

3605524E



Environnement Canada
Centre St-Laurent



Gouvernement du Québec
Ministère de la sécurité publique
Direction générale de la sécurité civile

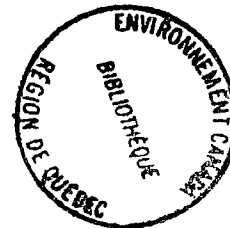
TC
530
T41
Rapport 1
Vol. 1

**Étude de modélisation du bassin
versant de la rivière Chaudière**

Rapport d'étape n° 1

**Les effets du développement sur
le comportement de la rivière**

**Volume 1
État de la situation**



Mars 1993



TECSALT

Tecsult Inc.

experts-conseils / consultants
85, RUE STE-CATHERINE OUEST, MONTRÉAL (QUÉBEC) CANADA

ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

Rapport d'étape # 1

Errata

Avril 1993

- **Page 4-2, tableau 4.1:** la superficie en forêt pour 1989 est de 3950,82 km² (68,73%). Les superficies sont respectivement de 30,96 km² (0,55%) en culture intensive et de 1517,09 km² (26,39%) en culture extensive.
- **Page 4-8, dernier paragraphe:** il faut lire 395 000 ha. au lieu de 375 000 ha., 69% au lieu de 65%.
- **Page 4-10, 3ième paragraphe, deuxième ligne:** il faut lire «Elles sont principalement localisées» au lieu de «Elle est ... localisée».
- **Page 4-14, tableau 4-14:** dans la colonne «Unité de paysage numéro», une flèche pointant vers le bas doit apparaître à l'unité 77.
- **Page 4-15, tableau 4-15:** la dernière ligne du tableau pour l'unité 112 ne devrait pas apparaître. Cette unité est celle du lac Mégantic.
- **Page 5-13, tableau 5.5:** sur l'intensité des coupes forestières, il faut ajouter les deux lignes suivantes:
 - feuillet 21E15SE intensité: 8,9%, écart: + 1,2%, unités de paysage: 50, 51, 60;
 - moyenne du bassin: intensité de 7,7%.
- **À la page donnant les noms et titres des membres de l'équipe:** il faut lire:
 - Frédéric Giroux, ingénieur forestier;
 - Lise Parent, ingénieure forestier;
 - Maurice Carignan, ingénieur forestier.

Ce rapport a été préparé par les professionnels et le personnel technique du Groupe TECSULT dont les noms apparaissent ci-dessous:

- Pierre R. Tremblay, ingénieur - Directeur du projet
- Michel Caron, biologiste - Coordonnateur
- Denis Pinard, ingénieur
- Denis Bellavance, géomorphologue
- Michel Lemieux, géomorphologue
- Maurice Carignan, ingénieur forestier
- Frédéric Giroux, ingénieur forestier
- Lise Parent, ingénieure forestier
- Alain Marcoux, ingénieur agronome (F. Bernard Inc.)
- Gaétan Thibault, ingénieur
- Isabelle Thériault, ingénieure
- Michel Godard, géographe
- Stéphane Chalifoux, géographe
- Paul Hébert, dessinateur DAO
- Lucie Thériault, dessinatrice DAO
- Bénédict Cole, informaticien
- Catherine Mitchell, technicienne
- Renée Dalcourt, secrétaire
- Martine Gagnon, secrétaire

Ce rapport a été préparé par les professionnels et le personnel technique du Groupe TECSULT dont les noms apparaissent ci-dessous:

- Pierre R. Tremblay, ingénieur - Directeur du projet
- Michel Caron, biologiste - Coordonnateur
- Denis Pinard, ingénieur
- Denis Bellavance, géomorphologue
- Michel Lemieux, géomorphologue
- Frédéric Giroux, technicien forestier
- Alain Marcoux, ingénieur agronome (F. Bernard Inc.)
- Gaétan Thibault, ingénieur
- Isabelle Thériault, ingénieure
- Michel Godard, géographe
- Stéphane Chalifoux, géographe
- Paul Hébert, dessinateur DAO
- Lucie Thériault, dessinatrice DAO
- Bénédicte Cole, informaticien
- Lise Parent, technicienne
- Catherine Mitchell, technicienne
- Maurice Carignan, technicien forestier
- Renée Dalcourt, secrétaire
- Martine Gagnon, secrétaire

LISTE DES ABRÉVIATIONS

MRN	:	Ministère des Richesses Naturelles du Québec
MENVIQ	:	Ministère de l'Environnement du Québec
DGSC	:	Direction Générale de la Sécurité Civile
USDA	:	United States Department of Agriculture
SCS	:	Soil Conservation Service, USDA
n	:	coefficient de frottement de Manning
mcs	:	mètres cubes par seconde
cm	:	centimètres
ha	:	hectares
SIRS	:	Système d'Information à Référence Spatiale
CN	:	Curve Number (indice de sensibilité au ruissellement)
MRC	:	Municipalité Régionale de Comtés
MTQ	:	Ministère des Transports du Québec
MFO	:	Ministère des Forêts du Québec
MAPAQ	:	Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec
MLCP	:	Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec

VOLUME 1

TABLE DES MATIÈRES

Page

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

1.0	INTRODUCTION	1-1
1.1	Mandat et objectifs de l'étude	1-1
1.2	Problématique de l'étude des effets du développement	1-2
1.3	Contenu du rapport	1-5
2.0	MÉTHODOLOGIE	2-1
2.1	Méthodologie générale de l'étude	2-1
2.2	Zone d'étude	2-2
2.3	Cartographie intégrée du milieu	2-3
2.4	Utilisation actuelle et historique du territoire	2-5
2.5	Inventaire des pratiques influençant les débits et l'érosion	2-7
2.5.1	Agriculture	2-7
2.5.2	Foresterie	2-8
2.5.3	Urbanisation	2-10
2.6	Méthode de calcul des profils d'Écoulement en rivière	2-12
2.6.1	Cueillette des données	2-12
2.6.2	Étalonnage	2-13
2.6.3	Analyse des résultats de l'étalonnage	2-14
2.7	Méthodes d'analyses hydrologiques et météorologiques	2-17

VOLUME 1

TABLE DES MATIÈRES (suite)		Page
3.0	CARACTÉRISTIQUES NATURELLES DU MILIEU	3-1
3.1	Situation et description des unités de paysage	3-2
4.0	UTILISATION ACTUELLE ET HISTORIQUE DU TERRITOIRE	4-1
4.1	Utilisation agricole	4-1
4.1.1	Potentiel agricole	4-8
4.2	Utilisations forestières	4-8
4.3	Urbanisation	4-16
4.3.1	Démographie	4-16
4.3.2	Superficies municipalisées	4-17
4.4	Infrastructures	4-18
4.4.1	Réseau routier	4-18
4.4.2	Réseau ferroviaire	4-20
5.0	ANALYSE DES PRATIQUES ET DE LEURS EFFETS SUR LES DÉBITS ET L'ÉROSION	5-1
5.1	Agriculture	5-1
5.1.1	Le drainage souterrain	5-1
5.1.2	Le drainage de surface	5-5
5.1.3	La culture intensive	5-8
5.2	Foresterie	5-11
5.2.1	Les coupes forestières	5-11
5.2.2	Voirie forestière	5-14

VOLUME 1

TABLE DES MATIÈRES (suite)		Page
5.2.3	Drainage forestier	5-15
5.2.4	Préparation de terrain	5-17
5.3	Urbanisation	5-19
5.3.1	Le drainage pluvial	5-19
5.3.2	Réseaux d'égouts sanitaires municipaux	5-24
5.3.3	Source d'approvisionnement en eau potable	5-27
5.4	Infrastructures de transport	5-27
5.4.1	Réseau routier	5-29
5.4.2	Réseau ferroviaire	5-35
5.5	Activités minières	5-35
5.6	Effet des ponts sur le régime d'écoulement en eau libre	5-36
5.7	Empiètement sur la plaine inondable	5-43
6.0	SENSIBILITÉ DES SOLS À L'ÉROSION ET APTITUDES AU RUISSELLEMENT	6-1
6.1	Sensibilité des sols à l'érosion	6-1
6.1.1	Analyse des données antérieures	6-2
6.1.2	Sensibilité des sols à l'érosion de surface	6-6
6.1.3	Érosion des berges et du lit de la rivière et des cours d'eau	6-8
6.2	Aptitude des sols au ruissellement	6-16
6.2.1	Généralités	6-16
6.2.2	Modélisation hydrologique par unités de paysage	6-16
6.2.3	Détermination du ruissellement	6-18
6.2.4	Cartes de sensibilité au ruissellement des unités de paysage	6-22

VOLUME 1

TABLE DES MATIÈRES (suite)	Page
7.0 ANALYSE DES DONNÉES HYDROLOGIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES	7-1
7.1 Revue de la littérature	7-1
7.2 Objectifs et contenu des analyses	7-3
7.3 Fréquence des crues et des inondations	7-4
7.3.1 Fréquence des crues - Analyse des débits maximum	7-4
7.3.2 Fréquence des inondations - Analyses des niveaux maximum	7-8
7.4 Analyse des données météorologiques	7-18
7.4.1 Généralités	7-18
7.4.2 Précipitations	7-18
7.4.3 Températures de l'air	7-19
7.5 Conditions météorologiques à l'origine des crues	7-21
7.6 Analyse du déficit d'écoulement	7-27

LISTE DES OUVRAGES CITÉS

BIBLIOGRAPHIE

VOLUME 2

TABLE DES MATIÈRES

Page

RÉSUMÉ, CONCLUSION ET RECOMMANDATION

LISTE DES FIGURES

- 2.1** Logigramme de la méthodologie de l'étude des effets du développement sur le ruissellement et l'érosion
- 2.2** Courbes de tarage utilisées pour l'étalonnage - Écoulement en eau libre
- 3.1-P** Carte de localisation et description des unités de paysage
- 4.1** Utilisation du sol du bassin de la rivière Chaudière en 1925, 1950 et 1989
- 4.2** Évolution de la démographie dans le bassin versant de la rivière Chaudière
- 4.3-P** Évolution des réseaux de transport
- 5.1** Vitesse d'écoulement sur le sol pour l'évaluation du temps de concentration
- 5.2** Profils en travers de différentes voies de circulation
- 6.1-P** Carte des indices de sensibilité des sols à l'érosion
- 6.2-P** Carte des indices de sensibilité au ruissellement des unités de paysage
- 7.1** Débits maximum annuels à la station 023402 - Rivière Chaudière à Saint-Lambert
- 7.2** Débits journaliers classés, station 023402 - Rivière Chaudière à Saint-Lambert
- 7.3** Rivière Chaudière - Station Saint-Lambert - Analyse statistique - Périodes 1915-44, 1945-64, 1965-91 - Distribution Gumbel et Pearson III - Maximum annuels
- 7.4** Débits journaliers classés, station 023403 - Rivière Chaudière à Drolet
- 7.5** Distribution des débits maximum annuels par la loi Pearson III - Station 023403 - Rivière Chaudière à Drolet - Période 1915-1983
- 7.6** Niveaux maximum annuels à la station 023406 - Rivière Chaudière à Scott Jonction

Note: Les figures sont regroupées par numéro d'ordre croissant à la fin de chacun des chapitres sauf les figures indiquées par un «P» qui sont présentées en pochettes.

LISTE DES FIGURES (suite)

- 7.7 Niveaux maximum annuels à la station 023407 - Rivière Chaudière à Sainte-Marie
- 7.8 Niveaux maximum annuels à la station 023408 - Rivière Chaudière à Saint-Joseph
- 7.9 Niveaux journaliers classés à la station 023406 - Rivière Chaudière à Scott Junction
- 7.10 Niveaux journaliers classés à la station 023407 - Rivière Chaudière à Sainte-Marie
- 7.11 Niveaux journaliers classés à la station 023408 - Rivière Chaudière à Saint-Joseph
- 7.12 Distribution des niveaux maximum annuels par la loi de Pearson III -Station 023403 - Rivière Chaudière à Scott Junction - Période 1915-1983
- 7.13 Distribution des niveaux maximum annuels par la loi de Pearson III -Station 023407 - Rivière Chaudière à Sainte-Marie - Période 1924-1991
- 7.14 Distribution des niveaux maximum annuels par la loi de Pearson III -Station 023408 - Rivière Chaudière à Saint-Joseph - Période 1915-1983
- 7.15 Précipitations totales annuelles - Moyenne mobile - Station 0560 - Beauceville
- 7.16 Précipitations totales annuelles - Moyenne mobile - Station 3677 - Lac Mégantic
- 7.17 Précipitations totales annuelles - Moyenne mobile - Station 8676 - Vallée Junction
- 7.18 Précipitations totales annuelles - Moyenne mobile - Station 7840 - Scott Junction

Note: Les figures sont regroupées par numéro d'ordre croissant à la fin de chacun des chapitres sauf les figures indiquées par un «P» qui sont présentées en pochettes.

LISTE DES FIGURES (suite)

- 7.19 Précipitations totales annuelles - Moyenne mobile - Station 7200 Saint-Éphrem
- 7.20 Précipitations cumulées du 15/3 au 15/4 - Station 0560 - Beauceville
- 7.21 Précipitations cumulées du 15/3 au 15/4 - Station 3677 - Lac Mégantic
- 7.22 Précipitations cumulées du 15/3 au 15/4 - Station 7840 - Scott Jonction
- 7.23 Précipitations cumulées du 15/3 au 15/4 - Station 8676 - Vallée Jonction
- 7.24 Précipitations cumulées du 15/3 au 15/4 - Station 7200 - Saint-Éphrem
- 7.25 Températures moyennes annuelles - Station 0560 - Beauceville
- 7.26 Températures moyennes annuelles - Station 3677 - Lac Mégantic
- 7.27 Températures moyennes annuelles - Station 7840 - Scott Jonction
- 7.28 Températures moyennes annuelles - Station 7200 - Vallée Jonction
- 7.29 Températures moyennes annuelles - Station 7200 - Saint-Éphrem
- 7.30 Sommaire des températures moyennes du 15/3 au 15/4 - Station 3677 - Lac Mégantic
- 7.31 Déficit annuel d'écoulement - Période 1931-1960

Note: Les figures sont regroupées par numéro d'ordre croissant à la fin de chacun des chapitres sauf les figures indiquées par un «P» qui sont présentées en pochettes.

LISTE DES TABLEAUX**Page**

2.1	Coefficients de frottement «n» de Manning pour différents types de cours d'eau	2-15
2.2	Liste des données hydrologiques	2-18
2.3	Liste des données météorologiques	2-19
4.1	Synthèse de l'utilisation du sol dans le bassin de la rivière Chaudière pour les années 1925, 1950 et 1989	4-2
4.2	Utilisation du sol agricole en superficie dans le comté Beauce de 1941 à 1986	4-5
4.3	Conditions d'exploitation des fermes région Beauceronne, 1851-1982	4-6
4.4	Principaux secteurs en culture en 1989	4-7
4.5	Principaux secteurs en culture intensive en 1989	4-9
4.6	Évolution historique de la couverture forestière (ha) par unité de paysage	4-11
4.7	Évolution du réseau routier de 1925 à 1989	4-19
5.1	Superficie drainée souterrainement pour la région de la Beauce Avril 1964 - Mars 1987	5-2
5.2	Principaux secteurs ayant fait l'objet de travaux de drainage souterrain (1964-1987)	5-4
5.3	Principaux secteurs ayant fait l'objet de travaux d'aménagement de cours d'eau	5-7
5.4	Secteurs agricoles situés dans des unités de paysage ayant un indice d'érosion hydrique élevé ou très élevé	5-10
5.5	Intensité de coupe par feuillet cartographique et écart par rapport à la moyenne du bassin	5-13

LISTE DES TABLEAUX (suite)**Page**

5.6	Statistiques sur la voirie forestière dans le bassin de la Chaudière	5-16
5.7	Superficies en hectares drainées depuis 1986 à l'intérieur du secteur d'étude	5-18
5.8	Superficies en hectares scarifiées dans les limites du bassin versant à l'exclusion des travaux effectués par Domtar	5-20
5.9	Superficies scarifiées depuis 1980 sur les lots privés de Produits Forestiers Domtar inc.	5-21
5.10	Limites de vitesses admises pour différents types de réseau d'égout pluvial	5-23
5.11	Caractérisation des systèmes d'évacuation et de traitement des eaux usées des municipalités du bassin	5-25
5.12	Municipalités s'approvisionnant en eau potable à partir d'une source de surface	5-28
5.13	Aptitude des sols au ruissellement versus le réseau routier par sous-bassin	5-31
5.14	Localisation des ponceaux le long des routes 73 et 173	5-32
5.15	Liste des études hydrologiques pour la conception de points et ponceaux sur les principaux cours d'eau du bassin	5-33
5.16	Simulation de l'effet des ponts et de leurs approches - Conditions d'écoulement en eau libre - Tronçon des eaux mortes	5-37
6.1	Synthèse des facteurs influençant les processus naturels d'érosion et d'accumulation de sols dans la rivière Chaudière et ses affluents	6-9
6.2	Cours d'eau affectés par des processus d'érosion et de ravinement	6-11

LISTE DES TABLEAUX (suite)**Page**

6.3	Localisation des zones d'accumulation de matériaux granulaires dans la rivière chaudière	6-12
6.4	Classification SCS des sols et dépôts du bassin versant	6-20
6.5	Indices de sensibilité au ruissellement (CN) en fonction des sols, des pentes, des conditions de drainage et de l'utilisation des sols	6-21
6.6	Comparaison des numéros de courbe des bassins versants étudiés par Monfet avec ceux de l'étude	6-25
7.1	Nombre de jours d'occurrence des débits journaliers à Saint-Lambert, station 023402, calculés à partir des débits journaliers classés pour trois sous-périodes	7-5
7.2	Débits de crues maximum annuels pour différentes récurrences à la station Saint-Lambert 023402 calculés pour quatre sous-périodes	7-7
7.3	Nombre de jours d'occurrence des niveaux d'eau au-dessus du seuil d'inondation à Scott Jonction, Sainte-Marie et Saint-Joseph	7-11
7.4	Niveaux d'inondation maximum annuels pour différentes récurrences à Scott Jonction, Sainte-Marie et Saint-Joseph calculés pour trois sous-périodes	7-12
7.5	Situation des échelles - Plage des lectures versus niveau de crue aux stations hydrométriques du bassin versant	7-14
7.6	Capacité d'écoulement (débit) en eau libre de la rivière au seuil d'inondation à Scott Jonction, Sainte-Marie et Saint-Joseph	7-15
7.7	Augmentation des températures moyennes annuelles à cinq stations sur le bassin versant	7-20
7.8	Conditions météorologiques à l'origine des crues les plus importantes	7-24

LISTE DES TABLEAUX (suite)**Page**

7.9	Stations climatiques utilisées et leur poids respectif dans l'évaluation de la pluviométrie sur le bassin	7-29
7.10	Déficit d'écoulement annuel calculé et mesuré pour la période 1964-1991	7-30

**Étude de modélisation du bassin
versant de la rivière Chaudière**

**Rapport d'étape n° 1
Les effets du développement sur
le comportement de la rivière**

**VOLUME 1
État de la situation**

1.0 INTRODUCTION

1.1 Mandat et objectifs de l'étude

L'étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière a été divisée en trois parties tel que précisé dans les termes de référence:

- partie 1: Étude des effets du développement sur le ruissellement et l'érosion
- partie 2: Étude des inondations en eau libre
- partie 3: Étude des inondations avec glace

Le présent rapport couvre les résultats de la première partie du mandat; soit l'étude des effets du développement et des pratiques anthropiques qui le soutiennent sur le comportement de la rivière en période de crue.

Cette première partie du mandat peut être résumée par deux questions:

- question 1: y a t-il une augmentation des inondations depuis que des relevés hydrologiques sont faits sur le bassin versant de la rivière Chaudière, soit à peu près depuis le début du siècle?

1-2

- **question 2: ces inondations sont-elles d'origine naturelle ou anthropique et dans ce cas, quelles activités humaines peuvent les favoriser?**

L'objectif de l'étude est de trouver des solutions au problème des inondations en effectuant, grâce à des outils de calculs perfectionnés, une mise à jour des solutions déjà étudiées dans le passé et en proposant de nouvelles solutions qui soient efficaces, économiques et respectueuses du milieu.

L'objectif de cette première partie de l'étude est donc de procéder à un inventaire des lieux, d'établir avec précision la situation actuelle avant de procéder à la définition de solutions de différentes natures pour résoudre le problème chronique des inondations de la rivière Chaudière.

L'approche méthodologique utilisée qui est décrite au chapitre 2.0 vise d'abord à favoriser une connaissance objective du milieu.

Le problème des inondations de la rivière Chaudière est sérieux. C'est avant tout un problème social parce qu'il touche des communautés entières.

Tecsult est une firme extérieure au milieu concerné et son mandat est suffisamment large pour lui permettre d'exprimer d'une manière franche et sans détour son appréciation des faits.

1.2 Problématique de l'étude des effets du développement

La réponse à la première question nécessite d'examiner les données hydrologiques et météorologiques recueillies depuis 1915 et de déterminer si des tendances existent et persistent à travers la période 1915-1991 pendant laquelle le bassin versant a connu un fort développement anthropique. L'analyse se fait en divisant la période d'enregistrement en sous-périodes définies par l'histoire du développement (agricole, forestier, urbain). Cette analyse permettrait de déterminer par exemple si

une augmentation de la fréquence des inondations peut être reliée à une cause naturelle telle qu'une augmentation des précipitations ou à une augmentation des températures au printemps favorisant une fonte plus rapide du couvert de neige ou plutôt à d'autres causes non naturelles (anthropiques).

Cette première question est inspirée par le fait qu'une étude comme celle que nous entreprenons résulte toujours de l'occurrence d'inondations désastreuses en termes économiques au cours des plus récentes années, ce qui amène les gens à percevoir une augmentation de la fréquence de ces catastrophes basée sur l'examen d'une courte période dans le temps. Or l'analyse de la fréquence d'occurrence d'inondations doit se faire sur un horizon plus long, ce qui est possible pour la rivière Chaudière où des données sont prises depuis 1915. La mémoire humaine étant une faculté qui oublie, les statistiques permettent de pallier à cette lacune. Elles n'apportent cependant aucun soulagement aux victimes d'inondations mais peuvent servir à déterminer objectivement l'intensité de l'événement pour lequel une solution technique doit être définie.

La réponse à la deuxième question nécessite deux approches très différentes parce que certaines activités humaines influencent directement les niveaux d'eau en rivière alors que d'autres agissent sur les débits provenant du bassin versant qui à leur tour influencent les niveaux d'eau dans la rivière.

Approche directe: les interventions de développement en rivière

Les effets sur les niveaux d'eau des activités humaines dans le lit de la rivière peuvent être déterminés par une approche directe parce que ces activités se traduisent par des ouvrages localisés, tels que:

- batardeau en rivière: activité d'extraction de granulats;
- piliers et remblais: installation de ponts, routes, chemins de fer;
- construction de maisons, rues, etc.

Les effets de ces ouvrages sur le chenal d'écoulement peuvent être déterminés en calculant le profil en long de la rivière (profil des niveaux d'eau) avec et sans ces ouvrages. La méthode de calculs est décrite à la section 2.6.

Approche indirecte: Le développement sur le bassin versant

En ce qui concerne l'effet des pratiques agricoles, forestières et urbaines sur le bassin versant, une approche indirecte doit être utilisée. En effet, ces pratiques n'ont pas un effet directement visible sur les niveaux d'eau mais agissent indirectement par l'intermédiaire des débits produits lors d'une précipitation ou de la fonte des neiges au printemps. Ces pratiques ont aussi un effet global sur les débits de la rivière Chaudière, car elles couvrent de vastes superficies disséminées à travers les bassins versants de plusieurs de ses tributaires.

Or, les débits reflètent les phénomènes hydrologiques qui découlent tant des composantes naturelles du bassin versant (pente, végétation, type de sol) que des facteurs anthropiques (utilisation du sol, pratiques de développement, infrastructures, etc.).

L'approche indirecte utilisée pour analyser l'effet de ces pratiques sur les débits a été présentée dans ses grandes lignes dans notre offre de services.

Il est cependant apparu très tôt au début de l'étude que le principal défi posé par cette deuxième question consistait à élaborer une méthode permettant de traiter et d'analyser efficacement la masse d'informations portant sur les composantes naturelles du bassin et sur les pratiques humaines en fonction de leurs effets sur le ruissellement et l'érosion.

En ce qui concerne l'effet des pratiques de développement sur le ruissellement et les débits, l'emploi du modèle hydrologique paramétrique SSARR a été considéré puisque celui-ci devait être également utilisé pour l'étude de réservoirs. Les données hydrologiques disponibles pour l'étalonnage du modèle ne permettent

pas cependant d'isoler l'effet d'une pratique particulière, ce qui constitue un désavantage important de cette méthode.

Après discussions avec la Direction Générale de la Sécurité Civile, il a été convenu qu'il était plus important de déterminer dans quelles conditions du bassin versant, une pratique humaine donnée peut favoriser le ruissellement et l'érosion, plutôt que de déterminer la contribution au débit de la rivière de cette même pratique en termes de mètres cubes par seconde ou à l'érosion en termes de tonnes par année.

Ce choix a été fait dans la perspective de pouvoir mieux définir par la suite des modes de développement adaptés aux caractéristiques naturelles du bassin versant et de pouvoir intégrer le développement à une solution globale du problème des inondations.

1.3 Contenu du rapport

La section 2.0 du rapport décrit l'approche générale et les méthodes et données utilisées lors de l'étude pour répondre aux objectifs définis à la section 1.2. La section 3.0 contient la description du milieu naturel et des caractéristiques qui influencent le ruissellement et l'érosion sur celui-ci.

La section 4.0 présente une revue historique de l'utilisation du territoire alors que la section 5.0 contient les résultats de l'analyse des pratiques de développement et de leur évolution en faisant ressortir celles qui influencent le ruissellement, les débits et l'érosion sur le bassin versant. Cette section présente aussi les résultats d'une analyse hydraulique préliminaire sur l'effet des ponts et des obstructions à l'écoulement dans la rivière.

La section 6.0 présente la synthèse des caractéristiques naturelles du bassin et des pratiques de développement qui influencent les inondations.

1-6

La section 7.0 contient les résultats d'une analyse statistique des crues (débits) et des inondations (niveaux) ainsi que les tendances observées dans les conditions météorologiques en relation avec ces événements.

2.0 MÉTHODOLOGIE

2.1 Méthodologie générale de l'étude

La détermination des effets du développement dans le bassin versant sur le ruissellement et l'érosion nécessite l'intégration des données concernant le milieu physique et le milieu humain. Le but recherché est d'identifier les pratiques de développement utilisées actuellement et historiquement, leur répartition géographique et de déterminer dans quelles conditions du milieu elles peuvent favoriser les inondations dans la rivière Chaudière en y augmentant les apports en eau par le ruissellement et les apports solides par l'érosion.

La méthode générale d'étude est illustrée à la figure 2.1 sous forme d'un logigramme. Celui-ci indique l'étendue des analyses ayant fait l'objet de cette première partie de l'étude globale de modélisation du bassin versant.

Tel que mentionné précédemment, l'approche indirecte utilisée pour l'analyse des effets du développement ne vise pas à déterminer la contribution d'une pratique donnée de développement aux débits ou à la charge solide et potentiellement aux inondations. Cette partie de l'étude ne présente donc pas de résultats quantitatifs.

La présentation de résultats quantitatifs sur l'érosion sera reprise dans le rapport de l'étape # 2 sur les solutions aux inondations en eau libre suite aux relevés bathymétriques qui seront faits au printemps 1993.

De même, les résultats de la simulation des débits seront également présentés dans le rapport de l'étape # 2.

La connaissance des effets des pratiques de développement est essentielle à la définition de solutions au problème des inondations. C'est donc dans le but d'acquérir une connaissance la plus complète possible, dans un laps de temps très court, que la méthodologie de cette première partie de l'étude de modélisation a été élaborée. Cette méthodologie consiste donc à déterminer:

2-2

- les caractéristiques du milieu pertinentes à l'analyse, soit d'une façon générale, les pentes, les types de dépôts, la forme et l'altitude du terrain;
- les utilisations actuelles et historiques des sols, puisque l'érosion est un processus continu dans le temps;
- les pratiques de développement utilisées actuellement, afin de déterminer celles pouvant favoriser le ruissellement et l'érosion;
- l'évolution des débits et des niveaux en rivière afin de déterminer si ceux-ci ont été influencés par les pratiques et l'utilisation des sols;
- les tendances des conditions météorologiques afin de déterminer si l'avènement des inondations est relié à ces tendances naturelles.

Ce chapitre du rapport présente en détails les méthodes et les données utilisées pour acquérir cette connaissance de la zone d'étude et ainsi pouvoir formuler des recommandations visant à solutionner le problème des inondations; ces solutions pouvant être soit de nature administrative ou de nature technique.

2.2 Zone d'étude

La zone d'étude comprend le bassin versant de la rivière Chaudière en amont de Scott/Taschereau-Fortier, soit une superficie d'environ 5750 km².

Pour les fins de l'analyse hydraulique des profils d'écoulement et de l'effet des ponts, la limite de la zone d'étude actuellement considérée s'étend de la section de contrôle des niveaux d'eau de Saint-Maxime de Scott, au km 15 jusqu'à Beauceville. Le choix de cette limite amont est expliqué à la section 2.6.

2.3 Cartographie Intégrée du milieu

La prévision des débits d'un cours d'eau exige une bonne connaissance des phénomènes physiques et des processus hydrologiques qui contrôlent leur réponse à l'échelle du bassin versant. Les méthodes permettant d'effectuer des prévisions de débits, s'appuient généralement sur l'étude des régimes d'écoulement antérieurs ou sur l'étude des conditions physiques du milieu. Dans le cas de cette dernière approche, la topographie est généralement la variable privilégiée à laquelle s'ajoute d'autres facteurs comme la nature de sols ou son type d'utilisation. Malheureusement, ces variables sont souvent rattachées à des unités arbitraires qui ne reflètent pas la réalité physique d'un bassin versant (Ducruc et De Sède, 1989).

Face à cette problématique, la cartographie écologique présente un certain nombre d'attraits. Les principes qui sous-tendent cette méthode offrent un intérêt majeur pour l'analyse hydrologique (Ducruc et De Sède 1989):

- elle traduit l'organisation spatiale naturelle du paysage;
- elle s'applique à divers niveaux de perception de l'espace et à diverses échelles;
- elle structure l'espace d'après ses propriétés fondamentales, évitant ainsi la discrétisation selon quelques variables privilégiées;
- elle propose un découpage basé sur les caractéristiques physiques stables du milieu naturel obtenu à la suite de l'analyse globale des variables bioclimatiques, géologiques, géomorphologiques et édaphiques du territoire;
- elle offre un rapprochement aisé entre la typologie écologique et les variables hydrologiques.

L'application de la méthode de cartographie écologique permet un découpage du territoire en unités de paysage qui, selon le niveau d'analyse, peuvent traduire de véritables ensembles paysagers ou des parties de paysage généralement identifiables par leur morphologie. Pour le bassin de la rivière Chaudière, dont la superficie est de 5 750 km², 109 unités constituant des zones homogènes au point de vue relief, irrégularité topographique, altitude, morphologie régionale et physiographie ont été délimitées en privilégiant l'échelle de 1:250 000 comme niveau de perception de l'analyse du territoire.

La délimitation des unités de paysage dans le bassin de la rivière Chaudière a nécessité plusieurs étapes:

- identification des grands ensembles géologiques et géomorphologiques du territoire;
- délimitation des unités de paysage par photo-interprétation des images Spot Stéréo à l'échelle du 1:250 000 basée sur les discontinuités topographiques, morphologie, altitude, pente, etc.).
- validation par les représentants du MENVIQ (Direction du patrimoine écologique).

Par procédé photographique, des limites tracées sur les photos aériennes au 1:250 000 ont été apportées sur des cartes de dépôts meubles (1:50 000) du ministère des Forêts (MF0).

Après avoir numéroté chaque unité, les limites ont été numérisées à l'échelle du 1:50 000 avec le logiciel SPANS 5.2 S/2 et reportées au 1:250 000 pour la cartographie finale. Chaque unité de paysage a été caractérisée en terme d'altitude moyenne, classe de pente, dénivellation et type de sols. Ces paramètres ont été récoltés à l'aide d'une grille de caractérisation du relief (Robitaille, 1988). Cette grille, imprimée sur acétate transparent, recouvrait entièrement un feuillet topographique à l'échelle 1:50 000. Elle est formée de quadrats de 4 km² à l'intérieur duquel se

trouvent quatre points équidistants et un trait de 1 km de long disposé aléatoirement à partir du point central. À chaque point, les mesures sur l'altitude, la pente et le type de sols ont été recueillies alors que la dénivellation a été calculée en m/km à partir du transect de 1 km de long lorsqu'il se trouvait à plus de 75% dans une unité de paysage. Toutes ces informations ont été saisies et compilées dans une base de données. Après avoir pris connaissance des résultats de la caractérisation, les unités de paysage ont été regroupées selon leur physiographie; coteaux, collines, hautes collines, monts, vallées larges ou étroites.

2.4 Utilisation actuelle et historique du territoire

L'utilisation actuelle du sol a été définie à partir de l'imagerie satellitaire Landsat TM datant du mois d'août 1989. Cette image classifiée par INRS EAU en neuf thèmes (urbain, friche, maïs, céréale, culture, forêt, milieux humides, eau, inconnu) a été transférée dans le logiciel SPANS pour permettre la compilation de l'utilisation des sols.

Certaines classes d'utilisation actuelle des sols ont dû être regroupées pour faciliter l'analyse historique comparative. Les types d'utilisations finalement considérés sont les suivants:

- Urbaine : Zones urbaines et para-urbaines (résidentielle, commerciale, institutionnelle et industrielle)
- Agricole : Terres agricoles
 - Cultures extensives : Cultures de foin, friche et pâturage
 - Cultures intensives : Cultures de céréales annuelles, maïs-grain, maïs fourrager, céréales en rotation avec une prairie pluriannuelle, horticulture et autres cultures laissant le sol à nu pendant une période prolongée

- Forêt : Terres boisées
- Milieux humides et eau : Zones humides (marais, marécage et tourbière) et masse d'eau (nappes et cours d'eau)

L'utilisation des sols dans quelques secteurs était indéterminée en raison de la présence de nuages sur les photos satellitaires. Ces secteurs représentaient un faible pourcentage de l'ensemble du territoire étudié. Le type d'utilisation dominant dans les zones environnantes leur a été attribué pour faciliter la compilation et l'analyse historique.

Par ailleurs, pour les périodes historiques étudiées (1925 et 1950), l'utilisation du sol a été déterminée à partir des cartes topographiques (période 1925-35: échelle de 1:63 650, période 1950-54: échelle de 1:50 000) conservées aux archives de l'Université Laval. Après plusieurs recherches, ces cartes topographiques se sont avérées la source d'information historique la plus facilement cartographiable.

En matière d'agriculture, les cartes d'utilisation du sol (rural) du ministère de l'Agriculture du Québec de 1966 et 1977 (échelle 1:50 000) [23, 24]⁽¹⁾ ont été consultées afin d'avoir un aperçu général de la répartition des usages dans le bassin versant de la rivière Chaudière à cette époque.

Les données de recensement du Canada de 1941 à 1991 [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] portant sur le secteur agricole ont aussi servi à l'analyse historique de l'utilisation des sols. Incidemment, les informations enregistrées sont classifiées par comté de 1941 à 1986 et par municipalités régionales de comté pour le recensement de 1991. Même si la limite du comté de Beauce ou encore de la région 3 ne correspond pas à la limite du bassin versant actuellement à l'étude, ces données nous permettent néanmoins de percevoir les tendances générales et l'envergure des phénomènes dans cette région.

(1) Voir liste des ouvrages cités

Enfin, l'estimation des superficies urbaines effectuées à partir des feuillets topographiques a pu être validée à partir d'informations obtenues de quelques MRC pour les principales agglomérations beauceronnes.

2.5 Inventaire des pratiques influençant les débits et l'érosion

2.5.1 Agriculture

Pour évaluer l'effet du drainage souterrain sur le régime hydrique du bassin versant, nous avons utilisé les données compilées annuellement par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (direction de la planification), pour chaque municipalité. Des communications personnelles avec les agronomes de la région ont permis de confirmer l'état de la situation actuelle et passée.

Pour ce qui est du drainage de surface, nous avons identifié sur les cartes hydrographiques de chaque M.R.C. occupant le bassin versant de la rivière Chaudière, les secteurs qui ont fait l'objet de travaux d'amélioration ou d'aménagement importants. Par la suite, les agronomes locaux du ministère de l'Agriculture nous ont fourni les informations suivantes : superficie affectée par les travaux, longueur des travaux et date de réalisation.

La pratique de la mono-culture contribue normalement à augmenter l'érosion hydrique des sols. Les effets et l'importance de cette pratique agricole ont été analysés à partir des informations numérisées à l'aide de l'imagerie satellitaire LANDSAT TM (1989) en rapport aux cultures intensives. Les données recensées historiquement au Canada en rapport à cette pratique ont aussi été consultées et analysées. Enfin, le rapport "inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec - région agricole 3, Beauce/Appalaches (1990)" a servi de base de référence à l'analyse.

2.5.2 Foresterie

La procédure suivie pour déterminer les pratiques forestières susceptibles d'avoir un impact sur le ruissellement et l'érosion a consisté, dans un premier temps, en une recherche de documentation technique afin de cerner celles le plus souvent mises en cause lors de perturbations du régime hydrique de différents milieux. Il va de soi que certaines pratiques telle l'exploitation forestière n'ont jamais soulevé le doute, et plusieurs études relatives à cette pratique sont disponibles, mais l'identification claire des impacts d'autres interventions forestières, d'importance secondaire, posait des problèmes, en l'absence d'études sur le sujet au Québec.

Les principales sources d'information consultées pour l'obtention de la documentation pertinente au sujet ont été:

- Le Département des Sciences Forestières de l'Université Laval;
- L'Institut de Recherche en Génie Forestier (FERIC);
- Le Groupe de Recherche en Écologie Forestière (GREF);
- Le Service des techniques d'interventions forestières (MFO);
- La Bibliothèque scientifique de l'Université Laval.

La documentation disponible traite essentiellement d'exploitation forestière ainsi que de voirie forestière. Peu d'études touchent d'autres types d'interventions forestières, telles le drainage forestier, ou la préparation de terrain, plus précisément le scarifiage. Une forte proportion de la documentation provient de l'extérieur du Québec, soit des États-Unis ou d'une autre province canadienne. La rareté des travaux québécois traitant de l'effet des pratiques forestières sur le milieu est à souligner.

Dans un second temps, les superficies touchées par différentes pratiques forestières depuis le début du siècle ont été évaluées. Les différents intervenants du monde forestier ont été consultés à cet égard dont:

- Produits Forestiers Domtar
- Industries Mégantic
- Groupements forestiers:
 - Des Appalaches
 - De Beauce-Sud
 - Du Sud de Dorchester
 - Vallée de la Chaudière
- Unités de gestion:
 - Beauce
 - Etrie
- Syndicats de producteurs de bois
 - Beauce
 - Etrie

Ces différents organismes ont pu nous fournir un bon aperçu des superficies touchées par des pratiques forestières telles le drainage forestier et certains types de préparation de terrain, qui sont d'application assez récentes dans le bassin versant de la rivière Chaudière.

En matière de voirie forestière, les données historiques relatives au développement du réseau routier depuis le début du siècle sont venues compléter les informations obtenues sur une époque plus récente (1950 à aujourd'hui) auprès des différents intervenants consultés.

Le bilan historique des coupes forestières pratiquées depuis plus d'un siècle a été beaucoup plus difficile à dresser. En fait, il n'existe pas de répertoire des superficies coupées et de leur localisation en fonction du temps. Dans le meilleur des cas, il existe quelques informations récentes à cet égard pour certains exploitants de la forêt. Il n'y avait donc aucune possibilité de dresser une image convenable de la pratique des coupes forestières sur l'ensemble du bassin versant.

Devant cette situation, nous avons procédé à une analyse des classes d'âges des peuplements forestiers à partir des cartes forestières (1:20 000) et bases de données d'inventaire forestier disponibles. Les informations relatives aux types et à l'âge des peuplements ont été compilées durant les années 1980 lors du second programme provincial d'inventaire forestier. Une analyse détaillée de l'évolution de la couverture forestière depuis 1925 et conséquemment de l'intensité des coupes a donc pu être effectuée.

2.5.3 Urbanisation

En matière d'urbanisation, l'effort de recherche et d'analyse des pratiques pouvant influencer les phénomènes d'érosion et de ruissellement à porté sur les systèmes de drainage pluvial, d'évacuation des eaux usées et d'alimentation en eau potable. La mise en place de ces systèmes découle directement de l'urbanisation du territoire et est la principale pratique pouvant influencer les phénomènes d'inondation de la rivière.

Les informations pertinentes concernant ces pratiques ont été obtenues auprès de la Direction de l'assainissement urbain du ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ). L'analyse des pratiques urbaines s'est effectuée en prenant en considération le type et la capacité des ouvrages de captage ou de disposition d'eau, ainsi que l'étendue des superficies urbanisées desservies de manière à pouvoir faire ressortir, le cas échéant, les contributions respectives de chaque système à l'ampleur des phénomènes d'inondation observés aux abords de la rivière Chaudière.

2.5.4 Infrastructures de transport

Afin de juger de l'importance du développement des infrastructures de transport, nous avons procédé à l'identification de quatre classes de routes: autoroute, route pavée, route de gravier (2 voies ou plus) et route de gravier (moins de 2 voies). Ces routes sont carrossables à l'année.

Il existe d'autres types de voies de circulation telles que les routes de gravier de temps sec et les chemins de terre ou d'hiver. Ces voies n'ont pas été comptabilisées dans nos inventaires. Ces routes ou chemins n'ont pas ou peu d'incidence d'un point de vue hydrologique puisque le réseau de drainage latéral (fossés) est souvent inexistant ou inadéquat (comm. pers. Mme Odette Trottier, Énergie, Mines et Ressources, Centre canadien de géomatique). De plus, lors de fortes pluies ou en période de fonte, le ruissellement se fait parfois au-dessus de la voie carrossable.

En somme, ces voies rudimentaires de circulation offrent peu de résistances ou de perturbation au ruissellement naturel à l'échelle du bassin versant de la rivière Chaudière.

Trois périodes ont été couvertes à partir des cartes fédérales: 1925-1935 (échelle 1:63 500), 1953 (échelle 1:50 000), et 1984 (échelle 1:250 000). Les routes ont été tracées puis digitalisées pour connaître les longueurs pour chacune des classes.

L'exercice a été similaire pour les chemins de fer. La méthodologie appliquée pour connaître les longueurs impliquées des tracés de chemin de fer est la même que pour les routes.

Il a été précisé plus tôt que l'inventaire du réseau routier s'est fait à partir de cartes topographiques. Sur le réseau de routes provinciales, particulièrement celles longeant la rivière Chaudière, nous avons documenté le drainage de celles-ci. À cet effet, le Ministère des Transports nous a transmis la localisation de tous les ponceaux transversaux servant d'exutoires au drainage des fossés longeant ces routes. De plus, là où les conditions le nécessitaient, des études hydrologiques ont été effectuées; elles nous ont également été transmises par le Ministère.

De plus, tous les ponts de la rivière Chaudière et des tributaires d'importance, près de la confluence avec la Chaudière, ont été documentés. Ces informations

seront précieusement utilisées pour la modélisation hydraulique du cours d'eau prévue à l'étape 2 du mandat.

2.6 Méthode de calcul des profils d'Écoulement en rivière

Le modèle numérique HEC-2 (U.S. Corps of Engineers, 1982) a été retenu pour faire la simulation hydraulique des profils d'écoulement de la rivière Chaudière. Le choix de ce modèle s'est fait en considérant, d'une part les objectifs de la présente étude et d'autre part le type d'information disponible sur la rivière Chaudière. Les diverses fonctions du modèle HEC-2 permettent d'établir des profils hydrauliques pour des rivières soumises à des écoulements uniformes, en tenant compte de l'effet d'obstructions telles que des ponts, des seuils ou encore des empiétements sur la plaine d'inondation.

Pour opérer le modèle HEC-2, il faut lui fournir des sections en travers de la rivière et il est aussi recommandé d'en faire l'étalonnage à partir de relations débit-niveau connues. Le travail qui a été réalisé jusqu'à présent dans l'analyse hydraulique se résume tout d'abord à la cueillette et au traitement des données topographiques datant de 1978 et de relevés bathymétriques faits entre 1963 et 1965, puis à l'étalonnage du modèle sur la base des données hydrologiques de 1963 et ensuite à l'étude de l'effet des ponts sur le tronçon des eaux mortes.

Pour le tronçon de la rivière Chaudière situé entre Beauceville et le barrage de Sartigan à Saint-Georges de Beauce, la modélisation hydraulique sera faite une fois que les nouveaux relevés bathymétriques seront disponibles. L'analyse des photos aériennes a en effet montré des modifications importantes du lit de la rivière sur ce tronçon. Les résultats seront communiqués dans le rapport d'étape 2.

2.6.1 Cueillette des données

Les données de départ qui ont servi à étalonner le modèle se composent principalement de 175 sections en rivière choisies à partir des quelques 1100 sections bathymétriques relevées pour le compte du MRN de 1963 à 1965. Ces sections en

travers ont été prolongées de part et d'autre de la rive pour définir la géométrie de la plaine de débordement. Les informations topographiques qui ont servi à cette fin ont été extraites des cartes topographiques du risque d'inondation, émises conjointement en 1978 par le MRN et par Environnement-Canada.

La calibration du modèle numérique s'est faite par ajustement sur les courbes de tarage disponibles à l'époque où furent relevées les sections en travers. Les stations limnimétriques ainsi retenues dans le tronçon des eaux mortes sont celles de Scott, Sainte-Marie et Saint-Joseph, qui toutes trois possédaient des courbes de tarage déduites à partir des débits jaugés à la station de Saint-Lambert, située plus à l'aval.

Il est important de noter ici que de nouveaux relevés bathymétriques seront faits en avril-mai 1993. Le modèle sera alors ré-étalonné. Cette opération permettra du même coup de mesurer l'impact des modifications survenues dans le lit de la rivière Chaudière depuis 1963, et notamment des travaux rémédiateurs réalisés au cours des années soixante-dix.

2.6.2 Étalonnage

L'étalonnage du modèle numérique s'est fait en partant de la section de contrôle de Saint-Maxime de Scott situé au Km 15 de la rivière Chaudière, et en remontant la rivière jusqu'à Beauceville (Km 61). Ce tronçon, communément appelé tronçon des eaux mortes, a été subdivisé pour les fins d'étalonnage en trois sections ayant chacune une station limnimétrique permettant d'ajuster certains paramètres significatifs du modèle, c'est-à-dire les coefficients de frottement (rugosité) de Manning pour le chenal et pour les plaines d'inondation localisées en rive gauche et en rive droite, de même que les coefficients de contraction et d'expansion des sections d'écoulement.

Pour tenir compte du fait que le modèle analyse des écoulements de type uniforme, l'étalonnage s'est donc fait en s'ajustant sur des courbes de tarage plutôt que sur une série d'événements. Cette approche a l'avantage de générer des paramè-

tres applicables sur une gamme de débits. Pour les besoins de l'étude, la gamme de débits étudiés s'étend de 400 mcs à 2200 mcs. Au fur et à mesure de la remontée du cours d'eau, le débit maximum d'étalonnage fut réduit. Il a été ramené à 2000 mcs pour Sainte-Marie et à 1800 mcs pour Saint-Joseph pour tenir compte de la réduction de la superficie du bassin versant.

2.6.3 Analyse des résultats de l'étalonnage

Les résultats de l'étalonnage du modèle hydraulique HEC-2 sur le tronçon des eaux mortes sont présentés à la figure 2.2. Pour le tronçon de rivière situé entre le contrôle de Saint-Maxime et Sainte-Marie, le coefficient de Manning pour le chenal varie entre 0,025 et 0,027, tandis qu'à l'amont de Sainte-Marie en remontant vers Beauceville, ce paramètre passe à 0,030. Ces valeurs correspondent à celles que l'on retrouve dans la littérature (voir tableau 2.1).

Signalons aussi que pour le calcul des courbes de remous réalisé par la direction des Services Hydrauliques du MRN en 1966, un coefficient de Manning égal à 0,030 aurait été utilisé, ce qui coïncide assez bien avec les présents résultats.

Le coefficient de Manning pour les plaines de débordement a été établi à 0,11 sur presque toute la longueur du tronçon des eaux mortes. Il est intéressant de souligner ici que les essais d'étalonnage ont montrés que ce paramètre n'est pas très sensible. Cette constatation s'explique par le fait que la plaine d'inondation, bien qu'elle soit parfois assez large, contribue au débit de façon beaucoup moins significative que dans le cas du chenal. Par exemple, pour le tronçon situé entre Scott et Vallée-Jonction et pour des débits de l'ordre de 2000 mcs, plus de 90% du débit passe par le chenal. À l'amont de Vallée-Jonction et jusqu'à Beauceville, la portion de débit transitant par la plaine de débordement augmente sensiblement, mais 75 % du débit maximum de crue continue de passer par le chenal.

D'autre part, les coefficients de contraction et d'expansion ont été fixés respectivement à 0,1 et à 0,3 sur l'ensemble de la rivière. Par contre, au droit des ponts et de certains deltas situés à l'amont de Sainte-Marie, ces coefficients ont été

Tableau 2.1

Étude de modélisation de la rivière Chaudière
Coefficients de frottement «n» de Manning
pour différents types de cours d'eau

Type de cours d'eau et description		Minimum	Normal	Maximum
A	Excavé ou dragué			
	a) En terre, droit et section uniforme			
	1) propre, récemment travaillé	0.016	0.018	0.020
	2) propre, après érosion par les intempéries	0.018	0.022	0.025
	3) en gravier, propre, section uniforme	0.022	0.025	0.030
	4) avec herbes courtes et quelques mauvaises herbes	0.022	0.027	0.033
	b) En terre, sinueux et paresseux			
	1) absence de végétation	0.023	0.025	0.030
	2) herbes et quelques mauvaises herbes	0.025	0.030	0.033
	3) présence de mauvaises herbes ou de plantes aquatiques en grande quantité dans les cours d'eaux profonds	0.030	0.035	0.040
	4) terre dans le fond et rocaillies sur les rives	0.028	0.030	0.035
	5) fond rocheux et berges envahies de mauvaises herbes	0.025	0.035	0.040
	6) fond de galets ronds et berges propres	0.030	0.040	0.050
	c) Excavé avec pelle mécanique ou dragué			
	1) absence de végétation	0.025	0.028	0.033
	2) buissons clairsemés sur les rives	0.035	0.050	0.060
	d) Taillé dans le roc			
	1) section unie et uniforme	0.025	0.035	0.040
	2) rocs déchiquetés et section irrégulière	0.035	0.040	0.050
	e) Canaux non entretenus, mauvaises herbes et buissons non coupés			
	1) beaucoup de mauvaises herbes, dont la hauteur égale la profondeur d'écoulement	0.050	0.080	0.120
	2) fond propre, buissons sur les rives	0.040	0.050	0.080
	3) idem. à la hauteur d'écoulement la plus élevée	0.045	0.070	0.110
	4) buissons denses, hauteur d'eau élevée	0.080	0.100	0.140
B	Cours d'eau naturels			
B-1)	Petits cours d'eau (largeur maximum de 100' en périodes de crue)			
	a) Cours d'eau dans les plaines			
	1) propre, droit, hauteur d'eau égale dans la section transversale, pas de fissures ou de réservoirs (mares) profonds	0.025	0.030	0.033
	2) idem, mais plus de pierres et de mauvaises herbes	0.030	0.035	0.040

(Référence: Gray, 1972)

Étude de modélisation de la rivière Chaudière

Coefficients de frottement «n» de Manning
pour différents types de cours d'eau

Type de cours d'eau et description	Minimum	Normal	Maximum
3) propre, sinueux, quelques mares et bas-fonds	0.033	0.040	0.045
4) idem à (3), un peu de mauvaises herbes et de cailloux	0.035	0.045	0.050
5) idem à (4), mais hauteurs d'eau plus faibles, plus de pentes et de sections inefficaces	0.040	0.048	0.055
6) idem à (4), mais plus de cailloux	0.045	0.050	0.060
7) tronçons paresseux, pleins de mauvaises herbes, mares profondes	0.050	0.070	0.080
8) tronçons très embarrassés par les mauvaises herbes, mares profondes ou canaux de crue avec peuplement denses de bois et sous-bois très dense	0.075	0.100	0.150
b) Cours d'eau de montagne, absence de végétation dans le lit, berges habituellement escarpées, arbres et buissons submergés en période de hautes eaux			
1) fond = gravier, galets arrondis et cailloux épais	0.030	0.040	0.050
2) fond = galets arrondis avec gros cailloux	0.040	0.050	0.070
B-2) Plaines d'inondation ou terres basses			
a) Pâturage, absence de broussailles			
1) herbes courtes	0.025	0.030	0.035
2) herbes longues	0.030	0.035	0.050
b) Superficies en culture			
1) pas de récolte	0.020	0.030	0.040
2) cultures en rangée à la période de maturité	0.025	0.035	0.045
3) cultures de céréale à période de maturité	0.030	0.040	0.050
c) Broussailles			
1) broussailles disséminées, beaucoup de mauvaises herbes	0.035	0.050	0.070
2) broussailles claires et arbres, en hiver	0.035	0.050	0.060
3) broussailles claires et arbres, en été	0.040	0.060	0.080
4) broussailles, densité moyenne à élevée, en hiver	0.045	0.070	0.110
5) broussailles, densité moyenne à élevée, en été	0.070	0.100	0.160
d) Arbres			
1) peuplements denses de saules, été, droits	0.110	0.150	0.200
2) terres défrichées, avec souches d'arbres, absence de pousses	0.030	0.040	0.050
3) idem à (2), mais avec croissance intense de pousses	0.050	0.060	0.080

(Référence: Gray, 1972)

augmentés localement à 0,3 pour le coefficient de contraction et à 0,6 pour celui d'expansion. Cet ajustement permet de tenir compte des pertes de charge générées par des variations brusques de la section d'écoulement. En d'autres mots, l'effet des obstacles en rivière est ainsi mieux démarqué dans le modèle. Lorsque les nouveaux relevés bathymétriques seront disponibles, il sera ainsi plus facile de mesurer l'incidence qu'ont eu certains travaux rémédiateurs réalisés depuis 1963, comme par exemple ceux exécutés à l'embouchure des rivières Bélair, Nadeau et Lessard.

2.7 Méthodes d'analyses hydrologiques et météorologiques

Le but de l'analyse des données hydrologiques et météorologique est de déterminer si, pour les paramètres analysés, des tendances existent dans la période d'enregistrement et si ces tendances peuvent être reliées à des activités de développement sur le bassin versant. Les méthodes utilisées comprennent:

- la recherche des valeurs maximales par période (annuelle, mensuelle, saisonnière);
- l'analyse des précipitations et des températures par période (annuelle, mensuelle, saisonnière);
- l'analyse des fréquences de débits et de niveaux;
- l'analyse de la distribution statistique des valeurs extrêmes au moyen des lois de distribution telles que celles de Gumbel, Weibull, Pearson III et log Pearson III.

Toutes les données utilisées provenaient du MENVIQ sous forme de fichiers ASCII. Les analyses ont été faites sur micro-ordinateur au moyen d'applications des logiciels DBASE et LOTUS mises au point par TecSult et de logiciels développés par TecSult ou Environnement Canada en FORTRAN. Les tableaux 2.2 et 2.3 présentent respectivement la liste des données hydrologiques et météorologiques utilisées pour ces analyses.

Tableau 2.2 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Liste des données hydrologiques			
Station #	Période	Données	Rivière - Endroit
023402	1915-1991	Débits	Chaudière à Saint-Lambert
023403	1915-1983	Débits	Chaudière à Drolet
023407	1926-1936	Débits	Chaudière à Sainte-Marie
023408	1915-1926	Débits	Chaudière à Saint-Joseph
023421	1964-1972	Débits	Bras Saint-Victor
023422	1965-1991	Débits	Famine à Saint-Georges
023426	1965-1981	Débits	Chaudière amont Beauceville
023427	1976-1991	Débits	Chaudière à Mégantic
023429	1969-1991	Débits	Chaudière à Sartigan
023433	1972-1986	Débits	Linière à rivière Portage
023402	1972-1991	Niveaux	Chaudière à Saint-Lambert Constante géodésique = + 91,440 m
023404	1963-1972	Niveaux	Chaudière à Vallée Jonction
023405	1963-1972	Niveaux	Chaudière à Beauceville
023406	1915-1982	Niveaux	Chaudière à Scott Jonction Constante géodésique = + 95,152 m
023047	1924-1991	Niveaux	Chaudière à Sainte-Marie Constante géodésique = + 97,560 m
023408	1915-1982	Niveaux	Chaudière à Saint-Joseph Constante géodésique = + 100,718 m
023413	1963-1977	Niveaux	Chaudière à Saint-Georges
023426	1973-1991	Niveaux	Chaudière amont Beauceville Constante géodésique = + 126,356 m
023429	1968-1991	Niveaux	Chaudière à Sartigan Constante géodésique = + 137,885 m

Tableau 2.3 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Liste des données météorologiques		
Station #	Période	Endroit
7020560	1913-1985	Beauceville
7023677	1914-1991	Lac Mégantic
7024000	1915-1974	Lambton
7027083	1965-1991	Saint-Côme de Linière
7027200	1929-1991	Saint-Éphrem
7027750	1950-1991	Saint-Théophile
7027840	1950-1991	Scott Junction
7028441	1922-1965	Thetford Mines
7028676	1986-1991	Vallée Jonction
7056930	1963-1979	Saint-Camille
7027516	1964-1991	Saint-Ludger
7027660	1962-1991	Saint-Prosper

- Notes:**
- 1) Les données météorologiques utilisées comprennent chaque jour:
 - les précipitations totales, de pluies, de neige en millimètres;
 - les températures maximales et minimales en degrés Celsius;
 - la hauteur de neige au sol en centimètres.
 - 2) L'année 1992 est incomplète. Les stations en opération en 1991 le sont toujours.

**ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT
DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
LOGIGRAMME DE LA MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE DES EFFETS
DU DÉVELOPPEMENT SUR LE RUISSELLEMENT ET L'ÉROSION**

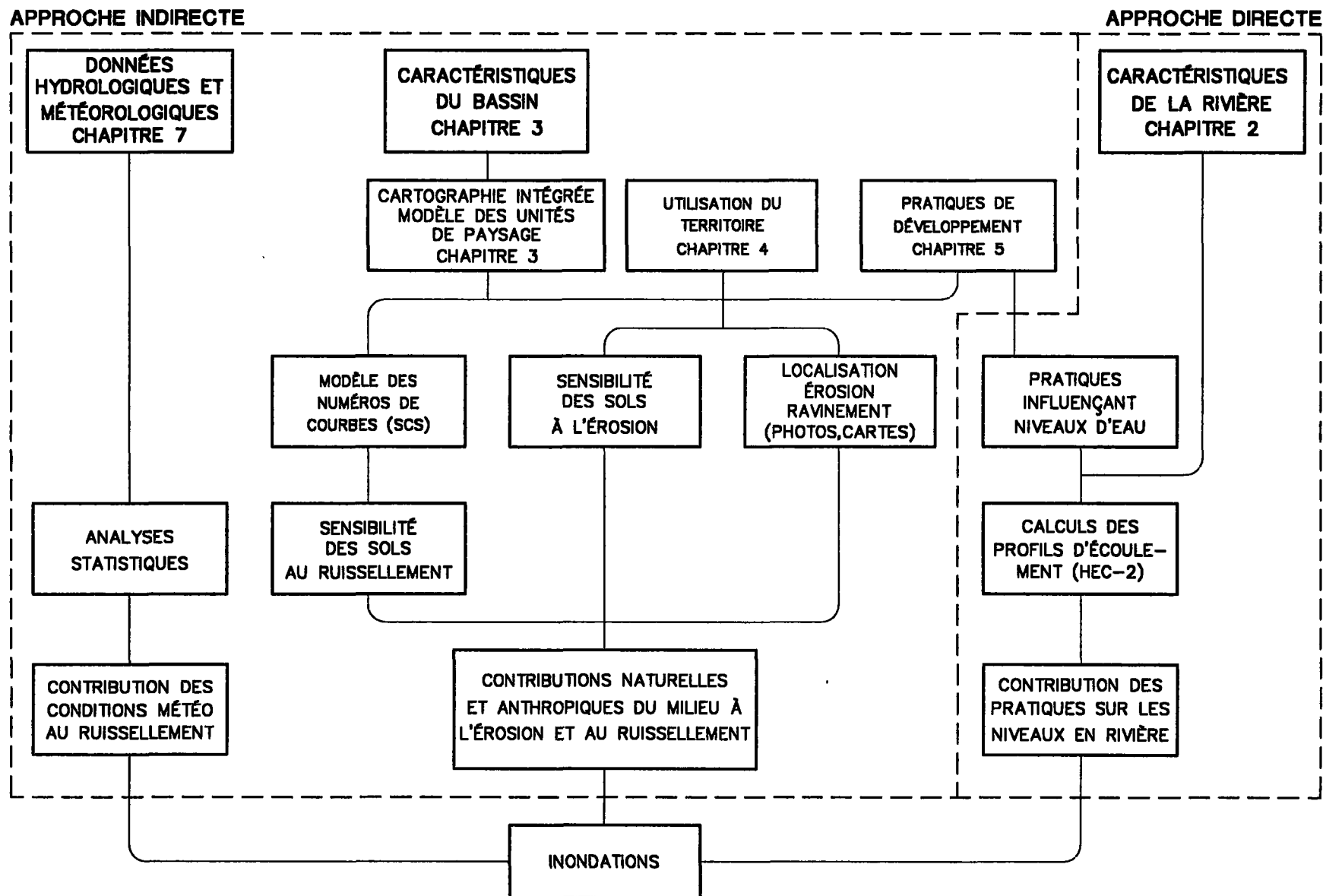
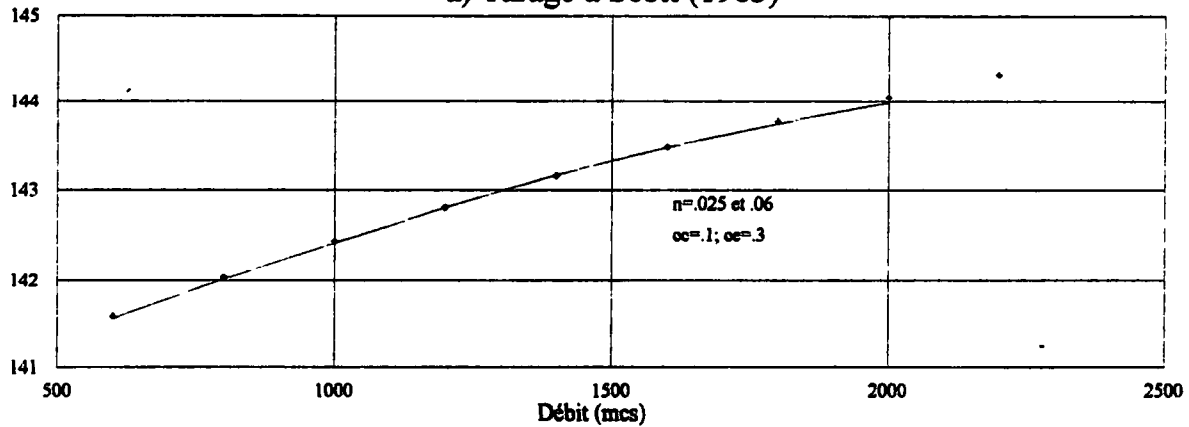


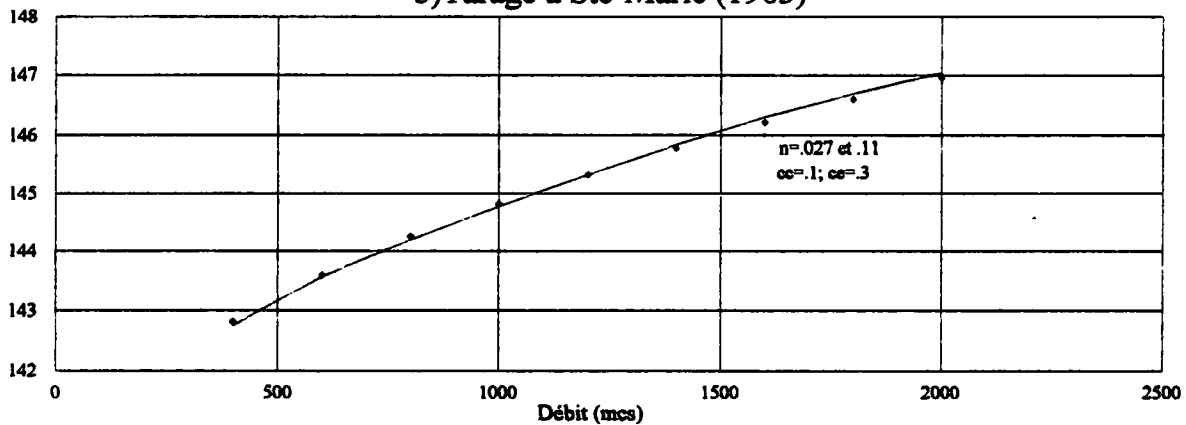
Figure 2.1

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière
Courbes de tarage utilisées pour l'étalonnage
Écoulement en eau libre

a) Tarage à Scott (1963)



b) Tarage à Ste-Marie (1963)



c) Tarage à St-Joseph (1963)

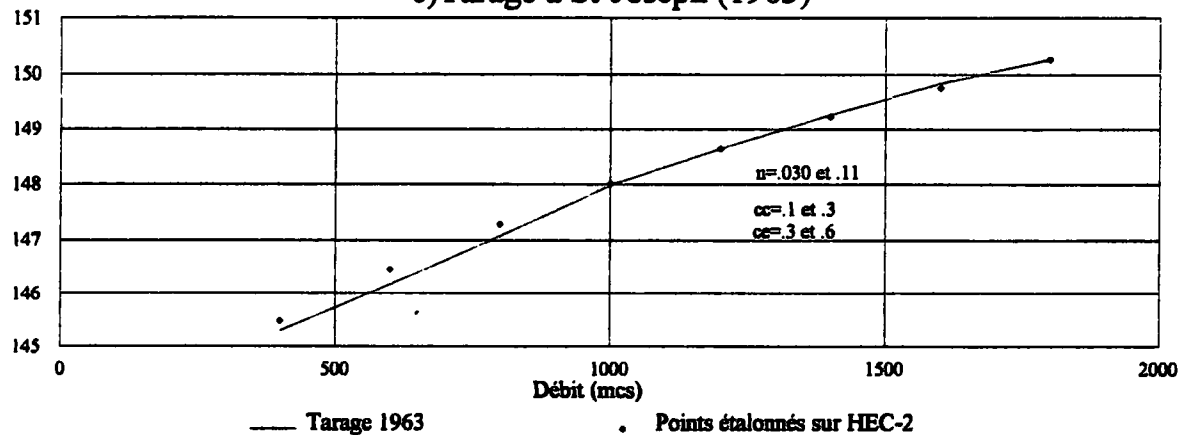


Figure 2.2

3.0 CARACTÉRISTIQUES NATURELLES DU MILIEU

La sensibilité à l'érosion et l'aptitude au ruissellement d'un territoire sont conditionnées par des facteurs naturels et anthropiques (actions de l'homme). Les conditions climatiques, la topographie, la nature des sols et la végétation en place sont toutes des caractéristiques naturelles qui déterminent l'intensité de phénomènes comme l'infiltration et le ruissellement des eaux de surface, ainsi que le taux d'érosion des sols.

Par exemple, le comportement des eaux de surface après une pluie sera très différent en région montagneuse comparativement à une autre où le relief sera plutôt plat. Dans le premier cas, les eaux de pluie seront rapidement évacuées vers le bas des pentes en entraînant une certaine quantité de sols érodés et l'infiltration sera minimisée, alors que dans la zone de relief plat, les eaux de surface auront plutôt tendance à s'infiltrer dans le sol.

Des différences similaires au niveau des caractéristiques de ruissellement et d'érosion seront également perceptibles entre les secteurs dont la nature des sols sera différente. Dans les zones dominées par du sable ou du gravier, l'infiltration sera importante en raison d'une meilleure perméabilité, alors que dans les secteurs de sols limoneux ou argileux, le ruissellement sera beaucoup plus fort.

L'intensité des pluies aura également une influence significative, alors que plus les précipitations seront abondantes et fréquentes, plus la capacité maximale de rétention d'eau du sol et de la végétation sera atteinte rapidement, favorisant alors le ruissellement plutôt que l'infiltration et l'évapotranspiration.

La prise en considération des facteurs naturels dans l'analyse de la problématique actuelle des inondations en Beauce apparaissait tout à fait incontournable pour tenter de déterminer la contribution de la nature dans le phénomène de débordement de la rivière Chaudière.

La définition du cadre écologique du bassin versant de la rivière Chaudière a été l'approche privilégiée pour intégrer à l'analyse les caractéristiques physiques permanentes du territoire (topographie et nature des sols). Le découpage de la zone d'étude en 109 unités de paysage possédant chacune ses caractéristiques propres de pente et de type de sols sert de toile de fond tout au long de cette étude à l'analyse des effets de l'homme sur son milieu qui peuvent varier considérablement dans une unité de paysage par rapport à une autre dont les caractéristiques naturelles sont différentes.

3.1 Situation et description des unités de paysage

Bordé au sud par la frontière canado-américaine et au nord par le fleuve Saint-Laurent, le bassin versant de la rivière Chaudière comprend, en partie ou en totalité, le territoire des MRC de la Nouvelle-Beauce, Robert-Cliche, Lotbinière et Beauce-Sartigan. L'ensemble des comtés de Beauce, Frontenac et une partie du comté de Dorchester se trouvent englobés dans ses limites. Il couvre une vaste région de quelques 5 750 km² répartie en cinq sous-bassins, ceux des rivières Famine, Linrière et Bras Saint-Victor, ainsi que les bassins supérieur et inférieur de la Chaudière. L'altitude du territoire varie de 515 m en moyenne dans le secteur de la Haute Chaudière (Lac Mégantic-Saint-Georges), à 357 m dans la région de la Moyenne Chaudière (Saint-Georges-Scott), pour un dénivelé moyen d'environ 3 m par km.

Le relief de la Haute-Chaudière se caractérise par le haut plateau appalachien. Sa topographie ondulée et bosselée, ses larges interfluves presque plats, la concentration de buttes rocheuses et ses vallées sinueuses lui confèrent un paysage particulier. Le relief est parfois très accidenté avec plusieurs dénivellations brusques. Quelques sommets se démarquent facilement de l'ensemble, en particulier le mont Gosford (1 158 m) et le mont Flat Top (810 m). La dépression du lac Mégantic constitue une cuvette parmi ces hauts plateaux et résulterait de l'érosion glaciaire facilitée par le degré élevé de fracturation du socle rocheux. Le relief accentué de la Haute-Chaudière, comportant en général des pentes de cours d'eau prononcées, contribue à évacuer très rapidement les eaux vers les régions en aval, comparativement au secteur de la Moyenne-Chaudière où le relief est beaucoup plus plat.

Pour mieux illustrer les différences physiographiques du territoire, une carte de localisation et de description des unités de paysage est présentée en pochette (figure 3.1-P). Les unités de paysage peuvent être regroupées en six types de milieux: les plaines, coteaux, collines, hautes collines, monts et vallées larges et étroites. Ils comportent chacun des caractéristiques propres de sensibilité à l'érosion et d'aptitude au ruissellement. La description suivante donne un bref aperçu des composantes physiographiques de chacun de ces milieux.

- Les plaines

Ce sont les unités de paysage les moins accidentées. On les trouvent exclusivement dans la zone nord-est du bassin versant de la Chaudière, principalement dans le sous-bassin de la rivière Famine. Les plaines du lac Algonquin (22)⁽¹⁾, de Ravignon (23), de Saint-Cyprien (24), du ruisseau Auclair (25) de la rivière Veilleux (26) et du ruisseau Patric (34) couvrent 6,5% de la superficie du bassin versant de la Chaudière et ont une altitude moyenne de 371 m.

Le substratum rocheux de ces unités est formé de roche sédimentaire de la formation géologique de Compton qui se compose de grès, de shale et d'ardoise. Le till glaciaire est le dépôt meuble le plus fréquemment rencontré. Il couvre, sur plusieurs mètres d'épaisseur, le socle rocheux sous-jacent, sauf au niveau des quelques collines présentes où il forme une couche plus mince. Les dépôts fluvioglaciaux sont rarement rencontrés à l'exception de ceux qu'on peut observer à proximité du village de Saint-Prosper-de-Dorchester dans la plaine de la rivière Veilleux (26). La sensibilité à l'érosion et l'aptitude au ruissellement de ce type de milieu sont généralement faibles à cause du relief plat.

(1) Les numéros entre parenthèses sont les numéros des unités de paysage apparaissant sur la figure 3.1-P.

- Les coteaux

Les coteaux sont fréquents dans la région de la Moyenne-Chaudière. Ils couvrent 30,4% de la superficie du bassin versant et ont une altitude moyenne de 327 m. Leur relief est caractérisé par une série de buttes et de collines de petites dimensions avec des versants généralement réguliers. Cette physiographie donne au relief un aspect vallonné avec plusieurs petites dépressions structurales surcreusées par des ruisseaux et quelques lacs. Les sommets sont plats et offrent peu de contraintes aux aménagements anthropiques. Le substratum rocheux est formé d'un assemblage de roches sédimentaires (schiste ardoisier, grès, ardoise à blocs, quartzite, grès feldspathique, tuf felsique et chert). Le till est le principal dépôt de surface rencontré. Son épaisseur dépasse le mètre, surtout dans l'axe des bourrelets morainiques où il peut atteindre de 4 à 6 m. Par contre, dans les secteurs où le relief est plus irrégulier, ainsi que sur certaines collines, on le trouve en couche plus mince. Par ailleurs, on observe aussi des épandages fluvio-glaciaires (gravier et cailloux) d'importance au niveau des coteaux de Tring-Jonction (11) et de Saint-Georges-Ouest (38). Comme les coteaux ont un relief plus accidenté, ils sont des milieux plus susceptibles à l'érosion et plus aptes au ruissellement que les plaines, mais surtout aux endroits où les pentes sont plus prononcées.

- Les collines

Les collines se trouvent dans le secteur de la Haute-Chaudière et couvrent une superficie de 26,3% du bassin versant. Elles ont une altitude moyenne de 494 m. Leur relief se distingue par la présence de versants abrupts et de vallées secondaires encaissées dont la formation, à plusieurs endroits, a été facilitée par la structure rocheuse et le réseau de failles en place. Les collines se composent de roches sédimentaires avec, comme faciès stratigraphique, une alternance d'ardoise et de grès fin localement calcaireux. Cette roche-mère fait partie de la formation géologique de Compton.

Dans les collines, ce sont les matériaux glaciaires qui constituent les principaux dépôts superficiels. Le till forme de grandes accumulations et son épaisseur est variable, bien qu'elle excède généralement le mètre. Le till est souvent raviné par des processus fluviaux. Plusieurs segments de moraines frontales s'observent autour du lac Mégantic et dans la région de la rivière du Petit Portage (60).

Sur les versants abrupts, le till s'amincit et le roc affleure sur les plus hauts sommets. En particulier, dans les collines du lac aux Araignées (85), on trouve des dépôts juxtaglaciaires. Dans les secteurs de pentes fortes, la sensibilité à l'érosion et l'aptitude au ruissellement des collines sont élevées, surtout lorsque la texture du sol est fine.

- Hautes collines

Situées généralement à la limite sud-est du bassin versant de la rivière Chaudière, les hautes collines occupent 14,7% de la superficie et ont une altitude moyenne de 501 m. Associés aux montagnes Blanches, leur relief très accidenté présente de larges collines où le roc affleure. Les versants sont irréguliers et s'étendent sur quelques kilomètres. Le sommet des crêtes est généralement plat, mais couvre de grandes étendues. Dans plusieurs secteurs, la différence d'altitude du relief entre les sommets et le fond des vallées est importante.

Dans les hautes collines, le socle rocheux se compose de grès et de shale de la formation géologique de Frontenac. Influencé grandement par la topographie, le till glaciaire couvre ces régions de façon irrégulière: il est épais dans les dépressions et sur les bas versants et s'amincit vers les sommets. En raison des fortes pentes et de la faible épaisseur des sols en plusieurs endroits, la sensibilité à l'érosion et l'aptitude au ruissellement des hautes collines sont élevées.

- Les monts

Les monts sont les unités de paysage les plus accidentées et les plus élevées dans le bassin versant de la Chaudière. Ils sont associés aux montagnes et aux collines de très grande altitude. Situés à l'extrémité sud du bassin versant, on trouve les monts Saint-Sébastien (69), Flat Top (84), les sommets Valence (98), Scotch (100) et Sainte-Cécile (106) ainsi que les monts Gosford (104) et Mégantic (108). Leur relief est généralement caractérisé par des hauts versants abrupts possédant des parois presque verticales. L'altitude moyenne des monts est de 672 m et ils occupent 3,6% de la superficie totale du bassin versant.

Principal dépôt meuble, le till se rencontre en couche épaisse au pied des escarpements et sur les bas versants, alors qu'il est mince sur les pentes abruptes. Le roc affleure sur les sommets et peut couvrir des étendues appréciables. Certains secteurs sont formés de roches sédimentaires constituées de grès et de shales fortement plissés sous forme d'anticlinaux à fort pendage. En d'autres endroits, le socle est formé d'intrusions de roches ignées précambriennes. La région des monts Gosford (104) et Flat Top (85) sont des exemples de secteurs formés de roches ignées. En raison du relief très accidenté, les monts sont généralement très sensibles à l'érosion et très aptes au ruissellement. Ils sont le site de nombreux ravinements sur les bas versants.

- Les vallées larges et étroites

Les vallées étroites sont faiblement encaissées et généralement perpendiculaires aux vallées larges (vallées principales). Ce réseau particulier est typiquement appalachien. Il est surtout produit par la double influence de l'inclinaison SE-NO de la plate-forme rocheuse et des plissements NE-SO des roches sédimentaires. Le lit des vallées étroites est moins bien marqué que celui des cours d'eau principaux et est souvent coupé, en amont, de chutes et de cascades, alors que dans

les zones plus en aval, le lit est modérément large, plus plat et des méandres se sont développés à plusieurs endroits. Les vallées étroites couvrent 5,1% du bassin versant et sont celles des rivières Famine (19), Pouliot (8), des Plantes (15), Metgermette-sud (32), du Cinq (49), Savoie (63), Kokombis (81), Nebnellis (83), Ditehfield (87), Bergeron (95), Clinton (97) et Mocassin (99).

Les vallées larges ont un lit régulier avec une plaine alluviale importante, des rives basses et de larges terrasses. Elles sont presque toutes orientées dans la direction d'écoulement du dernier épisode glaciaire, soit du sud-est au nord-ouest, et couvrent 13,4% de la superficie totale. Plusieurs d'entre elles sont fermées par des verrous comme celui des rapides du Diable dans la rivière Chaudière, en amont de Beauceville.

Des accumulations importantes de matériels fluvio-glaciaires (eskers), mis en place lors de la dernière glaciation, forment souvent les terrasses supérieurs de ces vallées. Les plaines alluviales, très larges, sont recouvertes de dépôts fluviatiles, alors que les versants formés de till, sont souvent ravinés. La sensibilité au ruissellement et à l'érosion de ces vallées est variable selon les endroits. Elle est très élevée lorsque la pente des versants est abrupte bien escarpée et dénudée alors que les secteurs de faible dénivellation sont beaucoup moins susceptibles.

4.0 UTILISATION ACTUELLE ET HISTORIQUE DU TERRITOIRE

L'utilisation du milieu par l'homme peut avoir comme conséquence de modifier les conditions naturelles de ruissellement et d'érosion d'un territoire donné, notamment lorsque la couverture végétale ou le patron naturel de drainage sont altérés. Les sections suivantes présentent le bilan des utilisations agricole, forestière et urbaine du bassin versant de la rivière Chaudière depuis environ les années 1920. Cette analyse permet de tirer les grandes conclusions quant à l'effet des types d'utilisation du sol sur les phénomènes d'inondation observés dans la plaine alluviale de la Chaudière. Les résultats de cette analyse sont présentés au chapitre 6 de ce rapport.

4.1 Utilisation agricole

L'agriculture dans le bassin de la rivière Chaudière, comme dans l'ensemble du Québec, s'est transformée de façon importante depuis les trente dernières années, en raison de la mécanisation accrue, de la spécialisation des exploitations, de l'intensification des cultures ainsi que de la concentration de certaines productions animales et céréalières. Ces transformations ont certes modifié au cours des ans le régime hydrique du bassin de la rivière Chaudière. À cet égard, on retient notamment l'augmentation importante des superficies drainées (souterrain et en surface), l'aménagement des cours d'eau, le déboisement des terres et l'intensification des cultures.

Comme le montrent le tableau 4.1 et la figure 4.1, le bassin de la rivière Chaudière est principalement boisé. En 1989, approximativement 66% du territoire, soit 3 812 km², était alors couvert de forêt. La superficie sous couvert forestier est particulièrement importante dans la partie amont du bassin (sud de Saint-Georges).

La superficie défrichée est principalement occupée par des cultures de plantes fourragères vivaces. En 1989, 19% de la superficie était ainsi consacrée à la culture du foin, aux pâturages et à la friche.

Tableau 4.1 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Synthèse de l'utilisation du sol dans le bassin de la rivière Chaudière pour les années 1925, 1950 et 1989						
Classe	1925		1950		1989	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Urbain	14,83	0,26	12,50	0,22	165,20	2,87
Agricole	1 884,07	32,88	2 077,43	36,25	1 548,05	26,93
Culture extensive					1 517,09 1 091,25	26,39 18,98
Culture intensive					30,96 456,80 ⁽¹⁾	0,55 7,95
Forêt	3 738,80	65,24	3 543,47	61,84	3 950,82	68,73
Humide	14,73	0,26	14,73	0,26	15,27	0,27
Eau	78,31	1,37	81,99	1,43	69,25	1,20
Total	5 730,74	100,00	5 730,12	100,00	5 748,58	100,00
Source de l'information	Carte topographique 1:63 650		Carte topographique 1:50 000		Image LANDSAT TM Interprétée par INRS-Eau	

Note 1: Cette superficie a été ramenée à 30,96 km² suite à l'examen d'autres informations (voir le texte).

Les céréales sont communément utilisées comme plante-abri dans l'établissement des prairies. Les rotations de cultures sont privilégiées par les producteurs agricoles de cette région qui cultivent généralement une année de céréales grainées suivie de cinq à six ans de prairies. Les céréales pures occupent actuellement environ 0,8% du territoire.

La région dispose généralement de moins de 2 300 unités-thermiques-maïs, ce qui explique la faible étendue de la culture du maïs qui, selon nos informations, serait inférieure à 2 000 hectares, soit 0,35% de la superficie totale du bassin versant. La culture du maïs fourrager est pratiquée de façon intensive pendant quatre à cinq ans successifs suivie d'une année de céréales grainées.

Selon les informations numérisées, les cultures telles le maïs, les céréales et l'horticulture couvraient 7,95% (456,8 km²) du territoire en 1989. Nous tenons cependant à faire remarquer que les cultures de céréales, en rotation avec une prairie de foin pluriannuelle, ont été apparemment intégrées à la classe des cultures intensives, ce qui expliquerait le pourcentage passablement élevé qu'on retrouve à ce niveau.

Or, une culture de céréales agissant comme plante-abri à l'établissement d'une prairie devrait plutôt être considérée comme une culture extensive. Cette pratique étant très répandue dans le bassin de la rivière Chaudière, nous sommes d'avis que les cultures intensives représentent approximativement 2% (30,96 km²) de la superficie en culture (1 548,05 km²), soit 0,55% de l'ensemble du bassin versant. Ces estimations sont corroborées par les données de Statistique Canada en ce qui a trait au comté de Beauce.

La production de pomme de terre a été considérablement réduite depuis le début du siècle, pour n'être plus qu'une production marginale. La pomme de terre est normalement cultivée à tous les deux ans en rotation avec une culture enfouie comme engrais vert (millet japonais, pois ou sarrasin).

L'occupation du territoire à des fins agricoles a passablement changé depuis le début du siècle. À l'époque, des terres ayant peu de potentiel agricole avaient été déboisées puis ont été progressivement délaissées à partir de 1920.

Tel que montré au tableau 4.1, la proportion du bassin versant utilisée à des fins agricoles est passée de 32,88% (1 884 km²) à 38,25% (2 077 km²) et à 26,93% (1 548 km²) en 1925, 1950 et 1989 respectivement.

Les statistiques agricoles compilées dans le tableau 4.2 nous indiquent que le nombre total de fermes, dans le comté de Beauce, a diminué considérablement depuis cinquante (50) ans, passant de 5 387 en 1941 à 1 792 en 1986. Au cours de cette période, la superficie défrichée a aussi régressée de 54%. La culture du foin qui, en 1941, occupait 46% de la superficie défrichée, en couvrait près de 60% en 1986. Le tableau 4.2 montre également que de 1941 à 1986, la superficie en céréales (blé, orge et avoine) dans le comté de Beauce a été réduite de 77%, alors que le maïs (grain et fourrager), qui était quasi inexistant (35ha) au milieu du siècle, a étéensemencé sur approximativement 623 hectares en 1986, avec un maximum de 1 000 ha atteint au début des années 1980. De 1850 à 1920, l'avoine occupait le plus grand nombre d'hectares après le foin (Bélanger et al., 1990).

Même si la superficie totale des fermes a diminué de 1921 à 1941, comme en fait foi le tableau 4.3, la superficie des terres mises en culture a augmenté de façon significative pendant la même période, pour ensuite chutée considérablement à partir de 1941. Par ailleurs, le territoire utilisé pour le pâturage des bestiaux a été réduit de près de 70% de 1941 à 1981.

Le tableau 4.4 fait état, par ordre décroissant d'importance, des principaux secteurs utilisés actuellement à des fins agricoles, selon la proportion de la superficie de l'unité de paysage qui est en culture (intensive et extensive). Nous pouvons constater que les sols en culture se trouvent principalement dans le sous-bassin de la rivière Saint-Victor, ainsi que dans la vallée de la rivière Chaudière et le sous-bassin de la rivière Pozer.

Tableau 4.2

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Utilisation du sol agricole en superficie
dans le comté Beauce de 1941 à 1986

Item	Unité	1941	1951	1961	1971	1981	1986
Nombre total de fermes	Nb	5 387	4 465	3 578	2 301	2 055	1 792
Superficie totale de la terre	ha	292 149	292 147	292 147	282 305	304 340	304 332
Superficie de la ferme	ha	239 836	229 213	199 678	157 960	139 903	140 723
Superficie de terre défrichée	ha	139 421	131 614	109 608	87 584	72 249	64 049
Grandes cultures	ha	83 403	73 046	64 740	53 751	47 176	46 016
Blé	ha	30	61	95	122	154	264
Orge	ha	922	0	1 204	362	1 871	1 798
Avoine	ha	15 743	0	13 087	7 117	2 722	1 754
Maïs-grain	ha	4	4	6	7	60	90
Foin cultivé	ha	63 937	55 447	48 557	23 133	35 661	38 380
Maïs ens. ou fourr.	ha	31	0	50	156	942	533
Autres grains fourragers	ha	26	0	253	975	1 745	732
Avoine fourrager	ha	100	0	1 394	3 901	3 475	1 936
Pommes de terre	ha	1 259	816	643	53	46	61
Autre	ha						
Pâturage	ha	51 677	54 816	39 516	27 964	18 815	14 373
Jachère	ha	60	356	767	883	1 440	0
Autre	ha	4 280	3 396	4 585	4 985	4 819	0
Terre non défrichée	ha	100 416	97 599	222 573	173 905	167 159	189 470
Forêt	ha	191 745	191 745	166 648	129 552	137 532	139 557
Autres terres improductives	ha	56 391	56 391	55 925	44 354	29 627	

Tableau 4.3 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Conditions d'exploitation des fermes région Beauceronne ⁽¹⁾, 1851-1982										
Année	SUPERFICIES (ha)									
	Occupées	Défrichées					Non défrichées			
		En culture	Pâturage	Horticulture	Jachère	Total	Bolsées	Marécages ou incultes	Prairies naturelles	Total
1851	131 197	25 135	30 990	51	--	56 176	--	--	--	75 627
1861	177 602	40 824	38 446	341	--	79 611	--	--	--	97 788
1871	207 143	64 957	35 756	488	--	101 173	--	--	--	--
1881	250 388	71 634	45 321	587	--	117 542	--	--	--	--
1901	283 955	78 988	71 467	1 003	--	139 435	124 336	--	--	144 520
1911	736 947	107 970	--	884	29	185 936	129 835	3 669	--	146 360
1921	368 253	123 157	89 880	482	870	217 798	132 309	5 494	12 651	150 455
1931	360 715	124 094	82 060	--	359	215 490	121 814	4 844	17 354	144 012
1941	357 027	126 689	73 879	157	72	207 646	118 622	7 190	23 496	149 308
1951	342 382	112 663	78 516	--	518	196 347	121 549	--	--	145 998
1961	303 303	102 912	58 312	--	943	169 064	103 787	--	--	134 240
1971	243 834	85 105	42 244	--	1 399	136 162	81 603	--	--	107 672
1981	215 720	78 368	28 058	--	1 867	115 548	83 012	--	--	100 165

Source: La Beauce et les Beaucerons, Portraits d'une région, 1737-1987.
 Extrait adapté du Tableau 2 p. 118 [1].

- (1) Le territoire correspondant ici à la région beauceronne s'étend de Saint-Isidore au Lac Drolet et couvre une superficie de 4 753 km².
 -- Données non disponibles ou non compilées.

Tableau 4.4 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Principaux secteurs en culture en 1989				
Rang	Secteur	Unité paysage	Pourcentage en culture	Sous-bassin
1	St-Éphrem-de-Tring	44	60,56	St-Victor
2	St-Méthode de Frontenac	47	60,03	St-Victor
3	Basses terres de la Rivière Chaudière	13	56,10	Chaudière
4	St-Benoît-Labre	38	55,19	Pozer
5	East-Broughton	57	54,83	St-Victor
6	St-Joseph	8	54,42	Rivière Poullot (Chaudière)
7	St-Elzéar	62	53,66	Rivière Vallée (Chaudière)
8	St-Victor	42	53,24	St-Victor
9	Basses terres Rivière du Cinq	49	52,42	St-Victor
10	Sacré-Coeur-de-Marie	55	52,34	St-Victor
11	Basses terres de la Rivière St-Victor	43	51,90	St-Victor
12	St-Elzéar	63	51,01	Rivière du Bois (Chaudière)
13	Tring Junction	11	49,00	St-Victor
14	St-Honoré (Shenley)	39	48,36	Rivière Pozer
15	-----	48	47,64	St-Victor
16	Ste-Marguerite/Ste-Marie	1	47,53	Rivière Chassé (Chaudière)
17	St-Elzéar	61	45,73	Rivière Vallée (Chaudière)
18	Boughton Station	46	43,32	St-Victor
19	St-Prosper	27	42,75	Famine

Source: Numérisation des cartes topographiques et photo-interprétation d'images-satellites.

Par ailleurs, les cultures intensives sont concentrées essentiellement dans la partie aval du bassin, soit plus spécifiquement dans la région de Sainte-Marie ainsi que dans les basses terres (vallée) de la rivière Chaudière et de ses principaux affluents (tableau 4.5).

4.1.1 Potentiel agricole

Le potentiel agricole des terres du bassin de la rivière Chaudière est passablement faible. Selon les cartes de classement des sols (20)¹ qui relatent leurs possibilités d'utilisation agricole (1969), les meilleures terres sont de classe 3 et comportent des limitations modérément graves qui restreignent le choix des cultures ou imposent des pratiques spéciales de conservation. Ces terres se trouvent dans de petits secteurs isolés. La grande majorité des sols du bassin versant possède un potentiel agricole très faible, voir même médiocre, qui ne convient qu'à la production de plantes fourragères vivaces. Les contraintes limitatives sont notamment la pierrosité, le relief défavorable et l'excès d'humidité.

4.2 Utilisations forestières

L'analyse des cartes topographiques archivées et de l'imagerie satellitaire récente a permis de dégager l'évolution de la couverture forestière sur l'ensemble du bassin versant entre 1925 et 1989. Les superficies en forêt et leur pourcentage respectif de couverture du bassin versant sont précisées au tableau 4.1 de la section précédente.

Pendant cette période, l'étendue de la couverture forestière s'est maintenue entre 350 000 et 375 000 ha (60 à 65% de la superficie du bassin). Bien que sur l'ensemble du bassin versant, la superficie en forêt soit demeurée assez stable, certaines parties du bassin peuvent avoir connu des modifications beaucoup plus

Note 1: Voir liste des ouvrages cités

Tableau 4.5 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Principaux secteurs en culture intensive ⁽¹⁾ en 1989				
Rang	Secteur	Unité paysage	Cult. Intensive (%)	Sous-bassin
1	St-Elzéar	62	29,59	Rivière Vallée (Chaudière)
2	St-Elzéar	61	28,33	Rivière Vallée (Chaudière)
3	Ste-Marguerite/Ste-Marie	1	25,18	Rivière Chassé (Chaudière)
4	St-Elzéar	63	22,33	Rivière du Bois (Chaudière)
5	Basses terres de la Rivière Chaudière (Ste-Marie)	13	21,69	Chaudière
6	St-Elzéar	64	21,43	Rivière du Bois (Chaudière)
7	St-Honoré (Shenley)	39	20,96	Rivière Pozer
8	St-Benoît-Labre	38	20,59	Pozer
9	Sts-Anges	2	19,52	Rivière Bélair (Chaudière)
10	Basses terres de la Rivière St-Victor	43	18,07	St-Victor
11	St-Joseph	8	16,63	Rivière Pouliot (Chaudière)
12	Basses terres de la Rivière Chaudière (St-Gédéon)	51	14,38	Chaudière
13	St-Victor	42	14,18	St-Victor
14	Frampton	5	13,93	Rivière Calway (Chaudière)
15	Basses terres de la Rivières des Plantes	15	13,78	Rivière des Plantes (Chaudière)

Source: Numérisation des cartes topographiques et photo-interprétation d'images-satellites.

- (1) Les cultures intensives comprennent notamment le maïs (grain et fourrager), les céréales (pures ou en plantes-abri), les cultures horticoles (pommes de terre, petits fruits, etc.).

notables. Une analyse de l'évolution de la couverture forestière par unité de paysage a permis de mettre en relief les secteurs où la forêt a significativement progressée ou régressée. Le tableau 4.6 présente une compilation des superficies forestières par unité de paysage, pour les trois époques documentées.

Au fil des soixante-cinq dernières années, une progression de la forêt a été constatée au niveau des unités 1, 2, 4, 5, 8, 10, 11, 13, 16, 20, 35, 37, 42, 44, 46, 47, 51, 55, 57, 62, 63, 64, 70, 94 et 111 qui sont principalement situées dans les sous-bassins de la Moyenne Chaudière et du Bras Saint-Victor, secteurs fortement utilisés à des fins agricoles. Cette progression de la forêt coïncide avec l'abandon des terres agricoles qui s'est poursuivie à partir des années 1950 jusqu'à nos jours.

Par ailleurs, une régression de la couverture forestière est aussi observable au niveau des unités 22, 26, 32, 50, 52, 59, 73, 76 et 77. Elle est principalement localisée dans le sous-bassin versant de la rivière Linière, dans un secteur où l'exploitation forestière est assez intense.

Il est possible que la progression de la forêt dans l'ensemble du bassin versant de la Chaudière entre 1950 et 1989 ait été plus importante encore que ne le laisse entrevoir les données compilées. En fait, l'analyse par imagerie satellitaire (1989) permettait de distinguer les secteurs de coupe (comptabilisés dans les friches ou cultures extensives, donc attribués à l'agriculture) et les zones effectivement couvertes par la forêt, ce qui n'était pas le cas sur les feuillets topographiques (1950) étudiés aux archives.

La diminution de la superficie forestière entre 1925 et 1950 a été estimée à environ 5% et ne concorde pas avec le phénomène d'abandon des terres agricoles qui s'est produit plus récemment et qui est confirmé par les statistiques disponibles relatives à l'activité agricole. Il est probable que cette légère diminution soit attribuable aux activités forestières de l'époque qui ont été assez importantes comme on le verra plus en détails dans une prochaine section traitant des effets des coupes forestières pratiquées sur l'ensemble du bassin versant de la Chaudière.

Tableau 4.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Évolution historique de la couverture forestière (ha) par unité de paysage			
Unité de paysage numéro	1925-35	1950-54	1989
1 ↑	4 818	4 981	6 358
2 ↑	1 187	1 347	1 818
3	682	954	1 169
4 ↑	2 018	2 231	3 063
5 ↑	1 066	1 343	2 081
6	315	306	497
7	4 244	4 439	4 783
8 ↑	318	301	645
9	1 694	1 640	1 673
10 ↑	6 976	6 133	10 616
11 ↑	1 494	1 525	2 341
12	4 579	4 648	5 200
13 ↑	725	1 011	1 903
14	2 270	2 229	2 049
15	1 376	1 293	1 598
16 ↑	7 267	6 614	9 365
17	1 904	1 895	1 809
18	3 184	3 176	3 784
19	4 727	4 723	4 568
20 ↑	371	88	804
21	1 994	2 012	2 321
22 ↓	5 612	5 379	4 306
23	6 270	6 039	6 231
24	479	488	528

Tableau 4.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Évolution historique de la couverture forestière (ha) par unité de paysage			
Unité de paysage numéro	1925-35	1950-54	1989
25	2 327	2 333	2 190
26 ↓	5 052	4 984	4 307
27	1 762	1 460	1 875
28	3 880	3 722	4 649
29	4 831	4 828	5 250
30	7 664	6 960	6 737
31	12 597	12 562	11 194
32 ↓	1 741	1 741	1 116
33			
34	3 102	2 917	3 233
35 ↑	4 666	3 533	5 311
36	6 452	6 191	6 307
37 ↑	5 600	5 328	7 161
38	2 927	2 781	2 982
39	6 277	5 359	6 869
40	1 921	1 838	1 721
41	1 614	1 552	1 880
42 ↑	2 019	1 829	3 026
43	2 701	2 017	2 735
44 ↑	1 214	7 74	1 764
45	2 194	1 926	2 381
46 ↑	2 094	1 931	3 020
47 ↑	835	905	1 542
48	1 611	726	2 019

Tableau 4.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Évolution historique de la couverture forestière (ha) par unité de paysage			
Unité de paysage numéro	1925-35	1950-54	1989
49	811	553	771
50 ↓	28 381	26 673	23 244
51 ↑	5 209	4 126	7 033
52 ↓	8 146	8 067	5 721
53	271	195	362
54	964	755	1 097
55 ↑	542	545	923
56	3 724	3 647	4 036
57 ↑	876	331	1 254
58	211	260	440
59 ↓	5 806	5 483	5 022
60	13 617	13 511	12 806
61	997	713	919
62 ↑	597	599	1 298
63 ↑	205	170	394
64 ↑	282	445	799
65	4 799	4 810	4 392
66	2 841	2 671	2 283
67	1 771	1 835	1 841
68	10 317	9 263	10 856
69	657	730	913
70 ↑	1 017	1 042	2 099
71			
72	8 569	7 286	8 141

Tableau 4.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Évolution historique de la couverture forestière (ha) par unité de paysage			
Unité de paysage numéro	1925-35	1950-54	1989
73 ↓	19 139	18 909	11 944
74	945	945	731
75	569	569	494
76 ↓	4 835	4 835	3 589
77 ↓	12 411	12 372	6 748
78 ↓	2 301	2 206	1 903
79	1 247	1 260	1 239
80	491	477	490
81	929	937	829
82	2 256	2 249	2 190
83	2 050	2 035	2 059
84	6 565	6 553	6 722
85	6 860	7 032	6 278
86	3 098	2 965	3 521
87	662	665	731
88	2 119	2 146	2 455
89	2 453	2 019	2 425
90.	571	662	827
91	10 678	8 437	9 845
92	4 693	4 390	4 226
93	2 833	2 617	3 210
94 ↑	3 839	2 662	4 267
95	1 252	1 157	1 229
96	4 731	4 759	4 712

Tableau 4.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Évolution historique de la couverture forestière (ha) par unité de paysage			
Unité de paysage numéro	1925-35	1950-54	1989
97	1 517	1 456	1 320
98	2 109	2 077	1 886
99	1 097	1 096	929
100	2 919	2 893	2 666
101	3 646	3 122	3 071
102	2 224	2 139	2 378
103	2 556	2 565	2 119
104	6 088	5 999	5 635
105	234	232	238
106	437	488	598
107	1 834	1 755	1 840
108	498	521	492
109			
110	362	386	326
111 ↑	72	46	125
112	84	11	72

↑ progression significative
↓ régression significative

4.3 Urbanisation

4.3.1 Démographie

Les données démographiques utilisées dans cette section se rapportent essentiellement au territoire beauceron qui ne concorde pas exactement avec les limites du bassin versant de la rivière Chaudière. Il aurait fallu pouvoir considérer aussi la population occupant le secteur du lac Mégantic, au sud de notre zone d'étude. Nous considérons toutefois que les tendances démographiques présentées ci-après sont représentatives de ce qui est observé dans l'ensemble du bassin versant actuellement étudié.

L'évolution démographique de la Beauce s'est effectuée régulièrement depuis le début du siècle tel que montré à la figure 4.2. De 46 566 personnes qu'elle était en 1901, la population a atteint 98 283 personnes en 1986, puis 114 000 en 1991.

Le tableau suivant présente cette évolution pour les années 1931, 1961 et 1991:

Sous-bassin	1931	1961	1991
Haute-Chaudière (jusqu'à Saint-Georges)	5 187	7 359	21 110
Linière	2 828	4 013	4 030
Pozer	1 618	1 463	1 583
Famine	6 485	9 026	8 580
Saint-Victor	11 321	11 400	16 650
Moyenne Chaudière (secteur des eaux mortes)	26 934	41 180	62 020
Total bassin versant	54 373	74 441	113 973

Le niveau de la population s'est accru significativement dans les sous-bassins de la Saint-Victor, de la Haute et de la Moyenne Chaudière, tandis qu'il est demeuré relativement stable dans les sous-bassins de la Linière, la Pozer et la Famine.

Bien que le taux de croissance de la population ait été stable à l'échelle du bassin versant, il n'en a pas été de même au niveau des municipalités. Depuis le début du siècle, on a assisté au dépeuplement des zones rurales au profit des villes. Ce phénomène reflète la tendance nord-américaine et est relié au développement des secteurs secondaire et tertiaire. Un autre phénomène, celui-ci plus récent, vient aussi modifier l'évolution démographique à l'échelle des municipalités. Depuis une dizaine d'années, on assiste à l'étalement urbain de la population qui, pour des raisons généralement économiques, quitte les villes principales pour s'établir dans les municipalités de banlieue.

Environ 50% de la population beauceronne est établie dans les limites de 59 municipalités dont la population est inférieure à 2 000 personnes, sur un total de 70 sur l'ensemble du territoire. Saint-Georges est la ville la plus peuplée avec 19 600 résidents, suivie par la ville de Sainte-Marie qui compte 10 200 personnes.

4.3.2 Superficies municipalisées

L'analyse historique des feuillets topographiques et l'imagerie satellitaire a permis d'estimer les superficies municipalisées pour les trois époques documentées. Les superficies en cause sont précisées au tableau 4.1 et montrées sur la figure 4.1. On constate que la superficie totale du territoire urbanisé s'est maintenue durant la première moitié du présent siècle. À partir des années 1950, celui-ci a plus que décuplé pour atteindre une superficie d'environ 170 km² (3% de la superficie du bassin versant).

Cette tendance à l'accroissement du territoire urbanisé devrait se maintenir dans les prochaines années en raison du phénomène d'étalement urbain.

4.4 Infrastructures

4.4.1 Réseau routier

À partir des feuillets topographiques disponibles, un inventaire du réseau routier par type de voie de circulation a pu être dressé pour les trois périodes de référence choisies pour l'analyse de l'évolution historique du réseau routier. L'évolution historique du réseau est présentée en pochette à la figure 4.3-P. Les longueurs de routes par type de voie de circulation sont comptabilisées au tableau 4.7. On y précise également le pourcentage d'augmentation des longueurs de routes par sous-bassin pour les périodes de référence 1950 et 1989, par rapport à la période 1925.

Mentionnons que les données de longueur de routes compilées ne se rapportent qu'au type de voie possédant des systèmes de drainage pouvant influencer le ruissellement des eaux de surface ou l'érosion des sols. En fait, la majorité des voies de circulation compilées pour l'époque actuelle était déjà présente au début du siècle, mais ont progressivement fait l'objet de travaux d'amélioration de la chaussée et de leur système de drainage au fil des ans.

Le réseau routier a subi au cours des soixante dernières années une très forte évolution. Durant la période 1925-1935, le réseau routier se caractérisait principalement par la présence de voies de liaison longeant les cours d'eau principaux. L'axe nord-sud, déjà implanté à l'époque le long de la Chaudière, du côté est, et de la Linière, constituait l'accès routier principal pour accéder aux États-Unis. Cet axe deviendra éventuellement la route provinciale 173. Au cours de cette période, cette voie remontait la Haute Chaudière sans atteindre le lac Mégantic qui était desservi par une seconde voie d'accès aux États-Unis, en l'occurrence, la future route provinciale 161. Les futures routes provinciales 112 de Vallée-Jonction vers East-Broughton en direction de Thetford-Mines, et 108 de Saint-Georges vers La Guadeloupe étaient aussi présentes durant cette période.

Tableau 4.7

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Évolution du réseau routier de 1925 à 1989

SOUS-BASSIN	LONGUEUR (km)					
Période 1925-1935	Autoroute	Vole pavée	Vole gravelée (2 voies et +)	Vole gravelée (1 voie)	Total	Augmentation p/r 1925-1935 %
Haute Chaudière	-	-	63,6	100,3	163,9	—
Linère	-	18,7	22,3	2,2	43,2	—
Pozer	-	-	1,0	34,5	35,5	—
Famine	-	-	44,4	14,4	58,8	—
Saint-Victor	-	-	47,4	56,4	103,8	—
Moyenne Chaudière	-	3,8	88,8	45,5	138,1	—
TOTAL	-	22,5	267,5	253,3	543,3	—
Période 1947-1953						
Haute Chaudière	-	108,1	107,6	212,5	428,2	260
Linère	-	41,9	1,9	19,6	63,4	146
Pozer	-	0,6	25,7	27,6	53,9	150
Famine	-	-	42,1	54,4	96,5	163
Saint-Victor	-	5,5	47,7	61,6	114,8	110
Moyenne Chaudière	-	47,9	47,8	79,7	175,4	127
TOTAL	-	204,0	272,8	455,4	932,2	172
Période 1989						
Haute Chaudière	-	231,8	328,4	339,4	899,6	549
Linère	-	58,5	50,2	224,7	333,4	774
Pozer	-	69,8	119,0	20,6	209,4	580
Famine	-	151,6	136,5	34,8	322,9	547
Saint-Victor	-	107,4	212,9	56,1	376,4	361
Moyenne Chaudière	28,8	277,6	370,5	97,4	774,3	540
TOTAL	28,8	896,7	1217,5	773,0	2916,0	531

À l'époque, il n'y avait qu'un tronçon pavé de 22,5 km sur l'axe nord-sud (future route 173), entre Saint-Georges et Saint-Théophile, confirmant la vocation transfrontalière de cette artère. Toutes les autres voies étaient gravelées.

En 1950-1954, on observe une consolidation du réseau de liaison par rapport à la période antérieure étudiée: les routes principales ont été pavées. Il était possible de traverser, du nord au sud, le bassin versant et même atteindre le lac Mégantic par une route pavée. Le réseau secondaire de voies gravelées avait également été consolidé, alors que plusieurs "chemins de rang", ont été élargis, drainés et rendus carrossables à l'année. L'amélioration du réseau routier a été particulièrement remarquable dans le sous-bassin de la Haute Chaudière, près du lac Mégantic. Par contre, le réseau s'est peu développé dans le reste du bassin versant.

Au cours de ces années, on peut observer que le réseau routier s'est développé en dehors des axes naturels de pénétration constitués par les principaux cours d'eau. L'objectif du déploiement du réseau était alors de faciliter l'accès aux ressources naturelles du milieu.

En 1989, le réseau a triplé de longueur par rapport à la période précédente. Le réseau secondaire comprend plusieurs nouvelles routes pavées, tandis que les "chemins de rang" deviennent tous de véritables voies de circulation. On observe même, à l'intérieur de la zone d'étude, le début de l'autoroute Robert-Cliche reliant la Beauce à Québec. Il y a actuellement un projet de prolongement de l'autoroute de Scott à Saint-Joseph-de-Beauce.

Toute la région a connu cette amélioration du réseau, sauf dans la Haute Chaudière où le développement a été relativement plus modeste. Actuellement, deux routes longent chaque rive de la Chaudière, jusqu'à Saint-Martin.

4.4.2 Réseau ferroviaire

Comme le présente le tableau suivant, il y a 233,5 kilomètres de chemin de fer en place dans le bassin de la Chaudière. Propriété de C.P. Rail, toutes ces lignes

ferroviaires sont en place depuis le début du siècle et abandonnées aujourd'hui. Il n'y a donc pas eu de changement notable du réseau ferroviaire depuis le début des années 1900.

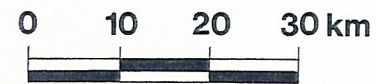
La situation des voies ferroviaires est montrée à la figure 4.3-P présentée en pochette. Toutes ces voies ferrées font partie du réseau "Québec Central". Une première voie, destinée à desservir les États-Unis à l'époque, traverse d'est en ouest le haut du bassin, à la hauteur du lac Mégantic. Plus au nord, une autre voie suit la rive est de la rivière Chaudière jusqu'à Saint-Georges, puis bifurque vers le nord-est, le long de la Famine. Deux autres lignes provenant de la région de l'Amiante et du lac Mégantic traversent la rivière Chaudière à Vallée-Jonction pour relier la ligne longeant la Chaudière.

Haute Chaudière (jusqu'à Saint-Georges)	55,3 km
Linière	---
Pozer	---
Famine	38,0 km
Saint-Victor	69,4 km
Moyenne Chaudière (secteur des eaux mortes)	70,8 km
Total	233,5 km

LÉGENDE

- 1 Sainte-Marie
- 2 Vallée-Jonction
- 3 Saint-Joseph-de-Beauce
- 4 East-Broughton-Station
- 5 Beauceville
- 6 Saint-Georges
- 7 Saint-Éphrem-de-Tring
- 8 La Guadeloupe
- 9 Saint-Martin
- 10 Saint-Gédéon
- 11 Lac-Mégantic
- 12 Scott
- 13 Saint-Victor

- Urbain
- Friche
- Agricole
- Forêt
- Millieux humides
- Eau
- Inconnu



Gouvernement du Québec
Ministère de la
sécurité civile

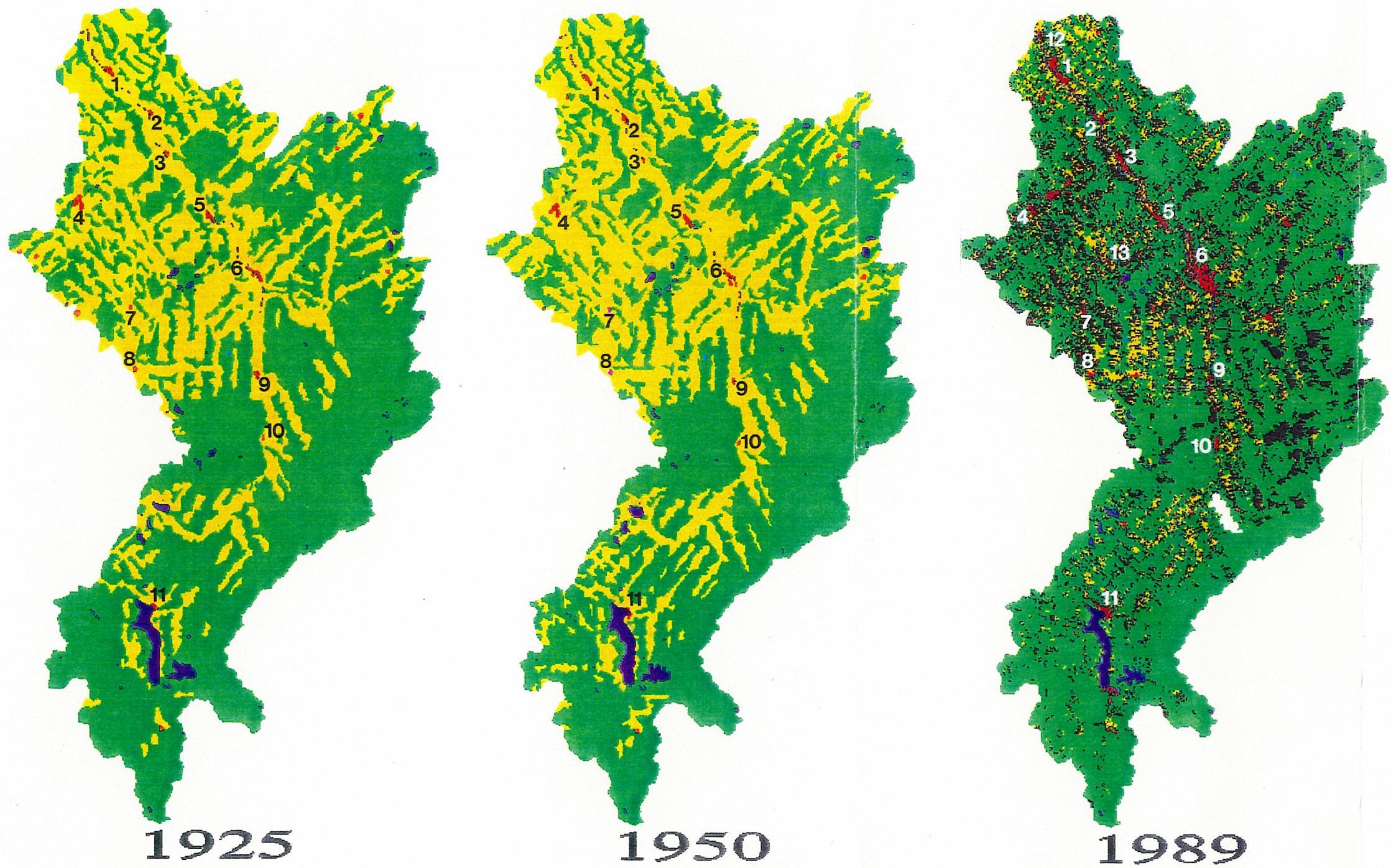
BASSIN DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

UTILISATION DU SOL DU
BASSIN DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
EN 1925, 1950 ET 1989

DATE: MARS 1993 PROJET: 4727



FIGURE 4.1



ÉVOLUTION DE LA DÉMOGRAPHIE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

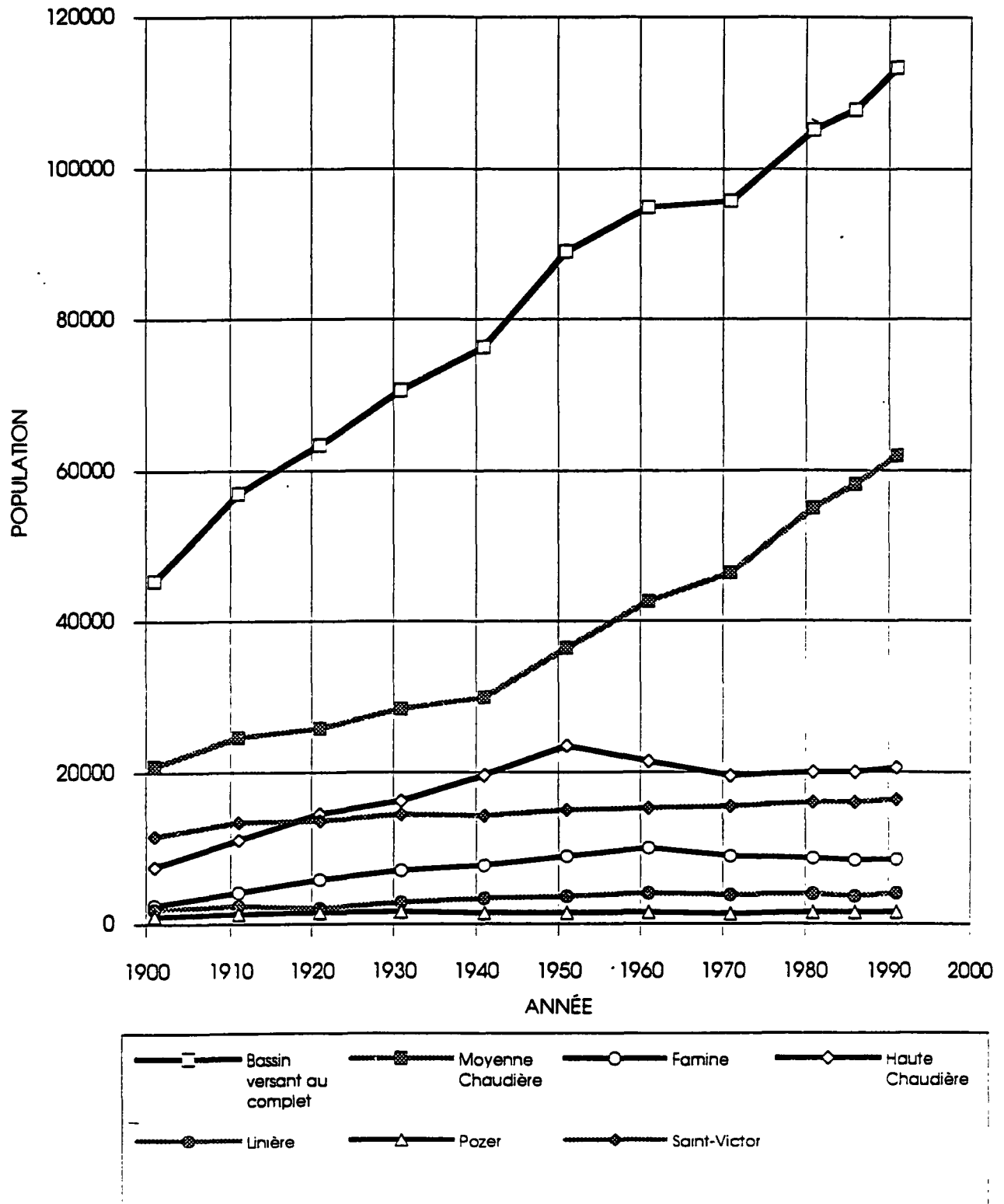


FIGURE 4.2

5.0 ANALYSE DES PRATIQUES ET DE LEURS EFFETS SUR LES DÉBITS ET L'ÉROSION

5.1 Agriculture

5.1.1 Le drainage souterrain

Le drainage souterrain a pour but de rabaisser le niveau de la nappe phréatique dans le sol pour accélérer le ressuyage des terres. Ce rabattement de la nappe se fait par l'entremise de canalisations enterrées. L'évacuation du surplus d'eau permet alors une meilleure croissance des plantes et de meilleures conditions pour le travail du sol, le semis et la récolte.

Les activités de drainage souterrain au Québec ont débuté véritablement en 1963, par la mise en place de la Division de l'hydraulique agricole au ministère de l'Agriculture.

Le drainage a connu un essor important entre 1973 et 1985. Depuis 1990, les superficies drainées ont été considérablement réduites. Le tableau 5.1 fait état des superficies drainées souterrainement entre 1964 et 1987, pour diverses municipalités du bassin de la rivière Chaudière.

Selon les données disponibles, nous estimons la superficie drainée dans le bassin de la rivière Chaudière approximativement à 10 000 hectares, ce qui représente environ 5,4 % de la superficie agricole et 1,5 % de l'ensemble du territoire. Les principaux secteurs ayant fait l'objet de travaux de drainage souterrain entre 1964 et 1987 sont présentés au tableau 5.2.

Le drainage souterrain d'une parcelle a pour effet de concentrer localement, plus spécifiquement aux bouches de décharge des réseaux, les flux d'eau qui auparavant étaient plus diffus.

Tableau 5.1
Etude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière
Superficie drainée souterrainement pour la région de la Beauce
Avril 1964 - Mars 1987

Municipalités	64-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	Total
	-- hectares --																		
COMTE BEAUCE	177,17	34,90	53,42	69,44	105,40	112,40	209,28	189,60	300,68	492,20	459,30	397,10	297,20	556,00	375,20	289,00	347,00	160,00	4425,29
Aubert-Gallion (St-Georges O.)	0,00	0,00	4,78	4,53	6,31	2,22	3,92	5,86	14,04	32,10	44,00	20,80	19,10	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	167,66
Beauceville	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,80	0,00	0,00	0,00	6,00	8,00	33,80
East Broughton	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	4,21	12,40	4,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,65
L'Enfant-Jesus (Vallee Jonction)	0,00	0,00	0,00	0,00	7,72	0,00	10,33	2,58	0,00	12,00	6,70	11,30	2,50	9,20	38,60	0,00	15,00	0,00	115,95
N.-D.-de-la Providence (des-Pins)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	7,69	4,20	2,20	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,55
Sacre-Coeur-de-Jesus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	5,34	0,60	4,57	2,90	21,10	17,20	2,90	28,50	26,50	14,00	20,00	8,00	152,41
St-Alfred	0,00	0,00	1,05	0,00	1,21	2,50	2,02	1,57	0,00	4,80	4,50	8,80	9,70	0,00	7,20	0,00	3,00	4,00	50,35
St-Anges	3,03	2,46	2,76	2,18	6,27	2,02	12,99	14,52	21,57	33,30	36,70	9,20	26,40	26,60	4,80	17,00	12,00	4,00	237,80
St-Benoit-Labre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	4,70	0,00	9,70	0,00	13,30	17,00	5,00	6,00	57,32
Ste-Clothilde	0,47	0,00	0,85	1,09	5,46	5,05	7,28	5,74	5,26	6,70	7,10	10,90	13,30	4,00	18,90	0,00	21,00	9,00	122,10
St-Come	0,00	0,00	0,00	1,21	0,48	0,00	0,00	1,01	0,73	4,80	15,60	12,00	2,70	16,10	0,00	0,00	0,00	8,00	62,63
St-Elzear	4,33	8,34	10,86	22,45	31,72	43,01	58,07	49,93	68,59	75,80	41,65	53,50	14,00	23,30	22,60	6,00	47,00	0,00	581,15
St-Ephrem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	16,30	7,36	25,82	17,50	12,30	51,90	16,90	24,00	14,80	8,00	7,00	13,00	216,90
St-Francois-de-Beauce	0,00	0,44	1,05	1,41	0,97	0,00	1,86	0,00	7,33	14,60	0,00	3,90	3,50	10,90	0,00	0,00	0,00	0,00	45,96
St-Francois O.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	4,65	6,35	11,74	27,30	30,10	32,10	17,00	20,00	24,10	2,00	22,00	0,00	199,36
St-Frederic	5,91	3,27	4,20	5,74	15,74	9,02	7,89	5,70	5,54	7,60	21,00	18,50	17,50	45,90	12,90	15,00	7,00	14,00	222,41
St-Georges-Est	2,04	1,02	0,67	0,80	1,61	4,24	1,45	2,54	3,72	8,10	2,10	4,90	13,20	23,60	10,80	11,00	27,00	14,00	132,79
St-Honore (Shenley)	5,19	4,71	5,26	4,85	0,00	0,00	4,20	4,28	9,55	5,50	1,90	35,00	9,50	28,90	28,20	30,00	25,00	14,00	216,04
St-Jean-de-la-Lande	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,80	0,20	0,00	23,20	9,20	0,00	0,00	10,00	8,00	60,40
St-Joseph-de-la-Beauce	3,65	4,54	2,69	2,46	4,08	3,35	4,49	2,83	5,38	59,30	29,35	21,30	14,00	42,10	39,60	36,00	19,00	20,00	314,12
St-Joseph-des-Erables	0,00	0,57	4,16	4,12	1,49	3,68	5,74	5,58	17,44	27,90	10,20	15,00	23,00	28,50	12,60	2,00	4,00	2,00	167,98
St-Jules	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,46	1,90	5,50	5,00	1,50	0,10	0,00	0,00	21,00	11,00	8,00	56,46
Ste-Marie	6,42	9,15	10,45	12,46	9,63	17,40	26,34	27,03	34,38	68,90	105,30	37,60	17,30	80,80	39,10	11,00	25,00	3,00	543,26
Ste-Martin	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,22	3,07	0,76	0,81	3,40	0,00	0,00	6,50	42,50	0,00	18,00	18,00	0,00	95,26
St-Philibert	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	4,70	2,60	3,00	2,00	0,00	12,30
St-Pierre-de-Broughton	0,71	0,00	0,00	0,00	1,61	1,37	11,12	17,56	13,56	38,40	28,90	12,90	3,30	19,10	16,60	12,00	0,00	0,00	177,13
St-Severin	0,00	0,00	0,27	0,64	0,52	0,00	0,00	5,50	15,26	3,10	6,70	0,20	0,00	17,10	0,00	10,00	0,00	0,00	59,29
St-Simon-des-Mines	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,36	0,52	4,93	7,41	3,00	1,10	3,50	2,20	13,50	7,90	3,00	2,00	0,00	49,94
St-Theophile	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	1,86	3,30	3,30	4,70	1,40	6,40	0,00	4,00	5,00	0,00	32,63
St-Victor-de-Tring	0,00	0,40	4,37	5,50	10,06	11,12	21,68	7,68	8,70	0,00	13,50	10,40	6,10	31,10	34,10	39,00	34,00	17,00	254,71

Tableau 5.1 (suite)
Etude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière
Superficie drainée souterrainement pour la région de la Beauce
Avril 1964 - Mars 1987

Municipalités	64-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	Total
	-- hectares --																		
COMTE DORCHESTER	208,92	76,16	64,48	59,63	99,28	87,58	126,52	124,58	217,44	334,00	167,80	277,90	216,50	255,50	82,00	163,00	122,00	29,00	2712,29
Ste-Germaine (p)	1,09	0,47	0,27	0,97	0,97	0,48	5,22	3,23	9,27	0,70	2,50	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,07
Ste-Benedine (p)	14,15	50,21	31,99	14,40	31,11	34,27	63,57	43,30	114,85	158,00	29,40	111,40	77,90	95,40	37,40	62,00	27,00	3,00	999,35
Ste-Marguerite (p)	11,03	8,54	16,88	18,29	34,55	35,24	29,54	40,22	45,69	90,20	49,50	121,60	51,80	78,90	20,60	41,00	13,00	14,00	720,58
St-Odilon-de-Cranbourne	6,59	16,06	14,90	25,13	29,46	16,06	21,28	16,47	32,70	22,80	54,60	26,10	30,70	33,60	21,10	13,00	34,00	1,00	415,55
St-Prosper	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	1,69	1,01	2,02	0,00	0,00	11,60	25,20	7,00	0,00	29,00	32,00	2,00	113,05
Ste-Rose-de-Watford	0,00	0,88	0,00	0,00	1,78	0,00	0,00	2,75	4,94	2,00	0,00	0,00	0,90	0,00	2,90	18,00	0,00	9,00	43,15
Scott Junction	0,00	0,00	0,44	0,84	1,41	0,00	5,22	17,60	7,97	60,30	31,80	6,30	30,00	40,60	0,00	0,00	16,00	0,00	218,48
COMTE FRONTENAC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	0,00	0,00	3,12	23,20	39,55	57,30	51,10	69,30	79,00	72,00	106,00	78,00	579,78
Audet	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	0,00	10,00	9,00	6,00	25,00
Gayhurst, partie S.E.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,50	0,00	11,00	33,40	22,00	35,00	15,00	121,90
Lac Drolet	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,12	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,00	19,00	8,00	20,00	52,72
Risborough & partie de Marlou	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,75	17,90	0,00	8,00	4,30	8,00	22,00	24,00	98,95
Ste-Cecile-de-Whitton (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,60	0,00	11,40	25,40	7,50	13,40	7,00	0,00	13,00	82,10
St Gedeon	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60	20,00	22,40	29,00	21,90	6,00	20,00	0,00	125,90
Ste-Methode-de-Frontenac (p)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	0,00	0,00	0,00	18,60	18,20	2,50	3,30	11,40	6,00	0,00	2,00	0,00	63,21
St-Robert-Bellarmin	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	0,00	0,00	10,00	0,00	10,00
BASSIN DE LA RIVIERE CHAUDIERE	386,09	111,06	117,90	129,07	204,68	201,19	335,80	314,18	521,24	849,40	666,65	732,30	564,80	880,80	536,20	524,00	575,00	267,00	7917,36

* Certaines donnees n'etant pas disponibles au niveau des municipalites pour les annees 1964-1970, il peut arriver que le total du compte ne corresponde pas au cumulatif des chiffres par municipalites

(p) Seulement une partie du territoire municipal est inclus dans le bassin versant de la riviere Chaudiere

Source : Ministere de l'Agriculture, des Pecheries et de l'Alimentation du Quebec,
 Direction des Subventions et Primes et Direction de la Planification, novembre 1983

Tableau 5.2 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Principaux secteurs ayant fait l'objet de travaux de drainage souterrain (1964-1987)				
M.R.C.	Municipalités	Comté	Superficie totale (ha)	Unité paysage
Nouvelle-Beauce	St-Hénédine (p)	Dorchester	999,35	1
Nouvelle-Beauce	Ste-Marguerite (p)	Dorchester	720,58	1
Nouvelle-Beauce	St-Elzéar	Beauce	581,15	61-62-64
Nouvelle-Beauce	Ste-Marie	Beauce	543,26	1
Robert-Cliche	St-Joseph et St-Joseph des érables	Beauce	482,10	4-13 15-16
Robert-Cliche	St-Odilon (p)	Dorchester	415,55	
Robert-Cliche	St-Victor	Beauce	254,71	42
Nouvelle-Beauce	Sts-Anges	Beauce	237,80	4
Robert-Cliche	St-Frédéric	Beauce	222,41	10
Nouvelle-Beauce	Scott (p) (Taschereau-Fortier)	Dorchester	218,48	1
Beauce-Sartigan	St-Ephrem	Beauce	216,90	44-45
Beauce-Sartigan	St-Honoré	Beauce	216,04	39

Source: Gouvernement du Québec. (1987). Superficie drainée souterrainement par région agricole. 1964-1987.
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, direction de la planification.

(p) Une partie seulement du territoire municipal occupe le bassin versant de la rivière Chaudière.

Selon une étude du CEMAGREF (1991), l'effet le plus systématique du drainage souterrain des terres agricoles est cependant de modifier localement la répartition des eaux de surface entre le ruissellement et l'infiltration. Dans tous les cas, le ruissellement est diminué par le drainage souterrain. Les résultats expérimentaux confirment que ce phénomène contribue à la conservation des sols dans les régions à forte érosion hydrique.

À notre avis, le drainage souterrain n'a pas d'effet significatif sur le débit de la rivière Chaudière au printemps, puisque le réseau de drainage n'est que partiellement ou pas du tout fonctionnel à cette période, en raison du gel du sol. Par ailleurs, les crues d'été et d'automne sont attribuables à des pluies diluviennes qui occasionnent un ruissellement important. La contribution du drainage souterrain au ruissellement est alors restreint et déphasé par rapport au débit de pointe.

Les observations de Lesaffre et Arlot (1991) abondent dans le même sens. En sols à excès d'eau temporaire, les débits de crue à l'aval sont généralement diminués suite au drainage: les facteurs dominants étant la réduction du ruissellement et l'augmentation de la capacité de stockage de l'eau dans le sol, qu'on peut traduire en parlant d'effet tampon du sol; l'hydrogramme de ruissellement est alors remplacé par un hydrogramme de drainage amorti.

Le drainage souterrain a donc un effet bénéfique sur les crues en favorisant l'infiltration de l'eau, réduisant ainsi le volume d'eau ruisselé.

5.1.2 Le drainage de surface

L'aménagement de cours d'eau agricoles (excavation, nettoyage, élargissement, approfondissement et/ou redressement) vise à assurer le contrôle et l'évacuation efficace des eaux de surface.

Depuis 1917, le ministère de l'Agriculture du Québec fournit aux municipalités une assistance pour le drainage de surface, par l'octroi de subventions pour le développement et l'entretien des cours d'eau municipaux. Le drainage de sur-

face des terres agricoles est devenu plus intensif et systématique vers 1944, principalement dans les basses terres du Saint-Laurent.

Selon les informations recueillies auprès des agronomes de la région, les travaux de drainage de surface ont été particulièrement importants entre 1975 et 1980, alors qu'environ 30 km de cours d'eau étaient aménagés annuellement. Depuis 1983, les travaux d'aménagement de cours d'eau ont été réduits à 3 km par année et consistent surtout à de l'entretien. De plus, ces travaux ont été effectués essentiellement dans la MRC de la Nouvelle-Beauce.

Le tableau 5.3, élaboré à partir des cartes hydrographiques, montre que les travaux de drainage de surface ont été réalisés principalement en aval de Saint-Georges. Incidemment, le plus grand nombre de canaux améliorés par unité de surface (densité hydrographique maximale) se retrouve dans le sous-bassin de la rivière Saint-Victor. Dans ce secteur, le drainage de surface peut certes contribuer à accroître le débit de pointe en réduisant le temps de concentration des eaux.

Certaines mesures de mitigation devraient être mises en place pour atténuer les effets du drainage sur le phénomène d'inondation. Dans les zones où les travaux d'aménagement hydrauliques ont été importants, notamment dans le sous-bassin de la rivière Saint-Victor, la construction de petits ouvrages de retenues à l'aval des systèmes d'assainissement agricole devrait être considérée pour aider à laminer les crues. Des bassins agissant comme tampon pourraient ainsi être aménagés à l'exutoire du cours d'eau ou à l'échelle même de la ferme.

Par ailleurs, le drainage des zones humides (marais, marécages, tourbières et autres zones à excès d'eau permanent) devra être traité avec circonspection puisque ces milieux sont beaucoup plus fragiles et qu'ils agissent également comme zones tampon.

Tableau 5.3
 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière
 Principaux secteurs ayant fait l'objet de travaux d'aménagement de cours d'eau

M.R.C.	MUNICIPALITÉ	COURS D'EAU	DOSSIER No	NOMBRE BRANCHE	SUPERFICIE S.V. (km ²)	LONGUEUR DES TRAVAUX (km)	DATE DES TRAVAUX	UNITE PAYAGE	TRIBUTAIRE
Robert-Cliche	St-Jules	Ruisseau des Ormes	2444	84	38.75	66,662 88.882	1988 à 1971	43-12-11	St-Victor
Robert-Cliche	St-Jules	Ruisseau des Castors	463	18	30.20	22.287	1984 - 1985	43-12	St-Victor
Robert-Cliche	St-Victor	Ruisseau Tring	7317	3				48	St-Victor
Robert-Cliche	St-Victor	Ruisseau Bureau	1414	12	17.8	20 230	1873	48	St-Victor
Robert-Cliche	St-Joseph	Ruisseau Cliche	19-1	4	8.70	3.088	1898	12	St-Victor
Robert-Cliche	St-Joseph	Ruisseau Grondin	19-2	2	4.78			43-12	St-Joseph
Robert-Cliche	St-Joseph	Rivière Pouliot	2817	13	21.50	22.287	98-74-75-82-84	8-4	Chaudière
Robert-Cliche	St-Joseph	Rivière Calvey	14825	7	55.88	42.582	1972 - 1974	14-7	Chaudière
Robert-Cliche	St-François	Rivière des Plantes	8448	8	118.38	38.184	85-88-87-72-73	15	Chaudière
Robert-Cliche	St-François	Ruisseau Fraser	8883	2	8.2	8 88	1982	18	Chaudière
Robert-Cliche	St-François	Rivière Notre	8132	3	41.3	18 984	1971 - 1972	18	Chaudière
Nouv.-Beauce	St-Marguerite	Cours d'eau Audesse	1822-3	12	11.81		88-89-77-78	1	Chaudière
Nouv.-Beauce	St-Marguerite	C.D. Rg St-Marguerite	4813	3				1	Chaudière
Nouv.-Beauce	St-Marguerite	Décharge St-Marguerite	3818	5				1	Chaudière
Nouv.-Beauce	St-Eldor	Rivière du Bois	19787	4	3.21	5 373		63	Chaudière
Nouv.-Beauce	St-Eldor	Rivière L'ancien Moulin	15880	8			1978 - 1982	62	Chaudière
Nouv.-Beauce	St-Anges	Fecteau	15173	8	13.88	11.385	73-75-77-81-82	2	Bélair
Beauce-Sartigan	St-Georges	Ruisseau Patrick	12967	8		28 05	1971 - 1972	34	Linéaire
Beauce-Sartigan	St-Benoit Labre	D. Les Poulin/Velours/Fecteau	2048-8/1/4	8	8.8/10.1/10.6	3.87/4.31/12.185	78-80/77/80/81	37	Pozzer
Beauce-Sartigan	St-Benoit Labre	---	2048-8	3				37	Pozzer
Beauce-Sartigan	St-Honoré	Boucher	2048-3	4				38	Pozzer
Beauce-Sartigan	La Guadeloupe	Petit Shanley	18-5	4		8.43	1981	43	St-Victor
Beauce-Sartigan	St-Ephrem	Bernard	14738	2	4 8	5.48	1988 - 1970	44	St-Victor
Beauce-Sartigan	St-Ephrem	Rivière Hamel	8835	11	82.8	11.308	1985 - 1988	45	St-Victor
Beauce-Sartigan	St-Ephrem	Ruisseau Morin	2290	3	3.8	4.48	1971 - 1972	45	St-Victor
Beauce-Sartigan	St-Honoré	Tehon	8287	8				58	Grde Coudée
Beauce-Sartigan	Shanley	Rivière Shanley	3310	5				58	Chaudière
Robert-Cliche	St-Frédéric/Tring-Je	Labbé/Leesard/Marchoi	8830/12204/2483	17				11	des Fermes

Ce genre de travaux nécessite des études hydrologique, pédologique, hydraulique et écologique, afin de minimiser les impacts locaux et en aval. Les projets de drainage de surface devraient faire l'objet d'une gestion intégrée à l'échelle du bassin versant. La concertation des différents intervenants concernés (MAPAQ, MENVIQ, MLCP et MSP) devrait être privilégiée.

5.1.3 La culture intensive

La perte de sols agricoles est principalement reliée à la pratique de la monoculture intensive. Selon le rapport "Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec, région agricole 3 - Beauce/Appalaches (1990)", le phénomène d'érosion hydrique est très restreint dans le bassin de la rivière Chaudière, en raison de la faible proportion des cultures intensives (maïs, céréales annuelles, pomme de terre, horticulture). Cette étude a démontré que l'érosion hydrique est active sur près de 58 % des superficies en monoculture qui occupent 2,4 % de la superficie totale améliorée. En outre, moins de 2 % de la superficie des terres améliorées de la région 3 sont au prise avec des problèmes de dégradation des sols (détérioration de la structure, érosion hydrique, surfertilisation, acidification, diminution de la matière organique, pollution par les métaux et compactage).

L'érosion hydrique survient lorsque les trois conditions suivantes sont rassemblées; soit un sol:

- en pente;
- peu perméable (sol saturé, croûté, gelé en profondeur ou ayant une faible conductivité hydraulique);
- en monoculture de plantes annuelles (absence d'une couverture végétale ou de résidus en surface).

Selon les données de Statistique Canada, les superficies en culture intensive ont été réduites de façon notable depuis 1941 dans le comté de Beauce (tableau 4.2). Néanmoins, l'intensification de la mécanisation a pu accroître quelque peu le phénomène d'érosion.

Les secteurs agricoles (unités de paysage dont plus de 25 % du territoire est utilisé pour les cultures intensives et extensives) les plus vulnérables à l'érosion hydrique sont identifiés au tableau 5.4. Dans ces secteurs, des pratiques de conservation rigoureuses devraient être appliquées et en particulier pour les zones en culture intensive (sarclées).

Afin de limiter le phénomène d'érosion, tous les projets d'intervention en milieu agricole devraient se conformer à la politique gouvernementale de protection des rives (juillet 1991). L'érosion hydrique pourrait être atténuée par l'application des mesures de conservation des sols et de l'eau suivantes :

- maintien et entretien d'une bande de protection riveraine (enherbée) permanente, en bordure des cours d'eau desservant les entreprises agricoles, afin de protéger les rives et les talus en les stabilisant et en contrant l'action érosive du ruissellement;
- protection des talus par l'implantation de végétation en priorité ou de toute autre technique de stabilisation, au besoin;
- mise en place de bassins de sédimentation (captage) pour intercepter les sols érodés;
- aménagement de voies d'eau engazonnées;
- installation de seuils de dissipation d'énergie pour réduire la pente des cours d'eau et par conséquent, la vitesse de l'eau;
- aménagement de rampes d'accès pour animaux;
- protection des décharges;
- maintien de la couverture végétale pour les terres en culture.

Tableau 5.4**Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière****Secteurs agricoles situés dans des unités de paysage
ayant un indice d'érosion hydrique élevé ou très élevé**

Indice d'érosion	Unité paysage	Culture extensive (%)	Culture intensive (%)	Forêt (%)	Sous-bassin
Très élevé	55	41,76	10,58	46,66	St-Victor
Très élevé	64	21,67	21,43	54,89	Chaudière
Très élevé	66	21,08	10,98	54,45	Chaudière
Élevé	5	17,25	13,93	68,35	Chaudière
Élevé	47	47,86	12,17	36,86	St-Victor
Élevé	48	36,78	10,86	51,50	St-Victor
Élevé	51	23,78	14,38	48,14	*B.T. Chau- dière
Élevé	52	18,83	6,72	51,22	*B.T. Linière
Élevé	56	25,00	6,30	67,40	St-Victor
Élevé	62	24,07	29,59	43,92	Chaudière
Élevé	63	28,68	22,33	41,13	Chaudière

* B.T. : basses terres (vallée)

5.2 Foresterie

Les pratiques forestières susceptibles d'avoir modifié les conditions hydrologiques du bassin versant ou d'avoir accru la sensibilité à l'érosion des sols sont les coupes forestières, la voirie forestière, le drainage forestier et les travaux de préparation de terrain, comme le scarifiage.

5.2.1 Les coupes forestières

L'absence de couvert forestier après coupe élimine le phénomène d'évapotranspiration associé à la végétation et l'effet d'interception des précipitations par le feuillage avec comme conséquence d'accroître le ruissellement des eaux de surface et l'érosion du sol. Ces perturbations sont particulièrement importantes dans les secteurs de forte pente et où les sols sont minces.

De plus, l'utilisation de machinerie dans les secteurs de coupe occasionne souvent une compaction des sols qui réduit l'infiltration de l'eau et amplifie l'écoulement de surface et l'érosion. La circulation de la machinerie dans les cours d'eau intermittents ou à proximité des cours d'eau permanents accroît aussi les phénomènes d'érosion. La conservation de bandes de protection le long des cours d'eau principaux constitue la meilleure approche pour atténuer ces effets.

Par ailleurs, dans les secteurs soumis à des coupes forestières, la fonte des neiges se trouve accélérée en raison de l'exposition directe aux rayons solaires. On observe également que la disparition de la forêt provoque le gel du sol à une profondeur supérieure réduisant encore l'infiltration et favorisant le ruissellement de surface.

Les effets hydrologiques et érosifs associés à la coupe forestière se font sentir principalement durant la première et la seconde année après l'intervention, le temps que de nouvelles pousses végétales s'établissent. Les phénomènes d'érosion ne sont pas toujours immédiatement perceptibles, mais ils peuvent être détectés par la mesure des sédiments en suspension dans les cours d'eau.

Les coupes à blanc contribuent à accroître le débit total des cours d'eau récepteur, ainsi que leur débit de pointe lors de la fonte. Au contraire, les coupes partielles (par trouées ou progressives) effectuées sur 50% ou moins de la superficie contribueront aussi à l'augmentation du débit total, mais le débit de pointe n'en sera pas pour autant accru, dû au phénomène de désynchronisation de la fonte.

L'exploitation forestière à l'échelle commerciale se pratique depuis 1847 dans le bassin de la Chaudière. Au début du siècle, deux compagnies, soit la John Breakey Ltd et la Brown Corporation étaient les chefs de file de l'exploitation forestière. Progressivement depuis, un grand nombre d'autres intervenants, marchands de bois, petites compagnies et propriétaires privés ont exploité la forêt du bassin de la Chaudière.

Aucun registre des activités forestières n'est aujourd'hui disponible, de sorte que dresser un bilan de l'exploitation forestière des soixante dernières années en localisant les secteurs d'intervention s'avérerait pratiquement impossible.

Devant cette situation, nous avons procédé à une analyse détaillée des informations contenues sur les cartes forestières établies lors du second programme provincial d'inventaire forestier (1982-1991). L'analyse des données statistiques concernant les secteurs de coupes totales non régénérées a permis de préciser que de l'exploitation forestière a été effectuée sur 45 000 ha durant la période 1975-1985 et qu'elle a été particulièrement intense à la tête du sous-bassin versant de la rivière Linière (unités de paysage 52,73 et 77). Le tableau 5.5 présente l'intensité de coupe mesurée à partir des cartes forestières couvrant l'ensemble du bassin en précisant l'écart par rapport à l'intensité moyenne de coupe pour l'ensemble du bassin versant de la rivière Chaudière. Les unités de paysage comprise dans chaque feuillet sont également identifiées.

Tableau 5.5 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Intensité de coupe par feuillet cartographique et écart par rapport à la moyenne du bassin			
Feuillet 1:20000	Intensité (%)	Écart (%)	Unités de paysage
21 L 01 NO	6,3 %	- 1,4 %	23,26,27,28,29
21 L 01 SO	11,0 %	+ 3,3 %	30,31,32,52
21 L 02 NO	4,6 %	- 3,1 %	11,12,41,43,48
21 L 02 SO	4,1 %	- 3,6 %	38,42,44,45
21 L 02 NE	9,0 %	+ 1,3 %	13,16,19,35,36
21 L 02 SE	5,9 %	- 1,8 %	13,34-39,50-52
21 L 03 NE	2,2 %	- 5,5 %	11,46,48,49,57
21 L 03 SE	6,0 %	- 1,7 %	45,46,47,55,56
21 L 06 NE	0,6 %	- 7,1 %	1,13,10,61-64
21 L 06 SE	4,5 %	- 3,2 %	10
21 L 07 NO	3,3 %	- 4,4 %	1-6,10,13
21 L 07 SO	9,1 %	+ 1,4 %	4,8-10,12-14
21 L 07 NE	5,1 %	- 2,6 %	5,7
21 L 07 SE	8,7 %	+ 1,0 %	7,15-18
21 L 08 SO	11,7 %	+ 4,0 %	18,19,21-26
21 L 11 SE	0,9 %	- 6,8 %	1
21 E 06 NE	3,2 %	- 4,5 %	92-98,108
21 E 07 NO	8,1 %	+ 0,4 %	85,94-101,107
21 E 07 SO	1,1 %	- 6,6 %	98-104
21 E 07 NE	6,1 %	- 1,6 %	84-85,110
21 E 09 NO	1,6 %	- 6,1 %	73
21 E 10 NO	9,4 %	+ 1,7 %	68,70,89
21 E 10 SO	3,8 %	- 3,9 %	86-88,90-93
21 E 10 NE	6,4 %	- 1,3 %	51,66,72,73,78
21 E 10 SE	3,0 %	- 4,7 %	91,92,105
21 E 11 SE	11,5 %	+ 3,8 %	91,92,105
21 E 15 NO	8,1 %	+ 0,4 %	72,79-84
21 E 15 SO	8,7 %	+ 1,0 %	65,67,68
21 E 15 NE	9,5 %	+ 1,8 %	40,50,51,59,60

$\frac{\text{Superficie de coupe non régénérée} \times 100}{\text{Superficie du feuillet}}$

21E15SE

8,9%

+1,2%

50,51,60

moyenne du bassin

7,7%

TECSULT

Par ailleurs, l'analyse de l'âge des peuplements forestiers de l'ensemble du bassin versant de la rivière Chaudière a permis d'estimer la pression de coupe de 1925 à nos jours. Elle aurait été d'environ 107 000 ha ou 5 350 ha/an pour la période 1925-1945, 74 000 ha ou 3 700 ha/an pour la période 1945-1965 et 90 000 ha ou 4 500 ha/an pour la période 1965-1985.

Ces chiffres nous indiquent qu'annuellement entre 0,6 et 0,9 % de la superficie du bassin versant de la Chaudière a été soumis à la coupe forestière depuis 1925 et que la pression a été assez constante pendant tout ce temps. À l'échelle du bassin versant, cette pratique ne semble pas avoir d'effets notables sur les phénomènes d'inondation de la rivière Chaudière, compte tenu de la faible étendue des zones de coupe. Toutefois, pour la période 1965-1985, il est possible que la concentration des coupes forestières dans le secteur amont du sous-bassin de la rivière Linière ait pu localement avoir une influence significative sur l'ampleur des inondations en raison notamment de l'accumulation de sols érodés, dans le lit de la rivière Chaudière, en aval de l'embouchure de la Linière.

5.2.2 Voirie forestière

La voirie forestière est une pratique qui consiste à faciliter l'accès aux zones d'approvisionnement en bois et le transport de cette ressource vers les industries de transformation. Deux types de chemin forestier peuvent être aménagés: les chemins permanents ou temporaires (de vidange). Les chemins permanents sont aménagés pour permettre l'accès aux zones d'exploitation et sont entretenus continuellement. Les chemins temporaires sont aménagés pour sortir la ressource des parterres de coupe et ils sont abandonnés aussitôt l'exploitation terminée. Ils ne sont donc pas entretenus.

L'aménagement de chemins forestiers implique l'enlèvement du couvert végétal et la mise en place d'installations de drainage pour les voies permanentes. La mise à nu du sol et les modifications de l'écoulement des eaux de surface occasionnent généralement de l'érosion dont la sévérité variera en fonction des pentes et de la nature des sols.

Avant 1940, l'exploitation forestière dans les limites du bassin de la Chaudière s'effectuait à partir du réseau routier existant, notamment via les "chemins de rang". À cette époque, les travaux forestiers s'effectuaient en hiver en utilisant des techniques d'exploitation artisanales. Les opérations forestières mécanisées ont débuté au cours des années 1950 et le développement de chemins à des fins strictement forestières probablement à peu près à la même période. Le tableau 5.6 présente des données statistiques concernant la voirie forestière depuis 1963. Aucune donnée antérieure n'a pu être retracée. D'après les informations obtenues auprès de différents intervenants du milieu forestier oeuvrant dans le bassin de la Chaudière, la majorité des travaux de voirie forestière a été effectuée par la compagnie Domtar, principalement dans le haut du bassin versant de la rivière Linière.

Comme pour les coupes forestières, la contribution de cette pratique à l'ampleur des inondations est difficilement quantifiable et nécessitera l'obtention d'autres éléments d'information pour permettre une estimation fiable. À priori, les effets de la voirie forestière en matière d'érosion et de ruissellement s'additionnent à ceux entraînés par les coupes forestières. La contribution du bassin versant de la rivière Linière en terme d'apport de sols s'accumulant dans la rivière Chaudière devrait être documentée adéquatement pour répondre aux interrogations actuelles.

5.2.3 Drainage forestier

La pratique du drainage forestier a comme objectif d'améliorer la production ligneuse sur des terrains dont le niveau de la nappe phréatique est trop élevée. Au Québec, peu d'études ont été réalisées pour quantifier les effets de cette pratique sur le comportement hydrologique normal d'un territoire. Par contre, sur la base de travaux d'expertise effectués sur ce sujet aux États-Unis, le drainage forestier contribue à augmenter les débits de pointe lors de fortes pluies quand il est appliqué sur l'ensemble d'un bassin versant. Lorsque les superficies drainées couvrent de faibles superficies d'un bassin versant, on observe plutôt une désynchronisation de

Tableau 5.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Statistiques sur la voirie forestière dans le bassin de la Chaudière		
Intervenant forestier	Kilométrage de chemins	Début des travaux
DOMTAR	390 km	1963
G.F. CHAUDIERE	72 km	1976
G.F. DORCHESTER	115 km	1986
G.F. BEAUCE-SUD	70 km	1985
G.F. APPALACHES	nd	1974
S.P.B. BEAUCE	35 km	1985
U.G. ESTRIE	66 km	1987
IND. MEGANTIC	nd	
TOTAL RECENSE	728 km	

nd: non disponible ou non compilé.

l'écoulement, les zones drainées favorisant une évacuation plus rapide des eaux de surface. Le drainage forestier entraîne donc, dans ce cas, une augmentation du volume total de ruissellement, mais une diminution du débit de pointe.

La pratique du drainage forestier est plutôt récente dans le bassin versant de la Chaudière. Cette pratique fait partie de la gamme des travaux subventionnés par des programmes d'aide en forêt privée, depuis 1986 (Trottier, 1991). Le tableau 5.7 fait état des superficies forestières drainées depuis 1986. Malheureusement, les informations disponibles ne permettent pas une localisation précise des zones drainées.

Sur la base des données disponibles, environ 5 000 à 6 000 ha de forêt seraient drainées dans l'ensemble du bassin versant de la rivière Chaudière, soit environ 1 % du territoire. Bien que réalisé sur une faible superficie, cette pratique favorise l'apport de volumes d'eau additionnels dans la rivière Chaudière en période de crues. L'effet cumulatif de cette pratique avec d'autres pratiques ne doit pas être négligé dans l'évaluation globale des causes d'inondation.

5.2.4 Préparation de terrain

La préparation de terrain est une pratique forestière qui vise à remettre en production ligneuse les sites ayant été soumis aux coupes forestières.

Le scarifiage et le déblaiement sont deux types courant de travaux de préparation de terrain. Le scarifiage consiste à mélanger l'humus avec le sol minéral pour assurer un bon lit de germination aux plants lors du reboisement. Le déblaiement consiste à enlever les déchets de coupe, les broussailles et une partie de la matière organique pour faciliter la plantation (Paquet 1982).

Le scarifiage augmente la susceptibilité des sols à l'érosion, alors que le déblaiement doit être réalisé avec une certaine minutie, pour éviter le scalpage du site. Aucune étude n'a été réalisée au Québec pour quantifier l'impact de ces pratiques. Il est cependant temporaire, car les sites touchés sont généralement en reboisement l'année suivante.

Tableau 5.7							
Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière							
Superficies en hectares drainées depuis 1986 à l'intérieur du secteur d'étude							
GROUPEMENT FORESTIER ET AGRICOLE VALLÉE DE LA CHAUDIÈRE INC.							
		1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	723				100	87	
GROUPEMENT FORESTIER ET AGRICOLE DE BEAUCE-SUD INC.							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	*150						
GROUPEMENT FORESTIER DU SUD DE DORCHESTER INC.							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	39	210	69	123	81	108	162
GROUPEMENT FORESTIER ET AGRICOLE DES APPALACHES INC.							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)		20	27	36	37	28	37
UNITÉ DE GESTION DE BEAUCE (34)							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)			225				
UNITÉ DE GESTION DE L'ESTRIE (51)							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	5	40		130			20
UNITÉ DE GESTION DE L'ESTRIE (Aide Individuelle)							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)		45	50	15	63	34	44
SYNDICAT DES PRODUCTEURS DE BOIS DE LA BEAUCE INC.							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	*240						
GRAND TOTAL:		5 137 hectares					

*: valeur moyenne Grisé: absence de travaux

___: Superficies additionnelles compliées ultérieurement

La consultation de divers intervenants forestier a permis d'évaluer l'importance des superficies ayant fait l'objet de travaux de préparation dans le bassin versant de la rivière Chaudière. Les données recueillies sont présentées aux tableaux 5.8 et 5.9.

Comme dans le cas du drainage forestier, les renseignements fournis n'ont pas permis une localisation précise des sites forestiers préparés, sauf pour les superficies scarifiées par Produits Forestiers Domtar Inc. de 1980 à 1989, où leur localisation approximative est spécifiée au tableau 5.9.

Sur les bases des données recueillies, environ 13 000 ha ou environ 2 % du territoire actuellement étudié aurait fait l'objet de travaux de préparation de terrain depuis le début des années 1980, soit environ 1 000 à 1 500 ha par année. Étant donné l'étendue restreinte de ces superficies, il est peu probable que les travaux de scarifiage et de déblaiement puissent avoir contribué significativement à amplifier les inondations de la rivière Chaudière. Il s'agit néanmoins d'une pratique qui favorise l'érosion et son utilisation devrait être restreinte aux secteurs les moins sensibles à l'érosion.

5.3 Urbanisation

L'urbanisation a conduit à la concentration des activités humaines: des habitations ont été construites avec des rues et des réseaux d'aqueduc et d'égouts. L'impact sur les débits et l'érosion peut se situer à trois niveaux:

- le drainage pluvial;
- l'évacuation des eaux usées;
- l'alimentation en eau potable.

5.3.1 Le drainage pluvial

L'urbanisation se traduit par un déboisement suivi d'une imperméabilisation des superficies. Les eaux de ruissellement sont canalisées vers des puisards raccordés à l'égout ou encore vers des fossés de part et d'autre des rues. En général, les eaux de ruissellement urbain sont évacuées rapidement des secteurs habités et se retrouvent dans les cours d'eau voisins.

Tableau 5.8							
Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière							
Superficies en hectares scarifiées dans les limites du bassin versant à l'exclusion des travaux effectués par Domtar							
GROUPEMENT FORESTIER ET AGRICOLE VALLÉE DE LA CHAUDIERE INC							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)					220	150	
GROUPEMENT FORESTIER ET AGRICOLE DE BEAUCE SUD INC.							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	*225						
GROUPEMENT FORESTIER DU SUD DE DORCHESTER INC.							
	1979-86	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	2845	195	102	356	330	197	220
GROUPEMENT FORESTIER ET AGRICOLE DES APPALACHES INC.							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)			25	36	13	27	142
UNITÉ DE GESTION DE BEAUCE (34)							
	1981-86	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	958	498		294	103		
UNITÉ DE GESTION DE L'ESTRIE (51)							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	200	120		20		40	
UNITÉ DE GESTION DE L'ESTRIE (Aide Individuelle)							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)		61	21	80	155	161	89
SYNDICAT DES PRODUCTEURS DE BOIS DE LA BEAUCE INC.							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
(ha)	*225						
TOTAL				10 808 hectares			

* Valeur moyenne Grisé: Absence de travaux

Tableau 5.9 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Superficies scarifiées depuis 1980 sur les lots privés de Produits Forestiers Domtar inc.		
Année	Canton	Superficie (ha)
1980	MARLOW	38
1981	DORSET	136
1982	MARLOW	122
1983	MARLOW	147
1984	MARLOW	97
1985	MARLOW	172
1986	MARLOW	192
1987	MARLOW	357
1988	ST-THEOPHILE	320
1989	ST-MARTIN	315
TOTAL: 1896 hectares		

Le type de réseau de drainage utilisé influence la vitesse d'écoulement et conséquemment le temps de concentration des eaux pluviales dans les rivières. L'eau circule plus lentement dans un réseau de surface doté de fossés que dans un réseau souterrain où les conduites sont lisses et avec des pentes plus régulières. Nous reproduisons au tableau 5.10 les limites de vitesses généralement admises pour la conception de différents types de réseau de drainage. La figure 5.1 montre les relations entre la pente d'un terrain et la vitesse d'écoulement en fonction de l'utilisation du sol, développées pour calculer le temps de concentration des eaux de ruissellement sur un bassin versant. Le temps de concentration est le temps pris par la goutte tombant à l'extrémité d'un bassin versant pour atteindre son exutoire.

Le tableau 5.10 indique que l'écoulement se fait à des vitesses beaucoup plus élevées dans des conduites sous terre que dans les fossés à ciel ouvert creusés dans le sol et ce afin d'éviter l'érosion et leur destruction. En ce qui concerne l'écoulement sur les terrains en pente, la figure 5.1 démontre que les vitesses sur des surfaces pavées peuvent atteindre plus de 10 fois celles sur des terrains forestiers, ce qui réduit considérablement le temps de concentration.

Les zones urbanisées concernent des agglomérations de petites superficies disséminées à travers le bassin versant ainsi que des agglomérations plus importantes localisées à proximités des principales rivières. Les superficies urbanisées calculées à partir de la numérisation de l'image satellite LANDSAT totalisent 165 km², soit 2,87% de la superficie totale du bassin (voir tableau 4.1).

Si l'on considère que le ruissellement sur des zones urbanisées de type résidentiel ou commercial peu dense peut atteindre entre 20% et 100% de plus que celui provenant d'une zone forestière tel que démontré par les numéros de courbes (CN) du tableau 6.5, les apports d'eau additionnels à la rivière Chaudière ne sont pas négligeables.

L'analyse du temps de passage du débit de pointe à différentes stations hydrométriques sur le bassin versant indique que la vitesse de déplacement de l'onde de crue est très lente sur le tronçon des eaux mortes de sorte que les débits de

Tableau 5.10 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Limites de vitesses admises pour différents types de réseau d'égout pluvial		
TYPE DE RÉSEAU	V MINIMUM (m/s)	V MAXIMUM (m/s)
Fossé sans végétation:		
- sable fin, limon, peu d'argile	—	0,6
- terre ordinaire	—	0,9
- argile durcie, argile et gravier	—	1,2
- gros gravier, ardoise molle	—	1,5
Fossés avec végétation:		
- selon la densité des herbes	—	0,9 - 1-8
Fossés dans le roc:		
- ardoise, schiste, gros galets	—	3,0
- roc ordinaire fragmenté	—	4,6
- roc solide	—	7,6
Fossé avec empierrement de protection:		
- selon la grosseur des pierres	—	3,0 - 4,6
Conduite d'égout domestique	0,60	12,0
Conduite d'égout pluviale	0,75	12,0

Source: MENVIQ, directive 004 et M.T.Q.

5-24

pointe provenant des agglomérations urbaines situées en amont de Beauceville s'additionnent et contribuent au débit de pointe pouvant causer des inondations entre Scott Jonction et Saint-Joseph. Pour les villes directement sur ce tronçon, les pointes des hydrogrammes de crue sur leur bassin urbain respectif précèdent l'arrivée du débit de pointe sur la rivière Chaudière lors d'une crue causées par des pluies généralisées sur le bassin ou par la fonte des neiges.

L'impact sur les inondations du drainage urbain des villes de Scott Jonction, Sainte-Marie, Vallée Jonction et Saint-Joseph est donc moins grand que celui des autres villes.

5.3.2 Réseaux d'égouts sanitaires municipaux

La population desservie par un réseau d'égouts et une station de traitement des eaux usées est de 64 179 personnes soit 56% de la population du bassin-versant. Sachant que le programme d'assainissement est presque complété dans ce bassin, on peut assumer que le reste de la population évacue ses eaux usées vers des installations septiques.

Selon les données compilées des dossiers d'assainissement, les secteurs desservis par un réseau d'égouts couvrent une superficie de 40 km², soit quatre fois moins que celle de tout le territoire urbain.

Tous les réseaux d'égouts peuvent drainer en partie la nappe via les joints non étanches entre les conduites. De plus, suite à des interventions volontaires ou des erreurs, les réseaux d'égouts domestiques ou pseudo-domestiques peuvent recevoir ponctuellement des eaux de ruissellement urbain. Ces apports, qualifiés respectivement d'infiltration et de captage, représentent des volumes parasites qui gonflent artificiellement le volume d'eaux usées des réseaux domestiques et pseudo-domestiques.

Le tableau 5.11 résume l'état de la situation concernant l'évacuation et le traitement des eaux usées municipales sur le bassin versant.

Tableau 5.11
ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
CARACTÉRISATION DES SYSTÈMES D'ÉVACUATION ET DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DES MUNICIPALITÉS DU BASSIN

MUNICIPALITÉ	POPULATION TOTALE	POPULATION DESSERVIE	LONGUEUR DES RÉSEAUX (km)				SUPERFICIE (ha)	Q INTERCEPTÉ (l/s)	Q TRAITÉ (l/s)	TYPE DE TRAITEMENT	RÉTENTION (d)
			PL	D	PD	U					
Sainte-Marie	10 200	7 500	>50%	X	42.0		438	241.0	101.3	5 étangs aérés	25
- Vallée Jonction	2 090	1 200			6.9	0.8	50		16.0		
- Enfant-Jésus		650	X	X	2.1	1.1	15	23.0	11.0		
- Saint-Joseph	4 560	3 200	X	3.4	19.4		200	69.0	34.0		
Saint-Joseph, Vallée-Jonct. et Enf.-Jésus	6 650	4 900	X	3.4	28.4	1.9	265	89.0	66.5	4 étangs aérés fossés d'oxydation disques biologiques	17.5
Beauceville et Saint-François	5 360	5 000			17.9	7.7	170	174.0	51.1		
Notre-Dame-des-Pins	980	642			8.2		68	21.9	9.2		
- Saint-Georges		10 100	X		79.0		765	363.0	195.0		
- Saint-George-Ouest		6 500	13.4	5.5	23.3		260	175.0	225.0		
Saint-Georges et Aubert-Gailion	22 440	16 595	13.4	5.5	102.3		1 025	337.0	225.0	3 réact. biol. séquent.	0.33 - 0.5
Saint-Martin	2 550	1 545		2.2	8.7		122	31.4	13.0		
Saint-Gédéon	2 400	1 350			12.2		130	60.0	11.8		
Lac-Mégantic et Nantes (ptie)	7 070	6 615	X	2.7	31.4	5.1	509	202.0	65.7		
La Guadeloupe	1 840	1 510	X	X	0.8	0.2	103	31.6	14.1	2 boues activées	20.5
Unière et Saint-Côme-de-Kennebec	3 130	1 930			X		151	30.1	13.9		
Saint-Prosper	3 820	2 427			X		144	42.3	19.1		
Sainte-Aurèle et Saint-Zacharie	3 290	2 154	X		8.0		168	24.7	15.8		
Risborough, Saint-Ludger et Gayburst	1 440	625				5.4	43	16.7	5.6	3 étangs aérés + acc.	28 - 45
Sainte-Marguerite	1 050	390					33	7.3	3.3		
Saint-Éphrem	2 350	1 035	X		X		60	59.0	13.0		
Frontenac	1 460	300			X		3	4.7	1.6		
Audet	830	280		X				4.3	1.2	3 étangs non aérés	95 - 150
Saint-Théophile	900	270			1.0			4.7	1.6		
Saint-Méthode-de-Frontenac	1 760	1 250					59	19.4	5.5		
Saint-Odilon-de-Cranbourne	1 610	954	4.6		5.5		49	16.0	4.8		
Saint-Robert-Bellamin	790	351	X		2.7		27	7.6	1.6	2 étangs aérés	136 - 170
- East-Broughton (vill.)	1 370	1 430	X	X	7.8		63		12.0		
- East-Broughton Station	1 300	1 350	X		7.4		53		14.8		
East-Broughton	2 670	2 780	X	X	15.2		116	282.3	26.8	3 étangs aérés	25
Saint-Elzéar	970	879	X	2.6	2.6		43	27.3	9.3		
Shenley	1 070	1 039			5.3		65	18.8	10.8		
Ting-Jonction	1 390	1 208			15.1	X	136	23.7	14.7		
TOTAL	88 020	64 179	18.0	16.4	308.4	21.2	3 942.0	1 799.8	717.3		
MOYENNE	3 521	2 567	9.0	3.3	61.7	5.3	171.4	72.0	28.7		

Les réseaux d'égout sanitaires ont une capacité globale de 1799,8 L/s ($1,8 \text{ m}^3/\text{s}$), soit un débit spécifique de $0,045 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$. Les ouvrages de traitement étant conçus pour les débits usés de temps sec, les débits d'eau mélangée évacués par les conduites d'égout combiné sont habituellement déversés sans traitement lors d'averses.

Le débit traité par l'ensemble des municipalités pourvues d'une station de traitement est de $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un débit spécifique de $0,018 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$. Le reste de l'eau interceptée correspondant à la capacité des conduites est déversé sans traitement.

Le débit moyen de la rivière Chaudière est de l'ordre de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ à Saint-Lambert, soit un débit spécifique de $0,017 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$. La crue moyenne atteint environ $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un débit spécifique de $0,172 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$. Le débit spécifique moyen des eaux usées traitées est similaire au débit spécifique moyen de tout le bassin versant de la rivière. Toute proportion gardée, les réseaux d'égouts véhiculent donc moins d'eau que le reste du bassin-versant en temps de crue.

À elle seule, l'agglomération de Saint-Georges traite 30% de toutes les eaux usées du territoire à l'étude. Le traitement est de type boues activées (réacteur biologique séquentiel) avec un temps de rétention très court (moins de 12 heures). Les autres municipalités traitent en général leurs eaux usées par le biais d'étangs (aérés ou non aérés), ce qui représentent 52% des débits traités. Les temps de rétention des étangs sont toujours supérieurs à 15 jours allant jusqu'à 37 jours dans certains cas. On assiste même à la rétention totale en période estivale pour quelques municipalités: il n'y a alors aucun rejet aux cours d'eau.

En conclusion, les réseaux d'égouts sanitaires et les systèmes de traitement par étangs aérés ont un impact positif mais marginal sur le phénomène des inondations car ils contribuent à retenir des volumes d'eau qui normalement viendraient s'ajouter à ceux provenant du bassin versant en période de crues.

5.3.3 Source d'approvisionnement en eau potable

Selon les informations recueillies, six municipalités s'approvisionnent en eau potable à partir d'une source de surface (tableau 5.12). Pour des raisons de qualité ou de quantité, certaines de ces municipalités complètent leur approvisionnement à l'aide de puits. Par conséquent, la population réellement alimentée par un cours d'eau ou un lac est de moins de 43 400 personnes. Les autres agglomérations s'approvisionnent à partir de l'aquifère, tandis que les résidences isolées ont leur propre puits.

À l'échelle de tout le bassin versant, cette ponction dans le réseau hydrique est marginale : en supposant une consommation per capita de 300 litres/jour, ce sont quelque 0,4 m³/s d'eau potable qui sont utilisés à des fins domestiques. De plus, environ 80% de cette eau est retournée à l'égout, c'est-à-dire au réseau hydrique.

5.4 Infrastructures de transport

Le développement des infrastructures de transport sur l'ensemble du bassin hydrographique de la rivière Chaudière s'est fait principalement dans le but de répondre aux besoins grandissants du développement agro-industriel et forestier de la région. Essentiellement, c'est le réseau routier qui fut amélioré depuis les années 1950 afin de satisfaire aux besoins de l'industrie agro-industrielle locale. On a donc affaire ici à un réseau routier de déserte plutôt que de transit. Cette distinction nous apparaît importante à souligner, parce que sinon, il pourrait être tendancieux d'analyser l'impact du réseau de transport sur les processus d'inondation sans avoir une vision d'ensemble des activités anthropiques qui ont cours sur le bassin et qui influent de manière inter-dépendante sur les conditions de drainage et de ruissellement.

Tableau 5.12**Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière****Municipalités s'approvisionnant en eau
potable à partir d'une source de surface**

Municipalité	Population approxima- tive desservie	Description
Saint-Georges (avant la fusion)	12 000	Prise d'eau au barrage Sartigan sur la rivière Chaudière (retenue d'eau d'environ 2 600 000 m³)
Saint-Georges-Ouest (avant la fusion)	6 400	Prise d'eau sur le lac Poulin (alimenté par le lac des Cygnes et le lac Fortin)
Beauceville	4 200	Prise d'eau sur le lac Fortin
Sainte-Marie	10 200	Barrage et prise d'eau sur la rivière Bélair (retenue d'environ 250 000 m³)
Saint-Joseph	3 400	Barrage et prise d'eau sur le ruisseau Doyon lui-même alimenté par 2 puits (retenue d'environ 90 900 m³)
East-Broughton	1 400	Prise d'eau sur le lac des Cinq
Lac Mégantic	5 800	Prise d'eau sur le lac Mégantic

5.4.1 Réseau routier

La figure 4.3-P montre l'évolution du réseau de transport sur le bassin hydrographique de la rivière Chaudière depuis les cinquante dernières années. On remarque sur cette figure que le réseau routier s'est développé de façon significative. Il est cependant important de signaler ici que la densité du réseau routier actuel n'est pas si différente de celle des pistes qui existaient au début du siècle. Elle peut même avoir diminué dans certaines régions plus isolées du bassin hydrographique. Avant l'exode qui a suivi la seconde guerre mondiale, la population rurale répartie sur le bassin hydrographique était importante et cette dernière s'était dotée d'un réseau assez dense de chemins et de sentiers qu'empruntaient les voitures tirées par des chevaux. Le drainage était donc réduit à sa plus simple expression et l'hiver on roulait et on tapait la neige pour pouvoir y circuler. Le printemps venu, ces routes devenaient le plus souvent impraticables. Pendant le dégel on circulait alors en empruntant les champs voisins jusqu'à ce que la neige et l'eau de fonte aient disparu.

Le développement routier qui s'est fait depuis cinquante ans s'est donc concentré non pas sur la densification du réseau, mais plutôt sur l'amélioration des infrastructures avec l'objectif de rendre ces chemins carrossables à l'année. Or la préoccupation première de celui qui améliore une route, c'est d'en évacuer l'eau le plus rapidement possible: automobile et sécurité obligent. On a donc massivement construit des fossés, des ponceaux et des ponts. Bien entendu, plusieurs routes de terres se sont vues graduellement améliorées, passant d'une surface de roulement en terre battue sous le niveau des terrains avoisinants à une chaussée gravelée, surélevée et plus large et dans le tiers des cas pavée (voir figure 5.2).

D'un point de vue hydrologique, l'amélioration du drainage routier dans le bassin de la rivière Chaudière se traduit par une densification du réseau hydrographique, provoquant ainsi une diminution du temps de concentration d'un cours d'eau, c'est-à-dire du temps que prend l'eau pour se rendre à l'exutoire. Sur l'ensemble du bassin, la densité du réseau routier atteint pratiquement celle du réseau hydrographique naturel, avec une valeur de 0,5 km de route par km² alors qu'on compte environ 0,6 km de cours d'eau naturels par km² de bassin hydrographique. Il s'agit là d'une

augmentation significative de la densité du réseau de drainage alimentant la rivière Chaudière. Cette densification au cours des années présentée au tableau 4.7 s'est faite sans tenir compte de la sensibilité du milieu tel que montré au tableau 5.13.

Cette densification du réseau de drainage est particulièrement bien illustrée par les données du tableau 5.14 sur la localisation et le nombre de ponceaux le long de l'autoroute 73 et de la route 173. La distance moyenne entre les ponceaux est de 324 m (environ 1000 pieds), ce qui traduit l'importance du réseau de drainage à proximité de la rivière Chaudière.

Évidemment, dans bien des cas, le réseau routier et le réseau hydrographique se juxtaposent, rendant difficile l'évaluation précise de l'incidence du seul réseau de drainage routier sur la diminution du temps de concentration des petits bassins. Néanmoins, avec un réseau de drainage plus dense, il est tout à fait logique de penser que même si le volume de ruissellement restait le même, la pointe des hydrogrammes, elle, augmenterait. Ceci est d'autant plus vrai que, règle générale, le constructeur de routes cherche à évacuer l'eau le plus rapidement possible. À la croisée des cours d'eau, on tente dans la mesure du possible de ne pas faire obstacle au tracé du cours d'eau ou d'en modifier le parcours le moins possible. La seule contrainte du constructeur de routes est surtout de se protéger contre les éventuels méfaits de l'érosion, lorsque les eaux évacuées circulent trop rapidement. Bref, les pratiques usuelles visent à diminuer la rétention sur le bassin: la route craint l'eau.

Le soin apporté à protéger les routes contre les méfaits de l'eau est bien illustré par l'importance accordée par le Ministère des Transports aux études hydrologiques dans la conception des ponts et des ponceaux. Le tableau 5.15 donne un aperçu des études réalisées à cet effet.

Tableau 5.13 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Aptitude des sols au ruissellement versus le réseau routier par sous-bassin			
Sous-bassin	1925-1935 (543,3 km)	1950-1954 (932,2 km)	1984 (2 916,0 km)
Haute Chaudière	Très élevé	Très élevé (à élevé)	Très élevé (à élevé)
Linlère	Très élevé	Élevé	Élevé (à moyen)
Pozer	Élevé	Élevé	Élevé
Famine	Faible (à moyen)	Faible (à moyen)	Moyen (à faible)
Saint-Victor	Élevé	Élevé	Élevé/très élevé
Moyenne Chaudière	Élevé	Élevé	Élevé (à très élevé)

Faible: CN < 50
Moyen: CN 50-60
Élevé: CN 60-70
Très élevé: CN > 70

Tableau 5.14 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Localisation des ponceaux le long des routes 73 et 173				
Municipalité	Infrastructure	Longueur (m)	Nombre de ponceaux	Distance moyenne entre les ponceaux (m)
Scott	autoroute 73, droit	1 235	3	412
	autoroute 73, gauche	1 298	3	433
	route 173 ^a	1 629	1	1 629
Taschereau-Fortier	autoroute 73, droit	6 137	11	558
	autoroute 73, gauche	6 129	14	438
	route 173 ^a	5 730	15	382
Sainte-Marie	autoroute 73, contigu	8 927	14	638
	autoroute 73, droit	4 632	8	579
	autoroute 73, gauche	4 632	0	4 632
	route 173	14 242	51	279
Saints-Anges	autoroute 73, contigu	3 688	7	527
Vallée-Jonction	route 173	5 836	17	343
Saint-Joseph-de-Beauce (par.)	autoroute 73, contigu	8 250	14	589
	route 173	11 028	44	251
Saint-Joseph-de-Beauce (ville)	route 173	1 381	3	460
Beauceville	route 173	4 682	9	520
Saint-François-de-Beauce	route 173	8 381	36	233
Notre-Dame-des-Pins	route 173	5 059	22	230
Saint-Georges	route 173	8 764	19	461
Saint-Georges-Est	route 173	5 438	22	247
Linéaire	route 173	1 900	15	127
Saint-Côme-de-Kennebec	route 173	12 535	67	187
Saint-Théophile	route 173	23 489	83	283
SOUS-TOTAL	autoroute 73	44 928	74	607
SOUS-TOTAL	route 173	110 094	404	273
TOTAL		155 022	478	324

▪ Note: ces tronçons de route sont dotés de réseau d'égout pluvial dans les secteurs urbains.

Tableau 5.15
ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
LISTE DES ÉTUDES HYDROLOGIQUES POUR LA CONCEPTION
DE PONTS ET PONCEAUX SUR LES PRINCIPAUX COURS D'EAU DU BASSIN

LOCALISATION (route/rivière)	BASSIN VERSANT (km ²)	DÉBITS (m ³ /sec) POUR RÉCURRENCE DE:						NOTE
		1 an	5 ans	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans	
73/Du Moulin	3,50	2,00	2,59	3,06	4,00	3,60	4,43	1
73/Chassé	80,3	29,2	38,3	42,6	53,2	60,5	65,3	1
73/Bélair	39,3	20,0	26,1	29,7	36,3	39,9	44,2	2
73/sur fossé	---	0,99	1,33	1,57	1,84	2,04	2,27	1
112/Rousseau	1,26	1,93	2,53	2,99	3,51	3,90	4,32	1
Écore Nord/Nadeau	40,5	17,4	18,0	24,1	24,9	29,2	31,3	1
173/Morency	28,5	21,4	28,5	33,7	39,6	44,0	48,8	1
73/St-Joseph	43,5	22,0	29,8	33,7	39,7	46,0	48,5	1
276/Des Fermes	57,5	37,0	46,0	54,0	64,0	72,0	80,0	1
276/Chaudière	5 180	---	---	---	---	---	---	3
112/Des Fermes	15,3	17,8	24,3	27,5	32,3	37,5	39,5	1
73/Lessard 276/Lessard	0,90 0,50	1,08 0,68	1,40 0,89	1,66 1,05	1,95 1,23	2,16 1,37	2,40 1,51	1
108/Chaudière	4 134	---	---	---	---	---	---	3
173/Chaudière	4 134	905	1 129	1 333	1 568	1 740	1 775	1
173/Famine	704,5	226	284	339	400	444	489	2
73/Chaudière	3 833	558	744	878	1 033	1 147	1 290	1
271/Pozer	154	63,5	86,6	98,1	116	134	141	2
204/Kokombis	45	30,8	38,8	45,6	53,6	60,6	66,8	1
204/Linière	894	268	337	397	466	528	581	1
204/Maheux	9,0	5,0	6,6	7,8	9,2	10,21	11,32	1
204/Rousseau	1,88	3,89	5,10	6,01	7,08	7,86	8,71	1
204/Du Moulin	10,0	9,1	12,0	14,1	16,6	18,4	20,2	1
Rg1/ruisseau	9,25	3,5	4,6	5,4	6,4	7,4	7,8	1
Rg Ludgine/Eugénie	54	22,7	29,7	35,1	41,2	47,8	50,2	1

Note: 1 Calculs de débit effectués par le MTQ (Service de l'hydraulique).
 2 Données fournies par le MENVIQ (Ministère des Ressources Naturelles).
 3 Étude en fonction des niveaux d'eau.

Un autre élément qui a pu contribuer à accentuer le ruissellement, c'est le fait que les équipes d'entretien des routes, tant au niveau municipal que provincial, attachent une attention toute particulière à dégager les ponceaux avant le dégel printanier. Cette pratique se distingue nettement de ce qui prévalait au début du siècle, alors qu'on laissait la nature suivre son cours. Certes, lors du dégel printanier, on retrouve encore aujourd'hui des ponceaux gelés qui provoquent des refoulements et des inondations, surtout le long de certaines routes de campagne, mais ce phénomène est sûrement moindre qu'avant.

Finalement, un point qui est souvent passé sous silence, c'est l'impact durant la construction d'une route. Si des mesures ne sont pas prises pour éviter l'érosion, il peut se faire du transport de sédiments et l'ensablement subséquent du lit du cours d'eau récepteur. On peut alors se retrouver avec des problèmes localisés d'inondation qui auront cependant tendance à disparaître avec le temps. Dans cette optique, il serait intéressant de mettre en parallèle l'évolution de certains deltas du tronçon des Eaux Mortes entre Scott et Sainte-Marie et la construction de l'Autoroute Robert Cliche où le nombre de ponceaux est particulièrement important (tableau 5.14). On pense notamment aux ruisseaux Drouin, Gagnon, Roy-Labbé, Gosselin et Poulin de même qu'aux rivières Du Moulin et Chassé.

Pour conclure, le développement intensif du réseau routier rural entre 1955 et 1985 a sûrement eu une incidence sur l'accroissement des pointes de débit dans la rivière Chaudière. Par contre, la mesure de cet impact doit être vue dans une perspective plus globale de développement en conjonction avec les pratiques agraires et les autres utilisations du sol qui accentuent également les phénomènes de ruissellement.

D'autre part, il y a sûrement lieu de revoir l'approche conventionnelle pratiquée en matière de construction de routes afin d'y introduire de nouvelles contraintes de conception visant à préserver et même augmenter le pouvoir de rétention de l'eau au niveau des petits bassins. Les kilomètres de fossés bordant des chemins de rang peu fréquentés pourraient être utilisés pour retenir l'eau et augmenter le temps de concentration en vue d'étaler dans le temps les débits provenant des petits bassins versants.

5.4.2 Réseau ferroviaire

Contrairement au réseau routier, le chemin de fer n'a pas connu un essor récent très important dans le bassin de la rivière Chaudière. L'ensemble du réseau ferroviaire date du début du siècle et depuis, son étendue a diminuée plutôt qu'augmentée. De plus, le chemin de fer a connu une vocation de transit plutôt que de desserte locale, sauf au début lorsqu'on s'en servait pour sortir le bois pour l'amener vers les moulins et les scieries. Le tracé du chemin de fer Québec Central borde la rivière Chaudière de Scott Jonction à Saint-Georges à la limite de la plaine inondable de 100 ans.

En général, le remblai de la voie ferrée ne restreint pas la section d'écoulement dans la plaine d'inondation sauf au droit de la rivière Calway et du Rocher à Beauceville. L'évaluation de ces empiétements sera faite dans le cadre de l'étude des solutions aux inondations dans les rapports des étapes 2 et 3.

Comme le développement du chemin de fer s'est fait à une époque antérieure à celle faisant l'objet de la présente étude et que depuis, l'évolution du réseau fut pratiquement nulle, on peut affirmer sans grand risque que dans son ensemble, le réseau ferroviaire qui parcourt le bassin hydrographique n'a pas eu d'incidence sur l'augmentation ou la diminution des phénomènes de crues notées depuis les années 1925-35. Le seul point qui mérite d'être analysé plus en détail, c'est l'effet d'étranglement provoqué par le pont du CP enjambant la rivière à la hauteur de Vallée-Jonction. Cette question est abordée à la section 5.6 qui présente les résultats des calculs détaillés des courbes de remous influencées par cet ouvrage.

5.5 Activités minières

L'excavation de mines à ciel ouvert ou à puits et l'entreposage de résidus miniers sont des pratiques susceptibles d'affecter le drainage de surface et l'érosion. Nous avons vérifié auprès de la direction régionale Chaudière-Appalaches du ministère de l'Environnement, la présence de mines et l'influence de celles-ci dans le cadre du présent mandat.

Il y a eu, au début du siècle, une certaine activité minière reliée à la présence d'or dans le secteur des villages de Risborough-et-Partie-de-Marlow et Saint-Robert-Bellarmin. L'exploitation se limitait à creuser dans les dépôts alluvionnaires, notamment à l'aide d'une excavatrice à godet, et à délayer les matériaux pour y retrouver de l'or. L'influence actuelle de cette activité abandonnée depuis 50 ans est négligeable.

Dans le prolongement Black-Lake/Thetford-Mines il y a eu au milieu du siècle, l'exploitation de mines d'amiante à East-Broughton et à Tring-Jonction. Ces exploitations sont aujourd'hui abandonnées. À l'échelle du bassin versant de la rivière Chaudière ou même de la rivière Bras Saint-Victor, l'impact est peu important en terme de débit ou d'érosion.

Une mine de cuivre a été en exploitation à Piopolis. Celle-ci est maintenant abandonnée. L'état des lieux n'entraîne pas d'impact significatif sur le ruissellement ou l'érosion.

5.6 Effet des ponts sur le régime d'écoulement en eau libre

À partir du modèle HEC-2 étalonné, diverses simulations ont été faites afin de mesurer l'impact des ponts et de leurs approches sur le rehaussement du plan d'eau. Les analyses contenues dans le présent rapport se limitent aux conditions d'écoulement en eau libre sur le tronçon des eaux mortes.

Comme on peut le voir sur le tableau 5.16, il n'y a que deux ponts sur les cinq étudiés qui font obstruction à l'écoulement en eau libre de façon perceptible. Il s'agit en l'occurrence des ponts de Sainte-Marie et de Saint-Joseph. Tous les deux ont en commun le fait que la plus grande restriction à l'écoulement est attribuable au remblai d'approche en rive gauche (Ouest) qui, dans chaque cas, vient obstruer presque complètement la plaine d'inondation. Dans les deux cas, le rehaussement du plan d'eau provoqué par la route et le pont peut atteindre 15 à 20 cm lors des crues les plus fortes.

Tableau 5.16
Étude de modélisation de la rivière Chaudière
SIMULATION DE L'EFFET DES PONTS ET DE LEURS APPROCHES
CONDITIONS D'ÉCOULEMENT EN EAU LIBRE
TRONÇON DES EAUX MORTES

a) Effet cumulé de l'enlèvement de tous les ponts sur les niveaux d'eau

DÉBIT mcs	NIV. À SCOTT (17+620)			À STE-MARIE (26+450)			À VALLEE-JCT.(37+270)			À ST-JOS. (45+930)			BEAUCEVILLE (61+445)		
	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
600	141.68	141.68	0.00	143.75	143.61	0.14	145.54	145.47	0.07	146.45	146.38	0.07	149.48	149.47	0.01
800	142.16	142.15	0.01	144.40	144.27	0.13	146.33	146.24	0.09	147.29	147.16	0.13	150.21	150.20	0.01
1000	142.55	142.54	0.01	144.96	144.83	0.13	147.00	146.89	0.11	148.01	147.84	0.17	150.84	150.82	0.02
1200	142.93	142.93	0.00	145.47	145.34	0.13	147.59	147.47	0.12	148.64	148.43	0.21	151.40	151.37	0.03
1400	143.28	143.28	0.00	145.94	145.80	0.14	148.12	147.99	0.13	149.22	148.98	0.24	151.92	151.88	0.04
1600	143.62	143.61	0.01	146.37	146.23	0.14	148.62	148.47	0.15	149.76	149.49	0.27	152.42	152.36	0.06
1800	143.93	143.92	0.01	146.78	146.62	0.16	149.08	148.87	0.21	150.26	149.95	0.31	152.89	152.82	0.07
2000	144.23	144.21	0.02	147.16	146.99	0.17	149.52	149.29	0.23	150.73	150.39	0.34	153.34	153.26	0.08
2200	144.51	144.49	0.02	147.52	147.33	0.19	149.94	149.68	0.26	151.19	150.81	0.38	153.78	153.68	0.10

b) Effet de l'enlèvement du pont de Scott

DÉBIT mcs	NIVEAU À SCOTT			À STE-MARIE (26+110)			À STE-MARIE (26+450)		
	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
600	141.68	141.68	0.00	143.55	143.55	0.00	143.75	143.75	0.00
800	142.16	142.15	0.01	144.20	144.20	0.00	144.40	144.40	0.00
1000	142.55	142.54	0.01	144.76	144.76	0.00	144.96	144.96	0.00
1200	142.93	142.93	0.00	145.28	145.28	0.00	145.47	145.47	0.00
1400	143.28	143.28	0.00	145.74	145.74	0.00	145.94	145.94	0.00
1600	143.62	143.61	0.01	146.17	146.17	0.00	146.37	146.37	0.00
1800	143.93	143.92	0.01	146.56	146.56	0.00	146.78	146.78	0.00
2000	144.23	144.21	0.02	146.93	146.93	0.00	147.16	147.16	0.00
2200	144.51	144.49	0.02	147.28	147.28	0.00	147.52	147.52	0.00

Tableau 5.16 (suite)
 Étude de modélisation de la rivière Chaudière
SIMULATION DE L'EFFET DES PONTS ET DE LEURS APPROCHES
CONDITIONS D'ÉCOULEMENT EN EAU LIBRE
TRONÇON DES EAUX MORTES

c) Effet de l'enlèvement du pont de Ste-Marie

DÉBIT mcs	NIVEAU À STE-MARIE			À VALLEE-JCT.(37+270)			À ST-JOS. (45+930)			AU ROCHER (56+530)			BEAUCEVILLE (61+445)		
	actuel m.	simulé m.	baisse m.	actuel m.	simulé m.	baisse m.	actuel m.	simulé m.	baisse m.	actuel m.	simulé m.	baisse m.	actuel m.	simulé m.	baisse m.
600	143.75	143.61	0.14	145.54	145.51	0.03	146.45	146.44	0.01	148.26	148.26	0.00	149.48	149.48	0.00
800	144.40	144.27	0.13	146.33	146.29	0.04	147.29	147.27	0.02	148.97	148.96	0.01	150.21	150.21	0.00
1000	144.96	144.83	0.13	147.00	146.96	0.04	148.01	147.99	0.02	149.56	149.55	0.01	150.84	150.84	0.00
1200	145.47	145.34	0.13	147.59	147.55	0.04	148.64	148.62	0.02	150.09	150.09	0.00	151.40	151.39	0.01
1400	145.94	145.79	0.15	148.12	148.08	0.04	149.22	149.20	0.02	150.59	150.58	0.01	151.92	151.92	0.00
1600	146.37	146.22	0.15	148.62	148.57	0.05	149.76	149.73	0.03	151.05	151.04	0.01	152.42	152.41	0.01
1800	146.78	146.61	0.17	149.08	149.03	0.05	150.26	150.23	0.03	151.50	151.49	0.01	152.89	152.88	0.01
2000	147.16	146.98	0.18	149.52	149.47	0.05	150.73	150.70	0.03	151.93	151.91	0.02	153.34	153.33	0.01
2200	147.52	147.32	0.20	149.94	149.88	0.06	151.19	151.15	0.04						

d) Effet de l'enlèvement du pont routier de Vallée-Jonction

DÉBIT mcs	À VALLEE-JCT.(37+270)			À ST-JOS. (45+930)			AU ROCHER (56+530)			BEAUCEVILLE (61+445)		
	actuel m.	simulé m.	baisse m.	actuel m.	simulé m.	baisse m.	actuel m.	simulé m.	baisse m.	actuel m.	simulé m.	baisse m.
600	145.54	145.50	0.04	146.45	146.43	0.02	148.26	148.26	0.00	149.48	149.48	0.00
800	146.33	146.27	0.06	147.29	147.26	0.03	148.97	148.96	0.01	150.21	150.20	0.01
1000	147.00	146.93	0.07	148.01	147.97	0.04	149.56	149.55	0.01	150.84	150.83	0.01
1200	147.59	147.50	0.09	148.64	148.59	0.05	150.09	150.08	0.01	151.40	151.39	0.01
1400	148.12	148.02	0.10	149.22	149.17	0.05	150.59	150.57	0.02	151.92	151.91	0.01
1600	148.62	148.51	0.11	149.76	149.69	0.07	151.05	151.02	0.03	152.42	152.40	0.02
1800	149.08	148.95	0.13	150.26	150.18	0.08	151.50	151.46	0.04	152.89	152.87	0.02
2000	149.52	149.39	0.13	150.73	150.65	0.08	151.93	151.88	0.05	153.34	153.32	0.02

Tableau 5.16 (suite)
 Étude de modélisation de la rivière Chaudière
SIMULATION DE L'EFFET DES PONTS ET DE LEURS APPROCHES
CONDITIONS D'ÉCOULEMENT EN EAU LIBRE
TRONÇON DES EAUX MORTES

e) Effet de l'enlèvement du pont ferroviaire de Vallée-Jonction

DÉBIT mcs	À VALLEE-JCT. (37+600)			À ST-JOS. (45+930)			AU ROCHER (56+530)			BEAUCEVILLE (61+445)		
	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
600	145.63	145.62	0.01	146.45	146.44	0.01	148.26	148.26	0.00	149.48	149.48	0.00
800	146.44	146.42	0.02	147.29	147.28	0.01	148.97	148.96	0.01	150.21	150.21	0.00
1000	147.13	147.11	0.02	148.01	148.00	0.01	149.56	149.56	0.00	150.84	150.84	0.00
1200	147.74	147.72	0.02	148.64	148.62	0.02	150.09	150.09	0.00	151.40	151.39	0.01
1400	148.29	148.27	0.02	149.22	149.20	0.02	150.59	150.58	0.01	151.92	151.92	0.00
1600	148.80	148.78	0.02	149.76	149.73	0.03	151.05	151.04	0.01	152.42	152.41	0.01
1800	149.28	149.25	0.03	150.26	150.23	0.03	151.50	151.49	0.01	152.89	152.88	0.01
2000	149.73	149.71	0.02	150.73	150.70	0.03	151.93	151.92	0.01	153.34	153.34	0.00

f) Effet de l'enlèvement du pont de St-Joseph

DÉBIT mcs	NIV. À ST-JOS. (45+930)			AU ROCHER (56+530)			BEAUCEVILLE (61+445)		
	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse	actuel	simulé	baisse
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
600	146.45	146.42	0.03	148.26	148.26	0.00	149.48	149.48	0.00
800	147.29	147.22	0.07	148.97	148.95	0.02	150.21	150.20	0.01
1000	148.01	147.91	0.10	149.56	149.53	0.03	150.84	150.83	0.01
1200	148.64	148.52	0.12	150.09	150.05	0.04	151.40	151.38	0.02
1400	149.22	149.09	0.13	150.59	150.52	0.07	151.92	151.89	0.03
1600	149.76	149.61	0.15	151.05	150.97	0.08	152.42	152.38	0.04
1800	150.26	150.09	0.17	151.50	151.41	0.09	152.89	152.85	0.04
2000	150.73	150.54	0.19	151.93	151.83	0.10	153.34	153.29	0.05

Si on passe en revue chaque pont entre Scott et Saint-Joseph, voici ce qu'on remarque:

- Pont de Scott (tableau 5.16 b)

Suivant les résultats obtenus par le modèle, l'effet d'obstruction du pont de Scott est négligeable. Comme on peut le voir sur ce tableau, le rehaussement du plan d'eau à l'amont du pont n'est que de 2 cm aux plus fortes crues, tandis qu'à Sainte-Marie la présence du pont de Scott ne se fait pratiquement plus sentir.

- Pont de Sainte-Marie (tableau 5.16 c)

À la différence du pont de Scott, celui de Sainte-Marie provoque un rehaussement perceptible du niveau d'eau à l'amont de celui-ci. À Sainte-Marie même, tout juste à l'amont du pont, le niveau d'eau serait de 15 à 20 cm moins élevé, s'il n'y avait pas le pont et ses approches. Le refoulement des eaux provoqué par le pont de Sainte-Marie se fait aussi légèrement sentir à Vallée-Jonction avec un rehaussement du plan d'eau de quelques 5 cm lors de crues. À Saint-Joseph l'effet de refoulement devient négligeable (3 cm).

Si on analyse plus en détail les sections d'écoulement au droit du pont, on constate que la principale obstruction à l'écoulement provient non pas de la structure comme tel, mais bien plutôt de la route d'accès du côté Ouest qui vient obstruer complètement la plaine d'inondation. En effet, la rue Du Pont et le développement adjacent de Sainte-Marie Ouest forme un remblai d'environ 1,5 m de hauteur qui obstrue la plaine d'inondation sur quasiment toute sa largeur.

Évidemment, la question qui se pose, c'est de savoir si la présence de cet obstacle aggrave l'inondation du côté Est de la rivière, au cœur même de Sainte-Marie? Pour des événements extrêmes comme une

crue centenaire la réponse est négative, puisqu'en pareil circonstance, le niveau d'inondation est d'abord contrôlé par le refoulement des eaux provenant de l'aval de Sainte-Marie. Donc, même si le pont et ses approches n'y étaient pas, le simple refoulement de l'eau remontant le boulevard Larochelle provoquerait un rehaussement du niveau de l'eau supérieur à la cote 147 m lors de la crue de 2200 mcs., inondant ainsi le secteur de la rue Carette.

Par contre, pour de plus faibles crues (1600 mcs.), le refoulement des eaux par le boulevard Larochelle ne remonterait plus jusqu'au secteur de la rue Carette. Le niveau d'inondation le long de la rue Notre-Dame Sud serait alors d'une quinzaine de centimètres de moins que celui qu'on note présentement.

Le pont et le remblai formé par la rue Du Pont et le quartier de Sainte-Marie Ouest sont probablement là pour y rester, de telle sorte que la recherche de solutions visant à minimiser l'effet du pont doit définitivement s'orienter soit vers l'amélioration de la débitance de la rivière Chaudière à l'aval de Sainte-Marie (ex. excavation du seuil de contrôle de Saint-Maxime de Scott) soit vers l'endiguement à Sainte-Marie.

- Pont routier de Vallée-Jonction (tableau 5.16 d)

Le pont routier de Vallée-Jonction et ses approches provoquent un rehaussement variant de 10 à 13 cm directement en amont du pont, dans la municipalité de Vallée-Jonction. Le refoulement attribuable au pont diminue graduellement pour atteindre 5 à 8 cm à Saint-Joseph de Beauce. Au rocher de Beauceville il n'est plus que de 3 à 5 cm.

Une analyse plus détaillée des cotes d'inondation dans la municipalité de Vallée Jonction montre qu'une réduction du niveau d'eau de 10 à 15 cm à l'amont du pont aurait très peu d'incidence sur l'étendue de l'inondation, tant pour les événements extrêmes que pour des crues de l'ordre de 1500 mcs.

- Pont ferroviaire de Vallée-Jonction (tableau 5.16 e)

L'effet d'obstruction du pont ferroviaire du CP à Vallée-Jonction est également négligeable, avec des hausses maximales du niveau d'eau de l'ordre de 3 cm juste à l'amont du pont ferroviaire. De plus signalons que le secteur situé à l'amont du pont a une vocation essentiellement agricole.

- Pont de Saint-Joseph de Beauce (tableau 5.16 f)

Le comportement du pont de Saint-Joseph et de ses approches est comparable à celui de Sainte-Marie. Suivant l'intensité de la crue, le rehaussement provoqué par le pont peut atteindre de 10 à 19 cm à Saint-Joseph. L'effet de refoulement s'estompe graduellement en remontant vers le rocher de Beauceville où il n'est plus que de 7 à 10 cm. À Beauceville même, cet effet n'est plus que de 3 à 5 cm.

Si on revient à la municipalité de Saint-Joseph, on remarque qu'en absence du pont, l'étendue des inondations varierait très peu par rapport à la situation simulée à partir de la bathymétrie de 1963. Pour les événements extrêmes (2000 mcs.), les limites d'inondation demeureraient pratiquement inchangées. L'impact le plus important se ferait alors sentir pour des crues moindres (1600 mcs), et ce principalement sur la bande de terrain sise entre la voie ferrée et la rue du Palais, au droit des Km 46+500 et 47+000 de la rivière Chaudière.

Dans le cas de Saint-Joseph, si on veut réduire les dommages attribuables au pont et ses approches, la solution qui vient d'abord à l'esprit c'est celle de la prévention, c'est à dire de limiter le développement en plaine inondable.

- Effet cumulé de tous les ponts (tableau 5.16 a)

Si on enlevait tous les ponts enjambant la rivière Chaudière, depuis Scott jusqu'à Saint-Joseph de Beauce, la baisse du niveau d'eau se ferait sentir principalement à Saint-Joseph où le niveau pourrait diminuer d'une trentaine de cm lors de fortes crues. À Vallée-Jonction, la baisse de niveau jouerait autour de 20 à 25 cm, tandis qu'à Sainte-Marie, à l'amont du pont, on verrait une baisse de niveau de l'ordre de 15 à 20 cm.

5.7 Empiètement sur la plaine inondable

L'empiètement sur la plaine inondable est une pratique qui doit être examinée avec soin compte tenu de son effet direct sur les conditions d'écoulement dans la rivière Chaudière et possiblement sur les inondations. Un empiètement consiste en l'agrandissement d'un terrain dans la plaine inondable ou le chenal d'écoulement principal qui contribue à réduire la section d'écoulement, donc à produire localement une augmentation des vitesses, des pertes de charge et donc des niveaux d'eau.

La rivière Chaudière et ses principaux tributaires ont été les voies naturelles de pénétration des populations au début de la colonie. Par la suite, celles-ci se sont installées en permanence le long des rives de ces cours d'eau où de nombreux ouvrages y ont été construits. Les informations sur les zones d'empiètements construites avant 1977 apparaissent sur les cartes topographiques à l'échelle 1:2000 montrant les contours des niveaux des crues de 20 ans et de 100 ans. Nous avons pu localiser à partir des photos aériennes de 1985-86 au 1:15000 l'étendue des empiètements réalisés entre 1977 et 1985.

Nous avons pu obtenir des MRC de Nouvelle-Beauce, Robert-Cliche et Beauce-Sartigan des informations sur les empiètements effectués de 1985 à 1992.

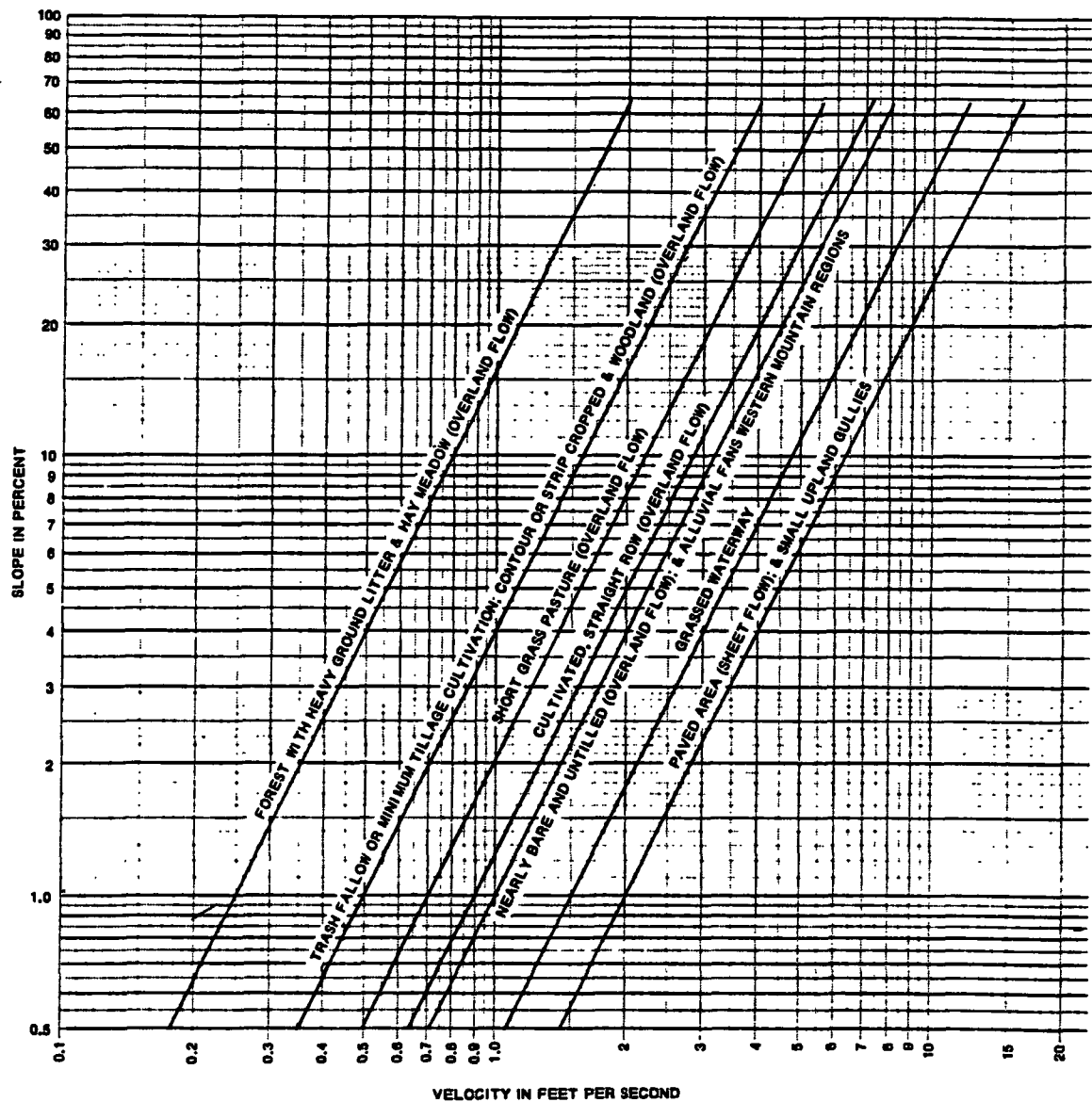
Toutes ces informations démontrent que des empiètements, il y en a partout le long de la rivière Chaudière. La détermination de leurs effets nécessite de calculer

les niveaux d'eau au moyen du programme HEC-2 décrit à la section 2.6. Les calculs préliminaires effectués démontrent que l'effet d'un empiétement est généralement négligeable mais que l'effet cumulé de tous les empiétements sur un tronçon de rivière n'est pas négligeable.

Les résultats de l'effet sur les niveaux d'eau des empiétements en rivière seront présentés au rapport d'étape 2 parce que les calculs devront être refaits avec les sections en travers qui seront mesurées au printemps 1993 afin de refléter l'état actuel de la situation.

Bien que nous ne puissions avancer de chiffres dans ce premier rapport, cette pratique a certainement des effets importants sur les niveaux d'eau pour deux raisons:

- 1- la réduction de la section d'écoulement cause une augmentation des vitesses, des pertes de charge et des niveaux; cet effet peut être plus faible dans la plaine d'inondation où les vitesses d'écoulement sont inférieures à celles du chenal principal;**
- 2- les zones d'empiétements (remblais) occupent des volumes qui pourraient être occupés par l'eau. Comme le tronçon des eaux mortes agit comme un réservoir ou un lac en période de crue parce que la vitesse d'écoulement y est très faible, toute réduction de son volume par des empiétements a un effet sur les niveaux d'eau selon le principe d'Archimède.**



Référence: SCS National Engineering Handbook Section 4 - Hydrology (1972)



Gouvernement du Québec
Ministère de la
sécurité civile

BASSIN DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE



TECSULT

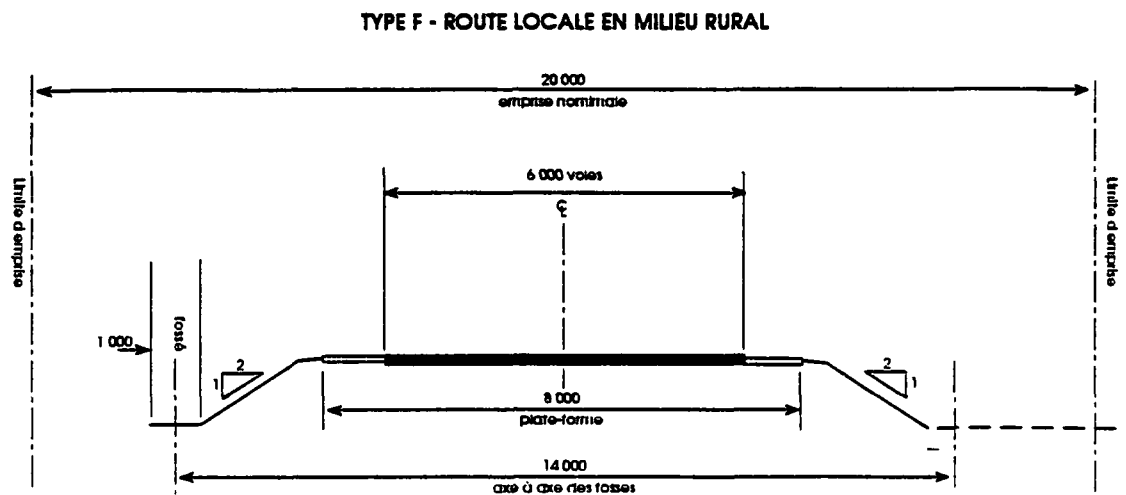
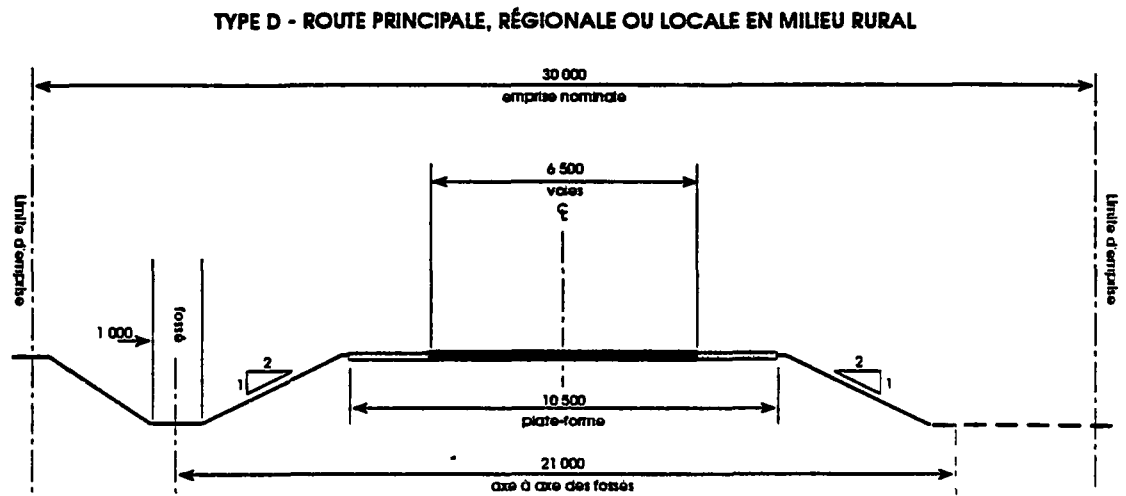
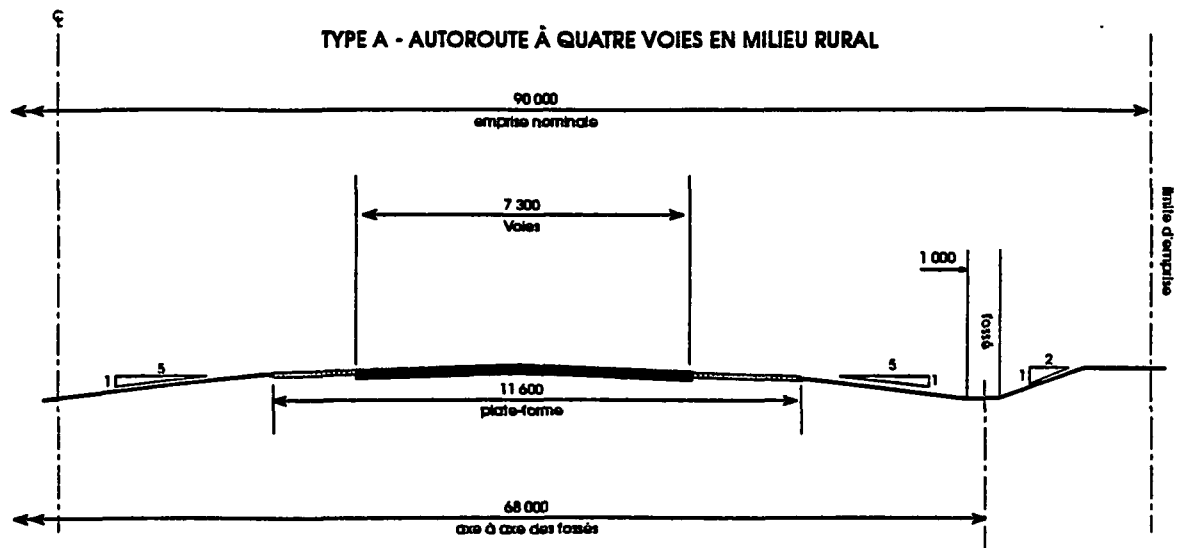
PROJET: 4727

VITESSE D'ÉCOULEMENT SUR LE
SOL POUR L'ÉVALUATION DU
TEMPS DE CONCENTRATION

DATE: MARS 1993

FIGURE 5.1

PROFILS EN TRAVERS DE DIFFÉRENTES VOIES DE CIRCULATION



Les dimensions sont en mm

SOURCE: M.T.Q., DESSINS NORMALISÉS, 2.3.1, 2.3.3 ET 2.3.4

FIGURE 5.2

6.0 SENSIBILITÉ DES SOLS À L'ÉROSION ET APTITUDES AU RUISSELLEMENT

La sensibilité des sols à l'érosion et les aptitudes au ruissellement d'un territoire résultent de facteurs naturels et anthropiques. Les sections suivantes présentent l'analyse de ces deux phénomènes sur l'ensemble du bassin versant de la rivière Chaudière et mettent en relief les responsabilités respectives de la nature et de l'homme en égard à l'ampleur des inondations observées en territoire beauceron.

6.1 Sensibilité des sols à l'érosion

L'érosion des sols peut se présenter sous diverses formes qui sont l'érosion superficielle (ou de surface), l'érosion en rigoles, le ravinement, les glissements de terrain et l'érosion des berges et du lit des cours d'eau.

Dans le cadre du présent travail, deux formes d'érosion ont fait l'objet d'une analyse exhaustive, soit l'érosion superficielle et l'érosion des berges et du lit des cours d'eau. Les principaux facteurs naturels qui déterminent ces types d'érosion sont la pluviométrie, les caractéristiques de ruissellement printanier, la pente, la couverture végétale et le type de sol. Les autres types d'érosion (en rigoles, glissements de terrain) s'observent rarement dans le bassin versant de la rivière Chaudière.

L'érosion superficielle est un phénomène naturel présent à peu près partout sur un territoire donné et qui peut être amplifié ou réduit par l'action de l'homme. Cette forme d'érosion est principalement responsable de l'apport de particules fines dans les cours d'eau récepteurs.

Après consultation des données existantes à ce sujet pour notre secteur d'étude, nous avons procédé à nos propres analyses de l'érosion superficielle en privilégiant l'utilisation du cadre écologique comme base de référence. Cette approche comporte plusieurs avantages pour ce genre d'analyse du territoire qui ont déjà

été précisés au chapitre traitant de la méthodologie. Les discussions relatives à cette analyse sont présentées à la section 6.1.2.

Par ailleurs, les conditions d'érosion des berges et du lit des cours d'eau ont été documentées et analysées à partir de photographies aériennes (1:15 000) prises entre 1985 et 1987. Par la même occasion, les quelques problèmes d'érosion de ravinement en bordure des cours d'eau ont aussi été identifiés. L'analyse de ces formes d'érosion a porté essentiellement sur les rives de la rivière Chaudière et de ses principaux tributaires. Les observations pertinentes à cet égard sont présentées et discutées à la section 6.1.3.

L'érosion des berges des cours d'eau peut contribuer significativement au comblement progressif du lit de la rivière Chaudière. Des sections bathymétriques seront d'ailleurs effectuées en différents points de la rivière Chaudière, au printemps 1993, et comparées aux données antérieures prises par le MENVIQ dans les années 60 pour quantifier l'accumulation de sols dans la rivière. Ces données permettront d'estimer des taux d'accumulation ou d'érosion du lit en différents endroits de la rivière.

6.1.1 Analyse des données antérieures

L'érosion superficielle est la seule forme d'érosion qui a fait l'objet d'une étude exhaustive au niveau du bassin versant de la rivière Chaudière. Les études pertinentes à cet égard ont été effectuées par le Département de Génie civil de l'Université Laval. Ce dernier a développé, à la fin des années 70 et au début des années 80, un modèle pour prédire l'érosion de surface et le transfert des sédiments fins dans les cours d'eau. Ce modèle, appelé LAVSED-1, est particulièrement adapté aux cours d'eau nordiques. Les résultats des essais d'applicabilité au bassin de la rivière Chaudière sont présentés dans quelques ouvrages et articles (Julien, 1979 et 1982; Frenette et Julien, 1986).

Le modèle est basé sur l'équation universelle de pertes de sols (Wischmeier et Smith, 1965), qui s'appuie principalement sur l'intensité des pluies. Également,

l'équation de Kilinc et Richardson (1973), reliant l'érosion aux caractéristiques hydrauliques de ruissellement, a été utilisée en parallèle à l'équation universelle. Les auteurs Frenette et Julien (1986) l'ont modifiée pour tenir compte des pratiques agricoles et des facteurs d'érosion considérés pour différents types de sol et de végétation.

Il a été démontré que les deux approches de calcul de l'érosion superficielle sont comparables; l'une ou l'autre des méthodes peut être utilisée pour établir des cartes d'érosion qui décrivent l'érosion de surface.

Une grande quantité de matériaux érodés sur un bassin peut être déposée ailleurs sans jamais atteindre le réseau hydrographique. La fraction de solides présents dans une section d'écoulement du cours d'eau par rapport à l'érosion brute sur un bassin versant est appelée le coefficient d'apport solide. Ce coefficient dépend de la superficie du bassin de drainage, des dépressions internes, de la densité du drainage, des précipitations et de l'écoulement dans le cours d'eau.

Les travaux de Boyce (1975) ont mis en évidence l'importance de la superficie dans l'évaluation de ce coefficient. Pour la rivière Chaudière, le coefficient d'apport solide est estimé à 0,03 (entre 0,01 et 0,07). Il signifie qu'en moyenne 3% des solides érodés sur le bassin versant atteindrait la rivière pour être transporté jusqu'au fleuve. Avec un coefficient de 0,03, le modèle LAVSED-1 a permis les estimations suivantes de quantités de sols érodés sur le bassin versant et transportés par la rivière.

Équation	Érosion brute	Coefficient d'apport solide	Charge
Universelle	6 440 kt/an	0,03	193 kt/an
Kilinc et Richardson	6 700 kt/an	0,03	197 kt/an

Selon les observations faites à la station potamologique du MENVIQ de 1968 à 1976, la charge solide moyenne de la rivière Chaudière est de 364 kt/an à Saint-Lambert-de-Lévis. Le modèle LAVSED-1 n'exprimerait donc que 54% de la charge réelle transportée par le cours d'eau. Les auteurs du modèle prédictif LAVSED-1 expliquent cette différence par l'imprécision du coefficient d'apport solide en périodes hivernale et printanière. Il est reconnu que les rivières nordiques transportent plus de 70% de leur charge solide annuelle durant la crue printanière. Il y aurait, selon eux, un transfert saisonnier du débit solide de l'hiver au printemps. En effet, trois hypothèses ont été avancées:

- en milieu nordique, le manteau nival et le phénomène de gel ont pour effet d'augmenter la résistance des sols à l'érosion et de diminuer les apports;
- le phénomène de dégel entraîne le craquement, la fissuration ou le soulèvement des sols et/ou le relâchement d'une contrainte intergranulaire, ce qui a pour effet de diminuer la résistance des sols à l'érosion et d'accroître les apports;
- à l'augmentation du facteur d'érosion, s'ajoute l'effet du ruissellement accéléré associé à la fonte printanière et de la température de fonte affectant directement la viscosité de l'eau. Le coefficient d'apport solide devient alors plus élevé.

Nous pourrions ajouter une quatrième hypothèse qui serait que l'accroissement des débits au printemps remet en suspension une partie des sédiments fins déposés à la fin de l'été et à l'automne dans les tronçons plus calmes de la rivière, notamment le secteur des eaux mortes, et de ses tributaires.

Pour vérifier ces hypothèses, le comportement sédimentologique saisonnier de huit rivières du Québec a été étudié (Julien, 1979). Il a été observé, en été et à l'automne, que la charge solide est représentative de la charge en suspension

annuelle. En hiver, elle est deux fois plus petite (0,5) et au printemps, elle est près de huit fois plus importante (7,8).

Appliquée au bassin versant de la rivière Chaudière, l'analyse du comportement sédimentologique, et plus particulièrement du coefficient d'apport solide, se déduit de la façon suivante:

Période	Charge moyenne mensuelle (kt)	Coefficient d'apport solide déduit ⁽¹⁾
Saison pluviale (Juin - Novembre)	13,5	0,025
Saison nivale (Décembre - Février)	3,3	0,006
Saison printanière (Mars - Mai)	91	0,168
Moyenne mensuelle (1968 - 1976)	30,3	0,056

(1)
$$\text{Coefficient d'apport solide} = \frac{\text{Charge moyenne mensuelle}}{\text{Érosion brute mensuelle (6 600 kt/12 mois)}}$$

Il n'en demeure pas moins que le modèle LAVSED-1 a évalué que le taux d'érosion brute annuel sur tout le bassin versant est de l'ordre de 6 600 kt. Une certaine imprécision sur le coefficient d'apport solide est attribuable au contexte nordique de la rivière et tend à sous-estimer la charge printanière. Cette charge printanière équivaut à 75% (91 kt X 3 mois = 273 kt) de la charge totale annuelle de la rivière Chaudière. Basée sur la station de Saint-Lambert-de-Lévis, la charge en suspension de la rivière est de 364 kt par année (30,3 kt X 12 mois).

Mentionnons enfin que nous avons pu obtenir quelques informations utiles de la part des M.R.C. concernant la localisation des secteurs sensibles à l'érosion en bordure des cours d'eau, ainsi que de la part du MENVIQ pour certaines activités comme l'exploitation de bancs d'emprunt, qui causent de l'érosion dans la plaine inondable.

6.1.2 Sensibilité des sols à l'érosion de surface

La sensibilité des sols à l'érosion de surface a été évaluée sur la base des caractéristiques naturelles du milieu et des types d'utilisation du sol. L'analyse combinée des données topographiques (pente) et des données cartographiques (épaisseur du dépôt, nature et utilisation du sol) a permis d'identifier les unités de paysage les plus sensibles à l'érosion de surface.

La figure 6.1-P, présentée en pochette, montre cette sensibilité pour chacune des unités de paysage en fonction de cinq classes, passant de très faible à très élevée. On peut constater que 18 unités de paysage ont une très faible sensibilité à l'érosion (958 km² ou 17% de la superficie du bassin versant), 23 unités ont une faible sensibilité (1 647 km² ou 29% de la superficie du bassin versant), 22 unités ont une sensibilité élevée (1 023 km² ou 18% de la superficie du bassin versant) et finalement 17 unités ont une sensibilité très élevée (495 km² ou 9% de la superficie du bassin versant). Les unités de paysage comportant une sensibilité à l'érosion élevée et très élevée se situent, pour la plupart, dans des zones en pente forte où le dépôt est mince.

Le cadre écologique, défini au départ, a servi de trame de fond pour dresser cette carte thématique montrant la sensibilité relative des sols à l'érosion superficielle. Une base de données comportant toutes les informations relatives aux caractéristiques naturelles de chaque unité de paysage a été interrogée à l'aide d'une clé d'interprétation pour permettre une production automatisée de la carte de sensibilité voulue.

La clé d'interprétation a été développée sur la base des considérations énumérées ci-après. Dans un premier temps, les dépôts de surface ont été ordonnés en quatre classes à partir de leur épaisseur et de leur texture, deux variables responsables du taux d'infiltration de l'eau. La première classe regroupe les dépôts montrant une texture très grossière et les dépôts constitués de matières organiques. Ceux présentant une texture plus fine se trouvent dans la deuxième classe. La troisième classe regroupe ceux ayant une bonne proportion de limon et d'argile, alors que la dernière classe réunit les dépôts minces sur roc.

La seconde étape a consisté à pondérer la superficie de chacune des classes de dépôt retrouvées par rapport à la superficie totale de l'ensemble de l'unité de paysage afin de définir une susceptibilité moyenne des dépôts à l'érosion.

La troisième étape a consisté à ordonner les classes de pente en fonction de leur susceptibilité à l'érosion. Le niveau d'érosion a été défini comme très faible pour les pentes de 0 à 3%, faible pour celles entre 3 et 8%, moyen pour celles entre 8 et 15%, et élevé pour celles supérieures à 15%.

En dernier lieu, la classe de susceptibilité à l'érosion en fonction des pentes a été mise en relation avec celle des dépôts par unité de paysage afin de définir la classe d'érosion résultante. Pour les unités où plus de 60% de la superficie était utilisée à des fins agricoles, la classe d'érosion résultante a été augmentée d'une classe pour tenir compte de l'intensité de cette activité humaine.

Cette carte d'érosion permet un premier dégrossissage du territoire en fonction de sa sensibilité à l'érosion. La localisation des zones les plus problématiques à l'égard de l'érosion superficielle permettra d'orienter les futures utilisations ou exploitations du territoire en fonction d'un objectif de conservation des sols. Elle constituera l'un des outils de l'aménagiste en matière de développement, de conservation et d'aménagement du territoire.

Plus spécifiquement en relation avec la problématique des inondations, elle sert à la localisation des unités de paysage pouvant contribuer au comblement du lit

de la rivière par des apports de sols érodés. Rappelons que sur la base des travaux de modélisation effectués par le Département de Génie civil de l'Université Laval, à l'aide du modèle LAVSED-1, un volume annuel brut de sols érodés en surface de 6 600 kt a été estimé. Selon les experts de l'Université Laval, seulement 3 à 6% de ce volume atteindrait le fleuve Saint-Laurent. C'est donc dire qu'un volume résiduel de plus de 6 millions de tonnes de sols est annuellement déplacé dans l'ensemble du bassin versant de la Chaudière, sans toutefois en être évacué. Il est possible qu'une partie de ces sols atteignent la rivière s'accumulent dans les secteurs d'eaux mortes. Cette éventualité sera documentée en effectuant les relevés bathymétriques appropriés au printemps 1993. Dans cette perspective, l'analyse des utilisations et pratiques effectuées dans les unités sensibles à l'érosion permettra d'identifier des problèmes potentiels et de définir, le cas échéant, les meilleures solutions pour diminuer l'ampleur des inondations en Beauce.

6.1.3 Érosion des berges et du lit de la rivière et des cours d'eau

L'interprétation des photos aériennes le long de la rivière Chaudière et de ses principaux tributaires a permis d'identifier les principales zones d'érosion des berges et d'accumulation de sols dans la rivière, ainsi que les causes des phénomènes observés. Ces phénomènes d'érosion, qu'ils soient naturels ou accentués par les activités humaines, sont importants dans certains secteurs de la rivière Chaudière. La localisation des zones active le long de la rivière et d'accumulation de sols dans le lit a été réalisée directement sur des photos aériennes (échelle de 1:15 000) qui seront remises au ministère de la Sécurité publique à la fin du projet. Le tableau 6.1 présente une synthèse des principales causes des phénomènes d'érosion ou d'accumulation observés.

On a pu constater que la configuration et la pente des rives de la rivière Chaudière sont principalement déterminées par l'attaque répétée des glaces et de l'eau en raison des hauts niveaux atteints au printemps, notamment lors des crues importantes. Aucun décrochement ou glissement de terrain n'a été observé le long de la rivière. L'érosion basale des rives s'observe surtout dans les zones de rétrécissement de la rivière et du côté concave des méandres, lorsque les matériaux constituant la berge sont meubles.

Tableau 6.1

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Synthèse des facteurs influençant les processus naturels
d'érosion et d'accumulation de sols dans la rivière Chaudière et ses affluents

ÉROSION		ACCUMULATION
Type	Facteurs d'influence	
Érosion basale des cours d'eau	- pentes abruptes des rives - présence de seuil - rétrécissement du chenal - obstacle dans la rivière - méandres prononcés - pente longitudinale de la rivière - étlage	- exploitation de matériel adjacent à la rivière - déforestation le long des rives et des tributaires ainsi que des coupes à blanc sur les versants - canalisation des eaux de ruissellement
Érosion de ravinement	- pente abruptes des versants (> 15%) - déforestation et coupe à blanc - empiètement anthropique - dépôts meubles particuliers - facteurs climatiques	- passages et chemins d'accès dans la rivière - Sapement basal des rives trop abruptes - drainage des sites d'enfouissement des déchets domestiques ou autres sites dénudés localisés à proximité de la rivière
Érosion superficielle (ou de surface)	- déboisement - agriculture - urbanisation	- déversement de neiges usées contenant des sables de déglacage en bordure et dans la rivière
Érosion en rigole	- facteurs climatiques - déforestation et déboisement sélectif - pentes abruptes	- présence d'anciennes digues et de batardeaux

Bien que les glaces et l'eau soient les principaux agents responsables de l'intensité des phénomènes d'érosion, les activités humaines viennent souvent amplifier l'action des éléments naturels. L'enlèvement du couvert forestier en bordure des cours d'eau est une des interventions humaines qui a accru significativement l'intensité des phénomènes d'érosion des rives. Aujourd'hui, la majorité des terrains situés sur la plaine inondable de la rivière Chaudière, est déboisée à des fins agricoles. Seulement quelques lisières boisées ont été conservées à certains endroits. L'absence de couvert forestier sur les rives augmente considérablement leur sensibilité à l'érosion par la glace et l'eau.

Le redressement et le surcreusement des canaux d'irrigation des fermes contribuent aussi à augmenter les phénomènes de ravinement en rive, notamment dans les zones de pentes fortes, et à favoriser une accumulation de sols érodés dans le chenal de la rivière. Au niveau de nombreuses embouchures de rivières ou ruisseaux, on peut observer des zones d'accumulation de sable et de gravier, notamment aux endroits où les cours d'eau drainent des dépôts naturellement sensibles à l'érosion (till sableux, dépôts juxtaglaciaires et épandage fluvio-glaciaire). Le tableau 6.2 identifie les différents cours d'eau où on observe, soit du ravinement ou de l'accumulation de sols au niveau de l'embouchure.

Plus généralement pour l'ensemble de la rivière Chaudière, les zones d'accumulation de sols, localisées par photo-interprétation, sont énumérées au tableau 6.3. Dans chaque cas, la provenance et les causes probables des apports sont précisées. Plusieurs tributaires du Bras Saint-Victor sont ravinés. On observe également sur une longueur de 3 à 4 km de rives, des zones où l'érosion est particulièrement active.

Par ailleurs, les pratiques d'exploitation de bancs d'emprunt, situés en périphérie des îles de la rivière, mais surtout les infrastructures mises en place comme les digues, batardeaux et chemins d'accès modifient localement les conditions hydrodynamiques et par conséquent les processus d'érosion qui y sont associés. Le rétrécissement de la section d'écoulement cause à certains endroits un accroissement de la vitesse d'écoulement à la base des berges, ce qui a comme conséquence d'intensifier l'érosion basale de la rive.

Tableau 6.2 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Cours d'eau affectés par des processus d'érosion et de ravinement		
NOM	RAVINEMENT	ACCUMULATION DE SOLS À L'EMBOUCHURE
Rivière Clliche		x
Rivière Lessard	x	x
Rivière Nadeau	x	x
Rivière Morency	x	
Rivière Poullot	x	x
Rivière des Fermes	x	x
Bras Saint-Victor	x	
Rivière Calway	x	x
Rivière de Moulin	x	
Rivière Mathieu	x	
Rivière des Plantes	x	x
Rivière Famine	x	x
Rivière Pozer	x	
Rivière Savole		x
Rivière Vallée		x
Rivière Chassé		x
Rivière Gilbert		x
Ruisseau des Meules	x	x
Ruisseau Bernard	x	
Ruisseau Marcoux	x	
Ruisseau d'Ardolse	x	
Ruisseau Cartier		x

Tableau 6.3

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Localisation des zones d'accumulation
de matériaux granulaires dans la rivière Chaudière

LOCALISATION	PROVENANCE PROBABLE ET CAUSES
En aval et en amont de Scott (km 16, 17 et 18)	• empiètement important de la rive • exploitation de graviers dans l'île • érosion par ravinement des affluents • ralentissement créé par le méandre
En amont et en face de Sainte-Marie (km 26 et 27)	• dépôts provenant de l'érosion de ravinement des versants et des affluents
En amont de Sainte-Marie autour de l'île Labrecque (km 26 et 30)	• ravinement des versants • érosion basale des rives adjacentes
En aval de Vallée-Jonction (km 33)	• érosion et ravinement important des versants et des ruisseaux • provient en partie d'une exploitation de gravier et de sable située à proximité
À mi-chemin entre Vallée-Jonction et Saint-Joseph (km 42-43)	• érosion basale des rives • provient en partie du ravinement des ruisseaux et de la rivière Pouliot
En aval et en amont de Saint-Joseph- de-Beauce (km 46-47)	• provient des affluents et des ruisseaux
Confluent de la rivière Chaudière et du Bras Saint-Victor (km 53-54)	• ravinement de la rivière des Plantes • érosion basale de la pointe et des rives • provient d'une ancienne zone d'extraction de gravier opérée à proximité
En aval de Beauceville (km 58-59)	• empiètement anthropique • érosion basale • érosion de ravinement des ruisseaux

Tableau 6.3 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Localisation des zones d'accumulation de matériaux granulaires dans la rivière Chaudière	
LOCALISATION	PROVENANCE PROBABLE ET CAUSES
Beauceville (km 60-61)	• présence de batardeaux • anciennes digues • anciennes zones d'extraction à proximité • érosion basale • chemins d'accès dans la rivière • extraction de sable sur la rive • érosion de ravinement des ruisseaux
Île aux Oies (km 68)	• exploitation de sédiments près de l'île • chemin d'accès dans la rivière • présence de batardeaux et de digues • érosion basale de la rive
Les îles aux Chenaux, aux Dindes, aux Chèvres et aux Crêpes (km 71-72-73-74)	• anciennes zones d'extractions de gravier à proximité • présence de batardeaux • digues en amont de l'île aux Dindes • nombreux chemins d'accès aux îles • érosion basale • entreposage de bancs d'emprunt sur la rive • empiètement sur les îles à des fins agricoles
Saint-Georges (île Pozer et confluent de la Famine) (km 76-77)	• extraction de gravier autour de l'île • présence de chemins d'accès dans la rivière • dragage • érosion de ravinement des affluents
En aval de pont à Saint-Georges (km 77)	• obstacle causé par le pont et ralentissement du courant • érosion de ravinement du ruisseau d'Ardoise

La plupart des exploitations de sable et gravier sont situées dans le secteur compris entre Beauceville et St-Georges, notamment en bordure des îles aux Chênes et aux Dindes. On observe aussi quelques exploitations aux abords ou dans le lit de la rivière Famine, notamment près des îles ou dans le secteur de la Grande Chute (située à environ à 10 km au nord de Saint-Georges).

Les dépôts exploités sont pour la plupart d'origine fluviatile et composés de gravier, de sable et d'une faible proportion de limon et d'argile. Le gravier extrait est souvent un mélange de sols dont le diamètre varie entre 0 et 45 cm ou entre 0 et 7 cm, avec des blocs de 15 à 18 cm. Les dépôts, en amont de Saint-Georges, sont plus sableux que ceux plus en aval. Selon les exploitants, il faut tamiser les matériaux à Saint-Georges, alors que ce n'est pas nécessaire de le faire à Beauceville.

Les informations obtenues du MENVIQ nous indiquent que sept entreprises sont spécialisées dans le prélèvement de gravier en milieu hydrique ou dans la plaine inondable. Elles sont identifiées ci-après avec leur lieu principal d'exploitation:

Nom	Lieu
Excavation R. Beaudoin	Aubert-Gallion
Giroux et Lessard Ltée	Aubert-Gallion
	Saint-Georges Est
Henri-Noël Veilleux et fils	Aubert-Gallion
Les excavations de la Chaudière	St-François ouest
	St-François de Beauce
Excavations Jean-Louis Mathieu	St-François ouest
Les Pavages de Beauce Ltée	St-François ouest
R.J. Dutil	Notre-Dame-des-Pins

La superficie de ces exploitations varie, en moyenne, de 5 000 à 20 000 m² pour des volumes d'extraction de l'ordre de 10 000 à 30 000 m³.

Actuellement, les opérations d'excavation dans le lit de la rivière Chaudière sont presque interrompues. Sur la base des informations provenant du MENVIQ, il n'y a présentement aucune exploitation de carrière ou de sablière dans le lit ou la plaine inondable de la rivière Chaudière, sauf en périphérie de l'île Pozer (Aubert-Gallion) où une entreprise prétexte des droits acquis. Aux yeux du MENVIQ, cette exploitation est non autorisée.

Depuis 1985, une étude d'impact est requise par le MENVIQ pour toute exploitation de bancs d'emprunts, ce qui complique l'obtention des permis requis. Avant 1990, le MENVIQ autorisait encore ce type d'exploitation en milieu hydrique dans la rivière Chaudière. Depuis, aucune autorisation n'a été émise à moins que toutes les exigences de la Loi (Q-2 art. 31.1) et des règlements qui s'y rattachent (Q-2, r.2; Q-2, r.9) ne soient respectés à la lettre.

Malgré la diminution importante des activités d'extraction de matériaux d'emprunt dans le lit de la rivière Chaudière, il est probable que certaines infrastructures soient encore en place, en partie ou en totalité. D'après certaines informations qui seront validées au printemps prochain, des digues ou parties de digues ainsi que des chemins d'accès seraient encore en place dans le lit de la rivière Chaudière.

La présence de ces infrastructures, le cas échéant, peut influencer le comportement hydrologique et hydraulique de la rivière, notamment en stabilisant les embâcles qui s'appuient sur ces digues. Aussi, l'entreposage en tas des matériaux granulaires sur le bord de la rivière peut constituer un obstacle aux déplacements des glaces et modifier conséquemment la dynamique. Ces changements influencent à leur tour les processus naturels d'érosion qui peuvent être amplifiés.

La réalisation de sections bathymétriques en travers de la rivière au printemps prochain et la comparaison avec les données antérieures disponibles fourniront des renseignements révélateurs sur l'importance de ces activités eu égard au comblement du lit de la rivière par les sols environnants.

6.2 Aptitude des sols au ruissellement

6.2.1 Généralités

La méthodologie de l'analyse des effets du développement sur les débits et l'érosion, présentée à la section 2.3, repose sur un regroupement en unités homogènes des caractéristiques naturelles du milieu qui influencent ces deux phénomènes. Dans cette section, nous décrivons la façon d'utiliser le modèle des unités de paysage pour déterminer les effets de l'utilisation du sol et de certaines pratiques sur le ruissellement.

6.2.2 Modélisation hydrologique par unités de paysage

L'avènement des ordinateurs a permis le développement rapide, au cours des trente (30) dernières années, de modèles mathématiques qui permettent de calculer les débits sur un bassin versant, à partir des précipitations en pluie et neige, tout en tenant compte des relations complexes de transfert de l'eau entre les différents milieux et les cours d'eau. En ce qui concerne les sols, les relations complexes suivantes doivent être considérées:

- la capacité diffusante du milieu: le ruissellement;
- la capacité réceptrice: l'infiltration;
- la capacité transmettrice: l'écoulement souterrain ou de surface dans le cours d'eau.

Le modèle SSARR qui sera utilisé pour la prévision des débits de crues et pour l'étude de réservoirs sur le bassin versant, permet la modélisation complète de toutes ces relations de transfert de l'eau. Celles-ci sont déterminées par un processus d'étalonnage nécessitant une connaissance détaillée des débits, sur de longues périodes sur les principaux cours d'eau du bassin versant. Les relations sont basées essentiellement sur l'analyse des débits et non sur une analyse détaillée du milieu, même si, en pratique, les relations sont cohérentes avec les caractéristiques du milieu. La spatialisation est faite par un découpage arbitraire du bassin en bandes

horizontales qui correspondent à des altitudes pour tenir compte, le cas échéant, des températures plus froides à haute altitude au moment de la fonte de la neige au printemps.

Pour les fins de notre analyse, il est nécessaire d'établir les effets des pratiques anthropiques sur le ruissellement, c'est-à-dire sur les capacités diffusantes et réceptrices du milieu. Cette analyse doit se faire à petite échelle pour l'ensemble du bassin versant en ce qui concerne les pratiques diffuses comme l'agriculture et l'exploitation forestière qui couvrent de grandes surfaces. Elle doit aussi être faite à grande échelle pour déterminer les effets de certaines pratiques affectant de petites surfaces comme l'urbanisation, le drainage agricole et la coupe à blanc de zones forestières. Les données de débits disponibles sur le bassin versant de la Chaudière ne permettent pas d'isoler une pratique en particulier, pour une analyse au moyen du logiciel SSARR.

En se basant sur les travaux réalisés au MENVIQ (Ducruc et De Sède, 1989) sur l'emploi de la cartographie écologique pour la modélisation hydrologique, nous avons décidé de procéder au découpage du territoire en unités hydrologiques homogènes basées sur les principales caractéristiques du milieu agissant sur le ruissellement, soit:

- les dépôts de surface: nature des matériaux, texture, épaisseur;
- les pentes: drainage;
- l'altitude: forme et intensité des pentes.

Ces caractéristiques sont bien connues pour l'ensemble du bassin versant et les données sont facilement disponibles sous forme de cartes et de photos aériennes. L'entrée de ces informations dans un «Système d'Information à Référence Spatiale» (SIRS) facilite le traitement et les analyses statistiques permettant d'établir les relations entre ces caractéristiques et les utilisations du sol de même que les pratiques de développement.

L'utilisation du sol est connue depuis longtemps sur le territoire de la Beauce. La recherche des données historiques nous a permis d'établir des cartes de l'utilisation des sols à trois époques, soit vers 1925, 1955 et 1989. Ces informations ont été entrées dans le SIRS.

6.2.3 Détermination du ruissellement

Le découpage du milieu en zones homogènes est une première étape de la modélisation hydrologique. De Sède et Ducruc poursuivent actuellement leurs travaux en vue de concevoir un modèle complet adapté à cette démarche.

Pour les fins de notre étude, nous avons examiné différentes méthodes permettant de déterminer le ruissellement au moyen des données issues de la spatialisation par unité de paysage, des utilisations du sol et des pratiques de développement.

Notre choix s'est finalement arrêté sur la méthode du numéro de courbe (Curve Number) développée par le «Soil Conservation Service» (méthode SCS) du «U.S. Department of Agriculture» (1972). Cette méthode repose sur l'expérience considérable acquise par le USDA aux États-Unis suite à l'analyse de milliers de bassins versants dans différents milieux et pour différentes utilisations du sol. La méthode est continuellement mise à jour par l'ajout de numéros de courbe tenant compte de pratiques culturales ou de méthodes d'exploitation forestière. L'expérience a démontré que les résultats du calcul du ruissellement sont sensibles au numéro de courbe choisi pour caractériser un couple milieu-utilisation.

Cette méthode a été développée initialement pour déterminer le volume ruisselé à partir d'événements pluvieux. C'est une méthode généralement utilisée pour la conception d'ouvrages de drainage sur des bassins de superficies moyennes (10-250 km²) non jaugés.

Cette méthode permet d'obtenir la hauteur du ruissellement (capacité diffuse), mais elle ne permet pas de déterminer la répartition dans le temps de ce

ruissellement, pas plus que les débits de pointe (capacité transmettrice). Pour cela, une méthode comme celle de l'hydrogramme unitaire ou la méthode TR-55 du USDA doit être utilisée.

L'adaptation de cette méthode pour le Québec a été faite par Jean Monfet du MENVIQ (1979). Monfet a procédé à la validation de cette méthode, en comparant les résultats calculés pour certaines précipitations aux débits mesurés sur une trentaine de bassins versants du Québec méridional, dont huit (8) localisés dans le bassin versant de la rivière Chaudière, à l'intérieur de notre zone d'étude. Il a démontré une bonne relation entre le ruissellement et la pluie en fonction des classes de numéros de courbes.

La détermination du ruissellement par la méthode SCS permet également de tenir compte de l'humidité antécédente du sol par un ajustement des valeurs de CN. Monfet présente dans son rapport la table de modification des numéros de courbe, selon les conditions d'humidité initiale du sol ainsi que du classement des événements pluvieux en fonction des saisons.

Cependant, comme nous cherchons ici à établir les contributions relatives (apport d'eau au ruissellement), la méthode permet de considérer que les numéros de courbe (CN) sont des indices de la sensibilité des unités de paysage au ruissellement. Ces indices sont établis à partir des utilisations des sols, des pentes, des conditions hydrologiques et des classes de sol. Le tableau 6.4 présente les classes de sol retrouvées dans le bassin versant selon la méthode de classification SCS.

Le tableau 6.5 nous donne les indices de sensibilité au ruissellement (CN) en fonction des quatre facteurs déjà mentionnés. Il est à noter que le ruissellement croît avec l'indice de 0 lorsqu'il est nul, à 100 lorsqu'il se fait à 100%.

Tableau 6.4 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Classification SCS des sols et dépôts du bassin versant			
Dépôt / Sol	Classe SCS	Dépôt / Sol	Classe SCS
Affleurement	D	Inverness	C
Arthabaska	B	Lafontaine	C
Alluvions	D	Leeds	B
Arago	B	Leeds-mince	D
Arago-mince	D	Sainte-Marie	C
Saint-Bruno	B	Magog	C
Bois-Francis	C	Terrains Maras	D
Blanford	B	Norbertville	D
Baptiste	C	Osgoode	C
Brompton	c	Orford	C
Beaurivage	A	Provençal	D
Bullard	D	Palmer	B
Colton	C	Perry	C
Calder	A	Sheldon	C
Chester	D	Sherbrooke	C
Coleraine	C	Sunday	C
Dessaint	C	Suffield	D
Dufferin	D	Tourbe	D
Dupuis	D	Thetford	C
Éphrem	C	Ruisseau Tardif	C
Fourchette	C	Terres Noires	D
Gameau	B	Vimy	B
Gayhurst	B	Warwick	B
Greensboro	B	Woodbridge	C
Shenley	C		

Classes: A: graviers et sables grossiers
 B: sables moyens et fins
 C: sables fins mal drainés, sols limoneux et argiles perméables
 D: argiles lourdes et sols minces

Tableau 6.5 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Indices de sensibilité au ruissellement (CN) en fonction des sols, des pentes, des conditions de drainage et de l'utilisation des sols						
Utilisation des sols	Pente	Condition hydrologique	Classe de sol (note 2)			
			A	B	C	D
Cultures intensives:	< 3%	pauvre	63	74	80	82
• maïs	3-8%	pauvre	65	76	84	88
• céréales	> 8%	pauvre	72	81	88	91
• cultures						
Cultures extensives:	< 3%	bonne	25	40	70	78
• friche	3-8%	bonne	39	61	74	80
	> 8%	bonne	49	69	79	84
Boisé	< 3%	bonne	22	53	65	74
• forêt	3-8%	bonne	25	55	70	77
	> 8%	bonne	41	63	75	81
Résidentiel, commercial peu dense:	note 1		59	74	82	86
• urbain						
Zones humides: .			22	22	22	22
• tourbière						
• marécage						

Notes: 1) indépendant de la pente et des conditions hydrologiques

2) voir tableau 6.4 pour la description des classes de sol

Le tableau 6.5 montre que:

- 1) l'indice augmente avec la classe de sol (A à D) et avec la pente;
- 2) une condition hydrologique pauvre est associée aux pratiques de développement favorisant le ruissellement;
- 3) la présence de végétation en permanence comme dans les forêts, les boisés, les friches et les pâturages contribue à réduire le ruissellement;
- 4) les zones de cultures intensives où le sol est dénudé une partie de l'année sont sujettes à un ruissellement plus élevé;
- 5) les zones urbaines où les eaux tombent sur des surfaces imperméables et où les réseaux de drainage sont très développés présentent les conditions de ruissellement les plus fortes.

6.2.4 Cartes de sensibilité au ruissellement des unités de paysage

6.2.4.1 Procédure de calculs des indices

Les indices de sensibilité (CN) ont été calculés pour chaque unité de paysage au moyen de la procédure suivante, adaptée de Monfet (1979):

- 1) les sols du bassin versant ont été classifiés, à partir des cartes pédologiques à l'échelle 1:50000, selon les grands groupes (A, B, C, D) tel qu'indiqué au tableau 6.4 et entrés dans une base de données informatisée selon un quadrillage de points de 1 km x 1 km;
- 2) les pentes ont été évaluées à partir des cartes topographiques et la pente moyenne à l'intérieur de chaque unité de paysage a été calculée par ordinateur au moyen du logiciel SPANS;

- 3) les numéros de courbe (CN) ont été déterminés pour chaque unité de paysage, au moyen de la clef d'interprétation présentée dans le tableau 6.5, qui combine les classes de sol et les utilisations du sol montrées sur la figure 4.1;
- 4) l'indice moyen de ruissellement ou numéro de courbe moyen a été calculé en pondérant les numéros de courbe, en fonction de la superficie de chaque utilisation du sol dans l'unité de paysage, ceci au moyen des fonctions de calculs des superficies du logiciel SPANS.

Toutes les données sont entrées dans une base de données et les calculs statistiques sont faits au moyen du logiciel DBASE III.

6.2.4.2 Carte de sensibilité pour l'utilisation des sols en 1989

Les calculs des indices de ruissellement (CN) démontrent que l'indice de ruissellement global du bassin versant en 1989 est de 68,8. Les calculs de l'indice de ruissellement démontrent que, dans l'ensemble du bassin versant, les combinaisons des conditions naturelles du bassin versant et des utilisations actuelles du sol favorisent un ruissellement élevé. Pour la même année, les unités de paysage ont été regroupées par classe d'indices de ruissellement tel que montré sur la carte de la figure 6.2-P (en pochette).

Sur cette carte, on peut noter que toute la tête du bassin versant en amont de Saint-Georges, sauf les basses-terres à la tête du Lac Mégantic, de même que la tête du bassin versant de la rivière Bras Saint-Victor et quelques versants dans le secteur des eaux-mortes, entrent dans la classe d'indice de ruissellement très élevé, c'est-à-dire supérieur à 70. Ceci est dû aux pentes très fortes du terrain.

En ce qui concerne le versant «est», entre Sainte-Marie et Scott Jonction (unité # 1), l'indice de ruissellement élevé est relié à l'agriculture intensive.

La plus grande partie du bassin versant de la Famine, ainsi que les coteaux le long de la rivière Chaudière en aval de Saint-Georges, présentent des indices de ruissellement élevés liés à des pentes sensiblement moins fortes et au couvert forestier.

On retrouve des conditions de ruissellement moyen à la tête du bassin versant de la Famine, soit dans le sous-bassin de la rivière des Abénaquis ainsi qu'à la tête du bassin de la rivière du Loup dans le sous-bassin de la rivière Metgermette.

Les calculs des numéros de courbes (CN) pour l'utilisation des sols de 1989 ont été comparés aux valeurs calculées par Monfet (1979) sur huit (8) petits bassins (tableau 6.6). Les calculs, pour les mêmes bassins, ont été faits au moyen du logiciel SPANS en pondérant les CN calculés pour chaque unité de paysage en fonction de la superficie qu'elle occupe dans chacun de ces bassins. Les calculs pourraient aussi être faits directement à partir des données brutes tirées de la base de données, moyennant le positionnement précis en coordonnées UTM des points du quadrillage.

La comparaison Monfet-Tecsult indique que les indices de ruissellement obtenus à partir de nos calculs sont légèrement plus élevés que ceux calculés par Monfet, mais toujours du même ordre. La différence pourrait provenir de la différence d'utilisation des sols entre les deux périodes considérées, soit 1979 pour Monfet et 1989 pour Tecslult.

6.2.4.3 Carte de sensibilité pour l'utilisation des sols en 1925

Les calculs des indices de sensibilité au ruissellement ont été faits pour les utilisations du sol déterminées pour l'année 1925 et apparaissant sur la figure 4.1.

Les zones humides et celles recouvertes d'eau ont été considérées en 1925 égales à celles de 1989.

Tableau 6.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Comparaison des numéros de courbe des bassins versants étudiés par Monfet avec ceux de l'étude		
Bassin versant	CN Monfet	CN Tecsalt
Linière	67	72
À la truite	65	69
Pozer	69	67
Des Abénaquis	63	56
Arnold	64	70
Nadeau	65	71
Des Plantes	65	67
Samson	65	71

La superficie des terres agricoles a été répartie en culture intensive à 60% et en culture extensive à 40%, en se basant sur les données historiques des conditions d'exploitation des fermes beauceronnes tirées de «La Beauce et les Beucerons - Portraits d'une région 1737-1987».

Comme les utilisations du sol de 1925 ont été déterminées à partir des cartes topographiques, nous croyons que le découpage, entre les zones agricoles et forestières n'est pas aussi précis qu'en 1989. Certaines superficies déboisées à l'intérieur de zones forestières n'ont peut être pas été indiquées sur les cartes topographiques. L'erreur ainsi introduite est probablement inférieure à 10%.

Le découpage du territoire par catégorie de sensibilité (moyenne, élevée, très élevée) est montré sur la figure 6.2-P.

L'indice de ruissellement global du bassin versant vers 1925 est de 69,9, soit presque le même que celui obtenu pour 1989.

6.2.4.4 Carte de sensibilité pour utilisation forestière à 100% du territoire

Nous avons calculé les numéros de courbes pour chacune des unités de paysage, en supposant que le bassin versant était boisé à 100%, ce qui correspondrait à l'état des lieux au début de la colonie (fin du 17ième siècle). Cet exercice a été fait afin de vérifier la variabilité de la sensibilité au ruissellement du bassin par rapport aux pentes et aux types de sol en éliminant la variable de l'utilisation des sols. L'indice de sensibilité moyen pondéré, obtenu pour l'ensemble du bassin versant est de 66,3. Cette valeur représente une diminution très faible de l'indice, ce qui démontre que les facteurs dominants agissant sur le ruissellement sont naturels, soit les pentes et les types de sol. Un examen de ces calculs indique en effet que les pentes élevées et les types de sol peu perméables dominent sur les unités de paysage les plus étendues: n° unités 10, 31, 50, 51, 52, 60, 68, 72, 73, 77 et 91.

6.2.4.5 Interprétation des résultats

En se basant sur les résultats des calculs des indices de ruissellement (CN) sur le bassin versant, il semble qu'à l'échelle du bassin dans son ensemble, les conditions influençant le ruissellement n'ont pas changé de façon notable depuis 65 ans (1925-1989). Ainsi, on constate que les superficies de zones forestières sont restées, à toutes fins pratiques, équivalentes. Globalement, beaucoup des terres en cultures en 1925 sont passées en pâturage ou en friche, ce qui résulte en une baisse de l'indice de ruissellement. Les superficies ont été multipliées par 10 pour les zones urbaines entre 1925 et 1989, ce qui implique une augmentation de l'indice de ruissellement tel que montré au tableau 6.5.

L'utilisation du modèle des unités de paysage suggère, qu'à l'échelle du bassin versant, le développement anthropique, matérialisé par l'utilisation des sols, n'a pas contribué de façon importante à augmenter les volumes de ruissellement. Cependant, tel que démontré au chapitre 5.0, si l'on considère une échelle plus grande, certaines pratiques de développement causent une augmentation des débits et de l'érosion, ce qui peut contribuer à augmenter la sévérité des inondations.

À une échelle plus grande, le modèle développé pour le bassin de la rivière Chaudière peut aussi être utilisé pour déterminer la sensibilité d'une unité de paysage ou d'un sous-bassin à une pratique agricole ou forestière donnée. Il suffit de déterminer avec plus de précision la valeur du numéro de courbe (CN), en se servant des méthodes développées par le USDA et présentées dans le «SCS National Engineering Handbook - Section 4 - Hydrology (1972)». Ceci nécessite une évaluation sur le terrain des conditions de sol et du couvert végétal. La hauteur de ruissellement pour une précipitation donnée peut être déterminée en se servant de la procédure décrite par Monfet (1979) pour le Québec. Dans cette optique, le modèle peut être considéré comme un outil d'aménagement du territoire puisqu'il permet de déterminer l'effet sur le ruissellement du changement d'une pratique ou d'une utilisation des sols sur un sous-bassin ou une unité de paysage donnée.

7.0 ANALYSE DES DONNÉES HYDROLOGIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES

7.1 Revue de la littérature

La littérature sur le phénomène des crues et des inondations de la rivière Chaudière est particulièrement abondante. Au cours de la cueillette des données, nous avons rassemblé plus de 30 rapports et articles techniques consacrés à ces sujets. Nous avons également consulté plusieurs rapports de recherche et thèses d'étude préparés par des étudiants et des professeurs de différentes facultés universitaires, particulièrement à l'Université Laval. La liste des références présente les ouvrages qui ont été consultés dans le cadre de cette première partie de l'étude.

Les Beaucerons sont les premiers à décrire les inondations qui les affligent, dans deux excellents ouvrages publiés par la Société du patrimoine des Beaucerons:

- La Beauce et les Beaucerons - Portraits d'une région 1737-1987 (1990);
- Imprévisible Chaudière (1991).

Ainsi, l'histoire démontre que des crues et des inondations sont connues sur la rivière Chaudière depuis le 18^{ième} siècle, soit bien avant le développement du bassin. Elles étaient donc entièrement imputables à des causes naturelles. Le géographe Herman Doyon (1991) a bien résumé, dans un document de 10 pages, les causes naturelles et anthropiques susceptibles de favoriser l'occurrence des crues et des inondations.

Il résume ainsi la situation:

«Tout le problème réside dans l'écoulement massif et trop rapide des eaux vers la rivière Chaudière qui n'a plus le temps d'évacuer tout ce qui lui tombe dedans.»

Il réfère ici à la section des eaux mortes comprise entre Scott Jonction et Beauceville. En fait, lors de crues, cette section de la rivière peut être assimilée à une baignoire qui se remplit parce que son drain est encrassé ou d'une capacité insuffisante pour évacuer le débit d'eau qui y entre.

Perrier (1978) a présenté un historique des inondations au Québec pour la période 1910-1970 qui démontre qu'il n'y a pas de: *«tendance à une augmentation sensible du nombre de crues élevées au Québec au cours des derniers dix ans»*, soit de 1960 à 1970. Il rapporte que les statistiques sur les dommages montrent une augmentation marquée des indemnités pour la période 1970-1978 qu'il attribue au développement urbain plus important dans les zones inondables. Ce phénomène est généralisé à travers le Québec. L'étude de Perrier comprenait, il va sans dire, la rivière Chaudière.

Le gouvernement du Québec a été très actif dans l'étude et la réalisation de travaux visant à réduire les inondations sur la rivière Chaudière, particulièrement au cours des années soixante et soixante-dix. Deux études d'envergure méritent d'être mentionnées:

- Plan d'ensemble des travaux remédiateurs de la rivière Chaudière - Contrôle des inondations à la débâcle
Ministère des Richesses Naturelles du Québec, 1965;
- Rivière Chaudière - Étude de l'atténuation des crues
Ministère des Richesses Naturelles du Québec, 1968.

Elles ont mené à la construction du barrage Sartigan inauguré en 1968; à la réfection du barrage du lac Mégantic; à l'amélioration du chenal et à la protection des berges entre Scott Jonction et Beauceville. En retenant les glaces sur la Haute-Chaudière et la rivière Du Loup (Linière), le barrage Sartigan a éliminé, à toutes fins pratiques, les inondations à Saint-Georges mais n'a pas modifié les conditions en aval de Beauceville.

7.2 Objectifs et contenu des analyses

L'étude de solutions au problème des inondations sur la rivière Chaudière requiert une bonne connaissance des conditions hydrologiques et météorologiques sur le bassin versant. Cette connaissance est nécessaire pour établir la relation entre la pluviométrie et l'écoulement, afin de déterminer les volumes d'eau à retenir dans des réservoirs ou les débits à considérer pour l'amélioration de l'écoulement dans le chenal compte tenu de l'aménagement ou non de réservoirs.

L'analyse hydrologique a aussi pour but de mettre à jour l'étude effectuée par Perrier (1978), afin de vérifier si une tendance à l'augmentation des crues et des inondations s'est développée au cours des 20 dernières années sur le bassin versant de la rivière Chaudière. Dans un tel cas, il s'agit de vérifier si une telle tendance peut être attribuée à des causes naturelles, telles une augmentation des précipitations ou une augmentation du taux de fonte due à un réchauffement global des températures de l'air, ou à des causes anthropiques reliées aux pratiques de développement décrites au chapitre 5.

Les données utilisées dans les analyses hydrologiques et météorologiques qui proviennent du MENVIQ couvrent la période 1915-1991.

Dans un premier temps, nous analysons l'occurrence des crues (débits) et des inondations (niveaux) puis nous examinons les tendances révélées par les données météorologiques pertinentes (précipitations, températures de l'air). Finalement, nous analysons le déficit d'écoulement, soit la différence entre les précipitations totales annuelles et les débits, pour déterminer si des variations sont notables sur la période 1915-1991.

L'analyse hydrologique a été faite en parallèle avec le développement du modèle de sensibilité du bassin au ruissellement décrit à la section 6.2.

7-4

7.3 Fréquence des crues et des inondations

7.3.1 Fréquence des crues - Analyse des débits maximum

La figure 7.1 montre, depuis 1915, l'histogramme des crues, soit les débits journaliers maximum annuels à la station 023402 à Saint-Lambert. La saison où se produit le débit maximum est également notée. La figure 7.2 et le tableau 7.1 montrent, pour la même station, les débits journaliers classés en trois sous-périodes d'environ 20 années. La sous-période 1915-1944 tient compte du fait qu'il n'y a pas eu d'enregistrements entre 1927 et 1935:

- sous-période 1915-1944: 21 ans
- sous-période 1945-1964: 20 ans
- sous-période 1965-1991: 27 ans

La figure 7.3 montre les courbes de distribution des débits maximum annuels pour chacune des sous-périodes. Les courbes sont ajustées selon les lois de Gumbel et de Pearson III. Cette dernière loi présente le meilleur ajustement des données parmi les quatre (4) lois utilisées pour l'analyse. Les autres lois utilisées sont la loi log-Pearson III et celle de Weibull.

Nous avons indiqué sur la figure 7.1 le débit de la crue de 100 ans calculé en utilisant les données de la série complète, et les débits des crues de 20 ans qui ont été calculés avec les séries de données pour chaque sous-période. L'examen de cette figure révèle que 78% des crues surviennent au printemps, 10% en été, 9% en automne et 3% en hiver.

Tableau 7.1

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Nombre de jours d'occurrence des débits journaliers
à Saint-Lambert, station 023402, calculés à partir
des débits journaliers classés pour trois sous-périodes

Fréquence	Nombre de jours par an	Débit (m ³ /s)		
		Sous-période 1915-1944	Sous-période 1945-1964	Sous-période 1965-1991
.0001	0,037 (1 heure)	1830	1650	2140
.0027	1	1130	1130	1320
.0137	5	790	770	845
.055	20	450	440	450
.50	182	62	58	55

Le tableau 7.2 présente l'intensité des crues pour diverses périodes de retour pour chaque sous-période analysée. On constate que l'intensité des crues a augmenté en moyenne de 20% au cours de la sous-période des 20 dernières années. Ainsi, le débit de la crue de 20 ans évalué à 1600 m³/s environ, durant la période 1915-1964, se produit maintenant à tous les 7,5 années. Cette constatation est facilement visible sur l'histogramme de la figure 7.1. Une telle augmentation de l'ordre de 20% est importante. L'examen des données météorologiques est nécessaire pour déterminer si cette augmentation est le résultat d'une pluviométrie plus abondante au cours de la sous-période 1965-1991 ou le résultat des pratiques défavorables décrites au chapitre 5 ou de la variation des conditions d'utilisation des sols (chapitre 4).

Comme la station de Saint-Lambert est la seule où les débits sont mesurés depuis 1915, il n'est pas possible d'évaluer comment cette tendance varie dans l'ensemble du bassin.

Par contre, nous avons également fait l'analyse pour la station 023403, située sur la Haute-Chaudière à la confluence du ruisseau Drolet, à partir de données couvrant la période 1915-1983.

La figure 7.4 montre les courbes des débits journaliers classés pour les sous-périodes 1915-1954 et 1954-1983 à cette station. La figure 7.5 montre, pour cette même station, les courbes de distribution des débits annuels de crues ajustées selon la loi de Pearson III.

Les résultats démontrent qu'il y a eu une légère diminution du débit moyen journalier dans la sous-période 1955-1983 (figure 7.4) mais une augmentation d'environ 10% des débits de crue maximum annuel (figure 7.5).

Tableau 7.2**Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière**

**Débits de crues maximum annuels pour différentes
réurrences à la station Saint-Lambert 023402 calculés
pour quatre sous-périodes par la loi Pearson III**

Période de retour (années)	Débit (m³/s)			
	Sous-période 1915-1944	Sous-période 1945-1964	Sous-période de 1965-1991	Période 1915-1991
1	630	305	463	470
2	1042	1037	1210	1103
4	1240	1261	1477	1344
10	1456	1467	1738	1586
20	1600	1580	1900	1760
100	1919	1831	2236	2062
200	2049	1920	2365	2187
500	2215	2028	2525	2345

Ces résultats suggèrent que l'augmentation récente des débits de crues observée à Saint-Lambert existe aussi, mais à un moindre degré à la tête du bassin versant de la rivière Chaudière. Donc les principaux bassins où se seraient produits des augmentations importantes sont les autres grands sous-bassins (Bras Saint-Victor, Linière, Famine). Il est également à noter que des pratiques favorisant le ruissellement ont été identifiées sur le bassin de la rivière Linière ainsi que dans le bassin du Bras Saint-Victor. Malheureusement, nous ne disposons de relevés de débits que depuis 1965 sur la Famine et 1972 sur la Linière, de sorte qu'il n'est pas possible d'analyser par une méthode statistique l'impact de ces pratiques sur les crues.

7.3.2 Fréquence des inondations - Analyses des niveaux maximum

Tel qu'indiqué au tableau 2.2, nous disposons de relevés journaliers des niveaux d'eau à trois stations à l'intérieur du tronçon des eaux mortes, soit:

- station 023406 - Scott Jonction: 1915-1982
- station 023407 - Sainte-Marie: 1924-1991
- station 023408 - Saint-Joseph: 1915-1982

Il est à noter que dans ces trois localités, les inondations se produisent généralement à l'eau claire, c'est-à-dire sans effets majeurs dus aux embâcles de glace.

Les niveaux d'eau ont été mesurés sur des échelles, sauf à Sainte-Marie où depuis 1962 un limnigraphe enregistre en continu. Les données disponibles sont une lecture par jour faite à 8 h 00, ou la lecture enregistrée à 0 h 00 à Sainte-Marie depuis 1962. Les données ne sont donc ni des valeurs maximales instantanées, ni des valeurs moyennes journalières. Cependant, pour les fins de l'analyse statistique, elles peuvent être considérées comme représentatives des niveaux moyens journaliers.

Les données utilisées sont exprimées en valeurs arbitraires. Il faut donc augmenter les lectures de la valeur d'une constante pour transformer les niveaux d'eau en élévations géodésiques. Ces constantes sont les suivantes:

- station 023406 - Scott Jonction: + 95,152 m
 - station 023407 - Sainte-Marie: + 97,560 m
 - station 023408 - Saint-Joseph: +100,178 m
- (référence: G. Barabé, ing. MENVIQ)

Les données de niveaux d'eau ont été analysées pour les même trois sous-périodes utilisées pour l'étude des crues.

Les figures 7.6, 7.7 et 7.8 montrent, respectivement pour les stations de Scott Jonction, Sainte-Marie, Saint-Joseph, les histogrammes des niveaux maximum annuels, la saison d'occurrence, les niveaux du seuil d'inondation et les niveaux des inondations de 20 ans et 100 ans.

Les figures 7.9, 7.10 et 7.11 montrent, pour ces mêmes stations, les courbes des débits journaliers classés pour chacune des sous-périodes.

Les figures 7.12, 7.13 et 7.14 montrent les courbes de distribution des niveaux maximum annuels d'inondation à chacune des stations, calculées pour chaque sous-période et ajustées selon la loi de Pearson III.

L'ajustement des données a également été calculé avec les lois de Gumbel, Weibull et Log Pearson III. Le meilleur ajustement est obtenu avec la loi de Pearson III et est représenté sur les figures.

Le seuil d'inondation a été défini arbitrairement comme le niveau où une première rue est inondée dans la municipalité. Ce niveau a été déterminé au moyen des cartes au 1:2000 de 1977 (cartes du risque d'inondation), mais en tenant compte des modifications apportées depuis, telles que communiquées par les MRC. Les seuils d'inondation actuels ainsi définis sont:

7-10

- Scott Jonction: 143,0 à 143,5 m
- Sainte-Marie: 145,0 à 145,5 m
- Saint-Joseph: 149,0 à 149,5 m

Il est à noter que le seuil d'inondation varie au cours de la période 1915-1991. En fait, il baisse dès qu'une rue est construite plus bas dans la plaine inondable.

Le tableau 7.3 présente, pour les trois stations, le nombre de jours où les seuils d'inondation sont dépassés en moyenne chaque année, selon les calculs faits pour chaque sous-période. Le tableau 7.4 indique, pour les trois stations, les niveaux maximum annuels d'inondation de différentes récurrences calculés pour chaque sous-période.

Les résultats apparaissant sur le tableau 7.3 montrent qu'en moyenne le nombre de jours par année où des propriétés sont inondées est demeuré sensiblement le même de 1915 à nos jours. Nous avons démontré que les niveaux de crue ont diminué et que le niveau du seuil d'inondation a diminué aussi suite au développement urbain dans la plaine inondable. Si le niveau du seuil d'inondation était demeuré le même au cours de la période 1915-1991, le nombre de jours moyen annuel d'inondation calculé pour la sous-période 1965-1991 aurait normalement diminué.

Les résultats présentés sur le tableau 7.4 indiquent que les niveaux d'eau lors des crues ont eu tendance à diminuer. Ainsi, le niveau d'inondation se produisant une fois à tous les 20 ans a diminué de 0,83 m à Scott et de 0,85 m à Saint-Joseph de 1915 à 1983. La baisse est de 0,20 m à Sainte-Marie entre 1924 et 1991. Nous croyons que les baisses calculées par les méthodes statistiques à Scott et Saint-Joseph auraient probablement été moins fortes, si des données de niveaux avaient été disponibles à ces stations au cours de la période 1983-1991 alors que des crues très fortes se sont produites notamment en 1987 et 1991. La baisse est cependant importante entre les sous-périodes 1915-1944 et 1945-1964.

Tableau 7.3**Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière**

**Nombre de jours d'occurrence des niveaux d'eau
au-dessus du seuil d'inondation à
Scott Jonction, Sainte-Marie et Saint-Joseph**

Localité	Seuil d'inondation (m)	Nombre de jours/an		
		Période 1	Période 2	Période 3
Scott Jonction	143,0	2,5	5,0	2,2
Sainte-Marie	145,0	2,0	1,75	2,0
Saint-Joseph	149,0	0,5	0,3	0,3

Note: Période 1: 1915-1944 à Scott Jonction et Saint-Joseph
1924-1944 à Sainte-Marie

Période 2: 1945-1964 toutes les localités

Période 3: 1965-1982 à Scott Jonction et Saint-Joseph
1965-1991 à Sainte-Marie

Tableau 7.4

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Niveaux d'inondation maximum annuels pour différentes récurrences à Scott Jonction,
Sainte-Marie et Saint-Joseph calculés pour trois sous-périodes par la loi de Pearson III

Récurrence (années)	NIVEAUX GÉODÉSIQUES (m)								
	Scott Jonction			Sainte-Marie			Saint-Joseph		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	141,63	139,48	141,03	142,3	143,82	142,68	146,67	146,80	145,43
2	143,10	142,98	143,04	145,25	145,27	145,28	148,34	148,32	148,57
4	143,70	143,54	143,44	145,9	145,71	145,83	149,15	148,80	149,14
10	144,31	143,91	143,74	146,42	146,10	146,26	150,03	149,25	149,55
20	144,70	144,05	143,87	146,70	146,38	146,50	150,60	149,52	149,75
100	145,56	144,30	144,13	147,17	146,79	146,86	151,93	150,06	150,05
200	145,89	144,35	144,20	147,32	146,96	147,00	152,46	150,26	150,14
500	146,30	144,41	144,28	147,49	147,16	147,12	153,15	150,51	150,23
Seuil Inondation	143,0			145,0			149,0		

Notes: 1) sous-période 1: 1915-1944 à Scott Jonction et Saint-Joseph
1924-1944 à Sainte-Marie

sous-période 2: 1945-1964 toutes les localités

sous-période 3: 1965-1983 à Scott Jonction et Saint-Joseph
1965-1991 à Sainte-Marie

Le tableau 7.5 indique, pour les stations entre Saint-Gédéon et Saint-Lambert, la plage des lectures des échelles versus les niveaux de crue établis par le MENVIQ. Ces données indiquent que les échelles utilisées par le MENVIQ pouvaient être utilisées pour lire toute la gamme des niveaux de crue aux stations de Scott Jonction, Sainte-Marie et Saint-Joseph. Ces données révèlent que les niveaux de la crue de 2 ans calculés par le MENVIQ sont actuellement un peu trop bas à Sainte-Marie et à Saint-Joseph.

En se servant des relations débit-niveau du MENVIQ et des données des tableaux 7.3 et 7.4, il est possible de déterminer les débits correspondant aux niveaux des crues et du seuil d'inondation à ces trois stations. La capacité d'écoulement approximative de la rivière au seuil d'inondation diminue sensiblement de l'aval vers l'amont tel que montrée au tableau 7.6. Ces calculs seront repris avec les nouvelles sections en travers qui seront mesurées au printemps 1993.

L'examen des résultats des calculs montrés sur le tableau 7.4 et les figures 7.12, 7.13 et 7.14 sur les fréquences des inondations permet de tirer certaines observations:

- les niveaux d'inondation pour une récurrence de 20 ans ont baissé d'environ 0,80 m (figure 7.12) à Scott Jonction de 1915 à 1982. Le niveau moyen journalier a baissé d'environ 0,40 m (figure 7.9);
- les niveaux d'inondation pour une récurrence de 20 ans ont diminué à Sainte-Marie d'environ 0,20 m au cours des 40 dernières années (figure 7.13) alors que le niveau journalier moyen a augmenté d'environ 0,20 m (figure 7.10);
- les niveaux d'inondation pour une récurrence de 20 ans ont diminué de 0,85 m à Saint-Joseph entre les périodes 1915-1944 et 1965-1982 (figure 7.14) alors que le niveau moyen journalier à Saint-Joseph est demeuré sensiblement le même (figure 7.11).

Tableau 7.5**Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière**

**Situation des échelles
Plage des lectures versus niveau de crue
aux stations hydrométriques du bassin versant**

Municipalité	Lecture d'échelle (m)		Niveau de crue (m)	
	minimum	maximum	2 ans	100 ans
Saint-Lambert	--	--	--	--
Scott Jonction	143,378	145,816	142,88	144,97
Sainte-Marie	140,056	147,980	144,84	146,83
Vallée Jonction # 1	146,000	148,438	147,08	150,08
Vallée Jonction # 2	147,898	150,336	--	--
Saint-Joseph # 1	146,373	148,811	147,86	150,94
Saint-Joseph # 2	148,839	151,277	--	--
Beauceville	151,00	--	150,40	153,20
Saint-Georges	159,635	163,135	162,94	166,00
Linière	228,684	230,818	--	229,250
Saint-Martin	227,244	229,378	--	--
Saint-Gédéon	--	--	--	--

(Référence MENVIQ)

Tableau 7.6 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Capacité d'écoulement (débit) en eau libre de la rivière au seuil d'inondation à Scott Jonction, Sainte-Marie et Saint-Joseph		
Endroit (Station)	Seuil d'inondation (m)	Débit (m³/s)
Scott Jonction (023406)	143,0	1 300 (note 2)
Sainte-Marie (023407)	145,0	1 237 (note 1)
Saint-Joseph (023408)	149,0	1 274 (note 2)

Note: 1) Débit déterminé à partir du tableau débit-niveau du MENVIQ à la station 023407.

2) Débit déterminé à partir des courbes de tarage établies par J. Lamas dans le rapport R-2 du ministère des Richesses naturelles du Québec, 1968.

Ces résultats sont intéressants car, au cours de la période 1965-1991, nous constatons une augmentation du débit de la crue de 20 ans à Saint-Lambert (figure 7.3) et, d'un autre côté, une diminution des niveaux d'inondation sur le tronçon des eaux mortes. Cette diminution est particulièrement significative à Sainte-Marie car la baisse est observable dans la période 1965-1991, soit celle où l'augmentation des débits de crue est la plus forte. De plus, les inondations à Sainte-Marie se produisent presque toujours en eau libre, donc sans effet de glace, comparativement à Saint-Joseph où le couvert demeure en place dans le chenal principal au moment de la crue. La présence du couvert de glace, même sans embâcle, constitue une obstruction à l'écoulement, ce qui entraîne une augmentation des niveaux d'eau.

Les résultats tendent à démontrer qu'il y a eu une modification significative dans la relation débit-niveau à Sainte-Marie, particulièrement pour les forts débits.

La baisse des niveaux d'inondation et du niveau moyen journalier à Scott Jonction est une indication qu'il y a eu amélioration de la capacité d'écoulement de la rivière en aval de cette localité. Cela peut être le résultat de l'enlèvement d'obstacles à l'écoulement, comme de vieux barrages. Les relevés des niveaux de la crue de 1991 indiquent que le contrôle de Saint-Maxime était noyé et que les niveaux sur le tronçon des eaux mortes sont influencés par les conditions d'écoulement en aval.

La baisse des niveaux d'inondation à Sainte-Marie, dans la période de hausse des débits de crue, est aussi une indication d'une amélioration possible des conditions d'écoulement en aval de cette localité. L'augmentation du niveau journalier moyen nous amène à déduire qu'il y a eu, par contre, une réduction de la capacité d'écoulement du lit mineur (chenal principal). Cela peut être dû à l'accumulation de dépôts. La campagne de relevés bathymétriques de 1993 nous permettra de vérifier ce point.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons effectué des calculs des profils des niveaux d'eau le long du tronçon Scott-Saint-Joseph, en utilisant les débits et les niveaux de la crue de 20 ans déterminés par les analyses statistiques pour la sous-période 1965-1991 (1965-1983 à Scott et Saint-Joseph).

Comme les débits de crue ont augmenté et que les niveaux d'inondation ont diminué, nous avons effectué les calculs en réduisant les valeurs du coefficient de frottement de Manning par rapport à celles utilisées pour l'étalonnage du modèle de calculs qui étaient basées sur les relations débit-niveau déterminées par le Ministère des Richesses Naturelles vers le milieu des années soixante.

Pour le tronçon Scott-Sainte-Marie, une diminution du coefficient de Manning de 0,030 à 0,024 dans le chenal principal permet de reproduire le profil d'écoulement pour la sous-période 1965-1991.

Pour le tronçon Sainte-Marie-Saint-Joseph, il est possible de reproduire le profil d'écoulement de la crue de 20 ans de la période 1965-1991, soit en réduisant de 0,11 à 0,05 le coefficient de Manning dans la plaine de débordement, soit en réduisant le coefficient de Manning du chenal principal de 0,030 à 0,026.

Comme plus de 80% du débit transite par le chenal principal, même en période de crue avec débordement dans la plaine d'inondation, ces calculs nous suggèrent que l'amélioration de la capacité d'écoulement serait due aux raisons suivantes:

- sur le tronçon Scott-Sainte-Marie: à une réduction de la végétation (arbres, arbustes) le long des berges, soit par des agents naturels (érosion, glace) soit par déboisement;
- sur le tronçon Sainte-Marie-Saint-Joseph: aux travaux d'enlèvement des hauts-fonds et de protection des berges réalisés par le MENVIQ, et à une réduction de la végétation le long des berges.

Sur ce dernier tronçon, l'amélioration des conditions d'écoulement se fait particulièrement sentir pour les crues importantes, parce que l'analyse statistique indique que les niveaux pour les périodes de retour inférieures à 10 ans n'ont pas varié de façon significative (tableau 7.4). Ceci peut s'expliquer par le fait que pour les crues de printemps plus faibles, le couvert de glace demeure présent dans le chenal, ce qui réduit la section d'écoulement présente dans le chenal et augmente le frottement global.

Le tableau 2.1 tiré du «Manuel des principes d'hydrologie» de Gray (1972), montre les valeurs du coefficient de frottement de Manning. On peut y noter les valeurs plus élevées causées par différents types de végétation dans les plaines d'inondation. Plus le coefficient est élevé, plus le frottement est élevé et les niveaux d'eau augmentent. On peut constater à l'article B-1 (cours d'eau naturel) du tableau 2.1, l'effet de la végétation sur le coefficient de frottement sur les berges du chenal principal et en B-2 l'effet de la végétation dans la plaine d'inondation.

7.4 Analyse des données météorologiques

7.4.1 Généralités

Les résultats de l'analyse des données hydrologiques indiquent qu'il y a eu une augmentation de la sévérité des crues au cours des 27 dernières années (1965-1991) par rapport aux 50 années antérieures (1915-1964). Cette augmentation peut être attribuable à des causes naturelles comme les conditions météorologiques, à des causes artificielles comme des changements de l'utilisation des sols, ou à une combinaison de ces deux types de cause.

Dans cette section, nous présentons une analyse des conditions météorologiques pour la période 1915-1991, réalisée à partir des données enregistrées aux stations de Beauceville, Lac Mégantic, Saint-Éphrem, Vallée Jonction et Scott Jonction. Ces stations sont situées dans le bassin versant de la rivière Chaudière, à l'intérieur de la zone d'étude, et elles présentent les périodes d'enregistrement les plus longues.

7.4.2 Précipitations

Les figures 7.15 à 7.19 montrent la moyenne mobile des précipitations totales annuelles de neige et de pluie à chacune des cinq (5) stations météorologiques. Les précipitations mesurées à Beauceville de 1915 à 1982 et à Lac Mégantic de 1914 à 1991 montrent deux cycles de tendance à la hausse de 1915 à 1960 et de 1965 à 1991 séparés par une courte période de baisse importante et continue de

1960 à 1965. Le cycle à la hausse des précipitations, entre 1965-1991, est également observé aux stations plus récentes de Scott Jonction, Vallée Jonction Saint-Éphrem. Pour cette dernière station, seules les données depuis 1955 ont été retenues, car plusieurs données sont manquantes dans la période 1929-1954.

Ces deux cycles à la hausse ont également été observés sur le bassin versant voisin, celui de la rivière du Sud, à la station d'Armagh (Hydrotech, 1987).

L'examen des figures 7.15 à 7.19 permet également de noter que l'augmentation des précipitations totales annuelles est principalement due à une augmentation de la pluie.

Les figures 7.20 à 7.25 montrent les histogrammes des hauteurs de précipitations cumulées de neige et de pluie à chacune de ces cinq (5) stations, entre le 15 mars et le 15 avril de chaque année, soit au moment de la crue du printemps. Les moyennes mobiles des précipitations apparaissent également sur celles-ci. Les figures 7.15 à 7.25 montrent que les cycles de plus fortes précipitations se traduisent généralement par des crues plus fortes (voir figure 7.1), également perceptibles au moment de la crue du printemps. On peut constater que les précipitations printanières sont en progression partout sur le bassin entre 1985 et 1991.

L'examen des précipitations cumulées entre le 15 mars et le 15 avril démontre une bonne corrélation avec le débit de la crue printanière, tel qu'indiqué par l'histogramme des débits à la station de Saint-Lambert (figure 7.1).

7.4.3 Températures de l'air

Les figures 7.25 à 7.29 montrent, pour les mêmes stations météorologiques les moyennes mobiles des températures moyennes annuelles. On constate une tendance constante vers une augmentation de la température moyenne annuelle depuis le début du siècle. L'augmentation varie d'une station à l'autre, telle qu'indiquée au tableau 7.7.

Tableau 7.7**Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière****Augmentation des températures moyennes annuelles
à cinq stations sur le bassin versant**

Station #	Endroit	Période	Augmentation	Gradient
0560	Beauceville	1915-1982	0,75°C	0,011°C/an
3677	Lac Mégantic	1914-1991	0,625°C	0,0080°C/an
7200	Saint-Éphrem	1955-1991	0,8125°C	0,0262°C/an
8676	Vallée Jonction	1965-1991	0,4375°C	0,0168°C/an
7840	Scott Jonction	1952-1991	1,56°C	0,04°C/an

La température de l'air influence l'évaporation sur les étendues d'eau et l'évapotranspiration sur les surfaces végétales. Une augmentation de la température moyenne annuelle se traduit par une augmentation de l'évapotranspiration annuelle dans des conditions d'utilisation des sols constantes. Les plantes prélèvent en effet plus d'eau du sol, qui aura alors tendance à s'assécher. Ceci fait qu'au début d'une pluie, l'eau sera d'abord absorbée par le sol, ce qui aura pour effet de réduire le ruissellement et les débits des rivières.

Nous avons analysé les températures moyennes de l'air cumulées au cours de la période de la débâcle, pour déterminer si une relation peut exister entre le réchauffement de l'air au printemps et les crues, étant donné que le réchauffement de l'air agit sur la fonte du couvert de neige. La figure 7.30 montre les données de températures cumulées pour la station du Lac Mégantic, alors que la figure 7.1 montre les débits de crue à Saint-Lambert.

On constate qu'il n'y a pas de corrélation nette entre les débits de crues au printemps et la température de l'air ou le réchauffement de l'air durant cette période.

7.5 Conditions météorologiques à l'origine des crues

Dans les sections précédentes, nous avons examiné les données météorologiques recueillies à cinq stations sur le bassin versant afin de déterminer la présence de tendances pouvant expliquer l'augmentation importante de la sévérité des crues et des inondations au cours des trente dernières années. En nous servant de l'histogramme des débits maximum annuels à la station de Saint-Lambert (figure 7.1) nous avons déterminé les dates des débits de crues de plus de 1300 m³/s au cours de la période d'enregistrement 1915-1991 afin d'examiner les conditions météorologiques à l'origine de ces débits. Le tableau 7.8 présente les débits de crues par ordre décroissant, les dates où ils ont été enregistrés à la station de Saint-Lambert ainsi que les hauteurs de précipitations et les hauteurs de neige au sol mesurées au cours des jours précédant aux stations de Beauceville (B), lac Mégantic (M), Saint-Ephrem (E) et Scott Jonction(S).

L'examen des données a porté également sur les températures de l'air afin de déterminer les conditions de fonte du couvert de neige. Cet examen a été fait d'une façon plutôt qualitative afin de connaître l'importance relative des conditions météorologiques dans la production des crues susceptibles de causer des inondations.

Parmi les 19 crues répertoriées dont le débit a dépassé 1300 m³/s soit le débit au seuil d'inondation en eau libre sur le tronçon des eaux mortes, seize (16) se sont produites au printemps, deux (2) en été et une (1) en automne. La répartition par sous-périodes de ces crues est la suivante:

- 10 entre 1971 et 1991 (21 ans)
- 4 entre 1951 et 1990 (20 ans)
- 2 entre 1931 et 1950 (15 ans) (données manquantes entre 1931 et 1935)
- 3 entre 1915 et 1930 (12 ans) (données manquantes entre 1927 et 1930)

Donc au total 19 crues de plus de 1300 m³/s en 68 ans.

L'analyse des conditions météorologiques à l'origine des crues printanières est complexe car elle nécessite l'examen des précipitations, de la neige au sol, de la température, de l'humidité de l'air, des vitesses du vent et du rayonnement solaire. Lamb (1992) a décrit d'une façon détaillée l'ensemble des processus physiques qui interviennent dans une analyse des conditions météorologiques survenues lors de la crue d'avril 1991. Le MENVIQ a pu mettre au point et utiliser depuis quelques années un modèle de prévision du ruissellement. Ceci a été rendu possible entre autres par l'amélioration du réseau des stations météorologiques qui fournissent des données complètes et fiables depuis le début des années quatre-vingt. Avant cette date, nous avons pu constater que beaucoup de données importantes comme la hauteur de neige au sol n'étaient mesurées qu'une fois par mois.

L'examen des données du tableau 7.8 permet de dégager les observations suivantes:

- 1- la crue centenaire de 1991 a été causée par des pluies très abondantes (environ 75 mm en trois jours), combinée à la fonte d'un couvert de neige encore épais (50 cm) à la fin de mars. Lamb indique dans son rapport que *«les conditions météorologiques qui ont prévalu au cours du mois de mars ont été suffisantes pour faire murir le couvert de neige, de telle sorte qu'il n'était plus en mesure, au début d'avril, de retenir l'eau de fonte ou la pluie survenue par la suite»*;
- 2- les crues du 19 juin 1922 et du 25 septembre 1981, ayant une période de retour d'environ 5 ans, ont été provoquées par des pluies d'une hauteur cumulée à peu près égale à celle qui a accompagnée la crue de 1991. La différence des débits de pointe soit environ 800 m³/s provient des phénomènes suivants:
 - le ruissellement plus grand causé par la fonte du couvert de neige et le sol gelé qui empêche l'infiltration au printemps;
 - l'interception causée par la végétation réduit le ruissellement en été;
 - l'infiltration causée par la nécessité de satisfaire les besoins en eau des plantes réduit le ruissellement durant l'été;
- 3- la présence d'un couvert de neige épais (50 cm $\pm$) à la fin mars n'est pas un indice d'une crue importante car en l'absence de pluies abondantes, le débit de pointe sera réduit tel que démontré par les conditions météorologiques des crues du 19 avril 1970 et du 21 avril 1975 qui se classent aux deux derniers rangs de notre échantillon pour les hauteurs de pluies cumulées (environ 10 mm) et les débits (1320 m³/s);

Tableau 7.8

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Conditions météorologiques à l'origine des crues les plus importantes

Débit (m³/s)	Année	Date	Précipitations (mm)					Neige au sol (cm)					Remarques
			B	M	E	S	V	B	M	E	S	V	
3500 (E)	1917*	01-08	137,7	102,9	-	-	-	-	-	-	-	-	Pluie maximale enregistrée
2140	1991*	10-04	-	86,0	77,4	60,4	-	-	15 25-3	48 25-3	50 24-3	(D)	Pluie très abondante en trois jours, fonte rapide du couvert épais à la fin de mars
1980	1987	01-04	-	16,0	19,0	22,6	-	-	67 20-3	66 1703	32 20-3	-	Couvert de neige très épais, fonte en 10 jours avec forte pluie la veille
1830	1926	04-05	15,2	36,1	-	-	-	-	-	-	-	-	Peu de données, fortes pluies en une semaine avant la crue (neige au sol?)
1680	1974	30-04	48,8	61,8	60,7	37,7	-	-	-	-	-	-	Fortes pluies pendant 3 jours avant la crue, pas de neige au sol
1650	1947*	07-05	77,5	75,2	-	-	-	-	-	-	-	-	Pluies pendant une semaine, pas de neige au sol
1640	1955	16-04	24,2	5,6	14,0	27,9	-	97 31-3	56 31-3	-	-	-	Couvert de neige très épais, fonte rapide à cause de pluies la veille
1640	1969	18-04	18,3	-	16,5	16,2	-	15 31-3	-	76 31-3	18	-	Fonte du couvert en 5 jours accélérée par la pluie
1640	1982*	19-04	10,4	50,2	11,0	14,2	-	-	35 9-4	40 8-4	25 7-4	-	Fonte rapide accélérée par la pluie, forte chute de neige mouillée la veille
1580	1942	27-04	17,5	20,3	-	-	-	-	-	-	-	-	Pluies abondantes pendant une semaine avant la crue
1420	1958	23-04	20,3	27,5	-	18,1	-	-	41	-	-	-	Fonte du couvert accélérée par de fortes pluies pendant trois jours

Tableau 7.8

Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière

Conditions météorologiques à l'origine des crues les plus importantes

Débit (m³/s)	Année	Date	Précipitations (mm)					Neige au sol (cm)					Remarques
			B	M	E	S	V	B	M	E	S	V	
1390	1979	26-03	5,9	-	1,8	0,0	-	-	-	-	-	-	Fonte du couvert en 5 jours avec pluie
1380	1986	01-04	-	10,8	5,2	15,6	-	-	11 26-3	36 15-3	37 19-3	-	Fonte du couvert en 5 jours avec pluie abondante la veille
1360	1972	05-05	35,2	42,4	21,0	31,2	-	-	-	38 30-4	0 30-4	-	Fortes pluies ont causé la fonte du couvert en 3 jours à la fin d'avril
1350	1922	19-06	78,8	81,8	-	-	-	-	-	-	-	-	Très fortes pluies pendant 3 jours
1330	1989	30-03	-	23,0	35,2	27,4	-	-	17 21-3	30 23-3	20 23-3	-	Pluies abondantes ont causé la fonte du couvert en 2 jours
1320	1981	25-09	123,0	82,6	93,0	99,6	-	-	-	-	-	-	Pluies abondantes chaque jour pen- dant une semaine, sol saturé d'eau
1320	1970	19-04	10,2	10,2	11,4	8,9	-	8 31-3	20 31-3	46 31-3	-	-	Fonte du couvert accompagnée de pluies de neige mouillée
1310	1975	21-04	10,2	10,4	10,7	10,3	-	23 31-3	41 31-3	-	86 31-3	-	Fonte du couvert accompagnée de pluies

* Inondations importantes indiquées dans «Imprévisible Chaudière», 1991

(E) = Débit estimé

(D) = Date de mesure de la hauteur de neige au sol la plus grande avant la crue

B = station météorologique de Beauceville

M = station météorologique de lac Mégantic

E = station météorologique de Saint-Ephrem

S = station météorologique de Scott Junction

- 4- la crue du 30 avril 1974 présente un débit de pointe du même ordre, soit environ 1630 m³/s que celle du 7 mai 1947. Il s'agit d'une crue d'une période de retour de 15 ans. Les relevés météorologiques indiquent qu'il n'y avait plus de neige au sol dans les deux cas. Les précipitations qui se sont produites en une semaine en 1947, soit 75 mm, totalisaient 15 mm (25%) de plus que celles qui se sont produites en 3 jours en 1974. Or, malgré des précipitations plus fortes, le débit de pointe en 1947 a été un peu plus faible qu'en 1974. Ceci peut refléter une amélioration des conditions de drainage résultant de certaines pratiques de développement notamment l'amélioration du réseau routier et le redressement de cours d'eau;
- 5- l'effet de l'abondance des pluies au printemps sur la sévérité de la crue est bien illustré par la comparaison des conditions météorologiques des crues printanières de 1955, 1969 et 1982 avec celle de 1991. Les données indiquent que la hauteur de neige au sol à la fin mars sur l'ensemble du bassin versant était du même ordre avant ces crues, soit environ de 40 à 50 cm. Ce couvert a fondu rapidement en quelques jours suite à des pluies. La hauteur cumulée de pluie a été dans l'ensemble trois fois moindre en 1955, 1969 et 1982 qu'en 1991 et le débit de pointe de crue 30% moins élevé;
- 6- la crue de 1917 est un record de tous les temps avec une hauteur de pluie cumulée en trois jours de 137,7 mm (5.4 pouces).

Donc, en résumé, des pluies totalisant 15 à 20 mm tombant en quelques jours sur un couvert de neige mûri de 25 à 30 cm d'épaisseur sont suffisantes pour créer une crue de plus de 1300 m³/s sur la rivière Chaudière au printemps. Des pluies de plus de 80 mm tombant en quelques jours pendant l'été sur l'ensemble du bassin peuvent aussi provoquer une crue de plus de 1300 m³/s.

7.6 Analyse du déficit d'écoulement

Le déficit moyen annuel d'écoulement (D) sur un bassin versant peut se définir de la façon suivante:

$$D = P - Q \quad (1)$$

P = module pluviométrique annuel

Q = écoulement ou drainage (somme du ruissellement et de l'écoulement de base)

Pour une période suffisamment longue, le déficit d'écoulement est à peu près égal à l'évapotranspiration d'un bassin, car les variations de rétention de l'eau sont alors négligeables par rapport aux autres termes du bilan hydrique.

L'analyse du déficit d'écoulement fournit donc une mesure de l'évapotranspiration globale sur le bassin. Elle permet donc de déterminer, s'il y a lieu, des changements au niveau du couvert végétal qui peuvent influencer le ruissellement et les crues se produisant l'été, au moment où cette composante du bilan hydrique est à son maximum. Selon le type de sol et le couvert végétal, le ruissellement est plus ou moins réduit au début d'une averse parce que l'apport initial sert à combler le déficit d'humidité du sol causé par l'évapotranspiration.

Ferland et Gagnon (1967) ont évalué le déficit annuel d'écoulement des bassins versant du Québec méridional. Le déficit d'écoulement a été calculé par ces deux auteurs, au moyen de la formule de Turc, pour les données météorologiques de la période 1930-1960:

$$D = \frac{P}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{1/2}} \quad (2)$$

dans laquelle:

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3 \quad (3)$$

- L = capacité d'évaporation de l'air
- D = déficit annuel moyen d'écoulement en millimètre de hauteur
- T = température moyenne annuelle sous-abri en degrés Celsius
- P = précipitation moyenne annuelle en millimètre de hauteur

La figure 7.31, tirée de Ferland et Gagnon (1967), montre les valeurs du déficit annuel d'écoulement obtenues pour le Québec méridional. Une valeur moyenne de 368 mm (14,5 pouces) a été calculé pour le bassin de la Chaudière.

Nous avons effectué des calculs semblables pour la période 1964-1991, en analysant les données pour quatre sous-périodes, soit deux où les précipitations étaient élevées (1971-76 et 1988-91) et deux où les précipitations étaient faibles (1964-70 et 1977-80).

Par la suite, nous avons calculé le déficit d'écoulement au moyen de l'équation 1.

Pour ces calculs, nous avons déterminé le volume d'eau écoulé en faisant la somme des débits journaliers mesurés à la station de Saint-Lambert (023402) au cours de chacune des sous-périodes. Cette somme a été convertie en hauteur d'eau sur le bassin versant, en divisant le volume d'eau par la superficie du bassin versant. Pour chaque sous-période, la pluviométrie a été calculée en pondérant les valeurs des précipitations mesurées aux stations climatiques, par leur superficie d'influence déterminée au moyen de la méthode des polygones de Thiessen. Le tableau 7.9 indique les stations climatiques utilisées et leur poids respectif dans les calculs de la pluviométrie sur le bassin versant.

Le tableau 7.10 présente les valeurs théoriques du déficit annuel d'écoulement (D) calculées au moyen des équations 2 et 3 et celles déterminées grâce aux relevés de précipitations et de débits (équation 1). Les valeurs calculées de P et Q ont été ajustées pour la superficie du bassin versant à Scott Jonction, soit 5737 km².

Tableau 7.9 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Stations climatiques utilisées et leur poids respectif dans l'évaluation de la pluviométrie sur le bassin		
Station #	Endroit	Poids (%)
7840	Scott Jonction	3,26
8676	Vallée Jonction	8,54
0560	Beauceville	13,12
6930	Saint-Camille *	3,24
7083	Saint-Côme	15,22
7750	Saint-Théophile	16,72
3677	Lac Mégantic	26,40
7200	Saint-Éphrem	11,13
8441	Thetford Mines *	2,37

* Station hors du bassin

Tableau 7.10**Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière****Déficit d'écoulement annuel calculé et mesuré
pour la période 1964-1991**

Sous-période	Hauteur précipitation moyenne annuelle (mm)	Température moyenne annuelle (°C)	Hauteur déficit calculé (mm)	Hauteur ruissellement et écoulement mesuré (mm)	Hauteur déficit mesuré (mm)
1964-70	916,10	4,09	374,0	572,8	343,30
1971-76	1 112,38	4,25	387,18	788,2	324,20
1977-80	917,0	4,24	377,3	614,7	302,3
1988-91	1 077,77	4,325	387,46	643,43	434,34
Moyenne	1 005,8	4,23	381,5	654,8	351,0

Sur le tableau 7.10 on peut voir que la valeur moyenne du déficit annuel d'écoulement de 381,5 mm, calculée par la méthode de Turc, est 10% plus élevée que celle calculée à partir des données de débits et de précipitations, ce qui est à l'intérieur de l'écart habituel de cette méthode et légèrement supérieur à la valeur de 368 mm calculée par Ferland et Gagnon pour la période 1931-1960.

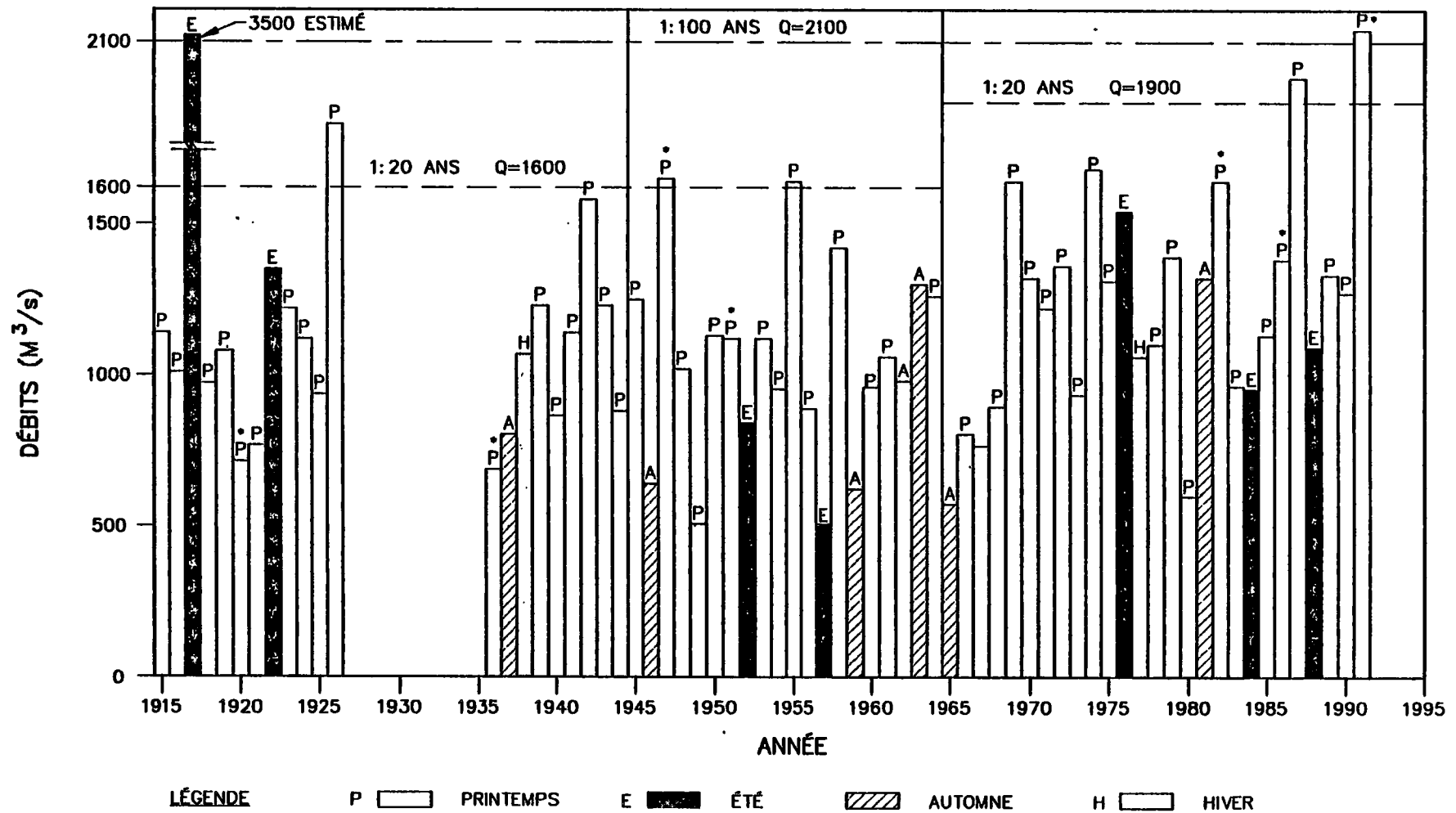
Comme le déficit d'écoulement (D) calculé par les équations 2 et 3 dépend des valeurs de précipitation et de températures utilisées, nous avons refait les calculs de Ferland et Gagnon en prenant comme valeur inconnue la température moyenne annuelle et comme valeurs connues, le déficit de 368 mm et la précipitation moyenne annuelle sur la période 1930-1960 qui est de 1016 mm (40 pouces). La température obtenue de 3,6°C est semblable à celles lues sur les figures 7.25 et 7.26 pour les stations de Beauceville et de lac Mégantic, pour lesquelles ces données sont disponibles au cours de cette même période.

Nous pouvons donc déduire de cette analyse que l'augmentation du déficit d'écoulement au cours des trente dernières années (1960-1990), par rapport à la période des trente années précédentes (1930-1960), est entièrement explicable par une augmentation de la température moyenne annuelle, ce qui implique que les superficies recouvertes de végétation n'ont pas variées significativement au point de modifier le bilan en eau du bassin.

Cette conclusion est corroborée par l'analyse de l'utilisation des sols qui démontre que les superficies recouvertes de végétation ont varié très peu de 1925 à 1989. En effet, même s'il y a eu une baisse marquée des superficies cultivées, les superficies abandonnées pour l'agriculture au cours de la période sont retournées en friches herbacées ou forestières, donc en surfaces recouvertes de végétation. Une superficie de 150 km² correspondant à 2,5% de la superficie totale du bassin est devenue urbanisée. Si on considère que les zones urbanisées de la région sont de faible densité, les surfaces urbaines réellement non recouvertes de végétation ont probablement augmenté de moins de 1%, ce qui est très faible.

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

DÉBITS MAXIMUM ANNUELS À LA STATION 023402 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À ST-LAMBERT



NOTE: * INONDATIONS IMPORTANTES (RÉF. IMPRÉVISIBLE CHAUDIÈRE, 1991)
DÉBIT DE 1917 SELON PERRIER (RÉF. HISTORIQUE DES INONDATIONS AU QUÉBEC, 1978)

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

DÉBITS JOURNALIERS CLASSES STATION 023402 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À ST-LAMBERT

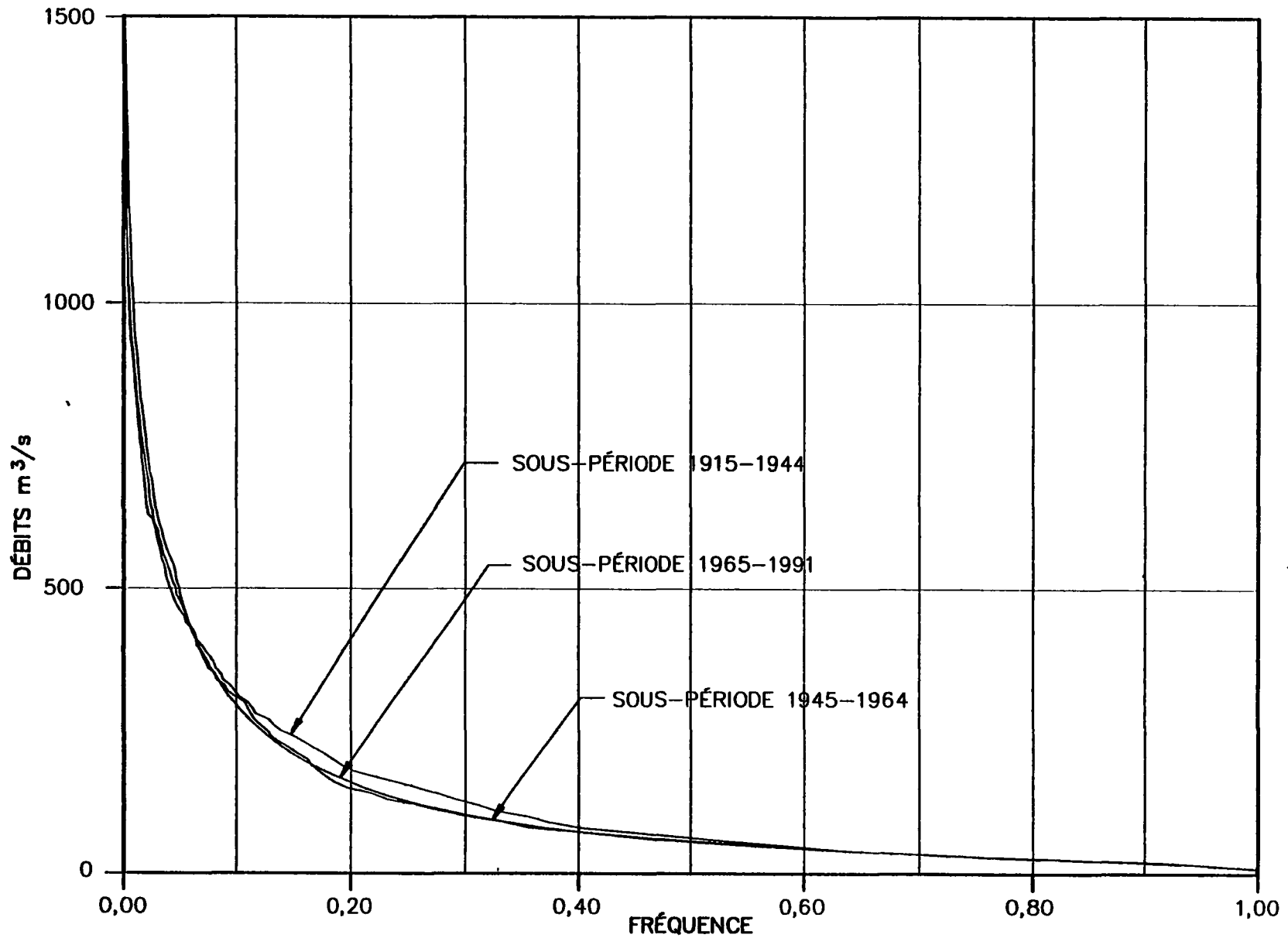


FIGURE 7.2

RIVIÈRE CHAUDIERE - STATION St.-LAMBERT
 ANALYSE STATISTIQUE - PÉRIODES 1915-44
 1945-64, 1965-91 - DISTRIBUTION GUMBEL
 ET PEARSON III - MAXIMUM ANNUELS

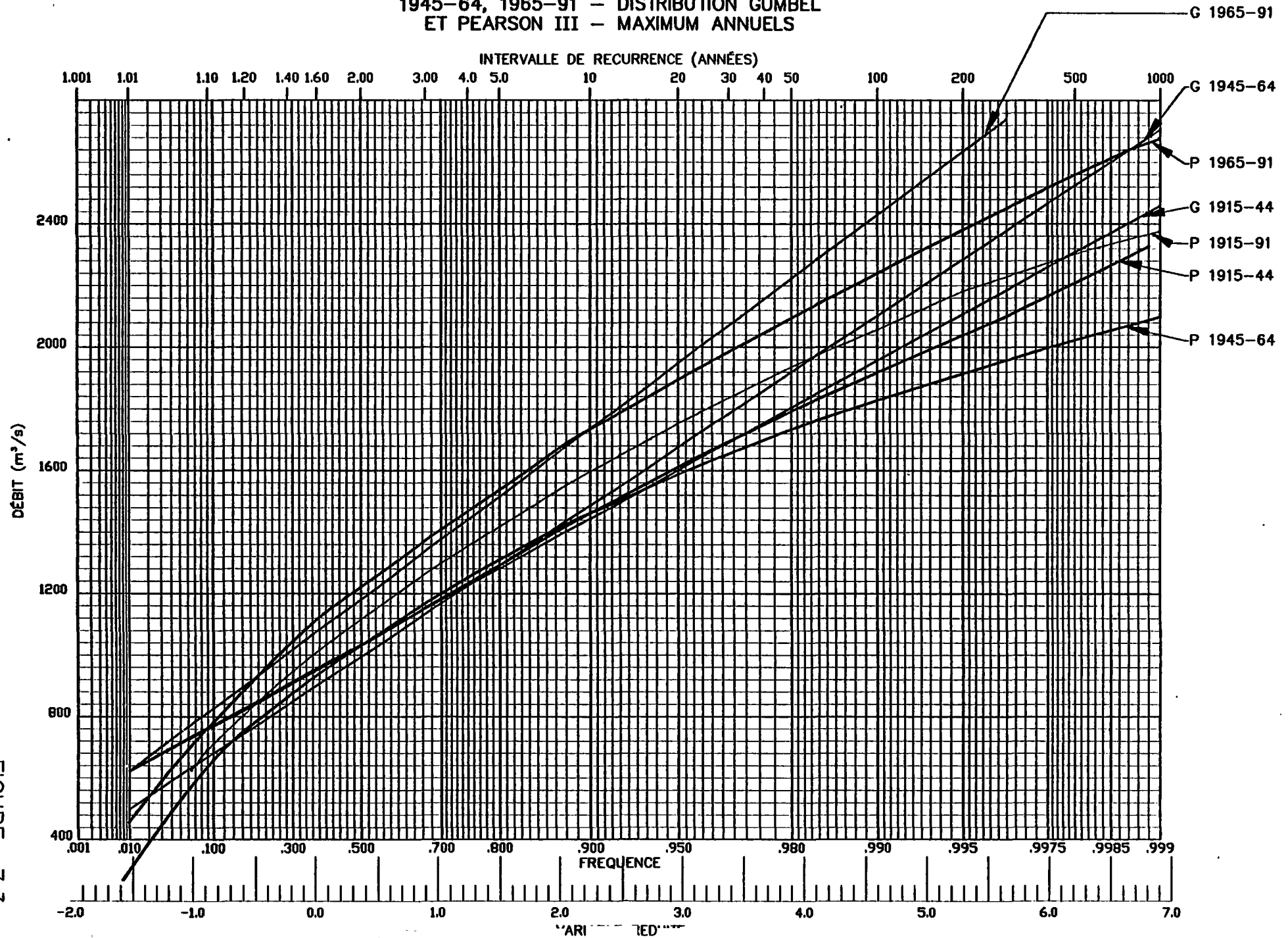


FIGURE 7.3

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
DÉBITS JOURNALIERS CLASSES STATION 023403 – RIVIÈRE CHAUDIÈRE À DROLET

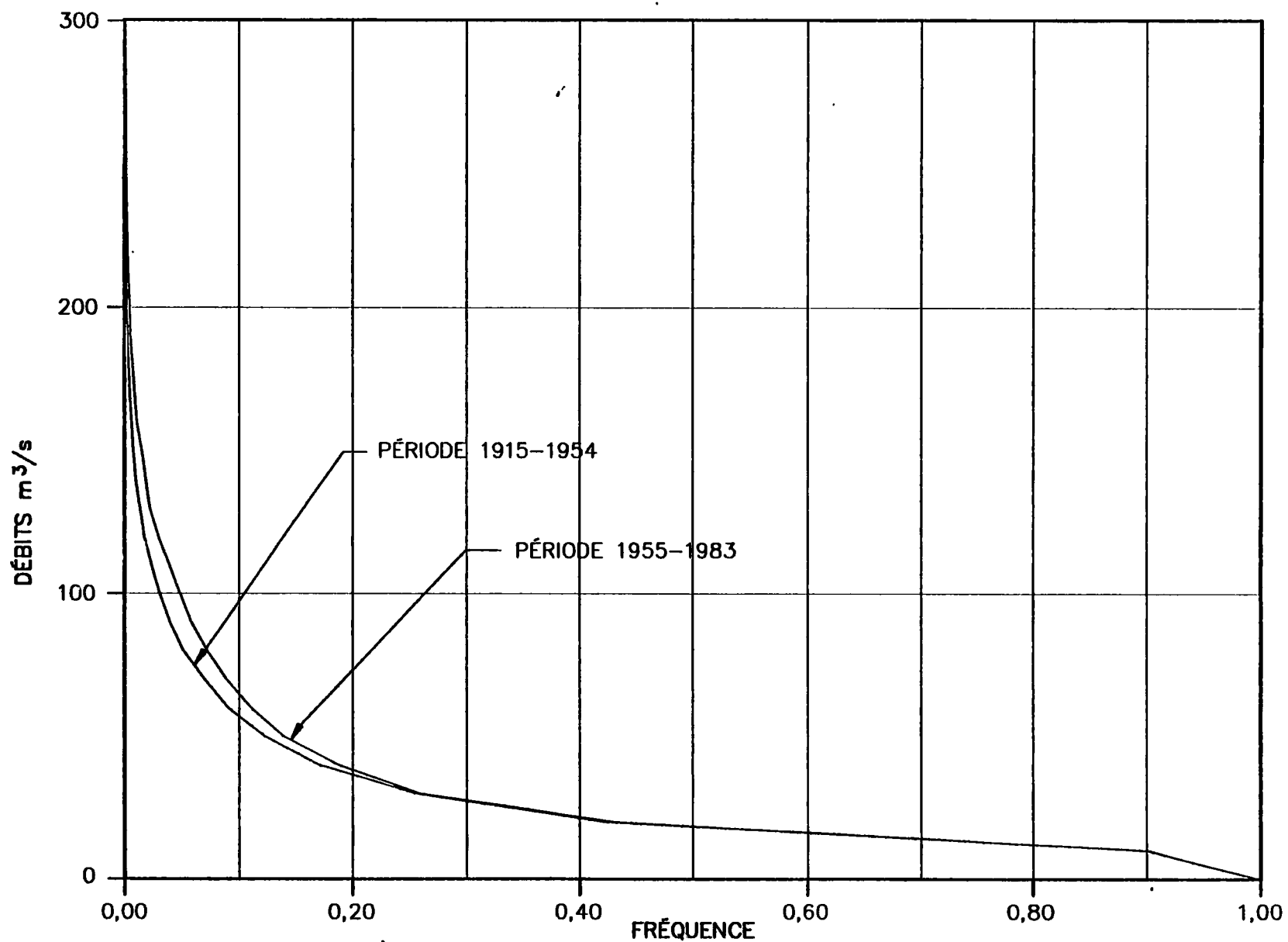


FIGURE 7.4

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
DISTRIBUTION DES DÉBITS MAXIMUM ANNUELS PAR LA LOI DE PEARSON III
STATION 023403 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À DROLET
PÉRIODE 1915 - 1983

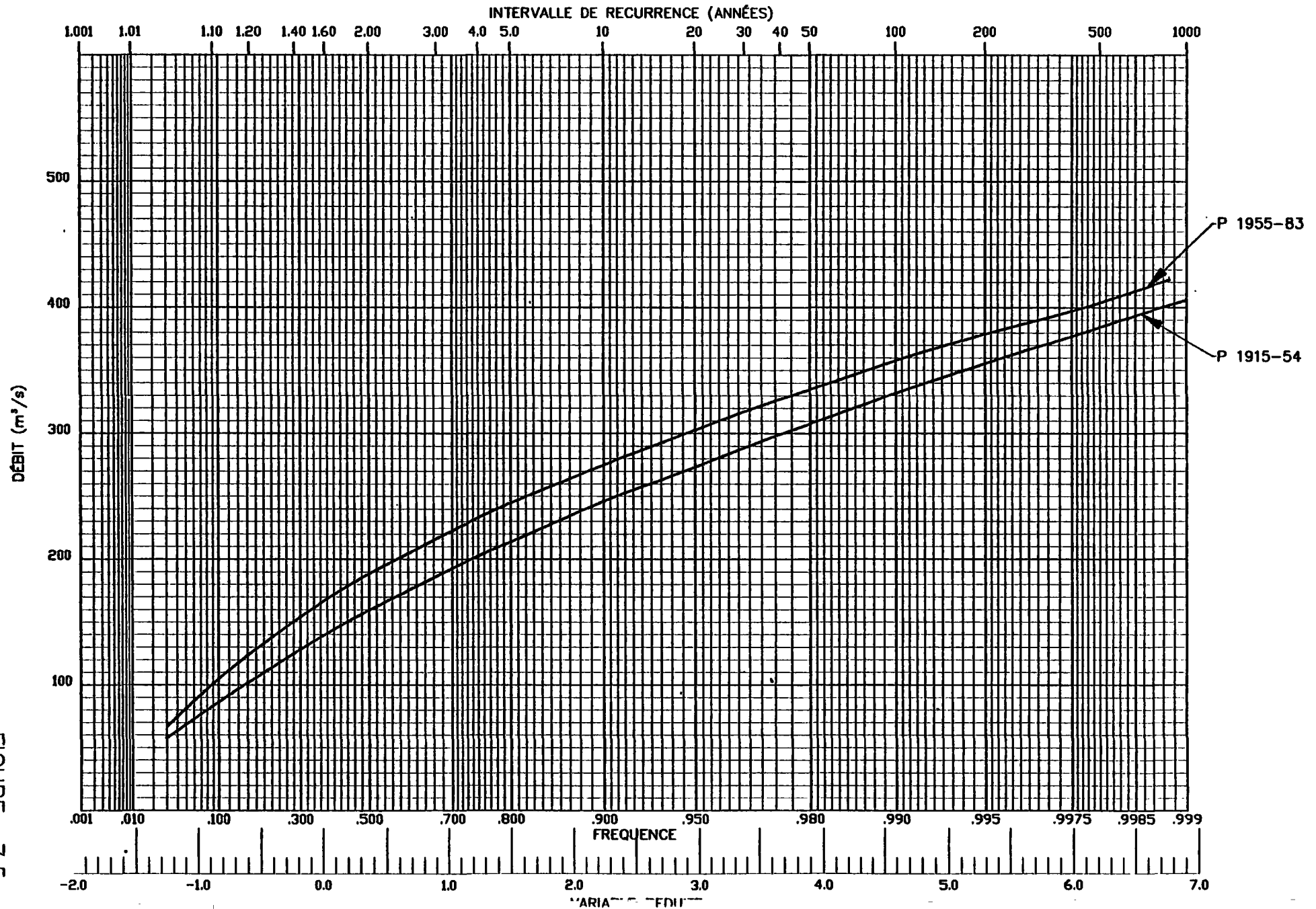


FIGURE 7.5

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

NIVEAUX MAXIMUM ANNUELS À LA STATION 023406 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À SCOTT JONCTION

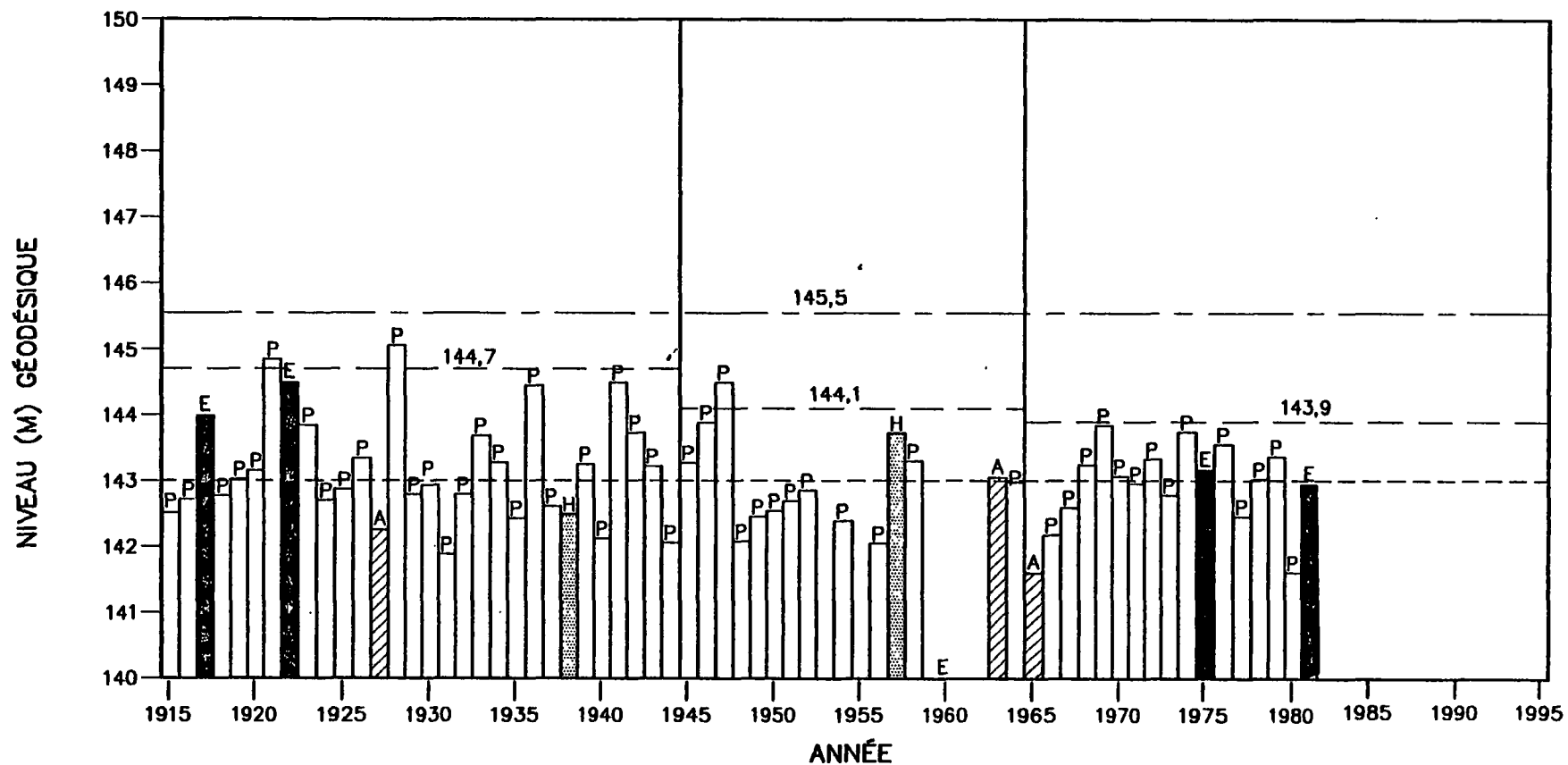
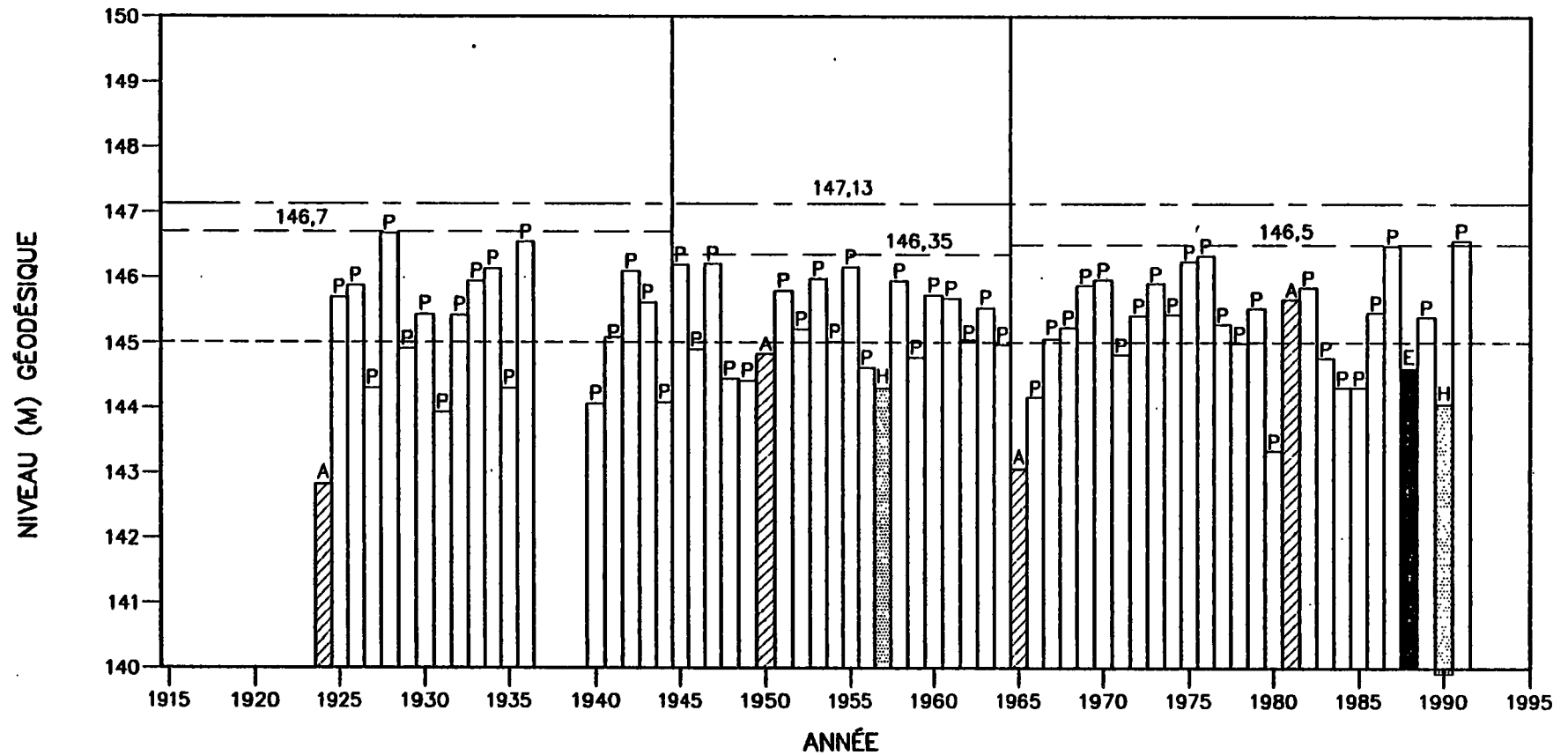


FIGURE 7.6

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

NIVEAUX MAXIMUM ANNUELS À LA STATION 023407 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À STE-MARIE



LÉGENDE

P

PRINTEMPS

E

ÉTÉ

A

AUTOMNE

H

HIVER

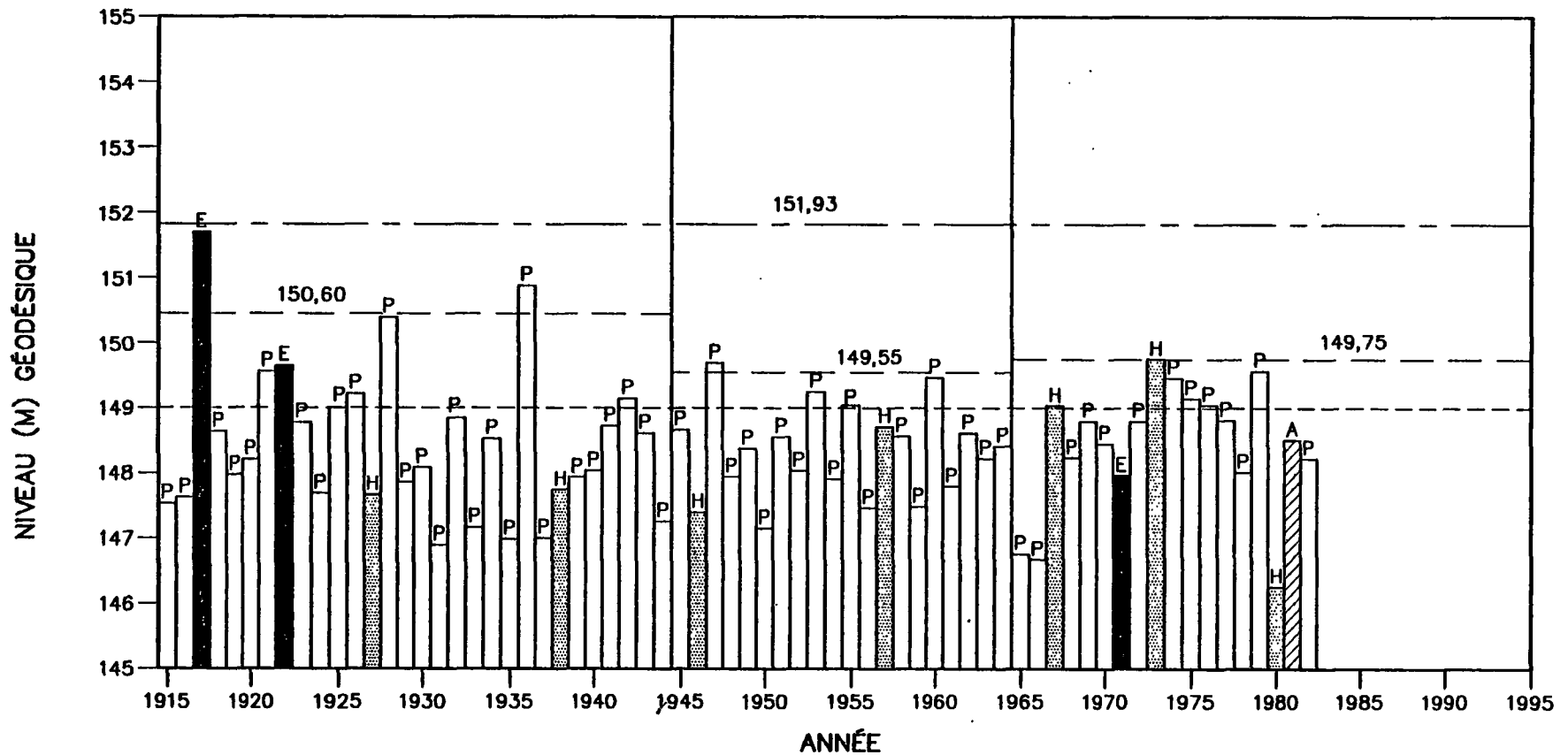
1:20 ANS

1:100 ANS

SEUIL D'INONDATION

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

NIVEAUX MAXIMUM ANNUELS À LA STATION 023408 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À ST-JOSEPH



LÉGENDE

P

PRINTEMPS

E

ÉTÉ

A

AUTOMNE

H

HIVER

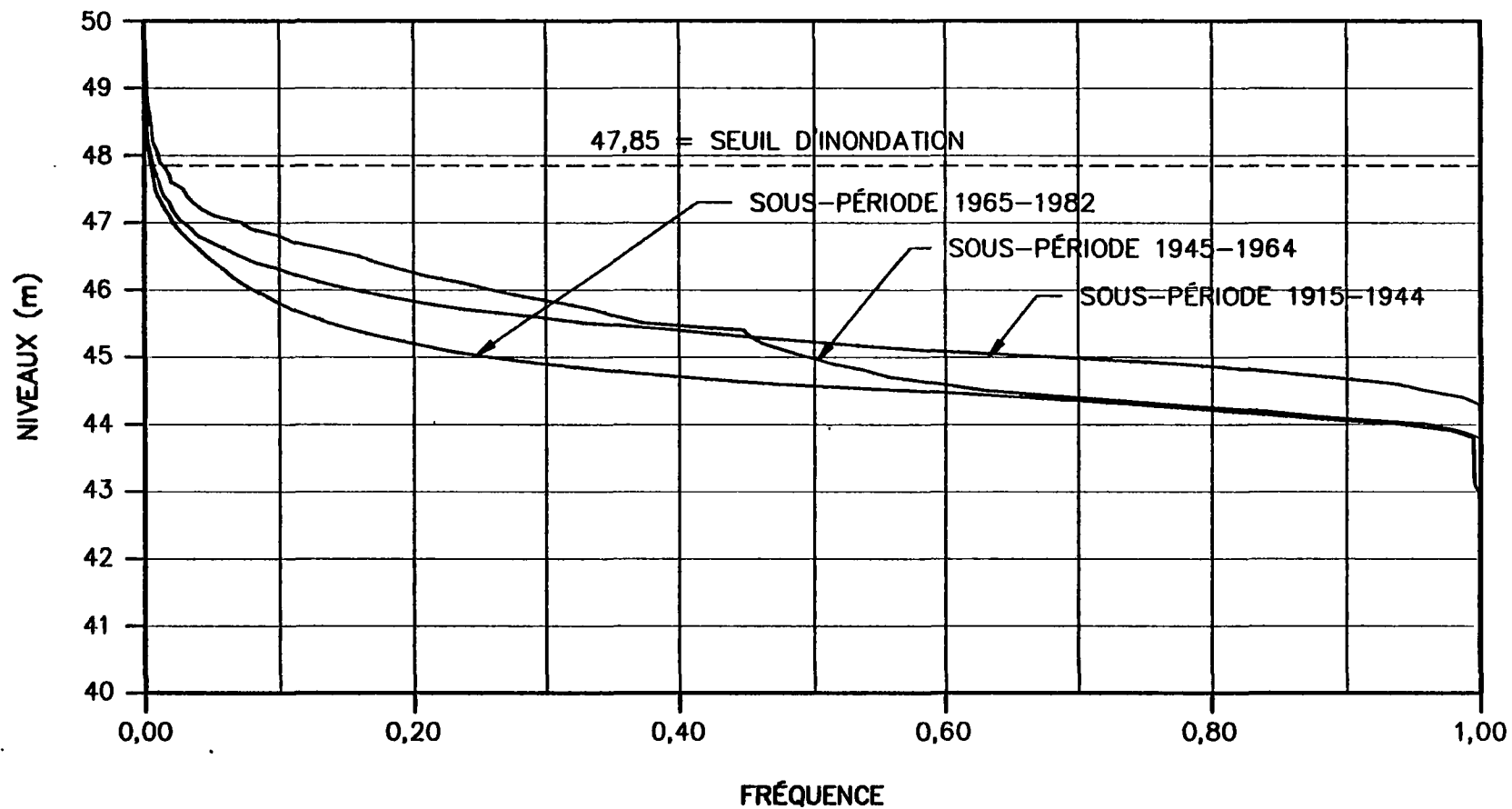
— — — 1:20 ANS

— — — 1:100 ANS

— — — SEUIL D'INONDATION

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

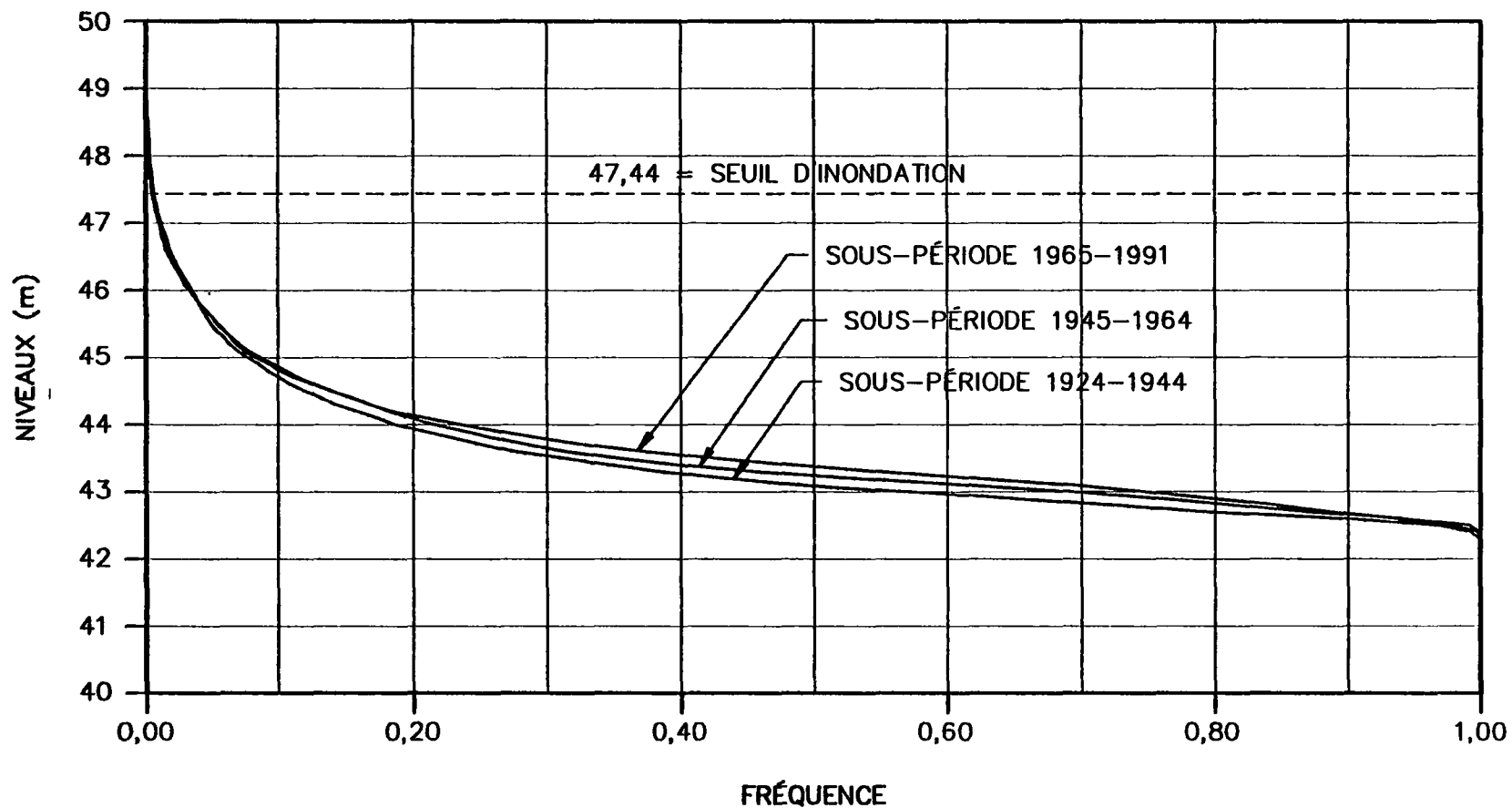
NIVEAUX JOURNALIERS CLASSES STATION 023406 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À SCOTT-JONCTION



NOTES:

1- IL FAUT AJOUTER 95,152 POUR AVOIR LES NIVEAUX GÉODÉSIQUES

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
NIVEAUX JOURNALIERS CLASSES STATION 023407 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À STE-MARIE

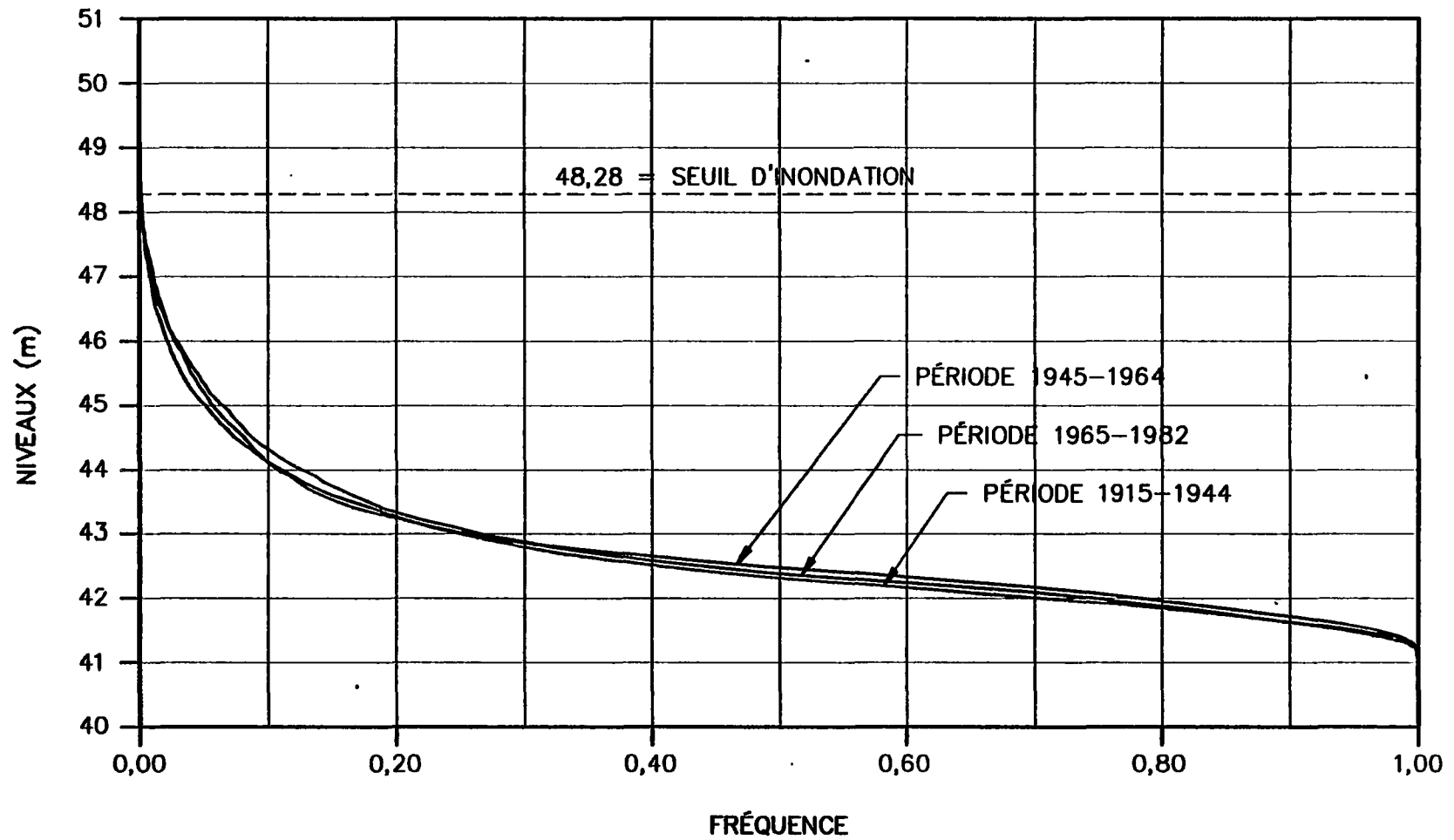


NOTES:

1- IL FAUT AJOUTER 97,560 POUR AVOIR LES NIVEAUX GÉODÉSQUES

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

NIVEAUX JOURNALIERS CLASSES STATION 023408 – RIVIÈRE CHAUDIÈRE À SAINT-JOSEPH



NOTES:

1- IL FAUT AJOUTER 100,718 POUR AVOIR LES NIVEAUX GÉODÉSIQUES

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
DISTRIBUTION DES NIVEAUX MAXIMUM ANNUELS PAR LA LOI DE PEARSON III
STATION 023406 - RIVIÈRE CHAUDIÈRE À SCOTT JONCTION
PÉRIODE 1915 - 1983

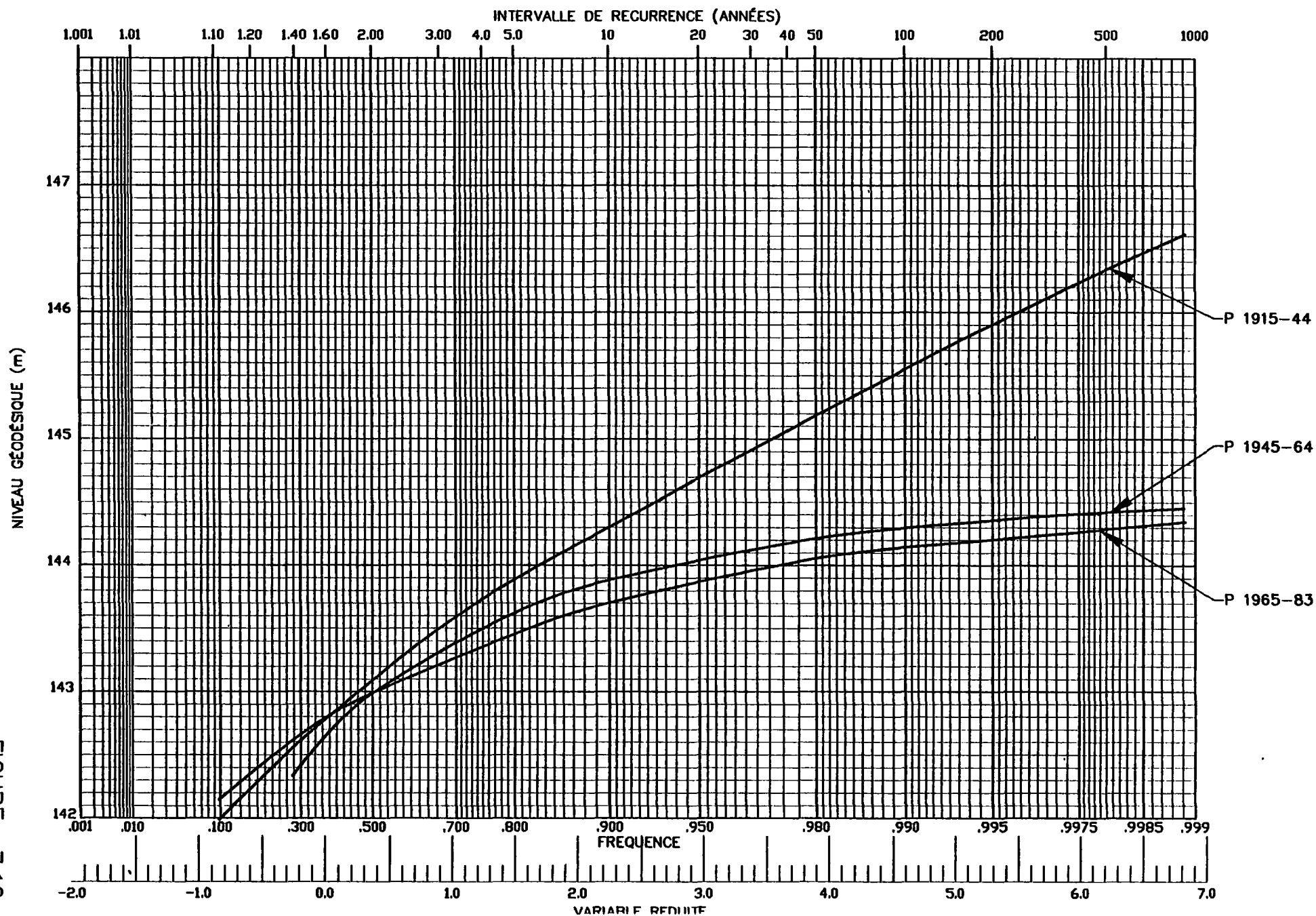


FIGURE 7.12

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
DISTRIBUTION DES NIVEAUX MAXIMUM ANNUELS PAR LA LOI PEARSON III
STATION 023407 – RIVIÈRE CHAUDIÈRE À Ste.-MARIE
PÉRIODE 1924 – 1991

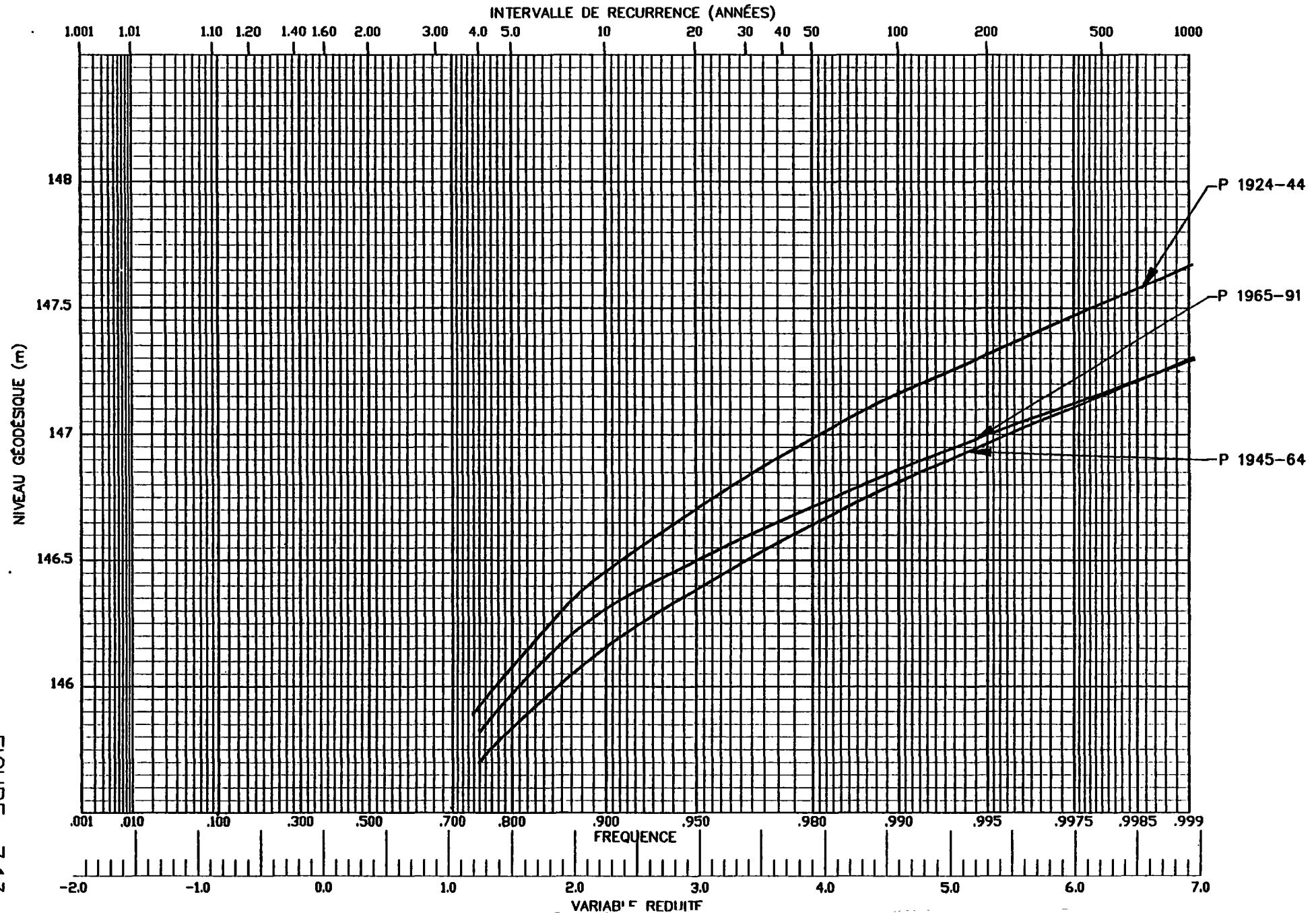


FIGURE 7.13

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
DISTRIBUTION DES NIVEAUX MAXIMUM ANNUELS
STATION 023408 – RIVIÈRE CHAUDIÈRE À St.-JOSEPH
PÉRIODE 1915 – 1983

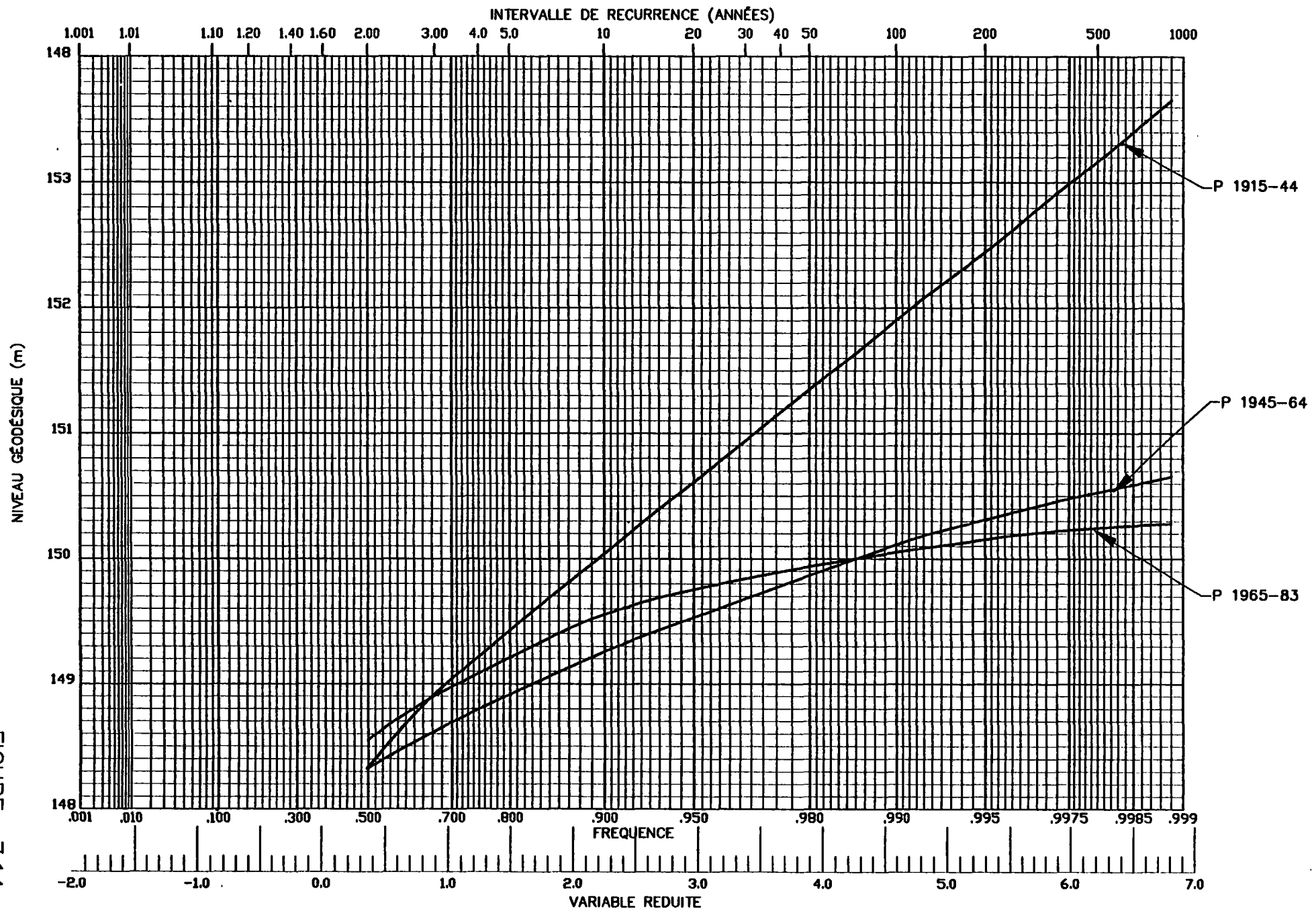


FIGURE 7.14

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE PRÉCIPITATIONS TOTALES ANNUELLES

MOYENNE MOBILE - STATION 0560 BEAUCEVILLE

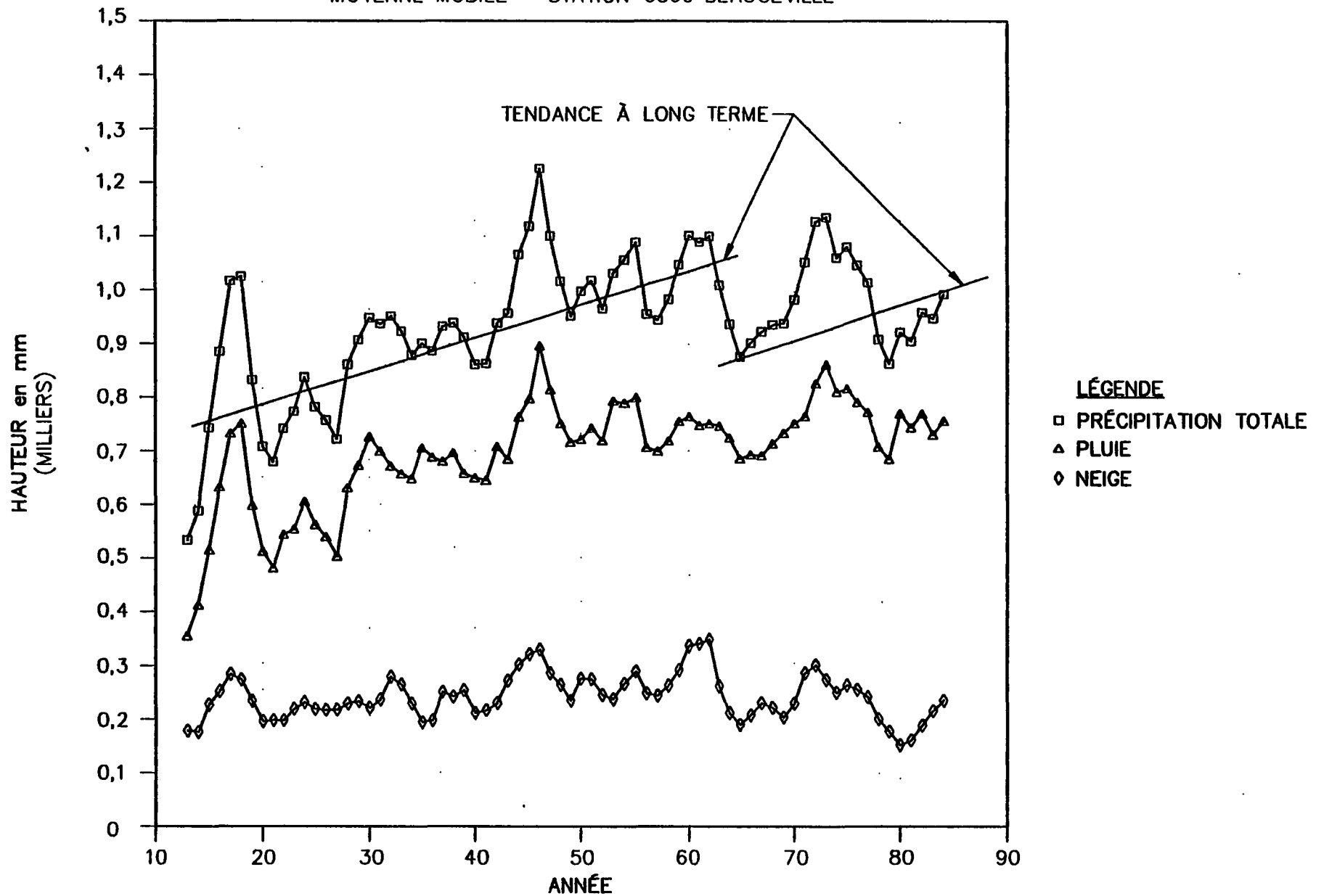


FIGURE 7.15

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE PRÉCIPITATIONS TOTALES ANNUELLES

MOYENNE MOBILE - STATION 3677 LAC MÉGANTIC

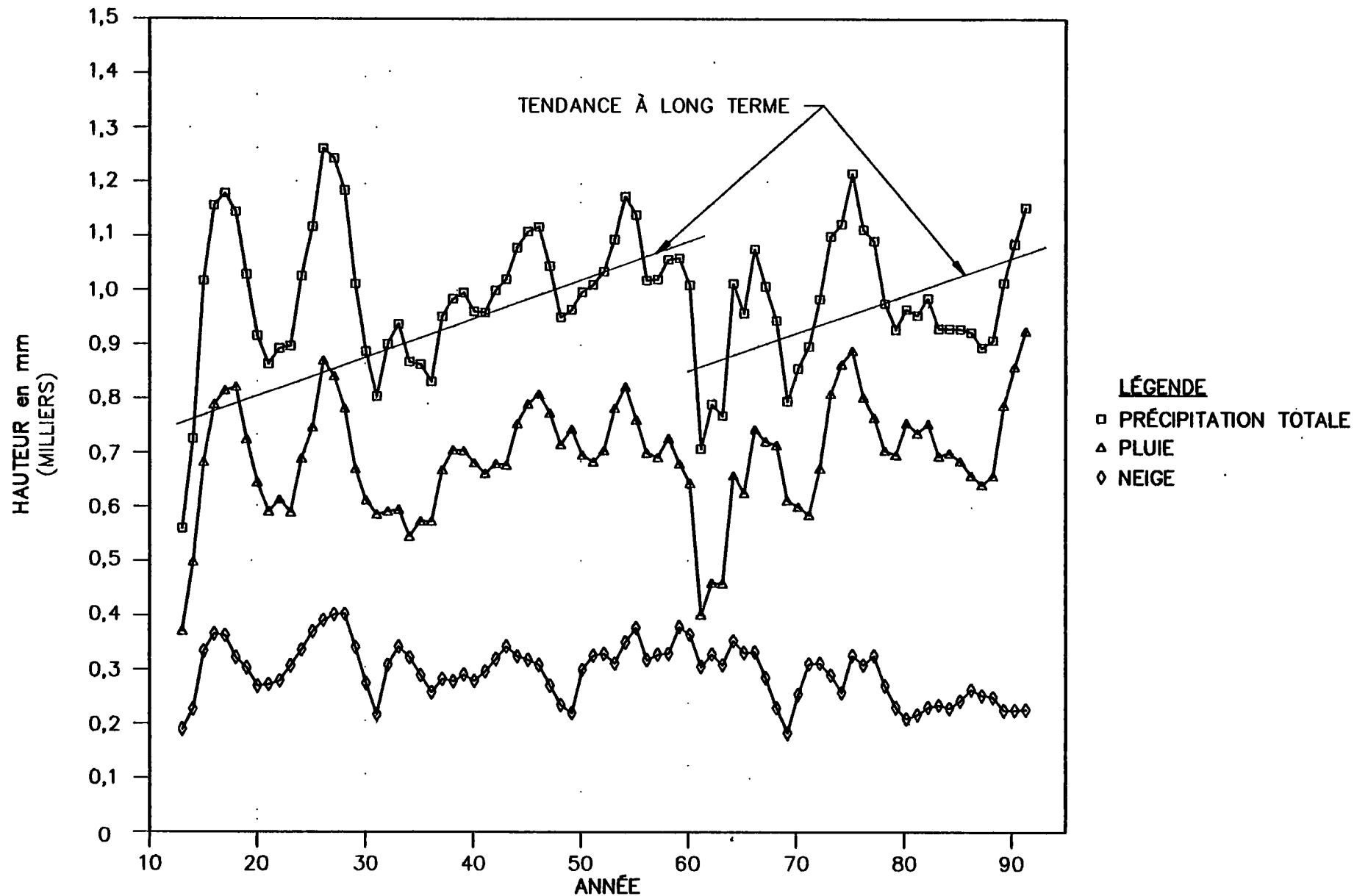


FIGURE 7.16

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
PRÉCIPITATIONS TOTALES ANNUELLES

MOYENNE MOBILE - STATION 8676 VALLÉE JONCTION

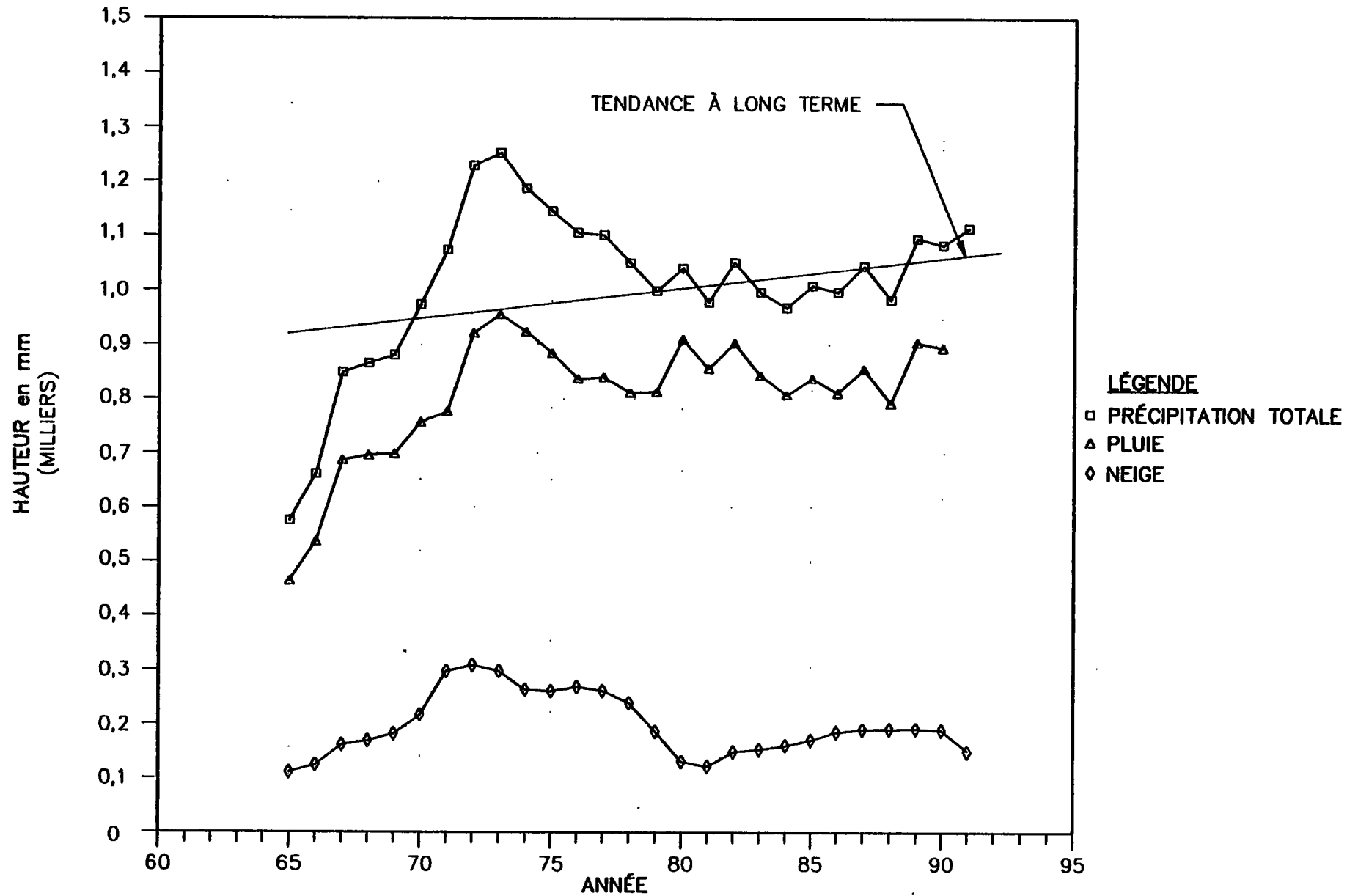


FIGURE 7.17

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

PRÉCIPITATIONS TOTALES ANNUELLES

MOYENNE MOBILE – STATION 7840 SCOTT JONCTION

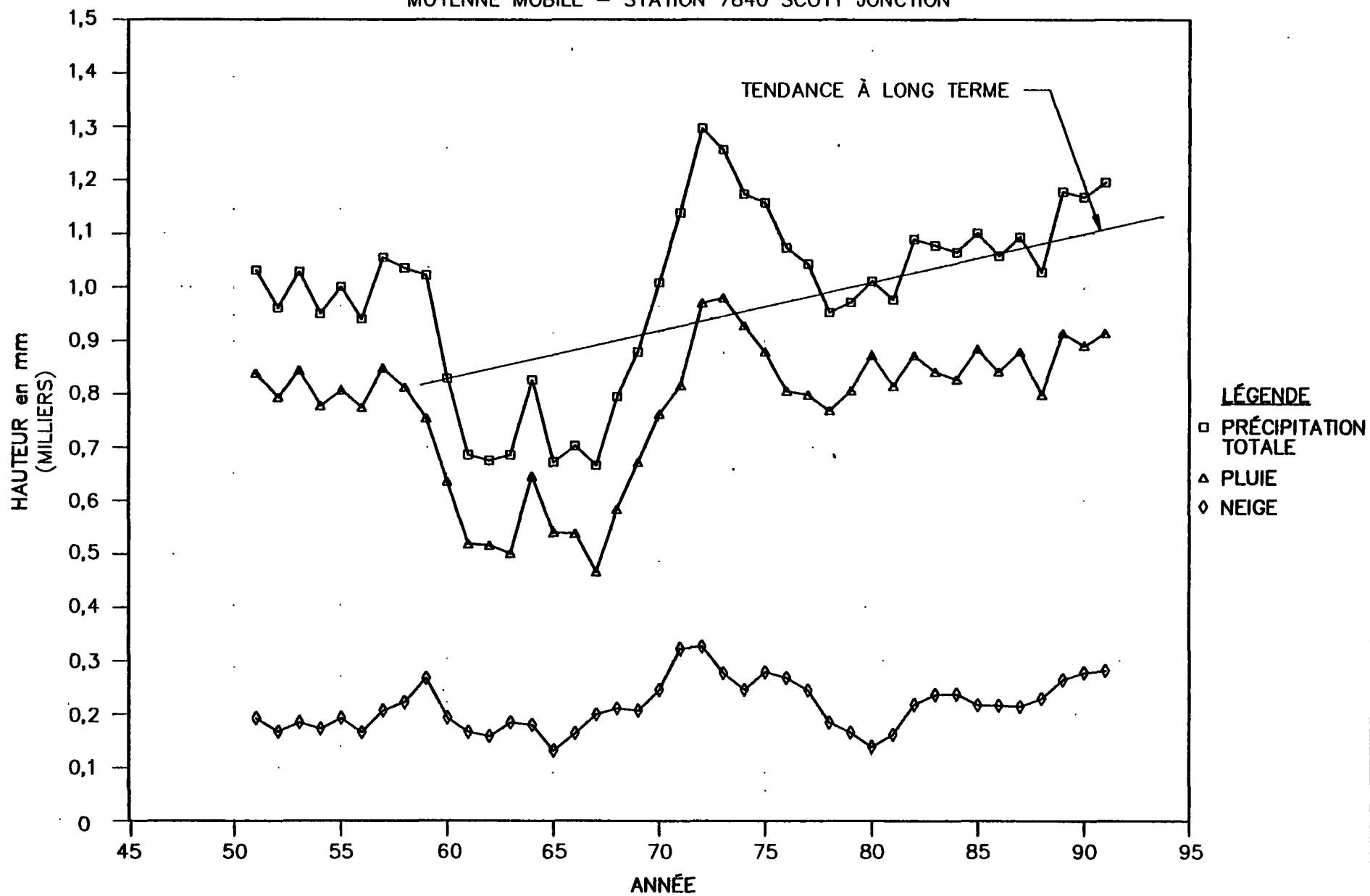


FIGURE 7.18

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE PRÉCIPITATIONS TOTALES ANNUELLES

MOYENNE MOBILE – STATION 7200 ST-EPHREM

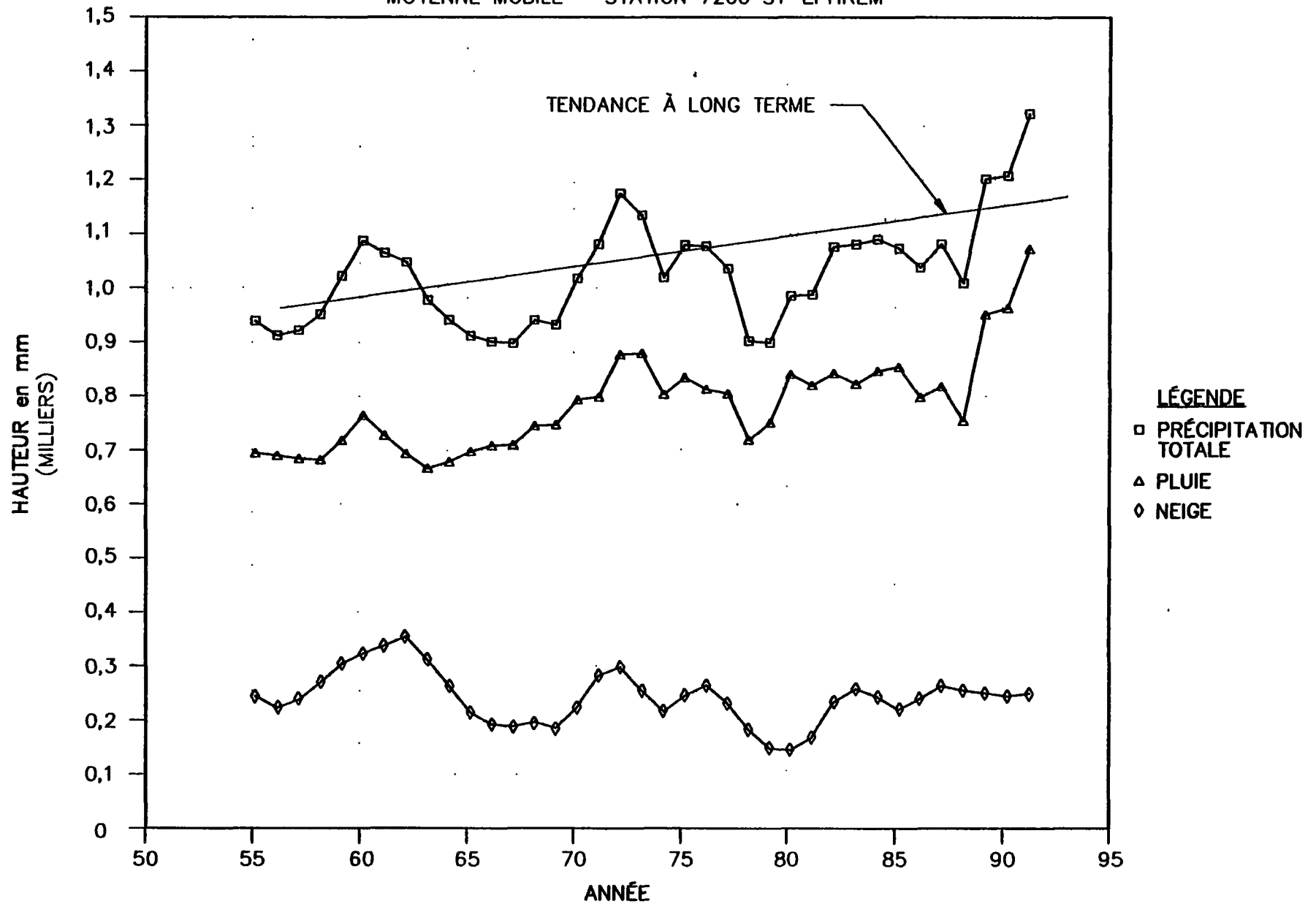


FIGURE 7.19

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIERE CHAUDIERE
PRÉCIPITATIONS CUMULÉES
DU 15/03 AU 15/04-STATION 0560 BEAUCEVILLE

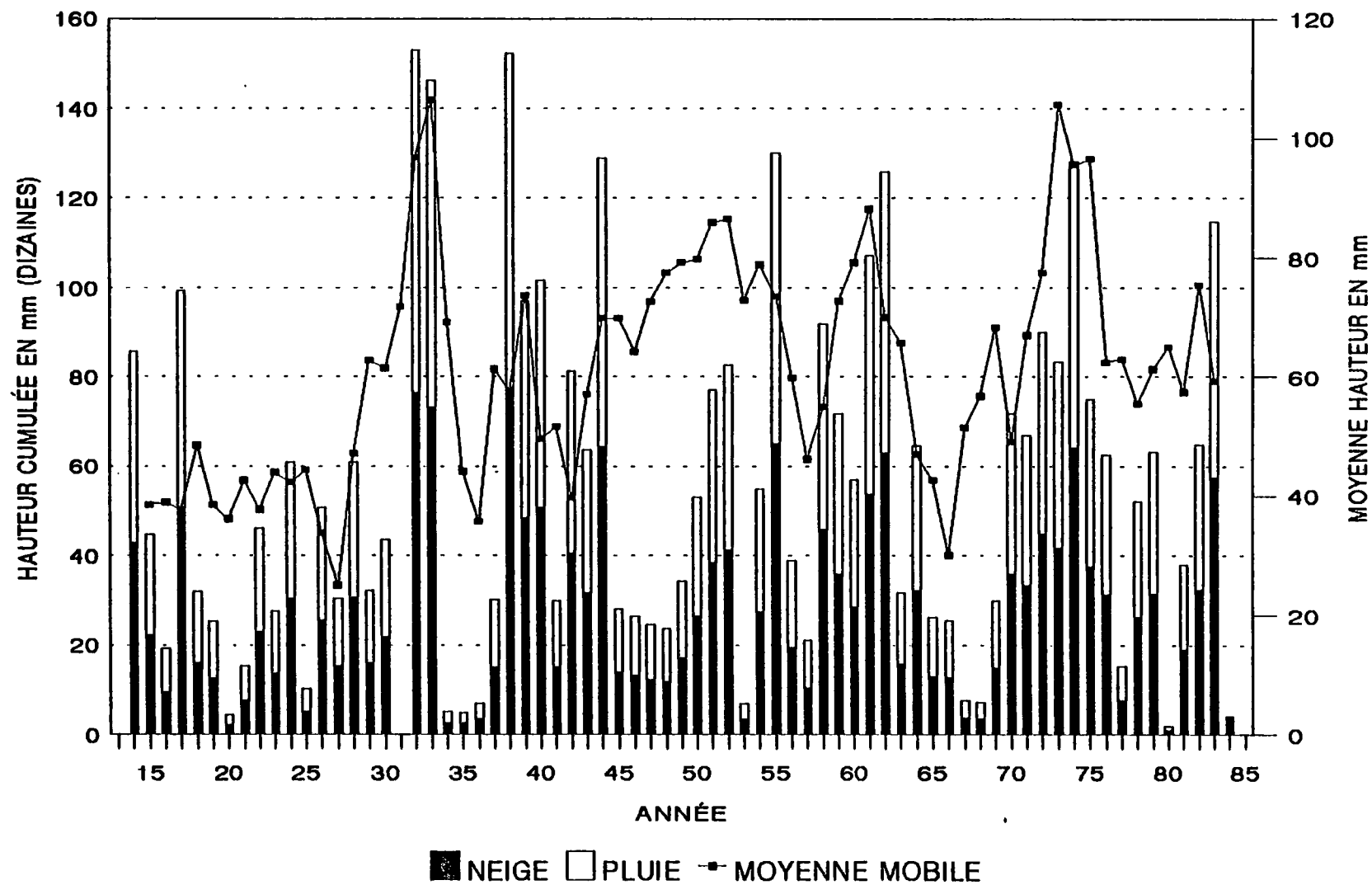


FIGURE 7.20

ÉTUDE DE LA MODÉLISATION DE LA RIVIERE CHAUDIERE
PRÉCIPITATIONS CUMULÉES
DU 15/03 AU 15/04-STATION 3677 LAC MÉGANTIC

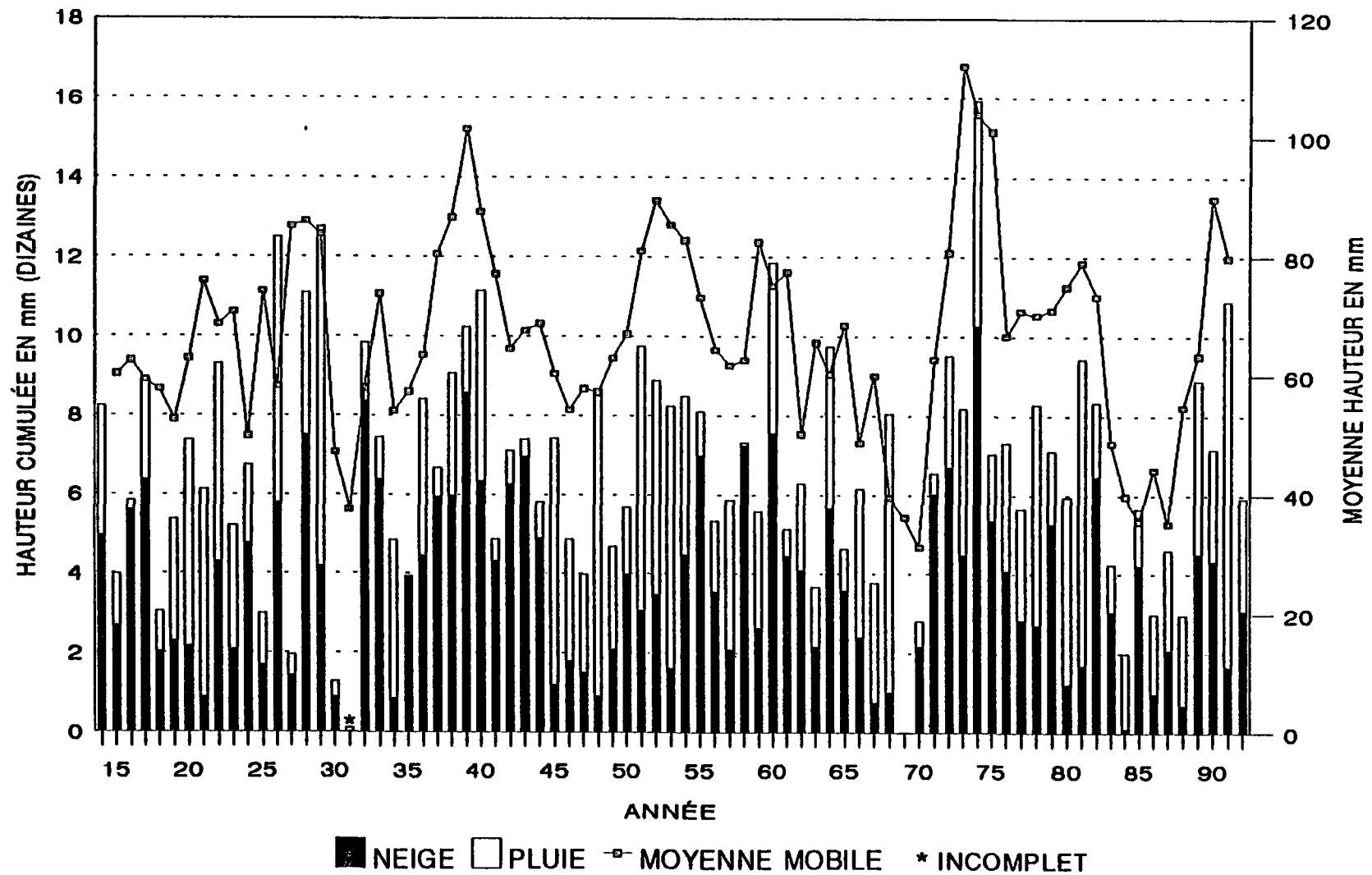


FIGURE 7.21

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIERE CHAUDIERE
PRÉCIPITATIONS CUMULÉES
DU 15/03 AU 15/04-STATION 7840 SCOTT JONCTION

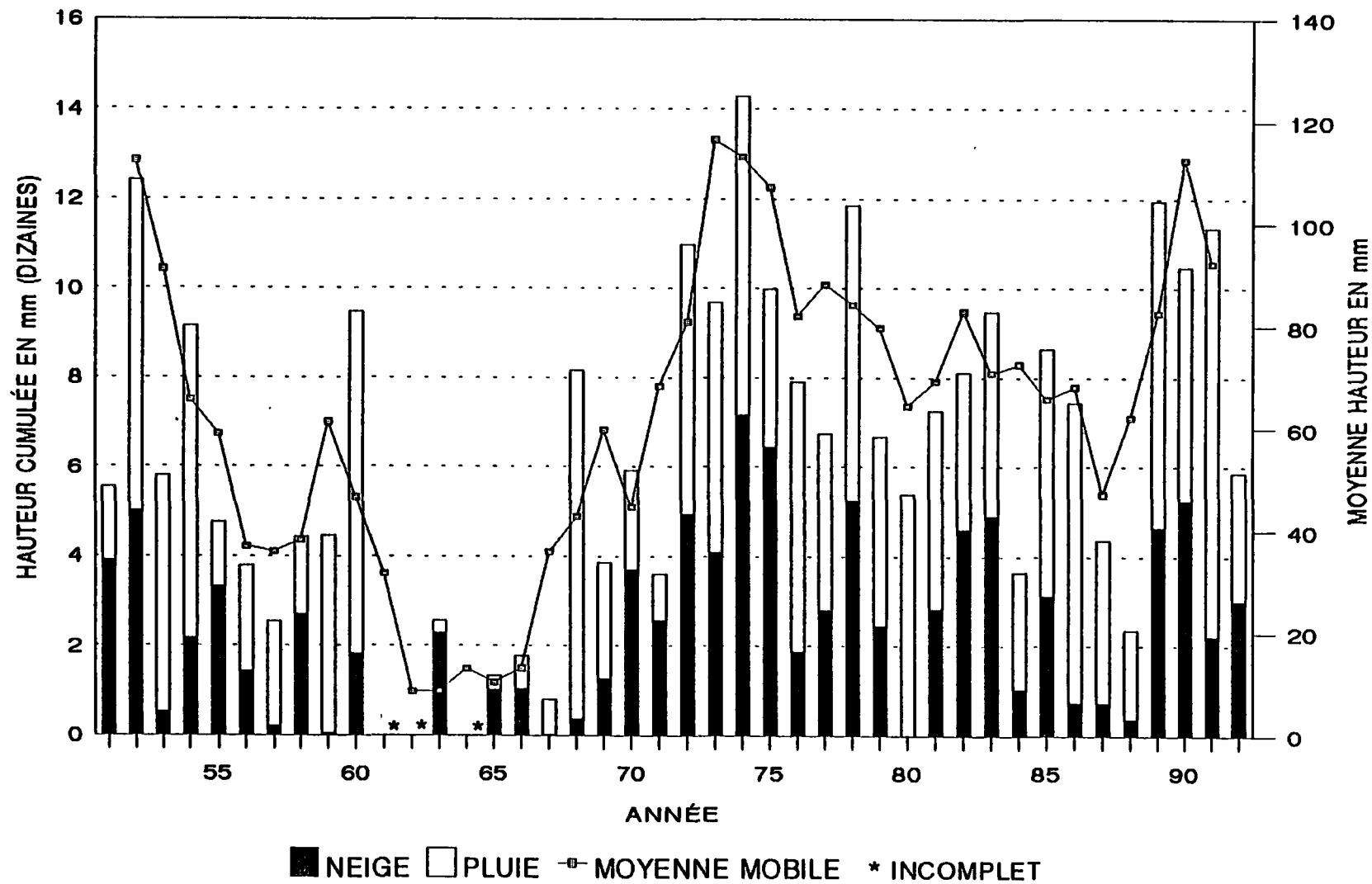


FIGURE 7.22

ÉTUDE DE LA MODÉLISATION DE LA RIVIERE CHAUDIERE
PRÉCIPITATIONS CUMULÉES
DU 15/03 AU 15/04-STATION 8676 Vallée Jonction

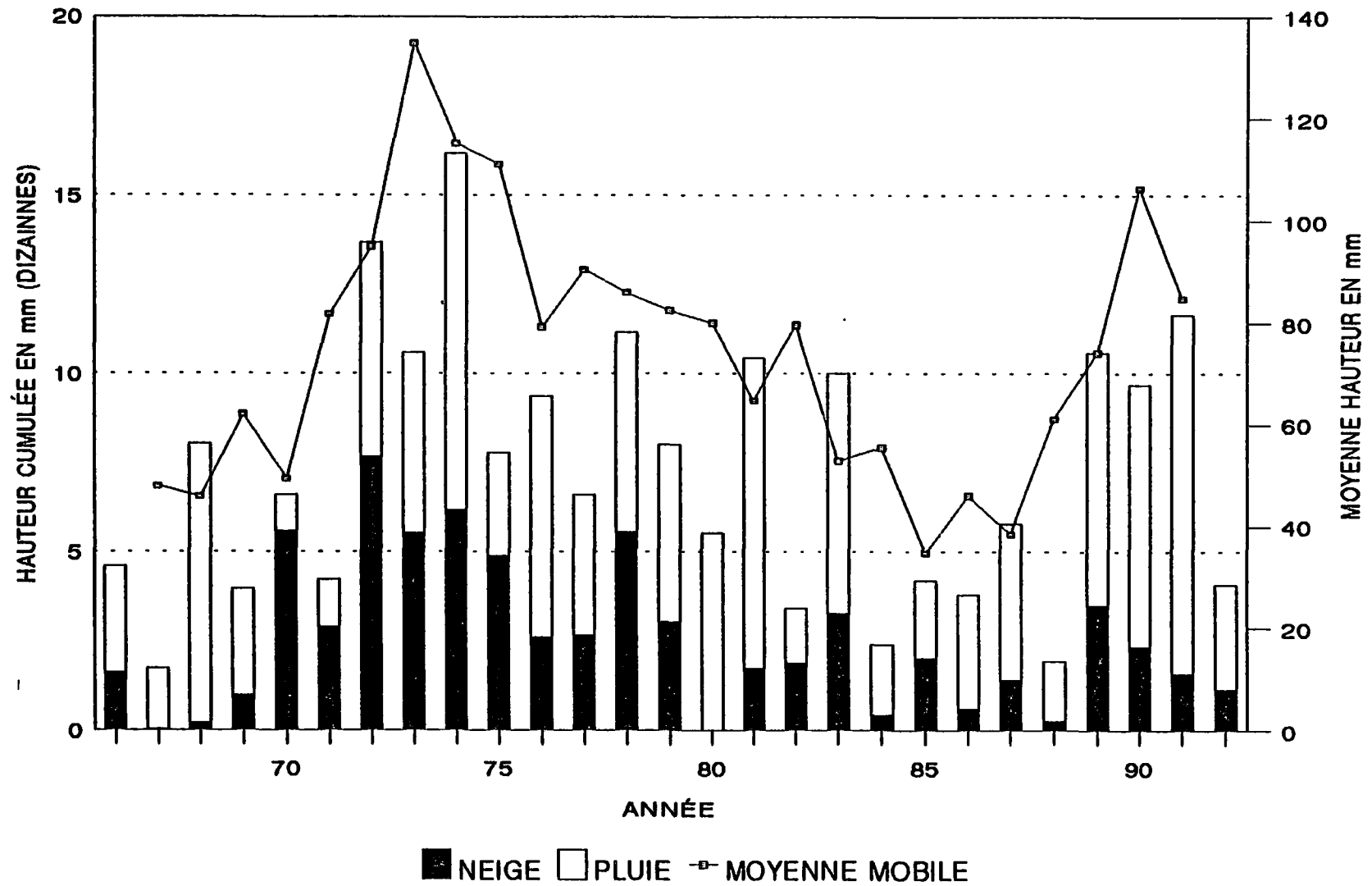


FIGURE 7.23

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIERE CHAUDIERE
PRÉCIPITATIONS CUMULÉES
DU 15/03 AU 15/04-STATION 7200 ST-EPHREM

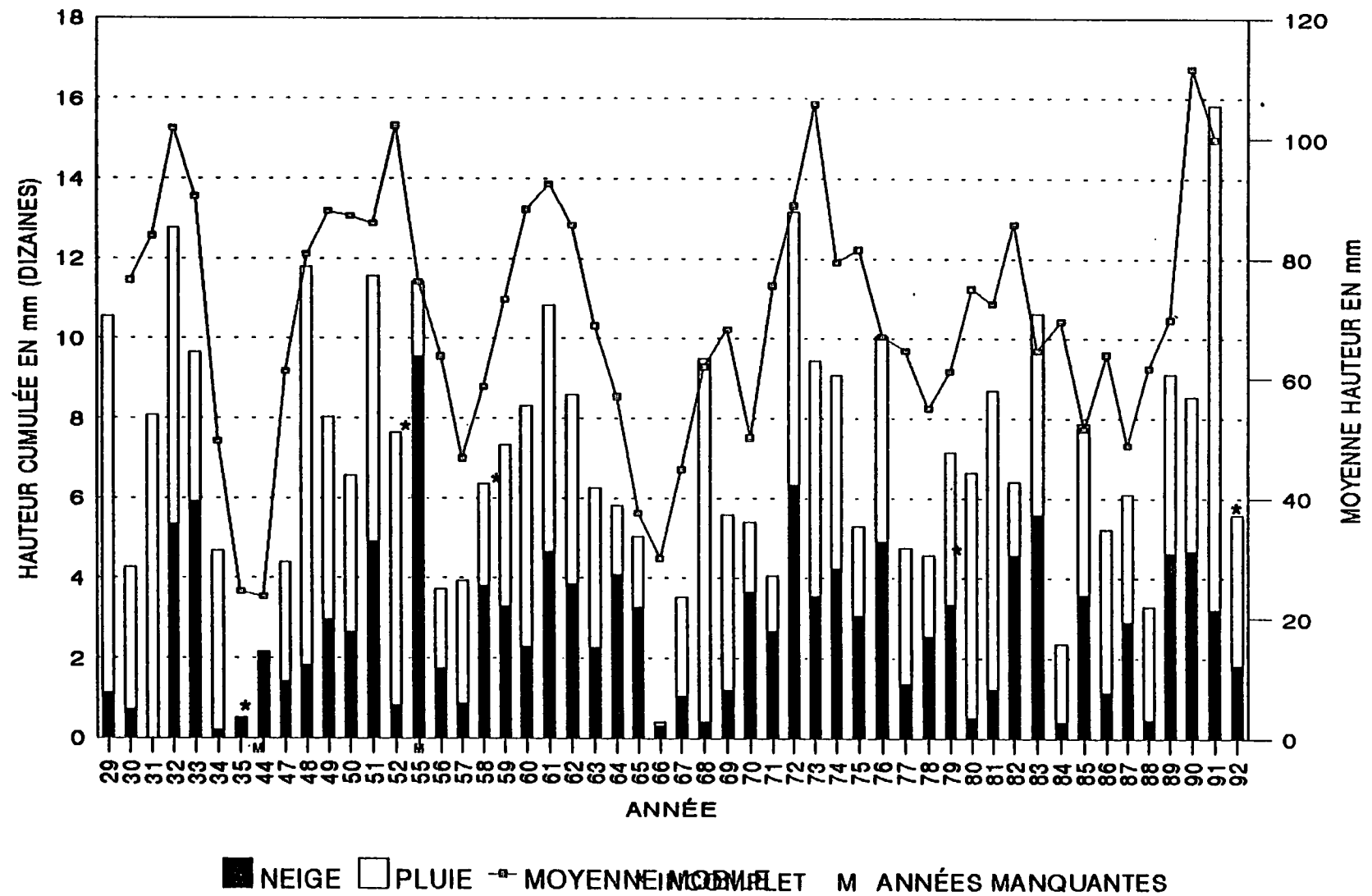


FIGURE 7.24

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES
STATION 0560 BEAUCEVILLE

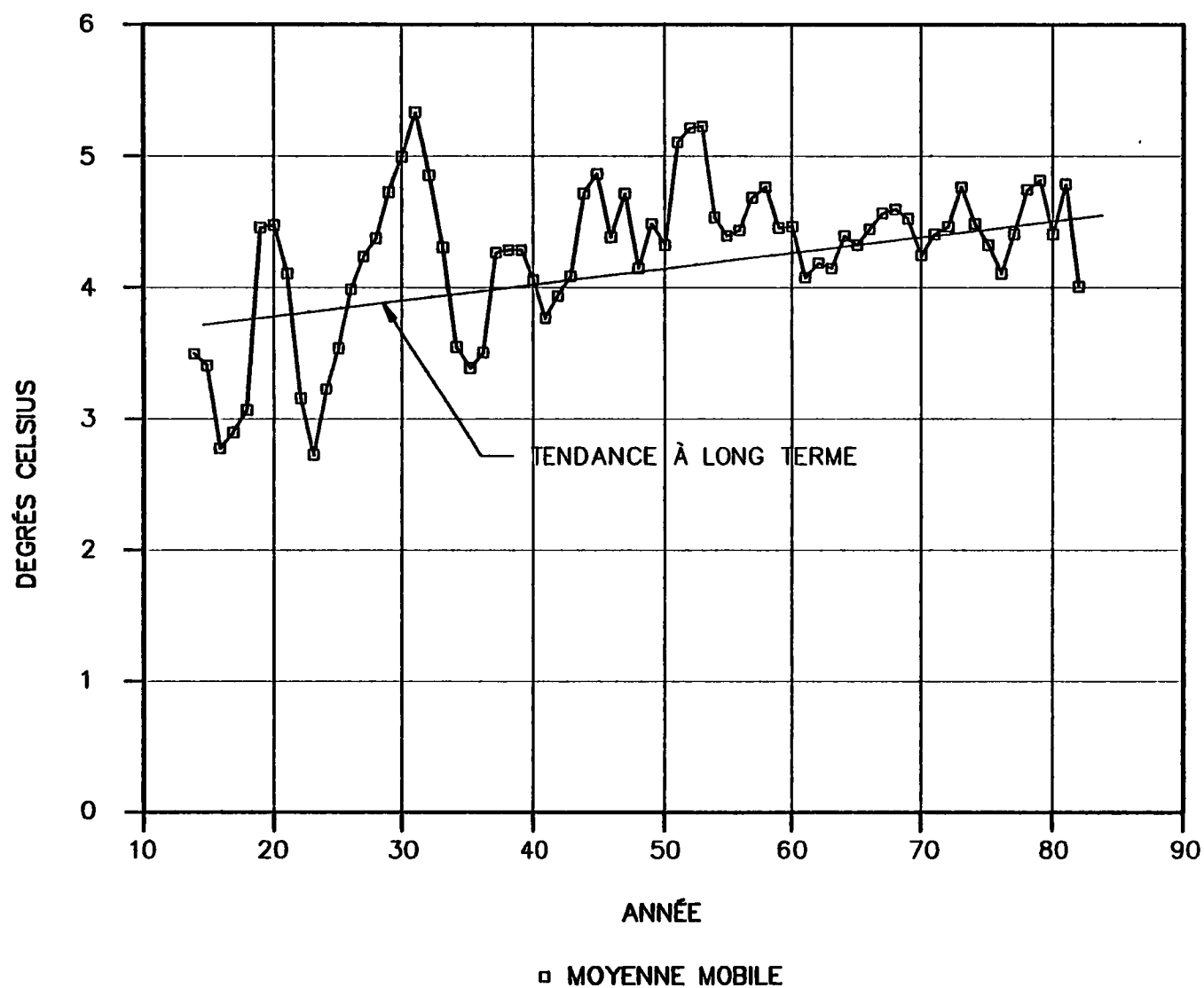


FIGURE 7.25

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES
 STATION 3677 MÉGANTIC

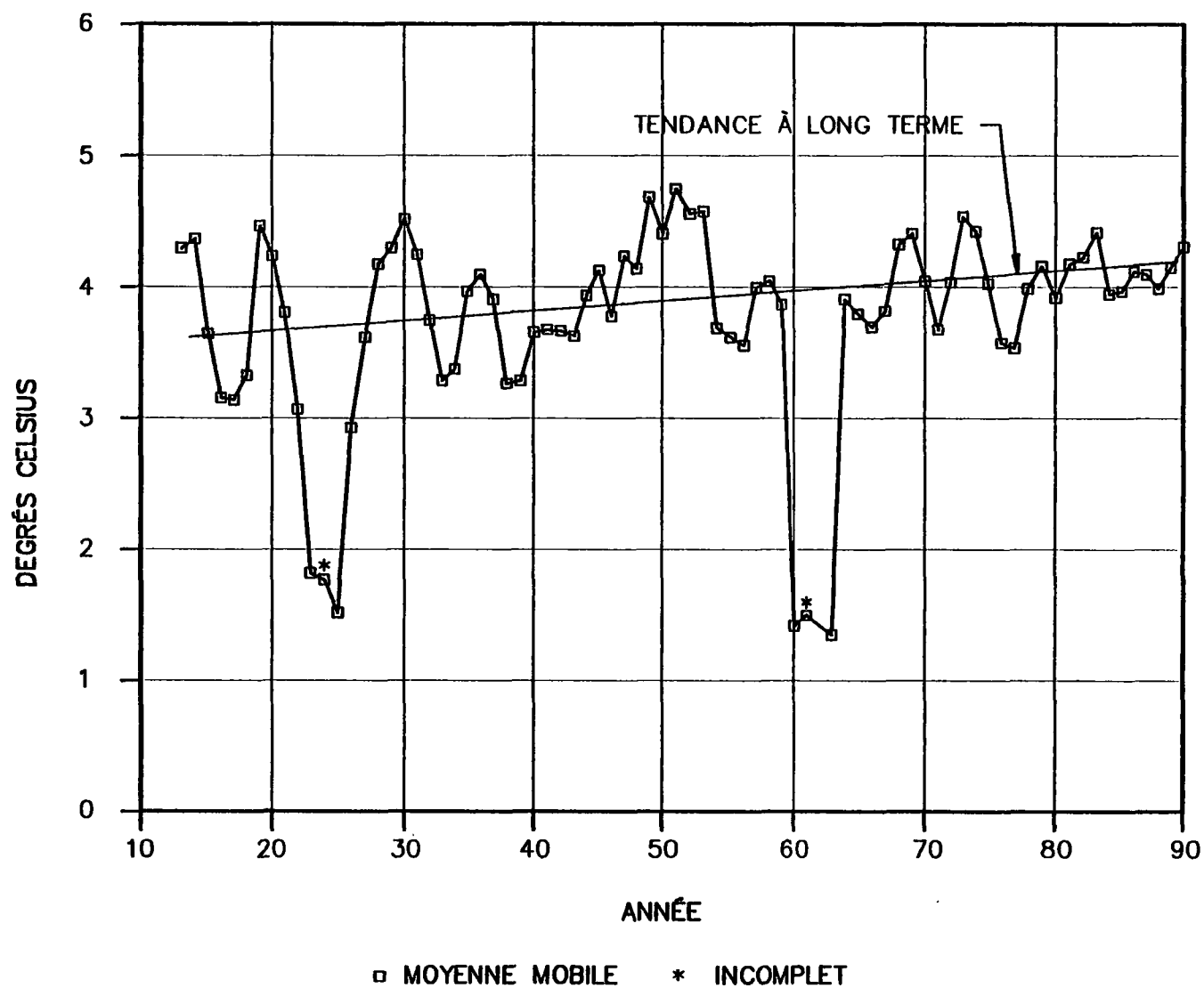


FIGURE 7.26

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES
STATION 7840 SCOTT JONCTION

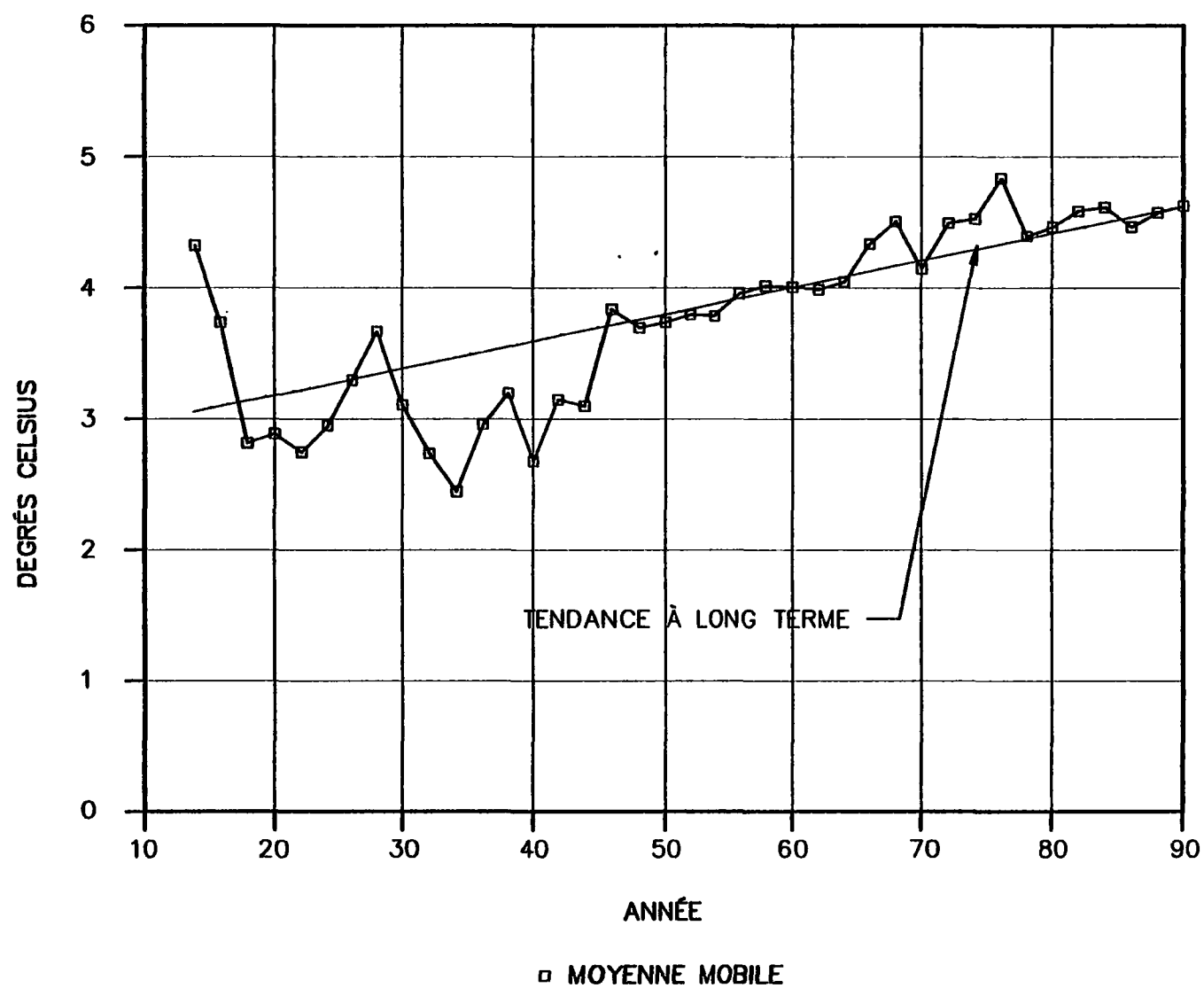


FIGURE 7.27

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES
STATION 8676 VALLÉE JONCTION

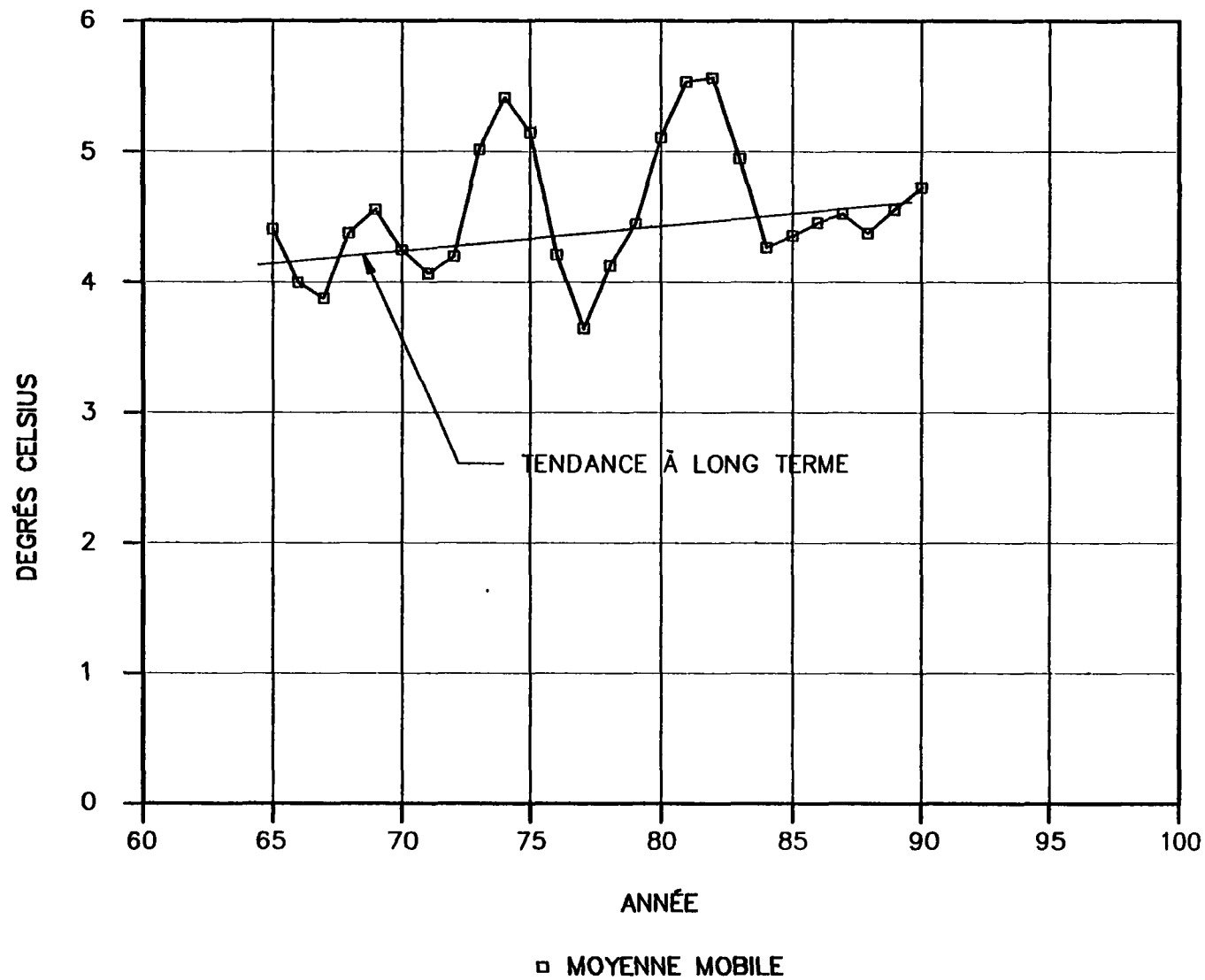


FIGURE 7.28

ÉTUDE DE MODÉLISATION DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES
STATION 7200 ST-EPHREM

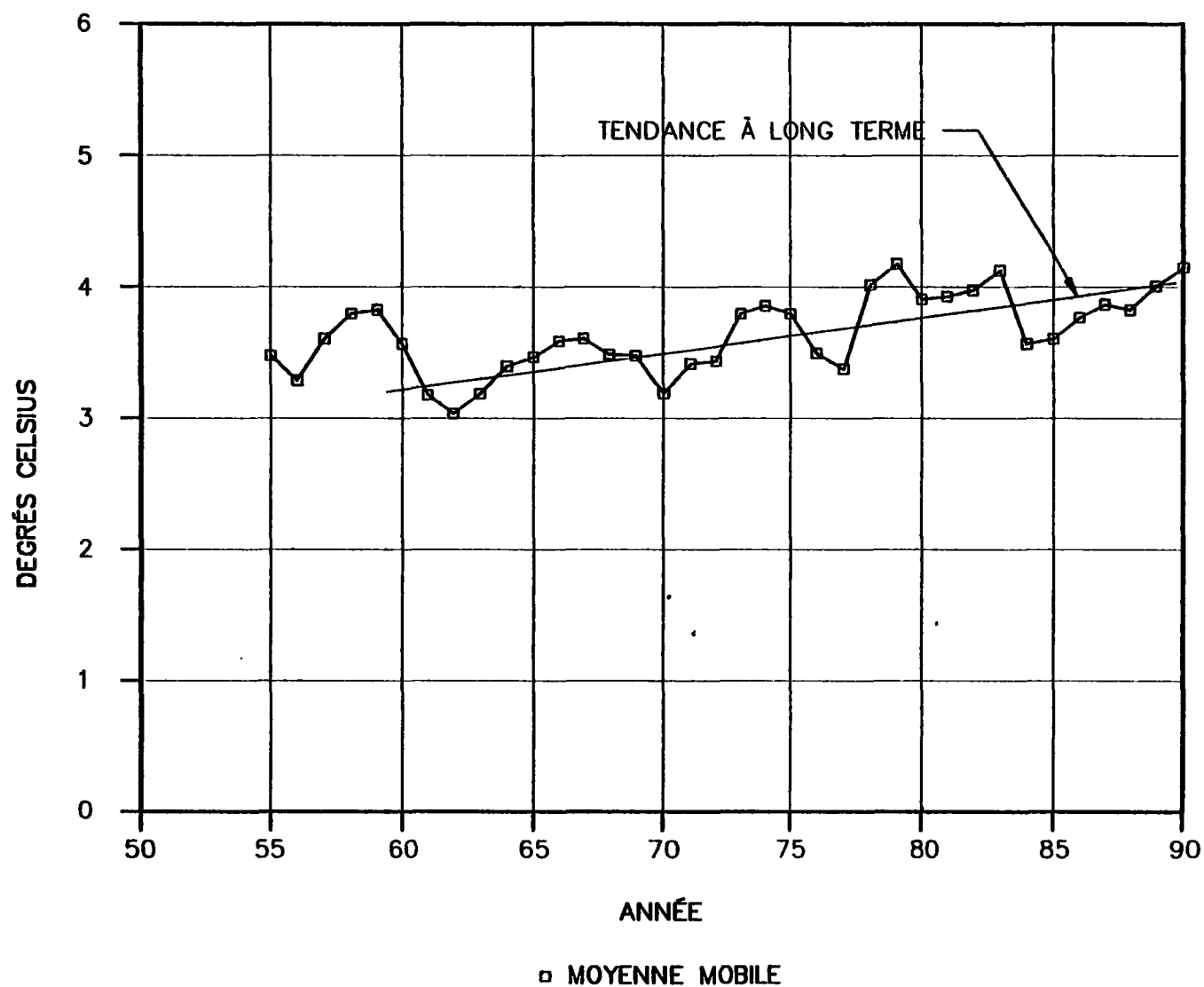


FIGURE 7.29

**ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN DE LA CHAUDIERE
SOMME DES TEMPÉRATURES MOYENNES
DU 15/03 AU 15/04-STATION 3677 LAC MÉGANTIC**

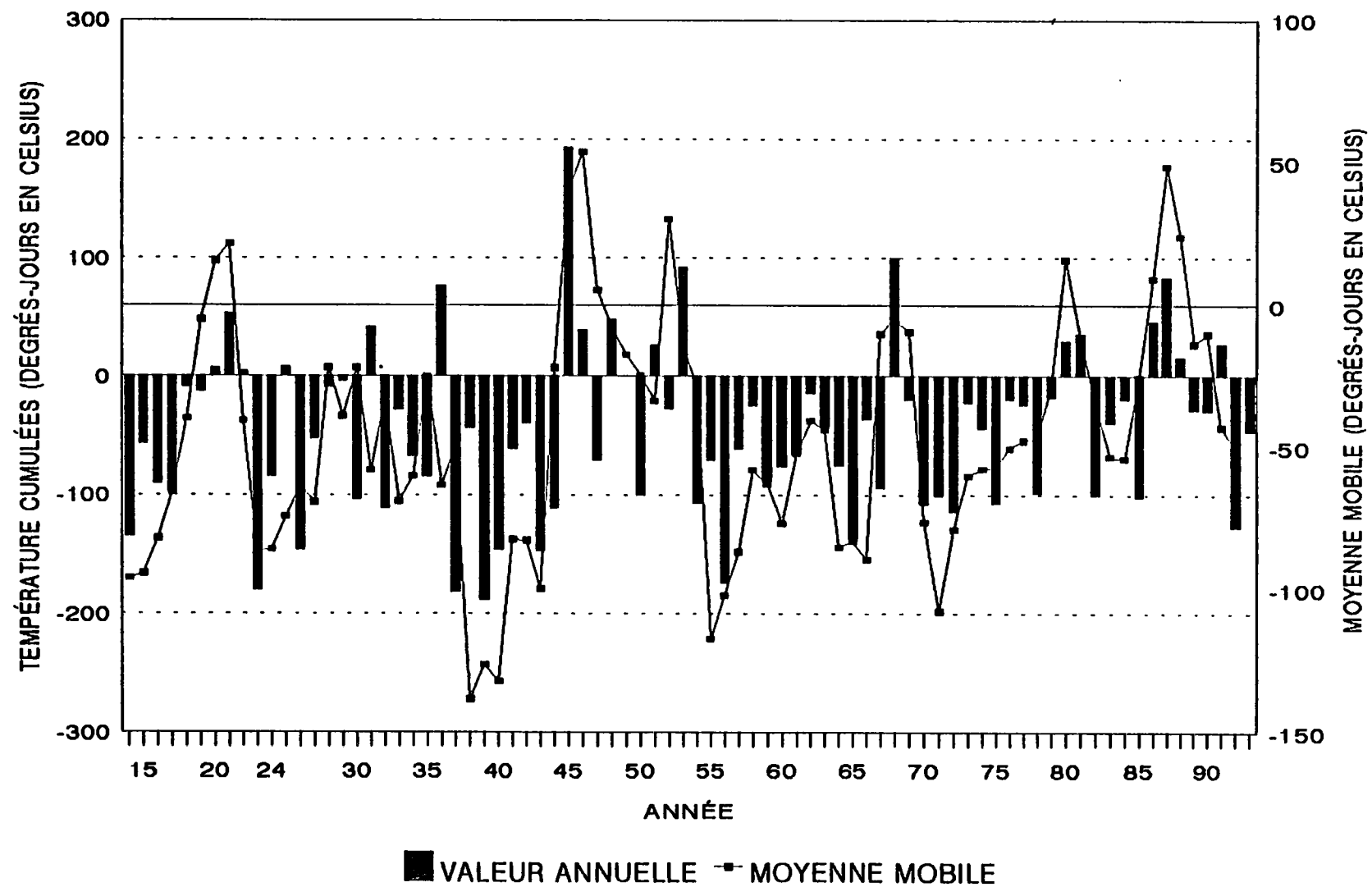
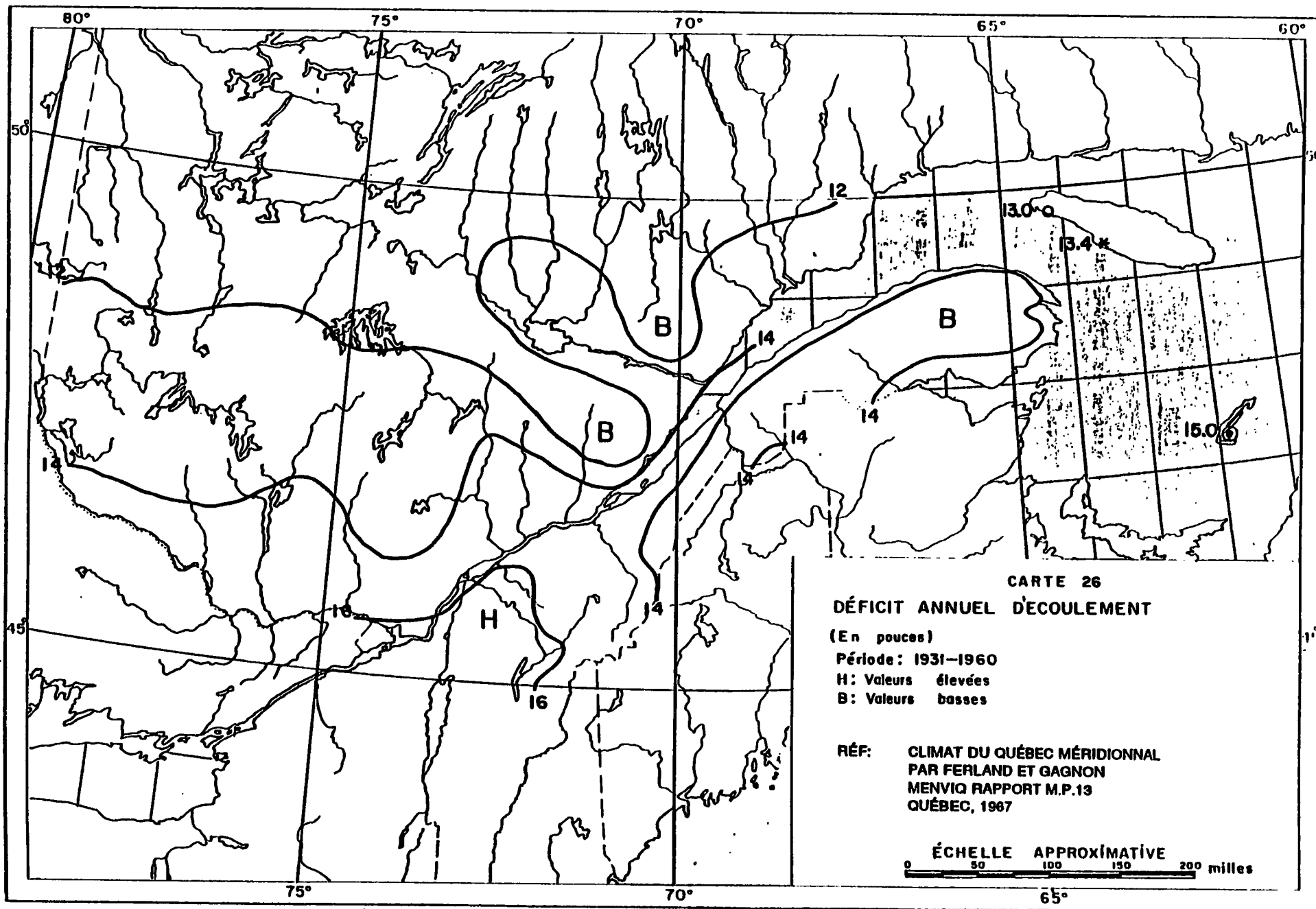


FIGURE 7.30



LISTE DES OUVRAGES CITÉS

AGRICULTURE

Documents

- 1- Bélanger, France, Sylvia Berberi, Jean-René Breton, Daniel Carrier et Renald Lessard. 1990. La Beauce et les Beaucerons. Portraits d'une région, 1737 - 1987. La Société du patrimoine des Beaucerons. Saint-Joseph-de-Beauce.
- 2- Gouvernement du Québec. 1992. La protection des rives en milieu agricole. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, direction de la gestion et conservation des ressources. 27 p.
- 3- Lesaffre, Benoît et Marie-Pierre Arlot. 1991. L'impact du drainage sur le milieu. CEMAGREF, Groupement d'Antony. Courants, revue de l'eau et de l'aménagement, No 11 - Septembre/Octobre.
- 4- Tabi, Marton, Laurean Tardif, Dominique Carrier, Gérard Laflamme et Michel Rompré. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Région agricole 3 - Beauce-Appalaches. Source : MAPAQ, service des sols

Données statistiques

- 5- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1941. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.
- 6- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1961. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.
- 7- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1966. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.
- 8- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1971. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.
- 9- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1976. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS (suite)

- 10- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1981. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.
- 11- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1986. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.
- 12- Statistique Canada. Recensement du Canada de 1991. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.
- 13- Gouvernement du Québec. 1987. Superficie drainée souterrainement par région agricole, 1964-1987. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, direction de la planification.

Cartes

- 15- Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Beauce-Sartigan. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Georges. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 50 000.
- 16- Gouvernement du Québec. 1984. Cartes hydrographiques (2) de la M.R.C. Le Granit. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Georges et de Lac Mégantic. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 50 000.
- 17- Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Les Etchemins. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 50 000.
- 18- Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Nouvelle-Beauce. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Joseph et Saint-Isidore. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 31 680.
- 19- Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Robert-Cliche. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Joseph et de Saint-Georges. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 31 680.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS (suite)

- 20- Gouvernement du Québec. 1969. Cartes de potentiel agricole. Classement des sols selon leurs possibilité d'utilisation agricole : 21L1, 21L2, 21L3, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E7, 21E9, 21E10, 21E11, 21E14, 21E15, 21E16.
Échelle 1 : 50 000
- 21- Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressource Canada. 1980. Cartes topographiques 21L1, 21L2, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E9, 21E10, 21E11, 21E15, 21E16, 21E7 & 21E2. Échelle 1 : 50 000
- 22- Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressource Canada. 1984. Cartes topographiques des régions de Québec et Sherbrooke. 21E et 21L & 21K.
Échelle 1 : 250 000
- 23- Gouvernement du Québec. 1977. Cartes d'utilisation du sol. Ministère de l'Agriculture. Office de Planification et de Développement. Cartes : 21L1, 21L2, 21L3, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E7, 21E9, 21E10, 21E11, 21E14, 21E15, 21E16. Échelle 1 : 50 000
- 24- Gouvernement du Québec. 1967. Cartes d'utilisation du sol. Ministère de l'Agriculture. Office de Planification et de Développement. Cartes : 21L1, 21L2, 21L3, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E7, 21E9, 21E10, 21E11, 21E14, 21E15, 21E16. Échelle 1 : 50 000

HYDRAULIQUE, HYDROLOGIE ET MÉTÉOROLOGUE

- 25- Société du Patrimoine des Beaucerons (1991). Imprévisible Chaudière. Saint-Joseph de Beauce (Québec).
- 26- Société du Patrimoine des Beaucerons (1990). La Beauce et les Beaucerons. Portraits d'une région 1737-1987. Saint-Joseph de Beauce (Québec).
- 27- Hydrotech (1987). Municipalité Régionale de Comté de Montmagny. Projet d'aménagement de la rivière du Sud. Caractéristiques hydrologiques et potentiel.
- 27. Perrier (1978). Historique des inondations au Québec. Congrès de l'Association Québécoise des techniques de l'eau.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS (suite)

- 28- Doyon (1991). Inondations dans la Beauce.
- 29- U.S. Dept. of Agriculture (1972). SCS National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology. August 1972.
- 30- U.S. Army Corps of Engineers (1990). HEC-2 Water Surface Profiles. User's manual CPD-2A. September 1990.
- 31- Monfet (1979). Évaluation du coefficient de ruissellement à l'aide de la méthode SCS modifiée. Gouvernement du Québec. Ministère des Richesses Naturelles. Service de l'Hydrométrie. Rapport HP-51. Août 1979.
- 32- Ducruc et De Sède (1991). Contribution de la cartographie écologique à la modélisation hydrologique spatiale du bassin supérieur de la rivière Eaton. Partie I: la carte écologique. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement. Planification écologique - Série de l'inventaire du capital-nature. N° 10, juin 1991.
- 33- Gray (1972). Manuel des principes d'hydrologie. Secrétariat du Comité National canadien de la Décennie. Hydrologique Internationale. Ottawa, 1972.
- 34- Ferland, Gagnon (1967). Climat du Québec Méridional. Gouvernement du Québec. Ministère des Richesses Naturelles. Service météorologique. Rapport M.P. 13.
- 35- Lamb (1992). Conditions météorologiques lors de la crue du débit d'avril 1991 sur le bassin de la rivière Chaudière. Ministère de l'Environnement. Direction des réseaux atmosphériques. Rapport M-92-04. Février 1992.

FORESTERIE

- 36- Groupe de collaborateurs, 1990: La Beauce et les Beaucerons, portraits d'une région, 1737-1987. Société du patrimoine des Beaucerons, en collaboration avec la Corporation du 250^e anniversaire de la Beauce.
- 37- Plamondon, A.P., Prévost, M., et Naud, R.C., 1984a: Interception de la pluie dans la sapinière à bouleau blanc, Forêt Montmorency. Faculté de foresterie et de géodésie, Université Laval.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS (suite)

- 38- Hetherington, E.D., 1987: The importance of forests in the Hydrological regime. Pacific Forestry Centre, Canadian Forestry Service, Victoria.
- 39- Plamondon, A.P., Prévost, M., et Naud, R.C., 1984b: Accumulation et fonte de la neige en milieu boisé et déboisé. Département d'aménagement et de sylviculture et CENTREAU, Université Laval.
- 40- Standish J.T., Commandeur P.R, Smith R.B., 1988: Impacts of forest harvesting on physical properties of soil with reference to increased biomass recovery - A review Service Canadien des Forêts, Rapport d'information BC-X-301, Pacific Forestry Centre.
- 41- Plamondon et Godbout, 1981: Impact de l'exploitation forestière sur quelques paramètres de la qualité de l'eau en relation avec la lisière boisée - SECTEUR BEAUCE -Sud (1978-1980). Service des techniques d'intervention forestière, publication ER89-1238.
- 42- Groupe de collaborateurs, 1973: Forest soils and land management. Compte rendu de la quatrième conférence nord-américaine sur les sols forestiers, tenue à l'Université Laval, 1973.
- 43- Groupe de collaborateurs, 1991: Textes des conférences présentées au colloque sur le drainage forestier. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. (Tenu en septembre 1991 à Sherbrooke).
- 44- Paquet, G., 1982: Normes de travaux de préparation de terrains forestiers. Cahier provisoire. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et reboisement.

GÉOMORPHOLOGIE ET SÉDIMENTOLOGIE

- 45- Dubois, S.M.M., 1974. Proposition de régions physiographiques pour les Cantons de l'Est: un apport à la classification de Bostock, Géoscope, vol. V, no 2, p. 13-46.
- 46- Julien, Pierre, 1979. Érosion de bassin et apport solide en suspension dans les cours d'eau nordiques, thèse de maîtrise. Département de génie civil, Université Laval.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS (suite)

- 47- Julien, P.Y. et Frenette, M., 1985. Érosion de bassin et apport solide dans les cours d'eau lors de la fonte de neige. Congrès annuel de la Société canadienne de génie civil. 27-31 mai, Saskatoon, SK.
- 48- Frenette, M. et Julien, P.Y., 1986 , LAVSED-1. Un modèle pour prédire l'érosion des bassins et le transfert de sédiments fins dans les cours d'eau nordiques, Can. J. Civ. eng., vol. 13.
- 49- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 1975. Étude pédologique du comté de Dorchester, 94 pages, 5 cartes.
- 50- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 1989. Étude pédologique du comté de Mégantic, 89-0050, 160 p. 2 cartes.
- 51- Ministère des Terres et Forêts, 1993. Carte des dépôts de surface, document de travail. Gouvernement du Québec, Service de l'inventaire forestier.

BIBLIOGRAPHIE

AGRICULTURE

Documents

Bernard, C. 1984. Les productions végétales intensives et la dégradation des eaux. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de l'assainissement agricole. Présenté au Symposium de la Société canadienne d'hydrologie. Québec, Université Laval, 18-20 juin 1984. 17 p.

Désilets, Louis. 1988. Vers une gestion harmonieuse de notre environnement agricole. Association des Biologistes du Québec. Pêches et Océans Canada, division de la gestion de l'habitat du poisson

Bélanger, France, Sylvia Berberi, Jean-René Breton, Daniel Carrier et Renald Lessard. 1990. La Beauce et les Beaucerons. Portraits d'une région, 1737 - 1987. La Société du patrimoine des Beaucerons. Saint-Joseph-de-Beauce.

Carignan, Manon, Louise Dion et Gaëtan Roy. 1988. Rapport d'enquête sur la dégradation des sols et les pratiques agricoles au Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, service de conservation des ressources agricoles.

Gouvernement du Québec. 1992. La protection des rives en milieu agricole. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, direction de la gestion et conservation des ressources. 27 p.

Gouvernement du Québec. 1990. Normes de conception et d'exécution pour les travaux de conservation et gestion du sol et de l'eau. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Gouvernement du Québec. 1986. Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 252 p.

Lesaffre, Benoît et Marie-Pierre Arlot. 1991. L'impact du drainage sur le milieu. CEMAGREF, Groupement d'Antony. Courants, revue de l'eau et de l'aménagement, No 11 - Septembre/Octobre.

Monfét, Jean. 1979. Evaluation du coefficient de ruissellement à l'aide de la méthode SCS modifiée. Ministère des Richesses naturelles, service de l'hydrométrie.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Tabi, Marton, Laurean Tardif, Dominique Carrier, Gérard Laflamme et Michel Rompré. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Région agricole 3 - Beauce-Appalaches. Source : MAPAQ, service des sols

Données statistiques

MAPAQ. 1985. Coup d'oeil sur l'agriculture, les pêches et l'alimentation au Québec. Statistiques par région agricole, de 1971 à 1977.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1941. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1961. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1966. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1971. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1976. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1981. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1986. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Statistique Canada. Recensement du Canada de 1991. Agriculture, extrait pour le Comté de Beauce (03). Ministère des Approvisionnements et Services Canada.

Gouvernement du Québec. 1991. Répartition des superficies en culture par municipalité sur le territoire couvert par le bureau agricole régional (Beauce, Mégantic et Frontenac). Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Saint-Joseph.

Gouvernement du Québec. 1987. Superficie drainée souterrainement par région agricole, 1964-1987. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, direction de la planification.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Gouvernement du Québec. Statistiques agricoles par comté de la région 03. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, service de l'information et des statistiques

Cartes

Gouvernement du Québec. 1992. Cartes Pédologiques (2) du Comté de Beauce (nord et sud). Version préliminaire. Echelle 1 : 50 000. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, service de recherche en sol; Complexe scientifique, Sainte-Foy.

Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Beauce-Sartigan. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Georges. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 50 000.

Gouvernement du Québec. 1984. Cartes hydrographiques (2) de la M.R.C. Le Granit. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Georges et de Lac Mégantic. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 50 000.

Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Les Etchemins. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 50 000.

Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Nouvelle-Beauce. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Joseph et Saint-Isidore. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 31 680.

Gouvernement du Québec. 1984. Carte hydrographique de la M.R.C. Robert-Cliche. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, bureau de renseignements agricoles de Saint-Joseph et de Saint-Georges. Cours d'eau et drainage souterrain. Echelle 1 : 31 680.

Gouvernement du Québec. 1969. Cartes de potentiel agricole. Classement des sols selon leurs possibilité d'utilisation agricole. Cartes : 21L1, 21L2, 21L3, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E7, 21E9, 21E10, 21E11, 21E14, 21E15, 21E16. Echelle 1 : 50 000

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Gouvernement du Québec. 1977. Cartes d'utilisation du sol. Ministère de l'Agriculture. Office de Planification et de Développement. Cartes : 21L1, 21L2, 21L3, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E7, 21E9, 21E10, 21E11, 21E14, 21E15, 21E16. Échelle 1 : 50 000

Gouvernement du Québec. 1967. Cartes d'utilisation du sol. Ministère de l'Agriculture. Office de Planification et de Développement. Cartes : 21L1, 21L2, 21L3, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E7, 21E9, 21E10, 21E11, 21E14, 21E15, 21E16. Échelle 1 : 50 000

Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources Canada. 1980. Cartes topographiques : 21L1, 21L2, 21L6, 21L7, 21L8, 21L10, 21L11, 21E6, 21E9, 21E10, 21E11, 21E15, 21E16, 21E7 & 21E2. Échelle 1 : 50 000

Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources Canada. 1984. Cartes topographiques des régions de Québec et Sherbrooke. Cartes : 21E et 21L & 21K. Échelle 1 : 250 000

Ministère de la Sécurité publique, direction générale de la sécurité civile. Répertoire des cartes de la M.R.C. Beauce-Sartigan

Hydraulique - Hydrologie - Météorologie

Charbonneau, Llamas et Rassam (1985). Analyse fréquentielle des crues. Étude comparative des méthodes. 53e congrès de l'Association Canadienne Française pour l'Avancement des Sciences. Chicoutimi, 1985.

Comité Interministériel sur les problèmes des inondations de la rivière Chaudière (1991). Inondations de la rivière Chaudière. Sainte-Foy, 15 octobre 1992.

Commission des Eaux Courantes de Québec (1918). Septième rapport. Québec. 1918.

Chow (1959). Open Channel Hydraulics. Mc Graw-Hill.

Desforges (1970). Relations pluie-ruissellement. Bassin versant de la Chaudière. Gouvernement du Québec. Ministère des Richesses Naturelles. Service de l'hydrométrie. Rapport H.P-26.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Environnement Canada. Consolidated Frequency Analysis. Version 3.1. Reference Manual. Surveys and Information Systems Branch. Ottawa. June 1992.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Environnement Canada. Ministère des Richesses Naturelles du Québec. Cartes du risque d'inondation. Rivière Chaudière. Province de Québec. Cartes 21L-02-100, 101, 102. Échelle 1:10 000. Cartes 21L-07-103, 104, 105, 106, 107. Échelle 1:10 000. Québec 1978.

Gouvernement du Québec. Ministère des Transports. Service de l'Hydraulique. Rapport PO-92-16133.

Gouvernement du Québec (1970). Débit horaires et caractéristiques des crues 1964-1966. Ministère des Richesses Naturelles. Service de l'Hydrométrie. Rapport H.P. 24. Québec, 1970.

Gouvernement du Québec. Superficie des bassins versants du Québec. Première partie. Ministère des Richesses Naturelles. Service de l'hydrographie. Rapport H-1. Québec. 1969.

Harvey et Al. (1968). Rivière Chaudière. Étude de l'atténuation des crues. Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses Naturelles. Service de l'aménagement Hydraulique. Rapport R-5 et annexes A, B, C, D. Québec. 1968.

Llamas (1966). Rivière Chaudière. Courbes de remous dans la région des Eaux Mortes. Gouvernement du Québec. Ministère des Richesses Naturelles. Direction des Services Hydrauliques. Rapport R-2. Québec. 1966.

Llamas et Al. (1965). Plan d'ensemble des travaux remédiateurs de la rivière Chaudière. Contrôle des Inondations à la débâcle. Gouvernement du Québec. Ministère des Richesses Naturelles. Direction des Services Hydrauliques. Rapport R-1 et annexes, A, B, C, D. Québec 1965.

Ministère de l'Environnement du Québec (1992). Données de débits et niveaux aux stations hydrométriques (fichiers ASCII) du bassin de la rivière Chaudière.

Ministère de l'Environnement du Québec (1992). Données climatiques aux stations météorologiques des bassins des rivières Saint-François, Chaudière et Etchemin (fichiers ASCII).

Ponce (1989). Engineering Hydrology: Principles and Practices. Prentice-Hall Inc.

Roche (1984). Estimation des dommages dus aux inondations à Sainte-Marie (Beauce). Étude de rentabilité des solutions proposées. Sainte-Foy. Août 1984.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

Trudel (1992). Étude hydraulique. Pont sur la route 171 au-dessus de la rivière Chaudière. Municipalité Scott et Taschereau-Fortier.

Van Diem Hoang (1988). Étude d'impact du creusage et de l'enlèvement de l'île Perrot sur la réduction des Inondations de la rivière Chaudière. Section entre Scott Jonction et Sainte-Marie. Gouvernement du Québec. Ministère de l'Environnement. Direction de l'Hydraulique. Avril 1988.

Walesh (1989). Urban Surface Water Management. John Wiley & Sons Inc.

FORESTERIE

Groupe de collaborateurs, 1963: Forest watershed management symposium. Society of American Foresters and Oregon State University, Corvallis.

Groupe de collaborateurs, 1966: Practical aspects of watershed management symposium. Society of American Foresters and Oregon State University.

Brown, G.W., 1974: Forest and water quality. School of Forestry, Oregon State University.

Lutz, H.J., Chandler, R.F., 1946: Forest Soils. Yale University and University of New Hampshire.

Plamondon, A.P., 1981: Écoulement et modification du couvert forestier. Département d'aménagement et de sylviculture, Faculté de foresterie et de géodésie, et Centre de recherches sur l'eau (CENTREAU), Université Laval.

Plamondon, A.P., et Ouellet, Denis C., 1980: Coupe à blanc partielle et régime d'écoulement du bassin expérimental du ruisseau des eaux volées. Université Laval.

Martin, C. Wayne, 1988: Soil disturbance by logging in New England - Review and Management Recommendations. Northeastern Forest Experiment Station, New Hampshire.

Gouvernement du Québec, 1992: Programme de mise en valeur des forêts privées, cahier d'instruction (Normes Techniques). Service de mise en valeur des forêts privées.

Fédération des producteurs de bois du Québec, 1990: La forêt privée du Québec, profil biophysique, problématiques et orientations.

