

ANNEXE 4

Caractérisation hydrologique de la zone à l'étude du prolongement de l'A-35

CARACTÉRISATION HYDROLOGIQUE
DE LA ZONE D'ÉTUDE DU PROLONGEMENT
DE L'AUTOROUTE 35

CARACTÉRISATION HYDROLOGIQUE
DE LA ZONE D'ÉTUDE DU PROLONGEMENT
DE L'AUTOROUTE 35

Rapport final présenté au

Ministère des Transports du Québec

Direction de l'Ouest-de-la-Montérégie

Novembre 2003
J98564-500

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Chargé de projet	:	Serge Trépanier, ing.
Collaborateurs	:	Claudine Breton, ing.
	:	Jean-François Mercier, ing.
	:	Serge Laforce, ing. Jr.
Technicien	:	Michel Roberge, tech.

Référence à citer :

Groupe conseil GENIVAR inc, 2003. *Caractérisation hydrologique de la zone d'étude du prolongement de l'autoroute 35*. Rapport présenté au ministère des Transports du Québec, direction de l'Ouest-de-la-Montérégie. 36 pages.

TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION	1
1 OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE.....	2
1.1 Objectif.....	2
1.2 Méthodologie.....	2
2 COURS D'EAU ET BASSINS VERSANTS.....	4
2.1 Description sommaire du réseau hydrographique de la zone d'étude.....	4
2.2 Cours d'eau verbalisés au droit du tracé projeté	5
2.3 Hydrologie des cours d'eau	7
2.3.1 Données disponibles	7
2.3.2 Répartition annuelle des débits.....	7
2.3.3 Date de la crue printanière.....	8
2.4 Cotes d'inondation du lac Champlain	8
3 ÉVALUATION DES CRUES PAR ANALYSE DE FRÉQUENCE	13
3.1 Données utilisées	13
3.2 Analyse de fréquence des débits de crues.....	13
3.2.1 Débits de crue de la station 030420 (rivière aux Brochets)	13
3.2.2 Débits de crue de la station 030415 (rivière des Hurons).....	15
3.3 Analyse de fréquence des volumes de crues.....	16
3.3.1 Volume des crues de la station 030420 (rivière aux Brochets)	16
3.3.2 Volume des crues de la station 030415 (rivière des Hurons).....	18
3.4 Choix des hydrogrammes de crue types	19
3.4.1 Méthodologie.....	19
3.4.2 Hydrogrammes de crue types de la station 030420 (rivière aux Brochets).....	19
3.5 Caractéristiques des crues au droit du tracé de l'autoroute 35	24
3.5.1 Méthode de transposition des débits et des volumes.....	24
3.5.2 Débits de crues transposés au droit du tracé de l'autoroute 35	24
3.5.3 Volume de crues transposés au droit du tracé de l'autoroute 35	25
3.5.4 Hydrogrammes types des crues au droit du tracé de l'autoroute 35.....	25

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
4 ÉVALUATION DES DÉBITS DE CRUES PAR LA MÉTHODE RATIONNELLE	32
4.1 Utilisation et caractéristiques du sol	32
4.2 Caractéristiques des bassins versants	33
4.3 Intensité de précipitation	35
4.4 Calcul des débits	35
CONCLUSION	37

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1	Liste des cours d'eau et superficies drainées actuelles au droit du tracé projeté de l'autoroute 35.....	6
Tableau 2	Moyennes des débits (en m ³ /s) mensuels aux stations 030420 et 030415.....	7
Tableau 3	Caractéristiques de l'échantillon des débits de crues annuelles à la station 030420 (rivière aux Brochets).....	14
Tableau 4	Débits de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030420 (rivière aux Brochets).....	14
Tableau 5	Caractéristiques de l'échantillon des débits de crues annuelles à la station 030415 (rivière des Hurons).	15
Tableau 6	Débits de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030415 (rivière des Hurons).....	16
Tableau 7	Caractéristiques de l'échantillon des volumes de crues annuelles à la station 030420 (rivière aux Brochets).....	17
Tableau 8	Volumes de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030420 (rivière aux Brochets).....	17
Tableau 9	Caractéristiques de l'échantillon des volumes de crues annuelles à la station 030415 (rivière des Hurons).	18
Tableau 10	Volumes de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030415 (rivière des Hurons).....	19
Tableau 11	Origine des hydrogrammes de crues types de la station 030420 (rivière aux Brochets).	20
Tableau 12	Origine de l'hydrogramme de crues type de la station 030415 (rivière des Hurons).....	22

LISTE DES TABLEAUX (suite)

Page

Tableau 13	Débits de crues de la rivière aux Brochets et du ruisseau de la Barbotte au droit du tracé projeté de l'autoroute 35.....	25
Tableau 14	Volumes de crues de la rivière aux Brochets et du ruisseau de la Barbotte au droit du tracé projeté de l'autoroute 35.....	25
Tableau 15	Principales caractéristiques des hydrogrammes de crues transposés de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35.....	26
Tableau 16	Principales caractéristiques des hydrogrammes de crues du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35.....	27
Tableau 17	Données du recensement agricole de 2001 sur l'utilisation des sols cultivés.	32
Tableau 18	Paramètres des bassins versants pour l'application de la méthode rationnelle.	34
Tableau 19	Débits de pointe des crues calculés par la méthode rationnelle.	36

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1	Bassin versant de la rivière aux Brochets..... 9
Figure 2	Bassin versant de la rivière des Hurons 10
Figure 3	Hydrogrammes moyen, maximum et minimum à la station 030420 (rivière aux Brochets) 11
Figure 4	Hydrogrammes moyen, maximum et minimum à la station 030415 (rivière des Hurons)..... 12
Figure 5	Hydrogrammes de crues à la station 030420 (rivière aux brochets)..... 21
Figure 6	Hydrogramme de crues à la station 030415 (rivière des Hurons). 23
Figure 7	Hydrogramme de crues de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35 (récurrence 1/50 ans) 28
Figure 8	Hydrogramme de crues de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35 (récurrence 1/100 ans) 29
Figure 9	Hydrogramme de crues du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35 (récurrence 1/50 ans) 30
Figure 10	Hydrogramme de crues du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35 (récurrence 1/100 ans) 31

LISTE DES ANNEXES

- | | |
|----------|--|
| Annexe 1 | Délimitation des bassins versants actuels au droit du tracé projeté du prolongement de l'autoroute 35 |
| Annexe 2 | Échantillons des débits de crues annuelles |
| Annexe 3 | Échantillons des volumes de crues annuelles |
| Annexe 4 | Tableaux des hydrogrammes de crues de la rivière aux Brochets et du Ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35 |

INTRODUCTION

Ce document présente la caractérisation hydrologique du territoire traversé par le prolongement de l'autoroute 35 projeté au Québec dans la région de la Montérégie. Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'évaluation environnementale et de l'avant-projet.

Le premier chapitre présente les objectifs visés et les méthodes utilisées pour les atteindre. Le second chapitre rassemble l'information relative aux cours d'eau traversant la zone d'étude. Les chapitres 3 et 4 portent sur l'évaluation des crues des cours d'eau au droit du tracé projeté du prolongement de l'autoroute 35. Finalement, une conclusion vient terminer ce rapport.

1 OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE

1.1 Objectif

Cette étude vise à caractériser sur le plan hydrologique la zone d'étude du prolongement de l'autoroute 35, reliant Saint-Jean-sur-Richelieu à la frontière américaine.

1.2 Méthodologie

À cette étape du projet, seules les données existantes et l'état actuel (avant le prolongement de l'autoroute) du territoire ont été considérés. Suite à l'évaluation environnementale, le tracé définitif de l'autoroute sera choisi et l'impact de la mise en place de l'autoroute sur le drainage pourra être quantifié. Cependant les modifications attendues à la configuration des bassins de drainage devraient être mineures dans la mesure où des ponceaux seront installés au croisement des cours d'eau verbalisés.

La caractérisation du territoire a été effectuée en superposant à la cartographie à l'échelle 1 : 20 000 le tracé projeté de l'autoroute. Ainsi, les cours d'eau susceptibles d'être touchés par le projet ont pu être identifiés et leurs bassins versants, délimités.

Une recherche a été effectuée sur les données hydrologiques disponibles sur les cours d'eau de la zone d'étude. Seuls les débits de la rivière aux Brochets et les niveaux du lac Champlain sont documentés. Par conséquent, la recherche a été étendue aux cours d'eau de la région possédant des caractéristiques géomorphologiques comparables à celles des cours d'eau à l'étude.

Les débits de crues des cours d'eau de la zone d'étude ont été quantifiés par le biais des méthodes d'analyse hydrologique conventionnelles. Selon la superficie du bassin versant, deux méthodes de détermination des débits de crues ont pu être employées :

- pour les bassins versants de moins de 25 km², la méthode rationnelle, telle que décrite dans le Manuel de conception des ponceaux (ministère des Transports du Québec), est appliquée;
- pour les bassins versants de plus de 25 km², les débits de pointe sont déterminés par l'analyse de fréquence des données historiques journalières d'un cours d'eau de la région dont les caractéristiques géomorphologiques sont comparables. Ces résultats sont transposés au bassin versant à l'étude en tenant compte du rapport des superficies des bassins versants.

Pour les bassins versants de plus de 25 km², les volumes de crue ont également été évalués par une analyse de fréquence des volumes des crues enregistrées sur un cours d'eau de la région et par une transposition tenant compte du rapport des superficies des bassins versants. Pour ces mêmes bassins versants, des hydrogrammes de crues types, reproduisant les débits et volumes de pointes déterminés par l'analyse de fréquence, ont été élaborés en reproduisant la forme des hydrogrammes historiques disponibles.

2 COURS D'EAU ET BASSINS VERSANTS

2.1 Description sommaire du réseau hydrographique de la zone d'étude

La zone d'étude du prolongement de l'autoroute 35 entre Saint-Jean-sur-Richelieu et la frontière américaine est confinée dans le bassin versant de la rivière Richelieu et du lac Champlain, constituant sa source. La portion amont de ce bassin versant se situe aux États-Unis, couvrant une partie des montagnes Vertes et le lac Champlain. Au Québec, la rivière Richelieu s'écoule essentiellement dans les basses Terres du Saint-Laurent. La zone d'étude s'étend sur un territoire au relief plat et à vocation agricole dans une forte proportion. Le tracé projeté de l'autoroute 35 et les cours d'eau interceptés sont illustrés sur la carte de l'annexe 1.

L'ensemble de la zone d'étude se draine dans trois directions principales : vers la rivière aux Brochets et la baie Missisquoi (lac Champlain), vers la rivière du Sud et directement vers la rivière Richelieu par de petits affluents secondaires. La rivière Richelieu peut connaître des crues printanières importantes et prolongées. Dans la baie Missisquoi et dans la région du Haut-Richelieu, les crues peuvent provoquer des débordements importants, et ce, en raison de la très faible pente des rives.

Deux rivières traversent la zone d'étude, soit la rivière aux Brochets et la rivière du Sud. La rivière aux Brochets (figure 1) prend sa source dans les collines du Vermont et de Saint-Armand au Québec avant de rejoindre les basses terres. Son bassin versant total est de 630 km². Elle s'écoule en direction nord-ouest puis revient vers le sud pour se jeter dans la baie Missisquoi. À l'approche de son embouchure sur le lac Champlain, la rivière possède une largeur de 20 mètres et ses eaux s'écoulent lentement. La station hydrométrique 030420 permet de reconstituer les débits de la rivière aux Brochets pour un bassin versant de 404 km². A cet endroit, le débit module est de 6,9 m³/s. Par simple transposition, on obtient un débit module de 10,8 m³/s à son exutoire. La rivière du Sud couvre un bassin versant de 145 km² situé entièrement dans la plaine du Saint-Laurent. Elle s'écoule en direction sud avant de bifurquer dans sa partie aval pour aller se jeter dans la rivière Richelieu près de l'île aux Noix.

2.2 Cours d'eau verbalisés au droit du tracé projeté

Un inventaire des cours d'eau verbalisés traversés par le tracé projeté du prolongement de l'autoroute 35 a été dressé. Ces cours d'eau sont énumérés au tableau 1.

Le territoire drainé par chaque cours d'eau au droit du tracé projeté de l'autoroute 35 a été délimité à partir des cartes topographiques numériques à l'échelle 1 : 20 000. Les limites établies des bassins de drainage correspondent à l'état actuel du territoire, soit avant la construction du prolongement de l'autoroute. La mise en place du remblai de l'autoroute aura pour effet, à certains endroits, de modifier le drainage. Ces modifications au drainage seront locales à condition d'installer un ponceau de diamètre suffisant sur chaque cours d'eau au droit du remblai de l'autoroute. Le tableau 1 indique les sous bassins versants auxquels appartiennent ces cours d'eau et leur superficie au droit du tracé de l'autoroute. Certains cours d'eau seront interceptés plus d'une fois par l'autoroute, il est alors spécifié s'il s'agit de la traverse la plus en amont ou en aval. La délimitation effectuée des bassins versants est représentée sur la carte de l'annexe 1.

Tableau 1 Liste des cours d'eau et superficies drainées actuelles au droit du tracé projeté de l'autoroute 35.

Cours d'eau	Sous bassin versant	Superficie au droit du tracé projeté (km²)
Ruisseau Arcand	Ruisseau de la Barbotte – Rivière Richelieu	3,80
Ruisseau de la Barbotte	Rivière Richelieu	51,41
Ruisseau Chartier (aval)	Ruisseau de la Barbotte – Rivière Richelieu	18,67
Ruisseau Léandre-Beaudoin	Ruisseau de la Barbotte – Rivière Richelieu	2,20
Ruisseau Chartier (amont)	Ruisseau de la Barbotte – Rivière Richelieu	10,61
Ruisseau Lalanne	Décharge des Vingt - Rivière Richelieu	3,24
Ruisseau Martel	Rivière du Sud	7,69
Décharge Lacroix	Rivière du Sud	7,84
Ruisseau Léo-Méthé	Rivière du Sud	3,48
Ruisseau Méthé-Fournier	Rivière du Sud	2,35
Ruisseau Smith-Bonneville	Rivière du Sud	1,15
Ruisseau Comeau-Lecompte (est)	Rivière du Sud	0,46
Ruisseau Comeau-Lecompte (ouest)	Rivière du Sud	0,30
Ruisseau Phoenix-Campbell (amont)	Ruisseau Black – Lac Champlain	0,51
Ruisseau Phoenix-Campbell (centre)	Ruisseau Black – Lac Champlain	1,14
Ruisseau Phoenix-Campbell (aval)	Ruisseau Black – Lac Champlain	1,62
Ruisseau Black	Lac Champlain	4,09
Ruisseau Bélanger	Ruisseau Black – Lac Champlain	3,10
Ruisseau Tippins	Lac Champlain	0,67
Ruisseau Desrorleau	Ruisseau Tippins – Lac Champlain	0,32
Ruisseau Bellefroid-Archambault	Rivière aux Brochets	0,33
Rivière aux Brochets	Lac Champlain	614
Cours d'eau Edwin	Rivière aux Brochets	1,48
Ruisseau Louis-Rochelleau	Rivière aux Brochets	3,60

2.3 Hydrologie des cours d'eau

2.3.1 Données disponibles

Les seules données disponibles sur les débits normaux et les crues des cours d'eau de la zone d'étude sont celles de la rivière aux Brochets (station 030420, 404 km²). Ce bassin est de forme plutôt longue et étroite et caractérisé dans sa partie amont par un relief de colline et un couvert boisé. Dans sa partie aval la rivière s'écoule à travers les basses terres du Saint-Laurent, en terrain plat et agricole. Comme ce cours d'eau prend sa source au sud de la zone d'étude, dans une région de collines boisées, les débits provenant de la station 030420 (rivière aux Brochets) ne seront pas toujours représentatifs des crues de la portion du territoire se drainant vers la rivière du Sud et la rivière Richelieu, lequel est plat et utilisé pour l'agriculture.

La rivière des Hurons (station 030415, 309 km²), qui s'écoule vers la rivière Richelieu à quelques 20 km au nord de la zone d'étude, possède des caractéristiques géographiques et morphologiques communes à la rivière du Sud et aux autres affluents de la Richelieu de la zone d'étude, soit un relief plat et des bassins versants plutôt larges et courts (figure 2).

2.3.2 Répartition annuelle des débits

Le débit module à la station 030420 (rivière aux Brochets) est de 6,93 m³/s, pour un bassin versant de 404 km² alors qu'il est de 4,77 m³/s à la station 030415 (rivière des Hurons) pour un bassin versant de 309 km².

Le tableau 2 présente les débits mensuels moyens. Les débits sont indiqués seulement au droit des stations hydrométriques, mais la répartition mensuelle des débits de tous les cours d'eau de la zone d'étude sera similaire.

Tableau 2 Moyennes des débits (en m³/s) mensuels aux stations 030420 et 030415.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Station 030420	7,79	5,32	15,50	18,70	6,48	4,10	2,46	1,61	1,87	4,69	7,87	6,79
Station 030415	3,41	3,25	12,05	13,61	3,67	2,22	1,77	1,31	1,30	3,34	5,64	4,65

Les figures 3 et 4 présentent les hydrogrammes moyens ainsi que les débits journaliers maximums et minimums aux stations 030420 et 030415 respectivement.

2.3.3 Date de la crue printanière

Les plus fortes crues enregistrées aux stations hydrométriques 030420 (rivière aux Brochets) et 030415 (rivière des Hurons) surviennent principalement au printemps, malgré que plusieurs crues extrêmes sont aussi observables durant les mois de janvier et février et durant l'été et l'automne.

Les pointes annuelles ont été observées au printemps 13 années sur 21 sur la rivière aux Brochets, alors que sur la rivière des Hurons, ce rapport est de 22 années sur 29.

Les dates moyennes de la pointe de la crue printanière sont les suivantes :

- rivière aux Brochets : 24 mars
- rivière des Hurons : 25 mars

2.4 **Cotes d'inondation du lac Champlain**

Les cotes d'inondation du lac Champlain, telles que fournies par le Centre d'expertise hydrique du Québec, sont les suivantes :

- récurrence de 2 ans : 30,42 m;
- récurrence de 20 ans : 30,94 m;
- récurrence de 100 ans : 31,09 m.

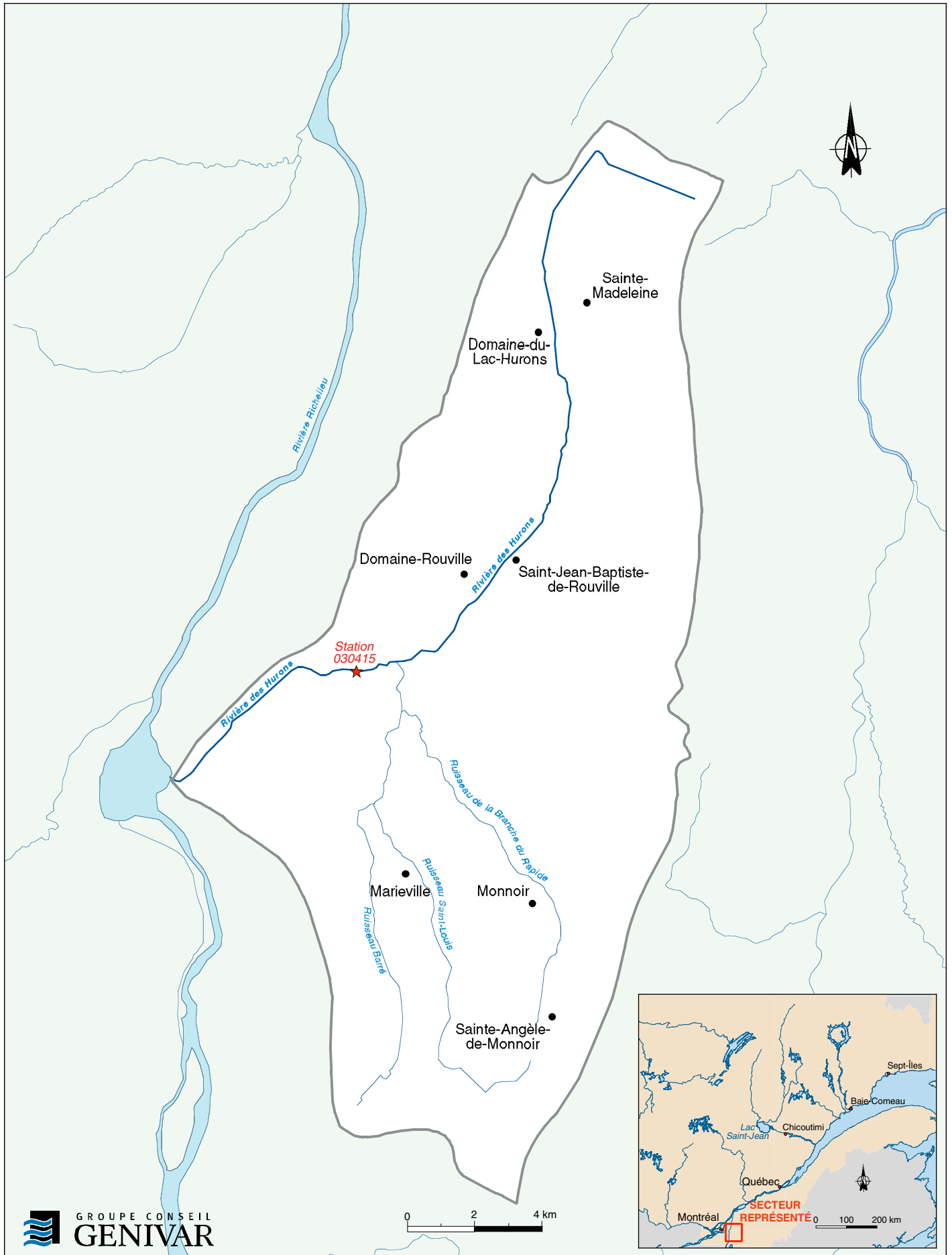


Figure 2 Bassin versant de la rivière des Hurons.

Figure 3 Hydrogrammes moyen, minimal et maximal à la station 030420 (rivière aux Brochets)

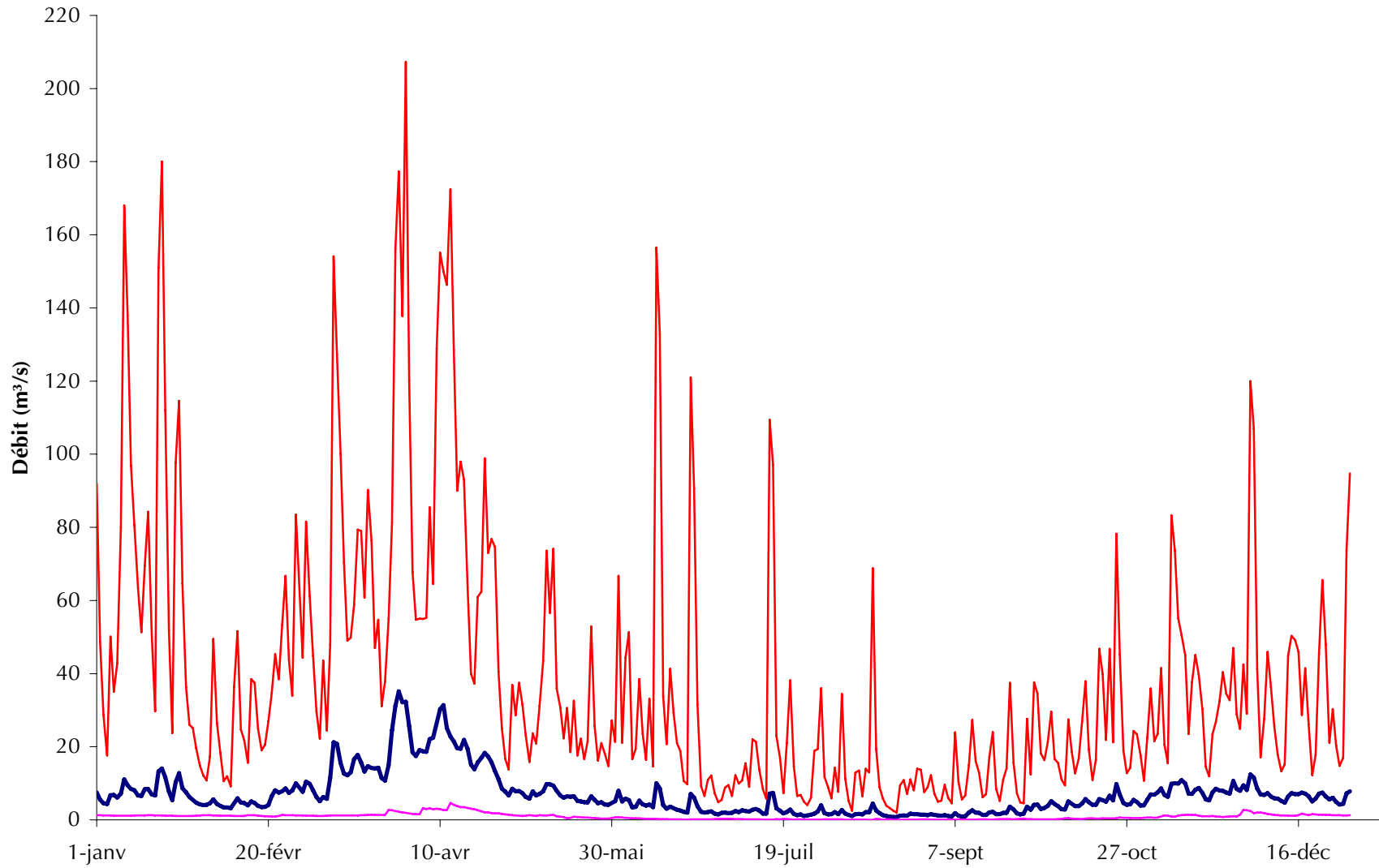
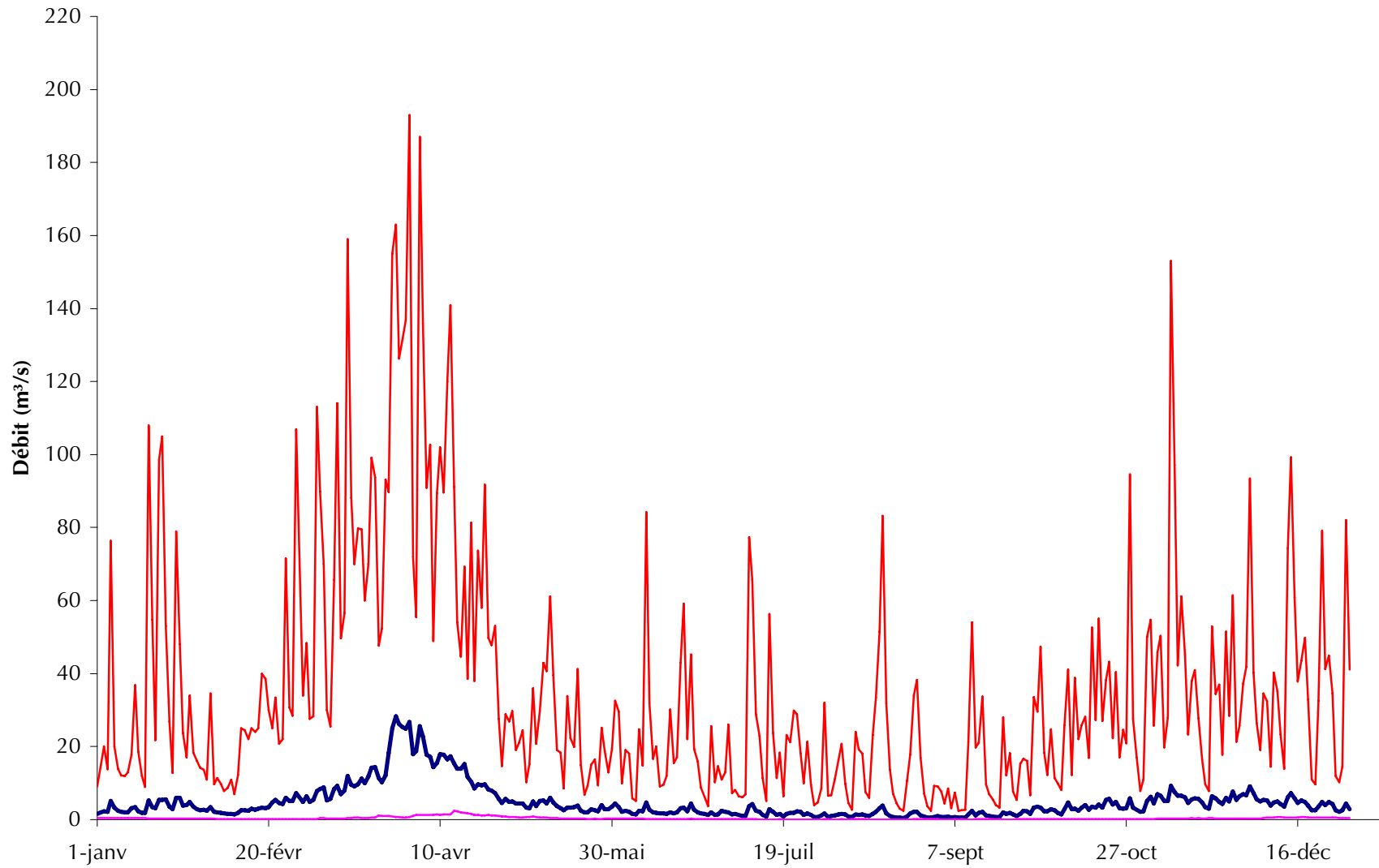


Figure 4 Hydrogrammes moyen, minimal et maximal à la station 030415 (rivière des Hurons)



3 ÉVALUATION DES CRUES PAR ANALYSE DE FRÉQUENCE

La rivière aux Brochets et le ruisseau de la Barbotte présentant chacun une superficie supérieure à 25 km², les débits et les volumes de crues de ces cours d'eau ont été évalués par le biais d'une analyse de fréquence.

3.1 Données utilisées

Une station hydrométrique est en fonction sur la rivière aux Brochets depuis 1979. Le bassin versant associé à cette station couvre 404 km². Les données recueillies peuvent être transposées plus en aval du même bassin versant, au site du futur pont de l'autoroute 35, au droit duquel le bassin drainé est de 614 km².

Il n'existe aucune station hydrométrique sur le ruisseau de la Barbotte. Les stations les plus rapprochées sont celles de la rivière aux Brochets (404 km²) et de la rivière des Hurons (309 km²).

En raison des caractéristiques du territoire drainé, les données de la station de la rivière des Hurons sont plus appropriées pour être transposées au ruisseau de la Barbotte, malgré que la différence de superficie entre ces deux bassins versants excède le maximum normalement admis, soit un rapport de deux.

3.2 Analyse de fréquence des débits de crues

3.2.1 Débits de crue de la station 030420 (rivière aux Brochets)

Un échantillon de 21 crues maximales annuelles a été constitué à partir des débits de la station 030420 (rivière aux Brochets), couvrant la période de 1982 à 2002. L'échantillon est présenté à l'annexe 2 et le tableau 3 en résume les caractéristiques.

Tableau 3 Caractéristiques de l'échantillon des débits de crues annuelles à la station 030420 (rivière aux Brochets).

Caractéristique	Échantillon
Taille de l'échantillon :	21 observations
Débit de crue moyen :	103,7 m ³ /s
Écart type :	45,14 m ³ /s
Coefficient d'asymétrie :	0,766
Coefficient de variation :	0,435
Crue minimale :	40,0 m ³ /s
Crue maximale :	207,3 m ³ /s

Les lois de distribution de fréquence appliquées à l'échantillon sont les lois normale, Log-normale, Log-normale à trois paramètres, Pearson de type III et Log-Pearson de type III. Parmi celles-ci, le meilleur ajustement sur cet échantillon a été obtenu à l'aide de la loi Lognormale à trois paramètres dont les paramètres ont été déterminés à l'aide de la méthode des moments. Cet ajustement satisfait aux tests d'adéquation, au niveau de signification de 95%, du Khi-carré et de Shapiro-Wilk. Le tableau 4 présente les résultats de l'ajustement.

Tableau 4 Débits de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030420 (rivière aux Brochets).

Période de retour de la crue (ans)	Débit (m ³ /s)	Intervalle de confiance au niveau de 95 %	
		Limite inférieure (m ³ /s)	Limite supérieure (m ³ /s)
2	98,3	77,1	120
5	139	112	165
10	163	128	198
20	186	137	234
25	193	139	246
50	214	142	285
100	234	-----	-----

3.2.2 Débits de crue de la station 030415 (rivière des Hurons)

Un échantillon de 29 crues maximales annuelles a été constitué à partir des débits de la station 030415 (rivière des Hurons), couvrant la période de 1974 à 2002. L'échantillon est présenté à l'annexe 2 et le tableau 5 en résume les caractéristiques.

Tableau 5 Caractéristiques de l'échantillon des débits de crues annuelles à la station 030415 (rivière des Hurons).

Caractéristique	Échantillon
Taille de l'échantillon :	29 observations
Débit de crue moyen :	103,8 m ³ /s
Écart type :	40,18 m ³ /s
Coefficient d'asymétrie :	0,843
Coefficient de variation :	0,387
Crue minimale :	47,0 m ³ /s
Crue maximale :	193,0 m ³ /s

Les lois de distributions de fréquence appliquées à l'échantillon sont les lois normale, Log-normale, Log-normale à trois paramètres, Pearson de type III et Log-Pearson de type III. Le meilleur ajustement sur cet échantillon a été obtenu à l'aide de la loi Lognormale à trois paramètres dont les paramètres ont été déterminés à l'aide de la méthode des moments. Cet ajustement satisfait aux tests d'adéquation, au niveau de signification de 95%, du Khi-carré et de Shapiro-Wilk. Le tableau 6 présente les résultats de l'ajustement.

Tableau 6 Débits de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030415 (rivière des Hurons).

Période de retour de la crue (ans)	Débit (m ³ /s)	Intervalle de confiance au niveau de 95 %	
		Limite inférieure (m ³ /s)	Limite supérieure (m ³ /s)
2	98,6	82,4	115
5	135	114	155
10	157	130	184
20	177	139	215
25	184	142	226
50	203	146	260
100	222	147	296

3.3 Analyse de fréquence des volumes de crues

3.3.1 Volume des crues de la station 030420 (rivière aux Brochets)

Les volumes des crues annuelles enregistrées à la station 030420 ont été évalués sur une période de 20 ans. L'année 2000 a été retirée de l'échantillon puisque la crue printanière semble résulter d'une longue série d'événements pluvieux. L'échantillon de ces volumes de crues ayant servi de base à l'analyse de fréquence des volumes de crues annuelles est présenté à l'annexe 3. Le tableau 7 décrit les caractéristiques de cet échantillon.

Le volume des crues annuelles a été déterminé à partir des hydrogrammes de débit journaliers de chaque année, en y identifiant la plus forte crue en terme de volume et les dates de début et de fin de cette crue et en multipliant le temps par le débit moyen de chaque journée.

Tableau 7 Caractéristiques de l'échantillon des volumes de crues annuelles à la station 030420 (rivière aux Brochets).

Caractéristique	Échantillon
Taille de l'échantillon :	20 observations
Volume de crue moyen :	79,06 millions m ³
Écart type :	40,44 millions m ³
Coefficient d'asymétrie :	0,160
Coefficient de variation :	0,512
Crue minimale :	5,163 millions m ³
Crue maximale :	155,6 millions m ³

Les lois de distributions de fréquence appliquées sont les lois, générale des valeurs extrêmes (GEV), Log-normale à trois paramètres, Pearson de type III et Log-Pearson de type III. Le meilleur ajustement a été obtenu à l'aide de la loi Pearson de type III dont les paramètres ont été déterminés à l'aide de la méthode des moments. Cet ajustement s'avère de bonne qualité, étant accepté au niveau de signification de 95% au test du Khi-carré. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 8.

Tableau 8 Volumes de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030420 (rivière aux Brochets).

Période de retour de la crue (ans)	Volume (millions m ³)	Intervalle de confiance au niveau de 95 %	
		Limite inférieure (millions m ³)	Limite supérieure (millions m ³)
2	78,0	58,9	97,1
5	112,7	91,1	134,3
10	131,5	105,4	157,7
20	147,4	114,7	180,0
25	152,0	117,0	187,1
50	165,5	122,4	208,7
100	177,9	125,9	229,8

3.3.2 Volume des crues de la station 030415 (rivière des Hurons)

Les volumes des crues annuelles enregistrées à la station 030415 ont été évalués sur une période de 29 ans. L'échantillon de ces volumes de crues ayant servi de base à l'analyse de fréquence des volumes de crues annuelles est présenté à l'annexe 3. Le tableau 9 décrit les caractéristiques de cet échantillon.

Le volume des crues annuelles a été déterminé à partir des hydrogrammes de chaque année, en y identifiant la plus forte crue en terme de volume et les dates de début et de fin de cette crue et en multipliant le temps par le débit moyen de chaque journée.

Tableau 9 Caractéristiques de l'échantillon des volumes de crues annuelles à la station 030415 (rivière des Hurons).

Caractéristique	Échantillon
Taille de l'échantillon :	29 observations
Volume de crue moyen :	60,07 millions m ³
Écart type :	26,67 millions m ³
Coefficient d'asymétrie :	0,134
Coefficient de variation :	0,444
Crue minimale :	12,34 millions m ³
Crue maximale :	109,04 millions m ³

Les lois de distributions de fréquence appliquées à l'échantillon sont les lois GEV, Log-normale à trois paramètres, Pearson de type III et Log-Pearson de type III. Le meilleur ajustement a été obtenu à l'aide de la loi Pearson de type III dont les paramètres ont été déterminés à l'aide de la méthode des moments. Cet ajustement s'avère de bonne qualité, étant accepté au niveau de signification de 95 % au test du Khi-carré. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 10.

Tableau 10 Volumes de crues annuelles et intervalles de confiance associés à différentes périodes de retour pour la station 030415 (rivière des Hurons).

Période de retour de la crue (ans)	Volume (millions m ³)	Intervalle de confiance au niveau de 95 %	
		Limite inférieure (millions m ³)	Limite supérieure (millions m ³)
2	59,5	49,0	69,9
5	82,3	70,6	94,1
10	94,6	80,4	109,0
20	104,9	87,3	123,0
25	108,0	89,1	127,0
50	116,7	93,5	140,0
100	124,7	96,8	153,0

3.4 Choix des hydrogrammes de crue types

3.4.1 Méthodologie

Dans le but d'établir des hydrogrammes de crues pouvant servir à des études de laminage en rivière, deux à trois hydrogrammes historiques ont été sélectionnés. Les débits journaliers de ces hydrogrammes ont ensuite été multipliés par un coefficient constant afin de reproduire les débits et volumes de pointe de période de retour de 50 et 100 ans.

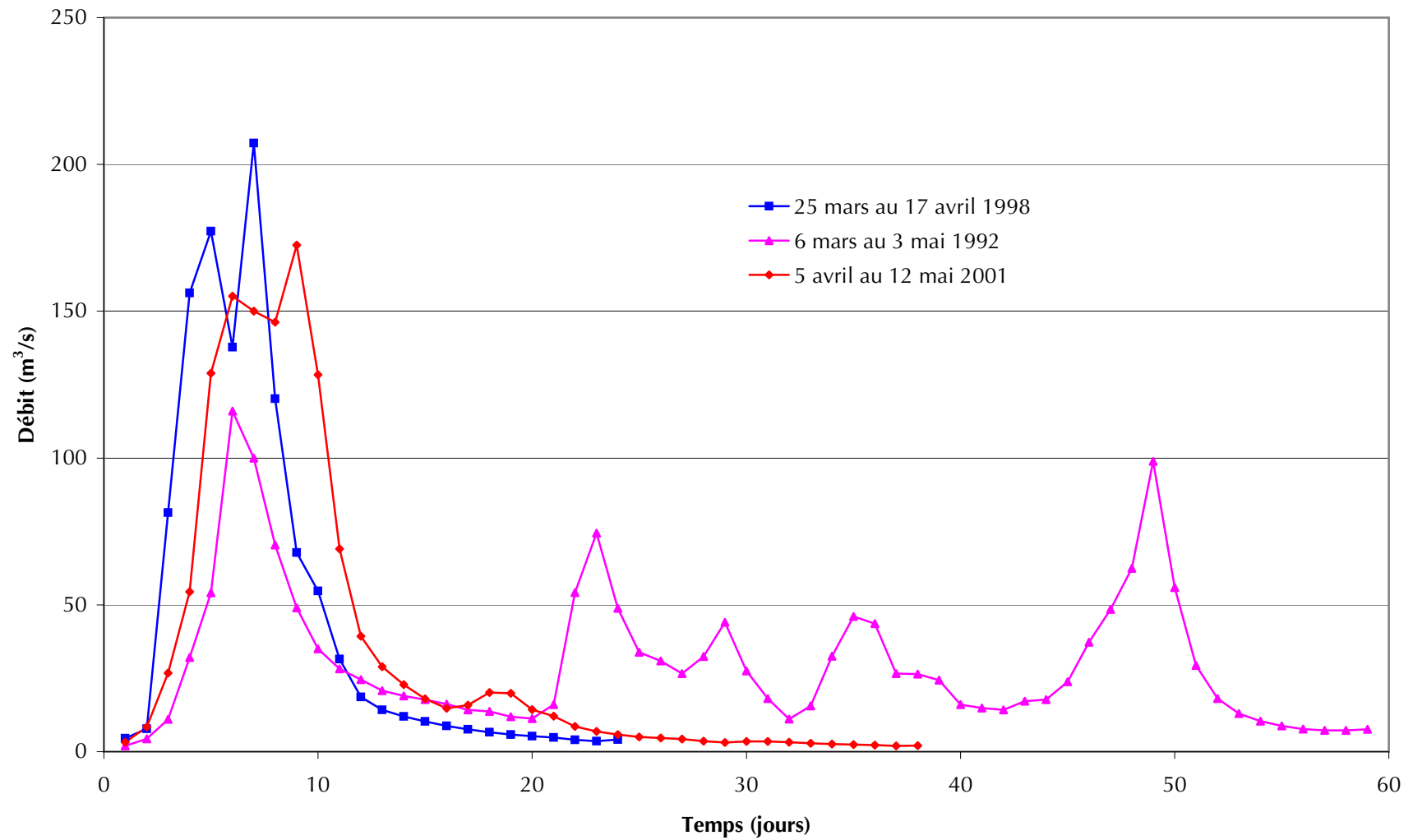
3.4.2 Hydrogrammes de crue types de la station 030420 (rivière aux Brochets)

La forme des hydrogrammes types est celle des crues les plus fortes, en terme de débit de pointe et de volume, enregistrées à la station 030420. Le tableau 11 présente l'origine et les caractéristiques des hydrogrammes historiques, ainsi que les transformations qui seront effectuées. La figure 5 illustre les hydrogrammes historiques à la station 030420.

Tableau 11 Origine des hydrogrammes de crues types de la station 030420 (rivière aux Brochets).

Cas	Caractéristiques de l'hydrogramme choisi de la station 030420	Hydrogrammes choisis de la station 030420	Majoration effectuée sur l'hydrogramme de la station 030420 pour obtenir l'hydrogramme de crue extrême
		Crues annuelles	
1	Plus fort débit de pointe	25 mars au 17 avril 1998	L'hydrogramme est majoré par un facteur constant pour obtenir le débit de pointe de l'analyse statistique
2	Plus fort volume de crue	6 mars au 3 mai 1992	L'hydrogramme est majoré par un facteur constant pour obtenir le volume de l'analyse statistique
3	Plus forts débit et volume combinés	5 avril au 12 mai 2001	L'hydrogramme est majoré par un facteur constant pour obtenir le débit de pointe de l'analyse statistique
4	Plus forts débit et volume combinés	5 avril au 12 mai 2001	L'hydrogramme est majoré par un facteur constant pour obtenir le volume de l'analyse statistique

Figure 5 Hydrogrammes de crues historiques à la station 030420 (rivière aux Brochets)



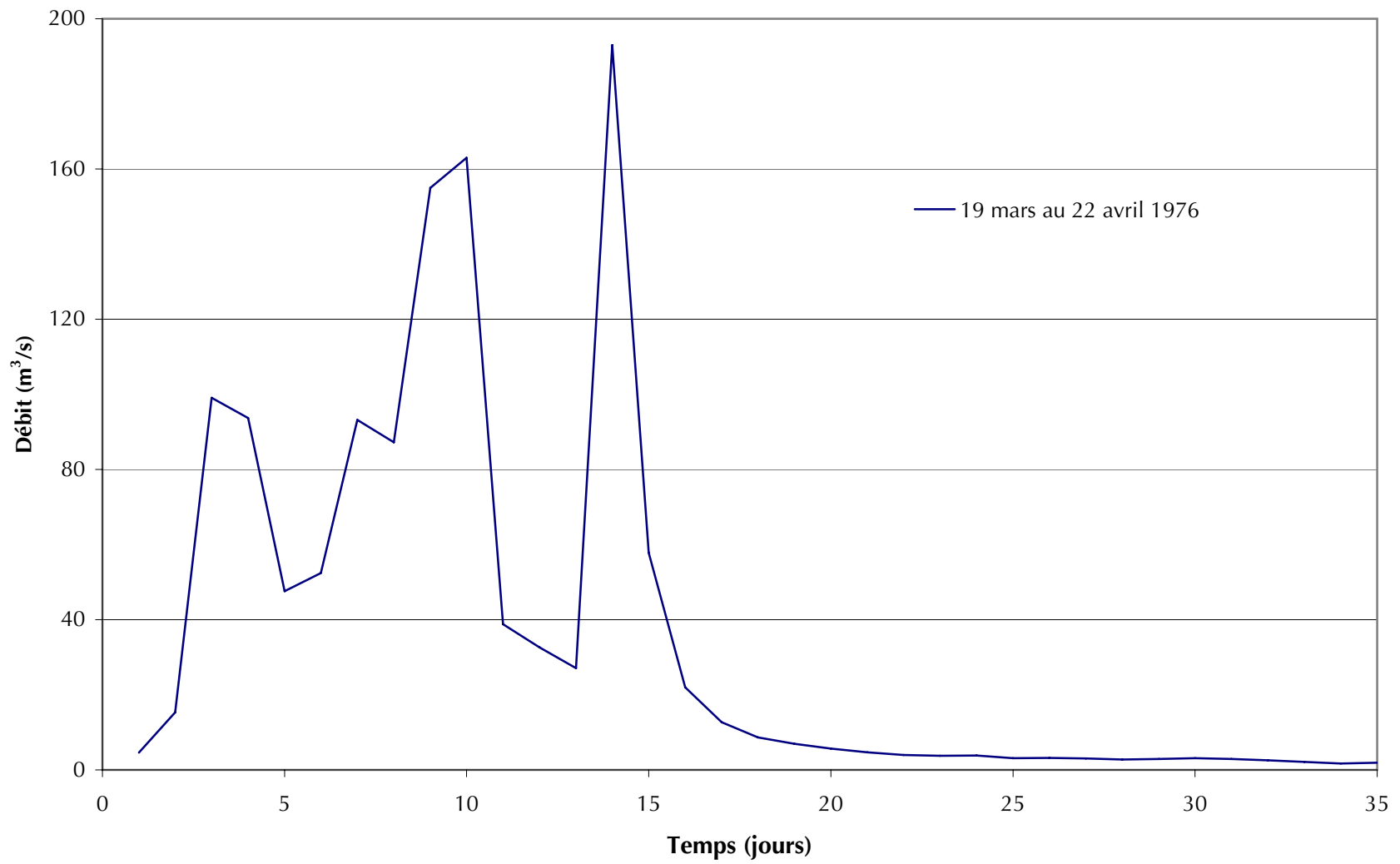
3.4.3 Hydrogrammes de crue types de la station 030415 (rivière des Hurons)

La forme de l'hydrogramme type est celle de la crue la plus forte en terme de débit de pointe et de volume enregistrés à la station 030415. Le tableau 12 présente l'origine et les caractéristiques de l'hydrogramme historique utilisé ainsi que les transformations qui seront effectuées. La figure 6 illustre l'hydrogramme historique à la station 030415.

Tableau 12 Origine de l'hydrogramme de crues type de la station 030415 (rivière des Hurons).

Cas	Caractéristiques de l'hydrogramme choisi de la station 030415	Hydrogramme choisi de la station 030415	Majoration effectuée sur l'hydrogramme de la station 030415 pour obtenir l'hydrogramme de crue extrême
		Crues annuelles	
1	Plus fort débit de pointe	19 mars au 22 avril 1976	L'hydrogramme majoré par un facteur constant pour obtenir le débit de pointe de l'analyse statistique
2	Plus fort volume de crue	19 mars au 22 avril 1976	L'hydrogramme majoré par un facteur constant pour obtenir le volume de l'analyse statistique

Figure 6 Hydrogramme de crue historique à la station 030415 (rivière des Hurons)



3.5 Caractéristiques des crues au droit du tracé de l'autoroute 35

3.5.1 Méthode de transposition des débits et des volumes

Les données de débit disponibles pour évaluer les débits moyens et les crues extrêmes se situant loin des sites à l'étude, il est nécessaire de transposer les crues évaluées aux stations de jaugeage en tenant compte du rapport des bassins versant du site à l'étude et de la station. À cette fin, l'équation suivante a été utilisée pour la transposition des débits :

$$Q_{\text{non-jaugé}} = Q_{\text{jaugé}} * (\text{Aire}_{\text{bassin non-jaugé}} / \text{Aire}_{\text{bassin jaugé}})^n$$

L'exposant « n », tel que recommandé par le CNRC (1990), doit se situer entre 0,6 et 0,9. Comme aucune station de mesure n'est disponible à proximité de celles considérées, cet exposant ne peut être calculé. Cependant, Hoang (1977) recommande d'utiliser une valeur de 0,9 pour les rivières du Québec.

Pour la transposition des volumes de crue, la même équation est utilisée en remplaçant les débits par les volumes.

3.5.2 Débits de crues transposés au droit du tracé de l'autoroute 35

Les débits de crues calculés par analyse de fréquence des données des stations 030420 et 030415 ont été transposés à la rivière aux Brochets et au ruisseau de la Barbotte au droit du tracé projeté du prolongement de l'autoroute 35. Les résultats de cette transposition sont présentés au tableau 13.

Tableau 13 Débits de crues de la rivière aux Brochets et du ruisseau de la Barbotte au droit du tracé projeté de l'autoroute 35.

Période de retour de la crue (ans)	Rivière aux Brochets (614 km ²)	Ruisseau de la Barbotte (51 km ²)
	Débits transposés de la station 030420 (rivière aux Brochets) (m ³ /s)	Débits transposés de la station 030415 (rivière des Hurons) (m ³ /s)
2	143,2	19,6
5	202,0	26,8
10	237,9	31,2
20	270,7	35,3
25	280,8	36,6
50	311,2	40,4
100	340,6	44,1

3.5.3 Volume de crues transposés au droit du tracé de l'autoroute 35

Les volumes de crues calculés par analyse de fréquence des données des stations 030420 et 030415 ont été transposés à la rivière aux Brochets et au ruisseau de la Barbotte au droit du tracé projeté du prolongement de l'autoroute 35. Les résultats de cette transposition sont présentés au tableau 14.

Tableau 14 Volumes de crues de la rivière aux Brochets et du ruisseau de la Barbotte au droit du tracé projeté de l'autoroute 35.

Période de retour de la crue (ans)	Rivière aux Brochets (614 km ²)	Ruisseau de la Barbotte (51 km ²)
	Volumes transposés de la station 030420 (rivière aux Brochets) (million m ³)	Volumes transposés de la station 030415 (rivière des Hurons) (millions m ³)
2	113,6	11,8
5	164,3	16,4
10	191,6	18,8
20	214,7	20,9
25	221,5	21,5
50	241,2	23,2
100	259,1	24,8

3.5.4 Hydrogrammes types des crues au droit du tracé de l'autoroute 35

Les tableaux 15 et 16 présentent respectivement les principales caractéristiques des hydrogrammes majorés, en fonction de la pointe et du volume de crues extrêmes, transposés au droit du tracé de l'autoroute 35, pour la rivière aux Brochets et pour le ruisseau de la Barbotte. Ces hydrogrammes sous forme de tableau sont présentés à l'annexe 4.

Les figures 7 et 8 illustrent les hydrogrammes de crues de la rivière aux Brochets au droit du tracé de l'autoroute 35 pour respectivement les périodes de récurrence de 50 et 100 ans.

Les figures 9 et 10 illustrent les hydrogrammes de crues du ruisseau de la Barbotte au droit du tracé de l'autoroute 35, pour respectivement les périodes de récurrence de 50 et 100 ans.

Tableau 15 Principales caractéristiques des hydrogrammes de crues transposés de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35.

Crue	Cas	Débit de pointe de la crue (m³/s)	Volume de la crue (millions m³)	Durée de la crue (jours)
Annuelle 1/50 ans	1	311,2	149,5	24
	2	179,8	241,2	59
	3	311,2	205,1	38
	4	366,0	241,2	38
Annuelle 1/100 ans	1	340,6	163,6	24
	2	193,2	259,1	59
	3	340,6	224,5	38
	4	393,2	259,1	38

Tableau 16 Principales caractéristiques des hydrogrammes de crues du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35.

Crue	Cas	Débit de pointe de la crue (m³/s)	Volume de la crue (millions m³)	Durée de la crue (jours)
Annuelle	1	40,4	22,8	35
1/50 ans	2	41,1	23,2	35
Annuelle	1	44,1	24,9	35
1/100 ans	2	43,9	24,8	35

**Figure 7 Hydrogrammes de crues de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35
(Récurrence 1/50 ans)**

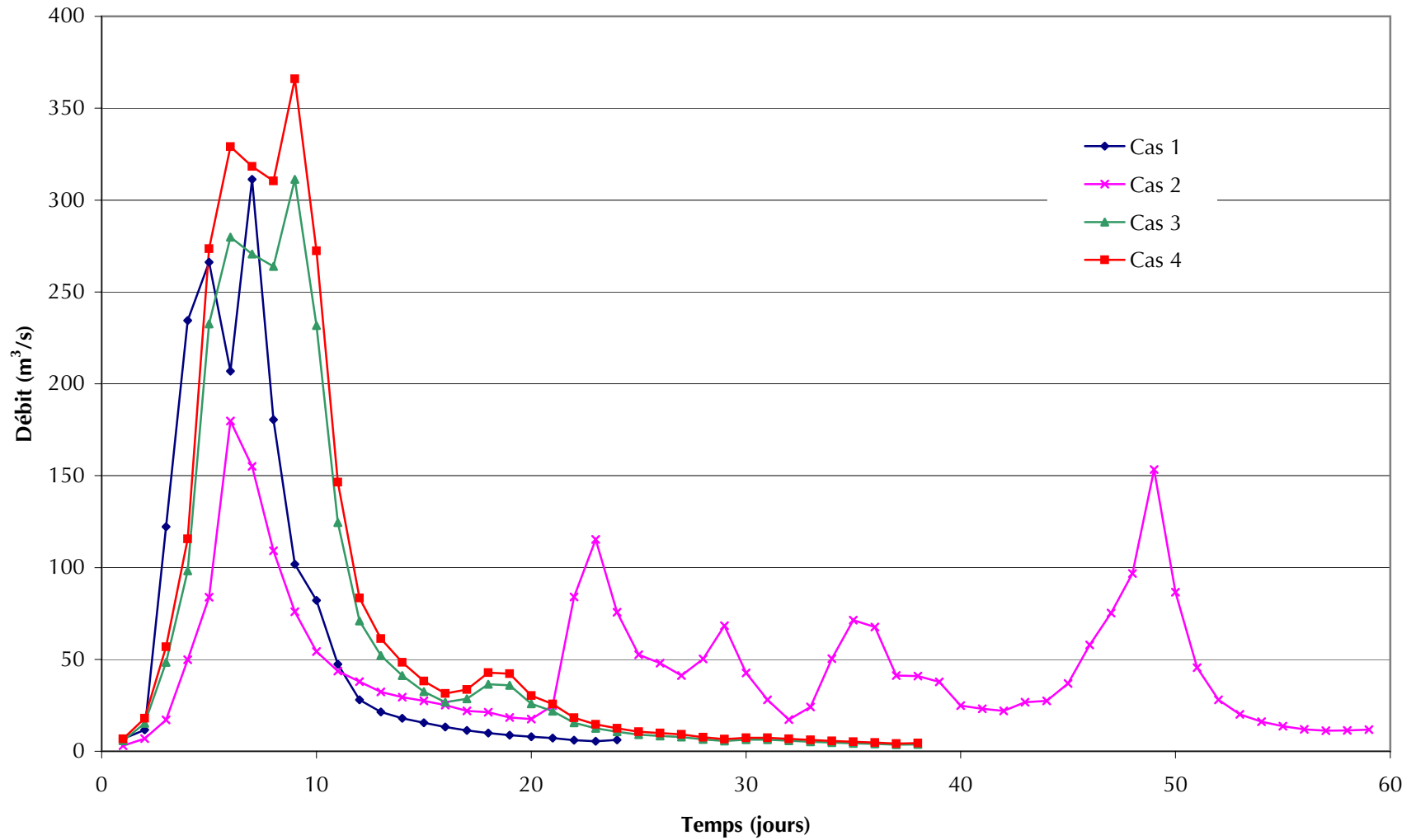
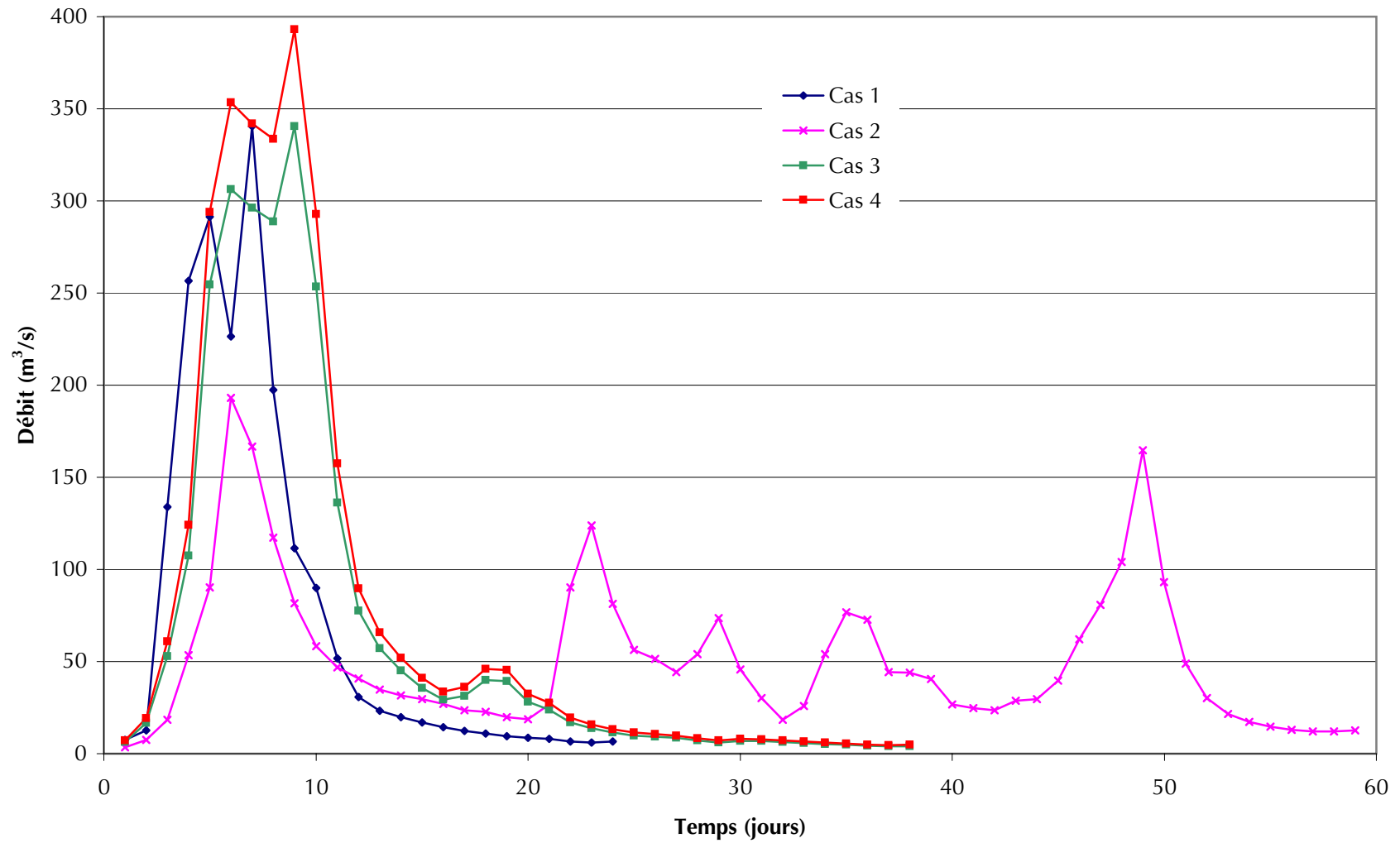


Figure 8 Hydrogrammes de crues de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35
(Récurrence 1/100 ans)



**Figure 9 Hydrogrammes de crues du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35
(Récurrence 1/50 ans)**

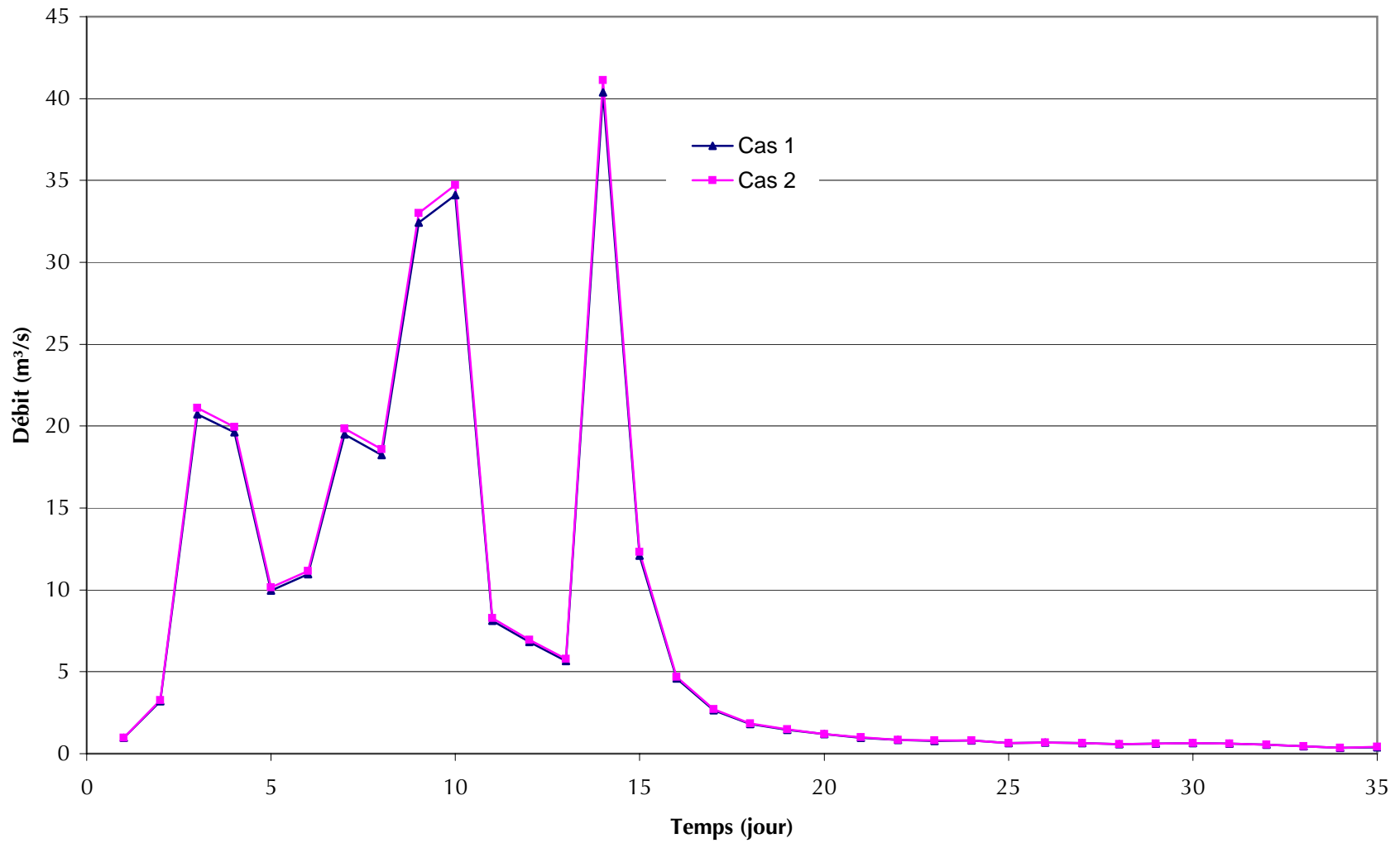
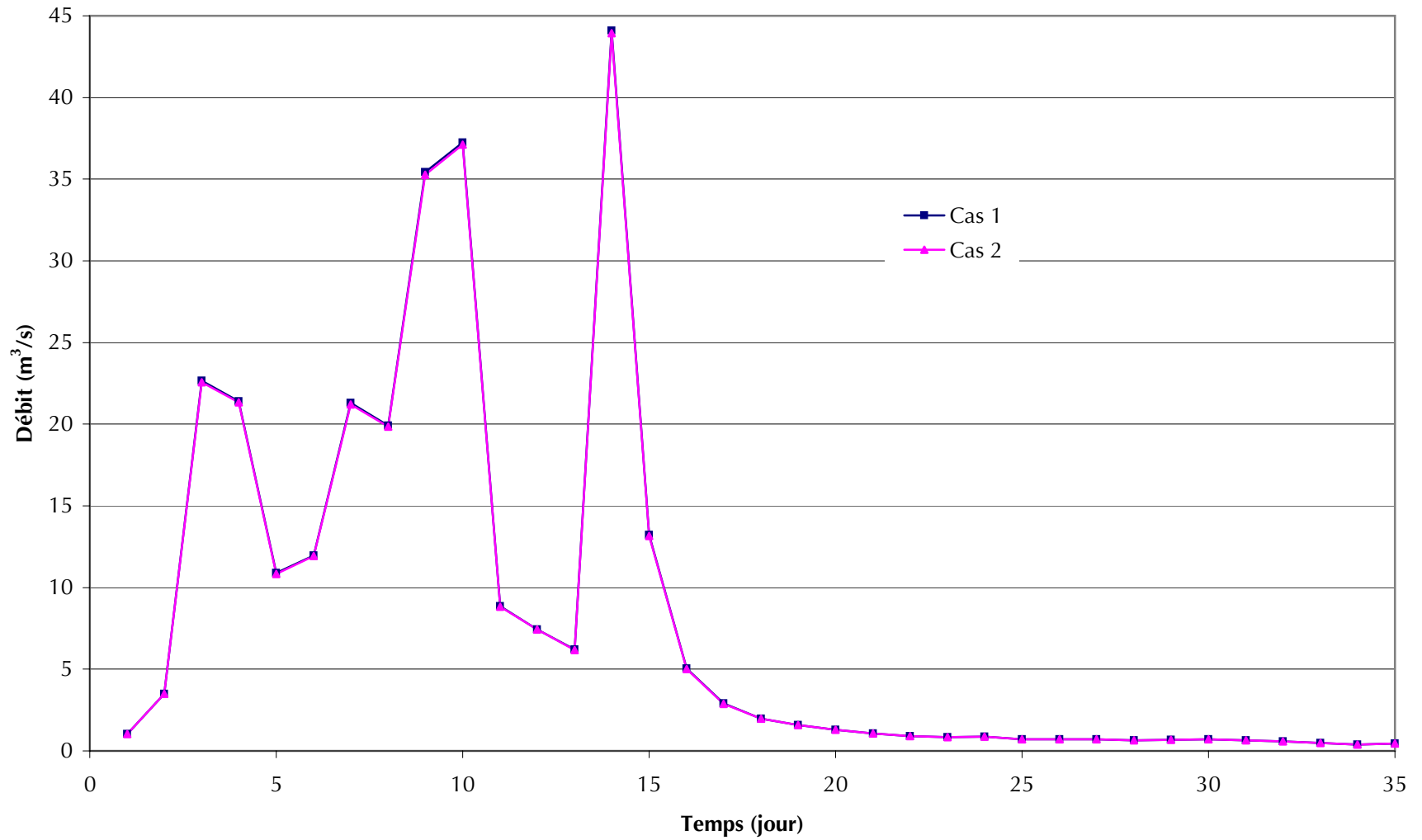


Figure 10 Hydrogrammes de crues du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35
(Récurrence 1/100 ans)



4 ÉVALUATION DES DÉBITS DE CRUES PAR LA MÉTHODE RATIONNELLE

La méthode rationnelle a été appliquée conformément au *Manuel de conception des ponceaux* rédigé par le ministère des Transports du Québec. Tous les coefficients utilisés sont tirés de ce document.

4.1 Utilisation et caractéristiques du sol

La caractérisation du sol et du coefficient de ruissellement de chaque bassin versant a été établie en mesurant la superficie de chaque portion du bassin versant présentant une combinaison d'utilisation et de type de sol distincte.

À cette fin, les informations utilisées proviennent des sources suivantes :

- les cartes topographiques à l'échelle 1 : 20 000, sur lesquelles peuvent être identifiées les zones boisées, les zones de culture, les lacs et marécages, les carrières et les zones urbaines (cartes du ministère des Ressources naturelles numéro 31H-03-102, 31H-03-202 et 31H-06-102);
- les cartes de dépôts de surface, à l'échelle 1 : 50 000, produites par le ministère des Forêts, Service des inventaires forestiers (1995, 1999, feuillets 31H-3 et 31H-6).

La proportion consacrée aux pâturages dans chaque zone de cultures a été établie à partir du recensement agricole 2001 de Statistiques Canada pour certaines municipalité ou M.R.C. Le tableau 17 présente ces données.

Tableau 17 Données du recensement agricole de 2001 sur l'utilisation des sols cultivés.

Territoire	Total des cultures (ha)	Foin et pâturage (%)	Autres cultures (%)
M.R.C. Brome-Missisquoi	45 865	49	51
Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River	4 229	22	78
M.R.C. Le haut Richelieu	65 565	15	85
Saint-Sébastien	5 300	9	91
Saint-Alexandre	5 833	23	77
Sainte-Anne-de-Sabrevois	3096	19	81

4.2 Caractéristiques des bassins versants

Les caractéristiques des bassins versants utilisées pour l'application de la méthode rationnelle sont présentées au tableau 18. Ces paramètres ont été établis en suivant les recommandations du *Manuel de conception des ponceaux*.

La pente « 85-10 » de l'ensemble des bassins versants est faible, n'excédant pas 0,65 %, ce qui est représentatif de la topographie de l'ensemble du territoire concerné. Les coefficients de ruissellement sont également relativement faibles et se situent entre 0,23 et 0,37, les valeurs les plus élevées étant associées aux bassins possédant une forte proportion de terres cultivées.

Les temps de concentration ont été déterminés suivant les équations proposées dans le *Manuel de conception des ponceaux*. Les équations sont les suivantes.

- Les coefficients de ruissellement étant inférieurs à 0,4, l'équation suivante est utilisée :

$$T_c = \frac{3,26 (1,1 - C_p) L_c^{0,5}}{S_c^{0,33}}$$

Où : T_c = temps de concentration (min)
 C_p = coefficient de ruissellement
 L_c = longueur du cours d'eau (m)
 S_c = pente 85-10 du cours d'eau (%)

- De plus, les coefficient de ruissellement étant compris entre 0,20 et 0,40, la pente minimale des cours d'eau à considérer est de 0,5 %.

Les temps de concentration sont tous supérieurs à une heure et par conséquent les facteurs de correction sur la pluie sont tous inférieurs à 1.

Tableau 18 Paramètres des bassins versants pour l'application de la méthode rationnelle.

Cours d'eau	Superficie (km ²)	Longueur du bassin versant (m)	Pente 85-10 (%)	Coefficient de ruisselle-ment	Temps de concentration (min)	Correction sur l'intensité de la pluie
Ruisseau Arcand	3,80	2 734	0,59	0,3336	160,44	0,51
Ruisseau Chartier (aval)	18,67	12 635	0,13	0,3250	356,96	0,29
Ruisseau Léandre-Beaudoin	2,20	2 066	0,45	0,3163	145,97	0,54
Ruisseau Chartier (amont)	10,61	7 237	0,10	0,3148	273,73	0,35
Ruisseau Lalanne	3,24	2 634	0,20	0,3155	164,99	0,50
Ruisseau Martel	7,69	7 922	0,18	0,2972	292,80	0,33
Décharge Lacroix	7,83	5 855	0,22	0,3237	243,40	0,38
Ruisseau Léo-Méthé	3,48	2 894	0,40	0,3327	169,15	0,49
Ruisseau Méthé-Fournier	2,35	2 880	0,44	0,3117	173,37	0,48
Ruisseau Smith-Bonneville	1,15	2 228	0,25	0,3429	146,44	0,54
Ruisseau Comeau-Lecompte (est)	0,46	807	0,25	0,3066	92,37	0,74
Ruisseau Comeau-Lecompte (ouest)	0,30	990	0,20	0,2989	103,29	0,69
Ruisseau Phoenix-Campbell (amont)	0,51	1 261	0,21	0,2844	118,68	0,62
Ruisseau Phoenix-Campbell (centre)	1,14	2 175	0,23	0,2902	154,76	0,52
Ruisseau Phoenix-Campbell (aval)	1,62	2 545	0,18	0,3179	161,67	0,50
Ruisseau Black	4,09	5 198	0,10	0,3630	217,73	0,41
Ruisseau Bélanger	3,10	4 932	0,20	0,3641	211,77	0,42
Ruisseau Tippins	0,67	1 434	0,28	0,3542	115,74	0,63
Ruisseau Desrorleau	0,32	1 218	0,22	0,3675	104,76	0,68
Ruisseau Bellefroid-Archambault	0,33	825	0,65	0,3152	84,86	0,79
Cours d'eau Edwin	1,48	2 820	0,57	0,3244	158,68	0,51
Ruisseau Louis-Rochelleau	3,60	4 788	0,51	0,2338	241,07	0,38

4.3 Intensité de précipitation

L'intensité de la précipitation d'une durée d'une heure pour la région à l'étude provient de l'*Atlas de la fréquence de pluies au Canada*, les données sur les pluies de courte durée n'étant disponibles pour aucune des stations situées à moins de 40 km de la zone d'étude. La moyenne de ces pluies qui est de 26 mm, avec un écart-type de 10 mm, a été utilisée.

4.4 Calcul des débits

Les débits de pointe des crues extrêmes, calculés pour chaque cours d'eau verbalisé au droit du tracé projeté du prolongement de l'autoroute 35, sont présentés au tableau 19. L'équation qui permet de déterminer le débit est :

$$Q = \frac{C_p * (I * F_i) * A}{360}$$

Où: Q est le débit (m³/s)
Cp est le coefficient de ruissellement
I est l'intensité de précipitation (mm/h)
Fi est le coefficient de correction sur l'intensité
A est la superficie du bassin versant (ha)

Tableau 19 Débits de pointe des crues calculés par la méthode rationnelle.

Cours d'eau	Période de récurrence de la pluie (ans)						
	2	5	10	20	25	50	100
Ruisseau Arcand	4,34	5,91	6,95	7,95	8,27	9,24	10,21
Ruisseau Chartier (aval)	11,93	16,25	19,12	21,87	22,74	25,43	28,09
Ruisseau Léandre-Beaudoin	2,55	3,47	4,08	4,67	4,86	5,43	6,00
Ruisseau Chartier (amont)	7,90	10,76	12,66	14,48	15,06	16,83	18,60
Ruisseau Lalanne	3,43	4,67	5,50	6,29	6,54	7,31	8,08
Ruisseau Martel	5,16	7,02	8,26	9,45	9,83	10,99	12,14
Décharge Lacroix	6,50	8,86	10,4	11,92	12,40	13,86	15,31
Ruisseau Léo-Méthé	3,82	5,20	6,12	7,0	7,28	8,14	9,00
Ruisseau Méthé-Fournier	2,38	3,24	3,81	4,36	4,53	5,07	5,60
Ruisseau Smith-Bonneville	1,44	1,96	2,31	2,64	2,75	3,07	3,40
Ruisseau Comeau-Lecompte (est)	0,71	0,97	1,14	1,30	1,35	1,51	1,67
Ruisseau Comeau-Lecompte (ouest)	0,42	0,57	0,67	0,77	0,80	0,89	0,99
Ruisseau Phoenix-Campbell (amont)	0,61	0,84	0,98	1,13	1,17	1,31	1,45
Ruisseau Phoenix-Campbell (centre)	1,16	1,58	1,86	2,13	2,21	2,48	2,74
Ruisseau Phoenix-Campbell (aval)	1,75	2,39	2,81	3,22	3,35	3,74	4,13
Ruisseau Black	4,11	5,61	6,60	7,54	7,84	8,77	9,69
Ruisseau Bélanger	3,19	4,34	5,11	5,84	6,08	6,79	7,51
Ruisseau Tippins	1,02	1,39	1,64	1,87	1,94	2,17	2,40
Ruisseau Desrorleau	0,54	0,73	0,86	0,98	1,02	1,15	1,27
Ruisseau Bellefroid-Archambault	0,55	0,75	0,88	1,01	1,05	1,18	1,30
Cours d'eau Edwin	1,66	2,26	2,66	3,04	3,163	3,53	3,91
Ruisseau Louis-Rochelleau	2,17	2,96	3,48	3,99	4,14	4,63	5,12

CONCLUSION

Le présent document visait à effectuer une caractérisation hydrologique de la zone d'étude du prolongement de l'autoroute 35. À cette étape-ci du projet, la caractérisation hydrologique vise l'état actuel du territoire.

Un total de 20 cours d'eau verbalisés et une rivière seront traversés par le prolongement de l'autoroute 35. Les crues ont été évaluées au droit de chacune de traversée des cours d'eau prévues. De plus, le régime des crues de la région a été étudié à partir des données hydrométriques disponibles dans la région.

La mise en place du remblai de l'autoroute occasionnera des modifications locales au bassin de drainage. Ces modifications seront locales dans la mesure où un ponceau sera installé sur chaque cours d'eau au droit du remblai de l'autoroute.

ANNEXE 1

Délimitation des bassins versants actuels au droit
du tracé projeté du prolongement de l'autoroute 35

ANNEXE 2

Échantillons des débits de crues annuelles

Tableau 2.1 Échantillon des maxima annuels de la station 030420
(rivière aux Brochets).

Année	Débit	Date
1982	64,0	1 ^{er} avril
1983	54,0	20 mars
1984	54,7	23 mars
1985	57,7	29 mars
1986	90,2	20 mars
1987	59,0	27 mars
1988	40,0	26 mars
1989	120,0	29 mars
1990	94,8	31 décembre
1991	92,1	1 ^{er} janvier
1992	116,0	11 mars
1993	121,0	22 juin
1994	106,0	11 avril
1995	84,3	16 janvier
1996	180,0	20 janvier
1997	109,4	15 juillet
1998	207,3	31 mars
1999	114,6	25 janvier
2000	83,5	10 mars
2001	172,5	13 avril
2002	156,5	12 juin

Tableau 2.2 Échantillon des maxima annuels de la station 030415
(rivière des Hurons).

Année	Débit	Date
1974	187,0	4 avril
1975	81,3	19 avril
1976	193,0	1 avril
1977	159,0	14 mars
1978	141,0	13 avril
1979	89,9	6 mars
1980	79,5	18 mars
1981	94,5	28 octobre
1982	180,0	1er avril
1983	99,2	14 décembre
1984	47,0	22 mars
1985	62,0	29 mars
1986	70,0	20 mars
1987	117,0	27 mars
1988	54,8	3 novembre
1989	83,8	28 mars
1990	86,7	4 avril
1991	69,1	28 mars
1992	114,0	11 mars
1993	91,7	23 avril
1994	66,7	4 avril
1995	108,0	16 janvier
1996	153,0	9 novembre
1997	102,7	7 avril
1998	136,8	31 mars
1999	78,89	24 janvier
2000	107,0	28 février
2001	101,9	10 avril
2002	55,64	30 mars

ANNEXE 3

Échantillons des volumes de crues annuelles

Tableau 3.1 Échantillon des volumes de crues annuelles enregistrés à la station 030420 (rivière aux Brochets).

Année	Volume (millions m ³)	Date de début de la crue	Date de fin de la crue	Rang
1982	72,72	13 mars	21 mai	11
1983	140,51	7 mars	19 juin	3
1984	17,86	19 mars	22 mai	19
1985	92,79	23 février	5 mai	8
1986	93,40	11 mars	7 mai	7
1987	36,64	21 mars	24 avril	18
1988	5,16	24 mars	13 mai	20
1989	81,65	25 mars	1 mai	10
1990	86,74	11 mars	5 mai	9
1991	53,96	24 mars	1 mai	15
1992	155,60	6 mars	3 mai	1
1993	141,64	25 mars	5 mai	2
1994	105,76	2 avril	15 mai	5
1995	61,45	7 mars	12 avril	14
1996	69,93	8 avril	10 mai	12
1997	62,57	26 mars	28 avril	13
1998	99,57	25 mars	17 avril	6
1999	40,50	16 septembre	14 novembre	17
2001	113,68	5 avril	12 mai	4
2002	49,05	10 juin	5 juillet	16

Tableau 3.2 Échantillon des volumes de crues annuelles enregistrés à la station 030415 (rivière des Hurons).

Année	Volume (millions m ³)	Date de début de la crue	Date de fin de la crue	Rang
1974	88,007	1 avril	22 mai	6
1975	39,455	6 avril	15 mai	22
1976	109,041	19 mars	22 avril	1
1977	48,902	6 mars	27 mars	20
1978	100,733	27 mars	9 mai	3
1979	69,578	3 mars	28 avril	11
1980	46,778	17 mars	18 mai	21
1981	18,921	18 octobre	6 novembre	28
1982	89,357	14 mars	6 mai	5
1983	86,386	3 novembre	29 décembre	7
1984	52,707	19 mars	22 mai	18
1985	56,806	10 mars	4 mai	16
1986	55,097	10 mars	6 mai	17
1987	63,298	23 mars	23 avril	12
1988	24,099	1 novembre	20 novembre	27
1989	49,664	25 mars	14 avril	19
1990	35,596	31 mars	6 mai	23
1991	58,479	24 mars	6 mai	14
1992	72,734	8 mars	15 mai	9
1993	105,575	18 mars	5 mai	2
1994	93,155	21 mars	15 mai	4
1995	28,726	7 mars	13 avril	26
1996	32,626	7 novembre	19 novembre	24
1997	83,651	26 mars	5 juin	8
1998	70,358	26 mars	17 avril	10
1999	12,341	22 octobre	13 novembre	29
2000	58,305	15 mars	6 mai	15
2001	61,277	3 avril	7 mai	13
2002	30,087	27 mars	28 avril	25

ANNEXE 4

Tableaux des hydrogrammes de crues de la rivière aux Brochets et du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35

Tableau 4.1 Hydrogrammes de crues majorés de récurrence 1/50 ans de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35

Jour	Débit (m ³ /s)			
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
1	6,80	3,08	5,75	6,76
2	11,67	6,85	15,21	17,89
3	122,24	17,05	48,32	56,82
4	234,51	49,76	98,26	115,55
5	266,19	83,86	232,57	273,48
6	206,89	179,80	279,84	329,07
7	311,23	155,00	270,64	318,25
8	180,46	109,12	263,96	310,40
9	101,81	75,95	311,23	365,99
10	82,18	54,25	231,66	272,42
11	47,38	43,71	124,53	146,44
12	28,02	37,98	70,96	83,45
13	21,33	32,24	52,18	61,36
14	18,02	29,45	41,19	48,44
15	15,46	27,44	32,44	38,15
16	13,16	25,11	26,70	31,40
17	11,39	22,01	28,60	33,63
18	9,91	21,24	36,41	42,82
19	8,70	18,45	35,89	42,20
20	7,96	17,52	25,80	30,34
21	7,23	24,80	21,80	25,63
22	6,07	84,01	15,56	18,30
23	5,42	115,32	12,51	14,71
24	6,13	75,64	10,57	12,43
25		52,55	9,01	10,59
26		47,90	8,39	9,87
27		41,23	7,77	9,13
28		50,22	6,49	7,63
29		68,36	5,64	6,63
30		42,63	6,28	7,38
31		28,06	6,25	7,35
32		17,21	5,77	6,78
33		24,18	5,22	6,14
34		50,38	4,75	5,59
35		71,30	4,34	5,10
36		67,58	3,97	4,67
37		41,23	3,59	4,22
38		40,92	3,79	4,46

Tableau 4.1 (suite) Hydrogrammes de crues majorés de récurrence 1/50 ans de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35.

Jour	Débit (m ³ /s)			
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
39		37,82		
40		24,80		
41		23,10		
42		22,01		
43		26,66		
44		27,44		
45		36,89		
46		57,82		
47		75,18		
48		96,72		
49		153,30		
50		86,65		
51		45,57		
52		28,06		
53		20,15		
54		16,12		
55		13,64		
56		11,92		
57		11,22		
58		11,28		
59		11,80		

Tableau 4.2 Hydrogrammes de crues majorés de récurrence 1/100 ans de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35.

Jour	Débit (m ³ /s)			
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
1	7,44	3,31	6,29	7,26
2	12,77	7,36	16,65	19,22
3	133,78	18,32	52,88	61,05
4	256,64	53,46	107,53	124,15
5	291,31	90,10	254,52	293,84
6	226,41	193,19	306,25	353,57
7	340,60	166,54	296,18	341,94
8	197,49	117,24	288,87	333,51
9	111,42	81,60	340,60	393,23
10	89,94	58,29	253,53	292,70
11	51,85	46,96	136,28	157,34
12	30,66	40,80	77,66	89,66
13	23,35	34,64	57,10	65,93
14	19,72	31,64	45,08	52,04
15	16,92	29,48	35,50	40,99
16	14,40	26,98	29,22	33,74
17	12,47	23,65	31,30	36,13
18	10,84	22,82	39,85	46,00
19	9,52	19,82	39,27	45,34
20	8,71	18,82	28,24	32,60
21	7,91	26,65	23,85	27,54
22	6,64	90,26	17,03	19,66
23	5,93	123,91	13,69	15,80
24	6,70	81,27	11,57	13,36
25		56,46	9,86	11,38
26		51,46	9,18	10,60
27		44,30	8,50	9,81
28		53,96	7,10	8,20
29		73,44	6,17	7,13
30		45,80	6,87	7,93
31		30,14	6,84	7,89
32		18,49	6,31	7,29
33		25,98	5,71	6,59
34		54,13	5,20	6,01
35		76,61	4,75	5,48
36		72,61	4,35	5,02
37		44,30	3,92	4,53
38		43,97	4,15	4,79

Tableau 4.2 (suite) Hydrogrammes de crues majorés de récurrence 1/100 ans de la rivière aux Brochets au droit de l'autoroute 35

Jour	Débit (m ³ /s)			
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
39		40,64		
40		26,65		
41		24,81		
42		23,65		
43		28,64		
44		29,48		
45		39,64		
46		62,12		
47		80,77		
48		103,92		
49		164,71		
50		93,10		
51		48,96		
52		30,14		
53		21,65		
54		17,32		
55		14,66		
56		12,81		
57		12,06		
58		12,12		
59		12,67		

Tableau 4.3 Hydrogrammes de crues majorés de récurrence 1/50 ans du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35.

Jour	Débit (m ³ /s)	
	Cas 1	Cas 2
1	0,96	0,98
2	3,20	3,26
3	20,74	21,11
4	19,61	19,96
5	9,96	10,14
6	10,97	11,16
7	19,50	19,85
8	18,25	18,57
9	32,44	33,02
10	34,11	34,72
11	8,12	8,26
12	6,82	6,94
13	5,67	5,77
14	40,41	41,11
15	12,10	12,31
16	4,60	4,69
17	2,66	2,71
18	1,81	1,84
19	1,46	1,48
20	1,18	1,20
21	0,98	1,00
22	0,83	0,85
23	0,78	0,80
24	0,81	0,82
25	0,65	0,66
26	0,66	0,68
27	0,64	0,65
28	0,58	0,59
29	0,62	0,63
30	0,65	0,66
31	0,60	0,62
32	0,54	0,55
33	0,45	0,46
34	0,36	0,37
35	0,40	0,41

Tableau 4.4 Hydrogrammes de crues majorés de récurrence 1/100 ans du ruisseau de la Barbotte au droit de l'autoroute 35.

Jour	Débit (m ³ /s)	
	Cas 1	Cas 2
1	1,05	1,04
2	3,50	3,48
3	22,65	22,55
4	21,41	21,33
5	10,88	10,83
6	11,98	11,93
7	21,30	21,21
8	19,93	19,85
9	35,42	35,28
10	37,25	37,10
11	8,87	8,83
12	7,45	7,42
13	6,19	6,17
14	44,13	43,92
15	13,21	13,15
16	5,03	5,01
17	2,90	2,89
18	1,97	1,97
19	1,59	1,59
20	1,29	1,28
21	1,07	1,07
22	0,91	0,91
23	0,85	0,85
24	0,88	0,88
25	0,71	0,71
26	0,72	0,72
27	0,70	0,70
28	0,64	0,63
29	0,67	0,67
30	0,71	0,70
31	0,66	0,66
32	0,59	0,59
33	0,49	0,49
34	0,40	0,39
35	0,44	0,44

Montréal, le 28 janvier 2004

Monsieur Bernard McCann
Urbaniste
MINISTÈRE DES TRANSPORTS
DIRECTION DE L'OUEST-DE-LA-MONTÉRÉGIE
245, boulevard St-Jean-Baptiste
Châteauguay (Québec) J6K 3C3

Objet : Rapport préliminaire – Caractérisation hydrologique de la zone d'étude du prolongement de l'autoroute 35
Réponses aux commentaires émis en juillet 2003

Monsieur,

Par la présente, nous vous faisons parvenir nos réponses en ce qui concernent vos commentaires sur le rapport préliminaire portant sur la caractérisation hydrologique de la zone d'étude du prolongement de l'autoroute 35.

Vous trouverez également ci-joint la version finale du rapport à laquelle ces réponses ont été intégrées.

Dans un premier temps, voici les réponses point par point aux commentaires émis par monsieur Son Thu Lê, ing. :

1. Les figures 1 et 2 de la version finale du rapport représentent respectivement les bassins versants de la rivière aux Brochets et de la rivière des Hurons. De plus les stations hydrométriques utilisées pour les analyses de fréquences y sont localisées. La carte présentée à l'annexe 1 permet d'identifier et de localiser les cours d'eau de la zone d'étude.
2. Tel que mentionné en conclusion du rapport, à la page 37, des modifications locales à la délimitation des bassins de drainage sont attendues. Ces modifications ajouteront de petites superficies au bassin de drainage des cours d'eau au droit du tracé de l'autoroute 35, dans la mesure où des ponceaux sont installés sur chacun des cours d'eau verbalisés. Étant donné que l'étude présentée ne portait que sur la caractérisation de l'état actuel, ces superficies n'ont pas été considérées dans le calcul des débits de crues. Ces modifications feront l'objet d'une étape ultérieure, lorsque l'évaluation environnementale sera complété, que le tracé final de

l'autoroute 35 sera établi et que pourra être réalisé le dimensionnement des ponceaux.

La note explicative suivante sera ajoutée à la section 1.2 du rapport, au premier paragraphe.

A cette étape du projet, seules les données existantes et l'état actuel (avant le prolongement de l'autoroute) du territoire ont été considérés. Suite à l'évaluation environnementale, le tracé définitif de l'autoroute sera choisi et l'impact de la mise en place de l'autoroute sur le drainage pourra être quantifié. Cependant les modifications attendues à la configuration des bassins de drainage devraient être mineures dans la mesure où des ponceaux seront installés au croisement des cours d'eau verbalisés.

3. Afin de déterminer les hydrogrammes de crues des bassins versants de superficie supérieure à 25 km², des analyses supplémentaires ont été réalisées. Deux analyses de fréquence des volumes de crues ont été effectuées pour les stations hydrométriques 030420 (rivière aux Brochets) et 030415 (rivière des Hurons) (section 3.3 du rapport final).

Le volume des crues maximales annuelles a été déterminé à partir des hydrogrammes de chaque année, en y identifiant la plus forte crue en terme de volume et les dates de début et de fin de cette crue et en multipliant le temps par le débit moyen de chaque journée. Une analyse de fréquence a été réalisé sur les séries de volume maximum annuel des crues.

Ainsi, les débits de pointe (qui avaient déjà fait l'objet d'une analyse de fréquence, section 3.2) et les volumes de crues annuels dont les période de retour sont de 50 et 100 ans sont estimés au droit des stations hydrométriques 030420 et 030415.

La forme retenue pour les hydrogrammes est celle des crues les plus fortes en terme de débit de pointe et de volume enregistrés aux stations. Ces hydrogrammes historiques ont été majorés par un facteur constant afin de reproduire les débits de pointe et les volumes de crues de période de retour de 50 ans et de 100 ans. (section 3.4 et 3.5.4 du rapport final).

4. Les figures 1 et 2 ont été produites à cet effet.
5. Toutes les lois usuelles (Normale, Lognormale, Pearson, Log-Pearson, GEV) ont été appliquées aux échantillons de crues, et l'ajustement des paramètres a été réalisé à partir des méthodes des moments et du maximum de vraisemblance. La comparaison de différents critères d'adéquation (tests du Khi carré et de Shapiro-Wilk), de plusieurs caractéristiques de la population et de l'échantillon (moyenne, écart-type, coefficient de variation, coefficient d'asymétrie) et des ajustements

graphiques ont permis de conclure que la loi Lognormale à 3 paramètres était la plus adéquate pour représenter l'échantillon des débits. Le logiciel HYFRAN a été utilisé pour faciliter cette analyse.

Dans un second temps, voici les réponses aux commentaires émis par monsieur Trung Thu Nguyen, ing. :

- Les échantillons de maxima annuels ayant servis aux analyse de fréquence des crues sont placés en annexe 2 (débits de crues) et 3 (volumes de crues) dans la version finale du rapport.
- Des détails sur les tests d'adéquation sont demandés : à cet effet, la réponse au point 5 ci-haut sera incorporée au texte.
- Le titre du tableau 5 était erroné : il a été corrigé dans la version finale.
- Les temps de concentration ont été déterminés suivant les équations proposées dans le *Manuel de conception des ponceaux*. Un paragraphe présentant la méthode et les équations est ajouté à la section 4.2 du rapport. Les équations sont les suivantes :

Les coefficients de ruissellement étant inférieurs à 0,4, l'équation suivante est utilisée :

$$T_c = \frac{3,26 (1,1 - C_p) L_c^{0,5}}{S_c^{0,33}}$$

Où : T_c = temps de concentration (min)
 C_p = coefficient de ruissellement
 L_c = longueur du cours d'eau (m)
 S_c = pente 85-10 du cours d'eau (%)

De plus, les coefficient de ruissellement étant compris entre 0,20 et 0,40, la pente minimale des cours d'eau à considérer est de 0,5 %.

Espérant le tout à votre satisfaction, veuillez accepter, Monsieur, nos plus cordiales salutations.

Claudine Breton, ing.
Groupe conseil GENIVAR

c.c. Silvio Morelli, directeur de projet - GENIVAR

