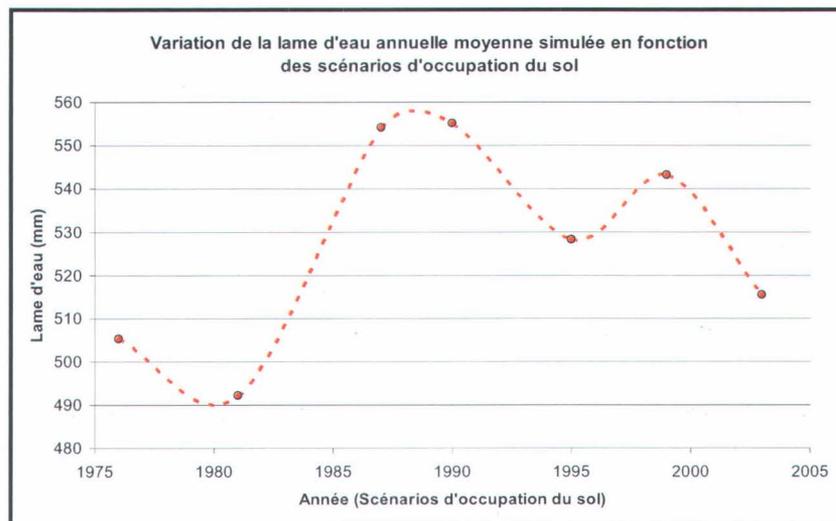
L'étude de l'impact du changement de l'occupation du sol nécessite l'élaboration de sept scénarios. Ce nombre de scénarios coïncide avec le nombre de cartes d'occupation du sol dont on dispose. Afin d'avoir une base de comparaison, le travail a porté sur la simulation du régime hydrologique du bassin versant à partir des chroniques météorologiques de la période de 1970-1999, donc 30 ans de simulations. Les simulations sur 30 ans ont été faites

par le modèle hydrologique de GIBSI : HYDROTEL<sup>1</sup>. Une présentation de ce modèle est réalisée à l'annexe G.

En effet, le bassin versant de la rivière Chaudière présente 41 stations météorologiques présentant les données de températures journalières minimales et maximales ainsi que les précipitations totales journalières. Ces données journalières étaient disponibles dans la base de données GIBSI, dans un fichier Access. Il est à noter que les données manquantes sont notées par la valeur -9999. Chaque station météorologique présente une date de début et une date de fin des données journalières. Ces données sont intégrées à HYDROTEL permettant, ainsi, de simuler le régime d'écoulement du bassin versant étudié.

### Lame d'eau annuelle à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière

La figure 3.7, montre la variation de la lame d'eau annuelle moyenne à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière.



**Figure 3.7.** Variation de la lame d'eau annuelle moyenne simulée par HYDROTEL à l'exutoire du bassin versant la Chaudière en fonction des scénarios d'occupation du sol.

<sup>1</sup> Modèle hydrologique responsables de l'aspect quantité d'eau du système GIBSI.

On remarque que la lame d'eau est plus importante pour les scénarios d'occupation du sol des années 1987 et 1990 et en particulier celle de 1990 avec un maximum d'environ 555mm. Ces résultats traduisent l'intensité et la grande variabilité des écoulements annuels qui sont caractéristiques de la région du Québec. Afin de quantifier les écarts l'occupation du sol de l'année 1995 est utilisée comme scénario de référence.

Les lames d'eau cumulées annuelles et saisonnières de chaque année de simulation sont considérées comme des réalisations indépendantes. Par ailleurs, le nombre de 30 réalisations est considéré comme représentatif des lames d'eau simulées ou observées. Un rang est attribué à chacune des réalisations d'une série puis on y a appliqué la formule de Weibull (Weibull, 1939 dans Haan, 1977) pour pouvoir déterminer la probabilité de non dépassement (pnd) :

$$pnd = 1 - (m / (n + 1))$$

Où

m = rang de la réalisation

n = nombre totale de réalisation

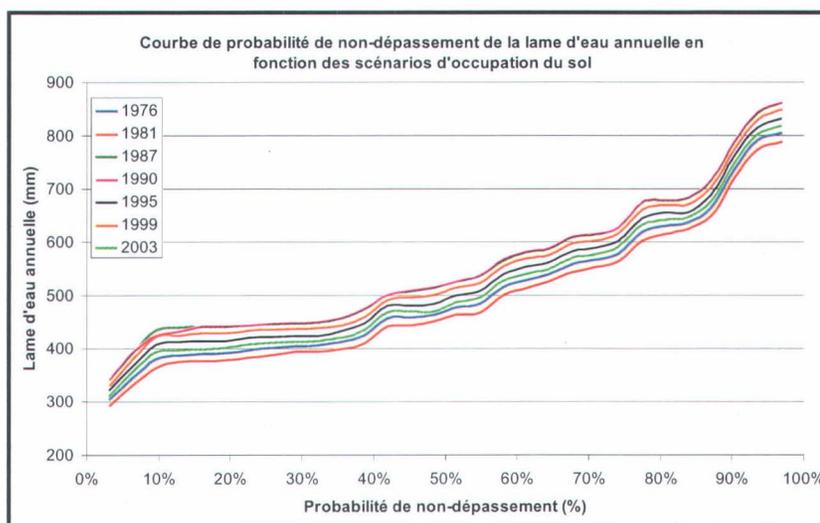
Afin de ne pas prétendre que la valeur la plus élevée de la série, on a ajouté 1 au nombre total de réalisations. La courbe construite à partir de ces données (figure 3.8) est alors : en abscisse la probabilité de non dépassement et en ordonnée la lame d'eau correspondante. Il est à noter que l'annexe H présente toutes les courbes de probabilité de non dépassement pour chaque sous bassin.

**Tableau 3.4.** Quantiles des lames d'eau annuelles (en mm) simulées à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction de l'occupation du sol.

	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile 1	402,74	390,48	446,55	447,85	423,18	436,28	412,15
médiane	470,50	459,02	520,28	521,37	492,19	508,88	478,75
quartile 3	575,06	561,92	624,29	625,82	598,35	613,86	586,44

**Tableau 3.5.** Écart relatif des quantiles des lames d'eau annuelles simulées par rapport à l'occupation du sol 1995.

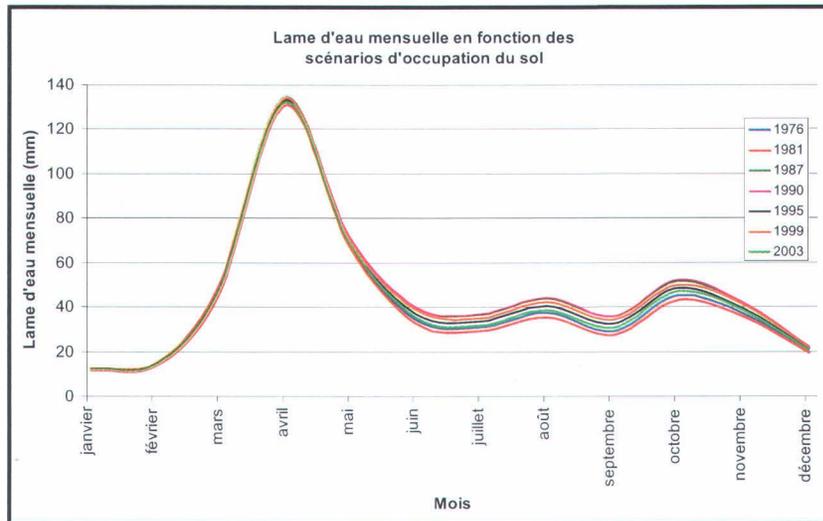
écart relatif	1976	1981	1987	1990	1999	2003
quartile 1	-4,83%	-7,73%	5,52%	5,83%	3,10%	-2,61%
médiane	-4,41%	-6,74%	5,71%	5,93%	3,39%	-2,73%
quartile 3	-3,89%	-6,09%	4,33%	4,59%	2,59%	-1,99%

**Figure 3.8.** Courbe de probabilité de non dépassement de la lame d'eau annuelle à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.

Les lames d'eau simulées pour les différentes occupations du sol sont bien corrélées entre elles. Les lames d'eau annuelles calculées à partir des différents scénarios d'occupation du sol ne présentent pas des variations importantes : les écarts relatifs présentés dans le tableau 3.5 varient entre -7.73% et 5.93%. On remarque aussi, d'après la figure 3.8, que l'effet des occupations du sol est homogène sur les faibles et fortes lames d'eau (années sèches et années humides).

### Lames d'eau mensuelles

La variation mensuelle de la lame d'eau au niveau du bassin versant de la rivière Chaudière est présentée par la figure 3.9 ci-dessous.

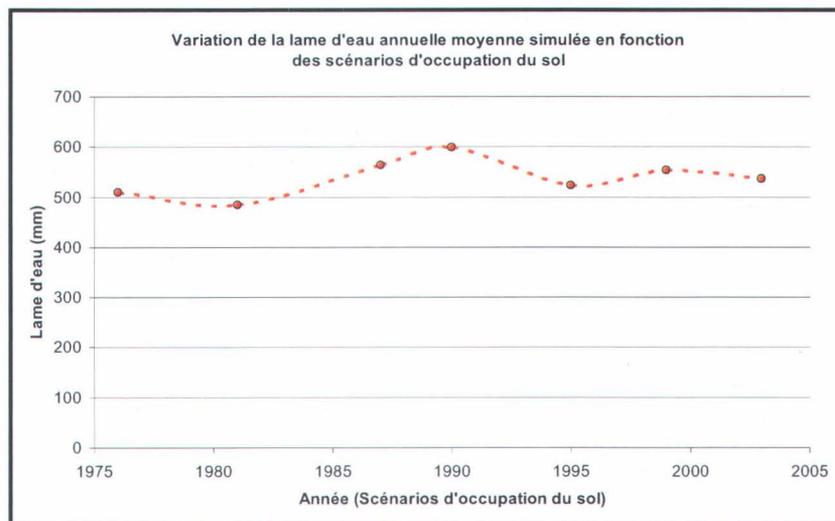


**Figure 3.9.** Lame d'eau mensuelle (moyenne sur les 30 ans de simulation) en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière.

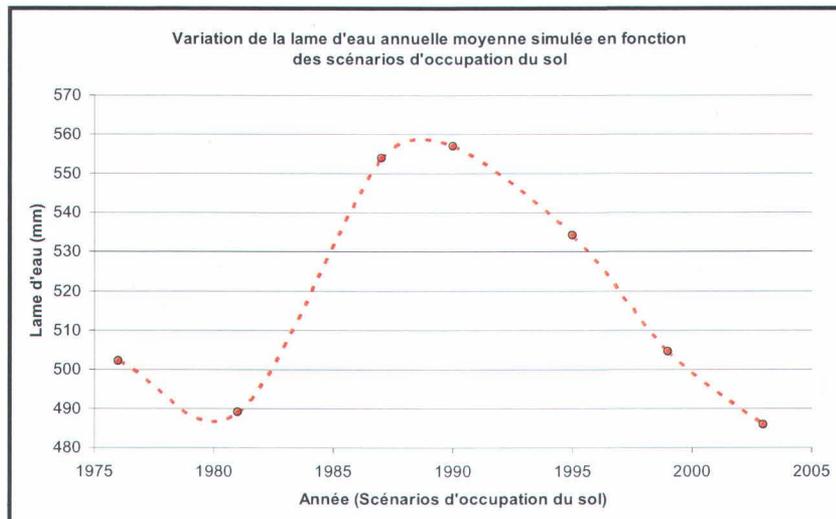
L'analyse de cette figure montre, d'une part, que la lame d'eau atteint son maximum au printemps et en particulier au mois d'avril avec une quantité qui dépasse 130 mm. Ces quantités d'eau sont dues en partie au processus de fonte du couvert nival. D'autre part, on remarque que c'est à partir du mois de mai qu'on commence à observer l'effet de l'occupation du sol sur la lame d'eau qui tend à diminuer pour se stabiliser plus ou moins à partir du mois de juin. Ceci peut être, entre autre, attribué à la rotation des cultures qui intègre la transformation périodique d'une classe de culture en une autre, ou à l'augmentation de la végétation qui diminue le ruissellement au niveau du bassin versant et favorise l'infiltration et l'évapotranspiration.

### Cas des sous bassins versants agricoles

Pour mieux comprendre cette évolution de la lame d'eau au niveau de notre territoire d'étude, on a procédé à l'analyse des résultats au niveau des sous bassins versants agricoles. Le choix de ces sous bassins versants s'est basé sur l'occupation agricole du territoire, ainsi les deux sous bassins sont : Beurivage et St-Victor/Tring. Les figures 3.10 et 3.11 montrent la variation annuelle de la lame d'eau au niveau de ces sous bassins.



**Figure 3.10.** Variation de la lame d'eau annuelle moyenne simulée par HYDROTEL au niveau du sous bassin Beurivage en fonction de l'occupation du sol utilisée.



**Figure 3.11.** Évolution de la lame d'eau annuelle moyenne simulée par HYDROTEL au niveau du sous bassin St-Victor/ Tring en fonction de l'occupation du sol utilisée.

L'analyse de ces deux graphiques montre que les fluctuations présentées par les lames d'eau sont plus importantes au niveau du sous bassin Beaurivage qui présente un pourcentage d'occupation du sol en milieu agricole plus élevé. L'annexe I présente les courbes d'évolution de la lame d'eau au niveau du reste des sous bassins. Les deux figures présentent une lame d'eau plus élevée pour les occupations du sol des années 1987 et 1990. Cependant, c'est avec l'occupation de 1981 qu'on note la présence de la lame d'eau la plus faible. Cette diminution de la lame d'eau caractérise, d'une part, la totalité du bassin versant, mais aussi les sous bassins versants agricoles.

Au niveau du sous bassin Beaurivage, ainsi que pour la totalité du bassin versant, l'occupation de l'année 1995 produit une diminution très remarquable de la lame d'eau. Cette diminution ne se présente pas au niveau des sous bassins Saint-Victor et Tring qui, à partir de l'occupation de l'année 1990 présentent une diminution plus ou moins stable de la lame d'eau. Ceci s'explique par le fait que ces deux sous bassins présentent une évolution d'occupation du sol différente de celle qu'a subie le sous bassin Beaurivage dans la période 1990-2003.

### 3.2.2. Effet sur les débits d'étiage

HYFRAN est un logiciel d'ajustement de lois statistiques comprenant un ensemble d'outils mathématiques puissants, conviviaux et flexibles permettant en particulier l'analyse statistique d'événements extrêmes et de manière plus générale l'analyse statistique de séries de données. Une présentation détaillée du logiciel HYFRAN est présentée à l'annexe J.

Pour pouvoir importer les données dans le logiciel HYFRAN en incluant ou non des dates, nous devons respecter le modèle suivant :

- 1<sup>o</sup> ligne : entrez un TITRE (sur une seule ligne, puis retour chariot)
- 2<sup>o</sup> ligne : inscrire les mots "Format Libre" puis retour chariot (sans guillemets mais avec un espace entre Format et Libre)
- Lignes suivantes: consacrées aux données (1 donnée par ligne).
- Respecter le format suivant : donnée (pas plus de 19 digits en comptant le point décimal) + 1 espace + date ou identifiant numérique (facultatif pour la date ou l'identifiant numérique) puis retour chariot pour la prochaine donnée. Date format yyyyymmjj (année, mois puis jour). Il est à noter que le fichier présentant les données doit être enregistré en format texte.

Dans la théorie statistique, le maximum ou le minimum d'une série de données indépendantes et équidistribuées suit une loi de probabilité : la loi des valeurs extrêmes généralisée (GEV), la loi de Gumel ou la loi de Wei bull. Donc l'utilisation du logiciel HYFRAN pour estimer la période de retour d'une crue ou d'un étiage nécessite d'abord de déterminer pour chaque année la séquence de débit de crue et la séquence d'étiage correspondant à des périodes de retours différentes (Trinh, 2005).

Les analyses avec le logiciel HYFRAN visent à calculer les débits d'étiage caractéristiques ( $Q_{2-7}$ ,  $Q_{10-7}$  et  $Q_{5-30}$ ) annuel et estival (20 juin au 21 septembre) à l'échelle de l'exutoire de la Chaudière et aussi pour chaque sous bassin versant.

Pour chaque station hydrométrique, deux séries de données sont produites, soit une série de débits calculés sur une plage de sept jours consécutifs et une autre calculée sur une plage de 30 jours consécutifs. Les minimums sont par la suite extraits pour chacune des séries pour les périodes annuelle et estivale (20 juin au 21 septembre). Les distributions statistiques sont ajustées en se basant sur ces séries de minimums. La lame d'eau d'étiage correspondant au  $Q_{2-7}$  (débit cumulé de 7 jours consécutifs de période de retour 2 ans),  $Q_{10-7}$  et  $Q_{5-30}$ . Le  $Q_{2-7}$  et le  $Q_{10-7}$  étant les variables usités en Amérique du Nord et le  $Q_{5-30}$  étant utilisé en Europe dans le cadre de la réglementation liée aux rejets des eaux usées. Les  $Q_{2-7}$ ,  $Q_{10-7}$  et  $Q_{5-30}$  d'étiages ont été observés à l'échelle annuelle (janvier à décembre) faisant principalement ressortir les étiages hivernaux, et à l'échelle estivale (21 juin au 20 septembre).

### 3.2.2.1. Approche annuelle

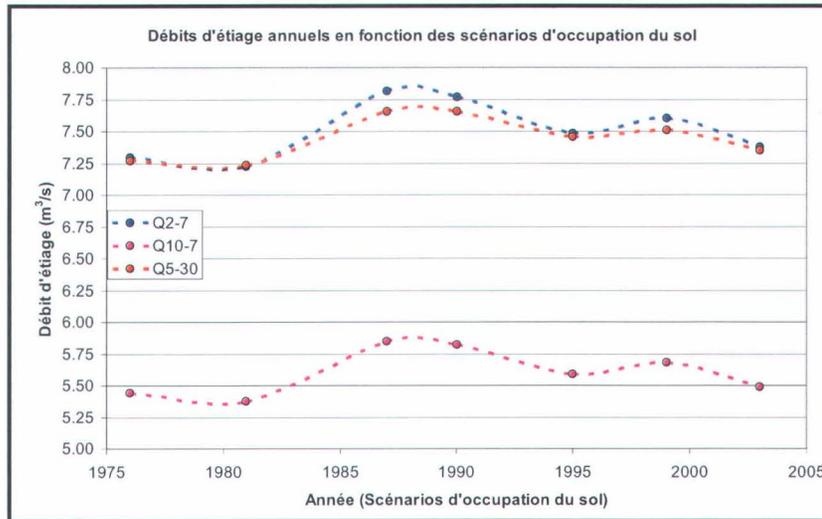
L'analyse des  $Q_7$  et  $Q_{30}$  minimums sous le logiciel HYFRAN nous permet de déterminer pour chacune des simulations sous HYDROTEL le  $Q_{2-7}$ , le  $Q_{10-7}$  et le  $Q_{5-30}$  annuel pour le tronçon n°1 correspondant à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière. L'évolution annuelle des débits d'étiages  $Q_{2-7}$ ,  $Q_{10-7}$  et  $Q_{5-30}$  est présentée par le tableau 3.6.

**Tableau 3.6.** Évolution annuelle des débits d'étiage  $Q_{2-7}$ ,  $Q_{10-7}$  et  $Q_{5-30}$  (en  $m^3/s$ ) à l'exutoire de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.

Année	$Q_{2-7}$	$Q_{10-7}$	$Q_{5-30}$
1976	7,29	5,43	7,26
1981	7,21	5,37	7,23
1987	7,81	5,84	7,65
1990	7,76	5,82	7,65
1995	7,47	5,58	7,45
1999	7,59	5,67	7,50
2003	7,37	5,48	7,34

Il est à noter que les  $Q_7$  sont majoritairement au mois de mars et les  $Q_{30}$  au mois de février.

L'évolution annuelle peut, aussi, être présentée par un graphique permettant la visualisation des changements des débits d'étiages. La figure 3.12, représente l'évolution annuelle de ces débits d'étiages.



**Figure 3.12.** Évolution annuelle des débits d'étiage  $Q_{2-7}$ ,  $Q_{10-7}$  et  $Q_{5-30}$  à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003

L'observation de la figure 3.12 permet de constater que, d'une part, les débits les plus élevés se présentent entre les deux années 1987 et 1990. D'autre part, les trois types de débits présentent les mêmes fluctuations avec des débits  $Q_{10-7}$  moins importants. Le regroupement de la variation du débit d'étiage, dans un même graphique, avec l'évolution de l'occupation du sol permet de détecter l'impact de cette dernière sur le régime d'écoulement. Les figures 3.13, 3.14 et 3.15 représentent l'évolution des différents débits d'étiage en fonction de l'occupation du sol.

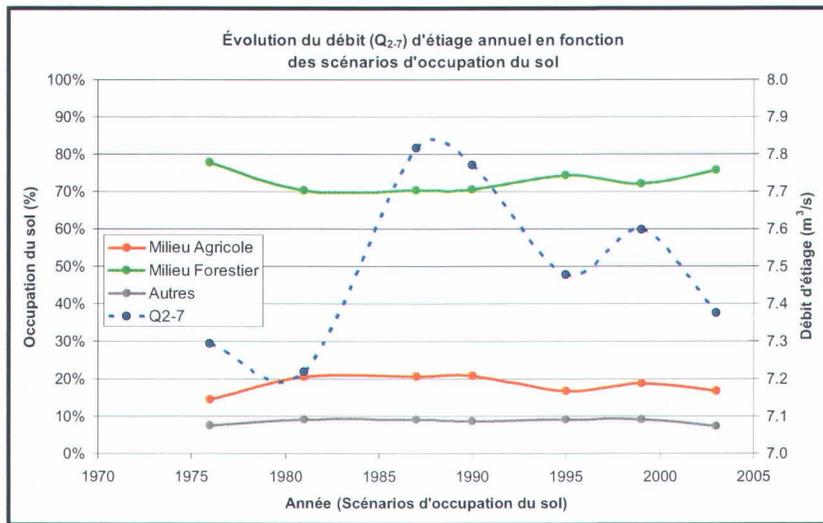


Figure 3.13. Évolution annuelle du débit d'été Q<sub>2-7</sub> en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003

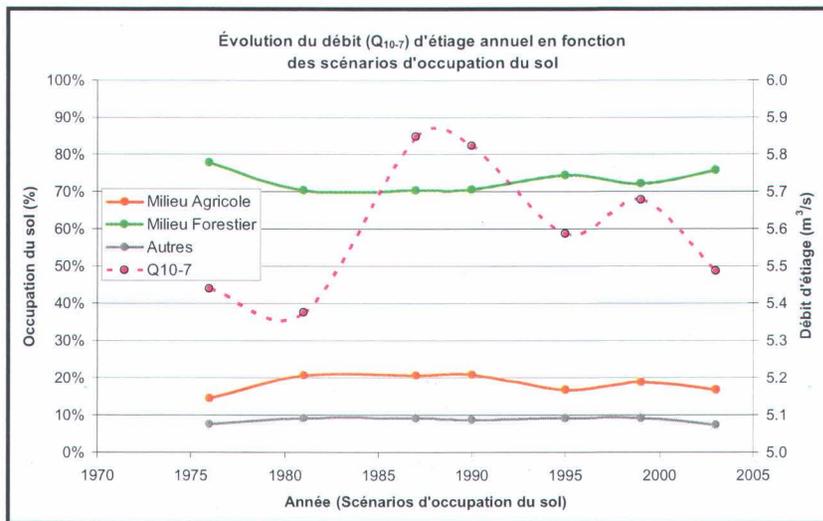
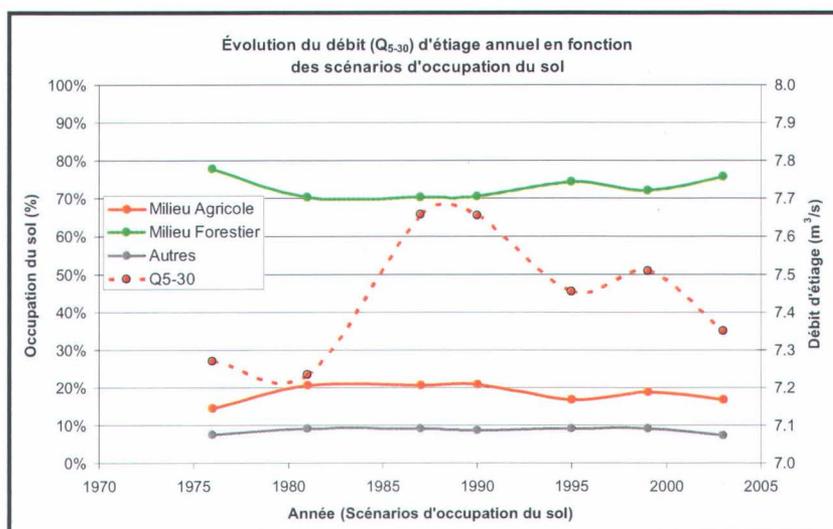


Figure 3.14. Évolution annuelle du débit d'été Q<sub>10-7</sub> en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003



**Figure 3.15.** Évolution annuelle du débit d'été  $Q_{5-30}$  en fonction de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.

La courbe représentative du débit d'été est très variable dans le temps et présente beaucoup de fluctuations. On remarque que, entre 1976 et 1987, le débit d'été n'est influencé par aucun champ thématique. Cependant, à partir de 1987 l'évolution de ces débits d'été semble être bien corrélée avec l'évolution du milieu agricole et inversement corrélée avec l'évolution du milieu forestier. En effet, cela est dû à l'année 1981 qui semble représenter une anomalie dans cette relation entre le débit d'été et l'occupation agricole. Tel que mentionné précédemment, les bande 1 et 2 de l'image de 1981 présentent des anomalies qui peuvent engendrer des erreurs lors de la segmentation et la classification de l'image. Ces problèmes de classification peuvent être responsables des erreurs de relations entre l'occupation du sol et les débits d'été en comparaison avec les scénarios des années 1987 et 1990.

Les tableaux 3.7, 3.8 et 3.9 représentent les coefficients de corrélation et les coefficients de détermination entre les débits d'été  $Q_{2-7}$ ,  $Q_{10-7}$ ,  $Q_{5-30}$  et l'occupation du sol. Également, la figure 3.16 permet d'illustrer un exemple de relation entre l'évolution de l'occupation du sol et le débit ( $Q_{2-7}$ ) d'été annuel. Le coefficient de corrélation et le coefficient de détermination permettent de déterminer la relation entre deux propriétés différentes.

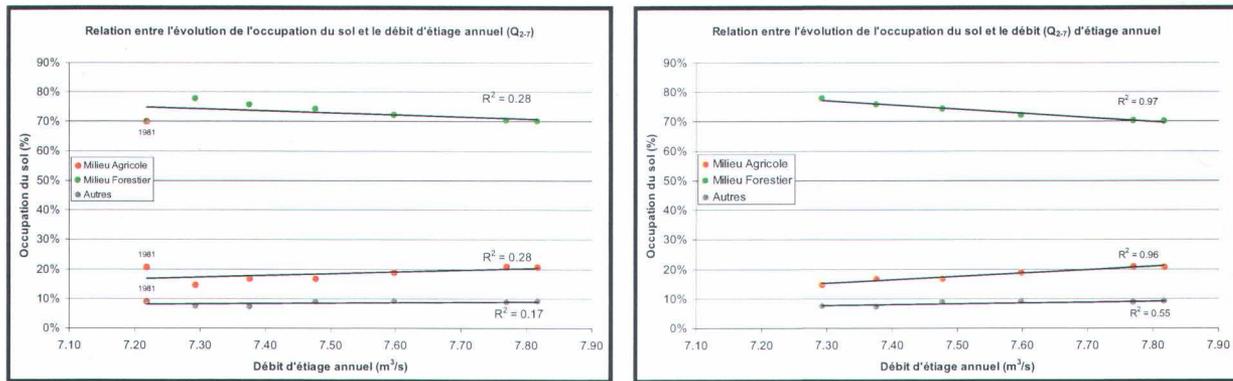
L'équation donnant le coefficient de corrélation d'échantillonnage de Pearson,  $r$ , est la suivante :

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

Où  $\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont les moyennes d'échantillon.

Le coefficient de détermination renvoie  $r^2$  est le carré de ce coefficient de corrélation.

Les résultats sont également donnés en ne considérant pas l'année 1981 dans le calcul.



**Figure 3.16.** Exemple, avec et sans l'année 1981, de la relation entre l'évolution de l'occupation du sol et le débit d'étiage annuel ( $Q_{2-7}$ )

**Tableau 3.7.** Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre  $Q_{2-7}$  et l'occupation du sol.

	Milieu Agricole		Milieu Forestier		Autres	
	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981
Coefficient de corrélation	53.10%	98.05%	-53.32%	-98.53%	41.80%	74.04%
Coefficient de détermination	28.20%	96.14%	28.43%	97.09%	17.47%	54.81%

**Tableau 3.8.** Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre  $Q_{10-7}$  et l'occupation du sol.

	Milieu Agricole		Milieu Forestier		Autres	
	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981
Coefficient de corrélation	52.96%	97.50%	-53.39%	-98.25%	43.02%	75.30%
Coefficient de détermination	28.05%	95.07%	28.50%	96.54%	18.51%	56.70%

**Tableau 3.9.** Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre  $Q_{5-30}$  et l'occupation du sol.

	Milieu Agricole		Milieu Forestier		Autres	
	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981
Coefficient de corrélation	53.44%	97.74%	-54.22%	-98.96%	44.20%	76.49%
Coefficient de détermination	28.55%	95.53%	29.40%	97.92%	19.53%	58.50%

L'analyse de ces trois tableaux montre que, si l'on ne considère pas l'occupation de l'année 1981, l'évolution des débits d'étiage est bien corrélée avec celle des terres agricoles. De plus, le coefficient de corrélation est toujours supérieur à 74% dans ce cas pour l'ensemble des milieux.

Cela signifie que les occupations agricole et forestière du sol présentent une certaine influence sur le régime d'écoulement du bassin versant. Dans le milieu forestiers, la majeure partie de l'eau s'infiltré dans le sol et réalimente les réservoirs souterrains ou bien elle est absorbée par les plantes qui la renvoient par la suite dans l'atmosphère par voie de transpiration ; il y a peu de ruissellement, bien que l'eau souterraine se décharge dans les cours d'eau voisins. Dans les terres agricoles, où il y a moins de végétation pour retenir l'eau, le ruissellement est prépondérant et la lame d'eau est plus importante au niveau du bassin versant.

Les figures 3.17, 3.18 et 3.19 présentent les courbes de l'évolution des débits d'étiage retenues dans cette étude en fonction de l'évolution de l'occupation du sol sur les deux sous bassins agricoles Saint-Victor et Tring.

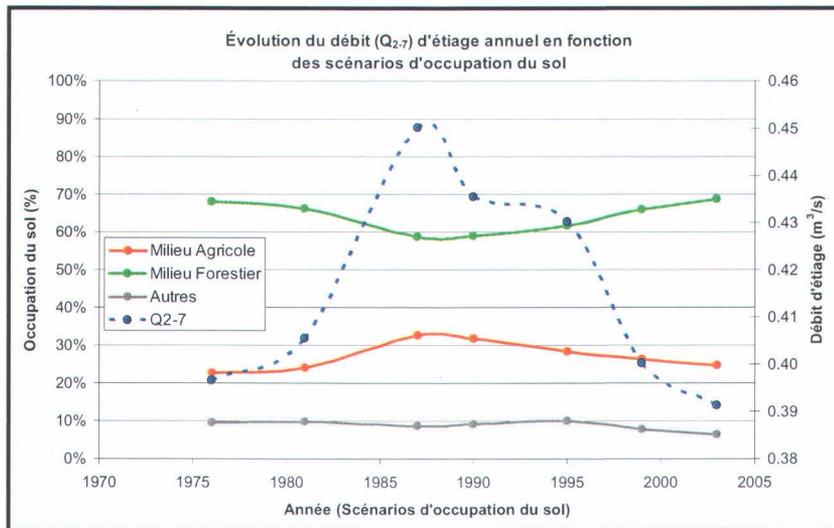


Figure 3.17. Évolution du débit d'étiage  $Q_{2-7}$  en fonction de l'occupation du sol au niveau du tronçon 204 (Saint-Victor/ Tring).

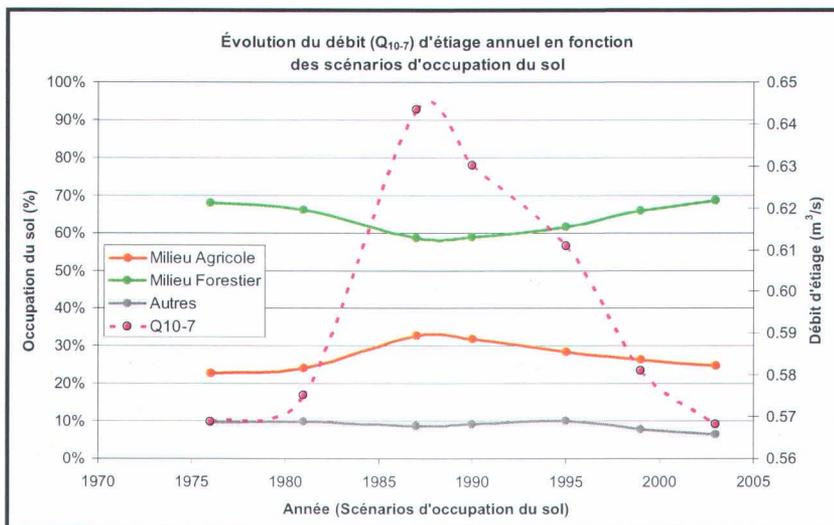
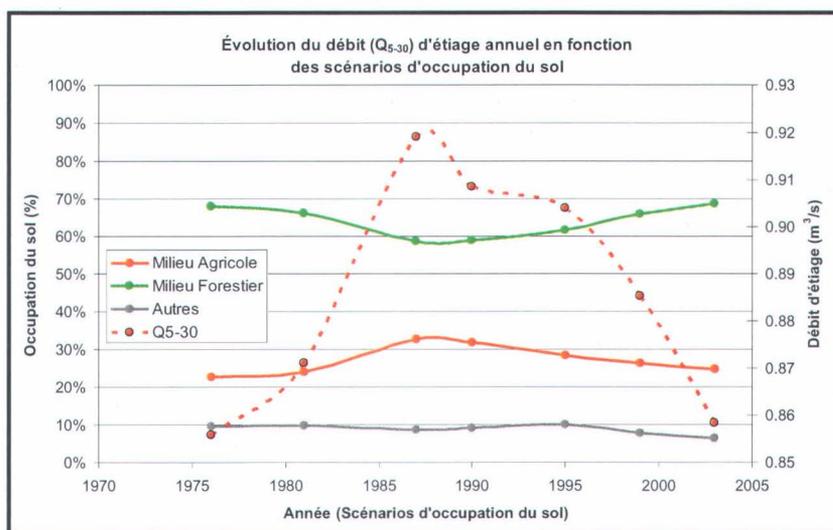


Figure 3.18. Évolution du débit d'étiage  $Q_{10-7}$  en fonction de l'occupation du sol au niveau du tronçon 204 (Saint-Victor/ Tring).



**Figure 3.19.** Évolution du débit d'étiage  $Q_{5-30}$  en fonction de l'occupation du sol au niveau du tronçon 204(Saint-Victor/ Tring).

L'observation des trois figures ci-dessus montre que l'évolution de l'occupation du sol a un impact direct sur l'évolution des débits d'étiages. En ce qui concerne la disponibilité des ressources en eau, l'analyse de ces trois figures permet de mettre en évidence une augmentation des débits d'étiages au cours de la période d'occupation des sols de 1976-1987 pour les deux sous bassins Saint-Victor et Tring. Ces deux sous bassins ont connu d'importantes transformations de l'occupation du sol se traduisant par une déforestation importante et un développement massif des terres agricoles. Au cours de la période d'occupation des sols 1987-2003, on note la régression du milieu agricole et le développement du milieu forestier. Cette évolution se traduit par une baisse des débits d'étiages.

Une fois les résultats analysés, on a donc observé que la mise en évidence d'une corrélation entre le débit d'étiage et l'évolution de l'occupation du sol est possible. Ainsi, lorsque le milieu agricole gagne du terrain par rapport au milieu forestier, le débit d'étiage est en hausse. Dans le cas contraire, la diminution des terres agricoles induit la diminution du débit d'étiage. Ces résultats sont confirmés par les tableaux 3.10, 3.11 et 3.12 qui

représentent les coefficients de corrélation et de détermination entre les différentes occupations du sol et le débit d'étiage pour ces deux sous bassins.

**Tableau 3.10.** Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre  $Q_{2-7}$  et l'occupation du sol (tronçon 204).

	Milieu Agricole	Milieu Forestier	Autres
Coefficient de corrélation	92.37%	-97.85%	40.81%
Coefficient de détermination	85.31%	95.74%	16.66%

**Tableau 3.11.** Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre  $Q_{10-7}$  et l'occupation du sol (tronçon 204).

	Milieu Agricole	Milieu Forestier	Autres
Coefficient de corrélation	97.34%	-98.61%	28.02%
Coefficient de détermination	94.75%	97.24%	7.85%

**Tableau 3.12.** Coefficient de corrélation et coefficient de détermination entre  $Q_{5-30}$  et l'occupation du sol (tronçon 204).

	Milieu Agricole	Milieu Forestier	Autres
Coefficient de corrélation	95.21%	-96.89%	28.79%
Coefficient de détermination	90.66%	93.87%	8.29%

Les résultats observés à partir des ces trois tableaux montrent la présence de très bonnes corrélations entre le débit d'étiage et les terres agricoles. En valeur absolue, le coefficient de corrélation dépasse les 92%. D'autre part, les chiffres montrent que l'évolution du débit d'étiage est inversement corrélée avec l'évolution du milieu forestier. Il est à noter que les coefficients de corrélation et de détermination calculés pour certains sous bassins versants sont plus élevés que ceux calculées pour la totalité du bassin versant de la rivière Chaudière.

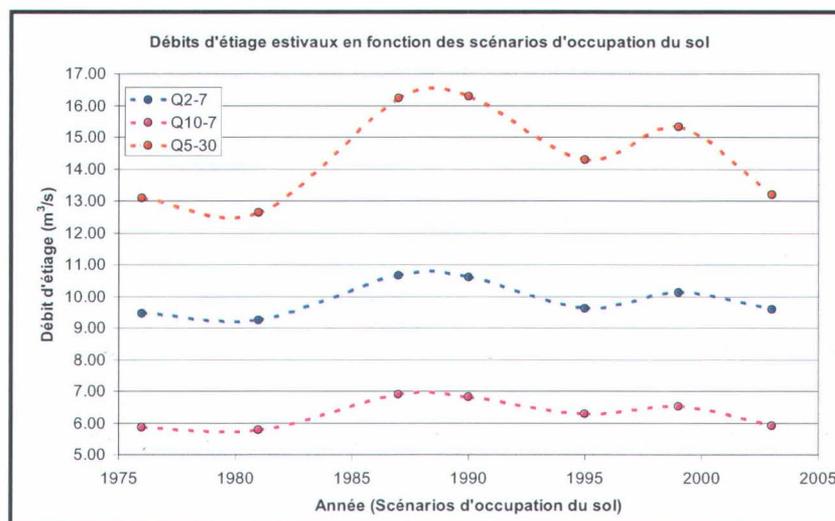
Les résultats de corrélation des débits d'étiage avec l'occupation du sol au niveau des autres sous bassins seront présentés à l'annexe K.

### 3.2.2.2. Approche estivale

Comme pour l'approche annuelle, les mêmes analyses ont été faites pour la période estivale du 20 juin au 21 septembre. La figure 3.20 ainsi que le tableau 3.13 représentent l'évolution estivale des débits d'étiage en fonction des occupations du sol des années 1976-2003.

**Tableau 3.13.** Évolution estivale des débits d'étiage en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003 (en  $m^3/s$ ).

Année	Q <sub>2-7</sub>	Q <sub>10-7</sub>	Q <sub>5-30</sub>
1976	9,46	5,85	13,08
1981	9,23	5,76	12,61
1987	10,64	6,88	16,21
1990	10,58	6,81	16,27
1995	9,60	6,26	14,28
1999	10,12	6,52	15,32
2003	9,57	5,91	13,19

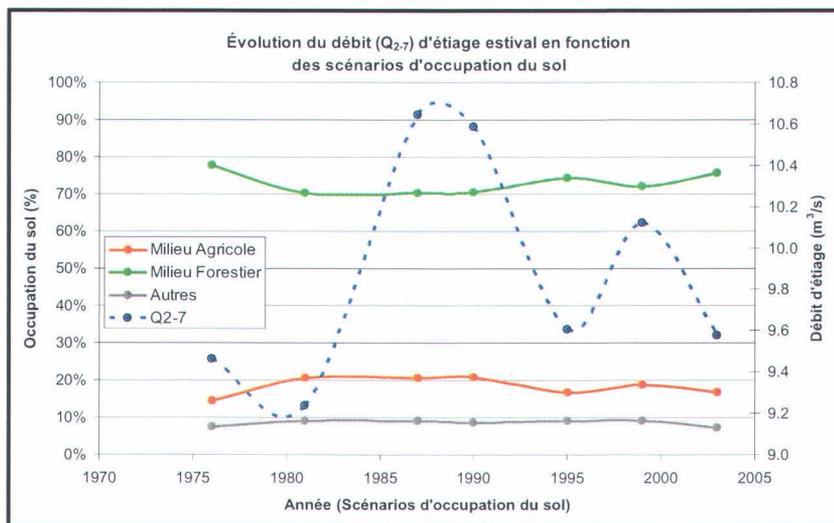


**Figure 3.20.** Évolution des débits d'étiages estivaux à l'exutoire du bassin versant de la rivière Chaudière en fonction des occupations du sol des années 1976, 1981, 1987, 1990, 1995, 1999 et 2003.

On remarque que les débits d'étiage estivaux sont plus élevés que les débits d'étiage annuels. Ceci est expliqué par le fait que les débits d'étiages annuels sont en hivers. Les fluctuations présentées par les différents débits d'étiage sont aussi plus importantes que

celles retrouvées dans le graphique présentant ces mêmes débits pour la période annuelle. Cependant, les débits les plus importants restent toujours produits par les occupations du sol des années 1987 et 1990 qui représentent un milieu agricole plus important confirmant, ainsi, l'hypothèse présentant l'année 1987 comme année de transition.

Les figures 3.21, 3.22 et 3.23 ci-dessous représentent l'évolution des débits d'étiage estivaux par rapport à l'évolution de l'occupation du sol au niveau du tronçon 1.



**Figure 3.21.** Évolution estivale du débit d'étiage estival  $Q_{2.7}$  par rapport à l'évolution de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière.

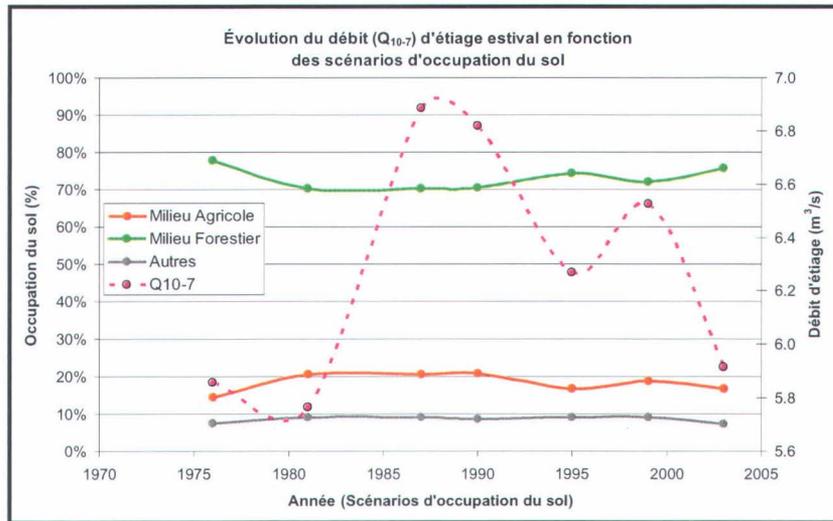


Figure 3.22. Évolution estivale du débit d'étiage estival  $Q_{10-7}$  par rapport à l'évolution de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière.

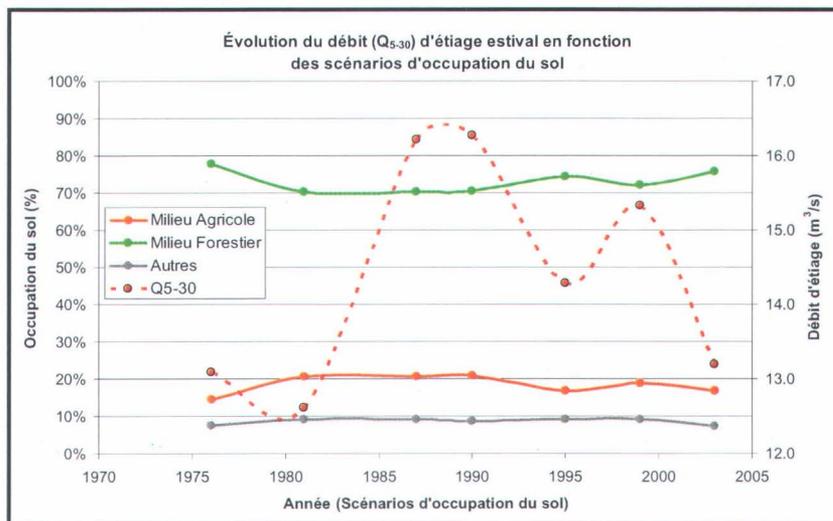


Figure 3.23. Évolution estivale du débit d'étiage estival  $Q_{5-30}$  par rapport à l'évolution de l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant de la Chaudière.

L'analyse des figures 3.21 à 3.23 montre que la courbe du débit d'étiage semble suivre l'évolution des terres agricoles, excepté pour l'occupation de l'année 1981 qui, là encore, semble constituer une anomalie. Pour mieux comprendre l'impact de cette évolution du sol sur les débits estivaux, on a eu recours au calcul des coefficients de corrélation et de détermination représentés par les tableaux 3.14, 3.15 et 3.16.

**Tableau 3.14.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  estival et l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant.

	Milieu Agricole		Milieu Forestier		Autres	
	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981
Coefficient de corrélation	56.27%	97.24%	-54.41%	-95.06%	36.00%	63.31%
Coefficient de détermination	31.67%	94.56%	29.60%	90.36%	12.96%	40.09%

**Tableau 3.15.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  estival et l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant.

	Milieu Agricole		Milieu Forestier		Autres	
	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981
Coefficient de corrélation	56.45%	95.90%	-58.08%	-98.13%	51.31%	80.79%
Coefficient de détermination	31.87%	91.97%	33.74%	96.30%	26.33%	65.28%

**Tableau 3.16.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  estival et l'occupation du sol à l'exutoire du bassin versant.

	Milieu Agricole		Milieu Forestier		Autres	
	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981	avec 1981	Sans 1981
Coefficient de corrélation	54.23%	95.90%	-55.64%	-97.88%	48.91%	80.10%
Coefficient de détermination	29.41%	91.96%	30.95%	95.80%	23.92%	64.17%

L'analyse de ces trois tableaux montre, d'une part, que l'évolution des débits d'étiage estivaux est fortement corrélée avec l'évolution des terres agricoles. Ces coefficients présentent des valeurs comprises entre 54.23% et 56.45% avec la prise en compte de l'année 1981 et des valeurs comprises entre 95.90% et 97.24% sans la prise en compte de ce scénario. D'autre part, l'évolution des débits d'étiages est inversement corrélée avec l'évolution du milieu forestier. Les coefficients de corrélation présentés sont compris entre -48.7% et -55%. Également, ces coefficients sont largement supérieurs sans la prise en compte du scénario de 1981. Globalement, les coefficients de corrélation présentés, sans le scénario de 1981, sont toujours supérieurs à 63% traduisant l'influence du type d'occupation du sol sur le régime d'écoulement.

Les coefficients de détermination accentuent nos analyses et montrent que l'évolution des débits d'étiage dépend directement de l'évolution des milieux agricole et forestier. En chiffre absolu, la variation du débit d'étiage  $Q_{2-7}$  dépend de 31.67% de l'évolution du milieu agricole et de 29.60% de l'évolution du milieu forestier. Ces coefficients changent pour le débit  $Q_{10-7}$  et  $Q_{5-30}$ . En effet, l'évolution de  $Q_{10-7}$  dépend de 31.87% du milieu agricole et de 33.74% du milieu forestier. De même la variation de  $Q_{5-30}$  dépend de 29.41% de l'évolution du milieu agricole et de 30.95% de l'évolution du milieu forestier.

### **3.2.3. Tableau récapitulatif**

L'analyse des résultats des simulations est orientée sur l'impact de l'évolution de l'occupation du territoire par les différentes classes de 1976 à 2003 sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière. Les tableaux 3.17 et 3.18 présentent un résumé des résultats obtenus au niveau des sous bassins versants de notre secteur d'étude.

**Tableau 3.17.** Récapitulatif des pourcentages d'occupation agricole et forestière du sol et des coefficients de détermination avec les débits d'étiage annuels au niveau des sous bassins versants.

TOUTE L'ANNÉE	Moyenne sur 7 cartes				Coefficient de détermination par rapport à Q <sub>2-7</sub>		Coefficient de détermination par rapport à Q <sub>10-7</sub>		Coefficient de détermination par rapport à Q <sub>5-30</sub>	
	Milieu Agricole (%)	Pente par rapport à 1987	Milieu Forestier (%)	Pente par rapport à 1987	M.Agricole	M.Forestier	M.Agricole	M.Forestier	M.Agricole	M.Forestier
	<b>Beaurivage</b>	29.47%	(0.0055;-0.0039)	61.31%	(0.0012;0.0052)	86.77%	42.92%	89.18%	46.18%	83.74%
<b>St_victor/Tring</b>	27.30%	(0.0094;-0.0054)	63.97%	(-0.0085;0.0078)	85.31%	95.74%	94.75%	97.24%	90.66%	93.87%
<b>Tring</b>	25.83%	(0.0087;-0.0064)	66.39%	(-0.0076;0.0092)	89.85%	79.40%	0.16%	14.07%	75.94%	90.50%
<b>Famine</b>										
<b>Veulleux</b>	9.82%	(0.0049;-0.0034)	84.29%	(-0.0077;0.0045)	91.37%	91.06%	76.93%	70.69%	84.96%	97.56%
<b>Abénaquis</b>										
<b>Duloup</b>	6.73%	(0.0045;-0.0022)	88.58%	(-0.0067;0.0028)	80.74%	89.65%	63.59%	67.41%	75.73%	83.29%
<b>Samson</b>	12.46%	(0.0048;-0.0004)	88.25%	(-0.0049;0.0076)	49.58%	15.09%	24.74%	12.17%	4.42%	3.10%
<b>Araignées</b>	1.92%	(0.0016;-0.00012)	90.47%	(-0.0053;-0.0002)	92.69%	82.04%	76.36%	68.93%	94.63%	84.39%
<b>Arnold</b>	6.01%	(0.0012;0.00047)	90.12%	(-0.0053;-0.0061)	17.43%	1.41%	8.79%	1.00%	0.15%	10.35%

**Tableau 3.18.** Récapitulatif des pourcentages d'occupation agricole et forestière du sol et des coefficients de détermination avec les débits d'été estivaux au niveau des sous bassins versants.

ESTIVALE	Moyenne sur 7 cartes				Coefficient de détermination par rapport à Q <sub>2-7</sub>		Coefficient de détermination par rapport à Q <sub>10-7</sub>		Coefficient de détermination par rapport à Q <sub>5-30</sub>	
	Milieu Agricole (%)	Pente par rapport à 1987	Milieu Forestier (%)	Pente par rapport à 1987	M.Agricole	M.Forestier	M.Agricole	M.Forestier	M.Agricole	M.Forestier
	<b>Beaurivage</b>	29.47%	(0.0055;-0.0039)	61.31%	(0.0012;0.0052)	74.61%	30.09%	88.81%	46.68%	82.19%
<b>St_victor/Tring</b>	27.30%	(0.0094;-0.0054)	63.97%	(-0.0085;0.0078)	59.18%	63.58%	10.33%	1.34%	50.29%	41.58%
<b>Tring</b>	25.83%	(0.0087;-0.0064)	66.39%	(-0.0076;0.0092)	94.04%	80.98%	89.34%	82.78%	57.11%	77.47%
<b>Famine</b>										
<b>Veulleux</b>	9.82%	(0.0049;-0.0034)	84.29%	(-0.0077;0.0045)	86.18%	97.07%	73.16%	67.40%	66.76%	94.17%
<b>Abénaquis</b>										
<b>Duloup</b>	6.73%	(0.0045;-0.0022)	88.58%	(-0.0067;0.0028)	68.48%	78.31%	51.16%	58.48%	56.69%	67.82%
<b>Samson</b>	12.46%	(0.0048;-0.0004)	88.25%	(-0.0049;0.0076)	69.05%	28.81%	45.10%	27.40%	11.25%	1.56%
<b>Araignées</b>	1.92%	(0.0016;-0.00012)	90.47%	(-0.0053;-0.0002)	93.43%	80.87%	94.81%	82.54%	96.85%	86.57%
<b>Arnold</b>	6.01%	(0.0012;0.00047)	90.12%	(-0.0053;-0.0061)	83.61%	94.89%	74.59%	75.28%	0.11%	0.06%

Globalement, le milieu forestier occupe près des trois quarts du territoire de chaque sous bassin versant de la rivière Chaudière. L'occupation agricole varie d'un sous bassin à l'autre représentant des pourcentages différents. Ainsi, les sous bassins agricoles dominants sont Beaurivage et Saint-Victor/Tring. On remarque, aussi, que les pentes représentatives du milieu agricole varient en général dans le sens opposé à celles du milieu forestier ce qui explique que pour la période 1976 à 1987, les terres utilisées pour l'agriculture ont graduellement empiété sur le milieu forestier qui regagne en importance à partir de 1990. Les coefficients de détermination montrent que la variation des débits d'étiages dépend d'une façon directe de l'évolution des milieux agricole et forestier. Cependant, leur dépendance aux terres agricoles est généralement plus élevée. En effet, la réduction du couvert végétal augmente l'apport en eau car, d'une part l'évapotranspiration est diminuée ce qui veut dire que les plantes n'absorbent pas des grandes quantités d'eau. D'autre part, la diminution de la végétation favorise l'écoulement.

L'impact de l'évolution de l'occupation du sol sur le régime d'écoulement dépend de nombreuses variables dont la plus importante est la couverture végétale du sol, l'aptitude du sol à retenir l'eau (capacité d'infiltration) et la capacité de la couverture végétale d'intercepter l'humidité.

## CONCLUSION

---

L'objectif de ce rapport est d'étudier l'impact de l'évolution de l'occupation du sol sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière.

Dans la première partie de ce rapport, on a présenté la méthode utilisée pour la correction et classification des cartes d'occupation du sol en utilisant un logiciel SIG. Ces cartes ont été ensuite intégrées dans le modèle GIBSI qui nous a permis de suivre l'évolution de l'occupation du sol dans la période 1976-2003. Les données obtenues sont cohérentes et la méthode qui a été utilisée pour la classification des cartes d'occupation du sol est très satisfaisante vu la totalité des pixels dans ces cartes ont été classifiés. Cependant, l'absence de vérité de terrain engendre une grande incertitude au sein même de l'évolution de certaines classes. L'interprétation des résultats a montré que les pentes représentatives du milieu agricole varient dans le sens opposé que à celles du milieu forestier ce qui s'explique par le fait que, pour la période 1976 à 1987, les terres utilisées pour l'agriculture ont graduellement empiété sur le milieu forestier qui reprend son évolution à partir de 1990.

La deuxième partie de ce travail a porté sur la simulation du régime hydrologique du bassin versant à partir de la chronique météorologique de GIBSI et ce sur la période de 1970-1999 avec l'élaboration de sept scénarios à partir des cartes dont on dispose. Les simulations sur 30 ans ont été faites par le modèle hydrologique de GIBSI : HYDROTEL. Les résultats montrent que la lame d'eau annuelle moyenne simulée à l'exutoire du bassin versant varie en fonction de l'occupation du sol, entre -7.7% et +5.9% par rapport à l'année de référence 1995. De plus, l'effet de l'occupation du sol est homogène sur les faibles et fortes lames d'eau, c'est-à-dire aussi bien sur les années sèches que sur les années humides. Les débits d'étiage annuels et estivaux sont fortement corrélés avec le milieu agricole. Cette

corrélation est particulièrement importante pour les sous bassins versants à caractère agricole (Beaurivage et Saint-Victor/Tring).

Cette étude a donc permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle l'occupation des sols influence l'écoulement du bassin versant. Le défrichement des forêts au profit de terres agricoles, qui était la tendance dans les années 1970, diminue la couverture végétale et donc l'évapotranspiration et la capacité de rétention de l'eau du sol, et s'accompagne souvent de drainage agricole, favorisant ainsi le ruissellement vers le réseau hydrique et l'augmentation du débit. Au contraire, la tendance observée depuis 1990 d'une régénération du milieu forestier au profit des terres agricoles, augmente l'effet tampon du territoire et diminue la lame d'eau annuelle et le débit d'étiage.

Le même type d'approche devra être réalisée dans la deuxième phase du projet de recherche (étape prédictive) afin d'évaluer le rôle de l'occupation du territoire dans un contexte de changement climatique.

## RÉFÉRENCES

---

- FAO, 1998. Les conséquences de l'accord sur l'agriculture du cycle d'Uruguay pour les pays en développement.
- Gauthier, Y. (1996). Rapport technique présenté dans le cadre de GIBSI. [Rapport de technique No RT-462a]. Sainte-Foy, Québec, INRS-Eau, Université du Québec. 16 pages.
- Grassland User's Guide. Version 1.1.
- Grenier, M. (2005). Classification de l'occupation du sol du bassin versant de la rivière Chaudière à l'aide de l'image satellitaire Landsat-5 du 2 septembre 2003, Rapport pour le cours Projet dirigé I : Eau 801, INRS-ETE, 43 pages.
- Guillot, F. (2004). Étude préliminaire de l'impact du changement climatique sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière, à l'aide du système de modélisation intégrée GIBSI. [Rapport interne N°I-150]. Sainte-Foy, Québec, INRS-ETE, Université du Québec. 110 pages.
- Savary, S, J.F. Dolbec, A.N. Rousseau. (2006). Description d'un processus de classification orientée objet pour la cartographie et la détection des changements de l'occupation du sol à l'aide d'images satellitaires du bassin versant de la rivière Chaudière pour la période de 1970 à 2000. 98 pages.

Trinh N.B, 2005. Impact des changements climatiques sur le régime hydrique de la rivière chaudière. Développement d'une Approche Méthodologique Basée sur les MCG, le Downscaling & le Système de Modélisation GIBSI. Rapport N° R699, INRS-ÉTÉ, Québec, Qc. 38 pages.

Villeneuve J.P, Blanchette C, Duchemin M, Gagnon J.F, Mailhot A, Rousseau A.N, Roux M, Tremblay J.F et Turcotte R. 1998. Rapport final du projet GIBSI : Gestion de l'eau des bassins versants à l'aide d'un système informatisé, Tom 1. Rapport final N° R462, INRS-EAU, Sainte-Foy, Qc. 371 pages.

Site Internet :

<http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/gibsi/francais/accueilgibsi.htm>

<http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/gibsi/francais/sommaire.htm#tableau>

<http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/hydrotel/fr/hydrotel.htm>

[http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupe/chaire\\_hydrol/hyfran.html](http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupe/chaire_hydrol/hyfran.html)

Logiciels :

SIG : ArcGis Version 9.0.

Hydrologie : GIBSI (HYDROTEL), Hyfran.

## ANNEXE A ÉTAPES D'APPLICATION DE MASQUE SUR LES CARTES D'OCCUPATION DU SOL

---

Pour combler le manque dans les nouvelles cartes, il est possible d'appliquer un masque de l'ancienne carte sur les nouvelles. Il suffit d'afficher cette carte (ancienne et nouvelle) et cliquer sur la commande « Option » dans le menu « Spatial Analyst ». Une fenêtre appelée « Options » sera affichée. Dans l'onglet « Analysis mask » on choisi notre masque.

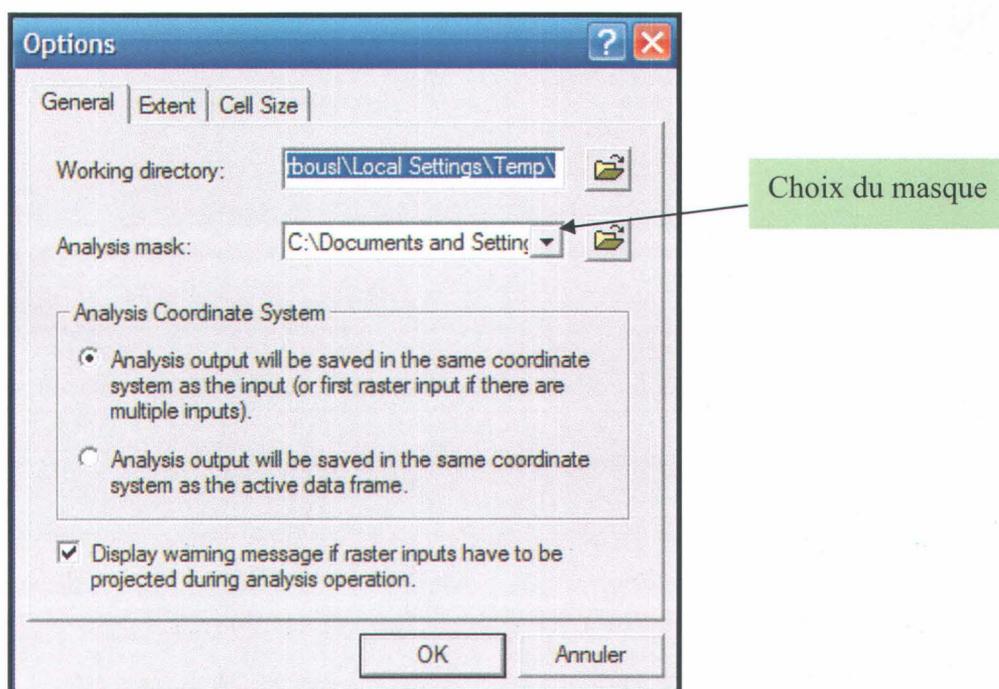


Figure A.1. Étapes d'application de masque.



## ANNEXE B PRÉSENTATION DE GIBSI

GIBSI est à la fois un système de modélisation intégrée (incluant base de données quantité & qualité et modèles de simulation) et un système de gestion des données attributs et spatiales, incluant un système de gestion de base de données (SGBD) et un système d'information géographique (SIG).

Du point de vue de la gestion intégrée des bassins versants, GIBSI permet de simuler des scénarios détaillés: (i) gestion d'usage de l'eau; (ii) gestion d'usage du territoire; (iii) gestion des rejets ponctuels et (iv) gestion de la pollution diffuse agricole. Les modèles distribués de simulation prédisent les impacts de ces scénarios tout le long du réseau hydrographique du bassin versant d'étude. Ces impacts sont analysés en termes de principaux paramètres et critères de quantité et de qualité de l'eau. Site internet : <http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/gibsi/francais/sommaire.htm#tableau>

**Tableau B.1.** Tableau de synthèse du contenu de GIBSI.

Composantes	Description	Fonctions
<i>Interface graphique de l'utilisateur</i>	GIBSI (Quantité & Qualité)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualisation, à l'aide de graphiques, de cartes thématiques et de tableaux, des données attributs et spatiales de la base de données (quantité &amp; qualité) et des résultats de simulation</li> <li>• Élaboration, à l'aide de fenêtre de dialogue, de cartes thématiques et de différents modules de scénarios de gestion réservoirs, de rejets ponctuels, de pratiques agricoles et d'usage de l'occupation du sol (voir Schéma)</li> <li>• Lancement, à l'aide de fenêtres</li> </ul>

		<p>de dialogue, de simulations</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accès au SIG et au SGBD</li> </ul>
<i>Base de données</i>	BD (Quantité & Qualité)	Stockage des données attributs et spatiales de GIBSI quantité & qualité
<i>Pilote</i>	PILOTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion des simulations</li> <li>• Préparation des fichiers d'entrée de chacun des modèles de simulation à partir des données intégrées à la base de données</li> <li>• Stockage des résultats de simulation dans la base de données</li> </ul>
<i>Modèles de simulation</i>	HYDROTEL	Modélisation du cycle de l'eau - hydrologie
<i>Outils de gestion des données attributs &amp; spatiales</i>	GRASSLAND  ACCESS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système d'information géographique (SIG)</li> <li>• Système de gestion de la base de données</li> </ul>
<i>Outil d'aide à la préparation des données spatiales &amp; attributs</i>	PHYSITEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Découpage du bassin versant en sous-bassins versants (unités spatiales de simulation hydrologique, USS)</li> <li>• Détermination du transfert de l'eau entre les mailles du modèle numérique de terrain vers le réseau hydrographique du bassin versant</li> <li>• Agrégation de l'information météorologique et physiographique à l'échelle des USS.</li> </ul>

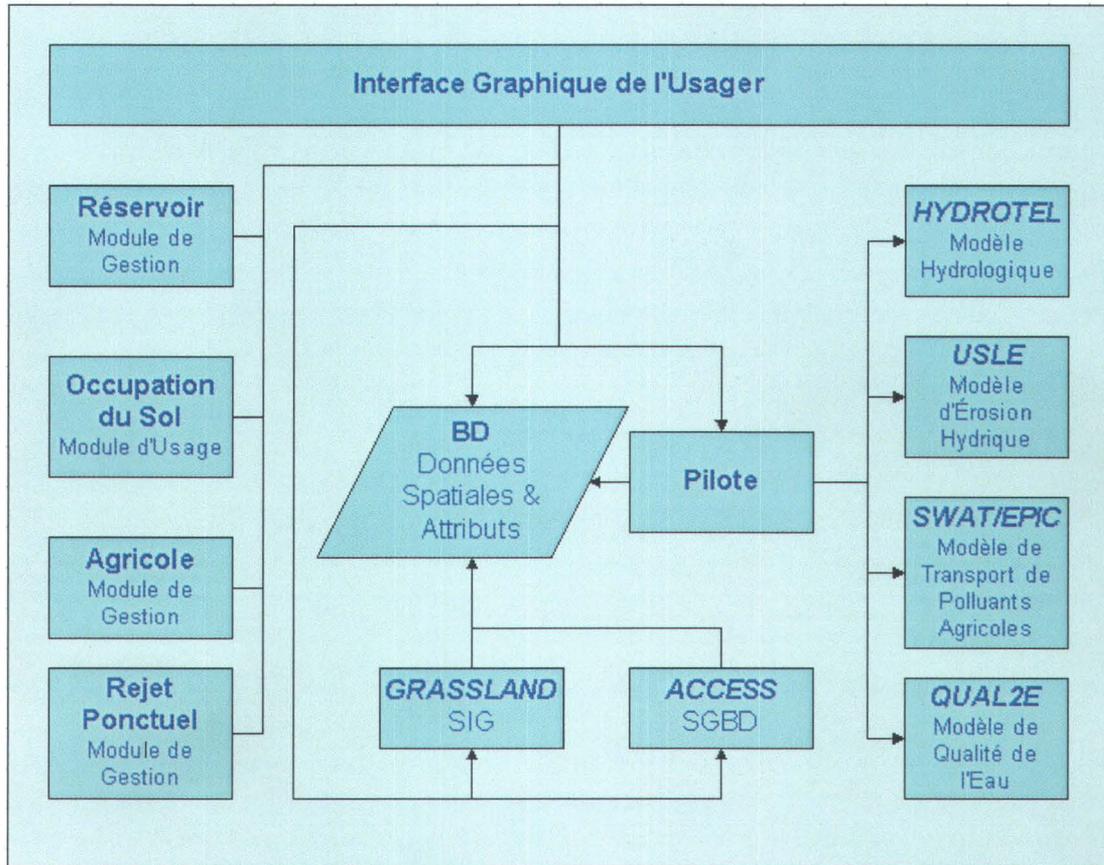


Figure B.1. Schéma conceptuel de la structure de GIBSI.

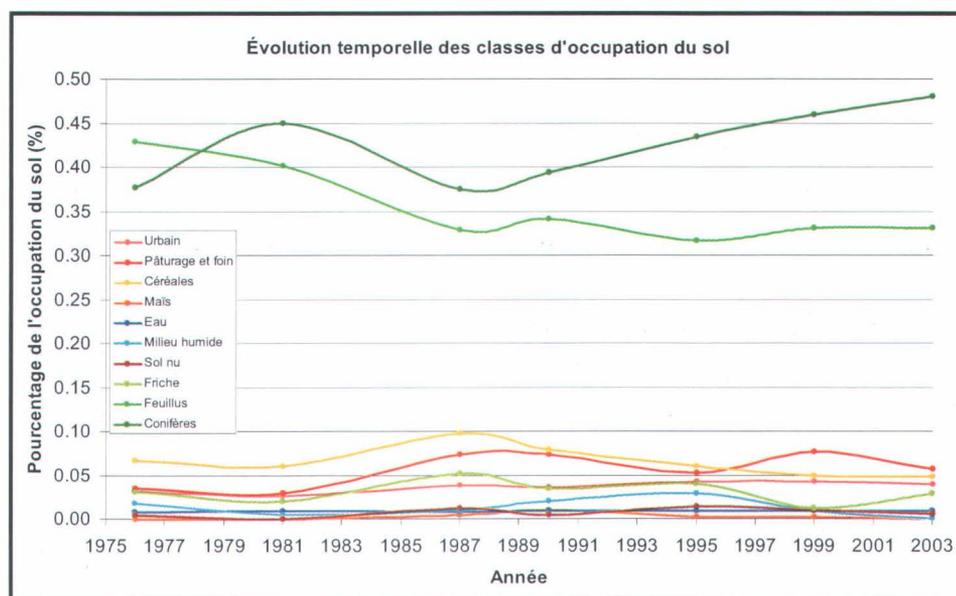


## ANNEXE C ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL AU NIVEAU DES SOUS BASSINS VERSANT

*Sous bassin versant : Abénaquis*

**Tableau C.1.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Abénaquis.

classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	3,15%	2,62%	3,81%	3,65%	4,28%	4,25%	3,92%
Pâturage et foin	3,54%	2,96%	7,41%	7,38%	5,27%	7,67%	5,70%
Céréales	6,71%	6,00%	9,77%	7,96%	6,08%	4,95%	4,89%
Maïs	0,00%	0,00%	0,44%	0,99%	0,19%	0,23%	0,02%
Eau	0,81%	0,84%	0,82%	0,86%	0,92%	0,86%	0,89%
Milieu humide	1,72%	0,44%	1,02%	1,97%	2,84%	0,87%	0,05%
Sol nu	0,39%	0,00%	1,25%	0,40%	1,44%	1,01%	0,52%
Friche	3,13%	1,99%	5,19%	3,40%	3,93%	1,17%	2,90%
Feuillus	42,91%	40,16%	32,83%	34,08%	31,66%	33,12%	33,10%
Conifères	37,64%	44,99%	37,46%	39,31%	43,38%	45,88%	48,02%

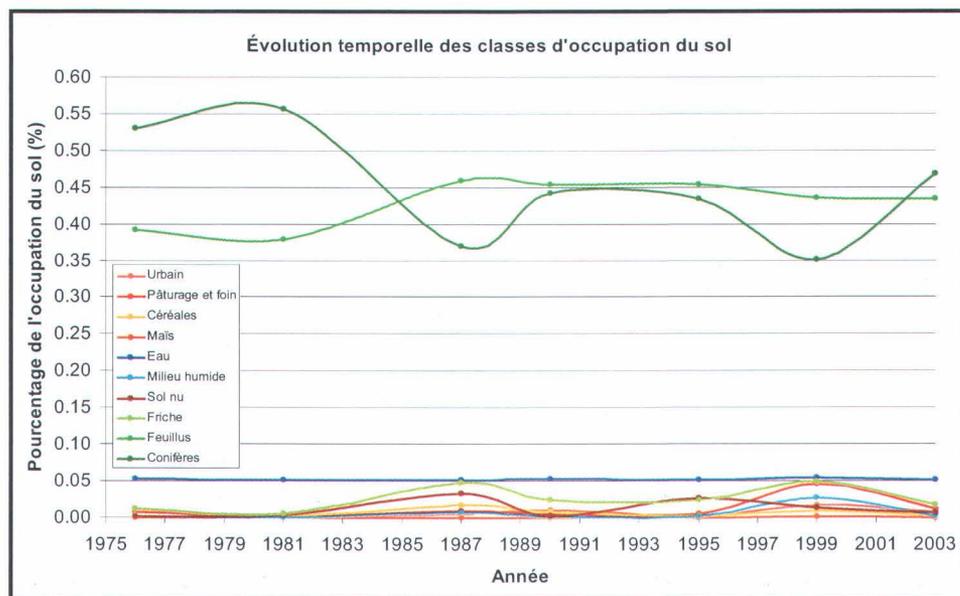


**Figure C.1.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Abénaquis.

*Sous bassin versant : Araignées*

**Tableau C.2.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Araignées.

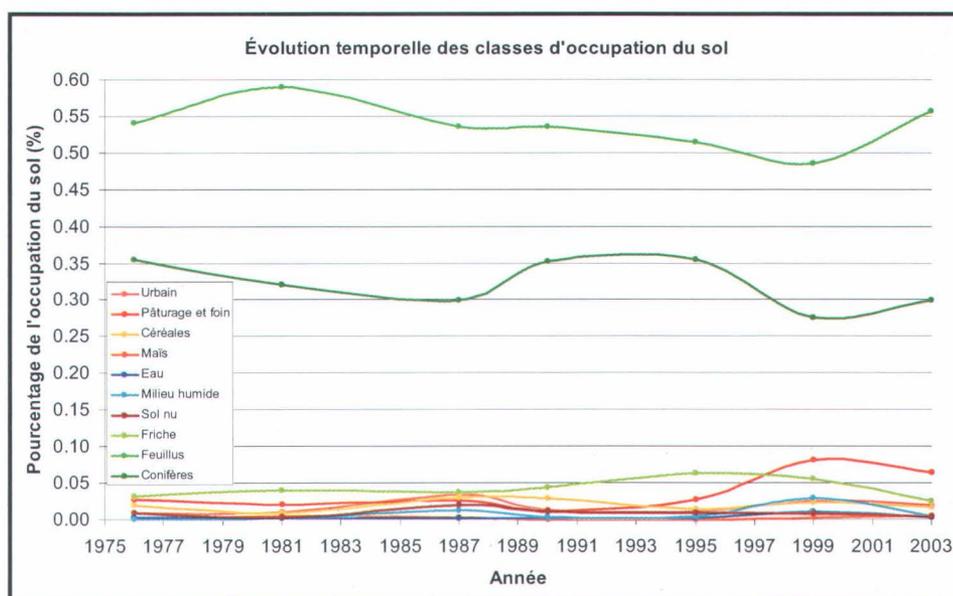
classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	0,07%	0,16%	0,56%	1,11%	0,20%	1,66%	0,78%
Pâturage et foin	0,75%	0,08%	0,90%	0,52%	0,54%	4,60%	1,23%
Céréales	0,32%	0,19%	1,74%	0,81%	0,26%	0,86%	0,30%
Maïs	0%	0%	0,06%	0,05%	0,02%	0,19%	0%
Eau	5,26%	5,15%	5,08%	5,21%	5,20%	5,39%	5,10%
Milieu humide	0,19%	0%	0,67%	0,08%	0,12%	2,60%	0,07%
Sol nu	0,10%	0,42%	3,35%	0,25%	2,60%	1,26%	0,63%
Friche	1,13%	0,55%	4,80%	2,41%	2,31%	4,83%	1,69%
Feuillus	39,23%	37,82%	45,87%	45,41%	45,40%	43,49%	43,45%
Conifères	52,95%	55,63%	36,97%	44,15%	43,35%	35,12%	46,75%



**Figure C.2.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Araignées.

*Sous bassin versant : Arnold***Tableau C.3.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Arnold.

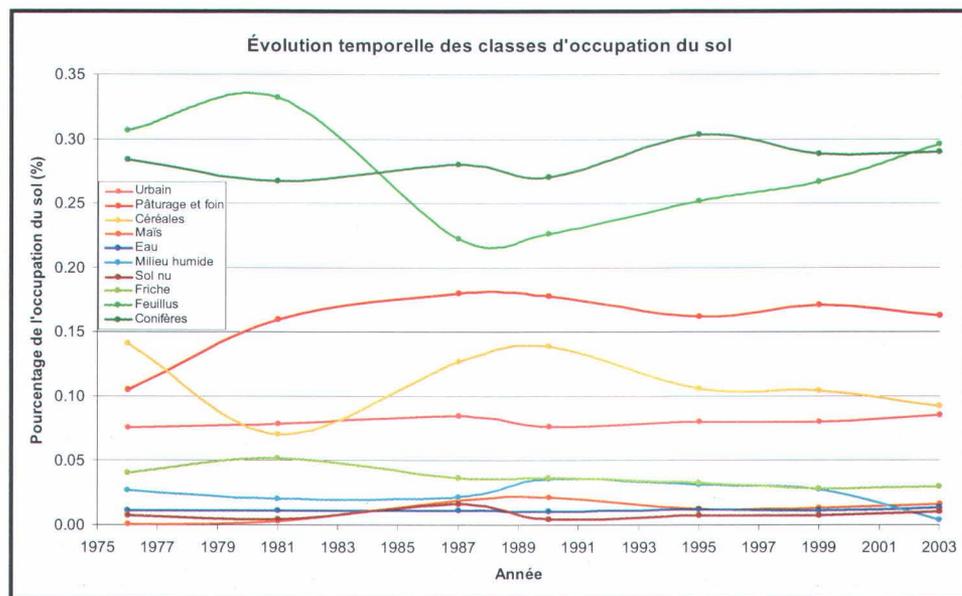
classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	0,88%	1,06%	3,46%	1,38%	1,24%	2,60%	1,99%
Pâturage et foin	2,71%	2,05%	2,67%	1,14%	2,71%	8,23%	6,49%
Céréales	2,02%	0,92%	3,04%	2,91%	1,42%	2,42%	1,71%
Maïs	0,01%	0,51%	0,28%	0,03%	0,05%	0,30%	0,48%
Eau	0,20%	0,08%	0,18%	0,12%	0,11%	1,12%	0,25%
Milieu humide	0%	0,13%	1,16%	0,26%	0,34%	2,91%	0,45%
Sol nu	0,98%	0,29%	2,02%	1,12%	0,98%	0,84%	0,44%
Friche	3,22%	3,91%	3,68%	4,31%	6,28%	5,59%	2,56%
Feuillus	54,05%	58,95%	53,60%	53,54%	51,44%	48,48%	55,62%
Conifères	35,49%	32,10%	29,91%	35,19%	35,43%	27,52%	30%

**Figure C.3.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Arnold.

*Sous bassin versant : Basse-Chaudière*

**Tableau C.4.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Basse-Chaudière.

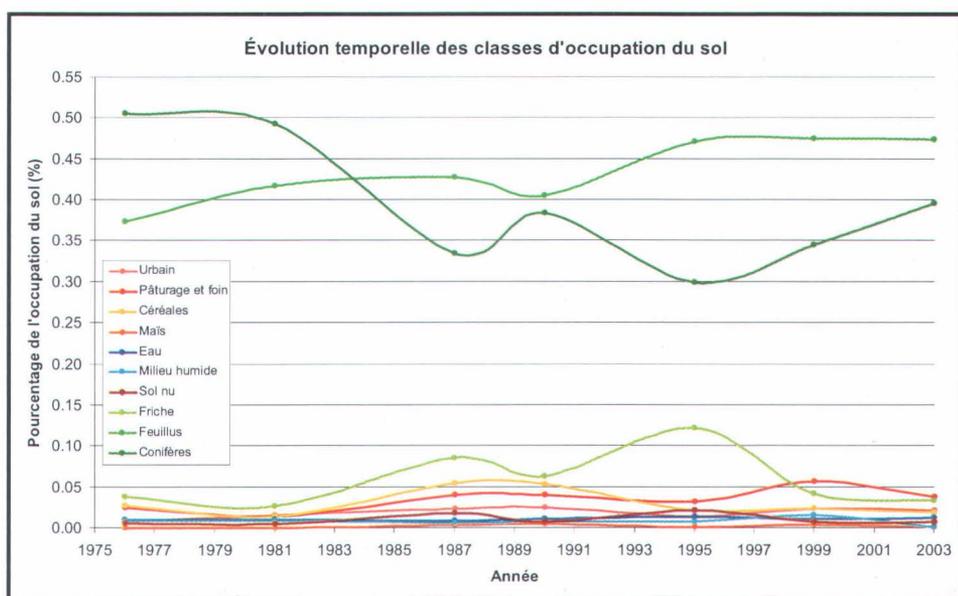
classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	7,62%	7,89%	8,48%	7,67%	8,04%	8,07%	8,56%
Pâturage et foin	10,51%	16,02%	18,06%	17,81%	16,21%	17,11%	16,30%
Céréales	14,14%	7,09%	12,72%	13,93%	10,56%	10,47%	9,22%
Maïs	0,11%	0,28%	1,94%	2,18%	1,27%	1,33%	1,62%
Eau	1,11%	1,15%	1,09%	1,04%	1,17%	1,12%	1,34%
Milieu humide	2,69%	2,06%	2,15%	3,59%	3,16%	2,75%	0,39%
Sol nu	0,76%	0,42%	1,65%	0,43%	0,78%	0,77%	1,07%
Friche	4,05%	5,21%	3,66%	3,67%	3,31%	2,88%	2,97%
Feuillus	30,64%	33,16%	22,22%	22,62%	25,15%	26,65%	29,57%
Conifères	28,37%	26,72%	28,02%	27,07%	30,34%	28,84%	28,96%



**Figure C.4.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Basse-Chaudière.

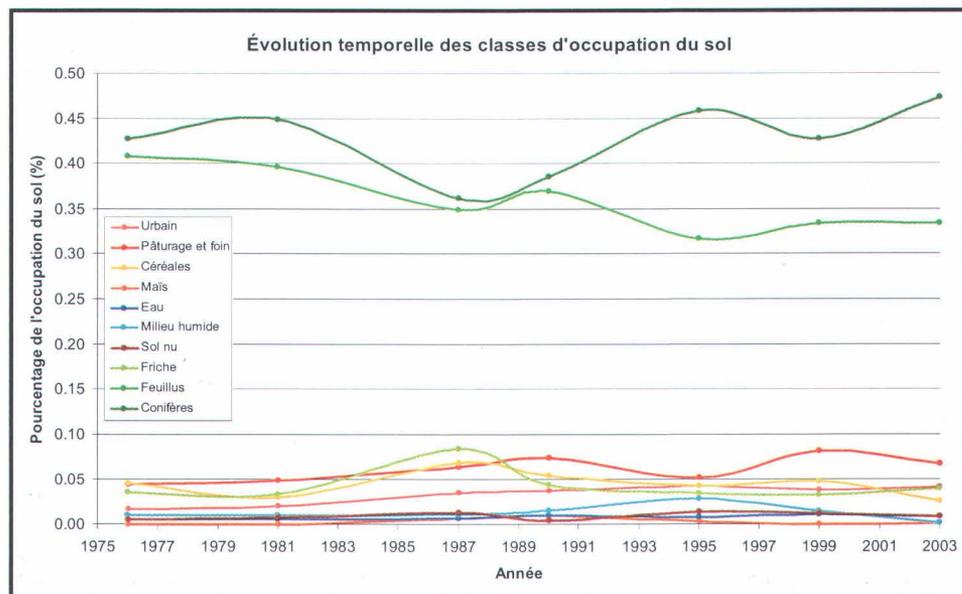
*Sous bassin versant : Du Loup***Tableau C.5.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Du Loup.

classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	0,87%	1,48%	2,31%	2,52%	1,44%	2,32%	2,16%
Pâturage et foin	2,42%	1,45%	4,05%	4%	3,13%	5,65%	3,73%
Céréales	2,74%	1,39%	5,42%	5,35%	2,12%	2,39%	1,94%
Maïs	0,02%	0,01%	0,34%	0,45%	0,08%	0,30%	0,13%
Eau	0,90%	0,96%	0,87%	1,12%	1,35%	1,12%	1,13%
Milieu humide	0,82%	0,78%	0,59%	0,76%	0,69%	1,50%	0,05%
Sol nu	0,59%	0,46%	1,82%	0,65%	2,14%	0,67%	0,73%
Friche	3,77%	2,63%	8,47%	6,24%	12,12%	4,10%	3,31%
Feuillus	37,34%	41,62%	42,71%	40,52%	47,09%	47,44%	47,28%
Conifères	50,52%	49,23%	33,42%	38,39%	29,84%	34,51%	39,53%

**Figure C.5.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Du Loup.

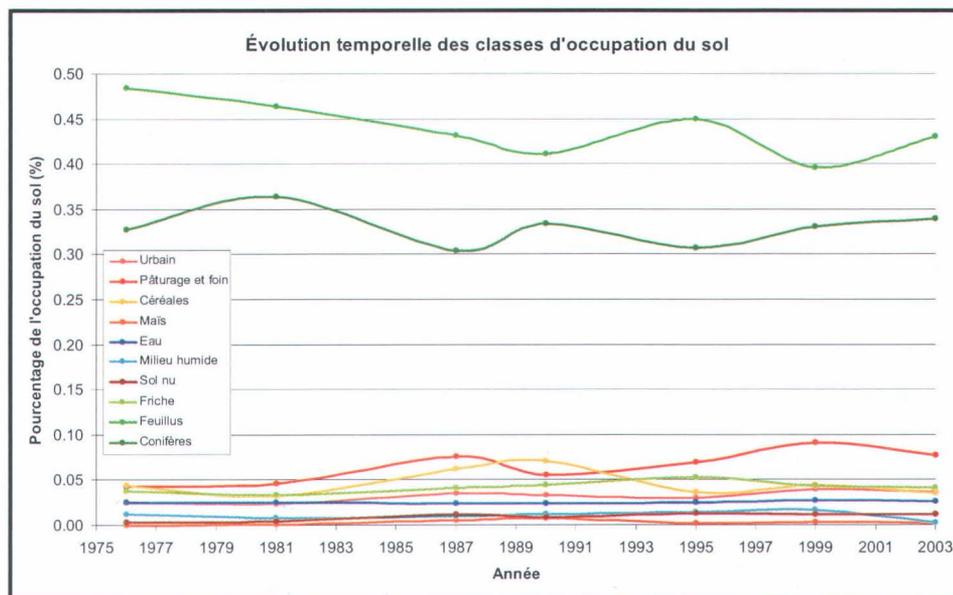
**Sous bassin versant : Famine**
**Tableau C.6.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Famine.

classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	1,72%	2,04%	3,54%	3,74%	4,31%	3,90%	4,16%
Pâturage et foin	4,56%	4,91%	6,46%	7,37%	5,23%	8,14%	6,72%
Céréales	4,63%	3%	6,92%	5,52%	4,32%	4,88%	2,62%
Maïs	0%	0,02%	0,64%	0,97%	0,28%	0%	0,08%
Eau	0,58%	0,59%	0,64%	1%	0,75%	1,02%	0,87%
Milieu humide	0,97%	0,95%	1,06%	1,45%	2,79%	1,38%	0,13%
Sol nu	0,56%	0,79%	1,32%	0,47%	1,41%	1,15%	0,84%
Friche	3,57%	3,29%	8,36%	4,39%	3,44%	3,17%	3,93%
Feuillus	40,76%	39,58%	34,86%	36,95%	31,65%	33,41%	33,36%
Conifères	42,66%	44,84%	36,21%	38,49%	45,83%	42,70%	47,28%


**Figure C.6.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Famine.

*Sous bassin versant : Haute-Chaudière***Tableau C.7.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Haute-Chaudière.

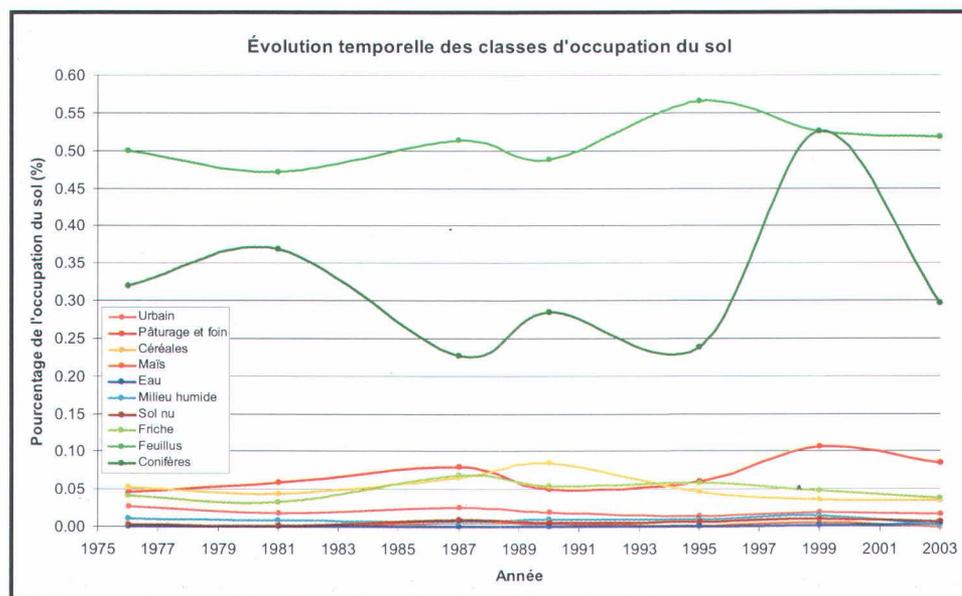
classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	2,55%	2,40%	3,55%	3,35%	2,97%	3,95%	3,67%
Pâturage et foin	4,32%	4,61%	7,62%	5,59%	6,93%	9,11%	7,70%
Céréales	4,41%	3,26%	6,25%	7,11%	3,68%	4,39%	3,50%
Maïs	0,03%	0,07%	0,54%	0,79%	0,22%	0,30%	0,21%
Eau	2,43%	2,45%	2,34%	2,38%	2,48%	2,68%	2,57%
Milieu humide	1,16%	0,70%	0,97%	1,22%	1,39%	1,58%	0,25%
Sol nu	0,30%	0,42%	1,19%	0,81%	1,33%	1,13%	1,13%
Friche	3,71%	3,32%	4,05%	4,36%	5,27%	4,29%	4,04%
Feuillus	48,41%	46,38%	43,18%	41,05%	45,01%	39,54%	43,02%
Conifères	32,68%	36,38%	30,32%	33,34%	30,72%	33,05%	33,92%

**Figure C.7.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Haute-Chaudière.

*Sous bassin versant : Samson*

**Tableau C.8.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Samson.

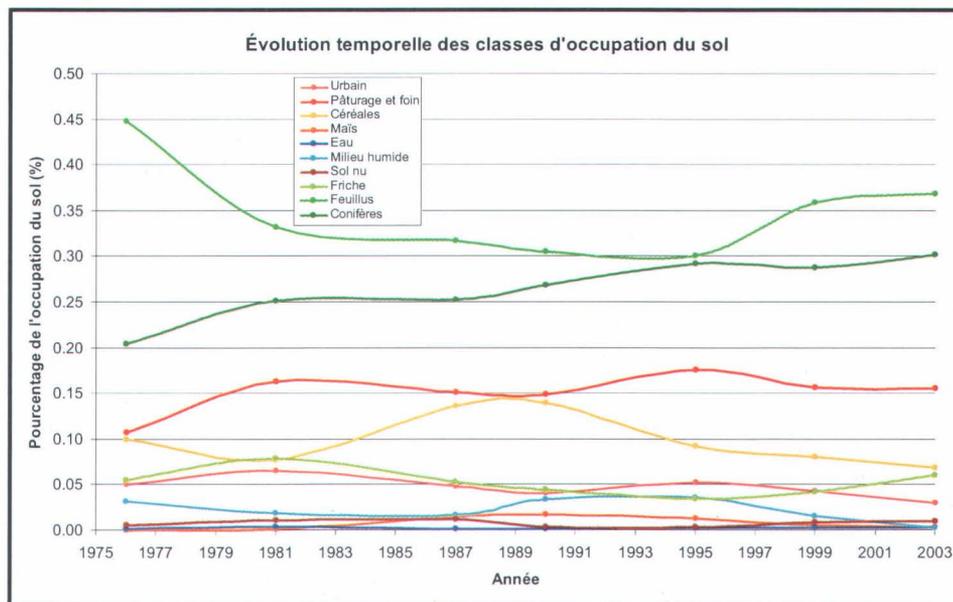
classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	2,64%	1,76%	2,56%	1,88%	1,48%	1,91%	1,71%
Pâturage et foin	4,64%	5,89%	7,97%	4,98%	6,06%	10,72%	8,56%
Céréales	5,30%	4,32%	6,57%	8,51%	4,68%	3,60%	3,52%
Maïs	0,05%	0,06%	0,56%	0,45%	0,17%	0,56%	0,05%
Eau	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%	0,17%	0,22%
Milieu humide	1,08%	0,74%	0,59%	0,88%	0,94%	1,42%	0,13%
Sol nu	0,24%	0,12%	0,86%	0,49%	0,69%	1%	0,59%
Friche	4,15%	3,19%	6,76%	5,47%	5,73%	4,76%	3,78%
Feuillus	49,95%	47,11%	51,39%	48,83%	56,47%	52,51%	51,78%
Conifères	31,95%	36,78%	22,72%	28,49%	23,76%	52,51%	29,66%



**Figure C.8.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Samson.

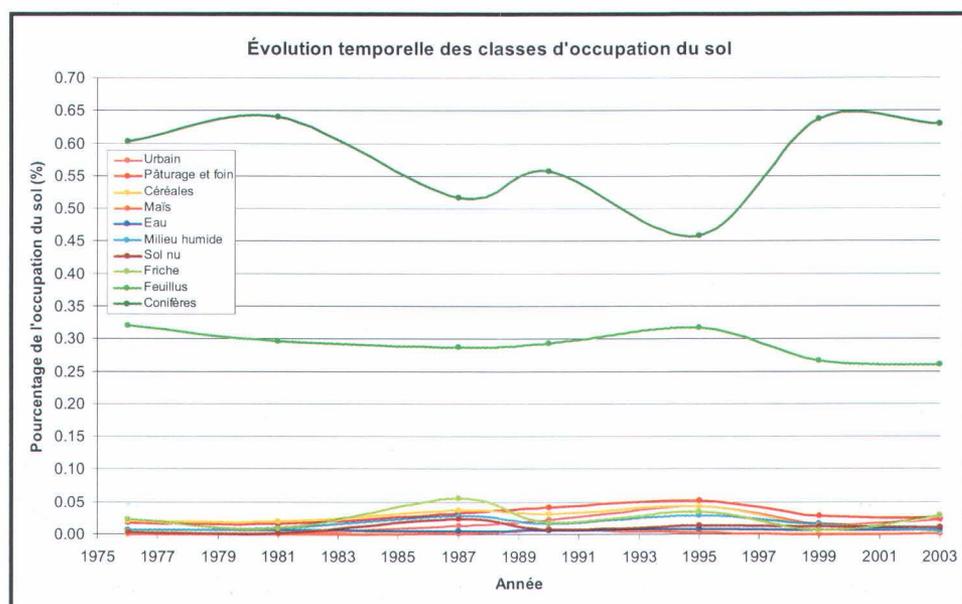
*Sous bassin versant : Tring***Tableau C.9.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Tring.

classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	5,08%	6,53%	4,80%	4,05%	5,28%	4,30%	3,03%
Pâturage et foin	10,73%	16,31%	15,18%	14,93%	17,60%	15,69%	15,51%
Céréales	9,95%	7,72%	13,58%	13,99%	9,26%	8,04%	6,87%
Maïs	0,05%	0,10%	1,51%	1,72%	1,26%	0,57%	0,27%
Eau	0,07%	0,35%	0,09%	0,08%	0,18%	0,24%	0,18%
Milieu humide	3,12%	1,83%	1,62%	3,34%	3,53%	1,45%	0,18%
Sol nu	0,49%	1,05%	1,16%	0,28%	0,29%	0,87%	0,98%
Friche	5,43%	7,79%	5,29%	4,41%	3,45%	4,23%	5,99%
Feuillus	44,72%	33,19%	31,63%	30,43%	30,01%	35,87%	36,80%
Conifères	20,35%	25,13%	25,17%	26,78%	29,14%	28,73%	30,19%

**Figure C.9.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Tring.

**Sous bassin versant : Veilleux**
**Tableau C.10.** Évolution temporelle du pourcentage d'occupation du sol pour le sous bassin versant Veilleux.

classes thématiques	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
Urbain	0,26%	0,21%	1,37%	2,31%	4,31%	1,66%	2,29%
Pâturage et foin	1,78%	1,67%	3,27%	4,15%	5,24%	2,92%	2,60%
Céréales	2,06%	2,01%	3,76%	3,15%	4,32%	1,32%	1,08%
Maïs	0,01%	0%	0,11%	0,64%	0,28%	0,05%	0,08%
Eau	0,54%	0,53%	0,51%	0,53%	0,75%	0,56%	0,55%
Milieu humide	0,56%	0,95%	2,87%	1,71%	2,79%	1,56%	0,50%
Sol nu	0,34%	0,16%	2,34%	0,68%	1,41%	1,13%	1,02%
Friche	2,24%	0,88%	5,49%	1,84%	3,44%	0,58%	2,88%
Feuillus	32%	29,55%	28,62%	29,26%	31,65%	26,58%	26%
Conifères	60,22%	64,05%	51,67%	55,74%	45,83%	63,64%	63%


**Figure C.10.** Évolution temporelle de l'occupation des classes thématiques au niveau du sous bassin Veilleux.

## ANNEXE D MATRICES DE TRANSITIONS SELON LES DIFFÉRENTES CLASSES THÉMATIQUES

**Tableau D.1.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1976 à 1981 pour le bassin versant de la rivière Chaudière.

		1981												
1976	Classes	Nulle	Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés	Total
		Nulle	2816247,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Urbain	0,00	13788,06	3827,16	1357,71	107,60	94,77	683,88	137,66	2197,13	3703,16	1601,82	0,00	27498,94
	Pâturage et foin	0,00	1280,47	32111,69	1354,45	73,40	63,56	640,67	142,83	2491,17	5648,50	2150,75	0,00	45957,50
	Céréales	0,00	4125,79	9833,57	19407,31	298,95	176,21	1507,42	279,30	5993,05	9587,08	3293,08	0,00	54501,75
	Maïs	0,00	53,99	103,31	24,78	148,56	1,55	10,18	2,16	34,61	79,26	24,61	0,00	483,00
	Eau	0,00	53,81	49,02	38,96	1,06	7774,38	18,72	14,88	21,35	138,28	182,67	0,00	8293,13
	Milieu humide	0,00	777,51	2329,79	977,75	90,49	37,78	2195,13	97,28	1451,39	2718,73	1180,03	0,00	11855,88
	Sol nu	0,00	382,97	472,38	234,31	29,60	44,28	230,35	771,25	478,62	1098,42	431,52	0,00	4173,69
	Friche	0,00	853,12	2208,67	1142,23	50,71	75,46	647,97	154,80	8068,25	8368,04	4538,64	0,00	26107,88
	Feuillus	0,00	3053,40	6341,58	4107,63	146,38	154,97	2370,26	441,62	6122,41	223721,30	22267,82	0,00	268727,36
	Conifères	0,00	2326,00	3597,99	1547,19	127,14	149,30	1571,94	1139,79	3185,02	18161,02	209667,60	0,00	241472,99
	Non Classifiés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Total</b>	2816247,00	26695,13	60875,14	30192,31	1073,88	8572,25	9876,50	3181,56	30043,01	273223,80	245338,53	0,00	3505319,11

**Tableau D.2.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1981 à 1987 pour le bassin versant de la rivière Chaudière.

		1987													
1981	Classes	Nulle	Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés	Total	
	Nulle	2816247,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2816247,00
	Urbain	0,00	16120,38	2293,65	2953,07	627,65	28,43	463,92	593,30	902,94	904,60	1807,20	0,00	0,00	26695,13
	Pâturage et foin	0,00	1640,60	45496,50	5628,42	1007,12	28,16	714,26	820,64	1543,95	1688,48	2306,99	0,00	0,00	60875,13
	Céréales	0,00	1549,57	2891,64	19877,00	515,54	17,94	598,54	567,19	1079,31	1359,51	1736,07	0,00	0,00	30192,31
	Maïs	0,00	84,11	107,83	171,76	473,94	1,92	22,57	39,07	37,28	51,43	83,98	0,00	0,00	1073,88
	Eau	0,00	148,86	185,01	120,53	30,98	7561,06	58,26	67,90	109,88	138,23	151,54	0,00	0,00	8572,25
	Milieu humide	0,00	577,27	1399,95	1648,24	290,50	10,44	2506,13	295,76	791,00	1264,84	1092,37	0,00	0,00	9876,50
	Sol nu	0,00	231,07	312,79	306,86	46,75	11,47	90,78	1017,81	460,57	287,81	415,64	0,00	0,00	3181,56
	Friche	0,00	1796,86	4449,89	5472,78	944,29	48,91	613,08	728,79	9269,19	3951,40	2767,82	0,00	0,00	30043,00
	Feuillus	0,00	6396,45	13502,19	17505,38	2610,01	153,53	4107,01	3562,88	9230,89	197886,10	18269,32	0,00	0,00	273223,75
	Conifères	0,00	2717,97	4752,79	6646,99	637,87	167,19	2290,34	4231,15	11785,69	28024,18	184084,40	0,00	0,00	245338,58
	Non Classifiés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>2816247,00</b>	<b>31263,13</b>	<b>75392,24</b>	<b>60331,03</b>	<b>7184,63</b>	<b>8029,06</b>	<b>11464,88</b>	<b>11924,50</b>	<b>35210,70</b>	<b>235556,59</b>	<b>212715,34</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3505319,09</b>	

**Tableau D.3.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1990 à 1995 pour le bassin versant de la rivière Chaudière.

		1995													
1990	Classes	Nulle	Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés	Total	
	Nulle	2816247,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2816247,00
	Urbain	0,00	19452,63	1446,38	770,10	189,74	80,41	866,08	551,07	1284,34	3371,27	2641,30	0,00	0,00	30653,32
	Pâturage et foin	0,00	2028,20	46586,31	3436,73	824,60	129,80	1873,41	1016,26	2940,29	7509,24	5234,98	0,00	0,00	71579,80
	Céréales	0,00	2355,65	9672,26	32664,00	721,47	133,56	1824,49	983,54	3871,86	7999,56	4014,48	0,00	0,00	64240,87
	Maïs	0,00	607,76	1262,82	670,95	1582,06	50,88	468,52	195,20	700,29	1978,05	1340,48	0,00	0,00	8857,00
	Eau	0,00	6,50	6,00	4,18	2,06	8039,06	6,29	14,82	84,23	82,25	47,18	0,00	0,00	8292,56
	Milieu humide	0,00	971,90	1479,71	893,78	247,48	58,92	6369,56	320,68	814,52	2661,21	2262,93	0,00	0,00	16080,69
	Sol nu	0,00	276,31	401,09	197,50	75,94	39,74	188,16	1387,19	489,58	1087,27	475,67	0,00	0,00	4618,44
	Friche	0,00	959,79	3475,84	1477,66	249,02	60,16	820,01	542,66	15257,25	4550,69	2662,60	0,00	0,00	30055,69
	Feuillus	0,00	1416,94	2341,86	1396,88	238,40	130,37	1347,25	1999,53	5997,08	204020,80	10072,51	0,00	0,00	228961,62
	Conifères	0,00	1192,02	2125,04	1051,42	182,80	317,79	969,92	1916,55	5136,75	16662,26	196177,50	0,00	0,00	225732,05
	Non Classifiés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>2816247,00</b>	<b>29267,69</b>	<b>68797,31</b>	<b>42563,19</b>	<b>4313,56</b>	<b>9040,69</b>	<b>14733,69</b>	<b>8927,50</b>	<b>36576,19</b>	<b>249922,60</b>	<b>224929,63</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3505319,04</b>	

Tableau D.4. Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1995 à 1999 pour le bassin versant de la rivière Chaudière.

		1999													
1995	Classes	Nulle	Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés	Total	
	Nulle	2816247,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2816247,00
	Urbain	0,00	20690,00	1947,87	1385,16	228,61	73,47	527,29	353,17	784,90	2102,54	1174,67	0,00	0,00	29267,69
	Pâturage et foin	0,00	1303,25	52565,56	5654,23	676,39	60,94	863,79	528,77	2150,88	3077,81	1915,71	0,00	0,00	68797,31
	Céréales	0,00	1371,25	5571,42	26985,44	718,34	63,49	1072,27	432,86	1679,39	3179,50	1489,23	0,00	0,00	42563,19
	Maïs	0,00	293,30	593,17	592,43	1128,69	23,36	264,62	92,02	308,53	739,45	278,00	0,00	0,00	4313,56
	Eau	0,00	79,60	76,73	36,29	10,30	8295,94	57,51	41,42	27,33	154,38	261,21	0,00	0,00	9040,69
	Milieu humide	0,00	1227,11	1503,49	1255,55	185,63	67,06	5711,75	440,32	647,92	2358,67	1336,21	0,00	0,00	14733,69
	Sol nu	0,00	443,86	1562,05	520,98	97,85	40,51	358,72	2048,13	695,16	2052,28	1107,96	0,00	0,00	8927,50
	Friche	0,00	1207,58	5211,57	2333,35	361,85	66,89	961,08	487,83	14102,06	7946,12	3897,86	0,00	0,00	36576,19
	Feuillus	0,00	2934,25	6580,79	3386,24	437,99	211,16	2015,23	1472,65	3175,09	214388,90	15320,29	0,00	0,00	249922,59
	Conifères	0,00	2763,31	4931,65	2430,66	416,74	527,48	2206,80	1181,66	2522,24	8426,71	199522,40	0,00	0,00	224929,65
	Non Classifiés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Total</b>	<b>2816247,00</b>	<b>32313,50</b>	<b>80544,30</b>	<b>44580,32</b>	<b>4262,38</b>	<b>9430,31</b>	<b>14039,06</b>	<b>7078,81</b>	<b>26093,50</b>	<b>244426,35</b>	<b>226303,53</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3505319,05</b>

Tableau D.5. Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) de 1999 à 2003 pour le bassin versant de la rivière Chaudière.

		2003													
1999	Classes	Nulle	Urbain	Pâturage et foin	Céréales	Maïs	Eau	Milieu humide	Sol nu	Friche	Feuillus	Conifères	Non Classifiés	Total	
	Nulle	2816247,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2816247,00
	Urbain	0,00	21592,56	1616,11	996,97	308,48	115,76	221,00	480,04	975,15	3748,77	2258,66	0,00	0,00	32313,50
	Pâturage et foin	0,00	2121,98	53971,75	4623,45	884,52	173,86	104,55	1028,45	3008,67	9663,68	4963,42	0,00	0,00	80544,32
	Céréales	0,00	1750,37	5820,60	24554,38	744,82	187,60	102,45	650,49	2313,58	5691,56	2764,47	0,00	0,00	44580,32
	Maïs	0,00	318,53	557,33	614,76	1287,13	26,99	9,12	135,78	218,44	584,28	510,04	0,00	0,00	4262,38
	Eau	0,00	53,94	68,60	37,94	9,72	8391,69	3,74	46,32	46,50	291,56	480,31	0,00	0,00	9430,31
	Milieu humide	0,00	1037,06	1531,35	1076,99	528,90	139,41	1874,31	411,30	912,97	3718,09	2808,69	0,00	0,00	14039,06
	Sol nu	0,00	446,74	649,52	388,49	71,35	59,08	37,87	1835,13	616,99	2041,20	932,45	0,00	0,00	7078,81
	Friche	0,00	993,49	2252,88	1503,12	373,95	99,19	51,77	472,30	10369,25	6221,84	3755,73	0,00	0,00	26093,50
	Feuillus	0,00	2013,58	3050,47	2356,06	438,24	161,72	142,98	1038,34	3559,51	212398,30	19267,24	0,00	0,00	244426,43
	Conifères	0,00	2090,57	2509,72	2111,05	427,89	293,91	303,66	1318,36	2748,26	15118,46	199381,60	0,00	0,00	226303,47
	Non Classifiés	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Total</b>	<b>2816247,00</b>	<b>32418,81</b>	<b>72028,32</b>	<b>38263,19</b>	<b>5075,00</b>	<b>9649,19</b>	<b>2851,44</b>	<b>7416,50</b>	<b>24769,31</b>	<b>259477,74</b>	<b>237122,60</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3505319,10</b>



## ANNEXE E MATRICES DE TRANSITIONS SELON LES DIFFÉRENTS CHAMPS D'OCCUPATION DU SOL

**Tableau E.1.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1976 à 1981.

Classes		1981		
		Récurrence et Confusion		
		Milieu Agricole	Milieu Forestier et arbustif	Autres
1976	Milieu Agricole	62,76%	29,03%	8,21%
	Milieu forestier et arbustif	3,59%	93,99%	2,41%
	Autres	18,36%	29,34%	52,30%

**Tableau E.2.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1981 à 1987.

Classes		1987		
		Récurrence et Confusion		
		Milieu Agricole	Milieu Forestier et arbustif	Autres
1981	Milieu Agricole	82,67%	10,73%	6,60%
	Milieu forestier et arbustif	10,30%	84,81%	4,89%
	Autres	21,14%	17,23%	61,63%

**Tableau E.3.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1990 à 1995.

Classes		1995		
		Récurrence et Confusion		
		Milieu Agricole	Milieu Forestier et arbustif	Autres
1990	Milieu Agricole	67,34%	24,60%	8,06%
	Milieu forestier et arbustif	2,59%	95,01%	2,41%
	Autres	9,58%	25,65%	64,77%

**Tableau E.4.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1995 à 1999.

Classes		1999		
		Récurrence et Confusion		
		Milieu Agricole	Milieu Forestier et arbustif	Autres
1995	Milieu Agricole	81,68%	12,81%	5,51%
	Milieu forestier et arbustif	5,10%	91,76%	3,14%
	Autres	14,22%	20,50%	65,28%

**Tableau E.5.** Matrice de transition de l'occupation du sol (ha) selon les différents champs de 1999 à 2003.

Classes		2003		
		Récurrence et Confusion		
		Milieu Agricole	Milieu Forestier et arbustif	Autres
1999	Milieu Agricole	71,92%	22,97%	5,11%
	Milieu forestier et arbustif	3,02%	95,17%	1,81%
	Autres	11,59%	29,96%	58,46%

## ANNEXE F STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Tableau F.1. Stations météorologiques.

N° de la station	Identité Station	Nom	Latitude	Longitude	Date Début	Date Fin
1	7016900	St-Augustin	4644	7130	01-janv-85	13-sept-89
2	7017BFN	Ste-Foy-PieXII	4647	7119	01-janv-85	31-déc-96
3	7020391	Audet	4539	7044	01-janv-73	31-janv-85
4	7020560	Beauceville	4612	7046	01-janv-65	31-janv-85
5	7020567	Beauséjour	4640	7110	14-août-75	31-déc-01
6	7020865	Broughton Station	4612	7107	01-janv-73	31-août-81
7	7021320	Chartierville	4518	7112	01-janv-85	30-juin-90
8	7022553	Frampton	4626	7050	01-oct-65	31-janv-85
9	7023677	Lac-Mégantic	4535	7054	01-janv-63	31-déc-01
10	7024000	Lambton	4550	7105	01-janv-85	31-mai-94
11	7024920	Milan	4535	7107	01-janv-61	30-janv-02
12	7025212	Mont-Mégantic	4527	7109	01-janv-85	09-oct-89
13	7025670	Notre-Dame-des-Bois	4524	7105	01-janv-73	31-déc-01
14	7026739	Sacré-Cœur-de-Marie	4608	7110	01-janv-65	31-janv-85
15	7026915	Saint-Benoit-Labre	4603	7048	01-sept-65	31-mai-94
16	7026936	Sainte-Cécile	4540	7056	01-mai-65	31-janv-85
17	7027083	Saint-Côme-de-Linière	4603	7031	01-janv-85	31-déc-01
18	7027200	Saint-Ephrem	4604	7058	01-janv-61	31-déc-01
19	7027259	Saint-Flavien	4630	7135	01-janv-63	31-déc-01
20	7027277	Saint-Gédéon	4552	7037	01-sept-65	31-juil-94
21	7027283	Saint-Georges	4609	7042	01-août-63	31-déc-01
22	7027309	Saint-Hilaire-Dorset	4552	7052	01-sept-65	31-juil-91
23	7027382	Saint-Jacques-de-Leeds	4616	7122	01-janv-85	31-mai-94
24	7027391	Saint-Jean-Chrysostome	4643	7113	01-sept-68	31-janv-85
25	7027516	Saint-Ludger	4545	7041	01-janv-85	31-déc-01
26	7027593	Saint-Odilon	4621	7039	01-oct-65	31-mai-94
27	7027656	Saint-Pierre-de-Broughton	4615	7113	01-avr-65	31-déc-01
28	7027660	Saint-Prosper	4613	7030	01-janv-63	31-déc-01
29	7027725	Saint-Sébastien	4546	7057	01-janv-68	31-déc-01
30	7027733	Saint-Séverin	4620	7103	01-janv-85	31-déc-01
31	7027750	Saint-Théophile	4556	7029	01-janv-65	31-déc-01
32	7027785	Saint-Zacharie	4607	7023	01-sept-65	31-mai-94
33	7027840	Scott	4630	7105	01-janv-85	31-déc-01
34	7028441	Thetford-Mines	4606	7121	01-janv-85	31-déc-01
35	7028676	Vallée-Jonction	4623	7056	01-janv-85	13-juil-04
36	7028695	Val-Racine	4529	7104	01-janv-73	31-mai-91
37	7028946	Woburn	4523	7052	01-janv-73	31-janv-97
38	7056930	Sainte-Camille	4629	7013	01-janv-85	30-janv-02
39	7057287	Sainte-Germaine	4625	7028	01-janv-65	31-déc-01
40	7057518	Saint-Malachie	4633	7049	01-janv-85	31-mai-94



## **ANNEXE G PRÉSENTATION DU MODULE HYDROTEL**

---

HYDROTEL est un modèle hydrologique distribué à base physique spécialement conçu pour bénéficier de la télédétection et des systèmes d'information géographique.

Pour certains des processus simulés, HYDROTEL offre la possibilité de choisir différents sous-modèles en fonction des données disponibles. Ainsi, lorsque suffisamment de données sont disponibles sur un bassin donné, il est possible d'utiliser des sous-modèles plus précis basés sur les processus physiques. Dans d'autres cas, lorsque les données se font plus rares, des sous-modèles plus conceptuels et moins gourmands en données sont disponibles. Ceci permet d'appliquer HYDROTEL à une large gamme de bassins, tout en utilisant les données les meilleures.

### **Principaux objectifs**

- La simulation des débits dans chaque cours d'eau d'un bassin versant
- La simulation de la distribution spatiale de diverses variables hydrologiques (exemple: couvert de neige, humidité du sol, etc.) à l'intérieur d'un bassin versant
- La détermination informatisée de la structure d'écoulement et de la base de données physiques d'un bassin versant.

### **Quelques applications**

- L'estimation des effets hydrologiques résultant de modifications des caractéristiques physiques d'un bassin versant (coupe forestière massive, rotation des cultures, barrage,...)
- La prévision des débits en rivière en temps réel en utilisant des prévisions météorologiques
- La simulation de la crue maximale probable de conditions météorologiques critiques de fonte de neige et/ou de précipitation

### **Principales caractéristiques techniques**

- Possibilité d'utiliser des algorithmes de simulation basés sur les processus physiques
- Sélection d'algorithmes pour mieux tenir compte des données disponibles
- Application au plus grand nombre de bassins possible
- Compatibilité avec la télédétection et les systèmes d'information géographique
- Conception facilitant l'addition de nouveaux modules
- Pas de temps de simulation: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 et 24 heures

### **Fonctionnalités principales du logiciel HYDROTEL**

- Simulation spatialisée des processus hydrologiques suivants:
  - l'interpolation des données météorologiques
  - l'évolution et la fonte du couvert nival
  - l'évapotranspiration potentielle
  - le bilan d'eau vertical
  - l'écoulement sur la partie terrestre du bassin
  - l'écoulement dans le réseau hydrographique
- Visualisation cartographique et archivage des variables associées aux processus précités
- Production d'hydrogrammes en divers points du réseau hydrographique

### **Distribution spatiale**

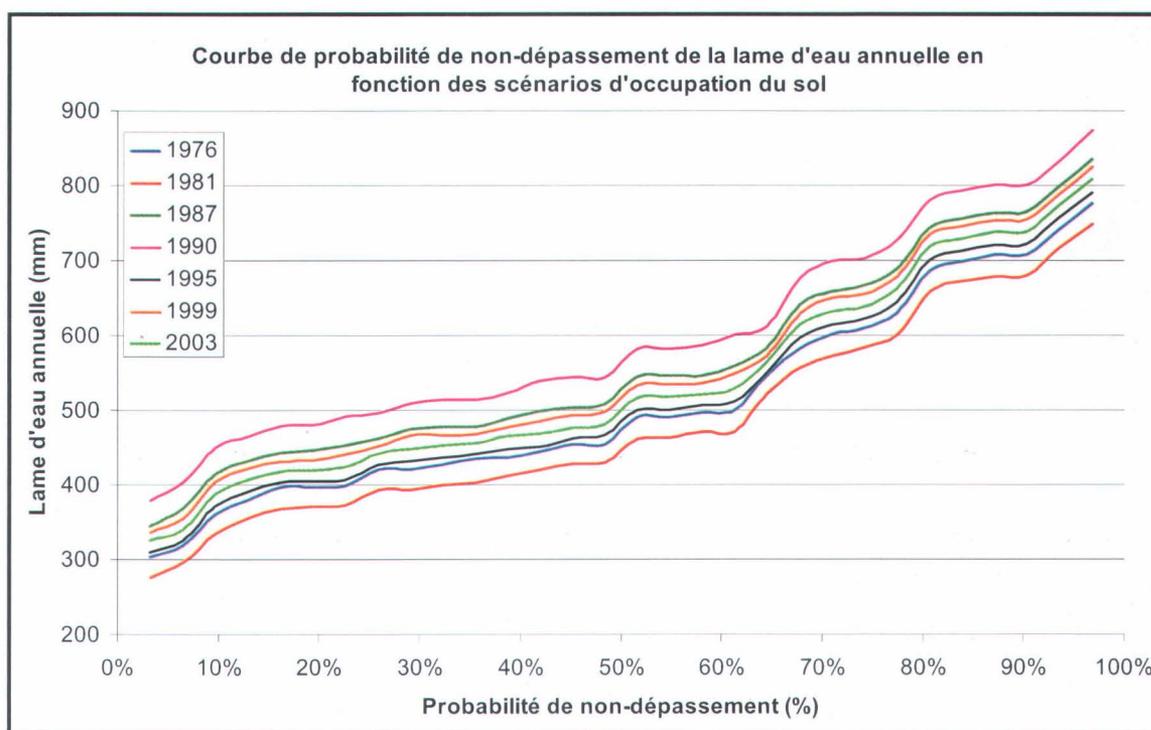
HYDROTEL est un modèle hydrologique distribué. Ceci signifie que les calculs des processus précités sont effectués indépendamment sur des unités hydrologiques relativement homogènes (UHRH) de manière à pouvoir tenir compte de la variabilité spatiale de la topographie, de l'occupation du sol, des types de sols et des variables météorologiques à l'intérieur d'un bassin versant. Pour plus de détail consulter : <http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/hydrotel/fr/hydrotel.htm>

## ANNEXE H PROBABILITÉ DE NON DÉPASSEMENT AU NIVEAU DES SOUS BASSINS

*Sous bassin versant : Beaurivage*

**Tableau H.1.** Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Beaurivage.

	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile 1	421,055188	393,813208	464,980363	500,142698	427,480744	456,105521	442,639291
quartile 2	471,882321	445,842663	525,834862	563,206832	483,644628	516,052402	498,750553
quartile 3	607,701178	581,746383	664,173494	702,580983	620,180187	654,090008	636,936092

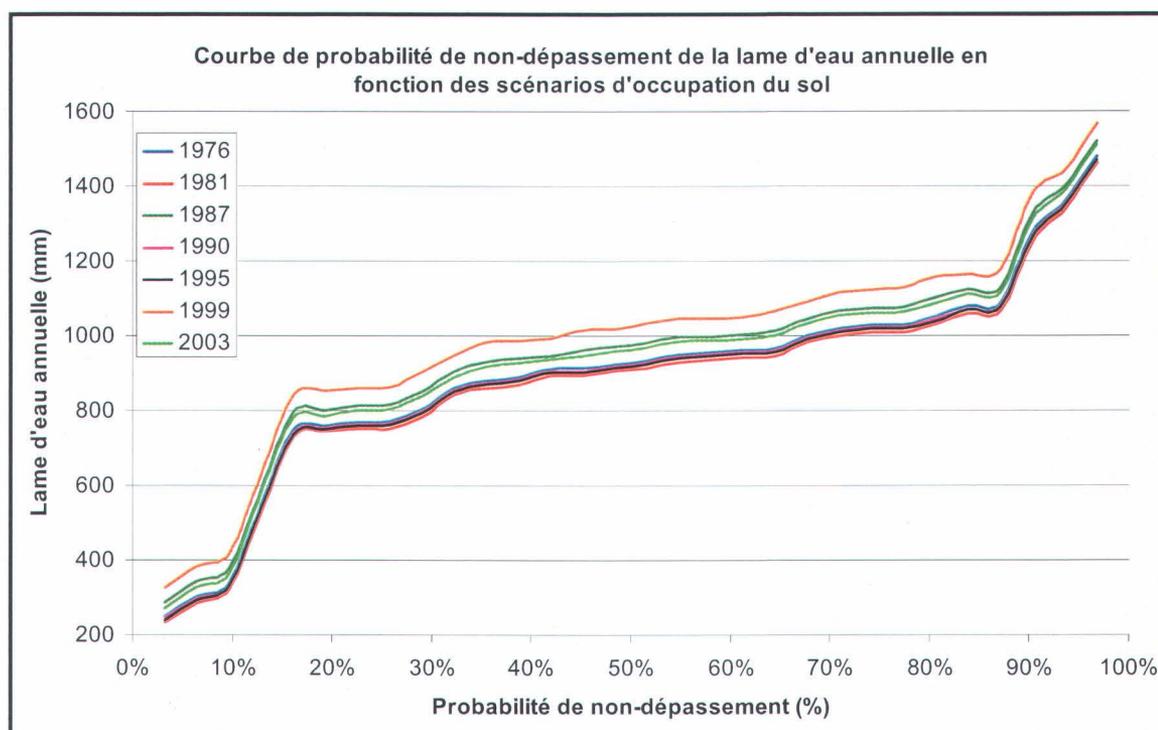


**Figure H.1.** Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Beaurivage.

*Sous bassin versant : Arnold*

**Tableau H.2.** Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Arnold.

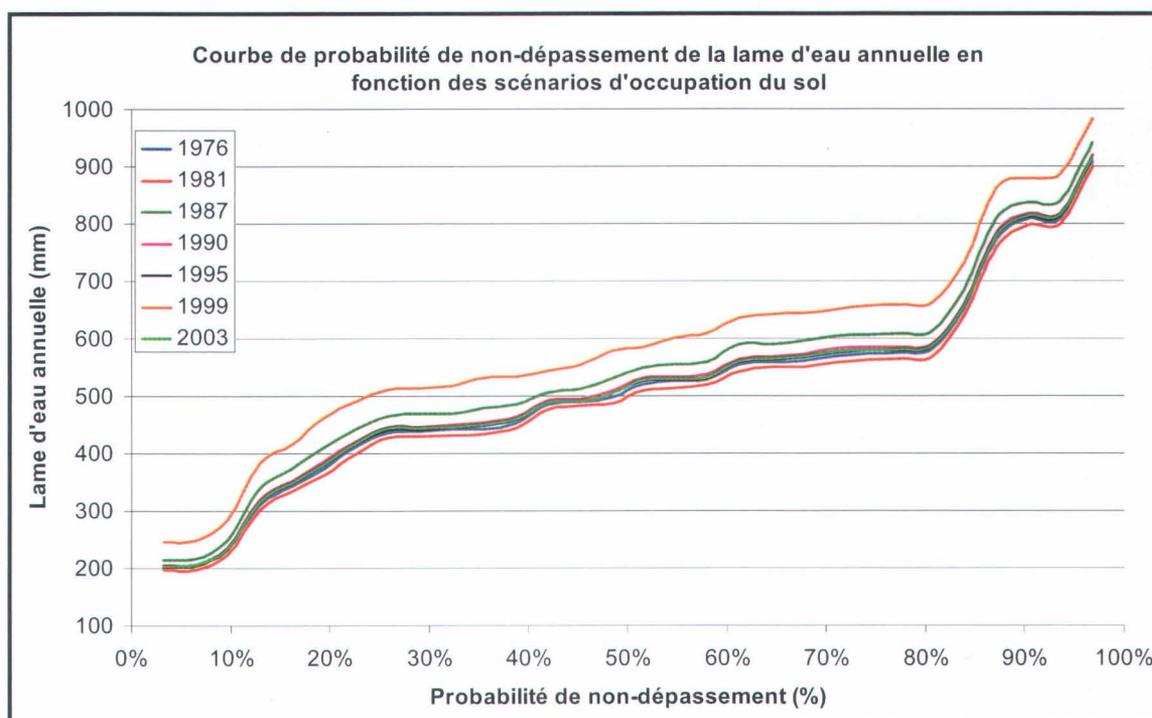
	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile1	779,034287	761,060895	823,646641	771,912232	768,841685	872,661455	811,188523
quartile 2	929,097747	910,686549	976,233815	922,026202	919,839545	1027,53181	962,882343
quartile 3	1026,36074	1007,51973	1071,66607	1018,75538	1016,23554	1122,79014	1059,13358



**Figure H.2.** Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Arnold.

*Sous bassin versant : Araignées***Tableau H.3.** Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Araignées.

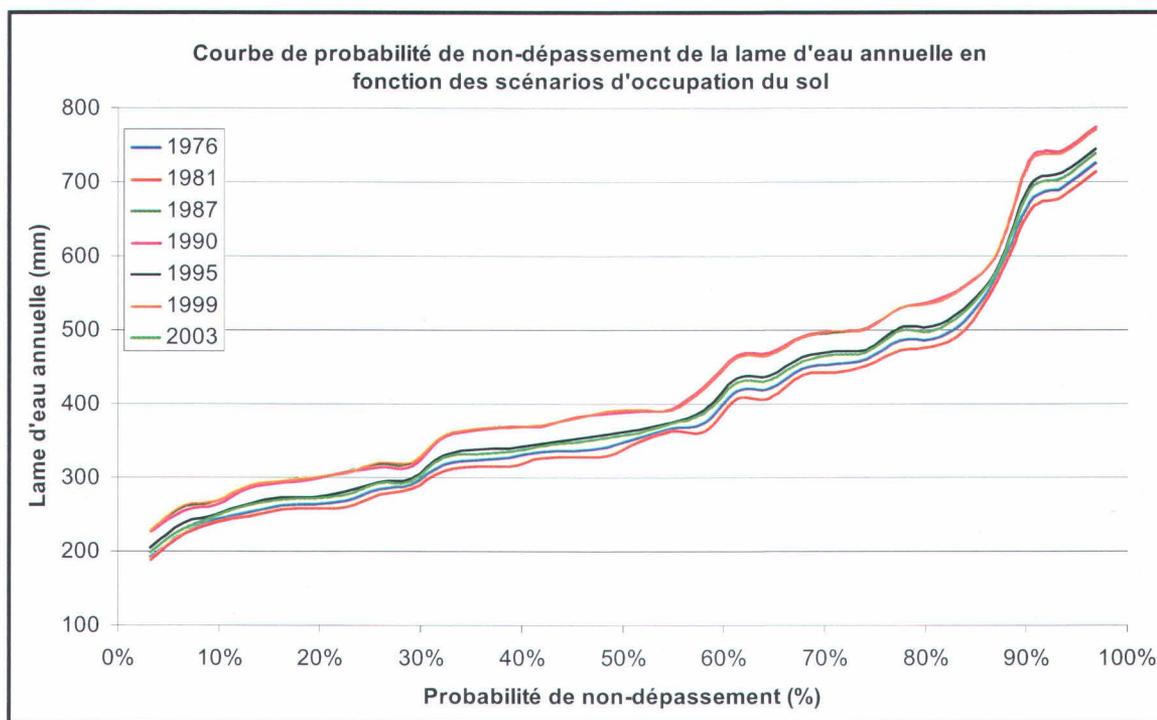
	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile1	437,843299	428,509873	466,224657	446,89372	441,225267	513,363121	444,519244
quartile 2	509,468633	499,680118	539,411369	521,555891	514,663038	583,084965	516,311324
quartile 3	573,140046	562,833935	605,155259	584,594861	578,30316	656,082182	579,246622

**Figure H.3.** Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Araignées.

*Sous bassin versant : Du Loup*

**Tableau H.4.** Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Du Loup.

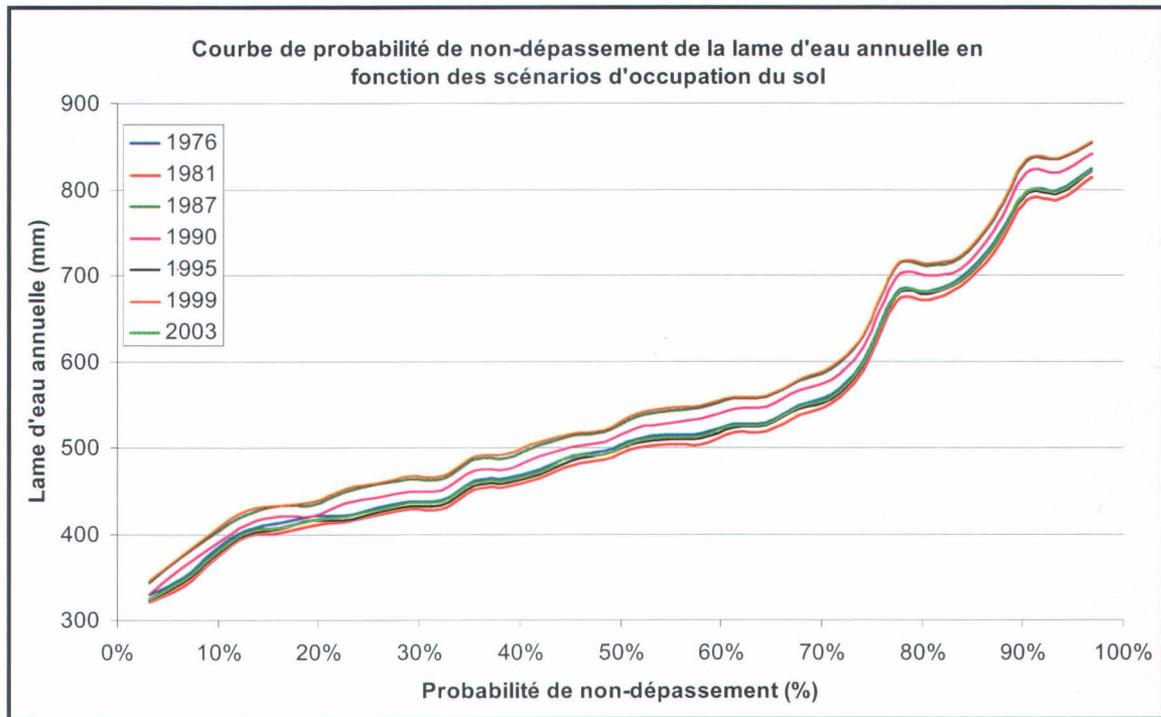
	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile1	285,547269	280,397084	317,191377	314,485839	294,811449	320,100358	292,235056
quartile 2	347,60813	339,557765	390,82567	388,444471	361,976779	391,255493	357,132387
quartile 3	459,311094	450,565042	502,108465	502,001027	472,33367	501,008434	468,797045



**Figure H.4.** Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Du Loup.

*Sous bassin versant : Samson***Tableau H.5.** Représentation des quantiles au niveau du sous bassin Samson.

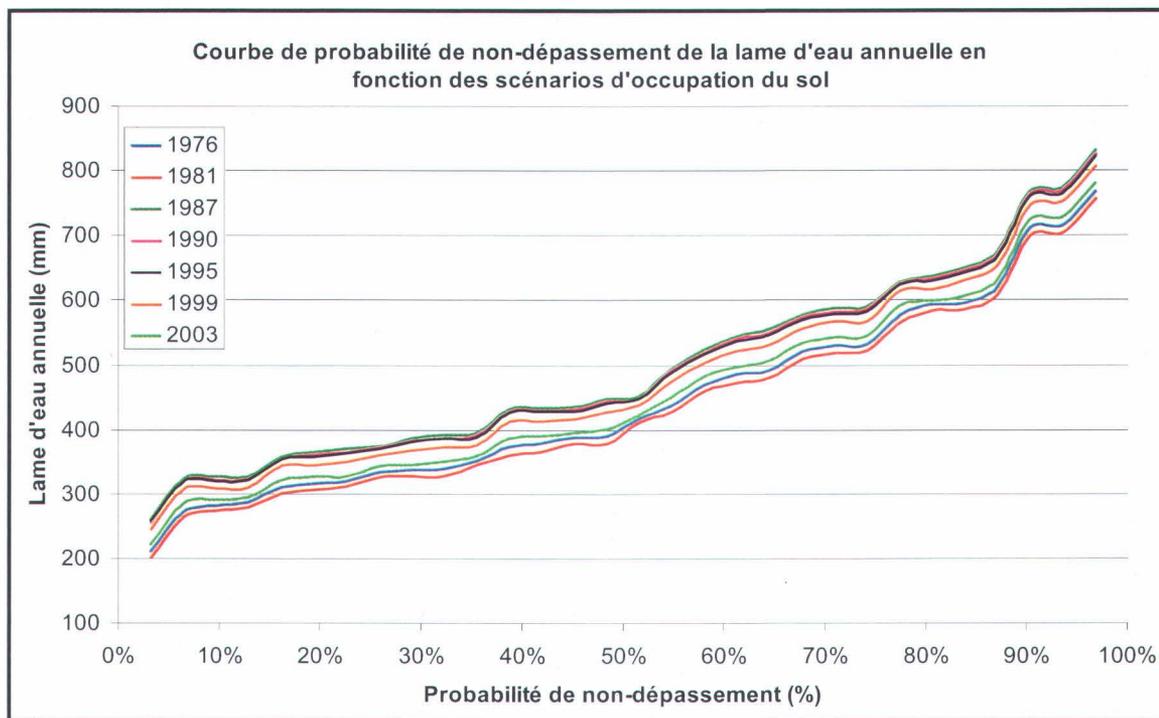
	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile 1	432,577128	423,860939	458,765361	444,100055	427,020648	461,590041	429,715517
quartile 2	502,325401	493,421429	526,445865	515,089174	498,258248	529,79903	500,097192
quartile 3	589,298102	579,88004	619,809111	607,873743	585,529331	621,77411	588,017106

**Figure H.5.** Probabilité de non dépassement au niveau du sous bassin Samson.

*Sous bassins versants : Abénaquis – Veilleux – Famine*

**Tableau H.6.** Représentation des quantiles au niveau des sous bassins Abénaquis – Veilleux - Famine.

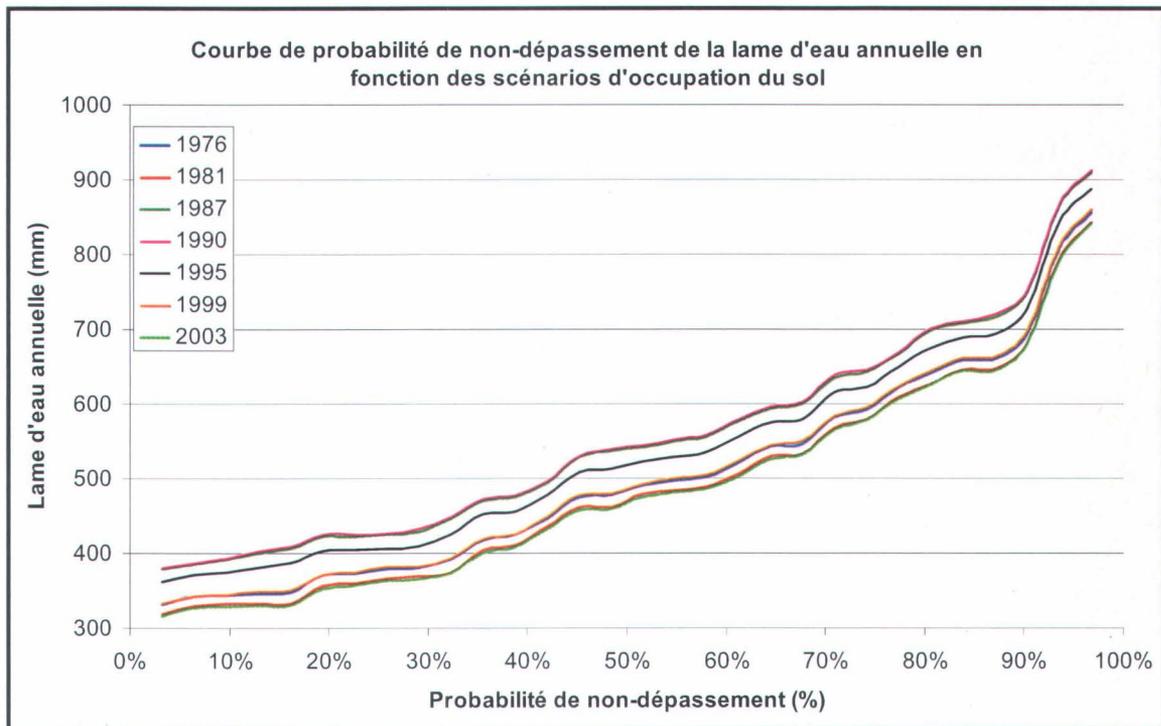
	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile1	335,57904	327,470031	377,27206	374,251513	372,83087	363,668945	343,506503
quartile 2	404,136984	395,454174	450,288936	446,663014	445,023001	433,82613	412,766657
quartile 3	531,583142	522,102335	589,937447	585,910787	581,547141	568,042984	543,782219



**Figure H.6.** Probabilité de non dépassement au niveau des sous bassins Abénaquis – Veilleux - Famine.

*Sous bassins versants : Saint-Victor/Tring***Tableau H.7.** Représentation des quantiles au niveau des sous bassins Saint-Victor/Tring.

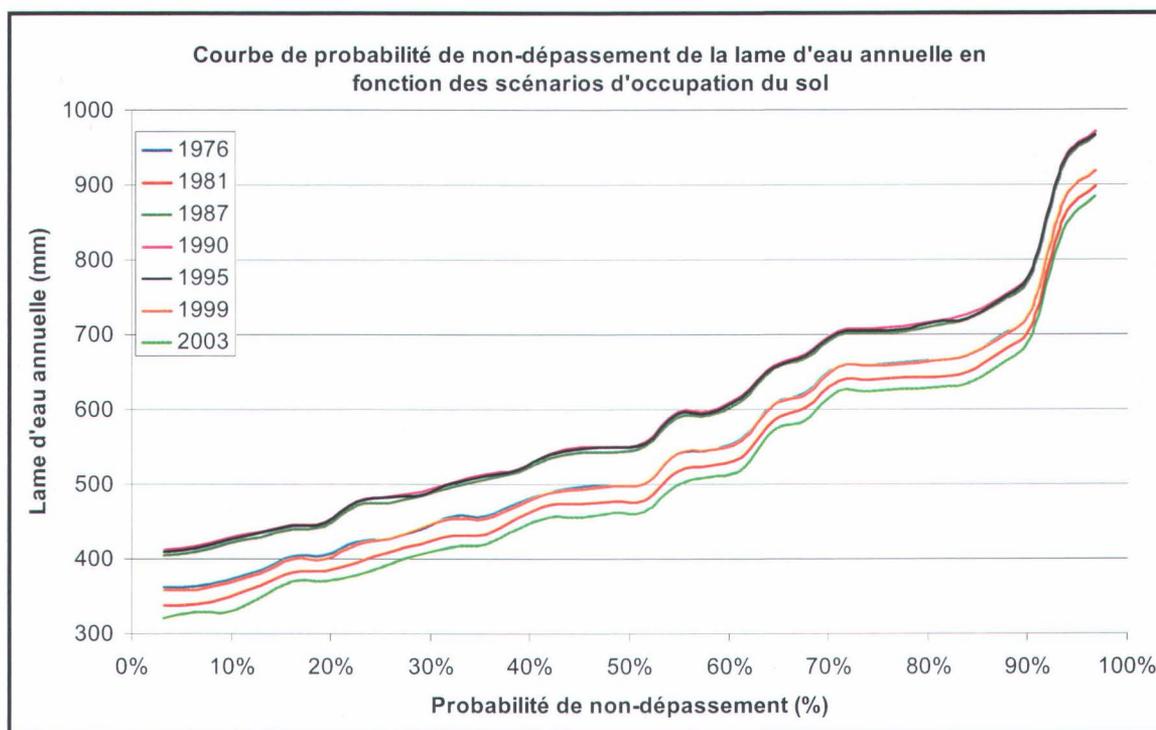
	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile 1	379.292468	367.524844	425.803458	428.846119	407.506041	381.957209	364.277944
quartile 2	484.311343	470.911617	538.472371	542.302193	517.758235	485.97877	466.634077
quartile 3	590.146341	576.816532	641.286596	644.908853	621.071292	592.663319	575.116475

**Figure H.7.** Probabilité de non dépassement au niveau des sous bassins Saint-Victor/Tring.

*Sous bassins versants : Tring*

**Tableau H.8.** Représentation des quantiles au niveau des sous bassins Tring.

	1976	1981	1987	1990	1995	1999	2003
quartile1	430,57833	411,96605	477,637033	485,775867	483,439924	430,653413	395,528308
quartile 2	500,106345	479,068082	546,912079	553,987098	551,719826	500,083661	463,413969
quartile 3	657,594105	638,833305	700,641712	707,436704	704,203325	657,697464	624,166005

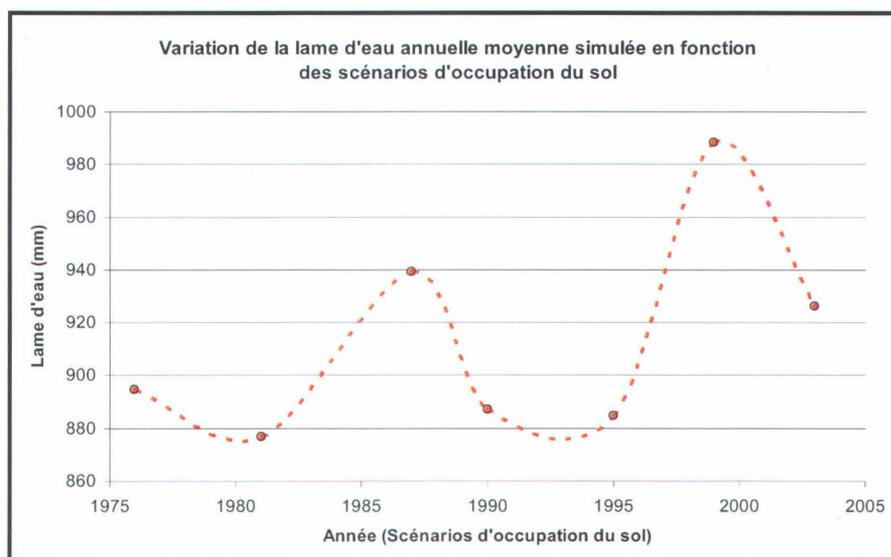


**Figure H.8.** Probabilité de non dépassement au niveau des sous bassins Tring.

## ANNEXE I ÉVOLUTION DE LA LAME D'EAU ANNUELLE SIMULÉE AU NIVEAU DES SOUS BASSINS

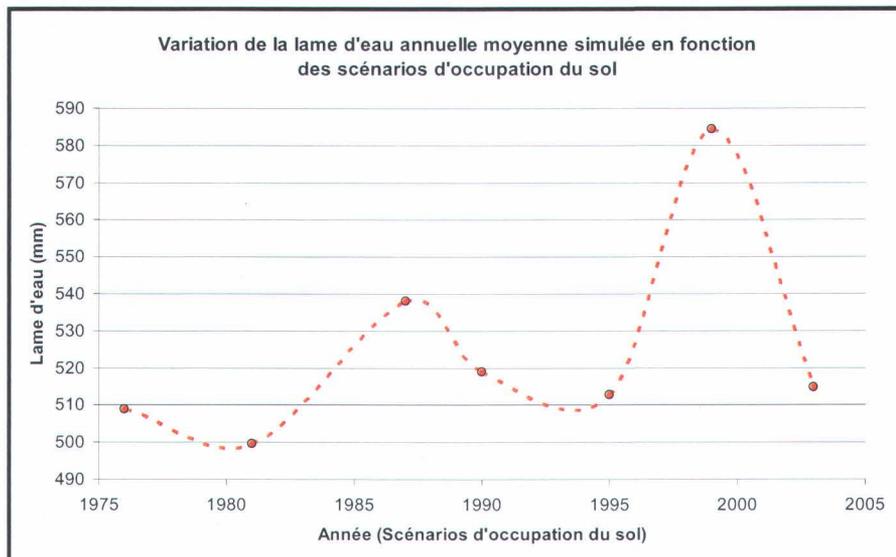
---

*Sous bassin versant : Arnold*



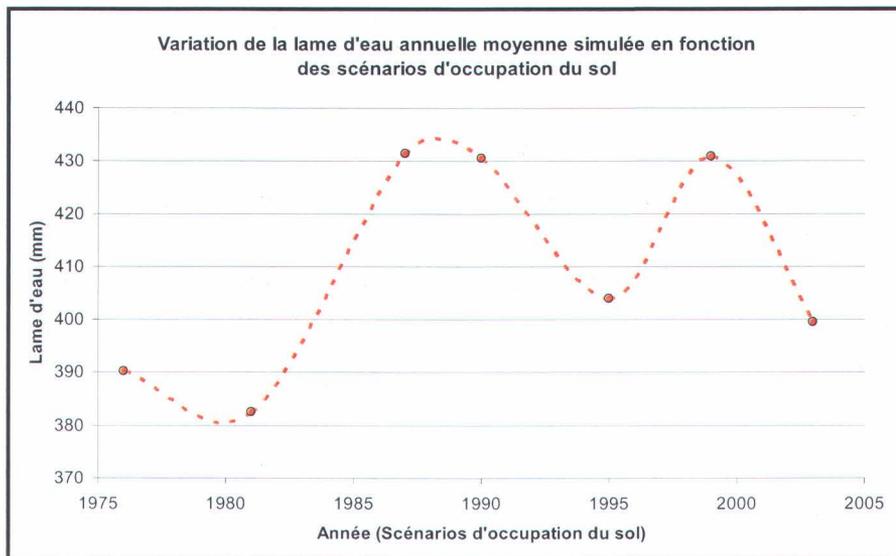
**Figure I.1.** Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Arnold.

*Sous bassin versant : Araignées*

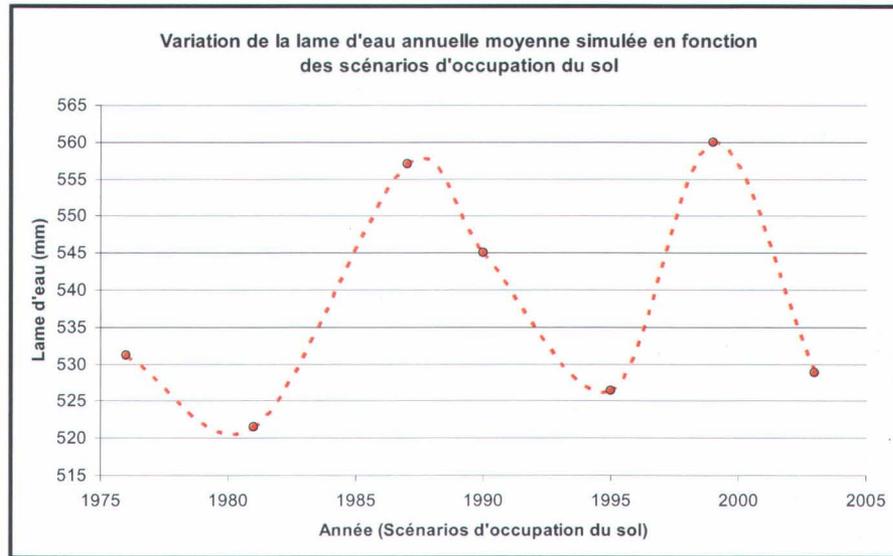


**Figure I.2.** Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Araignées.

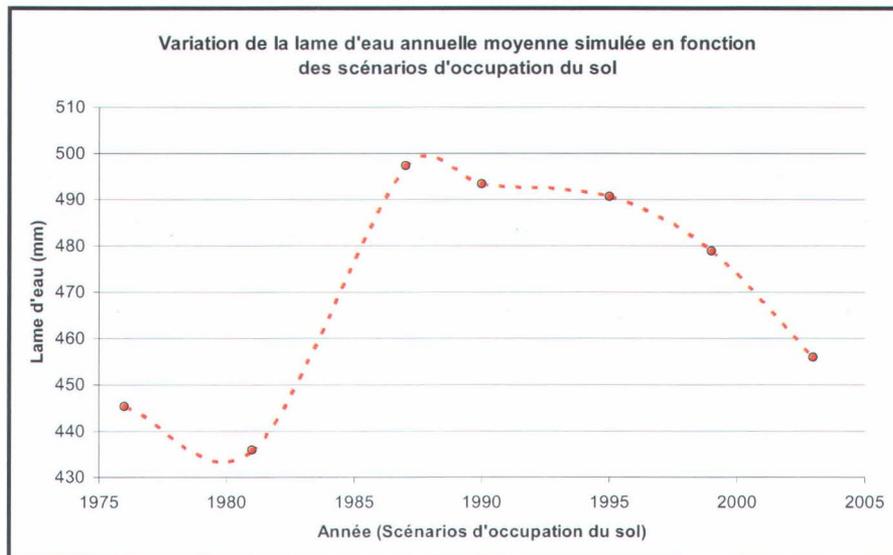
*Sous bassin versant : Du Loup*



**Figure I.3.** Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin DuLoup.

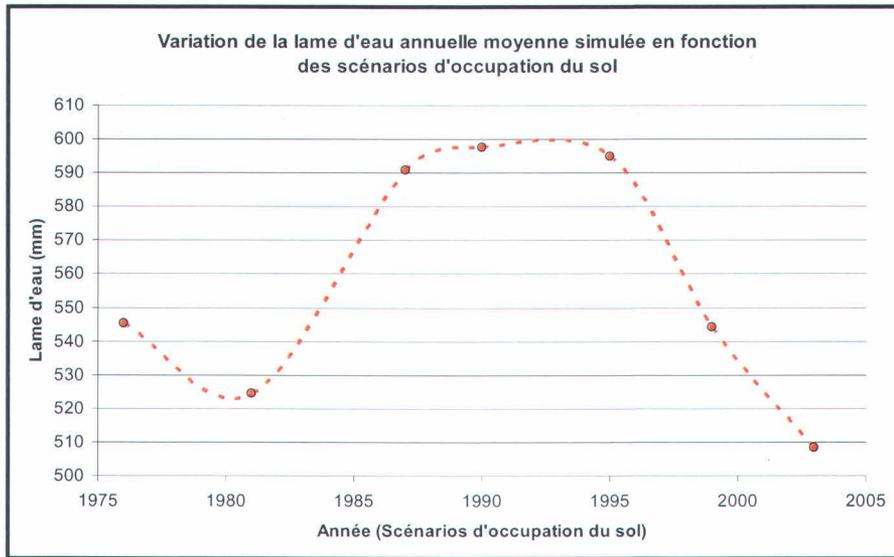
*Sous bassin versant : Samson*

**Figure I.4.** Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Samson.

*Sous bassins versants : Abénaquis – Veilleux – Famine*

**Figure I.5.** Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau des sous bassins Abénaquis - Veilleux - Famine.

*Sous bassin versant : Tring*



**Figure I.6.** Évolution de la lame d'eau moyenne annuelle au niveau du sous bassin Tring.

## **ANNEXE J PRÉSENTATION DU LOGICIEL HYFRAN**

---

HYFRAN est un logiciel d'ajustement de lois statistiques comprenant un ensemble d'outils mathématiques puissants, conviviaux et flexibles permettant en particulier l'analyse statistique d'événements extrêmes et de manière plus générale l'analyse statistique de séries de données.

HYFRAN a été développé à l'Institut National de la Recherche Scientifique - Eau Terre et Environnement (INRS-ETE) de l'Université du Québec avec le parrainage d'Hydro-Québec (le principal producteur d'énergie d'origine hydroélectrique au monde) et du Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG).

Initialement conçu pour l'analyse de fréquence des événements extrêmes. HYFRAN peut être utilisé dans toute étude requérant l'ajustement de distribution statistique à une série de données indépendantes et identiquement distribuées, et ce, dans des domaines professionnels aussi variés que l'ingénierie, l'environnement, la météorologie, la médecine, etc....

HYFRAN a été développé par l'équipe du Pr. B. Bobée, qui a plus de 30 années d'expérience en hydrologie statistique. Le Pr. B. Bobée et son groupe de recherche contribuent activement à la recherche dans l'analyse de fréquence des événements extrêmes dans le cadre des activités de la Chaire en Hydrologie statistique (Hydro-Québec / CRSNG / Alcan) établie à l'INRS-Eau Terre et Environnement depuis 1993.

Pour plus de détail consulter le site internet :

[http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupe/chaire\\_hydrol/hyfran.html](http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/groupe/chaire_hydrol/hyfran.html)



## ANNEXE K COEFFICIENTS DE CORRÉLATION ET DE DÉTERMINATION ENTRE LES DIFFÉRENTS DÉBITS D'ÉTIAGE ET L'OCCUPATION DU SOL AU NIVEAU DES SOUS BASSINS

---

*Sous bassin versant : Arnold*

**Tableau K.1.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	41.75%	-11.88%	-26.36%
Coefficient de détermination	17.43%	1.41%	6.95%

**Tableau K.2.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	29.66%	-10.00%	-15.56%
Coefficient de détermination	8.79%	1.00%	2.42%

**Tableau K.3.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.

toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	-3.91%	32.17%	-61.21%
Coefficient de détermination	0.15%	10.35%	37.46%

**Tableau K.4.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	91.44%	-97.41%	88.71%
Coefficient de détermination	83.61%	94.89%	78.69%

**Tableau K.5.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	86.36%	-86.76%	73.02%
Coefficient de détermination	74.59%	75.28%	53.31%

**Tableau K.6.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Arnold.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	3.29%	-2.38%	0.78%
Coefficient de détermination	0.11%	0.06%	0.01%

*Sous bassin versant : Araignées*

**Tableau K.7.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	96.28%	-90.58%	79.59%
Coefficient de détermination	92.69%	82.04%	63.35%

**Tableau K.8.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	87.38%	-83.03%	73.73%
Coefficient de détermination	76.36%	68.93%	54.36%

**Tableau K.9.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	97.28%	-91.87%	81.05%
Coefficient de détermination	94.63%	84.39%	65.70%

**Tableau K.10.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	96.66%	-89.93%	78.07%
Coefficient de détermination	93.43%	80.87%	60.95%

**Tableau K.11.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>10-7</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	97.37%	-90.85%	79.12%
Coefficient de détermination	94.81%	82.54%	62.60%

**Tableau K.12.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>5-30</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Araignées.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	98.41%	-93.04%	82.19%
Coefficient de détermination	96.85%	86.57%	67.55%

***Sous bassin versant : Du Loup*****Tableau K.13.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>2-7</sub> annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	89.86%	-94.68%	83.96%
Coefficient de détermination	80.74%	89.65%	70.49%

**Tableau K.14.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>10-7</sub> annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	79.74%	-82.11%	68.27%
Coefficient de détermination	63.59%	67.41%	46.61%

**Tableau K.15.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>5-30</sub> annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	87.02%	-91.26%	79.85%
Coefficient de détermination	75.73%	83.29%	63.76%

**Tableau K.16.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>2-7</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	82.75%	-88.49%	81.71%
Coefficient de détermination	68.48%	78.31%	66.77%

**Tableau K.17.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	71.53%	-76.47%	70.74%
Coefficient de détermination	51.16%	58.48%	50.04%

**Tableau K.18.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Du Loup.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	75.29%	-82.35%	80.48%
Coefficient de détermination	56.69%	67.82%	64.77%

***Sous bassin versant : Samson***

**Tableau K.19.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	70.41%	38.84%	62.60%
Coefficient de détermination	49.58%	15.09%	39.19%

**Tableau K.20.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	49.74%	34.88%	70.89%
Coefficient de détermination	24.74%	12.17%	50.25%

**Tableau K.21.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.

toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	21.01%	17.62%	41.97%
Coefficient de détermination	4.42%	3.10%	17.62%

**Tableau K.22.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	83.10%	53.67%	58.05%
Coefficient de détermination	69.05%	28.81%	33.70%

**Tableau K.23.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>10-7</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	67.15%	52.34%	74.62%
Coefficient de détermination	45.10%	27.40%	55.69%

**Tableau K.24.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>5-30</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Samson.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	33.55%	-12.48%	64.85%
Coefficient de détermination	11.25%	1.56%	42.05%

***Sous bassins versants : Abénaquis – Veilleux – Famine*****Tableau K.25.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>2-7</sub> annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	95.59%	-95.43%	75.87%
Coefficient de détermination	91.37%	91.06%	57.56%

**Tableau K.26.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>10-7</sub> annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	87.71%	-84.07%	62.66%
Coefficient de détermination	76.93%	70.69%	39.26%

**Tableau K.27.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>5-30</sub> annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	92.17%	-98.77%	86.68%
Coefficient de détermination	84.96%	97.56%	75.13%

**Tableau K.28.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>2-7</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	92.83%	-98.53%	85.40%
Coefficient de détermination	86.18%	97.07%	72.94%

**Tableau K.29.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	85.53%	-82.09%	61.32%
Coefficient de détermination	73.16%	67.40%	37.60%

**Tableau K.30.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Abénaquis-Veilleux-Famine.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	81.71%	-97.04%	95.85%
Coefficient de détermination	66.76%	94.17%	91.88%

***Sous bassins versants : Tring***

**Tableau K.31.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	94.79%	-89.10%	20.28%
Coefficient de détermination	89.85%	79.40%	4.11%

**Tableau K.32.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{10-7}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	-4.04%	37.51%	-84.76%
Coefficient de détermination	0.16%	14.07%	71.84%

**Tableau K.33.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{5-30}$  annuel et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.

Toute l'année	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	87.14%	-95.13%	51.53%
Coefficient de détermination	75.94%	90.50%	26.55%

**Tableau K.34.** Coefficient de corrélation et de détermination entre  $Q_{2-7}$  estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	96.97%	-89.99%	17.84%
Coefficient de détermination	94.04%	80.98%	3.18%

**Tableau K.35.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>10-7</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	94.52%	-90.98%	25.59%
Coefficient de détermination	89.34%	82.78%	6.55%

**Tableau K.36.** Coefficient de corrélation et de détermination entre Q<sub>5-30</sub> estival et l'occupation du sol au niveau du sous bassin Tring.

Sans hiver	Milieu agricole	Milieu forestier	Autres
Coefficient de corrélation	75.57%	-88.02%	58.44%
Coefficient de détermination	57.11%	77.47%	34.15%