

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC  
INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE EAU TERRE ENVIRONNEMENT

RÉVISION DES CRITÈRES DE CONCEPTION DES PONCEAUX  
POUR DES BASSINS DE DRAINAGE DE 25 KM<sup>2</sup> ET MOINS DANS  
UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES (CC06.2)

PAR

**Alain MAILHOT**

**Samuel BOLDUC**

**Guillaume TALBOT**

**Pradeebane VAITTINADA**

ANNEXE

MARS 2021



# Table des matières

LISTE DES FIGURES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX .....	XI
ANNEXE A – LOCALISATION DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES DES BASSINS-VERSANTS SOUS ÉTUDE .....	1
ANNEXE B – SOURCES D’INFORMATIONS UTILISÉES POUR LA CARACTÉRISATION DES BASSINS-VERSANTS SOUS ÉTUDE .....	7
ANNEXE C. CARACTÉRISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES DES BASSINS-VERSANTS SOUS ÉTUDE .....	11
ANNEXE D - ESTIMATION DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES .....	19
D.1 SUPERFICIE (A) .....	19
D.2 PENTE MOYENNE ( $S_B$ ) .....	19
D.3 LONGUEUR DU COURS D’EAU PRINCIPAL ( $L_C$ ) .....	19
D.4 PENTE MOYENNE DU COURS D’EAU ( $S_C$ ) .....	20
D.5 LONGUEUR DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ( $L_{RH}$ ) .....	20
D.6 DENSITÉ DE DRAINAGE ( $D_D$ ) .....	20
D.7 FORME (W) .....	20
D.8 OCCUPATION DU TERRITOIRE .....	21
D.9 CLASSIFICATION HYDROLOGIQUE DES SOLS .....	21
D.10 – CONNECTIVITÉ ENTRE LES LMH ET LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE (C) .....	23
D.11 – SÉPARATION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ( $S_{RH}$ ) .....	24
D.12 - POSITION DES LMH (AVAL-CENTRE-AMONT) .....	27
ANNEXE E. CARACTÉRISTIQUES DES SÉRIES DISPONIBLES AUX BV SOUS ÉTUDE.....	31
ANNEXE F. ESTIMATION DES QUANTILES DE DÉBIT AUX BV SOUS ÉTUDE .....	35
ANNEXE G. MODIFICATIONS APPORTÉES À LA MÉTHODE <i>SMOOTHED MINIMA BASEFLOW SEPARATION</i> .....	39
G.1 PARTITION DES SÉRIES DE DÉBITS .....	39
G.2 DÉBIT RETENU POUR CHAQUE SOUS-PÉRIODE .....	40
G.3 RÉOLUTION TEMPORELLE DES DONNÉES DE DÉBIT .....	40
G.4 IDENTIFICATION D’UN SEUIL POUR LES POINTS PIVOTS .....	41

<b>G.5 SÉLECTION DES HYDROGRAMMES UTILISÉS POUR L'ESTIMATION DES TEMPS DE MONTÉE</b> .....	<b>42</b>
<b>G.6 EXAMEN VISUEL FINAL ET CORRECTION MANUELLE DES HYDROGRAMMES</b> .....	<b>47</b>
<b>ANNEXE H. NOMBRE ET TYPES D'HYDROGRAMMES RETENUS</b> .....	<b>51</b>
<b>ANNEXE I. TEMPS DE MONTÉE DES HYDROGRAMMES RETENUS</b> .....	<b>53</b>
<b>ANNEXE J. INFORMATIONS RELATIVES AUX PRINCIPALES ÉQUATIONS EMPIRIQUES DU TEMPS DE CONCENTRATION DE LA LITTÉRATURE</b> .....	<b>55</b>
<b>ANNEXE K. DESCRIPTION DE L'APPROCHE PAR ARBRE DE RÉGRESSION</b> .....	<b>57</b>
<b>K.1 IDENTIFICATION DES MEILLEURES DIVISIONS</b> .....	<b>58</b>
<b>K.2 ÉLAGAGE DE L'ARBRE MAXIMAL</b> .....	<b>59</b>
<b>ANNEXE L. ANALYSE DES BV AVEC LES PLUS GRANDS ÉCARTS ENTRE TM MÉDIANS OBSERVÉS ET TC ESTIMÉS À PARTIR DE L'ARBRE D-4</b> .....	<b>61</b>
<b>L.1. BV AVEC LES SOUS-ESTIMATIONS LES PLUS IMPORTANTES DES TC ESTIMÉS PAR L'ARBRE D-4</b> .....	<b>61</b>
<b>L.1.1 BV 02BF007 et 02BF008</b> .....	<b>64</b>
<b>L.1.2 BV 040212</b> .....	<b>66</b>
<b>L.1.3 Comparaison des BV 02BF007, 02BF008 et 040212 au BV 050813</b> .....	<b>68</b>
<b>L.1.4 BV 02GA031</b> .....	<b>70</b>
<b>L.2 BV AVEC LES SURESTIMATIONS LES PLUS IMPORTANTES DES TC ESTIMÉS PAR L'ARBRE D-4</b> .....	<b>71</b>
<b>L.2.1 BV 02DB007</b> .....	<b>72</b>
<b>L.2.2 BV 02HB012</b> .....	<b>72</b>
<b>L.2.3 BV 02HD018</b> .....	<b>74</b>
<b>L.2.4 BV 02FD002</b> .....	<b>74</b>
<b>L.2.5 Résumé et conclusion</b> .....	<b>74</b>
<b>ANNEXE M. COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT PROPOSÉS DANS LA LITTÉRATURE</b> .....	<b>77</b>
<b>ANNEXE N. COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT ESTIMÉS AUX BV SOUS ÉTUDE</b> .....	<b>81</b>
<b>ANNEXE O. ESTIMATIONS DES INTENSITÉS DE PLUIES AUX BV SOUS ÉTUDE</b> .....	<b>83</b>
<b>ANNEXE P. PHOTOS DES SITES INSTRUMENTÉS</b> .....	<b>91</b>

<b>ANNEXE Q. INSTALLATION DES ÉQUIPEMENTS SUR LES SITES INSTRUMENTÉS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANNEXE R. MESURES DES DÉBITS ET COURBES DE TARAGE POUR LES SITES S1 ET S2 .....</b>	<b>99</b>
<b>ANNEXE S. ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES ENREGISTRÉS AUX SITES INSTRUMENTÉS.....</b>	<b>103</b>
<b>ANNEXE T. PRÉCIPITATIONS MENSUELLES ENREGISTRÉES AUX SITES INSTRUMENTÉS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANNEXE U. DISTRIBUTIONS <i>GENERALIZED EXTREME VALUE</i> (GEV) ET GUMBEL .....</b>	<b>107</b>
<b>ANNEXE V – SIMULATIONS DU <i>COORDINATED REGIONAL CLIMATE DOWNSCALING EXPERIMENT</i> (CORDEX).....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>111</b>



## Liste des figures

Figure A.1 - Localisation des stations hydrométriques des bassins-versants à l'étude et superficie correspondante pour le Québec. ....	1
Figure A.2 - Localisation des stations hydrométriques des bassins-versants à l'étude et superficie correspondante pour l'Ontario. ....	2
Figure A.3 - Localisation des stations hydrométriques des bassins-versants à l'étude et superficie correspondante pour les États-Unis (États : MA; Massachusetts, ME; Maine, NY; New York et VT; Vermont).....	3
Figure D.1 – Exemple d'estimation de la connectivité entre les LHH et le réseau hydrographique. Les zones vertes représentent les LMH. ....	24
Figure D.2 – BV 4294300 présentant une forte séparation du réseau hydrographique en aval. ....	25
Figure D.3 – BV 4294300 (États-Unis, 92 km <sup>2</sup> ) présentant une réponse hydrologique en plusieurs temps associés à une séparation importante du bassin en deux sous-bassins un peu en amont de l'exutoire du bassin. ....	26
Figure D.4 – Schéma illustrant l'approche retenue pour évaluer le niveau de séparation du réseau hydrographique pour chaque bassin.....	27
Figure D.5 – Schéma montrant la séparation d'un BV en sous-bassins Aval, Centre et Amont pour des points situés à 25 et 50 % de la longueur totale du cours d'eau principal. ....	28
Figure D.6 – Distributions (box plot) des fractions de la superficie amont en fonction de la position le long du cours d'eau principal exprimés en pourcentages de la longueur total du cours d'eau principal.....	29
Figure G.1 – Exemple de fonction de distribution cumulative (CDF) des débits pour le site 02BF007 (Ontario, 5.1 km <sup>2</sup> ) pour différentes périodes de l'année. La ligne en pointillé correspond au 90 <sup>e</sup> percentile de la distribution pour la période juin-novembre. ....	42
Figure G.2 – Comparaison des débits de pointe seuil (DPS) des hydrogrammes retenus pour l'estimation des TM aux plus petits débits maxima annuels (DMA minimal) de chaque BV. ....	43
Figure G.3 – Fraction de BV dont le débit de pointe de rang donné (1 à 10) est associé à l'un ou l'autre des quatre types d'hydrogrammes (voir Figure 5.3). Le débit de pointe de	

rang 1 correspond au débit de pointe le plus élevé sur la période juin à octobre enregistré en un BV pour toutes les années disponibles et le rang 10 au 10 <sup>e</sup> débit de pointe le plus élevé enregistré sur ce BV.....	44
Figure G.4 – Nombre de BV selon la fraction des hydrogrammes de types A et B. ....	44
Figure G.5 – Exemple d’hydrogramme présentant une double réponse hydrologique pour le site 02FC017 (Ontario, 48 km <sup>2</sup> ) en 2008.....	45
Figure G.6 – Exemple d’hydrogrammes au site pour le site 1374890 (États-Unis, 44 km <sup>2</sup> ), présentant : A) une double réponse hydrologique (2013); B) une réponse hydrologique avec de multiples pointes (2006).....	46
Figure G.7 - Exemple d’hydrogramme enregistré en 2006 au site 1374559 (États-Unis, 29 km <sup>2</sup> ) présentant une double réponse hydrologique.....	46
Figure G.8 - Exemple où le début de l’hydrogramme déterminé par la méthode de séparation des hydrogrammes révisée ne concorde pas avec le début réel de montée de l’hydrogramme (01421618, États-Unis, 37.5 km <sup>2</sup> ). Les points rouges correspondent aux points pivots obtenus après application de la méthode SMBS révisée. L’encadré à droite montre un agrandissement de la zone centrale correspondant à l’encadré de l’hydrogramme principal. Le cercle rouge marque le point où la concavité de la série est maximale.....	49
Figure K.1 – Exemple d’application de la procédure par arbre de régression où le temps de concentration ne dépend que de l’occupation en lacs et milieux humides (LMH, %) et du quotient entre la longueur du cours d’eau et la racine de la pente du cours d’eau (LC/SC). T <sub>m</sub> désigne le temps de montée médian des BV appartenant à chacune des régions. Les divisions successives de l’espace initiale (A) sont présentées en B (première division), C (deuxième division) et D (troisième division). ....	59
Figure L.1 - Lacs et cours d’eau des bassins-versants 02BF007 et 02BF008. Les valeurs entre parenthèse représentent la superficie (km <sup>2</sup> ) et le temps de montée médian (h) respectivement.....	64
Figure L.2 - Profil d’élévation du cours d’eau principal des BV 02BF007 et 02BF008. Les valeurs entre parenthèses représentent les différences d’altitude associées aux restrictions.....	65
Figure L.3 - Comparaison des hydrogrammes aux stations 02BF005, 02BF007, 02BF008, 02BF009 et 02BF012 au cours de la période allant du 28 septembre au 27 octobre 2014 .....	66

Figure L.4 – Cartes du BV 040212. L’encadré rouge présente la section du cours d’eau affichée sur le profil d’élévation de la Figure L.5.....	67
Figure L.5 - Profil d’élévation d’une section du cours d’eau principal du BV 040212. L’encadré rouge est localisé sur la Figure L.4. Les valeurs entre parenthèses représentent les différences d’altitude aux restrictions. ....	68
Figure L.6 - Lacs et cours d’eau du bassin-versant 050813.....	69
Figure L.7 - Profil d’élévation du cours d’eau principal du BV 050813. La valeur entre parenthèses représente la différence d’altitude à la restriction. ....	69
Figure L.8 – Occupation du territoire et positions des LMH à l’intérieur du BV 02BD007. ....	73
Figure L.9 – Carte du BV 02HB012. L’encadré rouge localise l’affluent et le sous-bassin qui se jette dans le cours principal près de l’exutoire.....	75
Figure L.10 – Hydrogrammes enregistrés à la station 02HB012 au cours des mois de mai et juin 2011.....	75
Figure L.11 – Carte du BV 02HD018.....	76
Figure L.12 – Carte du BV 02FD002. ....	76
Figure P.1 - Exutoire du BV du site S1 et emplacement de la station de jaugeage dans le ruisseau des Bacon. A : ruisseau des Bacon en amont de la station de jaugeage; B : Ruisseau des Bacon en aval de la station de jaugeage (Photos : Samuel Bolduc).....	91
Figure P.2 - Exutoire du site S2. A : Emplacement de la station de jaugeage en amont du ponceau; B : Cours d’eau en aval du ponceau (Photos : Samuel Bolduc). ....	92
Figure P.3 - Exutoire du site S3. A : Rivière La Chevrotière en amont du ponceau sur la route du Moulin; B : Cours d’eau en aval de la station et à l’entrée du ponceau (Photos : Samuel Bolduc).....	93
Figure P.4 - Exutoire du site S4. A : Ruisseau Rouge en amont du ponceau sur la route Saint-Cyrille; B : Cours d’eau en aval de la station et à l’entrée du ponceau (Photos : Samuel Bolduc).....	94
Figure Q.1 - Instrumentation au site S1. A et B : limnimètre et boîtier; C : pluviomètre ; D : emplacement du limnimètre (Photos : Samuel Bolduc). ....	95



Figure Q.2 - Instrumentation du site S2. A : emplacement du limnimètre ; B et C : limnimètre et boîtier ; D : pluviomètre (Photos : Samuel Bolduc). .....96

Figure Q.3 - Pluviomètres installés sur le site S3. A : pluviomètre situé près de la station de jaugeage de la DEHA; B : pluviomètre en bordure de la route d'Irlande (Photos : Samuel Bolduc).....97

Figure Q.4 - Pluviomètres installés sur le site S4. A : pluviomètre situé près du chemin de fer en bordure du ruisseau Rouge; B : pluviomètre localisé dans la forêt de démonstration Normandin; (Photos : Samuel Bolduc). .....98

Figure U.1 – Exemple de fonction de densité de probabilité de la distribution GEV pour les cas  $\xi < 0$  (distribution bornée; ligne bleu),  $\xi = 0$  (distribution Gumbel; ligne rouge) et  $\xi > 0$  (distribution non bornée ou à queue lourde - 'heavy-tailed'; ligne jaune). ..... 108

## Liste des tableaux

Tableau A.1 - Localisation des stations hydrométriques et provenance des données de débit pour les 93 bassins-versants à l'étude (DEHA : direction de l'expertise hydrique et atmosphérique, IRDA : Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement, ECCC : Environnement et Changement Climatique Canada, USGS : United States Geological Survey).....	4
Tableau B.1 - Sources d'information utilisées pour réaliser la caractérisation physiographique des bassins-versants du Québec.....	7
Tableau B.2 – Sources d'information utilisées pour réaliser la caractérisation physiographique des bassins-versants de l'Ontario.....	8
Tableau B.3 - Sources d'information utilisées pour réaliser la caractérisation physiographique des bassins-versants des États-Unis.....	9
Tableau C.1 - Principales caractéristiques physiographiques des 93 BV sous étude - Partie 1 (voir l'Annexe D pour une description de ces caractéristiques).....	11
Tableau C.2 - Principales caractéristiques physiographiques des 93 BV sous étude - Partie 2 (voir l'Annexe D pour une description de ces caractéristiques).....	15
Tableau D.1 - Description des groupes hydrologiques A, B, C et D tels que définis par USDA-NRCS (1986, 2009).....	22
Tableau D.2 - Groupes hydrologiques attribuées aux dépôts de surface du Québec (adaptée de Mailhot et al. 2018a).....	23
Tableau E.1 - Caractéristiques des séries disponibles aux 93 stations hydrométriques retenues et p-value du test de tendance (Mann-Kendall).....	31
Tableau F.1 - Distributions sélectionnées, valeurs des paramètres et débits maximum annuel de périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50 et 100 ans estimés.....	35
Tableau G.1 - Principales informations associées à l'utilisation de la méthode Smoothed Minima Baseflow Separation (SMBS) selon différentes études. A noter que toutes ces études utilisent des séries de débits journaliers.....	39
Tableau H.1 - Nombre d'hydrogrammes retenus et répartition selon les types d'hydrogrammes présentés à la Figure 5.3. ....	51

Tableau I.1 – Temps de montée des hydrogrammes de types A et B considérés pour l'estimation du temps de concentration (Figure 5.3). .....	53
Tableau J.1 – Résumé des principales informations sur les équations empiriques du temps de concentration retenues. ....	55
Tableau L.1 – Caractéristiques des BV présentant les sous-estimations les plus importantes entre les TC estimés (arbre G-4) et les TM médians observés et caractéristiques du BV 050813.....	61
Tableau L.2 Comparaison des plaines inondables des BV 02BF007, 040212 et 050813. Entre parenthèse : occupation du lac situé en amont de la station de jaugeage par rapport à la superficie du BV. ....	63
Tableau L.3 – Synthèse des résultats relativement aux différents facteurs pouvant expliquer les sous-estimations aux BV du Tableau L.1. La colonne Section indique la section où chaque BV est discutée.....	63
Tableau L.4 – Caractéristiques physiographiques des BV avec les occupations en milieux humides les plus importantes. ....	70
Tableau L.5 - BV présentant les surestimations les plus importantes entre l'estimation des TC estimés selon l'arbre D-4 et les TM médians observés. ....	71
Tableau M.1 - Coefficients de ruissellement associés aux cultures .....	77
Tableau M.2 - Coefficients de ruissellement associés aux prairies et terres en pâturage .....	78
Tableau M.3 - Coefficients de ruissellement associés au milieu boisé.....	79
Tableau N.1 – Valeurs du coefficients de ruissellement estimés aux 93 BV sous étude pour les périodes de retour 10, 25, 50 et 100 ans. ....	81
Tableau O.1 - Station météorologique associée aux BV sous étude situés au Québec et valeurs des paramètres a et b pour l'estimation de l'intensité des précipitations pour les périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50, et 100 ans (Mailhot et al. 2014a,b). ....	85
Tableau O.2 - Valeur du paramètre a des BV de l'Ontario pour l'estimation de l'intensité des précipitations pour les périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50, 100 et 350 ans. La valeur du paramètre b est de -0.699 en tous les sites. ....	86

Tableau O.3 - Valeur des paramètres a et b des BV des États-Unis pour l'estimation de l'intensité des précipitations pour les périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50, 100 et 350 ans. .....	87
Tableau R.1 – Informations relatives aux mesures de débit et de hauteurs d'eau au site S1. ....	99
Tableau R.2 – Informations relatives aux mesures de débit et de hauteurs d'eau au site S2. ....	101
Tableau S.1 – Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S1. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Forestville (7042378). ....	103
Tableau S.2 – Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S2. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Pentecôte (7045910). ....	103
Tableau S.3 - Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S3. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Saint-Alban (7016800). ....	104
Tableau S.4 - Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S4. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Normandin (7065639). ....	104
Tableau T.1 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S1 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station météorologique Forestville (7042378). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets. ....	105
Tableau T.2 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S2 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station météorologique Pentecôte (7045910). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets. ....	105
Tableau T.3 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S3 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station météorologique Saint-Alban (7016800). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets. ....	105
Tableau T.4 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S4 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station	

météorologique Saint-Prime (7067658). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets. .... 106

Tableau V.1 Liste des principales caractéristiques et références des simulations CORDEX utilisées dans le cadre de cette étude. .... 109

## Annexe A – Localisation des stations hydrométriques des bassins-versants sous étude

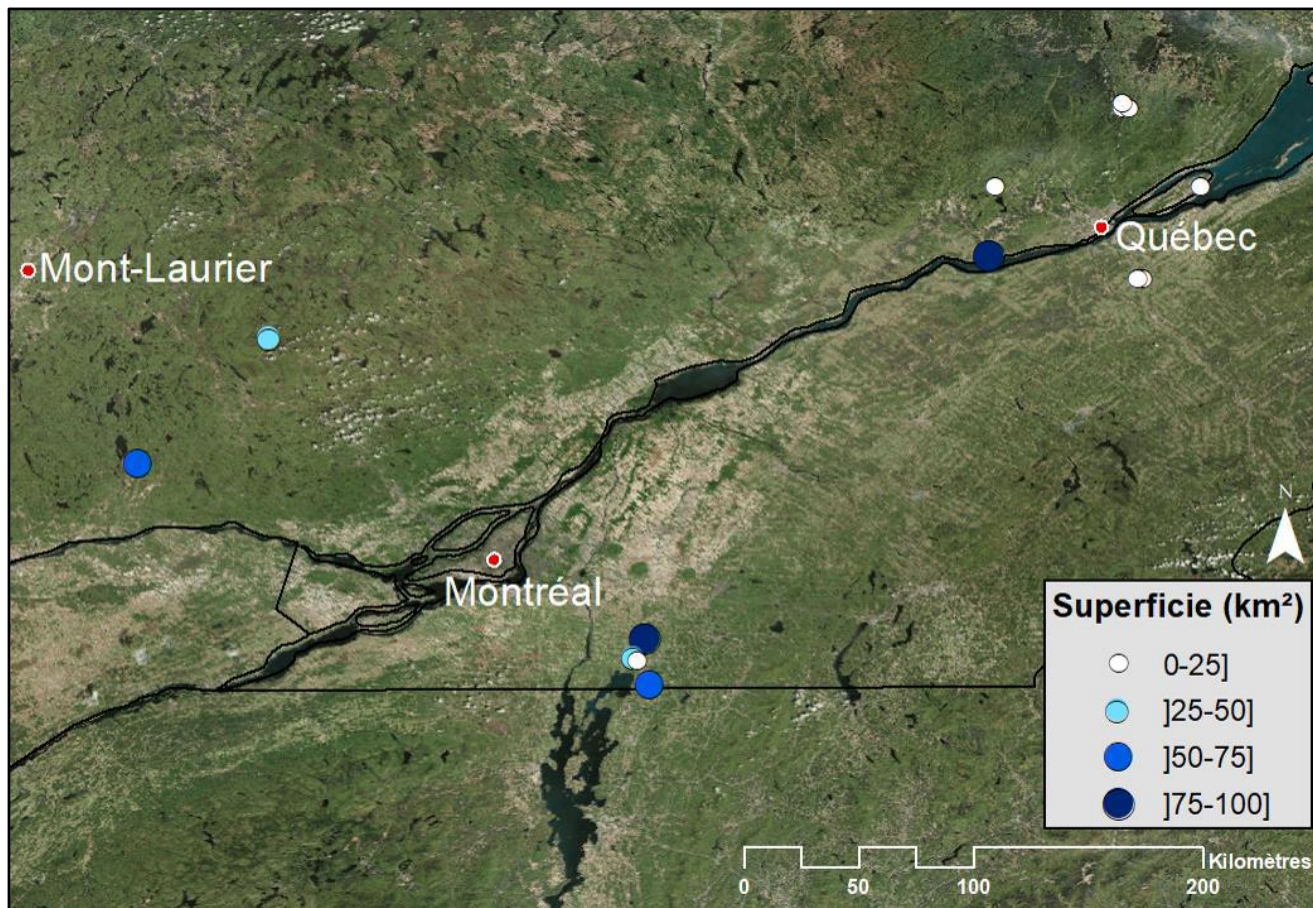


Figure A.1 - Localisation des stations hydrométriques des bassins-versants à l'étude et superficie correspondante pour le Québec.



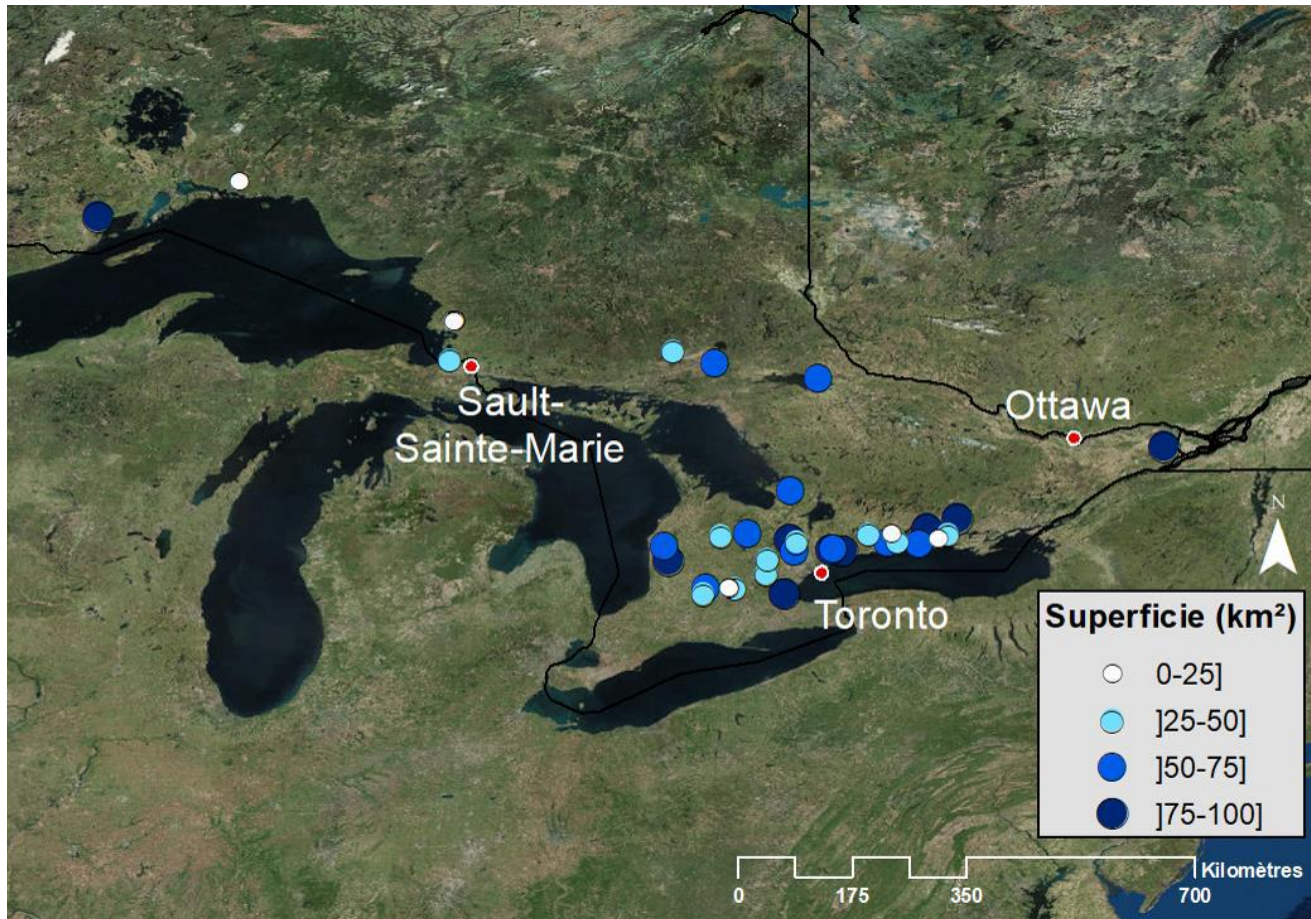


Figure A.2 - Localisation des stations hydrométriques des bassins-versants à l'étude et superficie correspondante pour l'Ontario.

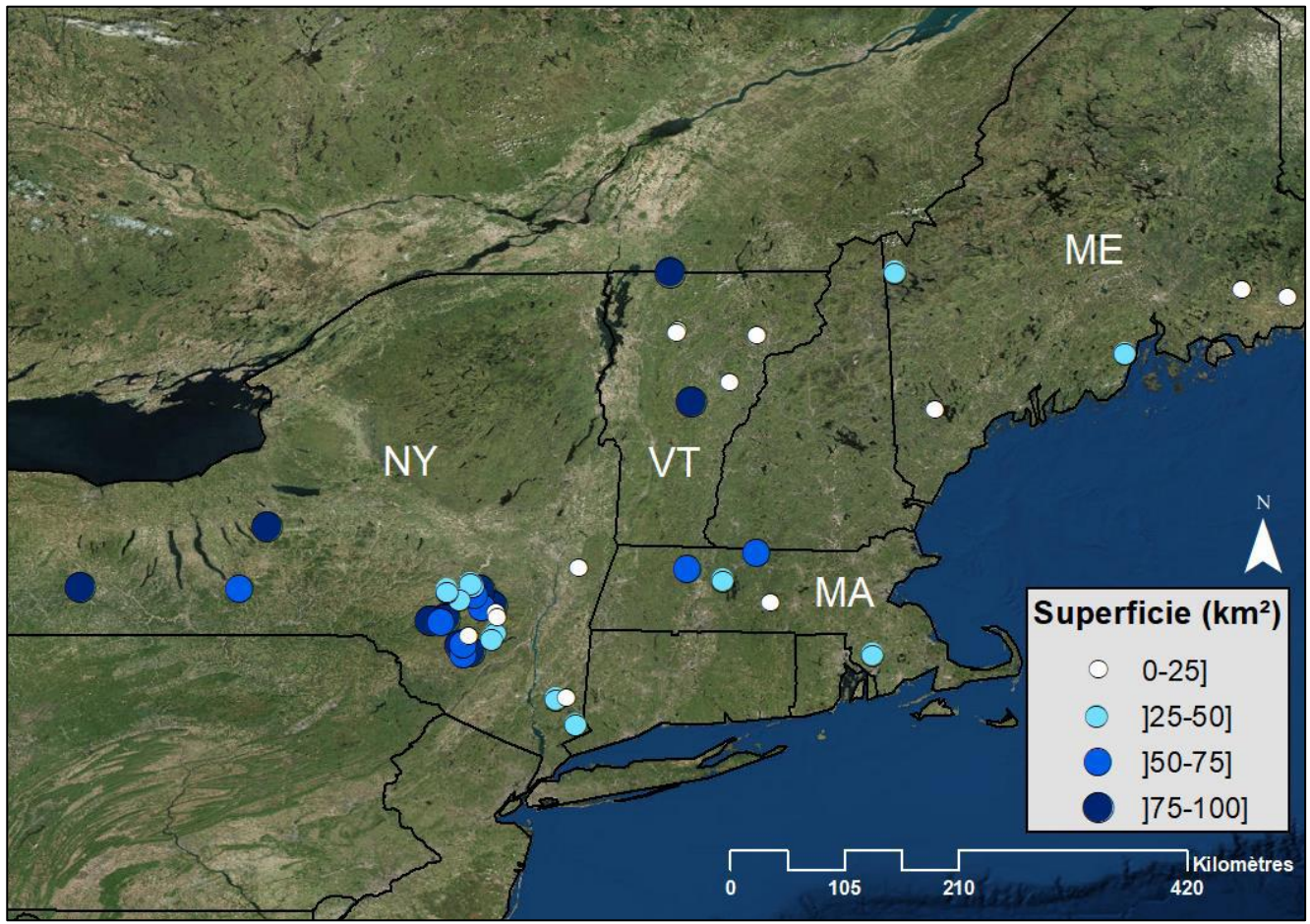


Figure A.3 - Localisation des stations hydrométriques des bassins-versants à l'étude et superficie correspondante pour les États-Unis (États : MA; Massachusetts, ME; Maine, NY; New York et VT; Vermont)



Tableau A.1 - Localisation des stations hydrométriques et provenance des données de débit pour les 93 bassins-versants à l'étude (DEHA : direction de l'expertise hydrique et atmosphérique, IRDA : Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement, ECCC : Environnement et Changement Climatique Canada, USGS : United States Geological Survey).

Nom/Numéro de la station	Localisation		Source		
	Province/État	Coordonnées			
		Lat.		Long.	
030423	Québec	45.20	-73.03	DEHA	
030425		45.02	-73.02		
030426		45.13	-73.08		
040212		46.37	-74.50		
040409		45.88	-75.02		
050812		46.70	-71.69		
050813		46.97	-71.66		
051002		47.27	-71.16		
051003		47.27	-71.14		
051004		47.29	-71.16		
120201		46.97	-70.86		
030422		45.13	-73.04		IRDA
Fourchette Amont		46.6	-71.09		
Fourchette Aval	46.63	-71.08			
02AB020	Ontario	48.48	-89.32	ECCC	
02BF004		46.52	-84.47		
02BF005		47.06	-84.43		
02BF007		47.04	-84.41		
02BF008		47.05	-84.4		
02BF009		47.06	-84.4		
02BF012		47.06	-84.39		
02BF013		47.04	-84.42		
02DB007		46.48	-80.82		
02DD013		46.26	-79.4		
02EC010		44.01	-79.69		
02ED017		44.73	-79.78		
02ED100		44.05	-79.8		
02FC017		44.09	-80.74		
02FD002		43.97	-81.51		
02FE014		43.76	-81.46		
02GA030		43.37	-80.55		
02GA031		43.58	-80.11		
02GA041	44.14	-80.36			

Nom/Numéro de la station	Localisation		Source	
	Province/État	Coordonnées		
		Lat.		Long.
02GA044	Ontario	43.38	-80.64	ECCC
02GA045		43.37	-80.63	
02GA046		43.38	-80.63	
02HB012		43.30	-79.87	
02HB020		43.77	-80.09	
02HC019		43.89	-79.06	
02HC023		43.89	-79.72	
02HC028		43.91	-79.22	
02HC038		43.92	-79.18	
02HD003		44.02	-78.44	
02HD004		44.02	-78.44	
02HD010		43.99	-78.00	
02HD018		44.06	-77.74	
02HH003		44.12	-78.70	
02HJ005		44.12	-78.39	
02HK008		44.34	-77.48	
02HK009		44.20	-77.91	
02HK011	44.11	-77.61		
1021470	Maine	44.80	-67.73	USGS
1037380		44.33	-69.06	
1063310		43.86	-70.64	
1073000		45.00	-70.97	
1109070	Massachussets	41.84	-71.14	
1162500		42.68	-72.12	
1169900		42.54	-72.69	
1174565		42.46	-72.38	
1175670		42.27	-72.01	
1349700	New York	42.25	-74.3	
1349711		42.19	-74.28	
1349810		42.23	-74.39	
1350035		42.34	-74.45	
1350080		42.38	-74.41	
1350120		42.41	-74.45	
1350140		42.43	-74.47	
1360640		42.55	-73.59	
1362497		42.02	-74.27	
1363382		41.97	-74.29	
1365000		41.87	-74.49	
1365500		41.85	-74.54	

Nom/Numéro de la station	Localisation		Source	
	Province/État	Coordonnées		
		Lat.		Long.
1374559	New York	41.47	-73.76	USGS
1374598		41.48	-73.69	
1374890		41.26	-73.6	
1413088		42.29	-74.56	
1414000		42.13	-74.7	
1414500		42.11	-74.73	
1415000		42.12	-74.82	
1421610		42.37	-74.67	
1421618		42.36	-74.66	
1434017		41.93	-74.54	
1434025		42	-74.5	
1434498		41.92	-74.57	
1521500		42.4	-77.71	
4233286		42.38	-76.39	
4237962		42.9	-76.17	
1135150		Vermont	44.48	
1139800	44.09		-72.34	
1142500	43.93		-72.66	
4288225	44.52		-72.77	
4288230	44.5		-72.78	
4294300	45		-72.83	

## Annexe B – Sources d’informations utilisées pour la caractérisation des bassins-versants sous étude

Tableau B.1 - Sources d’information utilisées pour réaliser la caractérisation physiographique des bassins-versants du Québec.

Source d’information	Caractéristique	Provenance <sup>1</sup>	Utilisé pour estimer <sup>8</sup>
Modèles numériques de terrain du Québec <sup>2</sup>	Échelle 1:20 000 Résolution (10 m x10 m)	MERN	A
			S <sub>B</sub>
			S <sub>C</sub>
Cartes topographiques <sup>3</sup>	Échelle 1:20 000	MERN	A
Géobase du réseau hydrographique du Québec <sup>4</sup>	Échelle 1:20 000 (Sud du Québec) Échelle 1:50 000 (Nord du Québec)	MERN	A
			S <sub>C</sub>
			L <sub>C</sub>
			L <sub>RH</sub>
	Occupation du territoire		
Inventaire annuel des cultures du Canada <sup>5</sup>	Considérant l’année 2016	ECCC	Occupation du territoire
Dépôts de surface Forêt Ouverte <sup>6</sup>	Considérant la période 2010-2013	MFFP	Classification hydrologique des sols
Couche détaillée des milieux humides du MDDELCC et de Canards Illimités <sup>7</sup>	Mise à jour 2017	CIC et MELCC	LMH

1. MERN : Ministère de l’Énergie et des Ressources Naturelles du Québec; ECCC : Environnement et changement climatique Canada; MFFP : Ministère des forêts, de la faune et des parcs du Québec; CIC : Canards illimités Canada; MELCC : Ministère de l’environnement et de la lutte aux changements climatiques

2. <https://mern.gouv.qc.ca/repertoire-geographique/modeles-numeriques-terrain-echelle-1-20000/>

3. <https://mern.gouv.qc.ca/repertoire-geographique/cartes-topographiques-echelle-1-20000/>

4. <https://mern.gouv.qc.ca/repertoire-geographique/reseau-hydrographique-grhq/>

5. <https://www.agr.gc.ca/atlas/iac/>

6. <https://www.foretouverte.gouv.qc.ca/>

7. <https://www.canards.ca/cartographie-detaillee-des-milieux-humides-du-quebec/>

8. Voir le Tableau 3.2 pour une description des caractéristiques physiographiques

Tableau B.2 – Sources d'information utilisées pour réaliser la caractérisation physiographique des bassins-versants de l'Ontario

Source d'information	Caractéristique	Provenance <sup>1</sup>	Utilisé pour estimer <sup>8</sup>
<i>Provincial digital elevation model v3.0</i> <sup>2</sup>	Résolution (30 m x 30 m)	<i>Ontario's Open Data Team</i>	A
			S <sub>B</sub>
			S <sub>C</sub>
Cartes topographiques	Échelle < 1 : 40 000	<i>World Topographic Map-ESRI</i>	A
<i>Ontario Hydro Network - Hydrographic Line</i> <sup>3</sup>	Pour l'année 2015	<i>Ontario's Open Data Team</i>	A
			S <sub>C</sub>
			L <sub>C</sub>
			L <sub>RH</sub>
<i>Ontario Hydro Network – Waterbody</i> <sup>4</sup>			Occupation du territoire
Inventaire annuel des cultures du Canada <sup>5</sup>	Pour l'année 2016	ECCC <sup>A</sup>	Occupation du territoire
Dépôts de surface ( <i>Soil survey</i> ) <sup>6</sup>	Mise à jour 2015	<i>Ontario's Open Data Team</i>	Classification hydrologique des sols
<i>Wetland Ontario</i> <sup>7</sup>	Mise à jour 2015	<i>Ontario GeoHub</i>	LMH

1- ECCC : Environnement et changement climatique Canada

2- <https://data.ontario.ca/dataset/provincial-digital-elevation-model>

3- <https://data.ontario.ca/dataset/ontario-hydro-network-hydrographic-line>

4- <https://data.ontario.ca/dataset/ontario-hydro-network-waterbody>

5- <https://www.agr.gc.ca/atlas/iac/>

6- <https://data.ontario.ca/dataset/soil-survey>

7- <https://geohub.lio.gov.on.ca/datasets/mnrf::wetlands>

8- Voir le Tableau 3.2 pour une description des caractéristiques physiographiques

Tableau B.3 - Sources d'information utilisées pour réaliser la caractérisation physiographique des bassins-versants des États-Unis

Source d'information	Caractéristique	Provenance <sup>1</sup>	Utilisé pour estimer <sup>5</sup>
3DEP Elevation <sup>2</sup>	Résolution (1 m x1 m)	<i>National Map Viewer USGS<sup>A</sup></i>	A
			S <sub>B</sub>
			S <sub>C</sub>
US Topo <sup>2</sup>	Échelle variable		A
National Hydrography Dataset <sup>2</sup>			A
			S <sub>C</sub>
			L <sub>C</sub>
			L <sub>RH</sub>
		Occupation du territoire	
NLCD Land Cover <sup>3</sup>	2011	MRLC <sup>B</sup>	Occupation du territoire
Dépôts de surface ( <i>Web soil survey</i> ) <sup>4</sup>		USDA <sup>C</sup>	Classification hydrologique des sols
Milieu humide	<i>National wetland inventory</i>	U.S. Fish and wildlife service	LMH

- 1- USGS: United States Geological Survey; MRLC: Multi-Resolution Land Characteristics Consortium; USDA: United States Department of Agriculture
- 2- <https://viewer.nationalmap.gov/advanced-viewer/>
- 3- <https://www.mrlc.gov/data/nlcd-2011-land-cover-conus-0>
- 4- <https://websoilsurvey.sc.egov.usda.gov/App/HomePage.htm>
- 5- Voir le Tableau 3.2 pour une description des caractéristiques physiographiques



## Annexe C. Caractéristiques physiographiques des bassins-versants sous étude

Tableau C.1 - Principales caractéristiques physiographiques des 93 BV sous étude - Partie 1 (voir l'Annexe D pour une description de ces caractéristiques)

Site	Superficie (km <sup>2</sup> )	Longueur du cours d'eau (km)	Longueur du réseau hydrographique (km)	Densité de drainage (km)	Pente bassin (%)	Pente cours d'eau (%)	Forme (km)	Séparation du réseau (%)
030422	11.4	6.5	23.9	2.1	1.2	0.2	1.7	56
030423	94.0	24.2	157.9	1.7	0.8	0.4	3.9	43
030425	70.1	21.9	174.1	2.5	6.3	0.2	3.2	66
030426	28.7	12.7	38.6	1.3	0.9	0.2	2.3	43
040212	39.7	15.2	80.3	2.0	11.9	1.5	2.6	85
040409	63.4	16.6	178.7	2.8	9.3	0.5	3.8	35
050812	96.3	35.6	152.4	1.6	2.8	0.3	2.7	81
050813	2.1	2.3	2.7	1.3	9.8	1.6	0.9	70
051002	3.6	2.3	3.7	1.0	9.4	2.3	1.5	51
051003	8.4	5.0	11.0	1.3	10.5	3.5	1.7	87
051004	1.1	1.2	1.2	1.1	12.6	10.5	0.9	73
120201	24.1	9.8	32.3	1.3	1.7	0.5	2.5	59
Fourchette Amont	3.3	3.2	8.1	2.5	1.2	0.4	1.0	47
Fourchette Aval	2.5	2.7	5.0	2.0	5.0	0.5	0.9	57
1021470	16.5	10.0	14.1	0.9	2.1	0.2	1.6	80
1037380	38.6	14.7	70.4	1.8	4.5	0.7	2.6	77
1063310	4.0	3.9	4.4	1.1	5.1	0.8	1.0	82
1073000	31.3	14.8	44.6	1.4	4.8	0.4	2.1	71
1109070	29.1	11.6	43.0	1.5	2.6	0.2	2.5	58
1135150	8.4	4.9	16.2	1.9	9.0	4.5	1.7	48
1139800	22.9	8.7	37.2	1.6	15.5	3.0	2.6	72



Site	Superficie (km <sup>2</sup> )	Longueur du cours d'eau (km)	Longueur du réseau hydrographique (km)	Densité de drainage (km)	Pente bassin (%)	Pente cours d'eau (%)	Forme (km)	Séparation du réseau (%)
1142500	79.2	22.1	148.9	1.9	12.0	1.1	3.6	75
1162500	51.2	24.1	58.7	1.1	5.2	0.4	2.1	48
1169900	61.8	22.6	82.0	1.3	11.7	1.3	2.7	81
1174565	32.8	11.7	39.2	1.2	7.9	1.4	2.8	41
1175670	23.3	12.5	43.8	1.9	6.7	0.9	1.9	75
1349700	91.5	26.5	171.2	1.9	11.2	0.9	3.4	70
1349711	12.7	5.2	16.4	1.3	23.5	8.4	2.4	43
1349810	69.6	18.8	125.9	1.8	19.0	2.0	3.7	69
1350035	65.9	19.1	119.5	1.8	11.4	0.9	3.4	72
1350080	84.1	15.8	158.5	1.9	8.9	1.2	5.3	54
1350120	31.0	12.0	31.2	1.0	7.1	2.3	2.6	73
1350140	42.1	13.6	51.6	1.2	8.6	2.3	3.1	63
1360640	22.8	13.1	31.8	1.4	6.9	1.0	1.7	80
1362497	43.1	15.2	84.9	2.0	12.2	0.5	2.8	71
1363382	44.5	7.2	71.9	1.6	23.8	3.8	6.1	51
1365000	100.0	20.9	156.3	1.6	18.2	2.1	4.8	64
1365500	55.5	10.5	115.9	2.1	9.7	4.6	5.3	44
1374559	28.7	9.6	56.5	2.0	8.4	0.3	3.0	32
1374598	9.3	6.1	26.2	2.8	7.4	1.2	1.5	71
1374890	44.4	16.4	101.0	2.3	7.4	0.8	2.7	67
1413088	35.2	10.1	67.1	1.9	16.4	0.2	3.5	43
1414000	90.1	20.4	134.9	1.5	15.0	1.2	4.4	56
1414500	64.2	18.2	105.7	1.6	15.8	2.1	3.5	72
1415000	85.7	17.9	118.1	1.4	13.3	0.9	4.8	75
1421610	40.6	14.4	56.7	1.4	8.8	1.3	2.8	62
1421618	37.4	9.3	51.8	1.4	12.8	1.8	4.0	73

Site	Superficie (km <sup>2</sup> )	Longueur du cours d'eau (km)	Longueur du réseau hydrographique (km)	Densité de drainage (km)	Pente bassin (%)	Pente cours d'eau (%)	Forme (km)	Séparation du réseau (%)
1434017	59.0	20.2	99.6	1.7	15.0	1.7	2.9	75
1434025	9.6	5.2	17.2	1.8	17.2	4.6	1.8	83
1434498	87.2	22.9	175.1	2.0	14.7	1.4	3.8	70
1521500	78.6	21.1	95.5	1.2	7.3	1.1	3.7	73
4233286	70.6	16.6	89.7	1.3	7.5	1.2	4.3	56
4237962	88.8	22.9	99.7	1.1	8.2	1.5	3.9	80
4288225	12.1	5.0	18.6	1.5	26.0	9.5	2.4	71
4288230	9.8	3.6	24.0	2.5	20.9	10.0	2.7	30
4294300	91.8	18.8	167.8	1.8	4.9	0.8	4.9	50
02AB020	76.2	31.7	115.8	1.5	4.4	0.4	2.4	77
02BF004	47.5	14.8	95.8	2.0	5.4	1.1	3.2	34
02BF005	10.4	8.2	12.2	1.2	11.9	2.4	1.3	79
02BF007	5.1	4.6	6.7	1.3	11.6	3.6	1.1	68
02BF008	3.5	3.7	6.0	1.7	12.3	4.0	1.0	63
02BF009	2.1	2.1	3.9	1.9	12.1	3.8	1.0	79
02BF012	0.9	1.0	1.8	2.0	11.7	7.8	0.9	37
02BF013	0.5	1.1	0.8	1.5	9.4	4.1	0.5	71
02DB007	69.4	18.8	111.6	1.6	5.1	0.3	3.7	63
02DD013	63.9	24.1	108.8	1.7	2.7	0.2	2.7	80
02EC010	41.2	14.0	72.0	1.7	3.9	0.5	2.9	49
02ED017	57.0	24.7	88.6	1.6	3.4	0.3	2.3	80
02ED100	75.4	17.7	133.6	1.8	3.8	0.4	4.3	29
02FC017	47.8	18.7	86.7	1.8	2.4	0.3	2.6	80
02FD002	65.8	24.1	122.3	1.9	2.2	0.2	2.7	88
02FE014	76.5	21.1	76.7	1.0	2.2	0.2	3.6	69
02GA030	36.7	11.2	47.9	1.3	3.3	0.4	3.3	64

Site	Superficie (km <sup>2</sup> )	Longueur du cours d'eau (km)	Longueur du réseau hydrographique (km)	Densité de drainage (km)	Pente bassin (%)	Pente cours d'eau (%)	Forme (km)	Séparation du réseau (%)
02GA031	39.4	14.3	44.5	1.1	2.8	0.7	2.8	74
02GA041	66.5	14.2	90.4	1.4	0.9	0.2	4.7	33
02GA044	2.2	2.7	4.5	2.0	1.5	1.1	0.8	55
02GA045	4.8	4.1	5.0	1.0	2.8	1.3	1.2	45
02GA046	2.1	2.5	2.6	1.2	2.2	1.2	0.9	86
02HB012	79.9	26.9	103.7	1.3	1.9	0.7	3.0	76
02HB020	36.3	16.7	32.8	0.9	3.7	0.4	2.2	65
02HC019	90.4	25.8	175.6	1.9	4.5	1.2	3.5	77
02HC023	60.2	16.3	193.9	3.2	4.3	0.6	3.7	44
02HC028	77.0	24.4	146.9	1.9	2.0	0.4	3.2	77
02HC038	65.2	20.9	105.2	1.6	3.1	0.7	3.1	53
02HD003	66.0	23.8	139.8	2.1	4.9	0.8	2.8	88
02HD004	47.4	15.2	97.7	2.1	5.0	1.2	3.1	53
02HD010	61.9	19.9	78.8	1.3	5.4	0.9	3.1	54
02HD018	14.7	6.1	25.6	1.7	5.2	1.4	2.4	55
02HH003	25.8	13.0	32.5	1.3	3.8	0.6	2.0	69
02HJ005	11.6	6.0	27.4	2.4	5.2	0.9	1.9	45
02HK008	85.6	22.6	75.4	0.9	4.6	0.2	3.8	78
02HK009	79.4	22.2	143.0	1.8	5.2	0.4	3.6	74
02HK011	34.0	10.1	82.7	2.4	4.6	0.8	3.4	43

Tableau C.2 - Principales caractéristiques physiographiques des 93 BV sous étude - Partie 2 (voir l'Annexe D pour une description de ces caractéristiques)

Site	Occupation du territoire (%)					Position des milieux humides (%)			Connectivité (C, %)	Facteur de laminage	Classe hydrologique (%)			
	Boisé	Agricole	Urbain	Lac	MH	Aval	Centre	Amont			A	B	C	D
030422	2	97	0	0	1	0	74	26	0	0.95	0	44	56	0
030423	35	56	1	0	9	57	16	27	7.8	0.60	2	36	52	0
030425	34	56	4	0	6	40	33	27	19.9	0.70	10	3	22	33
030426	7	91	0	0	2	43	21	36	0	0.90	15	25	58	0
040212	93	0	0	4	2	1	66	33	13.1	0.83	0	88	5	0
040409	89	4	0	3	4	65	16	19	28.8	0.65	2	82	9	0
050812	55	28	1	0	16	26	50	24	22.1	0.62	17	25	38	3
050813	82	0	0	18	0	83	17	0	54.7	0.55	0	80	1	0
051002	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0	100	0	0
051003	99	0	0	0	1	0	95	5	0	0.95	0	99	0	0
051004	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0	100	0	0
120201	37	55	0	0	8	28	53	18	13.1	0.65	0	23	68	0
Fourchette Amont Intervention	7	93	0	0	0	100	0	0	0	1.00	22	41	37	0
Fourchette Aval Témoin	34	57	0	0	9	7	21	72	0	0.80	36	0	54	0
1021470	62	38	0	0	0	0	0	0	0	1.00	58	2	14	26
1037380	79	6	3	4	8	5	87	8	28.3	0.80	4	1	20	60
1063310	82	0	0	0	18	22	45	33	58.3	0.60	75	0	7	0
1073000	71	4	12	2	11	24	21	55	56.9	0.63	31	23	7	14
1109070	64	3	17	2	13	45	25	31	20.0	0.62	5	10	13	40
1135150	83	17	0	0	0	51	27	22	0	0.92	1	2	40	57
1139800	95	4	0	0	0	28	53	19	0	0.90	23	12	1	63
1142500	75	17	6	0	1	34	48	18	0	0.85	10	11	21	50
1162500	80	2	4	2	12	30	35	35	52.5	0.62	21	28	18	14
1169900	83	8	6	0	3	25	46	28	0	0.75	6	41	7	37

Site	Occupation du territoire (%)					Position des milieux humides (%)			Connectivité (C, %)	Facteur de laminage	Classe hydrologique (%)			
	Boisé	Agricole	Urbain	Lac	MH	Aval	Centre	Amont			A	B	C	D
1174565	92	0	4	0	3	57	20	23	0	0.69	15	38	26	13
1175670	74	9	6	3	8	18	49	32	44.7	0.65	10	27	32	14
1349700	89	2	8	1	1	37	26	37	0	0.83	0	1	39	50
1349711	100	0	0	0	0	66	16	18	0	1.00	0	15	27	58
1349810	95	1	4	0	0	42	39	19	0	1.00	1	11	39	45
1350035	70	22	7	1	1	17	29	54	0	0.95	11	4	19	58
1350080	77	14	8	0	2	55	32	13	0	0.82	38	2	3	48
1350120	75	11	5	5	4	34	14	52	29.1	0.66	29	1	18	43
1350140	84	9	5	1	2	31	41	27	0	0.81	27	1	18	46
1360640	73	14	8	1	5	20	58	22	12.8	0.72	10	1	11	64
1362497	93	2	2	1	2	16	63	22	0	0.75	7	4	49	35
1363382	99	1	0	0	0	53	35	13	0	1.00	2	2	36	60
1365000	98	1	1	0	0	52	24	24	0	1.00	1	3	47	48
1365500	86	8	5	1	2	76	19	5	0	0.76	5	16	21	53
1374559	76	1	9	5	10	63	19	19	45.6	0.57	0	52	17	8
1374598	76	3	14	3	4	20	46	34	28.0	0.67	0	71	4	4
1374890	71	3	13	5	9	36	36	28	45.7	0.62	4	50	14	5
1413088	90	6	3	0	1	45	40	15	0	0.90	4	19	19	54
1414000	83	11	5	0	0	47	31	22	0	0.90	2	14	23	55
1414500	94	4	2	0	0	28	36	36	0	1.00	2	6	31	59
1415000	81	14	4	0	1	32	56	13	0	0.90	3	9	29	54
1421610	58	29	11	1	2	33	34	33	0	0.75	18	3	18	48
1421618	67	29	3	0	0	37	48	15	0	1.00	1	7	24	64
1434017	99	0	1	0	0	41	31	29	0	1.00	1	4	51	43
1434025	100	0	0	0	0	26	56	18	0	1.00	0	1	25	75
1434498	99	0	0	0	0	37	45	18	0	1.00	1	3	47	48

Site	Occupation du territoire (%)					Position des milieux humides (%)			Connectivité (C, %)	Facteur de laminage	Classe hydrologique (%)			
	Boisé	Agricole	Urbain	Lac	MH	Aval	Centre	Amont			A	B	C	D
1521500	83	15	1	0	1	36	39	24	0	1.00	6	8	10	74
4233286	70	25,0	3	0	2	39	33	28	0	0.75	9	4	29	52
4237962	53	39	5	0	2	60	24	16	0	0.70	10	36	27	20
4288225	84	16	0	0	0	44	37	20	0	1.00	5	0	25	70
4288230	100	0	0	0	0	61	36	3	0	1.00	12	0	34	54
4294300	49	34	3	6	7	88	11	1	23.9	0.57	6	2	28	49
02AB020	77	2	4	1	17	27	42	31	66.1	0.60	0	78	0	0
02BF004	77	13	2	2	7	86	6	8	21.8	0.61	0	0	0	89
02BF005	88	0	0	11	1	25	59	16	45.3	0.63	0	0	88	0
02BF007	88	0	0	11	1	63	9	28	39.0	0.57	0	0	88	0
02BF008	89	0	0	9	2	55	3	43	30.1	0.60	0	0	89	0
02BF009	92	0	0	6	3	9	87	4	22.7	0.66	0	0	92	0
02BF012	84	0	0	13	3	94	6	0	31.4	0.56	0	0	84	0
02BF013	91	0	0	9	0	0	75	25	0	0.80	0	0	91	0
02DB007	82	1	6	1	10	29	50	21	38.0	0.65	0	0	0	83
02DD013	74	8	0	2	16	40	47	13	44.2	0.60	0	0	0	78
02EC010	20	68	6	0	6	23	27	50	32.9	0.70	23	0	13	51
02ED017	37	47	3	0	13	35	34	31	31.3	0.63	27	0	51	7
02ED100	21	64	10	0	5	79	18	3	24.0	0.66	38	0	16	31
02FC017	13	54	2	0	30	33	41	27	66.7	0.55	50	0	17	1
02FD002	11	66	3	0	21	7	69	25	43.1	0.58	48	0	1	28
02FE014	13	78	4	0	6	14	39	47	21.9	0.69	37	0	41	13
02GA030	13	72	11	0	3	38	39	24	0	0.72	51	0	5	30
02GA031	34	46	2	0	17	41	46	13	54.3	0.60	23	0	46	11
02GA041	4	66	2	0	28	58	18	25	45.9	0.54	4	0	63	3
02GA044	14	77	0	0	9	83	4	13	32.5	0.60	75	0	3	12

Site	Occupation du territoire (%)					Position des milieux humides (%)			Connectivité (C, %)	Facteur de laminage	Classe hydrologique (%)			
	Boisé	Agricole	Urbain	Lac	MH	Aval	Centre	Amont			A	B	C	D
02GA045	12	80	0	0	8	87	13	0	56.8	0.62	88	0	3	1
02GA046	7	91	0	0	2	59	24	17	0	0.80	85	0	2	11
02HB012	19	51	14	0	16	28	15	57	41.9	0.62	38	0	2	31
02HB020	18	65	5	0	12	61	21	18	68.8	0.58	67	0	16	0
02HC019	37	52	6	1	5	20	50	30	24.6	0.70	28	0	25	35
02HC023	19	69	6	1	5	50	34	16	23.8	0.70	14	0	7	67
02HC028	9	67	17	1	6	16	59	25	34.5	0.68	17	0	14	46
02HC038	22	67	4	1	6	32	23	45	33.0	0.68	29	1	11	47
02HD003	52	38	3	0	7	27	51	22	30.5	0.68	43	0	34	11
02HD004	60	30	2	0	8	43	56	1	27.6	0.66	51	1	37	1
02HD010	44	43	4	0	9	50	34	17	45.7	0.66	45	0	41	1
02HD018	21	58	4	0	16	53	27	20	37.4	0.56	41	0	38	0
02HH003	46	40	2	0	12	53	37	10	71.3	0.58	67	0	18	0
02HJ005	43	54	0	0	3	79	21	0	0	0.72	46	0	48	3
02HK008	49	19	2	1	29	15	54	31	78.0	0.58	14	32	8	15
02HK009	45	38	2	0	14	37	45	17	53.9	0.63	49	0	33	1
02HK011	45	28	0	1	25	71	15	14	43.7	0.55	55	0	16	2

## **Annexe D - Estimation des caractéristiques physiographiques**

Les prochaines sections décrivent les caractéristiques physiographiques retenues dans le cadre de cette étude et les étapes menant à leur estimation. La procédure utilisée pour estimer ces caractéristiques est basée sur les travaux et les recommandations se trouvant dans le rapport final de la Phase I du projet de recherche (Mailhot *et al.* 2018), notamment les travaux sur la révision des différentes étapes requises pour l'estimation de débit de conception à partir de la MÉRA. Ainsi, le lecteur est invité à consulter les Chapitres 5 et 7 de Mailhot *et al.* (2018) pour plus d'information.

### **D.1 Superficie (A)**

La superficie des BV est exprimée en km<sup>2</sup> et correspond à la délimitation topographique des surfaces alimentant une section considérée d'un cours d'eau (Roche *et al.*, 2012). Il regroupe alors toutes les surfaces qui, par ruissellement, vont contribuer à l'écoulement du cours d'eau. Le BV topographique peut être différent du BV d'alimentation qui lui inclut également les approvisionnements provenant des nappes phréatiques (Roche *et al.*, 2012). Ces BV ont été délimités par différentes personnes, de manière automatique, et ont été suivi d'une vérification manuelle des limites produites.

### **D.2 Pente moyenne (S<sub>B</sub>)**

La pente moyenne du BV est exprimée en %. Les modèles numériques de terrain (MNT), ou modèles numériques d'élévation, ont été utilisés afin d'estimer la pente moyenne des BV. La fonctionnalité *Spatial analyst* → *Surface* → *SLOPE* d'ArcGIS a été utilisée pour estimer la pente de chacune des cellules ou tuiles des MNT alors que la fonctionnalité *Spatial analyst* → *Zonal* → *STATISTICAL AS TABLE* a permis d'estimer la pente moyenne considérant toutes les tuiles comprises à l'intérieur de chacun des BV.

### **D.3 Longueur du cours d'eau principal (L<sub>C</sub>)**

Le cours d'eau principal est exprimé en km et correspond au plus long tracé hydrographique de l'exutoire jusqu'à la limite amont du BV considérant l'entièreté du réseau hydrographique. Lorsque le réseau hydrographique n'atteint pas les limites du BV,



un tronçon supplémentaire est ajouté depuis le tronçon le plus en amont jusqu'à la limite du BV en suivant la topographie.

#### **D.4 Pente moyenne du cours d'eau ( $S_C$ )**

La pente moyenne du cours d'eau exprimée en % et correspondant à la pente 85-10, soit la pente moyenne du tronçon du cours d'eau principal localisé entre deux points se situant respectivement à 10% en amont de l'exutoire et à 15% en aval de la limite du BV (Transports Québec, 2017). Le cours d'eau principal correspond au plus long tracé hydrographique de l'exutoire jusqu'à la limite amont du BV considérant la tout le réseau hydrographique (voir Section D.3). Une fois le cours d'eau principal identifié, l'outil *3D Analyst* → *Functionnal surface information* → *ADD SURFACE INFORMATION* d'ArcGIS a été utilisé pour calculer la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente moyenne est estimée à partir des pentes des tuiles, elles-mêmes estimées préalablement lors du calcul de la pente moyenne du BV (voir Section D.2), qui touchent au tracé du cours d'eau principal.

#### **D.5 Longueur du réseau hydrographique ( $L_{RH}$ )**

La longueur du réseau hydrographique est exprimée en km et correspond à la somme de tout le réseau linéaire associé aux cours d'eau pour un BV.

#### **D.6 Densité de drainage ( $D_D$ )**

La densité de drainage est exprimée en km et correspond au rapport entre la longueur du réseau hydrographique et la superficie du BV :

$$D_D = L_{RH}/A \quad (D.1)$$

#### **D.7 Forme ( $W$ )**

La forme du BV (communément appelé *Width*), exprimée en km, est obtenu en faisant le rapport entre la superficie du BV et la longueur du cours d'eau principal :

$$W = A/L_C \quad (D.2)$$

## **D.8 Occupation du territoire**

L'occupation du territoire a été déterminée à partir des couches hydrographiques surfaciques (lacs) et de l'inventaire annuel des cultures du Canada (IAC) pour l'Ontario et le Québec. Pour les États-Unis, le *NLCD Land Cover* (2011) a été utilisé. Ainsi la superficie des lacs a été estimée avec la couche hydrographique surfacique dans un premier temps et chacun de ces éléments surfaciques a été 'soustrait' (ou 'masqué') de la couche d'occupation du territoire en utilisant l'outil *Analysis → Overlay → Erase* d'ArcGIS. Les surfaces restantes ont été utilisées pour estimer les occupations du territoire suivantes : forêt, culture, pâturage, milieux humides, zones urbaines de faible, moyenne et haute densité.

## **D.9 Classification hydrologique des sols**

Les dépôts de surface ont été utilisés pour déterminer la classification hydrologique des sols (classification hydrologique A, B, C et D, voir le Tableau D.1). Pour le Québec, les cartes pédologiques ont également été utilisées lorsque la couverture des dépôts de surfaces était absente. Au Québec, l'association entre les dépôts de surface et les classes hydrologiques provient de Mailhot *et al.* (2018) et est présentée au Tableau D.2. Pour les cartes pédologiques, les résultats des travaux de Gagné *et al.* (2013), attribuant une classe hydrologique à 650 séries de sols, ont été utilisés. Pour l'Ontario et les États-Unis, les classes hydrologiques se retrouvent directement dans les couches d'informations géographiques des dépôts de surface.

Tableau D.1 - Description des groupes hydrologiques A, B, C et D tels que définis par USDA-NRCS (1986, 2009)

Groupe hydrologique	Description
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sol avec un faible potentiel de ruissellement lorsqu'il est saturé ;</li> <li>• Ruissellement s'infiltrant librement à travers le sol ;</li> <li>• Constitué de moins de 10 % d'argile et d'au moins 90 % de sable et/ou de gravier ;</li> <li>• Conductivité hydraulique à saturation élevée (&gt; 14.4 cm/h) ;</li> <li>• Aucune couche imperméable à moins de 50 cm de profondeur ;</li> <li>• Nappe phréatique à plus de 60 cm de la surface ;</li> <li>• Sol d'épaisseur supérieure à 100 cm au-dessus d'une couche imperméable ou au-dessus de la nappe phréatique et dont la conductivité hydraulique à saturation est supérieure 3.6 cm/h sur toute sa profondeur ;</li> <li>• Sol se drainant bien à excessivement bien.</li> </ul>
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sol avec un potentiel modéré de ruissellement lorsque saturé ;</li> <li>• Le ruissellement s'infiltrant sans entrave à travers le sol ;</li> <li>• Constitué de 10 à 20 % d'argile et de 50 à 90 % de sable ;</li> <li>• Conductivité hydraulique à saturation entre 3.6 et 14.4 cm/heure sur les 50 premiers centimètres de profondeur ;</li> <li>• Aucune couche imperméable à moins de 50 cm de profondeur ;</li> <li>• Nappe phréatique à plus de 60 cm de la surface ;</li> <li>• Sol d'épaisseur supérieure à 100 cm au-dessus d'une couche imperméable ou la nappe phréatique et dont la conductivité hydraulique à saturation est supérieure 1.4 cm/h sur toute sa profondeur et inférieure à 3.6 cm/h ;</li> <li>• Sol se drainant modérément bien.</li> </ul>
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sol avec un potentiel modérément élevé de ruissellement lorsque saturé ;</li> <li>• Ruissellement un peu limité à travers le sol ;</li> <li>• Constitué de 20 à 40 % d'argile et moins de 50 % de sable ;</li> <li>• Conductivité hydraulique à saturation entre 0.36 et 3.6 cm/h sur les 50 premiers centimètres de profondeur ;</li> <li>• Aucune couche imperméable à moins de 50 cm de profondeur ;</li> <li>• Nappe phréatique à plus de 60 cm de la surface ;</li> <li>• Sol d'épaisseur supérieur à 100 cm au-dessus d'une couche imperméable ou la nappe phréatique et dont la conductivité hydraulique à saturation est supérieure 0.15 cm/h sur toute sa profondeur et inférieure à 1.4 cm/h.</li> </ul>
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sol avec un potentiel élevé de ruissellement lorsque saturé ;</li> <li>• Ruissellement limité, voire très limité, à travers le sol ;</li> <li>• Constitué de plus de 40 % d'argile et moins de 50 % de sable ;</li> <li>• Sols ayant une couche imperméable à moins de 50 cm de profondeur ou à moins de 60 cm de la nappe phréatique ;</li> <li>• Sol avec une couche imperméable comprise entre 50 et 100 cm et de conductivité hydraulique à saturation inférieure à 0.36 cm/h ;</li> <li>• Sol d'épaisseur supérieure à 100 cm au-dessus d'une couche imperméable ou la nappe phréatique et dont la conductivité hydraulique à saturation est inférieure 0.15 cm/heure sur toute sa profondeur.</li> </ul>

Tableau D.2 - Groupes hydrologiques attribuées aux dépôts de surface du Québec (adaptée de Mailhot *et al.* 2018a).

Dépôt															
Glaciaires		Fluvio-glaciaires		Fluviatiles		Lacustres		Marins		Littoraux marins		De pente et d'altération		Éoliens	
Dépôt	CH	Dépôt	CH	Dépôt	CH	Dépôt	CH	Dépôt	CH	Dépôt	CH	Dépôt	CH	Dépôt	CH
1	B	2	B	3A	B	4A	C	5	B	6	C	8	B	9	B
1A	B	2A	B	3AC	C	4GA	C	5A	C	6A	B	8A	B	9A	B
1AA	C	2AE	B	3AE	D	4GD	B	5G	C	6S	B	8AL	B	9S	B
1AB	A	2AK	B	3AN	C	4GS	B	5L	C			8AP	A		
1AD	C	2AT	B	3D	C	4P	B	5S	C			8AS	B		
1AS	B	2B	B	3DA	C							8C	B		
1B	B	2BD	B	3DD	C							8E	B		
1BC	B	2BE	B	3DE	B							8F	A		
1BD	B	2BP	B									8G	B		
1BF	B											8P	B		
1BG	B														
1BI	B														
1BN	B														
1BP	B														
1BT	B														
1P	B														

### D.10 – Connectivité entre les LMH et le réseau hydrographique (C)

La connectivité entre les LMH et le réseau hydrographique est exprimée en % et représente la proportion de la longueur du réseau hydrographique ( $L_{RH}$ ) qui transite directement par les LMH. La connectivité peut jouer un rôle important sur le temps de la réponse hydrologique d'un bassin. En effet, on peut penser que plus les LMH sont 'déconnectés' du réseau hydrographique, plus ils retarderont l'écoulement et augmenteront l'effet de laminage. Cette connectivité a été définie par la fraction linéaire des cours d'eau d'un BV superposée aux zones de LMH.

La Figure D.1 montre deux exemples. Pour le premier, celui du BV 02HH003 (Ontario, 26 km<sup>2</sup>), à gauche de la Figure D.1, le réseau hydrographique a une longueur totale de 32.5 km et une grande proportion du réseau hydrographique (71 %) se retrouve dans des zones où se trouvent les LMH (zones vertes pâles). Dans le deuxième exemple (BV 050812, Québec, 96 km<sup>2</sup>), à droite de la Figure D.1, le réseau hydrographique total mesure 152.4 km, toutefois les LMH pour ce BV sont plus isolés et ne sont pas directement connectés au réseau hydrographique. En effet, seul 22% du réseau se

confond aux zones avec des LMH. La connectivité est alors beaucoup plus faible. L'effet de cette caractéristique physiographique sur la réponse hydrologique n'est pratiquement pas, à notre connaissance, documenté.

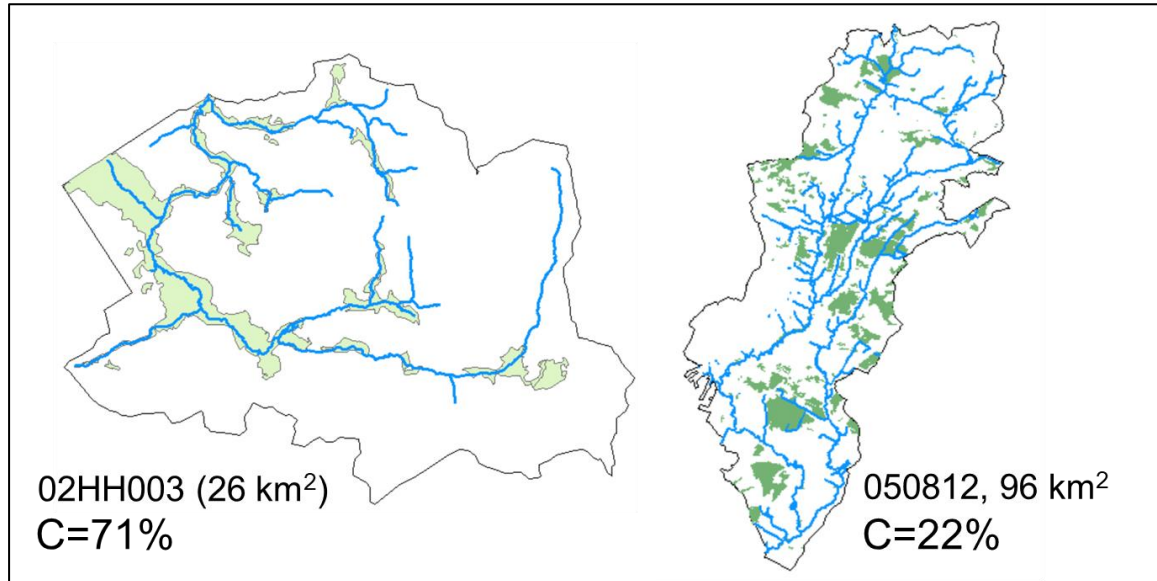


Figure D.1 – Exemple d'estimation de la connectivité entre les LHH et le réseau hydrographique. Les zones vertes représentent les LMH.

### D.11 – Séparation du réseau hydrographique ( $S_{RH}$ )

La séparation du réseau hydrographique, exprimé en %, correspond au rapport entre la superficie des BV secondaires situées à une certaine distance de l'exutoire et la surface totale du BV. À cet égard, certains BV à l'étude présentent des caractéristiques physiographiques laissant présager que la réponse hydrologique sera très lente. C'est le cas du bassin présenté à la Figure D.2. Il s'agit d'un des plus grands BV retenus, l'occupation en LMH est importante (13 %), la pente du cours d'eau est inférieure à 1 % et la connectivité est faible (24 %). Malgré ces caractéristiques, les TC pour ce bassin sont nettement inférieurs à ceux obtenus pour d'autres bassins aux caractéristiques physiographiques semblables. Le même constat vaut pour d'autres BV. L'une des raisons pouvant expliquer ces TC plus courts est la forme du réseau hydrographique plus précisément la séparation du BV en sous-bassins dans les parties amont du réseau. Le BV de la Figure D.2 présente cette caractéristique. Ainsi, comme le montre l'encadré à droite, tout juste en amont de son exutoire, le réseau est à la confluence de deux sous-

bassins de superficies comparables. Si les TC de ces deux sous-bassins sont différents alors le TC pour ce type de bassin pourra être associé au sous bassin présentant la réponse hydrologique la plus rapide. C'est ce qui semble être le cas du bassin de la Figure D.2 puisque, comme le suggère la Figure D.3, les hydrogrammes présentent une structure à plusieurs pics, certains associés à une réponse rapide et d'autres à une réponse plus lente.

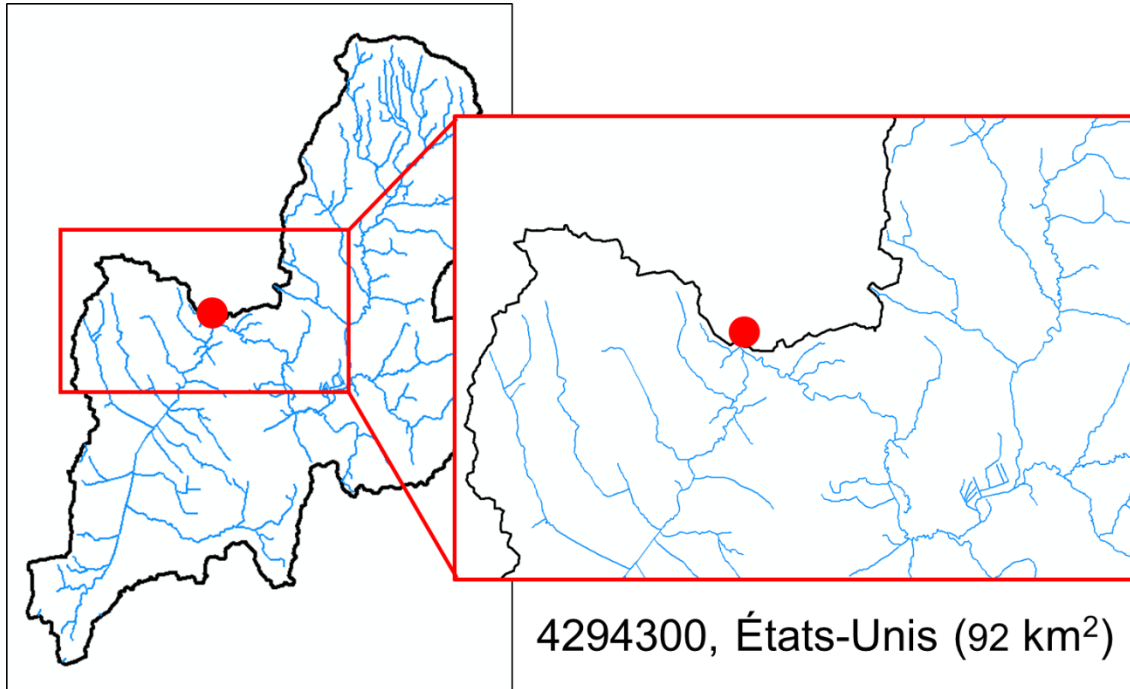


Figure D.2 – BV 4294300 présentant une forte séparation du réseau hydrographique en aval.

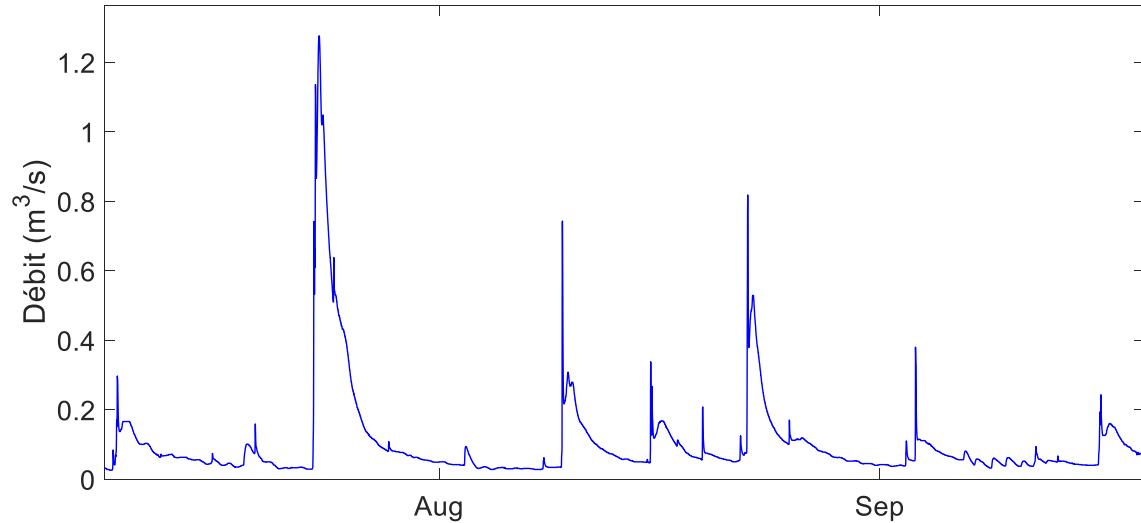


Figure D.3 – BV 4294300 (États-Unis, 92 km<sup>2</sup>) présentant une réponse hydrologique en plusieurs temps associés à une séparation importante du bassin en deux sous-bassins un peu en amont de l'exutoire du bassin.

L'approche utilisée pour quantifier la séparation du réseau hydrographique consiste à estimer la superficie du BV amont lorsque l'on se déplace depuis l'exutoire le long du cours d'eau principal et à rapporter cette superficie sur la superficie totale du bassin. L'approche est illustrée à la Figure D.4 et un graphique montre le résultat obtenu pour le bassin 4297300 présenté précédemment à la Figure D.2. Elle montre que lorsque l'on se déplace d'une distance correspondant à 5 % de la longueur totale du cours d'eau principal, la superficie du bassin amont en ce point représente 40 % de la superficie totale du BV. À toute fin utile, entre l'exutoire et le point situé à 5% de distance totale du cours principal, le BV se subdivise en deux sous-bassins de superficie similaire. On comprend dans un tel contexte, que le TC à l'exutoire sera conditionné par le sous-bassin avec le TC le plus court.

Pour l'ensemble des BV sous étude, il y aura séparation du réseau hydrographique si la superficie d'origine est réduite d'au moins 50 % au point correspondant à 25 % de la longueur totale du cours d'eau principal. Ce critère est satisfait par le BV 4297300 de la Figure D.2 (Figure D.4). Ce critère a été retenu puisqu'il correspond, pour l'ensemble des BV sous étude, au point du cours d'eau principal où le BV est divisé en trois entités de superficies semblables (voir Section D.12).

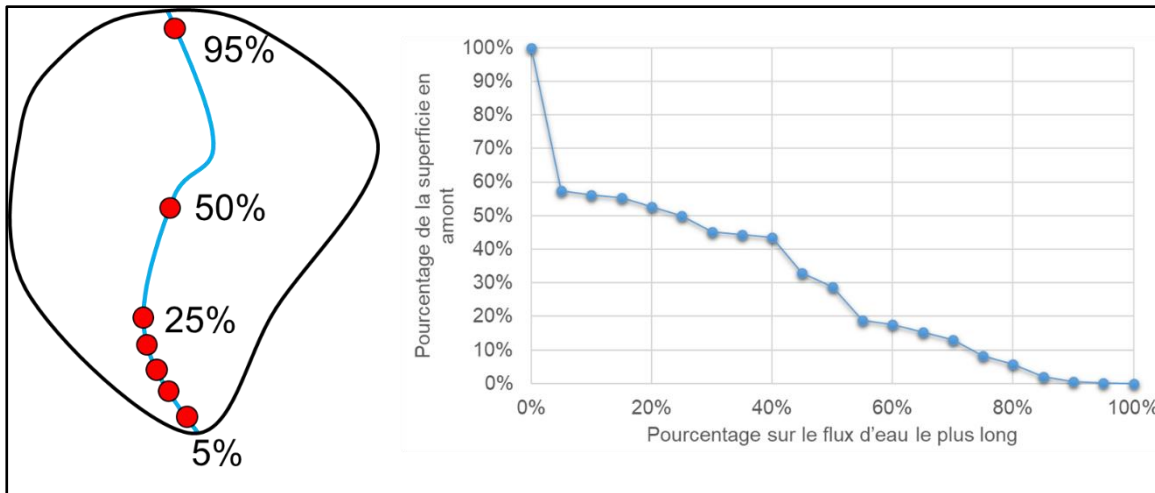


Figure D.4 – Schéma illustrant l'approche retenue pour évaluer le niveau de séparation du réseau hydrographique pour chaque bassin.

### D.12 - Position des LMH (aval-centre-amont)

La position des LMH est fonction de la proportion de LMH située en aval, au centre et en amont du BV. Il est généralement accepté que les LMH ont un impact sur la réponse hydrologique d'un BV (voir Section 7.3). D'ailleurs, tel discuté à la Section 5.5, parmi toutes les caractéristiques physiographiques considérées dans le cadre de ce projet, la proportion de LMH apparaît comme étant la variable physiographique ayant la plus grande influence sur le TC. De plus, selon Quinton et Roulet (1998), des LMH situés dans les parties aval auront un impact plus importants sur la réponse hydrologique puisque les eaux d'écoulement doivent nécessairement transiter par ces milieux humides avant d'atteindre l'exutoire.

La procédure visant à définir s'il y a séparation du réseau hydrographique (Section D.11) a aussi été utilisée pour séparer les BV en trois entités correspondant aux parties aval, centre et amont (Figure D.5). La Figure D.6 montre la distribution des fractions de la superficie amont à tous les BV pour des sous-bassins dont l'exutoire se trouve en différents points le long du cours d'eau principal. Cette figure montre qu'en considérant les BV associés aux points 25 % et 50 % le long du cours d'eau principal, il est possible de subdiviser le bassin en trois sous-bassins de superficies assez similaires. En moyenne,



pour tous les BV sous étude cette division permet d'attribuer 37 % à la partie aval, 31 % à la partie centrale et 32 % à la partie amont.

Deux catégories ont été définies. La première considère la somme des surfaces de LMH dans les parties amont et centrale de chaque BV. Pour qu'un BV soit associé à la catégorie Amont-Centre, la fraction de LMH dans les parties amont et centrale du BV doit être supérieure à 70 %. Tout autre BV ayant des LMH et ne répondant pas à ce critère est classé dans la seconde catégorie appelé Aval-Uniforme.

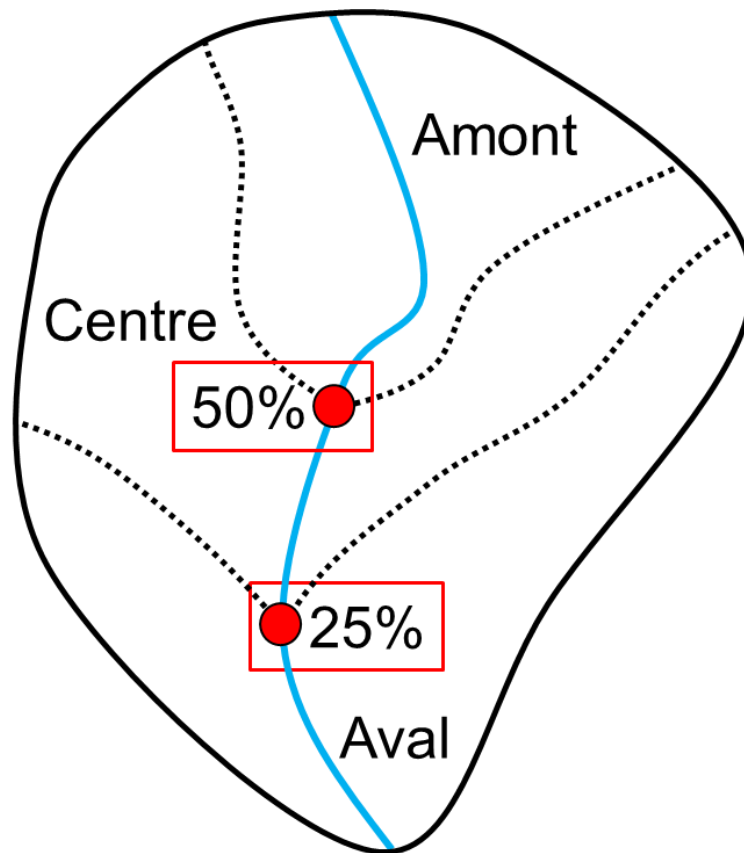


Figure D.5 – Schéma montrant la séparation d'un BV en sous-bassins Aval, Centre et Amont pour des points situés à 25 et 50 % de la longueur totale du cours d'eau principal.

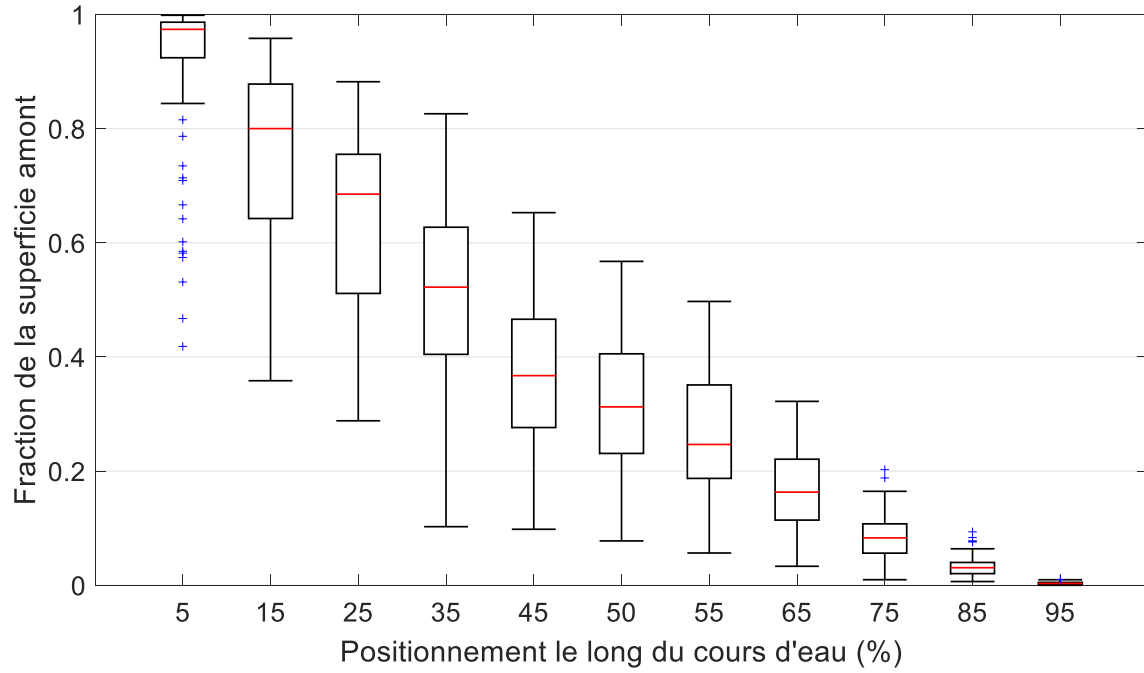


Figure D.6 – Distributions (box plot) des fractions de la superficie amont en fonction de la position le long du cours d'eau principal exprimés en pourcentages de la longueur total du cours d'eau principal.



## Annexe E. Caractéristiques des séries disponibles aux BV sous étude

Tableau E.1 - Caractéristiques des séries disponibles aux 93 stations hydrométriques retenues et p-value du test de tendance (Mann-Kendall).

Nom/Numéro Station	Année de début et de fin d'opération		Nombre années opération	Nombre d'années selon le pourcentage de données disponibles pendant la période du 1er juin au 31 octobre					Mann-Kendall (p-value)
	Début	Fin		100%	]90%, 100%[	]80%, 90%[	]0%, 80%[	> 80%	
030422	2001	2013	13	11	0	0	2	11	1.00
030423	1999	2016	18	6	7	0	5	13	0.76
030425	2001	2016	16	3	8	1	4	12	1.00
030426	2001	2015	15	3	10	0	2	13	0.13
040212	1997	2015	19	2	7	7	3	16	0.59
040409	1997	2016	20	9	7	1	3	17	0.77
050812	1997	2015	19	9	3	2	5	14	0.58
050813	1997	2015	19	12	5	1	1	18	0.08
051002	1995	2015	21	7	11	0	3	18	0.88
051003	1995	2015	21	8	10	0	3	18	0.82
051004	1995	2015	21	7	7	1	6	15	0.84
120201	1997	2015	19	8	4	3	4	15	0.11
Fourchette Amont	2002	2015	14	11	1	1	1	13	0.13
Fourchette Aval	2002	2015	14	12	0	1	1	13	0.10
02AB020	1986	2016	31	22	6	1	2	29	0.32
02BF004	1979	2016	38	27	3	1	7	31	0.43
02BF005	1981	2015	35	23	6	3	3	32	0.29
02BF007	1981	2015	35	26	2	1	6	29	0.96
02BF008	1980	2015	36	28	5	0	3	33	0.65
02BF009	1981	2015	35	23	8	0	4	31	0.84
02BF012	1983	2015	33	24	3	1	5	28	0.74
02BF013	1989	2015	27	23	3	0	1	26	0.86
02DB007	1980	2016	37	18	6	2	11	26	0.19
02DD013	1974	2016	43	36	2	2	3	40	0.35
02EC010	1969	2016	48	31	6	2	9	39	0.13
02ED017	1988	2016	29	19	8	1	1	28	0.10
02ED100	1997	2016	20	16	3	0	1	19	0.73
02FC017	2006	2016	11	8	2	0	1	10	0.47
02FD002	2005	2016	12	10	1	0	1	11	0.88
02FE014	2002	2016	15	13	1	0	1	14	0.08

Nom/Numéro Station	Année de début et de fin d'opération		Nombre années opération	Nombre d'années selon le pourcentage de données disponibles pendant la période du 1er juin au 31 octobre					Mann-Kendall (p-value)
	Début	Fin		100%	]90%, 100%[	]80%, 90%]	[0%, 80%[	> 80%	
02GA030	1969	2016	48	28	12	2	6	42	0.64
02GA031	1969	2016	48	37	9	0	2	46	0.60
02GA041	2006	2016	11	10	0	0	1	10	0.21
02GA044	1998	2015	18	16	0	0	2	16	0.82
02GA045	1998	2015	18	10	2	0	6	12	0.54
02GA046	1998	2015	18	15	1	0	2	16	0.30
02HB012	1970	2016	47	33	10	2	2	45	0.06
02HB020	1983	2016	34	22	9	0	3	31	0.63
02HC019	1969	2016	48	36	6	1	5	43	0.20
02HC023	2005	2016	12	10	1	0	1	11	0.76
02HC028	1969	2016	48	35	11	0	2	46	0.13
02HC038	2006	2016	11	9	1	0	1	10	0.59
02HD003	1969	2016	48	31	9	3	5	43	0.59
02HD004	2003	2016	14	7	6	0	1	13	0.36
02HD010	1969	2016	48	27	15	3	3	45	0.46
02HD018	2002	2015	14	12	0	0	2	12	1.00
02HH003	2004	2015	12	11	0	0	1	11	1.00
02HJ005	2002	2015	14	8	3	0	3	11	0.44
02HK008	2002	2016	15	11	2	0	2	13	0.95
02HK009	1983	2016	34	22	5	0	7	27	0.24
02HK011	1992	2016	25	21	2	0	2	23	0.34
1021470	2000	2015	16	8	6	1	1	15	0.49
1037380	1998	2016	19	3	10	5	1	18	0.23
1063310	1995	2015	21	12	7	0	2	19	0.92
1073000	1990	2016	27	11	7	1	8	19	0.21
1109070	1988	2016	29	16	5	2	6	23	0.10
1135150	1991	2015	25	2	18	0	5	20	0.09
1139800	1998	2015	18	4	12	0	2	16	0.19
1142500	1990	2016	27	7	5	2	13	14	0.66
1162500	1988	2016	29	18	6	2	3	26	0.86
1169900	1990	2016	27	15	3	2	7	20	0.35
1174565	1995	2016	22	15	4	0	3	19	0.11
1175670	1990	2016	27	14	6	4	3	24	0.80
1349700	1996	2016	21	14	5	1	1	20	0.67
1349711	1997	2016	20	11	8	0	1	19	0.44
1349810	1997	2016	20	12	7	0	1	19	0.28
1350035	1998	2016	19	12	3	2	2	17	0.54

Nom/Numéro Station	Année de début et de fin d'opération		Nombre années opération	Nombre d'années selon le pourcentage de données disponibles pendant la période du 1er juin au 31 octobre					Mann-Kendall (p-value)
	Début	Fin		100%	]90%, 100%[	]80%, 90%]	[0%, 80%[	> 80%	
1350080	1990	2016	27	9	14	2	2	25	0.36
1350120	1990	2016	27	11	10	2	4	23	0.27
1350140	1996	2016	21	11	6	3	1	20	0.10
1360640	1990	2016	27	11	10	1	5	22	0.19
1362497	1997	2016	20	12	6	1	1	19	0.83
1363382	2000	2016	17	8	6	2	1	16	0.39
1365000	1992	2016	25	13	7	1	4	21	0.32
1365500	1999	2016	18	7	8	1	2	16	0.50
1374559	1995	2016	22	10	10	1	1	21	0.65
1374598	1996	2016	21	8	9	3	1	20	1.00
1374890	1995	2016	22	10	11	0	1	21	0.38
1413088	2000	2016	17	10	6	1	0	17	0.71
1414000	1996	2016	21	12	6	2	1	20	0.16
1414500	1990	2016	27	8	10	5	4	23	0.13
1415000	1990	2016	27	10	10	3	4	23	0.23
1421610	2000	2016	17	12	4	0	1	16	0.59
1421618	1997	2016	20	11	8	0	1	19	0.58
1434017	1991	2016	26	10	11	2	3	23	0.34
1434025	1991	2016	26	10	11	2	3	23	0.58
1434498	1991	2016	26	13	10	2	1	25	0.28
1521500	1996	2016	21	10	6	1	4	17	0.51
4233286	2002	2016	15	7	5	2	1	14	0.58
4237962	2001	2016	16	5	7	1	3	13	0.85
4288225	2000	2015	16	6	8	0	2	14	0.83
4288230	2000	2015	16	2	10	2	2	14	1.00
4294300	2001	2016	16	8	6	1	1	15	0.15



## Annexe F. Estimation des quantiles de débit aux BV sous étude

Tableau F.1 - Distributions sélectionnées, valeurs des paramètres et débits maximum annuel de périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50 et 100 ans estimés.

Numéro station hydrométrique	Nombre années valides	Distribution retenue	Valeurs des paramètres			Débit maximum annuel (m <sup>3</sup> /sec) [±Intervalle de confiance 95%]					
			Position	Échelle	Forme <sup>1</sup>	2	5	10	25	50	100
			(mm)	(mm)							
30422	11	GEV	4.46	1.77	0.43	5.1 [0.9]	6.4 [1.6]	7 [2.2]	7.5 [2.9]	7.8 [3.5]	8.0 [4.1]
30423	13	Gumbel	13.20	8.58		16.1 [5.7]	25.9 [9.6]	32.3 [13]	40.5 [17.5]	46.5 [21]	52.5 [24.5]
30425	12	Log-Normale	2.59	0.60		13.7 [3.8]	21.2 [6.4]	26.1 [8.7]	32.4 [11.7]	37.1 [14]	41.7 [16.3]
30426	13	Gumbel	6.80	3.94		9.0 [2]	12.9 [3.4]	15.4 [4.6]	18.6 [6.2]	21.0 [7.4]	23.3 [8.6]
40409	17	Log-Normale	1.95	0.77		7.4 [2.4]	12.6 [4.1]	16 [5.5]	20.4 [7.5]	23.6 [8.9]	26.8 [10.4]
40212	16	Log-Normale	2.37	0.65		8.7 [2.9]	15.1 [4.9]	19.3 [6.6]	24.7 [8.9]	28.6 [10.7]	32.6 [12.4]
50812	14	Log-Normale	2.90	0.57		17.1 [4.9]	27.5 [8.2]	34.4 [11.1]	43.1 [14.9]	49.6 [17.8]	56.0 [20.8]
50813	18	Log-Normale	-1.24	0.69		0.3 [0.1]	0.5 [0.2]	0.7 [0.2]	0.8 [0.3]	0.9 [0.3]	1.1 [0.4]
51002	18	Log-Normale	0.02	0.53		1.1 [0.2]	1.6 [0.4]	2 [0.6]	2.5 [0.7]	2.8 [0.9]	3.2 [1]
51003	18	GEV	2.44	1.16	-0.38	3.4 [0.9]	5.6 [1.6]	7.1 [2.2]	8.9 [2.9]	10.3 [3.5]	11.6 [4.1]
51004	15	Log-Normale	-0.33	0.60		0.7 [0.2]	1.2 [0.4]	1.5 [0.5]	1.9 [0.7]	2.2 [0.8]	2.5 [0.9]
120201	15	Log-Normale	1.90	0.56		7.1 [1.5]	10.3 [2.5]	12.4 [3.4]	15.1 [4.6]	17 [5.5]	19 [6.4]
Fourchette Amont	13	GEV	1.01	0.39	-0.59	1.2 [0.9]	2 [1.6]	2.9 [2.2]	4.8 [2.9]	7.1 [3.5]	10.5 [4.1]
Fourchette Aval	13	Log-Normale	0.13	0.87		1.1 [0.9]	2.4 [1.6]	3.5 [2.2]	5.2 [2.9]	6.8 [3.5]	8.6 [4.1]
02AB020	29	Log-Normale	1.86	0.89		8 [2.8]	15.4 [4.7]	20.3 [6.4]	26.6 [8.6]	31.2 [10.3]	35.8 [12]
02BF004	31	Log-Normale	1.63	1.01		10 [3.2]	19.4 [5.4]	25.5 [7.3]	33.4 [9.9]	39.2 [11.8]	44.9 [13.7]
02BF005	32	Log-Normale	0.09	0.69		1.2 [0.3]	2 [0.5]	2.6 [0.7]	3.3 [0.9]	3.8 [1.1]	4.4 [1.3]
02BF007	29	Log-Normale	-0.63	0.76		0.6 [0.2]	1.2 [0.4]	1.5 [0.6]	2 [0.8]	2.3 [0.9]	2.7 [1.1]
02BF008	33	GEV	0.44	0.40	-0.24	0.7 [0.2]	1.3 [0.4]	1.7 [0.5]	2.3 [0.7]	2.7 [0.8]	3.1 [0.9]
02BF009	31	Log-Normale	-0.35	0.91		0.9 [0.3]	1.7 [0.5]	2.3 [0.7]	3 [0.9]	3.6 [1.1]	4.1 [1.3]
02BF012	28	Log-Normale	-1.27	1.19		0.4 [0.2]	0.9 [0.4]	1.3 [0.6]	1.8 [0.8]	2.1 [0.9]	2.4 [1.1]
02BF013	26	Log-Normale	-2.17	0.89		0.1 [0.1]	0.3 [0.1]	0.4 [0.1]	0.5 [0.2]	0.5 [0.2]	0.6 [0.2]
02DB007	26	Log-Normale	2.06	0.62		8.3 [1.7]	12.8 [2.8]	15.8 [3.8]	19.6 [5.2]	22.4 [6.2]	25.2 [7.2]
02DD013	40	Log-Normale	1.50	0.66		4.8 [1]	8.1 [1.7]	10.4 [2.3]	13.2 [3.2]	15.2 [3.8]	17.3 [4.4]
02EC010	39	Log-Normale	0.25	0.97		1.8 [0.7]	4.2 [1.2]	5.7 [1.7]	7.7 [2.2]	9.2 [2.7]	10.6 [3.1]
02ED017	28	GEV	1.87	1.13	-0.43	2.9 [1.1]	6 [1.9]	8.1 [2.5]	10.6 [3.4]	12.5 [4.1]	14.4 [4.7]
02ED100	19	Log-Normale	1.10	1.05		4.2 [2.8]	10.3 [4.8]	14.3 [6.5]	19.4 [8.7]	23.1 [10.4]	26.9 [12.1]
02FC017	10	Gumbel	2.27	1.17		2.6 [0.9]	4.5 [1.5]	5.7 [2]	7.3 [2.7]	8.5 [3.2]	9.6 [3.7]
02FD002	11	Log-Normale	1.25	0.85		4.2 [1.6]	8.5 [2.7]	11.3 [3.6]	14.9 [4.9]	17.6 [5.9]	20.3 [6.8]
02FE014	14	Log-Normale	1.93	0.85		8.5 [4.2]	19.1 [7]	26.1 [9.5]	35 [12.8]	41.6 [15.3]	48.2 [17.8]
02GA030	42	Log-Normale	0.74	1.10		2.9 [1]	6 [1.6]	8.1 [2.2]	10.6 [3]	12.6 [3.6]	14.5 [4.2]
02GA031	46	GEV	0.98	0.35	-0.39	1.4 [0.3]	2.5 [0.6]	3.2 [0.8]	4.1 [1]	4.8 [1.2]	5.5 [1.4]



Numéro station hydrométrique	Nombre années valides	Distribution retenue	Valeurs des paramètres			Débit maximum annuel (m <sup>3</sup> /sec) [±Intervalle de confiance 95%]					
			Position	Échelle	Forme <sup>1</sup>	2	5	10	25	50	100
			(mm)	(mm)							
02GA041	10	Log-Normale	1.90	1.30		6.4 [3.2]	14.9 [5.4]	20.5 [7.3]	27.6 [9.8]	32.8 [11.7]	38 [13.7]
02GA044	16	GEV	0.20	0.15	-0.68	0.4 [0.3]	1.2 [0.6]	1.7 [0.8]	2.3 [1]	2.8 [1.2]	3.3 [1.5]
02GA045	12	Gumbel	0.52	0.25		0.6 [0.1]	0.9 [0.2]	1 [0.3]	1.2 [0.4]	1.4 [0.4]	1.5 [0.5]
02GA046	16	Log-Normale	-1.53	0.87		0.3 [0.1]	0.5 [0.2]	0.7 [0.3]	0.9 [0.3]	1.1 [0.4]	1.2 [0.5]
02HB012	45	Log-Normale	1.75	0.74		6.6 [1.6]	12 [2.6]	15.6 [3.6]	20.1 [4.8]	23.4 [5.7]	26.7 [6.7]
02HB020	31	Log-Normale	0.58	0.55		1.9 [0.4]	2.9 [0.6]	3.6 [0.9]	4.5 [1.2]	5.2 [1.4]	5.8 [1.6]
02HC019	43	Log-Normale	2.12	0.86		10.8 [4.4]	25.5 [7.3]	35.3 [9.9]	47.5 [13.4]	56.7 [16]	65.7 [18.7]
02HC023	11	Log-Normale	1.53	0.64		3.2 [1.3]	7 [2.2]	9.5 [2.9]	12.7 [3.9]	15.1 [4.7]	17.4 [5.5]
02HC028	46	Log-Normale	1.80	0.93		7.7 [2]	14.5 [3.3]	19.1 [4.5]	24.8 [6]	29 [7.2]	33.2 [8.4]
02HC038	10	Log-Normale	1.67	0.76		4.9 [1.8]	9.4 [3]	12.3 [4.1]	16.1 [5.5]	18.8 [6.5]	21.6 [7.6]
02HD003	43	Gumbel	5.53	2.42		6.4 [0.8]	9 [1.4]	10.7 [1.8]	12.8 [2.5]	14.5 [3]	16 [3.5]
02HD004	13	Log-Normale	1.36	0.74		3.2 [1.1]	6.2 [1.8]	8.2 [2.5]	10.7 [3.3]	12.5 [4]	14.4 [4.7]
02HD010	45	Log-Normale	1.68	0.70		5.3 [2.2]	9.7 [3.6]	13.2 [4.9]	18.3 [6.6]	22.7 [7.9]	27.5 [9.2]
02HD018	12	Log-Normale	1.05	0.66		2.9 [1.1]	5.1 [1.8]	6.5 [2.4]	8.3 [3.3]	9.6 [3.9]	11 [4.6]
02HH003	11	Log-Normale	0.73	0.48		1.8 [0.4]	2.7 [0.7]	3.3 [1]	4 [1.4]	4.5 [1.6]	5.1 [1.9]
02HJ005	11	Gumbel	0.68	0.25		0.8 [0.2]	1.2 [0.3]	1.4 [0.4]	1.7 [0.6]	1.9 [0.7]	2.1 [0.8]
02HK008	13	GEV	2.06	0.72	-0.51	2.5 [0.9]	4.6 [1.6]	5.9 [2.2]	7.7 [2.9]	9 [3.5]	10.2 [4]
02HK009	27	Log-Normale	1.11	0.51		3.7 [0.8]	5.8 [1.4]	7.2 [1.9]	9 [2.6]	10.3 [3.1]	11.6 [3.6]
02HK011	23	Log-Normale	0.91	0.91		3.1 [1.4]	6.2 [2.3]	8.3 [3.1]	10.9 [4.2]	12.9 [5]	14.8 [5.8]
1021470	15	Log-Normale	0.65	0.80		2.1 [0.7]	3.7 [1.2]	4.7 [1.6]	6 [2.2]	7 [2.6]	8 [3]
1037380	18	Log-Normale	1.84	1.00		7.8 [3.3]	15.1 [5.6]	19.9 [7.5]	26 [10.2]	30.5 [12.2]	35 [14.2]
1063310	19	Log-Normale	-0.83	1.10		0.5 [0.3]	1.4 [0.6]	1.9 [0.8]	2.6 [1.1]	3.1 [1.3]	3.6 [1.5]
1073000	19	Log-Normale	1.58	0.88		5.4 [2.7]	11.8 [4.6]	15.9 [6.2]	21.2 [8.4]	25.1 [10.1]	29 [11.7]
1109070	23	Log-Normale	1.33	1.04		5 [2.2]	10.4 [3.6]	14 [4.9]	18.5 [6.6]	21.8 [7.9]	25.2 [9.2]
1135150	20	Log-Normale	1.30	0.60		3.9 [1.1]	6.6 [1.8]	8.3 [2.4]	10.6 [3.3]	12.2 [4]	13.8 [4.6]
1139800	16	Log-Normale	2.07	0.69		8 [2.4]	13.6 [4]	17.3 [5.4]	22 [7.3]	25.4 [8.7]	28.9 [10.1]
1142500	14	Log-Normale	2.68	0.91		23.5 [12.8]	50.8 [21.5]	68.9 [29]	91.7 [39.1]	108.7 [46.8]	125.5 [54.6]
1162500	26	Gumbel	3.77	2.99		4.9 [1.3]	8.1 [2.1]	10.3 [2.9]	13.1 [3.9]	15.1 [4.6]	17.1 [5.4]
1169900	20	Log-Normale	3.38	1.06		38.7 [20.4]	86.8 [34.4]	118.7 [46.5]	159 [62.7]	188.9 [75]	218.5 [87.4]
1174565	19	Log-Normale	2.01	1.35		12.4 [5.8]	24.9 [9.9]	33.2 [13.3]	43.7 [17.9]	51.5 [21.5]	59.2 [25]
1175670	24	Log-Normale	0.72	0.98		2.6 [1.7]	7.1 [2.9]	10 [4]	13.8 [5.3]	16.5 [6.4]	19.3 [7.4]
1349700	20	Log-Normale	3.74	1.15		57.6 [21]	107.2 [35.4]	139.9 [47.8]	181.3 [64.5]	212.1 [77.1]	242.6 [89.8]
1349711	19	Log-Normale	2.32	1.11		14.4 [10.1]	37.7 [17]	53.1 [23]	72.6 [31]	87.1 [37.1]	101.4 [43.2]
1349810	19	Log-Normale	3.85	1.08		59.6 [42.4]	157.3 [71.4]	221.9 [96.4]	303.7 [130]	364.3 [155.6]	424.4 [181.2]
1350035	17	Log-Normale	3.02	1.04		25.1 [10.2]	47.6 [17.2]	62.5 [23.3]	81.2 [31.4]	95.2 [37.5]	109 [43.7]
1350080	25	Log-Normale	2.45	1.57		21.2 [12.8]	54.6 [21.6]	76.7 [29.2]	104.6 [39.4]	125.3 [47.1]	145.9 [54.9]
1350120	23	Log-Normale	0.95	1.25		3.6 [3.3]	11.9 [5.6]	17.4 [7.6]	24.4 [10.2]	29.5 [12.2]	34.6 [14.2]

Numéro station hydrométrique	Nombre années valides	Distribution retenue	Valeurs des paramètres			Débit maximum annuel (m <sup>3</sup> /sec) [±Intervalle de confiance 95%]					
			Position	Échelle	Forme <sup>1</sup>	2	5	10	25	50	100
			(mm)	(mm)							
1350140	20	Log-Normale	2.48	1.25		18.2 [7.9]	36.9 [13.3]	49.2 [18]	64.9 [24.3]	76.4 [29.1]	87.9 [33.9]
1360640	22	Log-Normale	1.71	1.10		7.3 [2.7]	13.9 [4.5]	18.3 [6.1]	23.9 [8.3]	28 [9.9]	32 [11.5]
1362497	19	Gumbel	23.68	15.64		28.3 [7.1]	44.7 [12]	55.6 [16.2]	69.3 [21.8]	79.5 [26.1]	89.6 [30.4]
1363382	16	GEV	24.40	13.99	-0.51	37.4 [17.2]	74.4 [29]	98.8 [39.2]	129.7 [52.9]	152.6 [63.2]	175.3 [73.7]
1365000	21	Gumbel	48.55	46.48		66.3 [20.1]	114.7 [33.9]	146.8 [45.8]	187.3 [61.7]	217.4 [73.9]	247.2 [86]
1365500	16	Log-Normale	3.34	0.71		32.2 [8.8]	51.1 [14.8]	63.6 [20.1]	79.3 [27]	91.1 [32.4]	102.7 [37.7]
1374559	21	Log-Normale	1.44	0.98		4.9 [3]	12.1 [5]	16.8 [6.8]	22.8 [9.2]	27.3 [11]	31.7 [12.8]
1374598	20	Log-Normale	0.72	1.07		2.5 [2.3]	8 [4]	11.7 [5.3]	16.3 [7.2]	19.8 [8.6]	23.2 [10]
1374890	21	Log-Normale	1.67	0.83		6.1 [2.4]	11.9 [4]	15.7 [5.5]	20.5 [7.4]	24.1 [8.8]	27.7 [10.3]
1413088	17	Log-Normale	1.64	0.90		6 [2.3]	11 [3.8]	14.3 [5.1]	18.4 [6.9]	21.5 [8.3]	24.6 [9.7]
1414000	20	Log-Normale	3.27	1.02		33.7 [10.3]	57.9 [17.3]	74 [23.4]	94.3 [31.6]	109.3 [37.8]	124.2 [44]
1414500	23	Log-Normale	2.80	0.95		23.5 [7.6]	42.5 [12.8]	55.1 [17.3]	71 [23.3]	82.8 [27.9]	94.5 [32.5]
1415000	23	Log-Normale	3.04	1.10		26.3 [12.1]	58.2 [20.3]	79.3 [27.4]	106 [37]	125.7 [44.2]	145.4 [51.5]
1421610	16	Log-Normale	1.97	0.96		8.3 [3.4]	15.5 [5.6]	20.3 [7.6]	26.3 [10.3]	30.7 [12.3]	35.1 [14.3]
1421618	19	Log-Normale	3.17	0.96		28.6 [11]	53.9 [18.5]	70.7 [25]	91.9 [33.7]	107.6 [40.4]	123.2 [47]
1434017	23	Gumbel	46.39	42.56		62.7 [18.3]	108.5 [30.8]	138.9 [41.6]	177.2 [56.1]	205.7 [67.2]	233.9 [78.2]
1434025	23	Gumbel	4.52	2.91		6.6 [1.9]	11.3 [3.2]	14.4 [4.3]	18.3 [5.8]	21.3 [6.9]	24.2 [8]
1434498	25	Log-Normale	4.12	1.19		92.8 [29.8]	170.2 [50.1]	221.4 [67.7]	286.1 [91.3]	334.1 [109.2]	381.7 [127.2]
1521500	17	Log-Normale	2.77	0.29		15.8 [1.4]	18.9 [2.4]	20.9 [3.2]	23.5 [4.3]	25.4 [5.1]	27.3 [6]
4233286	14	Log-Normale	2.90	1.27		30.8 [14.3]	59.8 [24.1]	79 [32.6]	103.3 [43.9]	121.3 [52.6]	139.1 [61.2]
4237962	13	Gumbel	10.83	5.05		12.8 [3]	18 [5]	21.6 [6.8]	26 [9.2]	29.3 [11]	32.5 [12.8]
4288225	14	GEV	8.89	2.08	-0.63	12.8 [4.2]	21.9 [7.1]	27.8 [9.6]	35.4 [12.9]	41 [15.4]	46.5 [18]
4288230	14	GEV	6.46	2.79	-0.45	9.2 [2.6]	14.8 [4.4]	18.6 [6]	23.3 [8.1]	26.8 [9.7]	30.2 [11.3]
4294300	15	Log-Normale	3.10	0.69		21.8 [8.9]	40.4 [15]	52.7 [20.3]	68.2 [27.3]	79.7 [32.7]	91.1 [38.1]

1. Des distributions considérées seule la distribution GEV comporte un paramètre de forme.



## Annexe G. Modifications apportées à la méthode *Smoothed Minima Baseflow Separation*

### G.1 Partition des séries de débits

Une partition en sous-période (SP) de deux jours a été retenue plutôt que la valeur de cinq jours proposée dans la version originale de la méthode *Smoothed Minima Baseflow Separation* (SMBS). Ce choix repose sur les deux constats suivants. Tout d'abord un examen visuel des hydrogrammes obtenus après application de la méthode SMBS avec des SP d'un à cinq jours a permis de conclure que la partition en SP de deux jours était celle qui permettait d'obtenir les hydrogrammes les plus réalistes pour l'ensemble des BV sous étude. Ensuite, les travaux de Koskelo *et al.* (2012) suggèrent également une partition en SP de deux jours. Ces auteurs mentionnent qu'une telle partition était plus cohérente avec le temps de la réponse hydrologique des petits BV considérés (14 à 27 km<sup>2</sup>). Tel que le montre le Tableau G.1, il se dégage de la littérature consultée un certain consensus vers une partition en SP de cinq jours. Pourtant, il apparaît évident que des petits BV auront une réponse hydrologique plus rapide et que des SP de cinq jours pourraient être inadéquats. Il faut préciser que la majorité des études présentées au Tableau G.1 ont été réalisées à partir de données de débits provenant de grands BV de plusieurs centaines voire de milliers de kilomètres carrés. Cela peut expliquer pourquoi, depuis le développement de la méthode par *Institute of Hydrology* (1980), l'influence de la durée des SP n'a été que très peu discutée.

Tableau G.1 - Principales informations associées à l'utilisation de la méthode *Smoothed Minima Baseflow Separation* (SMBS) selon différentes études. A noter que toutes ces études utilisent des séries de débits journaliers.

Référence	BV		Partition	Débits associés aux points pivots
	Nombre	Superficie (km <sup>2</sup> )	Durée des SP (jours)	
Nathan et McMahon (1990)	186	1 à 250	5	Minimum
Piggott <i>et al.</i> (2005)	1	552	5	Minimum
Aksoy <i>et al.</i> (2008)	3	478 à 10 595	5	Minimum
Santhi <i>et al.</i> (2008)	8 600	50 à 1 000	5	Minimum
Aksoy <i>et al.</i> (2009)	1	13 300	5	Minimum
Koskelo <i>et al.</i> (2012)	6	14 à 27	2	Moyenne
Sengörür <i>et al.</i> (2014)	3	105 à 2174	5	Minimum

## G.2 Débit retenu pour chaque sous-période

Le débit moyen d'une SP de deux jours a été retenu au lieu du débit minimal au cours de cette même période selon la méthode SMBS originale. En effet, selon la description de la méthode SMBS que l'on retrouve dans *Institute of Hydrology* (1980), la plus petite valeur de débit de chaque SP est retenue afin d'identifier les points pivots, valeur d'ailleurs utilisée dans toutes les études du Tableau G.1 à l'exception, encore une fois, de Koskelo *et al.* (2012). Ces derniers ont retenu la valeur moyenne de débits de chaque SP. Ils justifient ce choix par le fait que la courbe des débits de base ainsi obtenue est plus réaliste. Ainsi cette approche permet d'éviter d'associer systématiquement les débits les plus faibles aux débits de base et elle diminue l'influence de possibles valeurs non réalistes des débits qui peuvent survenir lors de l'enregistrement. Ce dernier point est d'autant plus important pour des données de débits avec une plus fine résolution temporelle (sous-journalière). En effet, la variabilité des débits enregistrés à une telle résolution est généralement beaucoup plus importante. L'utilisation du débit minimal de chaque période peut alors être moins représentative que le débit moyen.

## G.3 Résolution temporelle des données de débit

Les débits aux 15 minutes et parfois aux 30 minutes ont été agrégés à un pas de temps horaire pour l'estimation des temps  $t_1$  et  $t_3$  (Figure 5.2). Koskelo *et al.* (2012) affirment que la résolution temporelle des données de débits aura une influence importante sur l'estimation des débits de base. Une résolution temporelle plus fine implique une variabilité plus importante des débits alors qu'une résolution plus grossière, par exemple journalière, peut lisser les hydrogrammes de façon importante. Ce lissage peut masquer une variabilité des hydrogrammes en réponse à la variabilité temporelle des intensités de précipitations ou encore la variabilité associée aux incertitudes sur les valeurs mesurées et à d'autres facteurs locaux (p. ex. le cycle diel; Wicht 1941, Cuevas 2010), la possible présence et la destruction de barrage de castors, l'ouverture de vanne d'un barrage (voir Section 3.2.4 de Mailhot *et al.* 2016a). Tous ces facteurs peuvent induire des perturbations rapides de faibles amplitudes (p. ex. incertitudes sur les mesures) ou plus lentes et de plus grandes amplitudes (p. ex. distribution temporelle de la pluie) des débits qu'une résolution trop grossière ne permettra pas de détecter. Toutes ces raisons font en sorte que les points pivots identifiés par la méthode SMBS pourront différer selon que les séries de

débits horaire ou à résolution plus grossière (p. ex. journalières) sont utilisées. Ces différences pourront à leur tour influencer les estimations des TM et la forme et les caractéristiques des hydrogrammes retenus. Dans le cadre de ce projet, une comparaison des débits maxima mensuels provenant de séries de débits dont la résolution était de 15 et 60 minutes et de 24 heures a montré qu'une agrégation des données au pas de temps horaire n'affectait pas les débits maxima mensuel, même pour de petits BV. Toutefois, une agrégation vers un pas de temps journalier montrait une diminution importante des débits maxima mensuel et ce même pour les plus grands BV à l'étude.

#### **G.4 Identification d'un seuil pour les points pivots**

Cette étape vise à éliminer les cas où, pour diverses raisons, les points pivots définissant le point de départ des hydrogrammes sont associés à des débits élevés qui ne peuvent pas de façon réaliste être associés au débit de base. Ainsi, pour chaque BV sous étude, les distributions cumulatives des débits ont été construites et utilisées afin d'identifier un seuil de débit en dessous duquel on peut raisonnablement associer le débit de base (voir un exemple à la Figure G.1). Dès lors, tous les points pivots identifiés par la méthode SMBS qui ont des débits supérieurs à ce seuil ne seront pas retenus comme points pivots.

Le débit seuil retenu pour tous les bassins a été fixé au 90<sup>e</sup> percentile de la distribution cumulative des débits pour la période de juin à novembre (ligne mauve à la Figure G.1). Cette valeur peut sembler élevée, mais est raisonnable considérant que, pour certains BV, les débits de base au cours du mois de juin ou de la période d'octobre à novembre peuvent être relativement élevés. C'est le cas de l'exemple présenté à la Figure G.1 où l'on voit que la distribution cumulative pour les mois d'octobre et novembre est significativement décalée vers la droite par rapport à celle de la période de juin à novembre. L'utilisation d'un seuil plus bas, par exemple le 80<sup>e</sup> ou le 85<sup>e</sup> percentile, conduirait à des hydrogrammes irréalistes puisque le débit de base au cours de certains mois serait parfois supérieur aux débits associés à ces percentiles. Ces résultats montrent une variation saisonnière importante des débits de base, ce qui n'est guère surprenant considérant qu'il est fonction des conditions de saturations des sols, de stockage (p. ex. niveaux des lacs et des milieux humides) et des apports souterrains.

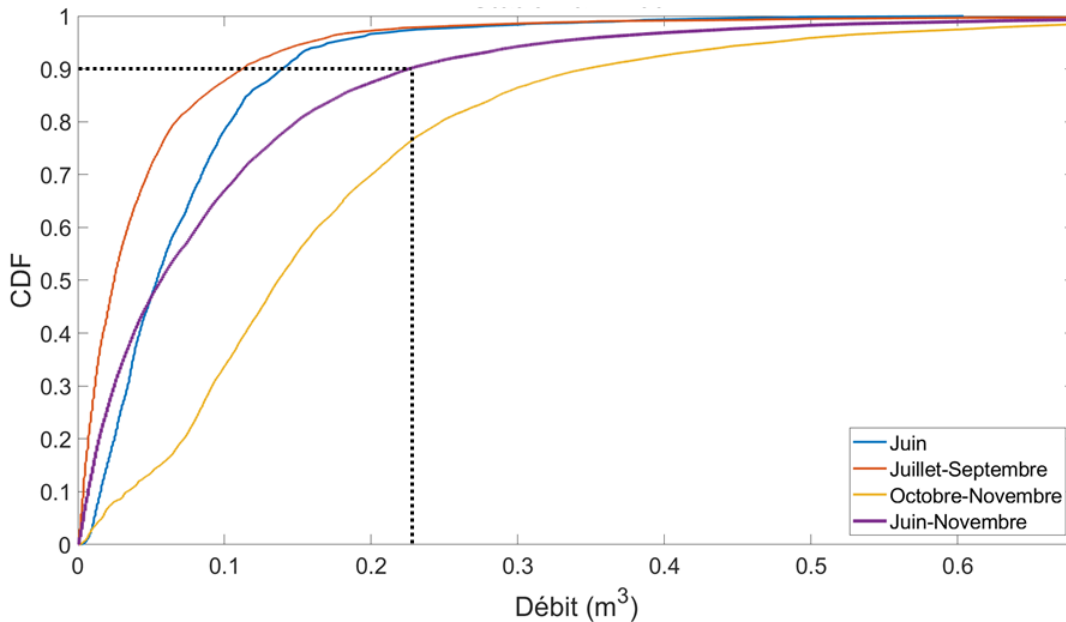


Figure G.1 – Exemple de fonction de distribution cumulative (CDF) des débits pour le site 02BF007 (Ontario, 5.1 km<sup>2</sup>) pour différentes périodes de l’année. La ligne en pointillé correspond au 90<sup>e</sup> percentile de la distribution pour la période juin-novembre.

### G.5 Sélection des hydrogrammes utilisés pour l’estimation des temps de montée

Une fois l’identification et la séparation des hydrogrammes réalisées, les hydrogrammes associés aux débits de pointe les plus élevés ont été retenus. Pour ce faire, 2.5 hydrogrammes en moyenne par année (1<sup>er</sup> juin – 31 octobre) ont été considérés pour la suite des analyses et ce peu importe la forme des hydrogrammes (Figure 5.3). En procédant de la sorte, le plus faible débit de pointe retenu, que l’on désignera par débit de pointe seuil, ou DPS, est supérieur ou égal, pour une majorité de BV, au plus petit DMA, que l’on désignera comme le DMA minimal, enregistré pendant toute la période d’enregistrement (Figure G.2). Les hydrogrammes retenus pour l’estimation des TM sont donc associés à des hydrogrammes dont les débits de pointe sont comparables ou supérieurs aux DMA utilisés pour estimer les quantiles extrêmes.

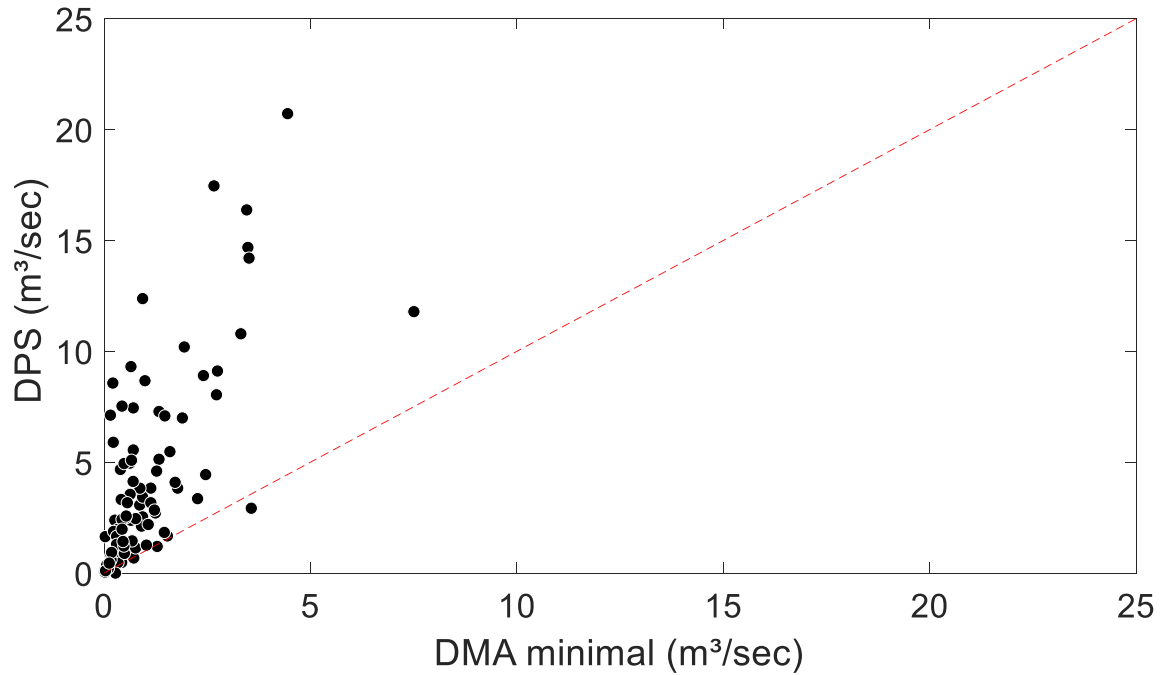


Figure G.2 – Comparaison des débits de pointe seuil (DPS) des hydrogrammes retenus pour l'estimation des TM aux plus petits débits maxima annuels (DMA minimal) de chaque BV.

La Figure G.3 présente la répartition, selon les types d'hydrogrammes (Figure 5.3), des dix hydrogrammes avec les débits de pointe les plus élevés. Cette figure suggère que les plus importants débits de pointe proviennent d'hydrogrammes où la montée des débits jusqu'à l'atteinte du débit maximal est monotone (hydrogrammes de types A et B). Pour l'hydrogramme associé au débit de pointe le plus élevé (Rang 1), cette proportion est de 76 % et diminue à 51 % pour le quatrième débit de pointe le plus élevé (Rang 4).



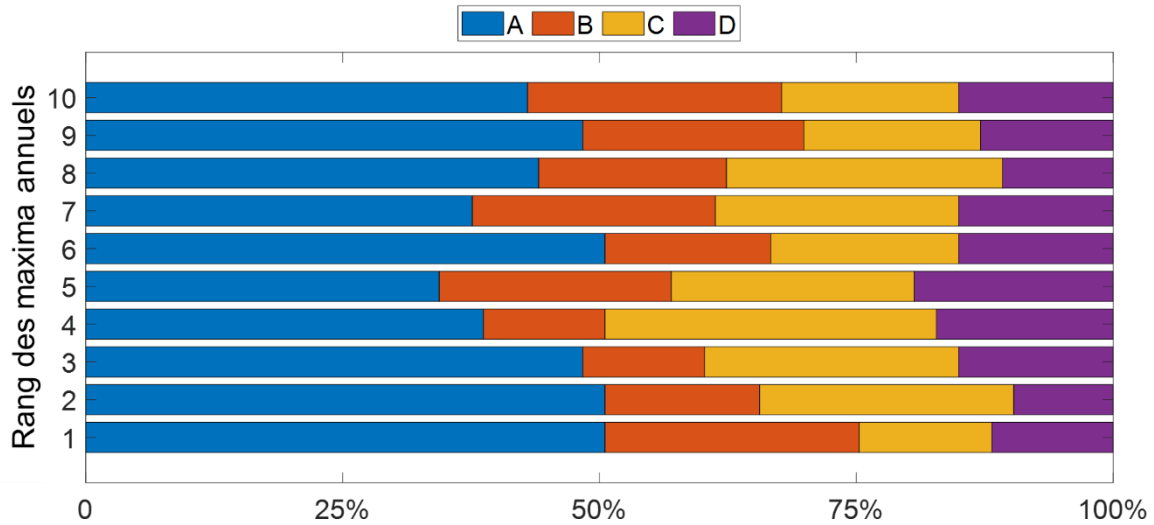


Figure G.3 – Fraction de BV dont le débit de pointe de rang donné (1 à 10) est associé à l'un ou l'autre des quatre types d'hydrogrammes (voir Figure 5.3). Le débit de pointe de rang 1 correspond au débit de pointe le plus élevé sur la période juin à octobre enregistré en un BV pour toutes les années disponibles et le rang 10 au 10<sup>e</sup> débit de pointe le plus élevé enregistré sur ce BV.

De plus, il apparaît que cette répartition peut varier sensiblement entre les sites (Figure G.4). Ainsi, pour certains sites, les hydrogrammes de types A et B sont très fortement majoritaires (> 75 %) alors que cette proportion peut passer sous les 40 % pour d'autres sites. Une analyse visuelle suggère que les BV pour lesquels les DMA sont majoritairement associés aux hydrogrammes de types C et D ont des hydrogrammes associés à une réponse hydrologique complexe que plusieurs caractéristiques physiographiques peuvent expliquer.

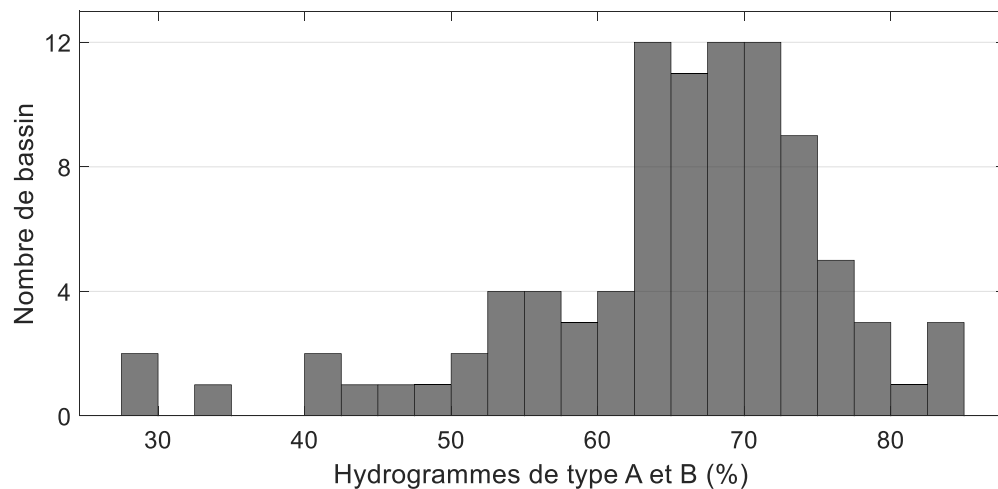


Figure G.4 – Nombre de BV selon la fraction des hydrogrammes de types A et B.

Pour le site présentant la plus petite fraction d'hydrogramme de types A et B, à savoir le site 02FC017 en Ontario drainant un BV de 48 km<sup>2</sup>, 12 des 27 hydrogrammes retenus ont une forme semblable à l'hydrogramme présenté à la Figure G.5 mais où l'amplitude relative des deux pointes de débit peut varier. Cette structure en double pointe peut être attribuée à la présence à la fois importante de LMH (30%), qui favorise une réponse hydrologique lente, et de zones agricoles (54 %) qui favorise une réponse hydrologique plus rapide.

Pour le site présentant la seconde plus petite part de débit de pointe associé à des hydrogrammes de types A et B, à savoir le site 1374890 (États-Unis, 44 km<sup>2</sup>), il est très fréquent d'y observer des hydrogrammes du type de celui présenté à la Figure G.6A ou encore des hydrogrammes avec une succession de pics comme celui à la Figure G.6B. Il s'agit d'un BV très montagneux caractérisé par une occupation urbaine de 13 % localisée dans la vallée du BV. Cette occupation favorise vraisemblablement une réponse hydrologique très rapide et très courte dans un premier temps (premier pic rapide et court), suivi dans un deuxième temps d'une réponse plus lente de l'ensemble du BV (deuxième pics plus arrondis).

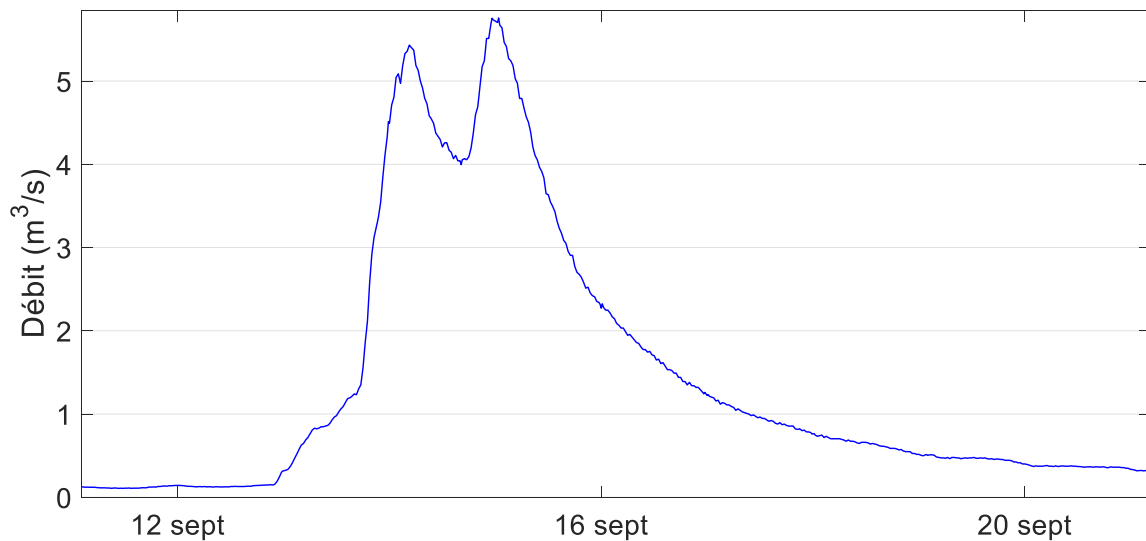


Figure G.5 – Exemple d'hydrogramme présentant une double réponse hydrologique pour le site 02FC017 (Ontario, 48 km<sup>2</sup>) en 2008.

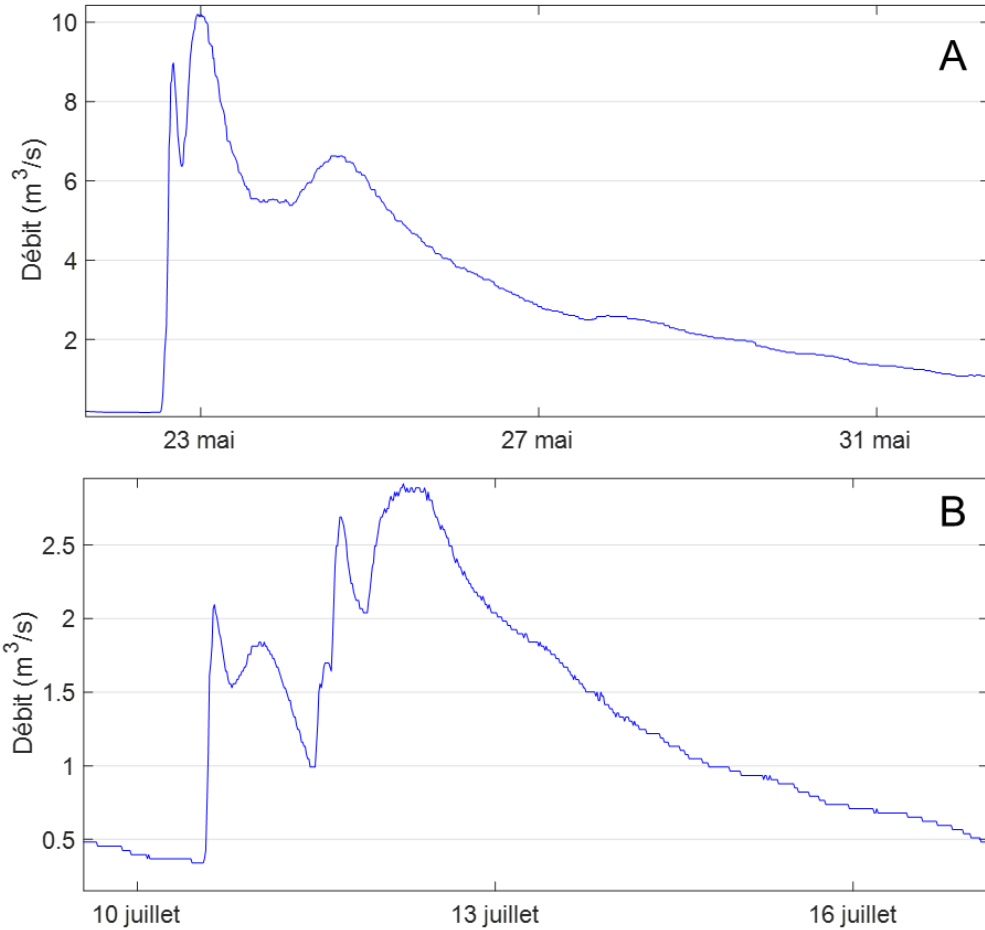


Figure G.6 – Exemple d’hydrogrammes au site pour le site 1374890 (États-Unis, 44  $\text{km}^2$ ), présentant : A) une double réponse hydrologique (2013); B) une réponse hydrologique avec de multiples pointes (2006).

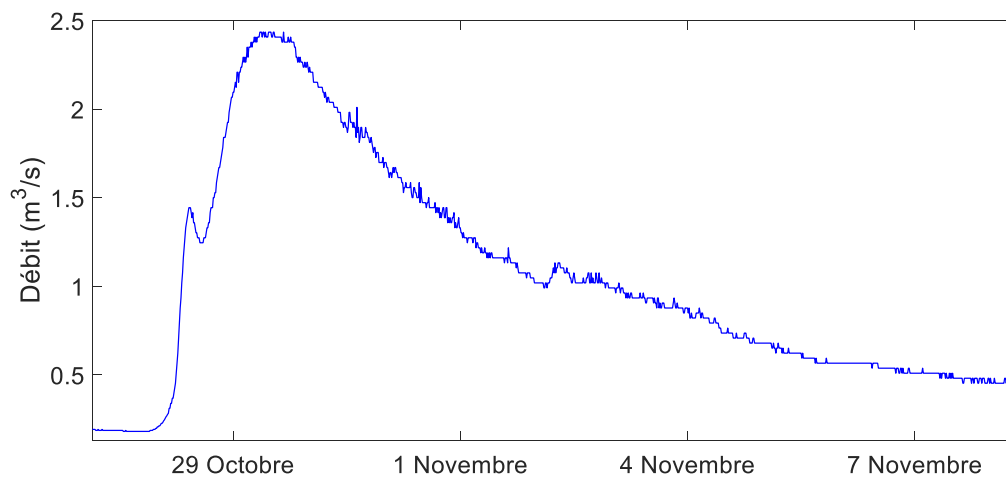


Figure G.7 - Exemple d’hydrogramme enregistré en 2006 au site 1374559 (États-Unis, 29  $\text{km}^2$ ) présentant une double réponse hydrologique.

Finalement, il est intéressant de noter que parmi les neuf sites où la proportion d'hydrogrammes de type A et B est inférieure à 50 %, trois d'entre eux présentent une séparation du réseau hydrographique très importante (entre 0.32 et 0.44; voir Section D.11 de l'Annexe D) ce qui implique que le BV se sépare en deux sous-bassins de superficies relativement similaires près de l'exutoire où se trouve la station de jaugeage. Or et tel que mentionné à l'Annexe D.11, une telle configuration favorise une double réponse hydrologique notamment si les deux sous-bassins ont des caractéristiques physiographiques ou des occupations différentes du territoire. Ainsi pour le site 1374559, on observe très fréquemment d'abord la présence d'une première pointe de débit suivi d'un débit de pointe plus important (Figure G.7). Bien que cette première pointe de débit soit, dans la majorité des cas, de faible amplitude, il fait en sorte que d'augmenter le TM et est nécessairement associé à un hydrogramme de type C ou D (Figure 5.3).

## **G.6 Examen visuel final et correction manuelle des hydrogrammes**

Un examen visuel de tous les hydrogrammes retenus à l'étape précédente montre toutefois que, dans plusieurs cas, les TM sont nettement surestimés. Un examen détaillé de certains hydrogrammes permet de voir que le point pivot associé au début du TM devance parfois nettement le moment où les débits augmentent et que l'on associerait au début de l'hydrogramme et du TM. Dans l'exemple de la Figure G.8 le débit de pointe survient 30 heures après le point pivot identifié à l'aide de la méthode SMBS révisée. Toutefois, l'augmentation plus marquée des débits débute plutôt 23 heures après le point pivot ce qui implique un TM de sept heures au lieu de 30 heures.

Afin de mieux identifier ce point où les débits montent plus rapidement, la concavité de la série de débits a été estimée en chaque temps. Soient  $Q_i$ ,  $Q_{i+1}$  et  $Q_{i+2}$  les débits aux temps  $i$ ,  $i + 1$  et  $i + 2$ , la concavité de la série au temps  $i$ , qui correspond à la dérivée seconde en ce temps,  $Q''_i$ , a été estimée à partir de l'équation suivante :

$$Q''_i = Q_{i+2} - 2Q_{i+1} + Q_i \quad (\text{G.1})$$

Cette valeur est estimée à tous les pas de temps et sera d'autant plus grande qu'il y aura un changement brusque de pente dans la série des débits. Ainsi, pour chaque hydrogramme retenu, les valeurs de  $Q''_i$  sont estimées à chaque pas de temps entre le moment d'occurrence de la valeur minimale de débit et l'atteinte du débit seuil associé au

90<sup>e</sup> percentile. Le moment où cette valeur est maximale est retenu comme le début du temps de montée et de l'hydrogramme

Finalement, tous les hydrogrammes retenus ont été examinés et validés manuellement un à un afin de s'assurer que l'hydrogramme et le temps de début de montée sont réalistes. Des corrections ont parfois été apportées lorsque les temps marquant le début de la montée ne semblaient pas réalistes. L'Annexe H présente le nombre d'hydrogrammes retenus ainsi que la répartition des hydrogrammes parmi les quatre groupes présentés à la Figure 5.3.

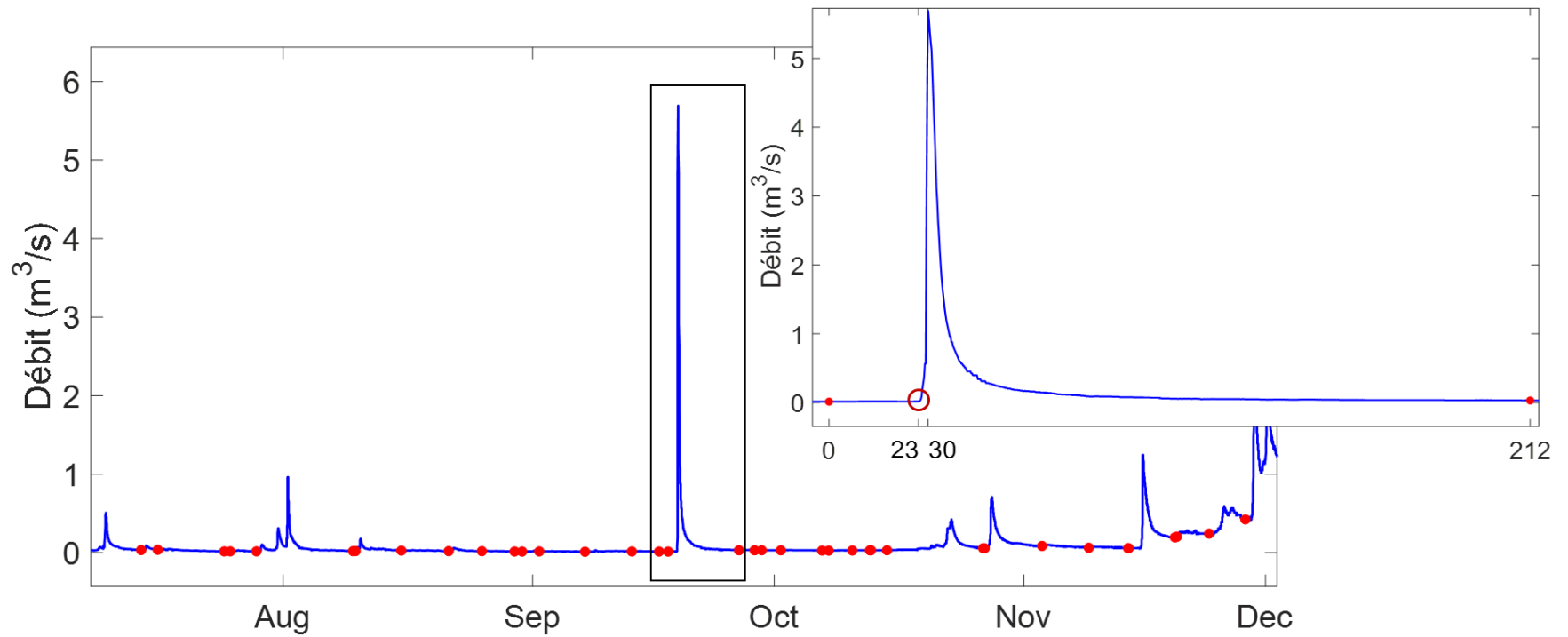


Figure G.8 - Exemple où le début de l'hydrogramme déterminé par la méthode de séparation des hydrogrammes révisée ne concorde pas avec le début réel de montée de l'hydrogramme (01421618, États-Unis, 37.5 km<sup>2</sup>). Les points rouges correspondent aux points pivots obtenus après application de la méthode SMBS révisée. L'encadré à droite montre un agrandissement de la zone centrale correspondant à l'encadré de l'hydrogramme principal. Le cercle rouge marque le point où la concavité de la série est maximale.



## Annexe H. Nombre et types d'hydrogrammes retenus

Tableau H.1 - Nombre d'hydrogrammes retenus et répartition selon les types d'hydrogrammes présentés à la Figure 5.3.

Numéro/Nom station hydrométrique	Nombre d'hydrogramme	Répartition (%)			
		A	B	C	D
30422	30	37	20	23	20
30423	40	45	25	23	8
30425	39	38	18	36	8
30426	35	51	17	20	11
40409	48	33	19	29	19
40212	48	48	27	13	13
50812	45	49	16	22	13
50813	49	51	22	14	12
51002	49	55	12	14	18
51003	56	45	18	21	16
51004	53	57	11	23	9
120201	52	44	27	19	10
Fourchette Amont	32	31	34	9	25
Fourchette Aval	32	31	38	13	19
02AB020	61	42	26	26	7
02BF004	42	41	27	19	13
02BF005	68	23	50	10	17
02BF007	70	63	15	12	9
02BF008	67	68	15	9	7
02BF009	57	53	22	19	7
02BF012	68	54	30	11	5
02BF013	50	47	25	22	6
02DB007	50	25	28	29	18
02DD013	52	52	32	8	7
02EC010	48	31	22	29	19
02ED017	67	44	22	22	11
02ED100	64	34	21	23	21
02FC017	54	11	18	43	29
02FD002	70	40	10	33	17
02FE014	50	27	14	41	19
02GA030	43	44	12	33	11
02GA031	62	66	8	17	9
02GA041	42	48	19	22	11
02GA044	58	62	14	16	8
02GA045	52	58	16	13	13
02GA046	52	50	12	26	12
02HB012	42	25	35	12	27
02HB020	52	39	22	26	13
02HC019	69	54	17	24	5
02HC023	71	50	20	23	7
02HC028	43	54	17	23	6
02HC038	53	52	26	19	4
02HD003	69	56	17	21	6
02HD004	66	47	18	24	12



Numéro/Nom station hydrométrique	Nombre d'hydrogramme	Répartition (%)			
		A	B	C	D
02HD010	68	50	21	17	12
02HD018	53	37	23	23	17
02HH003	37	41	28	17	14
02HJ005	38	59	5	27	8
02HK008	41	27	46	0	27
02HK009	36	55	26	14	5
02HK011	37	51	22	20	7
1021470	74	67	10	13	10
1037380	90	51	15	11	23
1063310	78	51	20	20	10
1073000	65	51	13	18	18
1109070	85	52	13	25	10
1135150	91	36	18	23	23
1139800	80	43	24	19	14
1142500	68	43	21	19	18
1162500	85	60	19	16	6
1169900	107	46	30	10	13
1174565	109	44	19	23	14
1175670	72	40	24	15	22
1349700	47	42	24	18	16
1349711	28	54	16	16	14
1349810	30	40	23	19	17
1350035	37	44	25	10	21
1350080	116	43	22	16	18
1350120	117	6	42	16	36
1350140	27	59	15	9	17
1360640	37	43	16	21	20
1362497	31	46	24	8	22
1363382	42	44	26	14	16
1365000	114	35	29	23	13
1365500	85	26	17	33	24
1374559	110	29	12	41	17
1374598	30	35	19	33	13
1374890	121	12	17	37	35
1413088	27	26	19	26	29
1414000	119	40	23	17	19
1414500	34	46	17	12	25
1415000	118	45	21	14	20
1421610	35	49	21	14	16
1421618	29	45	25	15	15
1434017	37	55	20	16	9
1434025	37	53	5	24	18
1434498	58	51	18	15	16
1521500	59	60	11	21	8
4233286	39	32	27	19	22
4237962	47	42	26	21	11
4288225	51	29	5	44	22
4288230	67	50	17	6	28
4294300	61	38	32	14	16

## Annexe I. Temps de montée des hydrogrammes retenus

Tableau I.1 – Temps de montée des hydrogrammes de types A et B considérés pour l'estimation du temps de concentration (Figure 5.3).

Numéro/Nom station hydrométrique	Nombre hydrogramme	Temps de montée (heure)				Temps de concentration <sup>1</sup>
		Médian	Moyen	Minimal	Maximal	
30422	17	7	8	4	16	9
30423	28	14	15	7	31	13
30425	22	14	14	5	26	13
30426	24	12	13	4	32	13
40212	25	26	27	6	67	9
40409	36	22	22	6	51	13
50812	29	24	27	15	68	28
50813	36	8	10	3	24	17
51002	33	11	12	2	31	9
51003	35	10	11	3	27	9
51004	36	7	8	2	29	9
120201	37	10	12	2	29	9
Fourchette Amont	21	6	6	2	12	9
Fourchette Aval	22	5	5	2	16	9
02AB020	50	30	30	15	63	28
02BF004	61	15	16	1	33	9
02BF005	57	14	19	4	52	17
02BF007	51	58	62	3	165	17
02BF008	71	34	34	3	105	17
02BF009	68	16	18	7	44	9
02BF012	67	14	17	5	65	17
02BF013	49	8	11	3	35	9
02DB007	45	11	16	3	53	28
02DD013	79	33	35	19	64	28
02EC010	57	10	12	2	37	9
02ED017	48	20	22	6	68	28
02ED100	26	15	14	3	23	13
02FC017	8	37	33	11	51	28
02FD002	15	18	27	10	68	28
02FE014	15	16	18	8	36	13
02GA030	65	9	11	3	29	9
02GA031	79	44	41	3	117	17
02GA041	18	12	16	7	38	17
02GA044	28	4	4	2	6	9
02GA045	23	6	7	3	14	9
02GA046	26	4	4	2	14	9
02HB012	69	4	6	2	35	17
02HB020	52	14	16	4	41	17
02HC019	78	9	10	3	39	13
02HC023	21	7	11	3	24	13
02HC028	79	15	16	5	50	13
02HC038	21	10	11	5	22	13
02HD003	79	9	10	4	26	13
02HD004	22	10	12	6	26	9
02HD010	79	9	10	3	28	9

Numéro/Nom station hydrométrique	Nombre hydrogramme	Temps de montée (heure)				Temps de concentration <sup>1</sup>
		Médian	Moyen	Minimal	Maximal	
02HD018	21	6	6	3	11	17
02HH003	20	8	9	5	25	17
02HJ005	24	8	10	4	31	9
02HK008	27	24	24	2	52	28
02HK009	47	23	25	14	41	28
02HK011	43	14	17	6	50	17
1021470	26	25	27	12	61	13
1037380	31	8	9	3	21	17
1063310	36	14	17	3	43	17
1073000	43	11	12	4	31	17
1109070	40	29	30	16	58	17
1135150	33	4	5	2	13	9
1139800	28	5	6	2	21	9
1142500	43	10	11	3	25	13
1162500	55	33	35	17	81	28
1169900	51	7	8	3	30	9
1174565	36	12	12	3	26	9
1175670	43	14	15	1	50	17
1349700	33	8	9	4	22	13
1349711	35	10	11	2	28	9
1349810	33	8	9	3	19	9
1350035	33	6	7	3	17	9
1350080	44	10	11	5	24	9
1350120	31	6	7	2	15	9
1350140	40	7	7	3	16	9
1360640	41	8	9	4	25	9
1362497	35	10	10	3	17	13
1363382	30	8	8	2	16	9
1365000	40	9	9	2	22	9
1365500	18	8	9	3	23	9
1374559	24	25	25	4	41	17
1374598	28	9	9	3	23	9
1374890	15	10	15	4	41	17
1413088	19	19	20	11	35	9
1414000	33	8	8	3	21	9
1414500	44	8	9	4	22	9
1415000	47	7	8	3	27	9
1421610	30	7	8	4	19	9
1421618	37	5	6	2	17	9
1434017	52	10	10	3	27	9
1434025	38	8	9	3	19	9
1434498	47	9	11	3	30	9
1521500	38	8	10	3	23	9
4233286	24	6	7	3	16	9
4237962	26	11	12	5	29	9
4288225	22	8	8	2	29	9
4288230	26	5	6	2	19	9
4294300	14	19	19	9	25	17

1- Temps de concentration estimé à partir de l'arbre D-4 de la Figure 6.1.

## Annexe J. Informations relatives aux principales équations empiriques du temps de concentration de la littérature

Tableau J.1 – Résumé des principales informations sur les équations empiriques du temps de concentration retenues.

Équation	Espey-Morgan-Masch (EMM)	FAA-1	Folmar et Miller (FM)	Haktanir-Sezen (HS)	IRDA	Kirpich (K)	
Référence	Espey et al. (1966)	FAA (1970)	Folmar et Miller (2008)	Haktanir et Sezen (1990)	Michaud et al. (2014)	Kirpich (1940)	
Domaine d'application	Agricole	Urbain	Agricole	Inconnu	Agricole	Agricole	
Nombre de BV considéré	11	Inconnu	52	10	20	6	
Nombre d'hydrogrammes utilisés	Inconnu	Inconnu	~10 000	10	~600	Inconnu	
Caractéristiques des BV	Localisation	Texas, Oklahoma et Nouveau-Mexique (E-U)	Inconnu	Plusieurs états des É.U.	Anatolie (Turquie)	Québec	Tennessee (E.U)
	Aire (km <sup>2</sup> )	0.03 – 18.16	Inconnu	0.01 - 49.9	11 - 9867	3 - 30	0.005 à 0.45
	L <sup>1</sup> (km <sup>2</sup> )	0.37 - 7.62	Inconnu	0.15 - 13.9	5 - 231	2.24 - 16.09	0.11 - 1.2
	S <sub>c</sub> <sup>1</sup> (%)	0.8 - 14.6	Inconnu	Inconnu	Inconnu	0.7 - 26.1	2.7 - 9.8
	S <sub>b</sub> <sup>1</sup> (%)	Inconnu	Inconnu	2.9 - 20	0.4 - 2.7	0.7 - 9	Inconnu
	Occupation	Agricole	Aéroport	Agricole et forestier	Inconnu	Agricole	Agricole
	Autres Informations	100% perméable pour tous les BV			Couvert forestier (2 à 57%)	Couvert forestier (0.3 à 64%)	Couvert forestier (0 à 55%)
Méthode d'estimation du temps de concentration	Durée entre le début de l'écoulement direct et le temps d'occurrence du débit de pointe (Ramser, 1927)	Inconnu	Durée entre le centre de masse de la pluie nette et le temps d'occurrence du débit de pointe (Snyder, 1938)	Durée entre le centre de masse de la pluie nette et le temps d'occurrence du débit de pointe	Durée entre le début de l'écoulement direct et le temps d'occurrence du débit de pointe	Durée entre le début de l'écoulement direct et le temps d'occurrence du débit de pointe	

1. L : longueur du cours d'eau; S<sub>c</sub> : Pente du cours d'eau; S<sub>b</sub> : pente du bassin-versant.

Tableau J.1 - Résumé des principales informations sur les équations empiriques du temps de concentration retenues (suite)

Équation		Mimikou (M)	NERC	Sheridan-1 (S-1)	Sheridan-2 (S-2)	Watt-Chow (WC)	Williams (Will)	Wu
Référence		Mimikou (1984)	NERC (1975)	Sheridan (1994)		Watt et Chow (1985)	Williams (1922)	Wu (1963)
Domaine d'application		Inconnu	Rural	Agricole/Forestier		Agricole/Forestier	Inconnu	Inconnu
Nombre de BV		11	138	9		44	Inconnu	17
Nombre d'hydrogrammes considérés		Inconnu	1500	70		Inconnu	Inconnu	Inconnu
Caractéristiques des BV	Localisation	Grèce	Royaume-Uni	Georgie et Floride (USA)		É-U., Canada (Ontario et Québec)	Inde	Indiana (E.U)
	Aire (km <sup>2</sup> )	202 à 5005	< 500	2.6 - 334		0.005 - 5840	0 - 259	7.4 - 259
	L <sup>1</sup> (km <sup>2</sup> )	Inconnu	Inconnu	2.45 - 41.13		0.1 - 196	Inconnu	2.93 - 51.50
	S <sub>c</sub> <sup>1</sup> (%)	Inconnu	Inconnu	0.1 - 0.4		0.01 - 9	Inconnu	0.1 - 1.0
	S <sub>b</sub> <sup>1</sup> (%)	Inconnu	Inconnu	0.1 - 0.8		Inconnu	0.1 - 10	Inconnu
	Occupation	Inconnu	Inconnu	Agricole et forestier		Agricole/Forestier	Inconnu	Inconnu
	Autres informations			Faible présence de lacs		Données ayant servies pour le développement d'autres équations empiriques, p.ex. Kirpich (1940)		
Méthode d'estimation du temps de concentration		Durée entre le centre de masse de la précipitation totale et le temps d'occurrence du débit de pointe (Linsley <i>et al.</i> , 1958)	Durée entre le centre de masse de la précipitation totale et le temps d'occurrence du débit de pointe	Durée entre le centre de masse de la pluie nette et le point d'inflexion de la phase de décrue de l'hydrogramme (Rao et Delleur, 1974)	Durée entre le centre de masse de la pluie nette et le temps d'occurrence du débit de pointe	Durée entre le centre de masse de la pluie nette et le temps d'occurrence du débit de pointe.	Inconnu	Durée entre le début de l'écoulement direct et le temps d'occurrence du débit de pointe

1. L : longueur du cours d'eau; S<sub>c</sub> : Pente du cours d'eau; S<sub>b</sub> : pente du bassin-versant.

## Annexe K. Description de l'approche par arbre de régression

Les méthodes dites de partitionnement récursif ou de segmentation datent des années 1960. Elles consistent à déterminer un ensemble de conditions logiques de partition du type Si/Alors afin de prévoir aussi précisément que possible les valeurs ou classifications prévues des observations. Breiman *et al.* (1984) les ont formalisées dans un cadre générique de sélection de modèle sous l'acronyme de CART (*Classification and Regression Tree*). Ce dernier correspond à deux situations bien distinctes selon que la variable à expliquer, modéliser ou prévoir est qualitative (classification) ou quantitative (régression).

Le jeu de données actuel consiste pour chaque bassin  $i$  en une variable réponse  $y_i$ , le temps de concentration TC, et un vecteur  $X_i$  de  $P$  variables explicatives (ou prédicteurs) qui sont les caractéristiques physiographiques des BV. L'objectif est donc de prédire le temps de concentration à partir des valeurs des prédicteurs.

L'algorithme CART, considéré ici, procède en deux étapes (Loh 2011) :

1. Subdivision de l'espace des prédicteurs (i.e. des caractéristiques physiographiques des BV) en  $K$  régions exclusives  $\{R_1 \dots R_K\}$ ;
2. Attribution d'une valeur de la réponse (i.e., le temps de concentration TC) à tous les BV appartenant à une région  $R_k$ ,  $k \in [1, K]$ , égale à la valeur moyenne des TC des BV de la région  $R_k$ .

En pratique, l'algorithme nécessite de préciser :

1. Un critère permettant de sélectionner la meilleure division parmi toutes les combinaisons possibles de prédicteurs ;
2. Une règle permettant de décider qu'une région ne doit plus être divisée ;
3. La méthode d'élagage (*pruning*) de l'arbre optimal pour éviter le sur-ajustement.

Afin d'illustrer le fonctionnement de l'algorithme CART, considérons un exemple où TC ne dépend que de l'occupation des lacs et milieux humides (LMH, %) et du quotient entre la longueur du cours d'eau et la racine de la pente du cours d'eau  $L_C/\sqrt{S_C}$ . La Figure K.1 illustre la procédure appliquée à cet exemple. Les sections suivantes reprennent et expliquent les différentes étapes de l'algorithme CART.

## K.1 Identification des meilleures divisions

L'objectif est de trouver les divisions  $\{R_1 \dots R_K\}$  qui minimisent la fonction de perte définie par :

$$F_p = \sum_{k=1}^K \sum_{i \in R_k} (y_i - \hat{y}_{R_k})^2 \quad (\text{K.1})$$

avec  $\hat{y}_{R_k}$  la moyenne des TC des BV de la région  $R_k$ . Cette fonction est équivalente à la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées,  $y_i$ , et les valeurs estimées à savoir les valeurs moyennes de chaque classe  $\hat{y}_{R_k}$ .

La procédure pour trouver la partition optimale se fait de la manière suivante.

1. Toutes les observations sont d'abord assimilées à une même région (Figure K.1.A) ;  
On cherche ensuite une partition de cette région en deux sous-régions, ou plus précisément la partition  $X^p$  et la règle de division (s), qui entrainera la plus forte décroissance de l'hétérogénéité des deux régions  $R_1$  et  $R_2$  résultantes :

$$R_1(p, s) = \{X | X^p < s\} \text{ et } R_2(p, s) = \{X | X^p \geq s\} \quad (\text{K.2})$$

L'objectif est donc de trouver les valeurs de p et (s) qui minimisent la fonction de perte :

$$\sum_{i \in R_1(p,s)} (y_i - \hat{y}_{R_1})^2 + \sum_{i \in R_2(p,s)} (y_i - \hat{y}_{R_2})^2 \quad (\text{K.3})$$

Dans l'exemple de la Figure K.1, la partition qui minimise cette fonction subdivise la région initiale en deux sous-régions  $10\% < \text{LMH}$  et  $\text{LMH} \geq 10\%$  (Figure K.1.B).

2. On cherche ensuite la partition suivante qui permettra de nouveau de minimiser la fonction de perte (éq. K.3). Cette nouvelle partition consiste à subdiviser la région  $\text{LMH} \geq 10\%$  en deux sous-régions, une où  $L_C / \sqrt{S_C} < 33$  et une autre où  $L_C / \sqrt{S_C} \geq 33$  (Figure K.1.C).
3. La procédure précédente est répétée tant que :
  - Les régions avant subdivision contiennent au moins 15 éléments
  - Chaque sous-région après subdivision contient au moins 10 bassins.

Les étapes suivantes conduisent au résultat final qui correspond à la Figure K.1.D.

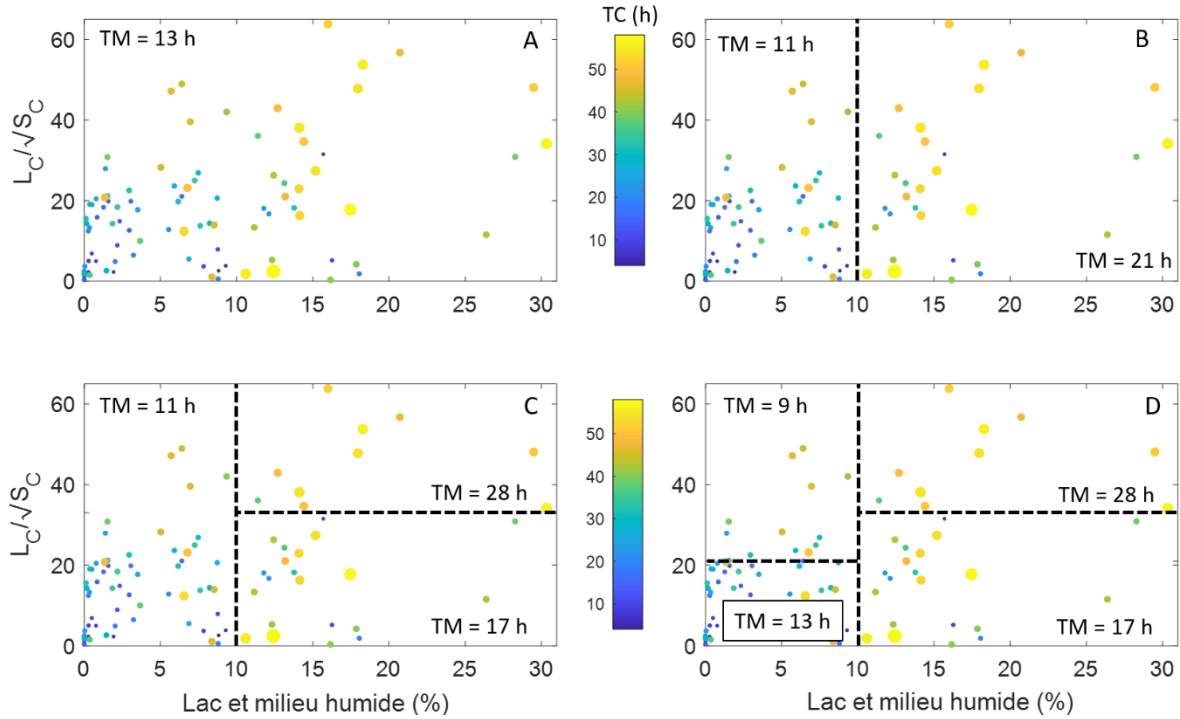


Figure K.1 – Exemple d’application de la procédure par arbre de régression où le temps de concentration ne dépend que de l’occupation en lacs et milieux humides (LMH, %) et du quotient entre la longueur du cours d’eau et la racine de la pente du cours d’eau ( $L_C/\sqrt{S_C}$ ). Tm désigne le temps de montée médian des BV appartenant à chacune des régions. Les divisions successives de l’espace initial (A) sont présentées en B (première division), C (deuxième division) et D (troisième division).

## K.2 Élagage de l’arbre maximal

La démarche de construction précédente fournit l’arbre avec un nombre maximal de région  $R_{\max}$ . Cet arbre peut toutefois être très ramifié et donc conduire à un modèle de prévision fortement dépendant des échantillons qui ont permis son estimation. C’est une situation de sur-ajustement qui faut éviter au profit de modèles plus parcimonieux et possédant un réel pouvoir prédictif. Une étape d’élagage de l’arbre maximal est donc nécessaire.

On souhaite retenir un arbre avec  $M$  régions qui est un sous-arbre de l’arbre maximal. Pour chaque valeur  $\alpha$ , il existe un sous-arbre qui minimise la fonction suivante :

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i \in R_m} (y_i - \hat{y}_{R_m})^2 + \alpha M \quad (\text{K.2})$$

où le paramètre  $\alpha$  est obtenu par validation croisée. Plus  $\alpha$  est grand plus l’arbre est petit et vice versa.





## Annexe L. Analyse des BV avec les plus grands écarts entre TM médians observés et TC estimés à partir de l'arbre D-4

L'analyse de la Figure 6.3 montre que les écarts entre TC estimés à partir de l'arbre D-4 et les TM médians observés à certains BV sont parfois très importants. La Section L.1 examine le cas des BV où les sous-estimations des TC sont les plus importantes. À noter que dans le cadre de la MÉRA, une sous-estimation des TC peut mener à des intensités de précipitations trop élevées et donc une surestimation des débits de conception. La Section L.2 aborde le cas des BV où les surestimations des TC sont les plus importantes ce qui peut conduire à d'importantes sous-estimations des débits de conception.

### L.1. BV avec les sous-estimations les plus importantes des TC estimés par l'arbre D-4

Le Tableau L.1 présente les quatre BV où les sous-estimations sont les plus importantes et les caractéristiques physiographiques de ces BV utilisées pour l'estimation des TC selon l'arbre D-4. Ce tableau comprend également les informations sur le BV 050813 qui servira de comparaison. Ce BV a été retenu puisqu'il présente des caractéristiques similaires aux BV 02BF007, 02BF008 et 040212 (pente du BV forte et présence d'un lac important tout juste en amont de l'exutoire du BV). Toutefois, le TM médian à ce BV est beaucoup plus court que les trois autres BV et la valeur de TC à ce BV est surestimé par l'arbre D-4. Il est important de noter que trois de ces BV appartiennent au groupe G-3, c'est-à-dire au groupe avec une forte occupation sous forme de LMH (LMH > 10%) et avec les temps de parcours les plus courts ( $L_C/\sqrt{S_C} < 33$ ).

Tableau L.1 – Caractéristiques des BV présentant les sous-estimations les plus importantes entre les TC estimés (arbre G-4) et les TM médians observés et caractéristiques du BV 050813.

Site	A (km <sup>2</sup> )	S <sub>B</sub> (%)	$L_C/\sqrt{S_C}$ (m)	LMH (%)	TM médian (h)	Groupe Arbre D-4	TC Arbre D-4 (h)	Écart (estimé – observé) (h)
02BF007	5.1	11.6	2.4	12.4	58	G-3	17	-41
02GA031	39.4	2.8	17.8	17.5	44	G-3	17	-27
02BF008	3.5	12.3	1.9	10.6	34	G-3	17	-17
040212	39.7	11.9	12.4	6.5	26	G-1	9	-17
050813	2.1	9.8	1.9	18.0	8	G-3	17	+9

Trois des BV du Tableau L.1 1 (02BF007, 02BF008 et 040212) se distinguent par le fait que l'occupation de type LMH est essentiellement associée à la présence de lacs alors que pour le BV 02GA031, il s'agit de milieux humides.

Différents facteurs ont été examinés afin d'expliquer la lente réponse hydrologique de ces BV :

1. La couverture importante de lacs;
2. La présence de lacs à l'exutoire ou près de l'exutoire des BV;
3. La présence de restrictions, à l'exutoire ou en aval de l'exutoire qui pourraient favoriser un emmagasinement des eaux et une lente augmentation des débits;
4. La présence d'une grande plaine inondable favorisant également l'emmagasinement des eaux et diminuant les vitesses d'écoulements en période de crue.

La présence de restrictions à l'exutoire ou près de l'exutoire a été déterminé à partir du modèle numérique d'élévation de terrain (MNT). Une élévation de l'altitude à l'exutoire ou près de l'exutoire des lacs a été interprétée comme une contrainte à l'écoulement susceptible de favoriser une montée des eaux dans le lac. Ces restrictions seront exprimées dans les figures suivantes sous forme d'une différence d'altitude exprimée en mètre et seront désignées comme des seuils.

La présence et l'étendue de la plaine inondable a été estimée en comparant la superficie du lac ( $S_{Lac}$ ) associé à l'élévation du lac dans le MNT ( $E_{Lac}$ ) à la superficie délimitée par la première courbe de niveau de ce même MNE au-dessus du niveau du lac ( $E_{CN}$ ) en berge du lac ( $S_{CN}$ ). Ces valeurs sont utilisées pour définir un indice de capacité de la plaine inondable ( $P_I$ ) :

$$P_I = \frac{(S_{CN} - S_{Lac})}{(E_{CN} - E_{Lac})} \quad (L.1)$$

Une valeur de  $P_I$  élevée suggère donc une plaine inondable étendue (les pentes des berges du lac sont faibles et la surface du lac augmente très rapidement lorsque le niveau augmente) et une valeur nulle veut dire des berges verticales et un volume qui augmente linéairement avec la hauteur du lac. Les valeurs servant aux calculs de  $P_I$  et la valeur de  $P_I$  elle-même aux BV du Tableau L.1 sont présentés au Tableau L.2.

Tableau L.2 Comparaison des plaines inondables des BV 02BF007, 040212 et 050813. Entre parenthèse : occupation du lac situé en amont de la station de jaugeage par rapport à la superficie du BV.

Station	Lac		Courbe de niveau en berge		Indice de capacité de la plaine inondable (m <sup>2</sup> /m)
	Superficie (m <sup>2</sup> )	Élévation (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Élévation (m)	
02BF007 <sup>1</sup>	209 758 (4.1 %)	370	406 676	380	18 735
040212 <sup>2</sup>	1 394 193 (3.5 %)	537	2 490 993	540	365 563
050813	375 010 (18.0%)	275	575 540	280	40 106

1- Comprend le lac situé en amont de la station 02BF007 et en aval de la station 02BF008 (Figure L.1).

2- Comprend le lac situé entre les deux seuils affichés sur la Figure L.2.

Tableau L.3 – Synthèse des résultats relativement aux différents facteurs pouvant expliquer les sous-estimations aux BV du Tableau L.1. La colonne Section indique la section où chaque BV est discutée.

BV	Importance de la couverture en lacs	Lac à l'exutoire	Présence de seuils	Grande plaine inondable	Section
02BF007	Importante	Oui	Très importante	Non	L.1.1
02BF008	Importante	Oui	Très importante	Non	L.1.1
040212	Moins importante	Non	Important	Oui	L.1.2
050813	Importante	Oui	Mineur	Non	L.1.3

Pour le BV 02BF007, l'indice de plaine inondable a été estimée pour le lac situé en amont de la station 02BF007 et en aval de la station 02BF008 (Figure L.1). Pour le BV 040212, le même indice a été estimée pour le lac situé entre les deux restrictions identifiées sur la Figure L.4. Finalement, pour le BV 050813, l'indice a été estimée pour le lac de ce BV.

Le Tableau L.3 présente une synthèse des facteurs pouvant expliquer les sous-estimations importantes des valeurs des TM médians pour chacun des BV du Tableau L.1. Les sections suivantes reprennent les données de ce tableau et discutent du cas spécifique de chacun de ces BV.

### L.1.1 BV 02BF007 et 02BF008

Trois des quatre facteurs mentionnés plus haut sont présents dans les BV 02BF007 et 02BF008 (couverture importante des lacs, lacs situés près de l'exutoire des BV, présence d'un ou plusieurs restrictions; Tableau L.3). Cependant, la plaine inondable est négligeable en comparaison avec le BV 040212 (Tableau L.2).

La Figure L.1 montre la couverture et l'emplacement des lacs pour les BV 02BF007 et 02BF008 et pour d'autres stations situées en aval (02BF005) et en amont (02BF009 et 02BF012). Pour les BV 02BF007 et 02BF008, on constate la présence importante de plusieurs lacs. La position de ces lacs suggère également qu'ils auront une influence sur l'écoulement de surface pour l'ensemble des BV.

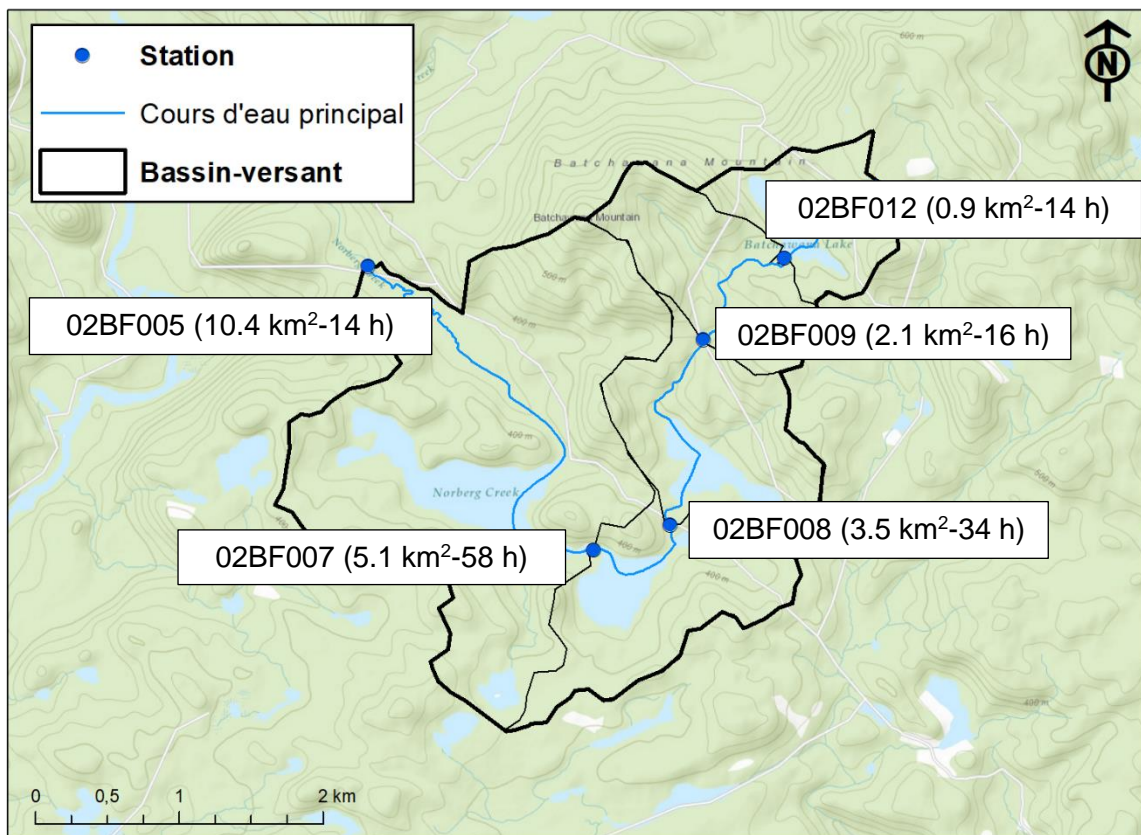


Figure L.1 - Lacs et cours d'eau des bassins-versants 02BF007 et 02BF008. Les valeurs entre parenthèse représentent la superficie (km<sup>2</sup>) et le temps de montée médian (h) respectivement.

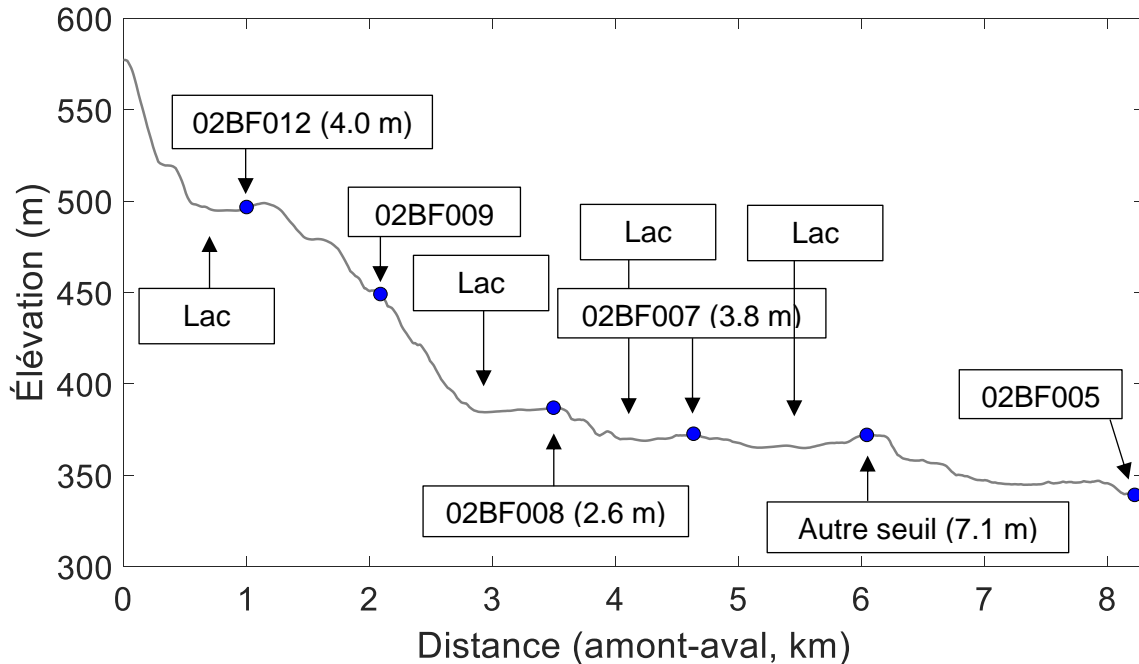


Figure L.2 - Profil d'élévation du cours d'eau principal des BV 02BF007 et 02BF008. Les valeurs entre parenthèses représentent les différences d'altitude associées aux restrictions.

À cette présence importante de lacs s'ajoute la présence de nombreuses restrictions. La Figure L.2 montre l'emplacement des stations sur un profil d'élévation du cours d'eau principal et la différence d'altitude associées à ces restrictions. Cette figure montre clairement la présence de restrictions majeures près des stations 02BF007 et 02BF008 ainsi qu'une autre plus en aval. L'influence des restrictions apparaît dès le BV 02BF012 qui présente un TM médian relativement long (14 heures) considérant sa taille (0.9 km<sup>2</sup>) et sa pente moyenne (12 %). À titre de comparaison, le BV 051004, situé à la Forêt Montmorency, affiche un TM médian de 7 heures pour une superficie de 1.1 km<sup>2</sup> et une pente de 13 %. Il est intéressant de noter que le TM médian à l'exutoire du BV 02BF009 est à peine plus élevé (16 heures) que le TM du BV 02BF012 (14 heures) situé 1 km plus en aval.

Il faut également remarquer que le BV 02BF005 est caractérisé par un TM médian plus court que les BV 02BF007 et 02BF008 bien qu'il soit situé beaucoup plus en aval ce qui, *à priori*, peut paraître surprenant (Figure L.1). Pour comprendre ce résultat, il faut d'abord réaliser que la portion du cours d'eau en aval du BV 02BF005 ne présente pas de restriction jusqu'à la rivière Batchawana dans lequel ce cours d'eau se jette. Par ailleurs,

les hydrogrammes à l'exutoire de ce BV présentent une structure caractéristique d'une double réponse hydrologique (Figure L.3). Cette double structure peut s'expliquer par les apports plus rapides provenant de la partie aval de ce BV comprise entre l'exutoire du BV 02BF007 et l'exutoire du BV 02BF005 qui contribuent à la montée rapide jusqu'à la première pointe, suivi des apports provenant des parties plus en amont influencés par la présence des lacs et les nombreuses restrictions. A cet égard il est intéressant de noter les différences importantes dans l'exemple de la Figure L.3 entre les hydrogrammes à la station 02BF007 et à la station 02BF005.

Un examen plus détaillée de l'exemple de la Figure L.3 montre également que les débits de pointe sont moins élevés pour les BV 02BF007 et 02BF008 comparativement au BV 02BF009 et 02BF012 situées pourtant plus en amont. Ce constat suggère que les lacs favorisent un laminage important des débits et une réponse hydrologique plus lente.

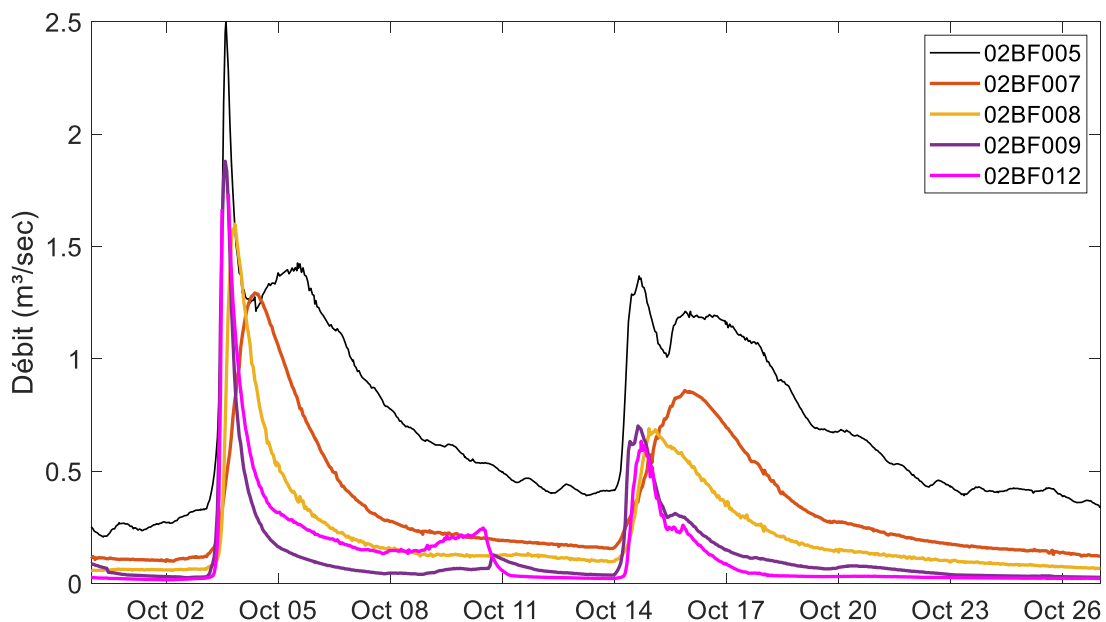


Figure L.3 - Comparaison des hydrogrammes aux stations 02BF005, 02BF007, 02BF008, 02BF009 et 02BF012 au cours de la période allant du 28 septembre au 27 octobre 2014

### L.1.2 BV 040212

La couverture des lacs est moins importante pour le BV 040212 que pour les BV 02BF007 et 02BF008 (Tableau L.1). De plus, la position de ce lac n'est pas en aval du BV mais plutôt à mi-parcours le long du cours d'eau principal (Figure L.4). Il est tout-de-même

important de mentionner que la superficie du BV en amont des principaux lacs (2<sup>e</sup> restriction sur le Figure L.4) correspond à 66 % de la superficie totale du BV et que, malgré leur position centrale, les eaux d'une bonne partie du BV transitent par ces lacs.

Ce BV est également caractérisé par la présence d'une restriction en amont des principaux lacs et par une plaine inondable importante. La Figure L.5 montre le profil d'élévation d'une section du cours d'eau principal (encadré rouge de la Figure L.4). Il met en évidence une hausse du relief de près de trois mètres en aval des lacs. Les restrictions seraient donc moins importantes que celles des BV 02BF007 et 02BF008 (Figure L.3). Toutefois, la plaine inondable du BV 040212 est beaucoup plus étendue que celles de ces deux derniers (Tableau L.2). En effet, augmentation moyenne de la superficie de la plaine inondable considérant une hausse de l'élévation d'un mètre est près de 20 fois celle du BV 02BF007 et 10 fois celle du BV 050813 respectivement. Dès lors, la présence de restrictions combinée à un relief peu prononcé autour des lacs et des cours d'eau favorisent un stockage et un laminage important et donc un TC beaucoup plus long.

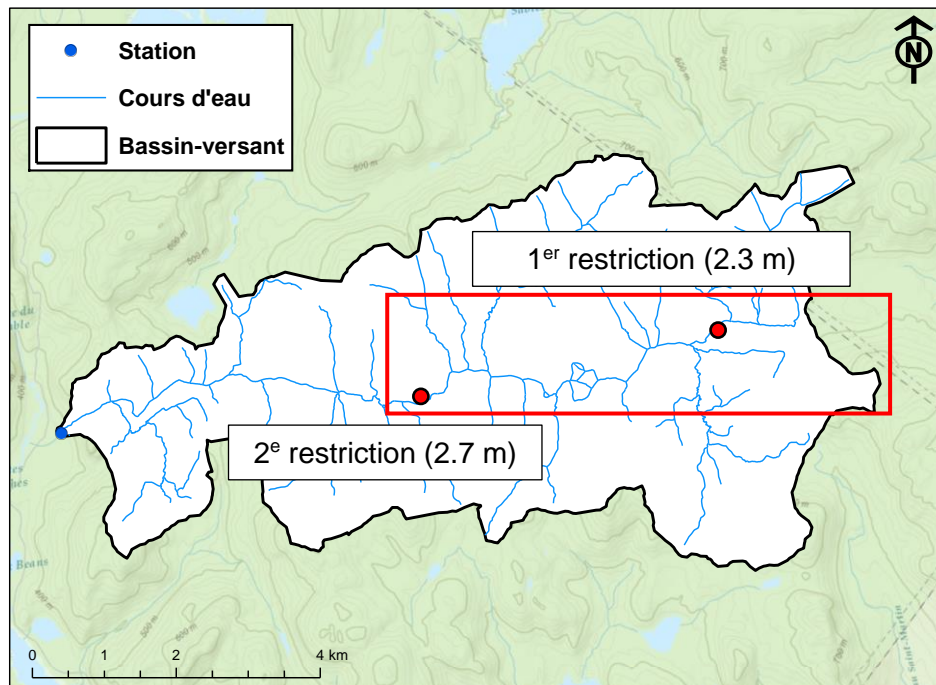


Figure L.4 – Cartes du BV 040212. L'encadré rouge présente la section du cours d'eau affichée sur le profil d'élévation de la Figure L.5.



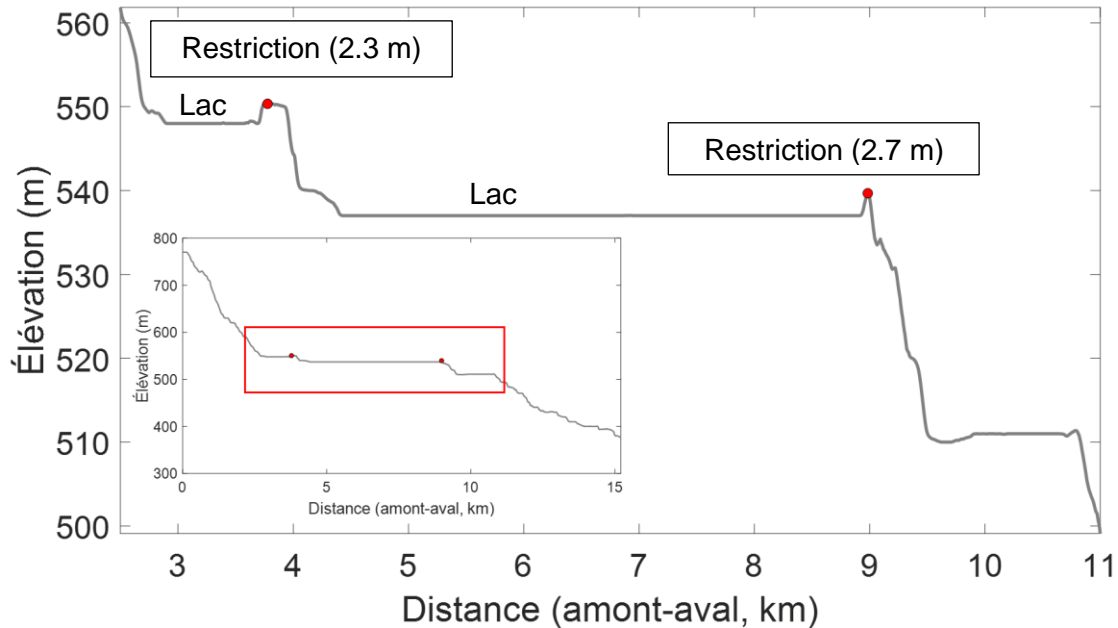


Figure L.5 - Profil d'élévation d'une section du cours d'eau principal du BV 040212. L'encadré rouge est localisé sur la Figure L.4. Les valeurs entre parenthèses représentent les différences d'altitude aux restrictions.

### L.1.3 Comparaison des BV 02BF007, 02BF008 et 040212 au BV 050813

Le BV 050813 est, des 93 BV sous étude, celui avec la plus grande la superficie de lacs (17.4 %, Figure L.6). Toutefois, ce BV a un profil d'élévation qui suggère peu de restrictions (différence d'altitude de 0.6 m) comparativement aux BV 02BF007, 02BF008 et 040212 et une petite plaine inondable (Figure L.7). Dès lors, pour ce BV, le lac ne semble pas avoir d'impact majeur sur la réponse hydrologique. On peut penser qu'en temps de pluie, le volume du lac n'augmente pas de manière importante et qu'une faible augmentation du niveau se traduit immédiatement par une augmentation des débits à l'exutoire. En effet, ce BV présente un TM médian de huit heures, ce qui le place parmi les BV avec la réponse hydrologique la plus rapide.

Par ailleurs, tel que mentionnés plus haut, les BV 02BF007 et 02BF008 sont caractérisés par des lacs importants situés près de l'exutoire des BV. De plus, des variations d'altitude importantes, suggérant la présence de restrictions majeures, sont observées en aval de ces BV. Bien que la plaine inondable de ces deux BV soit petite, la présence de ces restrictions favorise un emmagasinement important des eaux d'écoulement et une longue réponse hydrologique beaucoup plus lente.

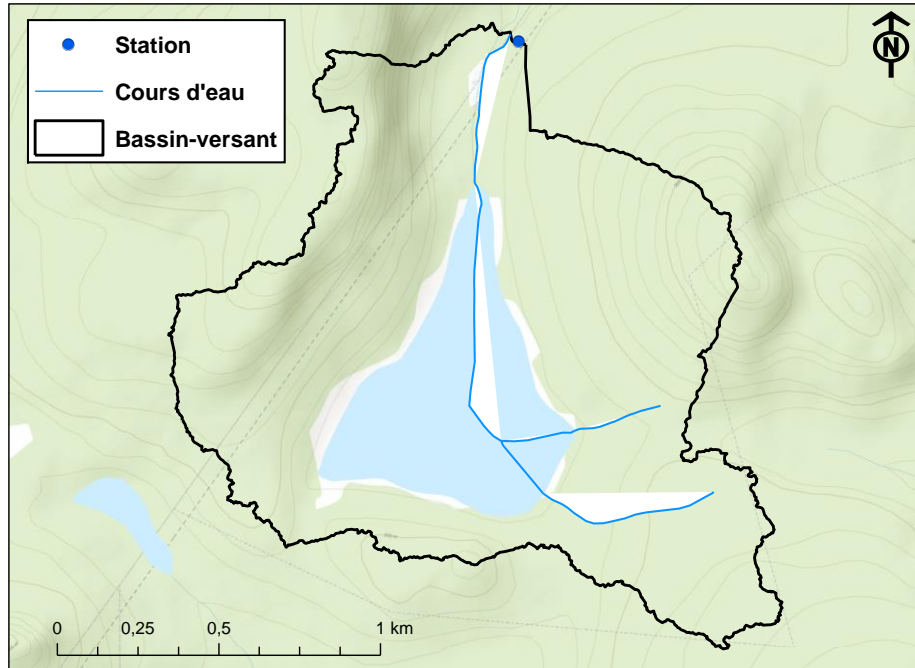


Figure L.6 - Lacs et cours d'eau du bassin-versant 050813

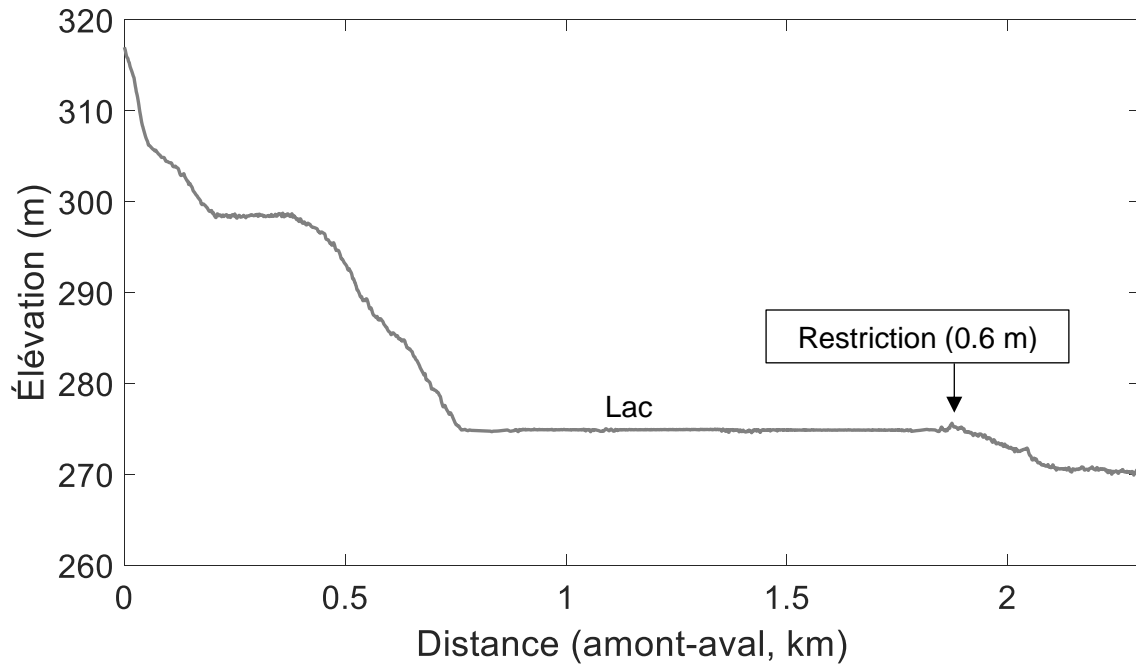


Figure L.7 - Profil d'élévation du cours d'eau principal du BV 050813. La valeur entre parenthèses représente la différence d'altitude à la restriction.

Enfin le BV 040212 est caractérisé par la présence d'un lac drainant 66 % de la superficie totale du BV et de plusieurs restrictions importantes le long du cours d'eau principal. La caractéristique déterminante pour ce BV demeure toutefois l'étendu de sa plaine inondable par rapport aux BV 02BF007 et 050813. Ainsi, la présence de restrictions, combinée à une grande plaine inondable, permet l'emmagasinement de grands volumes d'eau en plus de retarder l'écoulement favorisant une réponse hydrologique très lente pour ce BV.

#### L.1.4 BV 02GA031

Ce BV présente le deuxième plus grand TM médian de de tous les BV sous étude (44 heures), après le BV 02BF007 (56 heures). Ce BV présente une pente de cours d'eau légèrement plus petite que les autres BV du Tableau L.4 (BV ayant des caractéristiques similaires), ce qui implique un rapport  $L_C/\sqrt{S_C}$  plus grand (18.8 m) mais pas suffisamment grand pour le placer dans le groupe G-4 ( $L_C/\sqrt{S_C} \geq 33$ ) où le TC est de 28 heures. Un TC de 28 heures pour ce BV se traduirait par un écart de -16 heures au lieu de -27 heures, écart qui demeure toutefois très important.

Tableau L.4 – Caractéristiques physiographiques des BV avec les occupations en milieux humides les plus importantes.

Site	A (km <sup>2</sup> )	L <sub>C</sub> (km)	S <sub>B</sub> (%)	S <sub>C</sub> (%)	L <sub>C</sub> /√S <sub>C</sub> (m)	C (%)	Occupation (%)				TM (h)	TC (h)
							Boisé	Agricole	Urbain	MH		
02FC017	47.8	18.7	2.4	0.3	34	0.67	12.8	54.4	2.5	30.2	37	28
02HK008	85.6	22.6	4.6	0.2	48	0.78	49.1	19.4	1.9	28.8	24	28
02GA041	66.5	14.2	0.9	0.2	31	0.46	3.5	66.2	2.1	28.2	12	17
02HK011	34.0	10.1	4.6	0.8	12	0.44	45.2	28.4	0.0	25.3	14	17
02FD002	65.8	24.1	2.2	0.2	57	0.43	10.5	66.1	2.7	20.5	18	28
02GA031	39.4	14.3	2.8	0.7	18	0.54	34.4	46.0	2.2	17.3	44	17
02AB020	76.2	31.7	4.4	0.4	48	0.66	76.9	1.5	3.6	16.8	30	28
02DD013	63.9	24.1	2.7	0.2	54	0.44	74.0	7.7	0.0	16.3	33	28
050812	96.3	35.6	2.8	0.3	64	0.22	55.1	28.1	0.8	15.8	24	28

Un examen des facteurs discutés aux sections précédentes (présence de restrictions le long du cours d'eau principal, type de milieux humides, position des milieux humides et les courbes hypsométriques qui décrivent la fraction de la superficie selon l'élévation du

BV) n'a permis d'expliquer la réponse hydrologique de ce BV. Une comparaison avec des BV similaires, tels les BV 02GA041 et 02HK011 (BV ayant également un rapport  $L_C/\sqrt{S_C}$  inférieur à 33 m et un TC estimé de 17 heures), n'a pas été plus concluant. La connectivité du BV 02GA031 (C; voir Annexe D.10) est également similaire, l'occupation du territoire n'est pas suffisamment différente pour tirer quelques conclusions que ce soit, de même la pente du BV n'est pas particulièrement élevée ou faible.

Une analyse hydrologique plus détaillée serait donc nécessaire afin d'identifier les caractéristiques ou la combinaison de caractéristiques physiographiques qui pourraient expliquer cette réponse si lente à ce BV.

## L.2 BV avec les surestimations les plus importantes des TC estimés par l'arbre D-4

Le Tableau L.5 présente les quatre BV où les sous-estimations sont les plus importantes et les caractéristiques physiographiques de ces BV utilisées pour l'estimation des TC selon l'arbre D-4.

Un examen de ce tableau montre que tous ces BV présentent une occupation importante en LMH expliquant les TC estimés de 17 ou 28 heures (Groupes G-3 et G-4). Toutefois, d'autres facteurs semblent avoir une incidence sur la réponse hydrologique favorisant une réponse plus rapide. L'un de ces facteurs pourrait être la faible présence des LMH dans les parties aval des BV (voir la Section D.12 de l'Annexe D.). Les sections suivantes examinent chacun de ces BV afin d'identifier les facteurs susceptibles de conditionner leur réponse hydrologique.

Tableau L.5 - BV présentant les surestimations les plus importantes entre l'estimation des TC estimés selon l'arbre D-4 et les TM médians observés.

Site	A (km <sup>2</sup> )	S <sub>B</sub> (%)	$L_C/\sqrt{S_C}$ (m)	LMH (%)	S <sub>RH</sub> (%) Annexe D.11	LMH en aval (%) Annexe D.12	TM médian (h)	TC Arbre D-4 (h)	Écart (estimé – observé) (h)
02DB007	69.4	5.1	36.1	11.4	63	50	11	28	17
02HB012	79.9	1.9	31.5	15.7	76	28	4	17	13
02HD018	14.7	5.2	5.2	16.3	55	53	6	17	11
02FD002	65.8	2.2	56.8	20.7	88	7	18	28	10

### **L.2.1 BV 02DB007**

Plusieurs caractéristiques physiographiques du BV 02BD007 suggèrent une réponse hydrologique lente (présence importante de LMH et un long parcours de l'eau additionné d'une pente de cours d'eau faible) expliquant le TC de 28 heures estimé à ce BV. Deux facteurs pourraient expliquer le TM observé à ce BV : 1) les LMH ne sont pas situés dans la partie aval du BV (Figure L.8) et dès lors ils ont peu d'effet à l'échelle de l'ensemble du BV et 2) la nature des sols. En effet, ce BV est caractérisé par des affleurements rocheux très importants. Alors que pour les autres BV sous étude les affleurements rocheux sont rares voir pratiquement inexistant, ils représentent 84 % des dépôts de surface pour ce BV. Il est fort probable que ce type de sol favorise un ruissellement abondant ainsi qu'un écoulement des eaux vers l'aval très rapide.

### **L.2.2 BV 02HB012**

La présence importante de LMH laisse présager une réponse hydrologique lente pour le BV 02HB012. Toutefois, il s'agit de l'un des quatre BV avec un TM médian de quatre heures (TM médian le plus court observé pour les 93 BV sous étude). Trois facteurs peuvent expliquer cette situation (Figure L.9) : 1) les milieux humides se trouvent essentiellement en amont du BV; 2) la présence d'une zone urbaine (14 % de la superficie du BV) située en aval du BV; 3) la présence d'un affluent drainant un sous-bassin important situé tout juste en aval de l'exutoire du BV (encadré rouge sur la Figure L.9).

La zone urbaine et le sous-bassin près de l'exutoire favorisent vraisemblablement une augmentation rapide des débits en temps de pluie, suivi d'une relaxation et d'une seconde augmentation générée par le ruissellement des parties amont du BV (Figure L.9). La Figure L.10 qui présente les hydrogrammes sur une période d'un peu moins d'un mois en 2011 appuie notamment cette théorie. Cette figure montre clairement la double réponse hydrologique de ce BV et notamment l'atteinte très rapide d'une première pointe de débit suivi d'une deuxième pointe de débit moins importante.

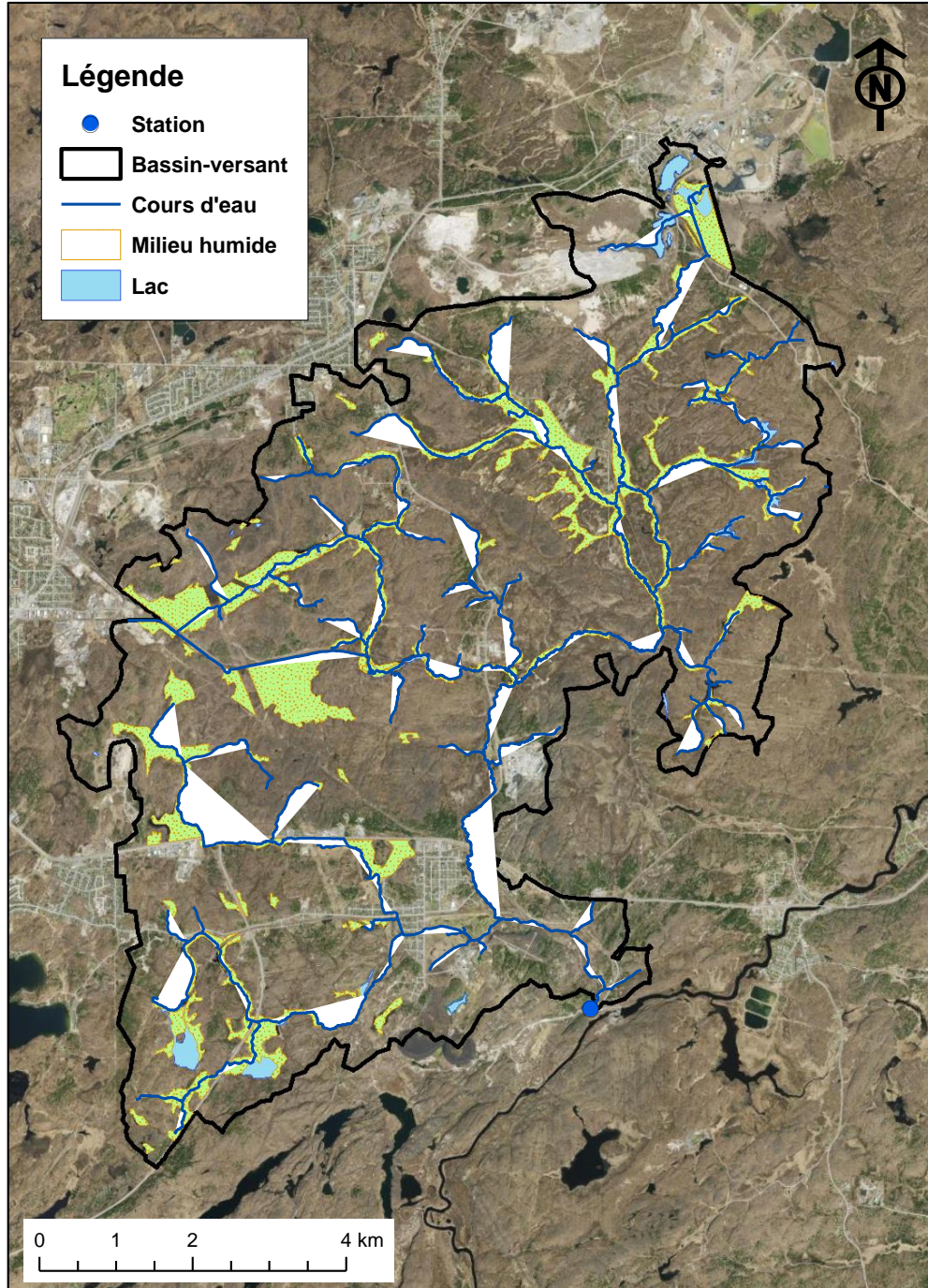


Figure L.8 – Occupation du territoire et positions des LMH à l'intérieur du BV 02BD007.

### **L.2.3 BV 02HD018**

La forte occupation agricole pour ce BV (58 %) ainsi qu'une séparation importante du réseau hydrographique en aval ont certainement un rôle important dans la réponse hydrologique de ce BV (Figure L.11). Ces deux facteurs ne permettent toutefois pas d'observer une double réponse hydrologique dans les hydrogrammes qui pourraient être atténuées par la distribution sur l'ensemble du BV.

### **L.2.4 BV 02FD002**

La situation en ce qui concerne le BV 02FD002 est similaire au BV 02HD018 où l'on note une forte occupation agricole pour ce BV (66 %) et une faible présence, de l'ordre de 7%, des LMH dans la partie aval du BV. La Figure L.12 montre l'emplacement des milieux humides dans le BV ainsi que l'importance de l'occupation agricole.

### **L.2.5 Résumé et conclusion**

Les analyses des sections précédentes suggèrent que plusieurs facteurs peuvent favoriser une réponse hydrologique rapide malgré la présence importante de LMH. Les facteurs identifiés sont les suivants :

- Faible proportion de LMH dans la partie aval du BV;
- Occupation agricole importante;
- Affleurements rocheux importants;
- Occupation urbain située en aval du BV;
- Section du réseau hydrographique indépendante du reste du réseau dans l'acheminement des eaux vers l'exutoire est plus rapide;
- Séparation du réseau hydrographique importante.

À la lumière de ces analyses, une combinaison de ces facteurs semble nécessaire pour expliquer la réponse hydrologique rapide. Dès lors, il est très difficile d'évaluer l'impact de chacun de ces facteurs pris isolément.



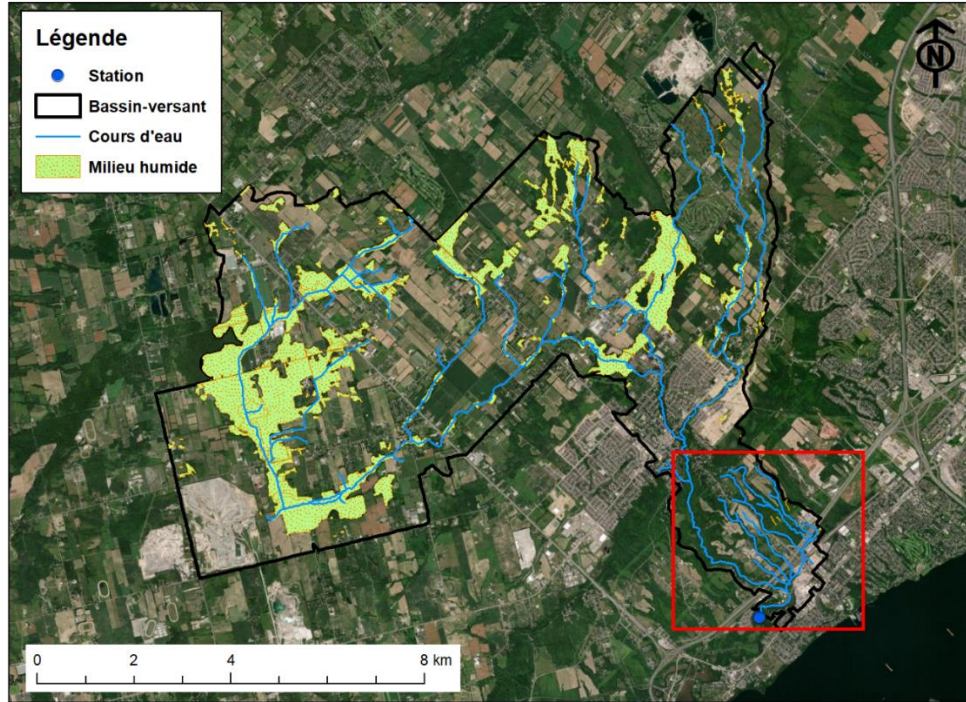


Figure L.9 – Carte du BV 02HB012. L'encadré rouge localise l'affluent et le sous-bassin qui se jette dans le cours principal près de l'exutoire.

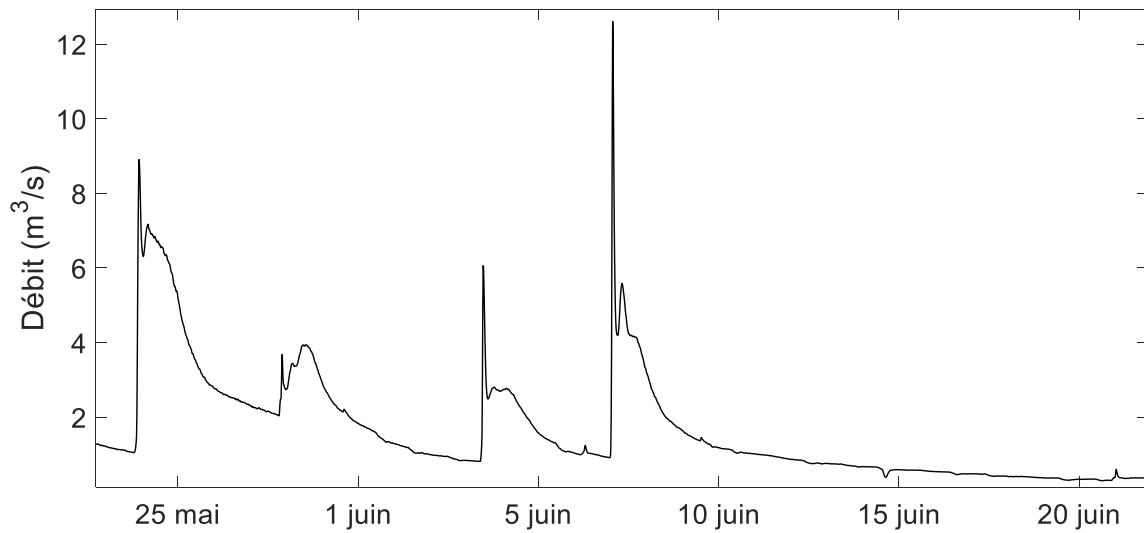


Figure L.10 – Hydrogrammes enregistrés à la station 02HB012 au cours des mois de mai et juin 2011.



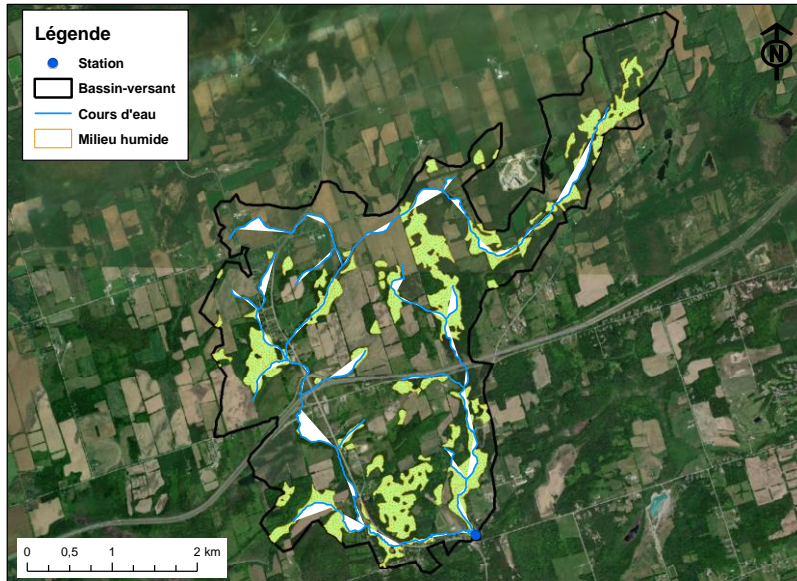


Figure L.11 – Carte du BV 02HD018.

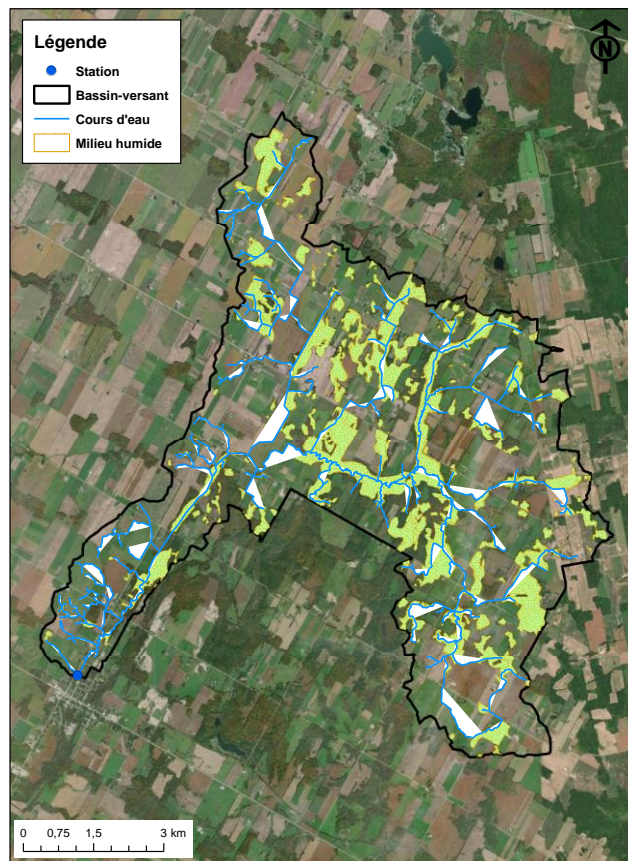


Figure L.12 – Carte du BV 02FD002.

## Annexe M. Coefficients de ruissellement proposés dans la littérature

Tableau M.1 - Coefficients de ruissellement associés aux cultures

Types de sol-topographie	Coefficient de ruissellement		Références
Sol sableux et graveleux	0.2		Dunne et Leopold (1978)
Loam	0.4		
Argile lourde	0.5		
Sol mince sur substratum rocheux	0.5		
Loam sableux-plat (0.5%)	0.30		Schwab (1957)
Argile et loam limoneux-plat (0.5%)	0.50		
Argile compacte-plat (0.5%)	0.60		
Loam sableux-valonnée (5-10%)	0.40		
Argile et loam limoneux-valonnée (5-10%)	0.60		
Argile compacte-valonnée (5-10%)	0.70		
Loam sableux-montagneux (10-30%)	0.52		
Argile et loam limoneux-montagneux (10-30%)	0.72		
Argile compacte-montagneux (10-30%)	0.82		Schwab et Frevert (1985)
Classification hydrologique A <sup>1</sup>	0.2	0.6	
Classification hydrologique B <sup>1</sup>	0.4	0.7	
Classification hydrologique C <sup>1</sup>	0.4	0.7	
Classification hydrologique D <sup>1</sup>	0.5	0.8	

<sup>1</sup> Classification hydrologique (USDA, 1986)

Tableau M.2 - Coefficients de ruissellement associés aux prairies et terres en pâturage

Types de sol et topographie	Coefficient de ruissellement	Références
Sol sableux et graveleux	0.15	Dunne et Leopold (1978)
Loam	0.35	
Argile lourde	0.45	
Sol mince sur substratum rocheux	0.45	
Loam sableux-plat (0.5%)	0.10	Schwab (1957)
Argile et loam limoneux-plat (0.5%)	0.30	
Argile compacte-plat (0.5%)	0.40	
Loam sableux-valonnée (5-10%)	0.16	
Argile et loam limoneux-valonnée (5-10%)	0.36	
Argile compacte-valonnée (5-10%)	0.55	
Loam sableux-montagneux (10-30%)	0.22	
Argile et loam limoneux-montagneux (10-30%)	0.42	
Argile compacte-montagneux (10-30%)	0.60	Schwab et Frevert (1985)
Classification hydrologique A <sup>1</sup> -Prairie	0.30	
Classification hydrologique B <sup>1</sup> -Prairie	0.35	
Classification hydrologique C <sup>1</sup> -Prairie	0.40	
Classification hydrologique D <sup>1</sup> -Prairie	0.45	
Classification hydrologique A <sup>1</sup> -Pâturage	0.10	
Classification hydrologique B <sup>1</sup> -Pâturage	0.20	
Classification hydrologique C <sup>1</sup> -Pâturage	0.25	
Classification hydrologique D <sup>1</sup> -Pâturage	0.30	

1 Classification hydrologique (USDA. 1986)

Tableau M.3 - Coefficients de ruissellement associés au milieu boisé

Types de sol-topographie	Coefficient de ruissellement	Références
Sol sableux et graveleux	0.1	Dunne et Leopold (1978)
Loam	0.3	
Argile lourde	0.4	
Sol mince sur substratum rocheux	0.4	
Loam sableux-plat (0.5%)	0.10	Schwab (1957)
Argile et loam limoneux-plat (0.5%)	0.30	
Argile compacte-plat (0.5%)	0.40	
Loam sableux-valonnée (5-10%)	0.25	
Argile et loam limoneux-valonnée (5-10%)	0.35	
Argile compacte-valonnée (5-10%)	0.45	
Loam sableux-montagneux (10-30%)	0.30	
Argile et loam limoneux-montagneux (10-30%)	0.50	
Argile compacte-montagneux (10-30%)	0.60	Schwab et Frevert (1985)
Classification hydrologique A <sup>1</sup>	0.06	
Classification hydrologique B	0.13	
Classification hydrologique C	0.16	
Classification hydrologique D	0.20	McDonnel (1990)
Sol compacté et pente abrupte	0.43-0.61	
Forêt mixte avec loam sableux avec faible rétention et pente abrupte	0.33-0.59	Institute of Hydrology (1976) <sup>2</sup>
Forêt mixte	0.28-0.68	Law (1956) <sup>2</sup>
Classification hydrologique B et pente abrupte	0.52	Mulholland (1990)

1 Classification hydrologique (USDA. 1986)

2 Cité dans Dhakal *et al.* (2012)



## Annexe N. Coefficients de ruissellement estimés aux BV sous étude

Tableau N.1 – Valeurs du coefficients de ruissellement estimés aux 93 BV sous étude pour les périodes de retour 10, 25, 50 et 100 ans.

Site	Coefficient de ruissellement			
	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans
30422	0.35	0.33	0.31	0.29
30423	0.25	0.28	0.29	0.30
30425	0.25	0.27	0.27	0.29
30426	0.39	0.42	0.43	0.44
40212	0.23	0.26	0.27	0.28
40409	0.21	0.22	0.23	0.24
50812	0.41	0.45	0.47	0.48
50813	0.27	0.30	0.32	0.34
51002	0.29	0.30	0.32	0.33
51003	0.43	0.47	0.49	0.51
51004	0.73	0.80	0.84	0.86
120201	0.34	0.31	0.31	0.32
Fourchette Amont	0.46	0.66	0.90	1.22
Fourchette Aval	0.74	0.96	1.15	1.34
02AB020	0.30	0.33	0.35	0.36
02BF004	0.27	0.30	0.32	0.33
02BF005	0.20	0.22	0.22	0.23
02BF007	0.23	0.26	0.27	0.28
02BF008	0.39	0.43	0.45	0.47
02BF009	0.56	0.62	0.65	0.68
02BF012	1.14	1.30	1.40	1.48
02BF013	0.32	0.36	0.38	0.40
02DB007	0.26	0.27	0.28	0.29
02DD013	0.18	0.20	0.21	0.21
02EC010	0.07	0.08	0.09	0.09
02ED017	0.16	0.18	0.19	0.20
02ED100	0.12	0.14	0.15	0.16
02FC017	0.12	0.13	0.14	0.14
02FD002	0.18	0.20	0.21	0.22
02FE014	0.21	0.24	0.25	0.27
02GA030	0.10	0.12	0.12	0.13
02GA031	0.06	0.07	0.07	0.07
02GA041	0.23	0.26	0.28	0.29
02GA044	0.36	0.42	0.46	0.49
02GA045	0.10	0.10	0.10	0.10
02GA046	0.15	0.17	0.18	0.19
02HB012	0.15	0.17	0.18	0.19
02HB020	0.07	0.08	0.08	0.08
02HC019	0.26	0.30	0.32	0.34
02HC023	0.10	0.12	0.12	0.13
02HC028	0.16	0.18	0.19	0.19
02HC038	0.12	0.14	0.14	0.15
02HD003	0.11	0.11	0.11	0.11
02HD004	0.09	0.10	0.10	0.11
02HD010	0.11	0.13	0.14	0.16
02HD018	0.35	0.39	0.40	0.42
02HH003	0.10	0.10	0.10	0.10

Site	Coefficient de ruissellement			
	10 ans	25 ans	50 ans	100 ans
02HJ005	0.06	0.06	0.06	0.07
02HK008	0.08	0.09	0.09	0.09
02HK009	0.10	0.11	0.11	0.12
02HK011	0.20	0.22	0.24	0.25
1021470	0.18	0.19	0.20	0.20
1037380	0.29	0.33	0.34	0.34
1063310	0.27	0.29	0.31	0.33
1073000	0.39	0.44	0.46	0.48
1109070	0.25	0.27	0.29	0.29
1135150	0.47	0.50	0.52	0.52
1139800	0.34	0.36	0.37	0.37
1142500	0.50	0.57	0.60	0.62
1162500	0.18	0.18	0.19	0.19
1169900	0.75	0.82	0.87	0.89
1174565	0.38	0.41	0.43	0.44
1175670	0.24	0.28	0.28	0.30
1349700	0.72	0.77	0.80	0.79
1349711	1.17	1.33	1.41	1.43
1349810	1.20	1.36	1.44	1.49
1350035	0.39	0.42	0.43	0.44
1350080	0.36	0.40	0.42	0.44
1350120	0.23	0.27	0.29	0.29
1350140	0.49	0.53	0.55	0.56
1360640	0.32	0.35	0.36	0.37
1362497	0.49	0.50	0.51	0.50
1363382	0.64	0.70	0.72	0.74
1365000	0.50	0.52	0.55	0.55
1365500	0.40	0.42	0.42	0.42
1374559	0.29	0.32	0.34	0.36
1374598	0.41	0.48	0.51	0.54
1374890	0.18	0.20	0.20	0.21
1413088	0.15	0.16	0.17	0.17
1414000	0.34	0.36	0.36	0.37
1414500	0.35	0.37	0.38	0.39
1415000	0.36	0.40	0.42	0.43
1421610	0.21	0.22	0.23	0.23
1421618	0.77	0.83	0.86	0.88
1434017	0.76	0.80	0.82	0.83
1434025	0.48	0.50	0.51	0.51
1434498	0.84	0.90	0.92	0.93
1521500	0.13	0.12	0.11	0.11
4233286	0.49	0.53	0.56	0.57
4237962	0.12	0.12	0.12	0.12
4288225	0.94	1.00	1.04	1.04
4288230	0.77	0.79	0.82	0.81
4294300	0.46	0.50	0.52	0.54

## Annexe O. Estimations des intensités de pluies aux BV sous étude

Pour déterminer l'intensité de la précipitation utilisé dans l'équation de la MÉRA, il est nécessaire d'estimer le TC et d'utiliser les courbes Intensité-Durée-Fréquence. (IDF) de la station météorologique la plus proche. Connaissant la durée, défini par TC, la PdR du débit maximum annuel auquel on s'intéresse, on peut extraire de ces courbes l'intensité de pluie correspondantes.

Les courbes IDF disponibles ne considèrent que certaines durées spécifiques (p. ex. 5, 10, 15, 30 min, 1, 2, 6, 12, et 24 heures dans le cas des courbes produites par ECCC), il est nécessaire d'interpoler à la durée d'intérêt si elle ne fait pas partie des durées proposées. L'équation suivante est alors utilisée :

$$I = a d^b \quad (O.1)$$

où I est l'intensité de la pluie (mm/h), d est la durée (h), dans le cas présent le TC, et a, b sont deux paramètres à ajuster et qui dépendent du site considéré (voir Mailhot *et al.* 2014a).

Pour les BV du Québec, les courbes IDF estimées dans le cadre du projet *Mise à jour de certains paramètres du Manuel de conception des ponceaux et des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF)* (voir Mailhot *et al.*, 2014a,b) ont été utilisées. La courbe IDF associée à la station météorologique la plus près de chacun des sites de jaugeage a été retenue. Le Tableau O.1 présente les stations météorologiques associées à chacun des sites retenus au Québec.

Pour l'Ontario, l'outil *IDF CURVE LOOKUP*<sup>1</sup> a été utilisé pour obtenir les valeurs des paramètres a et b dans l'équation :

$$I = a d + b \quad (O.2)$$

où I est l'intensité de la précipitation et d est la durée de la précipitation (TC). Cet outil calcule les valeurs de ces paramètres en tout point de la province. Le Tableau O.2 présente toutes les valeurs des paramètres a et b des sites situés en Ontario.

Finalement, pour les États-Unis, l'outil *Precipitation Frequency Data Server* (PFDS) a été utilisé<sup>2</sup>. Cet outil estime les hauteurs totales de précipitations pour différentes durées et PdR pour tout point à l'intérieur du pays. Les valeurs des paramètres a et b ont donc été estimées pour chaque site considérant les PdR 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 et 350 ans et les

---

<sup>1</sup> [http://www.mto.gov.on.ca/IDF\\_Curves/map\\_acquisition.shtml](http://www.mto.gov.on.ca/IDF_Curves/map_acquisition.shtml)

<sup>2</sup> <https://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/>



durées 1, 2, 3, 6, 12, 24 et 48 heures. Le Tableau O.3 présente les valeurs des paramètres pour tous les sites situés aux États-Unis.

Tableau O.1 - Station météorologique associée aux BV sous étude situés au Québec et valeurs des paramètres a et b pour l'estimation de l'intensité des précipitations pour les périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50, et 100 ans (Mailhot *et al.* 2014a,b).

Site	Distance entre les stations météorologique et hydrométrique (km)	Station météorologique		Coordonnées géographiques		Paramètre	Période de retour (ans)							
		Numéro	Nom	Lat.	Long.		2	5	10	25	50	100		
30422	12.0	7027725	Saint-Sébastien	45.13	-73.15	a	20.9	26.3	29.9	34.4	37.7	41.0		
30423	11.7					b	-0.68	-0.70	-0.70	-0.71	-0.71	-0.71		
30426	5.8													
30425	12.2	7022579	Frelighsburg	45.33	-72.85	a	22.2	26.7	29.6	33.2	35.9	38.6		
						b	-0.69	-0.67	-0.66	-0.65	-0.64	-0.64		
40212	24.2	7017100	Saint-Donat	46.32	-74.20	a	19.0	24.5	28.2	32.8	36.3	39.7		
						b	-0.66	-0.68	-0.68	-0.69	-0.69	-0.69		
40409	5.1	7031375	Cheneville	45.90	-75.83	a	19.2	25.2	29.2	34.2	37.9	41.6		
						b	-0.67	-0.66	-0.66	-0.66	-0.66	-0.66		
50812	14.9	7016900	Saint-Augustin	46.73	-71.50	a	19.8	25.7	29.6	34.6	38.2	41.8		
						b	-0.65	-0.67	-0.67	-0.68	-0.68	-0.68		
50813	11.1	7012240	Duchesnay	46.87	-71.65	a	20.5	26.6	30.6	35.6	39.3	42.9		
						b	-0.67	-0.70	-0.71	-0.72	-0.73	-0.73		
51002	5.8	7042395	Forêt Montmorency RCS	47.28	-71.15	a	20.2	25.7	29.3	33.9	37.2	40.6		
51003	5.9					b	-0.64	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65		
51004	3.8													
51007	5.7													
120201	12.4	7041177	Cap Tourmente	47.08	-70.78	a	16.8	21.8	25.2	29.4	32.5	35.6		
						b	-0.64	-0.64	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63		
Fourchette Amont	24.1	7024254	Lauzon	46.82	-71.11	a	18.5	24.0	27.6	32.2	35.6	39.0		
Fourchette Aval	20.8					b	-0.62	-0.63	-0.64	-0.64	-0.65	-0.65		

Tableau O.2 - Valeur du paramètre a des BV de l'Ontario pour l'estimation de l'intensité des précipitations pour les périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50, 100 et 350 ans. La valeur du paramètre b est de -0.699 en tous les sites.

Station hydrométrique	Période de retour (années)					
	2	5	10	25	50	100
02AB020	21.0	28.2	32.9	38.9	43.3	47.7
02BF004	21.3	28.5	33.2	39.1	43.5	47.9
02BF005	21.0	28.2	32.8	38.7	43.0	47.4
02BF007	21.3	28.5	33.3	39.2	43.7	48.0
02BF008	21.4	28.6	33.3	39.3	43.7	48.1
02BF009	21.4	28.6	33.4	39.4	43.9	48.3
02BF012	21.4	28.6	33.4	39.4	43.8	48.2
02BF013	21.3	28.5	33.2	39.2	43.6	47.9
02DB007	20.7	27.7	32.3	38.1	42.4	46.6
02DD013	20.9	27.8	32.4	38.2	42.5	46.7
02EC010	21.8	28.8	33.4	39.0	43.6	47.8
02ED017	21.2	28.2	32.9	38.7	43.1	47.4
02ED100	21.8	28.8	33.4	39.3	43.6	47.9
02FC017	23.3	30.9	35.9	42.2	46.9	51.5
02FD002	22.8	30.3	35.3	41.5	46.1	50.7
02FE014	23.1	30.7	35.6	41.9	46.5	51.1
02GA030	23.3	30.7	35.6	41.8	46.3	50.9
02GA031	23.1	30.4	35.3	41.5	46.0	50.5
02GA041	23.1	30.6	35.5	41.8	46.4	50.9
02GA044	23.4	30.9	35.8	42.0	46.6	51.1
02GA045	23.4	30.9	35.8	42.0	46.6	51.1
02GA046	23.4	30.9	35.8	42.0	46.6	51.1
02HB012	21.6	28.4	32.9	38.5	42.7	46.8
02HB020	22.9	30.2	35.0	41.1	45.6	50.0
02HC019	21.4	28.2	32.7	38.3	42.5	46.6
02HC023	22.1	29.1	33.7	39.6	43.9	48.2
02HC028	22.0	29.0	33.7	39.5	43.8	48.1
02HC038	22.0	29.0	33.7	39.5	43.8	48.1
02HD003	21.5	28.3	32.9	38.6	42.8	47.0
02HD004	21.5	28.4	32.9	38.6	42.8	47.0
02HD010	21.4	28.2	32.7	38.4	42.6	46.7
02HD018	21.1	27.9	32.4	38.0	42.2	46.3
02HH003	22.1	29.4	34.1	40.2	44.6	49.1
02HJ005	21.3	28.2	32.7	38.4	42.6	46.8
02HK008	21.2	28.2	32.7	38.5	42.7	46.9
02HK009	21.0	27.8	32.2	37.9	42.1	46.2
02HK011	20.8	27.5	32.0	37.5	41.7	45.8

Tableau O.3 - Valeur des paramètres a et b des BV des États-Unis pour l'estimation de l'intensité des précipitations pour les périodes de retour 2, 5, 10, 25, 50, 100 et 350 ans.

Station hydrométrique	Paramètre	Période de retour (années)					
		2	5	10	25	50	100
01021470	a	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64
	b	25.3	30.9	35.5	42.1	47.0	52.5
01037380	a	-0.64	-0.65	-0.65	-0.66	-0.66	-0.66
	b	25.8	33.1	39.6	47.9	54.6	61.6
01063310	a	-0.65	-0.65	-0.65	-0.64	-0.64	-0.64
	b	26.3	33.4	39.6	47.9	54.1	60.3
01073000	a	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70
	b	24.0	29.7	34.5	40.4	45.6	50.4
01109070	a	-0.68	-0.69	-0.70	-0.70	-0.71	-0.71
	b	30.3	40.4	49.4	60.9	70.1	79.0
01135150	a	-0.73	-0.72	-0.71	-0.71	-0.71	-0.70
	b	25.5	31.2	36.2	42.9	48.4	53.5
01139800	a	-0.70	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71
	b	25.3	32.5	38.1	46.1	52.5	58.6
01142500	a	-0.70	-0.70	-0.70	-0.71	-0.71	-0.71
	b	25.3	31.8	37.3	45.2	50.9	56.8
01162500	a	-0.71	-0.70	-0.70	-0.69	-0.69	-0.69
	b	28.2	35.9	42.1	50.4	56.8	63.4
01169900	a	-0.70	-0.68	-0.68	-0.67	-0.67	-0.66
	b	29.1	35.9	41.3	48.9	55.1	60.9
01174565	a	-0.70	-0.68	-0.67	-0.66	-0.66	-0.65
	b	29.4	36.2	41.7	49.4	55.7	61.6
01175670	a	-0.70	-0.68	-0.67	-0.67	-0.66	-0.66
	b	29.7	37.0	42.5	50.9	56.8	63.4
01349700	a	-0.68	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.66
	b	28.2	36.2	42.5	51.4	58.0	65.4
01349711	a	-0.62	-0.61	-0.61	-0.61	-0.61	-0.60
	b	32.1	41.3	48.9	59.1	66.7	75.2
01349810	a	-0.68	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.66
	b	27.7	35.5	41.7	50.4	56.8	64.1
01350035	a	-0.68	-0.68	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69
	b	25.5	33.1	39.6	48.4	55.1	62.2
01350080	a	-0.68	-0.68	-0.68	-0.68	-0.68	-0.68
	b	26.0	34.1	40.4	49.4	56.3	63.4
01350120	a	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69
	b	25.3	33.1	39.3	48.4	54.6	62.2

Station hydrométrique	Paramètre	Période de retour (années)					
		2	5	10	25	50	100
01350140	a	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69
	b	25.3	32.8	39.3	47.9	54.1	60.9
01360640	a	-0.72	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71
	b	28.2	35.9	42.5	51.4	58.0	65.4
01362497	a	-0.65	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64	-0.64
	b	31.8	41.3	48.9	59.7	67.4	76.7
01363382	a	-0.64	-0.63	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62
	b	31.8	40.9	48.4	58.6	66.7	74.4
01365000	a	-0.67	-0.68	-0.68	-0.68	-0.69	-0.69
	b	30.3	39.3	47.0	58.0	65.4	73.7
01365500	a	-0.68	-0.69	-0.69	-0.70	-0.70	-0.70
	b	29.7	39.3	47.0	57.4	65.4	73.7
01374559	a	-0.69	-0.67	-0.66	-0.65	-0.64	-0.64
	b	33.4	40.9	47.0	55.7	61.6	68.0
01374598	a	-0.69	-0.67	-0.66	-0.65	-0.64	-0.64
	b	33.4	40.9	46.5	54.6	60.9	67.4
01374890	a	-0.70	-0.69	-0.68	-0.67	-0.66	-0.66
	b	33.8	41.7	47.5	56.3	62.8	69.4
01413088	a	-0.68	-0.68	-0.68	-0.68	-0.69	-0.69
	b	26.6	34.8	42.1	51.9	59.1	66.7
01414000	a	-0.69	-0.70	-0.71	-0.71	-0.71	-0.72
	b	25.8	34.1	41.3	50.4	58.0	65.4
01414500	a	-0.69	-0.70	-0.71	-0.71	-0.71	-0.72
	b	26.0	34.8	41.7	51.4	58.6	66.7
01415000	a	-0.69	-0.70	-0.70	-0.71	-0.71	-0.71
	b	26.6	35.5	42.5	53.0	60.3	68.0
01421610	a	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69
	b	25.8	33.1	39.3	47.9	54.1	60.9
01421618	a	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69
	b	26.0	33.4	40.0	48.4	54.6	61.6
01434017	a	-0.66	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67
	b	30.9	40.4	48.4	59.1	66.7	75.2
01434025	a	-0.64	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65
	b	30.0	39.3	47.0	57.4	65.4	73.7
01434498	a	-0.67	-0.67	-0.68	-0.68	-0.68	-0.68
	b	31.2	40.4	48.4	58.6	66.7	75.2
01521500	a	-0.74	-0.74	-0.74	-0.74	-0.74	-0.74
	b	25.8	32.8	38.5	46.5	52.5	58.6
04233286	a	-0.73	-0.73	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72
	b	26.8	33.8	39.6	47.9	53.5	60.3

Station hydrométrique	Paramètre	Période de retour (années)					
		2	5	10	25	50	100
04237962	a	-0.73	-0.74	-0.74	-0.74	-0.75	-0.75
	b	25.5	32.8	38.5	46.5	52.5	59.1
04288225	a	-0.70	-0.69	-0.68	-0.68	-0.68	-0.67
	b	27.7	34.1	39.3	47.0	52.5	58.0
04288230	a	-0.70	-0.69	-0.68	-0.67	-0.67	-0.66
	b	27.7	34.1	39.6	47.0	52.5	58.6
04294300	a	-0.73	-0.74	-0.74	-0.74	-0.74	-0.74
	b	25.5	31.5	36.6	43.4	48.9	54.1



## Annexe P. Photos des sites instrumentés

Cette annexe présente diverses photos des sites instrumentés (voir Chapitre 10 du document principal pour les détails).



Figure P.1 - Exutoire du BV du site S1 et emplacement de la station de jaugeage dans le ruisseau des Bacon. A : ruisseau des Bacon en amont de la station de jaugeage; B : Ruisseau des Bacon en aval de la station de jaugeage (Photos : Samuel Bolduc).





Figure P.2 - Exutoire du site S2. A : Emplacement de la station de jaugeage en amont du ponceau; B : Cours d'eau en aval du ponceau (Photos : Samuel Bolduc).





Figure P.3 - Exutoire du site S3. A : Rivière La Chevrotière en amont du ponceau sur la route du Moulin; B : Cours d'eau en aval de la station et à l'entrée du ponceau (Photos : Samuel Bolduc).





Figure P.4 - Exutoire du site S4. A : Ruisseau Rouge en amont du ponceau sur la route Saint-Cyrille; B : Cours d'eau en aval de la station et à l'entrée du ponceau (Photos : Samuel Bolduc).



## Annexe Q. Installation des équipements sur les sites instrumentés

Pour le site S1, un limnimètre et un pluviomètre ont été installés (Figure Q.1). Le limnimètre se trouve dans une portion plus étroite du ruisseau des Bacon où la profondeur est acceptable pour l'utilisation d'un instrument de jaugeage de type bulleur. Il est à environ 50 mètres en amont du ponceau passant sous la route 138. Le pluviomètre a pour sa part été mis en place à 600 mètres en amont du limnimètre dans un espace dégagé à proximité d'une station de pompage appartenant à la municipalité de Longue-Rive. Tous les arbres environnant pouvant avoir un impact sur la captation de la pluie par le pluviomètre ont été coupés.

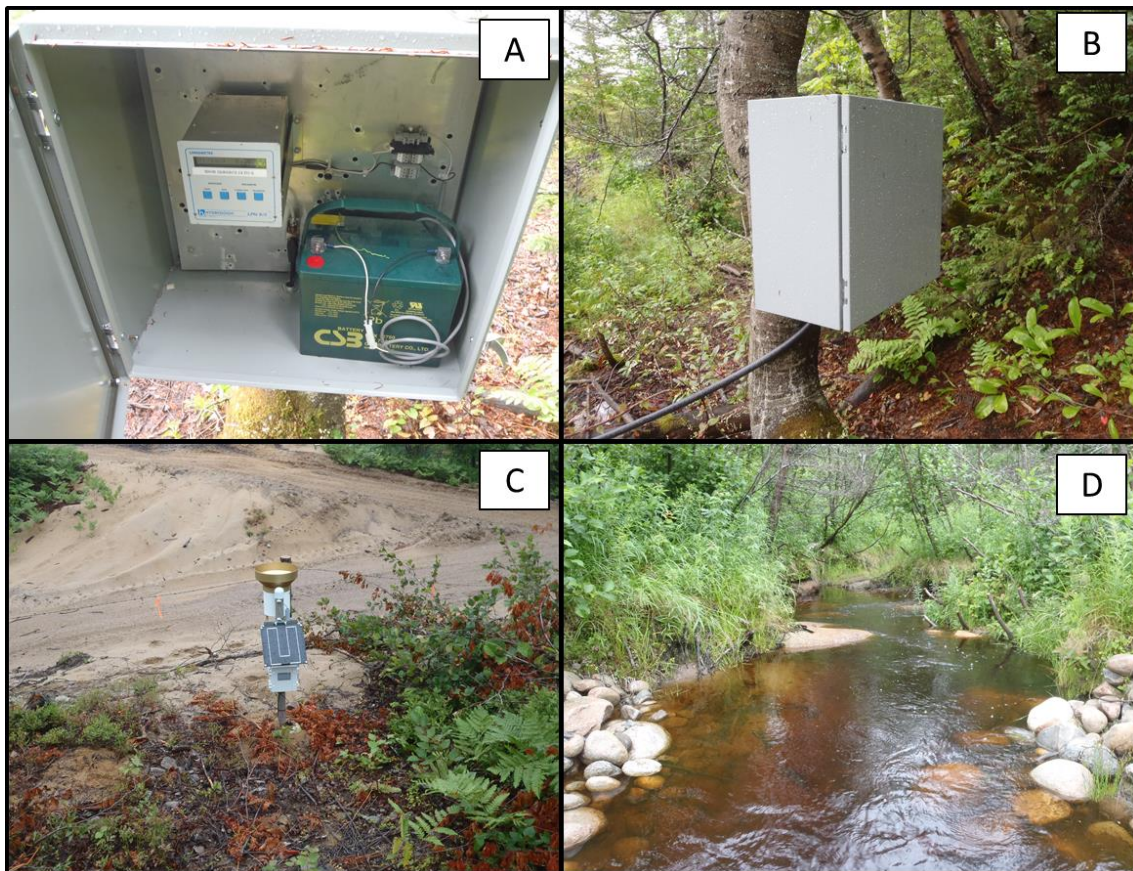


Figure Q.1 - Instrumentation au site S1. A et B : limnimètre et boîtier ; C : pluviomètre ; D : emplacement du limnimètre (Photos : Samuel Bolduc).

Pour le site S2, un instrument de jaugeage (limnimètre) et un pluviomètre ont été installés (Figure Q.2). L'installation du limnimètre a été effectuée par un technicien de la DEHA les 2 et 3 juin 2015. Il se trouve dans une zone profonde du cours d'eau à quelques mètres en amont d'un ponceau. Le pluviomètre est situé un peu en amont du limnimètre, près du

cours d'eau et dans une clairière. Tous les arbres environnant pouvant avoir un impact sur la captation de la pluie par le pluviomètre ont été coupés.

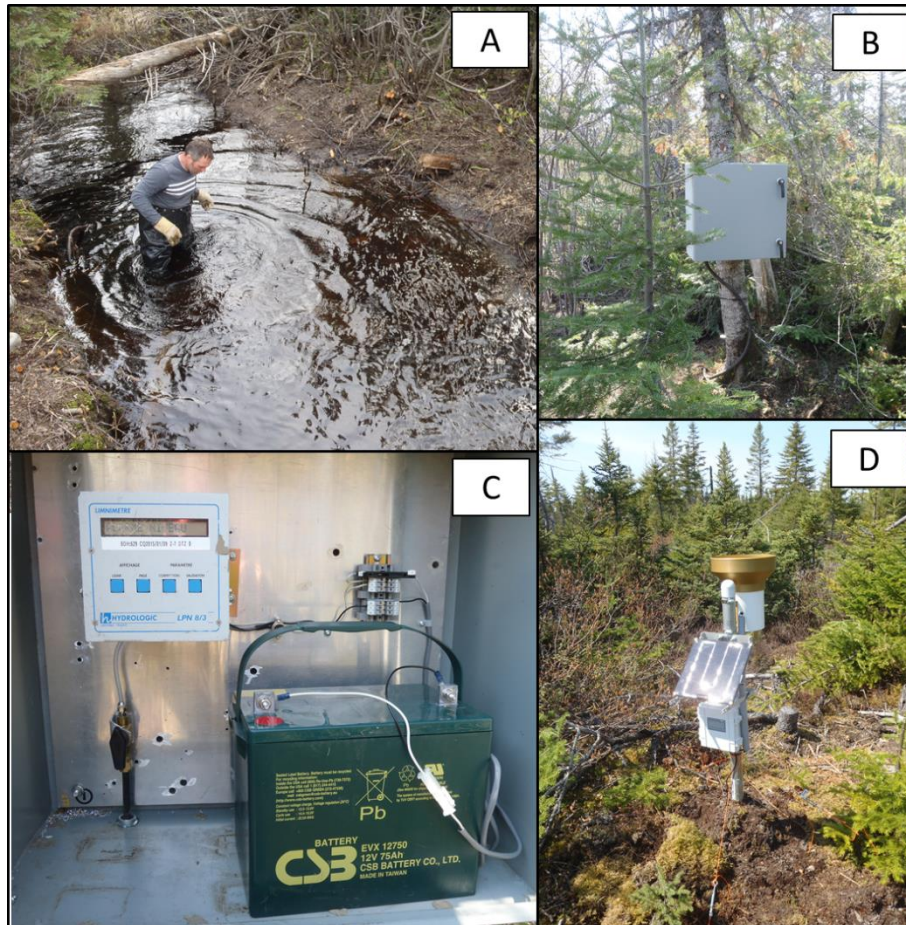


Figure Q.2 - Instrumentation du site S2. A : emplacement du limnimètre ; B et C : limnimètre et boîtier ; D : pluviomètre (Photos : Samuel Bolduc).

En raison de la superficie importante du site S3, deux pluviomètres ont été installés (Figure Q.3). Un premier pluviomètre a été installé près de la station de jaugeage 050501 de la DEHA. Il se trouve plus précisément dans un champ agricole actuellement en friche. Ce champ est la propriété des fermes Aliments Breton et le chef de secteur Vincent Nadeau Morissette a préalablement donné son accord pour l'installation de l'appareil. Le second pluviomètre se trouve plus en amont près de la route d'Irlande. Il est situé dans une clairière près de la rivière La Chevrotière et n'est pas visible de la route. Les propriétaires d'un chalet situé près du site ont été rencontrés afin de les prévenir de la présence du pluviomètre et afin d'éviter toute mésentente. Pour ce site, plusieurs plantes et arbres ont été enlevés pour assurer une captation optimale de la pluie par le pluviomètre.



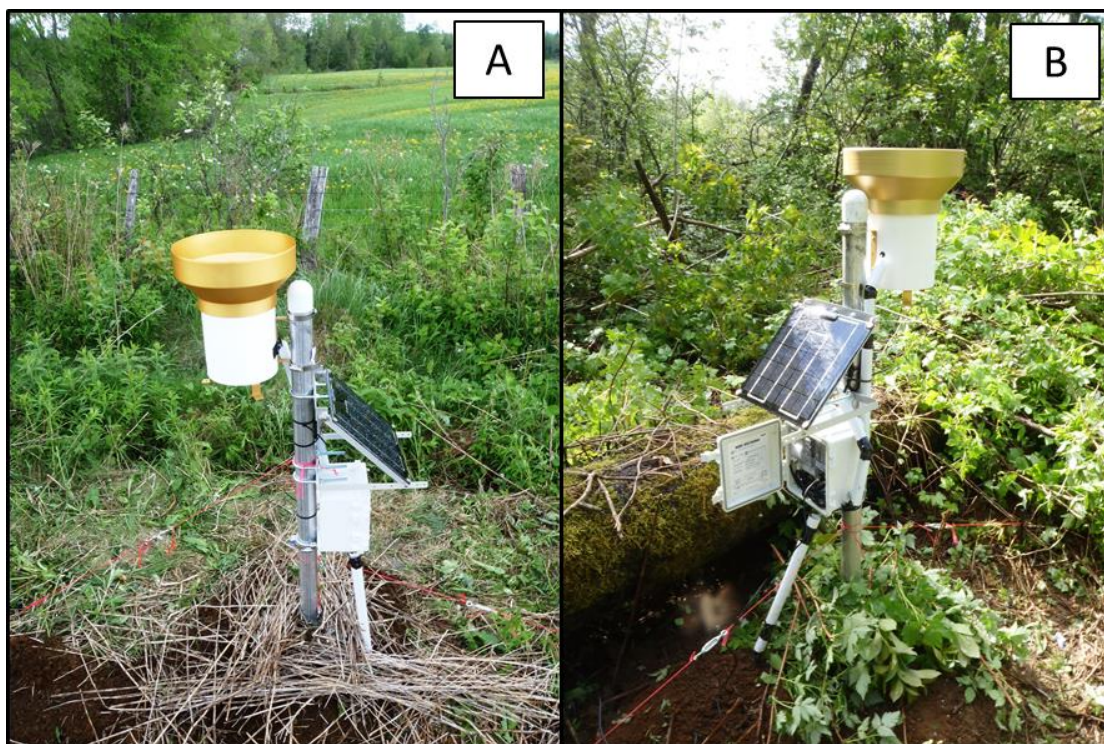


Figure Q.3 - Pluviomètres installés sur le site S3. A : pluviomètre situé près de la station de jaugeage de la DEHA; B : pluviomètre en bordure de la route d'Irlande (Photos : Samuel Bolduc).

Deux pluviomètres ont également été installés sur le site S4 (Figure Q.4). L'un d'eux est situé à un peu plus d'un kilomètre de la station de jaugeage 062002 de la DEHA et près du ruisseau Rouge. Il est localisé près du chemin de fer dans une zone occupée exclusivement par des graminées. Le pluviomètre est accessible par un chemin de gravier privé appartenant à M. Richard Levesque. La permission d'emprunter ce chemin a préalablement été demandé et accordé par M. Levesque. L'autre pluviomètre se trouve dans la forêt de démonstration Normandin. Il s'agit d'une forêt expérimentale où divers aménagements ont été réalisées de 1995 à 2005<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Pour plus de détails sur la Forêt Normandin : <http://www.groupeagir.com/index.php/connaitre-notre-regroupement/11-connaitre-notre-regroupement/23-la-corporation-d-amenagement-foret-normandin>

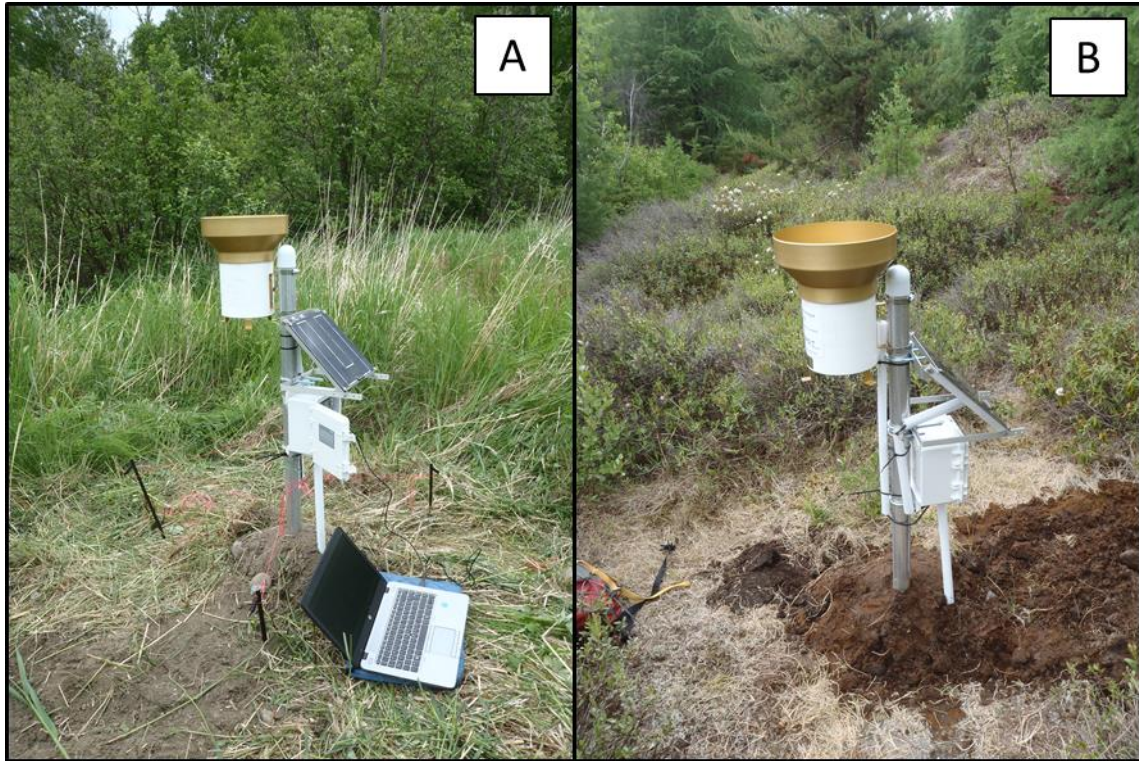


Figure Q.4 - Pluviomètres installés sur le site S4. A : pluviomètre situé près du chemin de fer en bordure du ruisseau Rouge; B : pluviomètre localisé dans la forêt de démonstration Normandin; (Photos : Samuel Bolduc).

## Annexe R. Mesures des débits et courbes de tarage pour les sites S1 et S2

Tableau R.1 – Informations relatives aux mesures de débit et de hauteurs d'eau au site S1.

Date (année-mois-jour)	Heure	Vitesse (m/sec)		Transect		Profondeur (m)		Hauteur d'eau (m)	Débit (m <sup>3</sup> /sec)
		Moyenne	Maximale	Largeur (m)	Aire (m <sup>2</sup> )	Moyenne	Maximale		
2019-07-04	08:40:37	0.06	0.16	2.23	0.60	0.27	0.40	0.25	0.04
2019-05-29	08:26:37	0.09	0.19	2.10	0.89	0.42	0.66	0.30	0.08
2019-05-29	08:05:55	0.10	0.16	2.60	0.76	0.29	0.46	0.30	0.07
2018-11-07	09:40:08	0.27	0.33	2.90	0.84	0.29	0.44	0.41	0.23
2018-11-07	09:22:33	0.26	0.40	2.90	0.82	0.28	0.48	0.41	0.22
2018-05-29	09:56:14	0.10	0.16	2.30	1.04	0.45	0.70	0.32	0.11
2018-05-29	10:35:01	0.08	0.15	2.30	1.00	0.43	0.70	0.32	0.08
2017-10-18	07:54:24	0.16	0.19	2.40	0.54	0.23	0.32	0.30	0.09
2017-10-17	08:49:09	0.07	0.09	2.12	0.50	0.50	0.69	0.30	0.07
2017-07-05	08:00:11	0.08	0.13	2.43	0.58	0.24	0.40	0.26	0.04
2017-07-05	07:27:30	0.05	0.08	2.50	1.11	0.45	0.68	0.26	0.05
2017-06-13	08:15:02	0.51	0.09	2.29	0.97	0.43	0.79	0.27	0.05
2017-06-13	08:50:13	0.05	0.08	2.29	0.96	0.42	0.70	0.27	0.05
2016-09-01	14:33:57	0.03	0.05	2.34	0.65	0.28	0.42	0.20	0.02
2016-08-23	07:15:05	0.03	0.06	2.00	0.49	0.24	0.37	0.19	0.02
2016-08-22	09:25:39	0.02	0.05	1.71	0.76	0.45	0.56	0.19	0.02
2016-07-15	09:27:30	0.13	0.20	1.75	0.60	0.34	0.48	0.30	0.08
2016-07-15	08:57:50	0.09	0.16	2.41	0.91	0.38	0.65	0.30	0.08
2016-06-08	10:16:22	0.21	0.36	2.50	1.05	0.42	0.62	0.37	0.22
2016-06-07	09:54:22	0.31	0.55	2.80	1.32	0.47	0.67	0.40	0.41
2016-06-07	10:28:04	0.32	0.57	2.77	1.22	0.44	0.68	0.41	0.39
2016-05-19	12:37:50	0.15	0.27	2.22	0.84	0.38	0.56	0.30	0.12
2016-05-19	12:14:05	0.14	0.27	2.22	0.85	0.38	0.55	0.30	0.12
2015-11-13	11:11:16	0.09	0.14	2.02	0.64	0.32	0.46	0.27	0.06
2015-11-13	13:04:21	0.10	0.18	2.02	0.66	0.33	0.47	0.27	0.07
2015-11-13	12:40:38	0.10	0.15	2.03	0.67	0.33	0.47	0.27	0.06
2015-11-13	15:10:45	0.11	0.18	2.02	0.67	0.33	0.47	0.28	0.08



Date (année-mois-jour)	Heure	Vitesse (m/sec)		Transect		Profondeur (m)		Hauteur d'eau (m)	Débit (m³/sec)
		Moyenne	Maximale	Largeur (m)	Aire (m²)	Moyenne	Maximale		
2015-11-13	14:20:06	0.11	0.19	2.02	0.66	0.33	0.47	0.28	0.07
2015-11-13	15:32:19	0.12	0.19	2.12	0.68	0.32	0.48	0.28	0.08
2015-08-26	09:53:26	0.09	0.14	2.02	0.51	0.25	0.33	0.26	0.04
2015-08-05	14:01:20	0.09	0.15	2.15	0.53	0.25	0.34	0.25	0.05
2015-07-20	10:05:52	0.17	0.31	2.20	0.75	0.34	0.53	0.31	0.13
2015-06-26	12:10:34	0.08	0.11	2.30	0.53	0.23	0.47	0.24	0.04
2015-06-25	12:22:01	0.07	0.14	2.20	0.76	0.34	0.50	0.25	0.05

Tableau R.2 – Informations relatives aux mesures de débit et de hauteurs d'eau au site S2.

Date	Heure	Vitesse (m/sec)		Largeur (m)	Aire (m <sup>2</sup> )	Profondeur (m)		Hauteur PN/3 (m)	Débit (m <sup>3</sup> /sec)
		Moyenne	Maximale			Moyenne	Maximale		
2019-07-04	14:46:50	0.07	0.113	2.8	1.22	0.44	0.66	0.53	0.09
2019-05-28	15:04:41	0.24	0.36	4.00	2.92	0.73	1.16	1.01	0.70
2019-05-28	14:46:17	0.25	0.36	4.00	2.92	0.73	1.20	1.01	0.72
2018-11-06	15:01:10	0.18	0.27	3.35	2.20	0.67	0.97	0.75	0.39
2018-08-01	Inconnu							0.26	0.01
2018-05-29	15:20:40	0.22	0.31	3.10	2.09	0.67	0.96	0.84	0.47
2018-05-29	15:52:32	0.24	0.32	2.70	2.11	0.78	0.96	0.83	0.50
2017-10-17	13:55:13	0.23	0.31	3.95	2.87	0.73	1.12	1.00	0.66
2017-07-04	14:17:33	0.21	0.25	2.80	1.75	0.62	0.86	0.71	0.37
2017-07-04	13:25:16	0.21	0.25	2.80	1.74	0.62	0.86	0.72	0.36
2016-07-14	14:58:28	0.05	0.06	2.70	1.41	0.52	0.74	0.53	0.07
2016-07-14	14:18:42	0.05	0.06	2.70	1.42	0.53	0.75	0.53	0.07
2016-05-19	17:01:33	0.26	0.39	4.24	2.73	0.64	0.96	0.94	0.71
2015-08-27	08:15:06	0.20	0.29	3.14	1.90	0.60	0.82	0.83	0.38
2015-08-26	14:52:06	0.11	0.15	2.96	1.98	0.67	0.90	0.74	0.22
2015-08-06	06:42:20	0.11	0.17	2.83	1.90	0.67	0.84	0.67	0.21
2015-08-05	18:42:37	0.14	0.19	2.77	1.83	0.66	0.86	0.69	0.25
2015-07-20	15:29:31	0.10	0.14	2.66	1.68	0.63	0.82	0.69	0.17
2015-06-26	06:54:22	0.15	0.22	3.72	2.08	0.56	0.93	0.78	0.32
2015-06-02	Inconnu							0.61	0.14



## Annexe S. Événements extrêmes enregistrés aux sites instrumentés

Tableau S.1 – Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S1. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Forestville (7042378).

Durée (h)	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)
0.25	9.4	3	8	<2	8.5	2	7.7	<2	5.6	<2	7.0	<2
0.5	12.0	3	8.4	<2	10.0	<2	10	<2	6.6	<2	9.9	<2
1	14.3	2	12.4	<2	11.6	<2	10.7	<2	8.0	<2	11.5	<2
2	17.7	2	18.6	2	19.4	3	16.4	<2	13.6	<2	19.2	3
6	27	<2	37.7	6	42.3	10	30.8	2	21.3	<2	34.4	4
12	39.5	<2	57.9	8	62.2	12	36.4	<2	34.5	<2	42.7	2
24	40.9	<2	71.8	7	90.9	24	36.7	<2	46.7	<2	45.3	<2

Tableau S.2 – Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S2. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Pentecôte (7045910).

Durée (h)	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)
0.25	14.4	13	6.8	<2	7.2	<2	8.6	<2	7.7	<2	6.5	<2
0.5	14.7	3	9.7	<2	10.5	<2	11.2	<2	11.2	<2	8.9	<2
1	14.7	<2	11.1	<2	12.7	<2	16.1	<2	13.9	<2	10.7	<2
2	21.6	<2	20.0	<2	17.2	<2	26.2	2	22.8	<2	15.6	<2
6	42.1	<2	40.4	<2	29.7	<2	28.6	<2	31.3	<2	28.3	<2
12	50.1	<2	56.8	2	36.0	<2	28.8	<2	52.3	<2	33.2	<2
24	51.7	2	87.2	12	37.9	<2	31.4	<2	78.0	6	40.3	<2

Tableau S.3 - Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S3. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Saint-Alban (7016800).

Durée (h)	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)
0.25	14.1	2	13.4	<2	17	4	18.2	5	7.6	<2	10.9	<2
0.5	14.3	<2	16.5	<2	27.8	7	18.8	<2	9.4	<2	16.4	<2
1	18.6	<2	20.5	<2	28.1	3	19	<2	12.1	<2	18.5	<2
2	28.6	<2	20.7	<2	28.1	<2	19.5	<2	17.9	<2	21.9	<2
6	43.6	2	26.2	<2	45.3	2	26.3	<2	31.1	<2	45.3	2
12	44.6	<2	41.6	<2	48.3	<2	29.5	<2	32.0	<2	49.4	<2
24	48.4	<2	47.1	<2	48.3	<2	39.3	<2	32.0	<2	58.6	2

Tableau S.4 - Hauteurs maximales de pluie enregistrées et période de retour (PR) correspondante pour le site S4. Les périodes de retour sont estimées à partir des courbes IDF de la station météorologique Normandin (7065639).

Durée (h)	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)	Hauteur (mm)	PR (Année)
0.25	8.6	<2	12.5	2	15.3	3	15.2	3	16.3	4	9.7	<2
0.5	11.2	<2	14.1	<2	27.1	14	19.0	4	19.1	4	15.1	2
1	18.6	2	16.3	<2	32.8	19	29.3	11	20.4	3	21.3	4
2	22.5	2	21.3	2	32.8	9	46.4	55	21.6	2	25.4	3
6	31.5	3	43.3	11	42.1	10	70.5	274	22.3	<2	31.1	3
12	42.4	3	57.5	14	58.5	15	74.8	70	42.0	3	45.1	4
24	49.8	3	58.1	6	69.4	14	77.4	26	52.5	4	47.8	3

## Annexe T. Précipitations mensuelles enregistrées aux sites instrumentés

Tableau T.1 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S1 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station météorologique Forestville (7042378). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets.

Mois	Précipitation mensuelle (mm)						
	Normale climatique	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mai	104		15		0	12	
Juin	107	11	183	62	43	112	33
Juillet	124	135	93	66	51	48	85
Août	100	88	27	94	69	83	93
Septembre	94	38	45	149	116	82	103
Octobre	95	83	135	201	92	94	147
Novembre	52	29	80	80	45	36	19

Tableau T.2 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S2 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station météorologique Pentecôte (7045910). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets.

Mois	Précipitation mensuelle (mm)						
	Normale climatique	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mai	103		25		0	25	
Juin	110	100	221	33	31	102	35
Juillet	131	208	78	39	105	70	133
Août	103	112	21	76	53	121	59
Septembre	112	87	91	60	58	61	1
Octobre	139	39	184	149	85	129	
Novembre	74		112	69	53	39	

Tableau T.3 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S3 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station météorologique Saint-Alban (7016800). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets.

Mois	Précipitation mensuelle (mm)						
	Normale climatique	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Avril	77		0	8			
Mai	104	5,3	87	157	57	65	13
Juin	107	127	122	75	30	153	38
Juillet	124	91	105	70	93	55	128
Août	100	90	82	114	111	11	168
Septembre	94	81	89	48	107		125
Octobre	95	117	193	133	80		138
Novembre	52	55	14	71	62		25

Tableau T.4 - Cumul des précipitations mensuelles pour le site S4 et normale climatique. La normale climatique est estimée à partir de précipitations enregistrées à la station météorologique Saint-Prime (7067658). Les cases en bleues indiquent que les mois ne sont pas complets.

Mois	Précipitation mensuelle (mm)						
	Normale climatique	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mai	64		53	57	51	46	32
Juin	76	41	122	121	119	44	48
Juillet	115	176	105	103	104	73	162
Août	79	60	53	111	138	145	123
Septembre	83	43	91	122	135	150	119
Octobre	61	53	136	95	97	110	71
Novembre	38	40	7	18	31	37	4

## Annexe U. Distributions *Generalized Extreme Value* (GEV) et Gumbel

Les intensités des MAP pour les durées 5, 10, 15, 30 min, 1, 2, 6, 12, 24, 48 et 72 heures et de PdR 2, 5, 10, 25, 50, 100 et 350 ans ont été estimées en considérant la distribution *Generalized Extreme Value* (GEV) dont les deux paramètres ont été ajustés en utilisant la méthode des L-moments. La fonction de densité de probabilité.  $f_{GEV}$  de la distribution GEV s'écrit :

$$f_{GEV}(x; \mu, \beta, \xi) = \frac{1}{\beta} \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\beta} \right) \right]^{(-1/\xi - 1)} \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\beta} \right) \right]^{-1/\xi} \right\} \quad (\text{U.1})$$

où  $x$  est l'intensité de pluie (en mm/h).  $\mu$  le paramètre de position et  $\beta$  le paramètre d'échelle ( $\beta > 0$ ) et  $\xi$ . le paramètre de forme. On distingue trois cas selon la valeur du paramètre de forme :

$$\begin{aligned} x &\in \left[ \mu - \frac{\beta}{\xi}, +\infty \right] & \text{si } \xi > 0 \\ x &\in [-\infty, +\infty] & \text{si } \xi = 0 \\ x &\in \left[ -\infty, \mu - \frac{\beta}{\xi} \right] & \text{si } \xi < 0 \end{aligned} \quad (\text{U.2})$$

Le cas  $\xi > 0$  correspond au cas où la distribution n'est pas bornée et on parle alors de distribution à queue lourde ou '*heavy-tailed*'. Le cas  $\xi = 0$  correspond à la distribution Gumbel qui est donc un cas particulier de la distribution GEV et dont la densité de probabilité s'écrit :

$$f_{Gum}(x; \mu, \beta) = \frac{1}{\beta} \exp \left[ - \left( \frac{x - \mu}{\beta} \right) \right] \exp \left\{ - \exp \left[ - \left( \frac{x - \mu}{\beta} \right) \right] \right\} \quad (\text{C.3})$$



La Figure C.1 présente un exemple de la fonction de densité de probabilité de la distribution GEV pour les cas  $\xi < 0$  (distribution bornée),  $\xi = 0$  (distribution Gumbel) et  $\xi > 0$  (distribution non bornée ou à queue lourde – ‘heavy-tailed’).

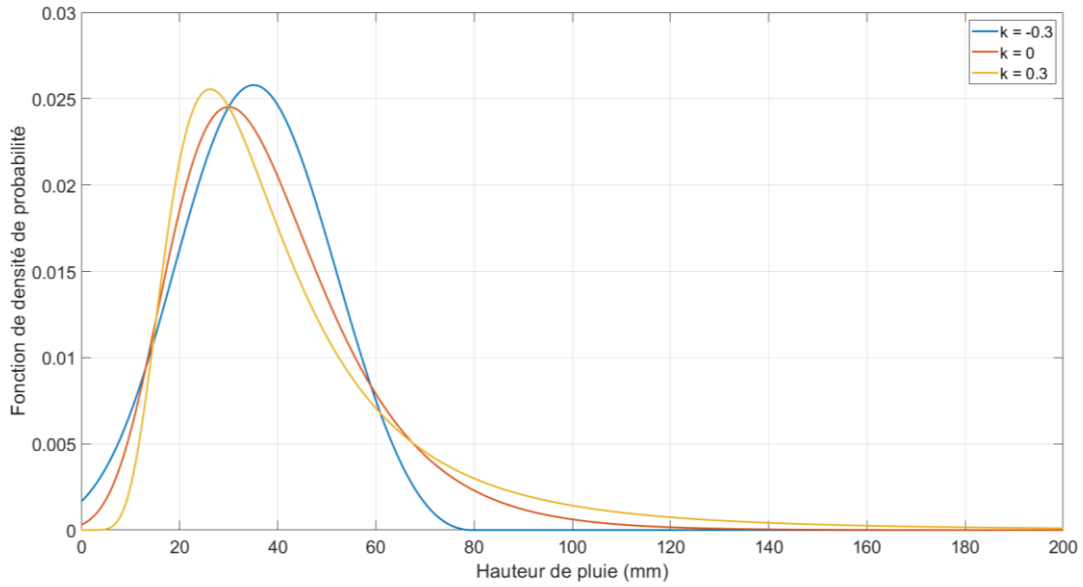


Figure U.1 – Exemple de fonction de densité de probabilité de la distribution GEV pour les cas  $\xi < 0$  (distribution bornée; ligne bleu),  $\xi = 0$  (distribution Gumbel; ligne rouge) et  $\xi > 0$  (distribution non bornée ou à queue lourde - ‘heavy-tailed’; ligne jaune).

## Annexe V – Simulations du *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)*

Tableau V.1 Liste des principales caractéristiques et références des simulations CORDEX utilisées dans le cadre de cette étude.

Identifiant	Modèle régional du climat (référence) <sup>2</sup>	Modèle global/pilote (référence) <sup>2</sup>	Période simulée	RCP	Résolution spatiale <sup>1</sup>
A	CCCma-CanRCM4 (Scinocca <i>et al.</i> 2016)	CCCma-CanESM2m1 (Arora <i>et al.</i> 2011)	1950-2100	4.5 et 8.5	0.22° (~ 24 km)
B	DMI-HIRHAM5 (Christensen <i>et al.</i> 2007)	ICHEC-EC-EARTH (Hazeleger <i>et al.</i> 2012)	1951-2100	4.5 et 8.5	0.44° (~ 49 km)
C	IowaState-RegCM4 (Giorgi <i>et al.</i> 2012)	GFDL-ESM2M (Dunne <i>et al.</i> 2012)	1950-2100	8.5	0.22° (~ 24 km)
D		HadGEM2-ES (Collins <i>et al.</i> 2011)	1950-2100	8.5	0.22° (~ 24 km)
E	NCAR-RegCM (Giorgi <i>et al.</i> 2012)	MPI-M-MPI-ESM-LR (Giorgetta <i>et al.</i> 2013)	1949-2100	8.5	0.22° (~ 24 km)
F	OURANOS-CRCM5v3331 (Martynov <i>et al.</i> 2013)	CCCma-CanESM2m1 (Arora <i>et al.</i> 2011)	1950-2100	4.5 et 8.5	0.22° (~ 24 km)
G	SMHI-RCA4 (Samuelsson <i>et al.</i> 2011)	CCCma-CanESM2m1 (Arora <i>et al.</i> 2011)	1951-2100	4.5 et 8.5	0.44° (~ 49 km)
H		ICHEC-EC-EARTH (Hazeleger <i>et al.</i> 2012)	1951-2100	4.5 et 8.5	0.44° (~ 49 km)
I	UArizona-WRF (Skamarock <i>et al.</i> 2008)	GFDL-ESM2M (Dunne <i>et al.</i> 2012)	1950-2100	8.5	0.22° (~ 24 km)
J	UQAM-CRCM5v333 (Martynov <i>et al.</i> 2013)	CCCma-CanESM2m1 (Arora <i>et al.</i> 2011)	1950-2100	4.5 et 8.5	0.44° (~ 49 km)
K		MPI-M-MPI-ESM-LR (Giorgetta <i>et al.</i> 2013)	1949-2100	4.5 et 8.5	0.44° (~ 49 km)

1. Les résolutions en km sont celles à la latitude de la Ville de Montréal soit environ 45° nord.

2. La liste des références se trouve dans la liste bibliographique du Chapitre 9



## Bibliographie

Aksoy, H., Kurt, I., Eris, E. (2009). Filtered smoothed minima baseflow method. *J. Hydrol.*, 372(1-4), 94-101. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.03.037.

Aksoy, H., Unal, N., E., Pektas, A., O. (2008). Smoothed minima baseflow separation tool for perennial and intermittent streams. *Hydrol. Process.*, 22(22), 4467-4476. DOI: 10.1002/hyp.7077.

Arora V.K., Scinoca J.F., Boer G.J., Christian J.R., Denman K.L., Flato M.G., Kharin V.V., Lee W.G., Merryfield W.J. (2011). Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Geophys. Res. Lett.* 38:L05805. DOI: 10.1029/2010GL046270.

ASCE et WPCF (1969). Design and construction of sanitary and storm sewers. American society of civil engineers, Water pollution control federation, ASCE-Manuals and reports on engineering practice – No. 37, WPCF Manual of practice No. 9, 345 East 47TH St. 1979 New York, N.Y. 10017, 332 p.

Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J. (1984). Classification and Regression Trees. Chapman & Hall, Boca Raton, FL, 368 p.

Christensen O.B., Drews M., Christensen J.H., Dethloff K., Ketelsen K., Hebestadt I., Rinke A. (2007) The HIRHAM regional climate model version 5 (b). Technical report 06–17. Copenhagen.

Collins W.J., Bellouin N., Doutriaux-Boucher M., Gedney N., Halloran P., Hinton T., Hughes J., Jones C.D., Joshi M., Liddicoat S., Martin G., O'Connor F., Rae J., Senior C., Sitch S., Totterdell I., Wiltshire A., Woodward S. (2011). Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. *Geosci. Model Dev.*, 4:1051–1075. DOI: 10.5194/gmd-4-1051-2011.

Cuevas, J.G., Calvo, M., Little, C., Pino, M., Dassori, P. (2010). Are diurnal fluctuations in streamflow real? *J. Hydrol. Hydromech.*, 58(3), 149-162, DOI: 10.2478/v10098-010-0014-0.

Dunne J.P., John J.G., Adcroft A.J., Griffies S.M., Hallberg R.W., Shevliakova E., Stouffer R.J., Cooke W., Dunne K.A., Harrison M.J., Krasting J.P., Malyshev S.L., Milly P.C.D., Phillipps P.J., Sentman L.T., Samuels B.L., Spelman M.J., Winton M., Wittenberg A.T., Zadeh N. (2012). GFDL's ESM2 global coupled climate–carbon earth system models Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics. *J. Clim.* 25(19):6646–6665. DOI: 10.1175/jcli-d-11-00560.1.

Dunne, T., Leopold, L.B. (1978). Water in environmental planning. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 818 p.

Espey, W.H.Jr., Morgan, C.W., Masch, F.D. (1966). A study of some effects of urbanization on storm runoff from a small watershed. Texas water development board, Report 23, Texas University, 110 p.

FAA (1970). Airport drainage. AC 150/5320-5B, Department of transportation, United-States federal aviation administration, Washington, D.C., 80 p.

Folmar N.D., Miller A.C. (2008). Development of an empirical lag time equation. *J. Irrig. Drain, E-ASCE*, 134(4), 501-506. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:4(501).

Gagné G., Beaudin I., Leblanc M., Drouin A., Veilleux G., Sylvain J.D., Michaud A.R. (2013). Classement des séries de sols minéraux du Québec selon les groupes hydrologiques. Rapport final, IRDA, Québec, Canada, 81 p.

Giorgetta, M. A. et al. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5:572–597. DOI:10.1002/jame.20038.

Giorgi F., Coppola E., Solmon F., Mariotti L., Sylla M.B., Bi X., Elguindi N., Diro G.T., Nair V., Giuliani G., Turuncoglu U.U., Cozzini S., Guttler I., O'Brien T.A., Tawfik A.B., Shalaby A., Zakey A.S., Steiner A.L., Stordal F., Sloan L.C., Brankovic C. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains, *Climate Reseach*, 52(1): 7-29. DOI: 10.3354/cr01018.

Hatkanir, T., Sezen, N. (1990). Suitability of two-parameter gamma and three parameter beta distributions as synthetic unit hydrographs in Anatolia. *Hydrological Sciences Journal*, 35(2), 167-184, Doi: 10.1080/02626669009492416.

Hazeleger W., Wang X., Severijns C., Ştefănescu S., Bintanja R., Sterl A., Wyser K., Semmler T., Yang S., van den Hurk B., van Noije T., van der Linden E., van der Wiel K. (2012). EC-Earth V2.2: description and validation of a new seamless Earth system prediction model. *Clim Dynam.*, 39:2629. DOI:10.1007/s00382-011-1228-5.

Institute of hydrology (1980). Low flow studies, Report No 1. Research report, Crowmarsh Gifford, Wallingford, Oxon, 42 p.

Institute of Hydrology. (1976). "Water balance of the headwater catchments of the Wye and Severen 1970-1975." Rep. No. 33, Institute of Hydrology, Oxfordshire, UK.

Kirpich Z.P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Eng.*, 10(6), 362.

Koskelo, A., I., Fisher, T., R., Utz, R., M., Jordan, T., E. (2012). A new precipitation-based method of baseflow separation and event identification for small watersheds (<50 km<sup>2</sup>). *J. Hydrol.*, 450-451(11), 267-278. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.055.

Law, F. (1956). The effect of afforestation upon the yield of water catchment areas. Technical. Rep., British association for advancement of sciences, Sheffield, England.

Mailhot, A., Bolduc, S., Talbot, G. (2018). Révision des critères de conception des ponceaux pour des bassins de drainage de 25 km<sup>2</sup> et moins dans un contexte de changements climatiques (CC06.1). Rapport Final, Institut National de la Recherche Scientifique INRS-Eau, Terre et Environnement, Québec, mars 2018, 193 p. Lien : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1220191.pdf>.

Mailhot, A., Bolduc, S., Pelletier, M., Talbot, G. (2016a). Révision des critères de conception des ponceaux pour des bassins de drainage de 25 km<sup>2</sup> et moins dans un contexte de changements climatiques (CC06.1). Rapport d'étape 1 No. R1649, Institut National de la Recherche Scientifique, Centre Eau, Terre et Environnement, Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports, 154 p.

Mailhot, A., Bolduc, S., Talbot, G., Abdul-Hadi, F., Blais, P. (2016b). Révision des critères de conception des ponceaux pour des bassins de drainage de 25 km<sup>2</sup> et moins dans un contexte de changements climatiques (CC06.1). Rapport d'étape 2, Institut National de la Recherche Scientifique, Centre Eau, Terre et Environnement, Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports, 84 p.

Martynov A., Laprise R., Sushama L., Winger K., Šeparović L., Dugas B. (2013). Reanalysis-driven climate simulation over CORDEX North America domain using the Canadian regional climate model. version 5: model performance evaluation. *Clim Dynam.*, 41(11–12):2973–3005. DOI: 10.1007/s00382-013-1778-9.

McDonnell, J. J. (1990). A rationale for old water discharge through macropores in a steep, humid catchment. *Water Resour. Res.*, 26(11), 2821-2832.

Michaud, A.R., Rocha Medrano, N.-R., Lagacé, R., Drouin, A. (2014). Développement et validation de méthodes de prédiction du ruissellement et des débits de pointe en support à l'aménagement hydro-agricole. Rapport final. Projet réalisé dans le cadre du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA) en collaboration avec le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Québec, Canada, 142 pp.

Mimikou, M. (1984). Regional relationships between basin size and runoff characteristics. *Hydrological Sciences Journal*, 29(1), 63-73, Doi: 10.1080/02626668409490922.

Mulholland, P. J., Wilson, G. V., Jardine, P. M. (1990). Hydrogeochemical response of forested watershed to storms: Effect of preferential flow along shallow and deep pathways. *Water Resour. Res.*, 26(2), 3021-3036.

Nathan, R.J., McMahon, T.A. (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Wat. Resour. Res.*, 26(7), 1465-1473. DOI: 10.1029/WR026i007p01465.

NERC (Natural Environmental Research Council), 1975. Flood studies report. London: Natural Environment Research Council, Volume 1 et 4.

Piggottt, A.R., Moin, S., Southam, C. (2005). A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow. *Hydrolog. Sci. J.*, 50(5), 911-920, DOI: 10.1623/hysj.2005.50.5.911.

Quiton, W.L., Roulet, N.T. (1998). Spring and summer runoff hydrology of a subarctic patterned wetland. *Arctic Alpine Res.*, 30(3), 285-294, DOI: 10.2307/1551976.

Roche, P.-A., Miquel, J., Gaume, E. (2012). Hydrologie quantitative : Processus, modèles et aide à la décision. Springer-Verlag, France, 590 p.

Samuelsson P., Jones C.G., Willen U., Ullerstig A., Gollvik S., Hansson U., Jansson C., Kjellstrom E., Nikulin G., Wyser K. (2011). The Rossby Centre regional model RCA3: model description and performance. *Tellus A.*, 63(1) :4–23. DOI: 10.1111/j.1600-0870.2010.00478.x.

Santhi, C., Allen, P.M., Muttiah, R.S., Arnold, J.G., Tuppad, P. (2008). Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *J. Hydrol.*, 351(1-2), 139-153, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.12.018.

Schwab, G. O., Frevert, R. K. (1985). Elementary soil and water engineering. 3<sup>rd</sup> Edition, Johnm Wiley & Sons, Inc., Toronto, 356 p.

Schwab, G. O. (1957). Elementary soil and water engineering. John Wiley & Sons, New York, 292 p.

Sengörür, B., Dede, C., Dogan, E. (2014). The examination of the performances of methods used in separating the total stream flow in different rivers. *Geofizika*, 31, 12 p. DOI: 10.15233/gfz.2014.31.3.

Sheridan J.M. (1994). Hydrograph time parameters for flatland watershed. *Transactions of the ASCE*, 37(1), 103-113.

Scinocca J.F., Kharin V.V., Jiao Y., Qian M.W., Lazare M., Solheim L., Dugas B. (2016). Coordinated global and regional climate modelling. *J Clim.*, 29:17–35. DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0161.1.

Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.Y., Wang W., Powers J.G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR/TN-475+STR. pp. 113.

Transports Québec (2017). Manuel de conception des ponceaux. Ministère des transports du Québec, Division des structures, 541 pp.

USDA-NRCS (2009). Hydrologic Soil Groups: Chapter 7. Part 630 Hydrology, National Engineering Handbook, [En ligne] Consulté en novembre 2020 : <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17757.wba>.

USDA-NRCS (1986). Urban hydrology for small watersheds. TR-55, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, [En ligne] Consulté en novembre 2020 : [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf).

Watt, W.E., Chow, K.C.A. (1985). A general expression for basin lag time. *Can. J. Civ. Eng.*, 12(2), 294-300, Doi: 10.1139/l85-031.

Wicht, C.L. (1941). Diurnal fluctuations in Jonkershoek streams due to evaporation and transpiration. *Journal of the South African forestry association*, 7(1), 34-49, DOI: 10.1080/03759873.1941.9631119.

Williams, G. B. (1922). Flood discharge and the dimensions of spillways in India. *The Engineer*, Sept. 29, 321-322.

Wu, I.-P. (1963a). Design hydrographs for small watershed in Indiana. *J. Hydr. Eng. Div.-ASCE*, 89(6), 35-66.