Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs
Québec

**Direction principale des renseignements, de l'accès à l'information,
de l'éthique et des plaintes**

PAR COURRIEL

Québec, le 3 avril 2025

Objet : Demande d'accès n° 2025-03-082 – Lettre de réponse

Monsieur,

La présente fait suite à votre demande d'accès, reçue le 19 mars dernier, concernant les « Planches » qui sont mentionnées dans ce document du Ministère, disponible en ligne: https://www.demandesinfos.environnement.gouv.qc.ca/dossiers/eau/8756_fiche.pdf « Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables (CMP) au Québec ».

Les documents suivants sont accessibles. Il s'agit de :

1. planche 1 - PMP été-automne, 1 page;
2. planche 2 - PMP printemps, 1 page;
3. planche 3 - P100, 1 page;
4. planche 4 – EMP, 1 page;
5. planche 5 - E100, 1 page;
6. Rapport final-Estimation_CMP, 153 pages.

Conformément à l'article 51 de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels (RLRQ, chapitre A-2.1), nous vous informons que vous pouvez demander la révision de cette décision auprès de la Commission d'accès à l'information. Vous trouverez, en pièce jointe, une note explicative concernant l'exercice de ce recours.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, vous pouvez communiquer avec Mme Maissa Ndiaye, analyste responsable de votre dossier, à l'adresse courriel Maissa.Ndiaye@environnement.gouv.qc.ca, en mentionnant le numéro de votre dossier en objet.

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Édifice Marie-Guyart, 29e étage
675, boul. René-Lévesque Est, boîte 13
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3858
Courriel : acces@environnement.gouv.qc.ca
Site Web : www.environnement.gouv.qc.ca

Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs
Québec

**Direction principale des renseignements, de l'accès à l'information,
de l'éthique et des plaintes**

Pour le directeur,

ORIGINAL SIGNÉ PAR

Martin Dorion

p. j. 7

Édifice Marie-Guyart, 29e étage
675, boul. René-Lévesque Est, boîte 13
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3858
Courriel : acces@environnement.gouv.qc.ca
Site Web : www.environnement.gouv.qc.ca

PROJET

Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables

Analyse fréquentielle locale et régionale

Cartographie des crues au Québec

LÉGENDE CARTOGRAPHIQUE

- Ville
- Isoligne de la hauteur de pluie 24 heures - 25 km² (mm)

Hauteur de pluie 24 heures - 25 km² (mm)

270 - 280	330 - 340
280 - 290	340 - 350
290 - 300	350 - 360
300 - 310	360 - 370
310 - 320	370 - 380
320 - 330	

Client

Québec
Centre d'expertise hydrique du Québec

Consultant

SNC-LAVALIN Énergie

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

Cartographie par: Jean-François Desjardins

Approuvé par: Christian Guillaud

Date: 16 janvier 2004

Source:

GéoBase hydrologie niveau 0 (VMAP 0), DCW (Digital Chart of the World)

Projection: Lambert Conforme Conique
Sphéroïde: GRS80
Méridien Central: 72° Ouest
Latitude de référence: 50° Nord
Parallèle Standard 1: 40°
Parallèle Standard 2: 60°

Échelle:

1 : 3 600 000

50 0 50 100 150 (km)

Origine des tempêtes:

A - ATLANTIQUE
G - GRANDS-LACS / MISSISSIPPI
P - PRAIRIES

PLANCHE 1

Pluie maximale probable d'été - automne 24 heures - 25 km²

PROJET

Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables

Analyse fréquentielle locale et régionale

Cartographie des crues au Québec

LÉGENDE CARTOGRAPHIQUE

- Ville
- Isoligne de la hauteur de pluie 24 heures - 25 km² (mm)

Hauteur de pluie 24 heures - 25 km² (mm)

150 - 160	240 - 250
160 - 170	250 - 260
170 - 180	260 - 270
180 - 190	270 - 280
190 - 200	280 - 290
200 - 210	290 - 300
210 - 220	300 - 310
220 - 230	310 - 320
230 - 240	320 - 330

Client

Québec
Centre d'expertise hydrique du Québec

Consultant

SNC-LAVALIN Énergie

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

Cartographie par: Jean-François Desjardins

Approuvé par: Christian Guillaud

Date: 16 janvier 2004

Source:

GéoBase hydrologie niveau 0 (VMAP 0), DCW (Digital Chart of the World)

Projection: Lambert Conforme Conique
Sphéroïde: GRS80
Méridien Central: 72° Ouest
Latitude de référence: 50° Nord
Parallèle Standard 1: 40°
Parallèle Standard 2: 60°

Échelle:

1 : 3 600 000

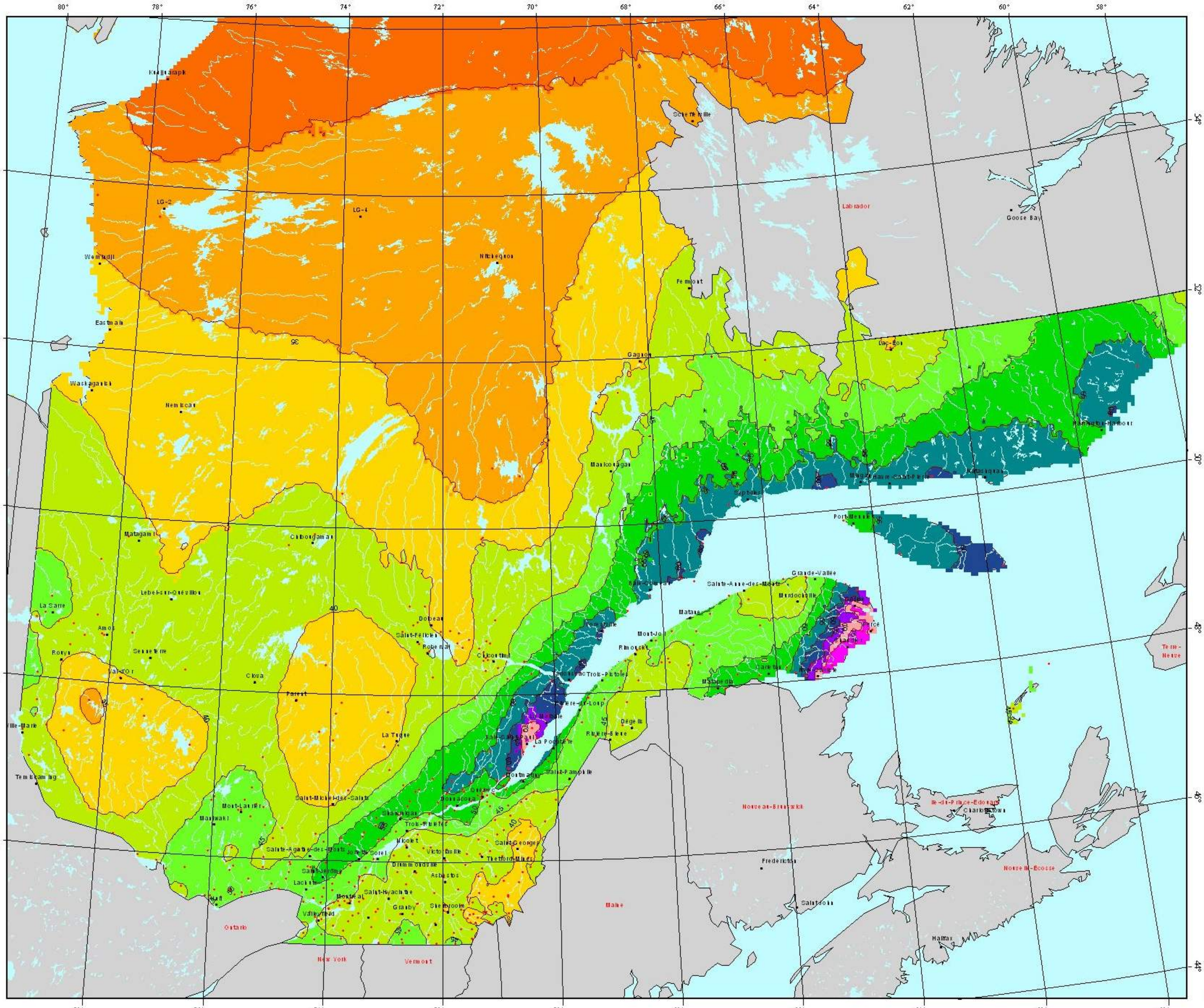
50 0 50 100 150 (km)

PLANCHE 2

Pluie maximale probable de printemps 24 heures - 25 km²

Origine des tempêtes:

A - ATLANTIQUE
G - GRANDS-LACS / MISSISSIPPI
P - PRAIRIES



PROJET

Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables

Analyse fréquentielle locale et régionale

Cartographie des crues au Québec

LÉGENDE CARTOGRAPHIQUE

- Station climatologique
- Ville
- Isoligne de la hauteur de pluie 24 heures (mm)

Hauteur de pluie 24 heures (mm)

- 25 - 30
- 30 - 35
- 35 - 40
- 40 - 45
- 45 - 50
- 50 - 55
- 55 - 60
- 60 - 65
- 65 - 70
- 70 - 75
- 75 - 80

Client

Québec
Centre d'expertise hydrique du Québec

Consultant

SNC-LAVALIN Énergie

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Natural Resources Canada
Canadian Forest Service

Cartographie par: Jean-François Desjardins

Approuvé par: Christian Guillaud

Date: 16 janvier 2004

Source:

GéoBase hydrologie niveau 0 (VMAP 0), DCW (Digital Chart of the World)

Projection: Lambert Conforme Conique
Sphéroïde: GRS 80
Méridien Central: 72° Ouest
Latitude de référence: 50° Nord
Parallèle Standard 1: 40°
Parallèle Standard 2: 60°

Échelle:

1 : 3 600 000

150 0 50 100 150 (km)

PLANCHE 3

Pluie printanière d'une récurrence de 100 ans

PROJET

Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables

Analyse fréquentielle locale et régionale

Cartographie des crues au Québec

LÉGENDE CARTOGRAPHIQUE

- Station météorologique
- Ville
- Isoligne d'équivalent en eau (mm)

Équivalent en eau (mm)

- 300 - 400
- 400 - 500
- 500 - 600
- 600 - 700
- 700 - 800
- 800 - 900
- 900 - 1000
- 1000 - 1100
- 1100 - 1200
- 1200 - 1300
- 1300 +

Client

Québec
Centre d'expertise hydrique du Québec

Consultant

SNC-LAVALIN Énergie

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada
Service canadien des forêts / Canadian Forest Service

Cartographie par: Jean-François Desjardins

Approuvé par: Christian Guillaud

Date: 16 janvier 2004

Source:

GéoBase hydrologie niveau 0 (VMAP 0), DCW (Digital Chart of the World)

Projection: Lambert Conforme Conique
Sphéroïde: GRS 80
Méridien Central: 72° Ouest
Latitude de référence: 50° Nord
Parallèle Standard 1: 40°
Parallèle Standard 2: 60°

Échelle:

1 : 3 600 000

50 0 50 100 150 (km)

Note

L'enneigement maximal probable est converti en équivalent en eau en supposant une densité de neige de 0,1 g/cm³

PLANCHE 4

Équivalent en eau de l'enneigement maximal probable

PROJET

Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables

Analyse fréquentielle locale et régionale

Cartographie des crues au Québec

LÉGENDE CARTOGRAPHIQUE

- Station nivométrique
- Ville
- Isoligne d'équivalent en eau (mm)

Équivalent en eau (mm)

- 0 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 - 350
- 350 - 400
- 400 - 450
- 450 - 500
- 500 - 550
- 550 - 600
- 600 - 650
- 650 - 700

Client

Québec
Centre d'expertise hydrique du Québec

Consultant

SNC-LAVALIN Énergie

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada
Service canadien des forêts / Canadian Forest Service

Cartographie par: Jean-François Desjardins

Approuvé par: Christian Guillaud

Date: 16 janvier 2004

Source:

GéoBase hydrologie niveau 0 (VMAP 0), DCW (Digital Chart of the World)

Projection: Lambert Conforme Conique
Sphéroïde: GRS 80
Méridien Central: 72° Ouest
Latitude de référence: 50° Nord
Parallèle Standard 1: 40°
Parallèle Standard 2: 60°

Échelle:

1 : 3 600 000

50 0 50 100 150 (km)

PLANCHE 5

Équivalent en eau du couvert nival d'une récurrence de 100 ans

Québec

Centre d'expertise hydrique du Québec

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables (CMP) au Québec

RAPPORT FINAL

Janvier 2004

SNC·LAVALIN

Division Énergie

014713-3000-40RT-001-00

ESTIMATION DES CONDITIONS HYDROMÉTÉOROLOGIQUES CONDUISANT AUX CRUES MAXIMALES PROBABLES (CMP) AU QUÉBEC

RAPPORT FINAL

TABLE DES MATIÈRES

		PAGE
LISTE DES ANNEXES		**V**
LISTE DES PLANCHES		**V**
LISTE DES TABLEAUX		**VI**
LISTE DES FIGURES		**VII**
1	**INTRODUCTION**	**1-1**
1.1	**Contexte de l'étude**	**1-1**
1.2	**Loi sur la sécurité des barrages**	**1-1**
1.3	**Méthodes de calcul des crues extrêmes**	**1-2**
1.4	**Objectifs de l'étude**	**1-3**
1.5	**Conditions hydrométéorologiques conduisant aux CMP**	**1-3**
1.6	**Guide méthodologique**	**1-5**
1.7	**Exemples de calcul de CMP**	**1-5**
2	**PLUIES MAXIMALES PROBABLES**	**2-1**
2.1	**Estimation des PMP de printemps et d'été-automne**	**2-1**
2.1.1	Division du territoire en régions	2-1
2.1.2	Détermination des courbes hauteur-durée-superficie	2-2
2.1.3	Cartographie des PMP de base (24 heures, 25 km^2)	2-3
2.2	**Détermination de la PMP pour un bassin donné**	**2-3**
2.2.1	Forme et orientation de la PMP	2-4
2.2.2	Superficie de PMP requise	2-4
2.2.3	Durée de PMP requise	2-4
2.2.4	Conversion de la PMP 24 h – 25 km²	2-4
2.3	**Forme du hyétogramme de la PMP**	**2-5**

TABLE DES MATIÈRES (suite)

PAGE

3	**PLUIE PRINTANIÈRE D'UNE RÉCURRENCE DE 100 ANS (P100)**	**3-1**
3.1	**Estimation de la P100**	**3-1**
3.1.1	Sélection de la distribution la plus appropriée	3-1
3.1.2	Cartographie de la P100	3-1
3.2	**Détermination de la P100 pour un bassin donné**	**3-1**
3.2.1	Durée de la pluie centennale requise	3-2
3.2.2	Conversion de la pluie centennale de 24 heures	3-2
3.2.3	Forme du hyétogramme de la pluie centennale	3-2
4	**ENNEIGEMENT MAXIMAL PROBABLE (EMP)**	**4-1**
4.1	**Estimation de l'EMP**	**4-1**
4.1.1	Sélection des tempêtes à maximiser	4-1
4.1.2	Maximisation des tempêtes	4-1
4.1.3	Cartographie de l'EMP	4-2
4.2	**Détermination de l'EMP pour un bassin donné**	**4-2**
5	**ENNEIGEMENT D'UNE RÉCURRENCE DE 100 ANS (E100)**	**5-1**
5.1	**Estimation des E100**	**5-1**
5.1.1	Sélection de la distribution la plus appropriée	5-1
5.1.2	Cartographie de l'E100	5-1
5.2	**Détermination des E100 sur un bassin donné**	**5-2**
6	**SCÉNARIO CRITIQUE DES TEMPÉRATURES**	**6-1**
6.1	**Étapes du scénario critique de températures**	**6-1**
6.1.1	Fin de l'hiver froid	6-1
6.1.2	Période de maturation de la neige	6-2
6.1.3	Période de fonte	6-2
6.1.4	Période de dépression	6-2
6.2	**Élaboration du scénario critique de températures**	**6-3**
6.3	**Détermination du scénario critique de températures**	**6-3**
7	**GUIDE MÉTHODOLOGIQUE**	**7-1**
7.1	**Rassemblement des données**	**7-2**
7.1.1	Tracé du bassin	7-2
7.1.2	Conditions hydrométéorologiques	7-3
7.1.3	Station hydrométrique	7-4
7.1.4	Stations climatologiques	7-4
7.1.5	Autres paramètres météorologiques	7-5
7.2	**Choix de la période de calibration**	**7-5**
7.3	**Choix du modèle pluie – ruissellement**	**7-6**

TABLE DES MATIÈRES (suite)

		PAGE
7.4	**Calibration du modèle**	**7-6**
7.4.1	Vérification sommaire des premiers résultats	7-7
7.4.2	Principales étapes de la calibration	7-8
7.4.3	Qualité de la calibration	7-8
7.5	**Validation de la calibration**	**7-10**
7.6	**Préparation du modèle pour le calcul des CMP**	**7-10**
7.7	**Calcul de la CMP d'été-automne**	**7-11**
7.8	**Calcul de la CMP de printemps**	**7-12**
7.9	**Validation des résultats**	**7-14**
8	**CALCUL DES CMP DE LA RIVIÈRE NEIGETTE**	**8-1**
8.1	**Rassemblement des données**	**8-1**
8.1.1	Tracé du bassin	8-1
8.1.2	Conditions hydrométéorologiques	8-1
8.1.3	Station hydrométrique	8-5
8.1.4	Stations climatologiques	8-5
8.1.5	Autres paramètres météorologiques	8-5
8.2	**Choix de la période de calibration**	**8-6**
8.3	**Choix du modèle pluie – ruissellement**	**8-6**
8.4	**Calibration du modèle**	**8-6**
8.4.1	Vérification sommaire des premiers résultats	8-6
8.4.2	Principales étapes de la calibration	8-6
8.4.3	Qualité de la calibration	8-6
8.5	**Validation de la calibration**	**8-8**
8.6	**Préparation du modèle pour le calcul des CMP**	**8-8**
8.7	**Calcul de la CMP d'été-automne**	**8-8**
8.8	**Calcul de la CMP de printemps**	**8-9**
8.9	**Validation des résultats**	**8-9**
9	**CALCUL DES CMP DE LA PETITE RIVIÈRE PÉRIBONKA**	**9-1**
9.1	**Rassemblement des données**	**9-1**
9.1.1	Tracé du bassin	9-1
9.1.2	Conditions hydrométéorologiques	9-1
9.1.3	Station hydrométrique	9-5
9.1.4	Stations climatologiques	9-5
9.1.5	Autres paramètres météorologiques	9-5
9.2	**Choix de la période de calibration**	**9-6**
9.3	**Choix du modèle pluie – ruissellement**	**9-6**

TABLE DES MATIÈRES (suite)

		PAGE
9.4	**Calibration du modèle**	**9-6**
9.4.1	Vérification sommaire des premiers résultats	9-6
9.4.2	Principales étapes de la calibration	9-6
9.4.3	Qualité de la calibration	9-6
9.5	**Validation de la calibration**	**9-8**
9.6	**Préparation du modèle pour le calcul des CMP**	**9-8**
9.7	**Calcul de la CMP d'été-automne**	**9-8**
9.8	**Calcul de la CMP de printemps**	**9-9**
9.9	**Validation des résultats**	**9-9**
10	**CONCLUSIONS**	**10-1**
11	**RÉFÉRENCES**	**11-1**

LISTE DES ANNEXES

Annexe A Courbes enveloppe des PMP au « point 1 » selon les 4 régions de transposition des tempêtes

Annexe B Estimation du scénario critique des températures

Annexe C Calibration – modèle SSARR

Annexe D Résultats de calibration

Annexe E Paramètres des modèles hydrologiques

Annexe F Modélisation des scénarios de CMP

Annexe G Résultats de simulation des CMP

Annexe H Planches

LISTE DES PLANCHES

Planche 1 Pluie maximale probable d'été-automne

Planche 2 Pluie maximale probable de printemps

Planche 3 Pluie printanière d'une récurrence de 100 ans

Planche 4 Équivalent en eau de l'enneigement maximal probable

Planche 5 Équivalent en eau du couvert nival d'une récurrence de 100 ans

LISTE DES TABLEAUX

		PAGE
Tableau 1.1	Crue de sécurité	1-2
Tableau 2.1	Construction d'un hyétogramme de PMP d'été-automne	2-6
Tableau 2.2	Facteurs de conversion pour les PMP de la région A,G	2-7
Tableau 2.3	Facteurs de conversion pour les PMP de la région A,G,P	2-7
Tableau 2.4	Facteurs de conversion pour les PMP de la région G,P	2-8
Tableau 2.5	Facteurs de conversion pour les PMP de la région P	2-8
Tableau 3.1	Facteurs de conversion pour la pluie centennale	3-2
Tableau 6.1	Étapes du scénario critique des températures	6-1
Tableau 6.2	Scénario critique de températures	6-4
Tableau 8.1	Construction du hyétogramme de PMP d'été-automne – rivière Neigette	8-2
Tableau 8.2	Construction du hyétogramme de PMP de printemps – rivière Neigette	8-3
Tableau 8.3	Construction du hyétogramme de P100 – rivière Neigette	8-4
Tableau 8.4	Hyétogrammes des PMP et de la P100 – rivière Neigette	8-4
Tableau 8.5	Vérification sommaire des données – rivière Neigette	8-7
Tableau 8.6	Qualité de la calibration – rivière Neigette	8-7
Tableau 8.7	Résultats de simulation des CMP – rivière Neigette	8-9
Tableau 8.8	Comparaison des volumes de crue - rivière Neigette	8-10
Tableau 9.1	Construction du hyétogramme de PMP d'été-automne – Petite rivière Péribonka	9-2
Tableau 9.2	Construction du hyétogramme de PMP de printemps– Petite rivière Péribonka	9-3
Tableau 9.3	Construction du hyétogramme de pluie centennale – Petite rivière Péribonka	9-4
Tableau 9.4	Hyétogrammes des PMP et de la P100 – Petite rivière Péribonka	9-4
Tableau 9.5	Vérification sommaire des données – Petite rivière Péribonka	9-7
Tableau 9.6	Qualité de la calibration – Petite rivière Péribonka	9-7
Tableau 9.7	Résultats de simulation des CMP – Petite rivière Péribonka	9-10
Tableau 9.8	Comparaison des volumes de crue - Petite rivière Péribonka	9-10

LISTE DES FIGURES

		PAGE
Figure 2.1	Subdivision du territoire du Québec et origine des tempêtes	2-9
Figure 6.1	Scénario critique de températures moyennes journalières	6-1
Figure 7.1	Courbe hypsométrique	7-2
Figure 8.1	CMP de printemps (EMP + P100) – rivière Neigette	8-11
Figure 8.2	CMP de printemps (PMP + E100) – rivière Neigette	8-11
Figure 8.3	CMP d'été-automne – rivière Neigette	8-12
Figure 9.1	CMP de printemps (EMP + P100) – Petite rivière Péribonka	9-12
Figure 9.2	CMP de printemps (PMP + E100) – Petite rivière Péribonka	9-12
Figure 9.3	CMP d'été-automne – Petite rivière Péribonka	9-13

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

Le gouvernement du Québec a adopté en 2000 une loi sur la sécurité des barrages [la Loi] (Assemblée Nationale, 2000).

> "La présente loi a pour objet d'accroître la sécurité des barrages qui y sont soumis et, conséquemment, de protéger les personnes et les biens contre les risques associés à la présence de ces ouvrages." (Loi sur la sécurité des barrages, Chapitre S-3.1.01, 2000, c. 9, a. 1).

La Loi prévoit un régime applicable à tous les barrages d'au moins 1 mètre de hauteur et un régime spécifique applicable aux ouvrages à forte contenance. Sont considérés à forte contenance les ouvrages répondant aux critères suivants :

- barrages d'au moins 1 mètre de hauteur et ayant un volume de retenue égal ou supérieur à 1 000 000 m^3;
- barrages d'une hauteur de 2,5 mètres ou plus et ayant un volume d'eau retenue supérieur à 30 000 m^3;
- barrages dont la hauteur est égale ou supérieure à 7,5 mètres quelle que soit leur retenue.

Selon le ministère de l'Environnement, il y a au Québec quelques 2 150 barrages à forte contenance. Ces ouvrages sont soumis à des modalités concernant les autorisations, la classification des barrages, les normes de sécurité dans la conception des ouvrages, l'évaluation de la sécurité, le plan de gestion des eaux retenues, les activités de surveillance, le registre du barrage et le plan de mesures d'urgence. Plusieurs de ces activités dépendent de l'évaluation des crues extrêmes qui peuvent affecter le barrage, en particulier la crue maximale probable.

1.2 Loi sur la sécurité des barrages

La Loi introduit l'obligation pour les exploitants de barrages à forte contenance de réaliser périodiquement des études de réévaluation de la sécurité de chacun des barrages. Elle donne aussi au gouvernement le pouvoir d'établir des règlements établissant des normes de sécurité

pour ces barrages. Il y a ainsi un règlement fixant à la capacité d'évacuation des ouvrages, pour garantir qu'ils puissent passer des crues extrêmes de façon sécuritaire. Le tableau 1.1 donne la crue de sécurité en fonction du niveau de conséquences en cas de rupture du barrage.

Tableau 1.1
Crue de sécurité

Conséquences en cas de rupture du barrage	**Crue de sécurité**
Minimales ou faibles	≥ 100 ans
Moyennes ou importantes	≥ 1 000 ans
Très importantes	≥ 10 000 ans ou ½ CMP[1]
Considérables	CMP[1]

Note 1 : CMP = crue maximale probable

Plusieurs barrages existants n'ont pas été conçus pour résister à des événements extrêmes ou ne sont plus dans un état sécuritaire, notamment parce qu'ils sont désuets ou qu'ils ont été mal entretenus. L'étude de réévaluation déterminera les diverses options possibles pour que l'exploitant rende son ouvrage sécuritaire.

On remarquera que l'ampleur des conséquences en cas de rupture n'est pas nécessairement liée à la taille des ouvrages. Un petit ouvrage situé à l'amont d'une grande agglomération pourra avoir des conséquences plus importantes qu'un grand ouvrage situé loin de toute habitation.

Chaque propriétaire est donc tenu de définir la crue de sécurité correspondant à son barrage; or les coûts reliés à l'estimation de cette crue de sécurité peuvent être très élevés, particulièrement si cette crue correspond à la crue maximale probable (CMP). Les études de CMP sont complexes et nécessitent des moyens techniques et financiers qui ne sont pas toujours facilement accessibles ou abordables pour les exploitants et les propriétaires de barrages.

1.3 Méthodes de calcul des crues extrêmes

L'estimation de la CMP se fait selon une méthodologie en grande partie déterministe, tandis que les autres crues extrêmes (1 :100ans à 1 :10 000 ans) qui sont normalement évaluées par des méthodes statistiques.

Le Centre d'expertise hydrique du Québec a commandé deux études différentes relativement aux crues extrêmes au Québec :

1. Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant au calcul des CMP de printemps et d'été-automne

   Cette étude vise à estimer les précipitations maximales probables (PMP) qui engendreront la CMP d'été-automne de même que les pluies de printemps (PMP ou pluie de récurrence de 100 ans (P100)) et les stocks de neige (enneigement maximal probable (EMP) ou couvert de neige de récurrence de 100 ans (E100)) qui engendreront la CMP de printemps. Ce volet a été réalisé par la firme SNC-Lavalin.

2. Estimation des crues extrêmes

   L'estimation des crues extrêmes consiste en une analyse statistique des débits maximaux annuels enregistrés aux différentes stations hydrométriques ainsi qu'en plusieurs études régionales de crues pour couvrir l'ensemble du Québec habité. Ce volet a été réalisé par l'INRS-eau.

Le présent rapport traite uniquement de l'estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant au calcul des CMP.

1.4 Objectifs de l'étude

L'objectif de l'étude est d'évaluer les diverses composantes entrant dans l'estimation des CMP de printemps et d'été-automne pour toutes les régions du Québec situées au sud du 55e parallèle, et de définir une méthodologie simple pour calculer les CMP à partir de ces composantes.

1.5 Conditions hydrométéorologiques conduisant aux CMP

Les crues les plus fortes au Québec peuvent se produire soit au printemps, lors de la fonte des neiges, soit en été ou en automne, suite à des fortes précipitations.

Le volume des apports en eau de la CMP de printemps provient de l'accumulation de neige au sol au début de la période de fonte combinée à une forte pluie. Il existe deux scénarios distincts pour cette CMP :

- scénario 1 : précipitation maximale probable de printemps (PMP) combinée à la fonte du couvert de neige de récurrence de 100 ans (E100);

- scénario 2 : fonte d'un couvert de neige correspondant à l'enneigement maximal probable (EMP) combinée à une pluie de récurrence de 100 ans (P100).

Cinq calculs de précipitation doivent donc être effectués pour évaluer les deux scénarios printaniers de la CMP ainsi que la CMP d'été-automne :

- estimation de la pluie maximale probable d'été-automne (PMP-EA);
- estimation de la pluie maximale probable printanière (PMP-P);
- étude statistique des tempêtes de pluie printanières pour obtenir la précipitation de récurrence de 100 ans (P100-printemps);
- estimation de l'enneigement maximal probable (EMP);
- étude statistique des couverts de neige pour obtenir le couvert de neige de récurrence de 100 ans (E100).

Ces cinq conditions hydrométéorologiques ont fait l'objet de deux rapports sectoriels, soit :

- l'étude portant sur les pluies, dont les résultats sont cartographiés aux planches 1, 2 et 3 (SNC-Lavalin, août 2003), et
- l'étude portant sur l'enneigement, dont les résultats sont cartographiés aux planches 4 et 5 (SNC-Lavalin, mars 2003).

Ces deux rapports sectoriels peuvent être consultés pour plus de détails concernant l'estimation des conditions hydrométéorologiques.

Un résumé de la méthodologie d'estimation de chacune des cinq conditions hydrométéorologiques énumérées précédemment et leur utilisation sur un bassin en vue de la modélisation hydrologique permettant de calculer la crue maximale probable sur ce bassin sont exposés aux chapitres 2 à 5 :

- PMP d'été-automne et PMP printanière, chapitre 2,
- Pluie printanière d'une récurrence de 100 ans, chapitre 3,
- Équivalent en eau de l'enneigement maximal probable, chapitre 4,
- Équivalent en eau du couvert nival d'une récurrence de 100 ans, chapitre 5,

Une sixième condition hydrométéorologique est le scénario critique de températures permettant la fonte du couvert de neige. Cette condition est présentée au chapitre 6 du présent rapport.

1.6 Guide méthodologique

Un guide méthodologique permettant de calculer les hydrogrammes des CMP pour un bassin versant quelconque est présenté au chapitre 7. Ce guide présente toutes les étapes allant du rassemblement de données, incluant le calcul des six conditions hydrométéorologiques énumérées précédemment, à la calibration d'un modèle hydrologique, puis à la simulation des trois scénarios de CMP.

1.7 Exemples de calcul de CMP

Afin de montrer comment utiliser le guide méthodologique, les calculs effectués pour deux bassins versants situés de part et d'autre du fleuve Saint-Laurent sont présentés :

- Rivière Neigette, rive sud du fleuve Saint-Laurent, bassin versant de 492 km², et
- Petite rivière Péribonka au lac Saint-Jean, bassin versant de 1090 km².

Les chapitres 8 et 9 portent sur l'application du guide méthodologique à ces deux bassins.

2 PLUIES MAXIMALES PROBABLES

La pluie maximale probable (PMP) pour un bassin donné est la pluie maximale qui peut raisonnablement être envisagée sur ce bassin, dans les conditions climatologiques actuelles. Cette PMP est obtenue par la maximisation de plusieurs tempêtes observées, c'est à dire par l'estimation de la plus grande hauteur de pluie qui aurait pu être produite lors de ces tempêtes.

2.1 Estimation des PMP de printemps et d'été-automne

L'estimation de la pluie maximale probable (PMP) est basée sur la maximisation de chacune des tempêtes de pluie observées entre 1912 et 1981, publiées dans la série « Pluies de tempêtes au Canada » (Service de l'environnement atmosphérique du Canada) et sur la maximisation de quelques tempêtes importantes survenues après 1981, dont la pluie diluvienne qui a affecté le Saguenay entre le 18 et le 21 juillet 1996. La maximisation est l'action de rendre maximale une tempête, en supposant que la quantité d'eau précipitable[1] au cours de cette tempête aurait pu être égale à la quantité maximale d'eau précipitable évaluée pour cet endroit et pour la même période de l'année. La pluie maximale probable est l'enveloppe de toutes les tempêtes maximisées, ajustées et transposées à un endroit donné. (OMM, 1986)

Les précipitations peuvent être influencées par la topographie si cette dernière présente une obstruction importante à la circulation des masses d'air. Des tests ont été effectués pour évaluer si les zones de relief les plus accentués au Québec ont une influence significative sur la distribution des précipitations. Les résultats ont montré que l'influence du terrain est trop faible ou insuffisamment variée pour influencer significativement le patron de précipitation. Les précipitations sont donc considérées purement de convergence (non orographique). Ceci conduit à une estimation conservatrice de la PMP.

2.1.1 Division du territoire en régions

Chaque bassin versant du Québec est associé à un ou plusieurs types de tempêtes qui sont identifiées en fonction de leur provenance : l'Atlantique (A), Grands Lacs (G) ou des Prairies (P). Cette association est basée sur l'observation des trajectoires des tempêtes s'étant abattues sur le Québec. Les tempêtes provenant d'une origine donnée sont considérées comme étant transposables à toutes les régions où se sont déjà produites des tempêtes de cette origine. Les zones de transposabilité peuvent se chevaucher, comme cela est montré sur la figure 2.1.

[1] Si la vapeur d'eau contenue dans une colonne d'air était condensée en eau liquide et déposée à la base de la colonne, le liquide accumulé représenterait l'eau précipitable. En fait, aucun processus naturel ne pourrait faire précipiter toute la vapeur d'eau dans une colonne d'air. C'est pourquoi les termes « équivalent liquide en vapeur d'eau » ou « équivalent en eau liquide », sont parfois utilisés (OMM, 1986).

Quatre grandes zones de transposabilité sont identifiées :

- AG : zone associée à des tempêtes en provenance de l'Atlantique (A) ou des Grands Lacs (G). Cette zone couvre tout l'est du Québec;
- AGP : zone associée à des tempêtes en provenance de l'Atlantique (A), des Grands Lacs (G) ou des Prairies (P). Cette zone couvre le centre du Québec;
- GP : zone associée à des tempêtes en provenance des Grands Lacs (G) ou des Prairies (P). Cette zone couvre le sud-ouest du Québec;
- P : zone associée à des tempêtes en provenance des Prairies (P). Cette zone couvre le nord-ouest du Québec.

2.1.2 Détermination des courbes hauteur-durée-superficie

Les tempêtes retenues pour analyse ont été classées selon qu'elles s'étaient produites au printemps ou à l'été-automne, et selon leur provenance (Atlantique, Grands Lacs ou Prairies). Les courbes hauteur-durée-superficie (HDS) des PMP de printemps et d'été-automne pour chacune des trois provenances de tempêtes sont ensuite déterminées.

Cette détermination est effectuée en trois étapes :

1. Toutes les fortes tempêtes sont maximisées, puis transposées[2] horizontalement vers le « point 1 » au sud du Québec (point artificiel établi afin de comparer les tempêtes entre elles);
2. Les tempêtes dominantes pour chaque durée et chaque superficie couverte, selon leur zone de transposabilité et la saison qu'elles représentent, sont ensuite identifiées;
3. Les courbes HDS des PMP sont obtenues en prenant l'enveloppe de toutes les tempêtes maximisées et transposées pour chaque durée et chaque superficie.

L'annexe A montre les courbes enveloppes des PMP au « point 1 ».

[2] La transposition spatiale est un artifice par lequel on suppose que les caractéristiques d'une tempête donnée peuvent être reproduites dans une autre région, à l'intérieur d'une même zone climatique. La transposition spatiale implique l'utilisation d'un coefficient pour tenir compte du fait que les tempêtes transposées se sont produites dans une région pour laquelle la quantité maximale d'eau précipitable à une période donnée peut différer de la valeur calculée pour le bassin à l'étude.

2.1.3 Cartographie des PMP de base (24 heures, 25 km^2)

La PMP de printemps et la PMP d'été-automne ont été obtenues à chaque point au Québec en multipliant chacune des PMP de 24 heures couvrant une superficie de 25 km² (PMP 24 h – 25 km²) au « point 1 » calculées pour les quatre zones de transposition identifiées précédemment par des coefficients de transposition spatiale qui tiennent compte de la variation des valeurs d'eau précipitable pour la récurrence de 100 ans sur le territoire du Québec. Cette opération a été réalisée à l'aide d'un logiciel de cartographie par cellule matricielle (modèle ANUSPLIN, version 4.0). Les résultats des 4 zones (AG, AGP, GP et P) s'imbriquent pour donner la PMP d'été-automne 24 h – 25 km² cartographiée à la planche 1, et la PMP printanière 24 h – 25 km² cartographiée à la planche 2.

On remarque que les isolignes des PMP aux planches 1 et 2 montrent des discontinuités importantes aux limites entre les zones d'influence des origines de tempêtes. Dans la pratique, il n'existe pas de zones de séparation nette, par exemple, entre la zone d'influence des tempêtes provenant de l'Atlantique ou des tempêtes provenant des Grands Lacs; cette limite est basée essentiellement sur l'observation des tempêtes des diverses origines, et sur le jugement d'experts en météorologie sur la possibilité, dans le futur, qu'il se produise des tempêtes de même origine à ces endroits. Il est conseillé à l'utilisateur de faire preuve de jugement pour le cas où il faudrait déterminer une PMP pour une zone proche ou chevauchant une de ces frontières.

Il est à noter que, à l'intérieur d'une zone de transposition donnée, la forme des isolignes est très lisse et dépend uniquement de la variation des valeurs d'eau précipitable pour la récurrence de 100 ans sur le territoire du Québec.

Les tempêtes dominantes pour la PMP d'été-automne proviennent des Prairies. Les valeurs les plus faibles de la PMP d'été-automne se retrouvent sur la Côte-Nord et en Gaspésie alors que le sud-ouest du Québec montre les valeurs les plus fortes.

Les tempêtes dominantes pour la PMP printanière proviennent de l'Atlantique. Les valeurs les plus faibles de la PMP printanière se retrouvent dans la portion ouest du Québec (Abitibi-Témiscamingue, Baie-James) alors que la portion est du Québec (corridor du fleuve Saint-Laurent) montre les valeurs les plus fortes.

2.2 Détermination de la PMP pour un bassin donné

Afin d'estimer la valeur de la PMP de printemps ou d'été-automne pour un bassin versant donné, le bassin doit être tracé sur les planches 1 et 2 et la valeur lue au centre du bassin versant donne une bonne approximation de la valeur de la PMP d'été-automne (planche 1) et de printemps (planche 2) d'une durée de 24 heures et couvrant une superficie de 25 km².

2.2.1 Forme et orientation de la PMP

Pour un bassin donné, la précipitation maximale sera générée par une tempête dont la superficie correspond à la superficie du bassin étudié.

Dans la pratique, la forme et l'orientation des isohyètes pour une tempête donnée dépendent de plusieurs facteurs (période de l'année, position géographique, orientation des dépressions, etc.) et cette forme ne correspond pas nécessairement à la forme du bassin. Les calculs détaillés peuvent être réalisés avec le logiciel HMR52 (Boss, 1988).

Pour le présent calcul, il est recommandé de supposer que la forme de la tempête et la forme du bassin correspondent, ce qui simplifie les calculs, et donne des résultats légèrement conservateurs.

2.2.2 Superficie de PMP requise

Pour arrêter un choix conservateur, la superficie de la PMP est considérée égale à la superficie du bassin versant. Au Québec, la superficie maximale que peut couvrir une PMP est de l'ordre de 100 000 km².

2.2.3 Durée de PMP requise

Pour un bassin donné, la durée la plus critique de la pluie sera celle qui correspond au temps de concentration du bassin[3]. Il est donc recommandé de prendre la PMP de 72 heures, puisque la PMP d'une durée inférieure sera incluse dans le hyétogramme de la PMP de 72 heures.

2.2.4 Conversion de la PMP 24 h – 25 km²

À partir des valeurs de la PMP d'une durée de 24 heures et couvrant une superficie de 25 km² cartographiées aux planches 1 et 2, on obtient la PMP pour un bassin versant donné en appliquant des facteurs de conversion qui permettent de passer d'une durée à une autre et/ou d'une superficie à une autre. Ces facteurs ont été calculés à partir du ratio des différentes hauteurs de pluie pour différentes durées et superficies sur la valeur 24 heures - 25 km^2. Ces facteurs sont présentés dans les tableaux 2.2 à 2.5. Il s'agit d'interpoler les différents facteurs pour obtenir les facteurs correspondant à la superficie exacte de la PMP requise (soit la superficie du bassin versant pour un calcul conservateur).

[3] Le temps de concentration est défini comme le temps nécessaire pour atteindre un écoulement uniforme à la sortie du bassin suite à une pluie d'intensité constante et de durée infinie.

2.3 Forme du hyétogramme de la PMP

Le hyétogramme de la PMP d'une superficie donnée (superficie du bassin versant) est construit en distribuant les hauteurs de pluie correspondant à chaque durée de pluie, sur une période égale à la durée de la PMP requise (72 heures).

Selon le HMR-52 *(National Weather Service, Hydrometeorological Report no. 52),* la distribution des hauteurs de pluie devrait être faite en respectant les consignes suivantes :

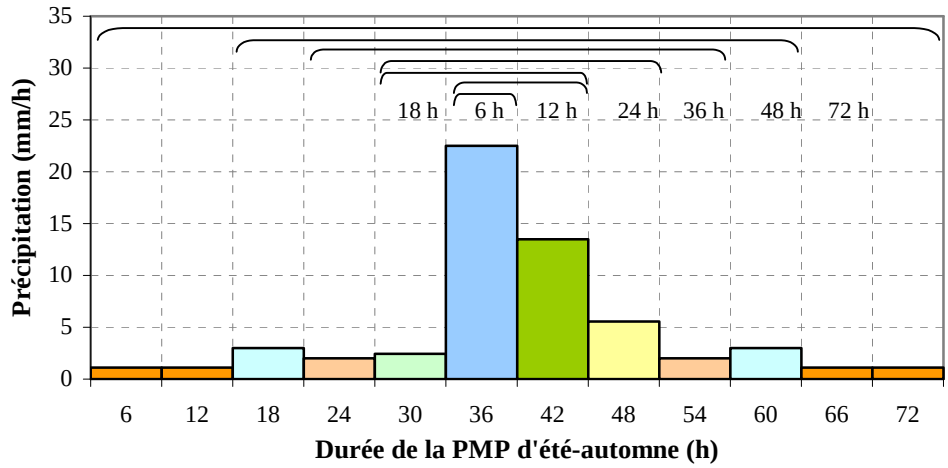
- Placer les plus grandes valeurs au centre de la séquence ;
- Distribuer les incréments de hauteurs de pluie pour chaque pas de temps de 6 heures de façon à ce que les valeurs décroissent progressivement de chaque côté de la plus grande valeur.

Par exemple, pour un bassin de la Côte-Nord (région A, G) ayant une superficie de 1 000 km², la planche 1 donne une valeur de 300 mm pour la PMP d'été-automne de 24 h – 25 km². Les facteurs de conversion qui permettent de calculer la hauteur de pluie de la PMP d'été-automne pour différentes durées de précipitation au bassin sont obtenus au tableau 2.2, dans la colonne « 1 000 km² ». Le tableau 2.1 suivant montre le calcul d'un hyétogramme de 72 heures. La pluie cumulative pour une durée de pluie donnée est obtenue en multipliant la PMP de 24 h – 25 km² par le facteur de conversion correspondant. Il s'agit ensuite de répartir la quantité de pluie par pas de temps de 6 heures, puis de distribuer ces hauteurs de pluie tel que décrit précédemment.

Pour ce bassin de la Côte-Nord, la hauteur de pluie totale au cours de la PMP d'été-automne, pour une durée de 72 heures, est de 351 mm.

Tableau 2.1
Construction d'un hyétogramme de PMP d'été-automne

durée totale	facteur de conversion tableau 2.2	pluie cumulative (mm)	incrément de pluie (mm)	intensité de la pluie (mm/h)	durée (h)
6 h	0,45	135	135	23	6 h
12 h	0,72	216	81	13,5	6 h
18 h	0,77	231	15	2,4	6 h
24 h	0,88	264	33	5,6	6 h
36 h	0,96	288	24	2,0	12 h
48 h	1,08	324	36	3,0	12 h
72 h	1,17	351	27	1,1	24 h



Note : L'incrément de précipitation pour la durée de pluie de 24 h à 36 h correspond à une intensité de précipitation moyenne de 2 mm/h, alors que pour la durée de pluie de 36 h à 48 h, l'intensité moyenne est de 3 mm/h. Cette augmentation de l'intensité entre la 36e heure et la 48e heure de la PMP est observée sur les courbes hauteur-durée-superficie de la PMP dont les facteurs du tableau 2.2 sont tirés. Ces courbes HDS n'ont pas une forme régulière; par conséquent, les pieds du hyétogramme de part et d'autre de la pointe centrale présentent aussi cette irrégularité.

Tableau 2.2
Facteurs de conversion pour les PMP de la région A,G

Durée	Superficie								
	25.9 km²	250 km²	1000 km²	2000 km²	5000 km²	10 000 km²	25 000 km²	50 000 km²	100 000 km²
	Printemps								
6 h	0,67	0,65	0,61	0,58	0,53	0,49	0,42	0,34	0,26
12 h	0,91	0,81	0,74	0,71	0,66	0,61	0,51	0,42	0,35
18 h	0,97	0,88	0,82	0,79	0,75	0,70	0,58	0,48	0,39
24 h	**1,00**	0,93	0,89	0,86	0,81	0,76	0,64	0,53	0,42
36 h	1,04	0,98	0,94	0,91	0,85	0,79	0,67	0,56	0,45
48 h	1,08	1,02	0,96	0,93	0,87	0,81	0,68	0,58	0,46
72 h	1,09	1,03	0,98	0,95	0,88	0,82	0,70	0,59	0,47
	Été-automne								
6 h	0,50	0,47	0,45	0,44	0,41	0,38	0,32	0,26	0,18
12 h	0,78	0,76	0,72	0,68	0,61	0,54	0,44	0,35	0,24
18 h	0,85	0,82	0,77	0,75	0,70	0,66	0,58	0,51	0,37
24 h	**1,00**	0,93	0,88	0,85	0,79	0,73	0,65	0,57	0,42
36 h	1,10	1,03	0,96	0,93	0,88	0,80	0,70	0,60	0,47
48 h	1,18	1,13	1,08	1,05	0,98	0,91	0,79	0,66	0,54
72 h	1,25	1,23	1,17	1,12	1,02	0,94	0,81	0,68	0,57

Tableau 2.3
Facteurs de conversion pour les PMP de la région A,G,P

Durée	Superficie								
	25.9 km²	250 km²	1000 km²	2000 km²	5000 km²	10 000 km²	25 000 km²	50 000 km²	100 000 km²
	Printemps								
6 h	0,67	0,65	0,62	0,58	0,53	0,49	0,42	0,34	0,26
12 h	0,91	0,81	0,74	0,71	0,66	0,61	0,51	0,42	0,35
18 h	0,97	0,88	0,82	0,79	0,75	0,70	0,58	0,48	0,39
24 h	**1,00**	0,93	0,89	0,86	0,81	0,76	0,64	0,53	0,42
36 h	1,04	0,98	0,94	0,91	0,85	0,79	0,67	0,56	0,45
48 h	1,08	1,02	0,96	0,93	0,87	0,81	0,68	0,58	0,46
72 h	1,09	1,03	0,98	0,95	0,88	0,82	0,70	0,59	0,47
	Été-automne								
6 h	0,93	0,76	0,63	0,57	0,49	0,43	0,33	0,26	0,19
12 h	0,96	0,80	0,70	0,64	0,56	0,49	0,40	0,32	0,23
18 h	0,98	0,88	0,81	0,77	0,71	0,63	0,55	0,47	0,35
24 h	**1,00**	0,93	0,87	0,83	0,76	0,69	0,59	0,52	0,40
36 h	1,02	0,98	0,92	0,88	0,80	0,73	0,63	0,55	0,43
48 h	1,10	1,05	1,00	0,96	0,89	0,83	0,72	0,60	0,49
72 h	1,14	1,12	1,06	1,02	0,93	0,86	0,74	0,62	0,52

Tableau 2.4
Facteurs de conversion pour les PMP de la région G,P

Durée	Superficie								
	25.9 km^2	250 km^2	1000 km^2	2000 km^2	5000 km^2	10 000 km^2	25 000 km^2	50 000 km^2	100 000 km^2
	Printemps								
6 h	0,50	0,45	0,41	0,39	0,37	0,34	0,28	0,22	0,17
12 h	0,82	0,78	0,68	0,62	0,55	0,50	0,43	0,37	0,30
18 h	0,97	0,91	0,84	0,80	0,75	0,68	0,56	0,47	0,37
24 h	**1,00**	0,94	0,89	0,86	0,81	0,75	0,63	0,52	0,40
36 h	1,07	1,05	1,04	1,02	1,00	0,97	0,83	0,70	0,55
48 h	1,21	1,14	1,10	1,08	1,06	1,02	0,90	0,77	0,61
72 h	1,38	1,26	1,19	1,16	1,11	1,06	0,92	0,78	0,62
	Été-automne								
6 h	0,93	0,76	0,63	0,56	0,45	0,37	0,29	0,24	0,19
12 h	0,96	0,80	0,70	0,64	0,55	0,47	0,36	0,29	0,23
18 h	0,98	0,88	0,81	0,77	0,68	0,57	0,44	0,35	0,28
24 h	**1,00**	0,93	0,87	0,83	0,73	0,64	0,51	0,41	0,33
36 h	1,02	0,96	0,91	0,87	0,80	0,72	0,61	0,52	0,43
48 h	1,04	1,02	0,98	0,96	0,89	0,80	0,67	0,58	0,49
72 h	1,14	1,12	1,06	1,02	0,93	0,85	0,72	0,62	0,52

Tableau 2.5
Facteurs de conversion pour les PMP de la région P

Durée	Superficie								
	25.9 km^2	250 km^2	1000 km^2	2000 km^2	5000 km^2	10 000 km^2	25 000 km^2	50 000 km^2	100 000 km^2
	Printemps								
6 h	0,54	0,50	0,48	0,46	0,43	0,40	0,33	0,26	0,20
12 h	0,76	0,71	0,68	0,66	0,63	0,59	0,50	0,43	0,36
18 h	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84	0,80	0,66	0,55	0,43
24 h	**1,00**	0,97	0,95	0,93	0,92	0,88	0,74	0,61	0,47
36 h	1,24	1,22	1,20	1,19	1,18	1,14	0,97	0,82	0,65
48 h	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24	1,20	1,05	0,91	0,71
72 h	1,32	1,30	1,28	1,27	1,25	1,21	1,08	0,92	0,72
	Été-automne								
6 h	0,93	0,76	0,61	0,53	0,44	0,37	0,29	0,24	0,19
12 h	0,96	0,80	0,70	0,64	0,55	0,47	0,36	0,29	0,23
18 h	0,98	0,88	0,81	0,77	0,68	0,57	0,44	0,35	0,27
24 h	**1,00**	0,92	0,86	0,83	0,72	0,62	0,50	0,40	0,31
36 h	1,02	0,96	0,89	0,86	0,79	0,72	0,61	0,48	0,37
48 h	1,04	0,98	0,92	0,88	0,81	0,75	0,64	0,53	0,41
72 h	1,11	1,05	0,99	0,95	0,88	0,80	0,68	0,57	0,47

Figure 2.1 Subdivision du territoire du Québec et origine des tempêtes

T:\proj\014713\rapports\final\figures\fig2-1.jpg voir J-F Desjardins

(même que figure 4.1, rapport PLUIES)

3 PLUIE PRINTANIÈRE D'UNE RÉCURRENCE DE 100 ANS (P100)

3.1 Estimation de la P100

Pour l'étude de la pluie centennale de printemps, 458 stations climatologiques répertoriées au Québec au sud du 55e parallèle ont été utilisées.

3.1.1 Sélection de la distribution la plus appropriée

Une étude statistique a été réalisée à l'aide de cinq distributions afin d'obtenir la pluie de récurrence de 100 ans. La sélection de la distribution la plus appropriée a été basée sur les valeurs calculées des deux critères d'information théoriques, soit les critères d'Akaike et de Bayes (SNC-Lavalin, août 2003). La distribution Normale a été retenue. La pluie printanière centennale a donc été calculée selon la loi Normale pour toutes les stations utilisées.

3.1.2 Cartographie de la P100

Les relations donnant la précipitation printanière centennale en fonction des valeurs calculées aux stations voisines, des coordonnées géographiques et de l'altitude ont été établies au moyen du logiciel ANUSPLIN, version 4.0. Les relations ont été cartographiées et les résultats sont présentés sur la planche 3. Il est à noter que la forme des isolignes montre plus de variations que les isolignes des pluies maximales probables puisqu'elles découlent d'un grand nombre de valeurs de la pluie centennale sur tout le territoire à l'étude et qu'elles reflètent l'effet de la topographie.

Comme pour la PMP printanière, les valeurs les plus faibles de la pluie centennale se retrouvent dans la région climatologique de l'Outaouais supérieur et dans le nord-ouest de la Baie-James et du Lac-Saint-Jean, alors que les valeurs les plus fortes se retrouvent sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent ainsi que sur la pointe de la Gaspésie.

3.2 Détermination de la P100 pour un bassin donné

Afin d'estimer la valeur de la P100 pour un bassin versant donné, le bassin doit être tracé sur la planche 3 et la valeur lue au centre du bassin versant donne une bonne approximation de la valeur de P100 printanière d'une durée 24 heures.

3.2.1 Durée de la pluie centennale requise

Pour des raisons pratiques, les pluies mesurées sont normalement publiées par intervalles de 24 heures (les lectures se faisant à heure fixe chaque jour). Les statistiques ont été calculées à partir des données quotidiennes et sont associées à une pluie centennale de 24 heures.

Comme pour la PMP, la durée la plus critique de la pluie sera celle qui correspond au temps de concentration du bassin. Il est recommandé de prendre la pluie de 72 heures, puisque la P100 d'une durée inférieure sera incluse dans le hyétogramme de la P100 de 72 heures.

3.2.2 Conversion de la pluie centennale de 24 heures

À partir de la valeur de la P100 de 24 heures lue à la planche 3, on obtient les valeurs de P100 pour d'autres durées en appliquant des facteurs de conversion. Les facteurs de conversion sont calculés à partir du ratio des différentes hauteurs de pluie pour différentes durées sur la valeur 24 heures des PMP. Ces facteurs sont présentés au tableau 3.1, en fonction des régions montrées à la figure 2.1 et énumérées à la section 2.1.1.

Tableau 3.1
Facteurs de conversion pour la pluie centennale

Région	Durée de la pluie centennale						
	6 h	12 h	18 h	24 h	36 h	48 h	72 h
AG	0,69	0,84	0,93	1,00	1,06	1,08	1,10
AGP	0,69	0,84	0,93	1,00	1,06	1,08	1,10
GP	0,46	0,76	0,95	1,00	1,17	1,24	1,34
P	0,50	0,71	0,93	1,00	1,27	1,33	1,35

Note : Pour les définitions des régions, se rapporter à la figure 2.1.

3.2.3 Forme du hyétogramme de la pluie centennale

Le hyétogramme de la pluie centennale est construit en distribuant les hauteurs de pluie correspondant à chaque durée de pluie sur une période égale à la durée de la pluie centennale requise (72 heures), tel que montré pour la PMP à la section 2.3.

4 ENNEIGEMENT MAXIMAL PROBABLE (EMP)

4.1 Estimation de l'EMP

La méthode de maximisation de l'enneigement total d'une saison consiste à maximiser chacune des tempêtes de neige observées au cours d'un hiver et à additionner ces dernières pour former un couvert de neige maximisé. La méthode a été ajustée de façon à ne maximiser que les tempêtes qui sont jugées avoir eu une efficacité[4] proche du maximum. L'enneigement maximal probable pour la saison est la somme des tempêtes maximisées et de celles non maximisées.

Les accumulations de neige ont été calculées pour tous les hivers couvrant la période allant de novembre 1956 à mai 1999, et ce, pour toutes les stations climatologiques comprises à l'intérieur de chacune des treize régions climatologiques identifiées par le ministère de l'Environnement du Québec. Ces régions climatiques sont montrées à la figure 2.1. Les deux années pour lesquelles la quantité totale de neige mesurée a été la plus abondante dans chaque région ont été sélectionnées pour le calcul de maximisation de l'enneigement.

4.1.1 Sélection des tempêtes à maximiser

Les critères suivants ont été posés afin d'identifier les tempêtes susceptibles d'être maximisées à l'intérieur d'une région donnée :

1. La tempête doit produire une accumulation nivale d'au moins 5 cm ;
2. La tempête doit tirer son origine des régions humides et chaudes des États-Unis ou de la côte Atlantique;
3. La tempête doit présenter une crête thermique dans ses couches supérieures (500 mb).

4.1.2 Maximisation des tempêtes

Les tempêtes choisies ont été maximisées pour les deux années sélectionnées dans chacune des régions climatiques.

[4] L'efficacité est définie par les météorologues comme le rapport de la précipitation qui a été observée à la précipitation qui aurait pu se produire si toute l'eau disponible était tombée.

Des études sur le sujet (Atria Engineering, 1994) ont montré que la quantité maximale d'eau précipitable présente dans l'air au moment d'une tempête de neige est d'environ 24 mm. Au-delà de cette valeur, la précipitation tombe normalement sous forme de pluie. La valeur de 24 mm a donc été retenue pour le calcul des facteurs de maximisation des tempêtes de neige entre octobre et avril.

Un coefficient de maximisation a été obtenu pour chacune des tempêtes maximisées dans chacune des régions. Ce facteur correspond au rapport de la quantité maximale d'eau précipitable (24 mm) à la quantité d'eau précipitable mesurée lors de la tempête. Les différents coefficients ont été appliqués à toutes les tempêtes de neige observées sélectionnées à toutes les stations d'une région, et ce, pour toutes les régions.

L'enneigement maximal probable est donc obtenu pour l'ensemble des stations, puis converti en équivalent en eau en supposant une densité de neige de 0,1 g/cm^3.

4.1.3 Cartographie de l'EMP

Les relations donnant l'équivalent en eau de l'enneigement maximal probable en fonction des valeurs observées maximisées aux stations voisines, des coordonnées géographiques et de l'altitude ont été établies au moyen du logiciel ANUSPLIN. Ces relations ont été cartographiées et les résultats sont présentés sur la planche 4. Les valeurs les plus faibles de l'équivalent en eau de l'EMP se retrouvent dans l'ouest de l'Abitibi et de la Baie-James alors que les régions de Charlevoix, de Bersimis et de la Gaspésie montrent les valeurs les plus fortes.

On observe une augmentation des valeurs de l'équivalent en eau de l'EMP en fonction de l'altitude, particulièrement dans les régions de Charlevoix, de la Côte-Nord et de la Gaspésie. Cet effet est dû au gradient thermique lors des fortes chutes de neige. Dans ce cas, la température est proche de 0ºC. Dans les zones de basse altitude, la précipitation tombe sous forme de pluie, alors que sur les hauteurs, la précipitation tombe sous forme de neige et contribue à l'EMP.

4.2 Détermination de l'EMP pour un bassin donné

Afin d'estimer la valeur de l'EMP pour un bassin versant donné, le bassin doit être tracé sur la planche 4 et la valeur lue au centre du bassin versant donne une bonne approximation de la valeur de l'EMP.

5 ENNEIGEMENT D'UNE RÉCURRENCE DE 100 ANS (E100)

5.1 Estimation des E100

Pour l'étude du couvert de neige centennal, 202 stations nivométriques répertoriées au Québec au sud du 55e parallèle ont été utilisées ainsi que plusieurs stations en Ontario (56 stations) et au Nouveau-Brunswick (5 stations), afin de couvrir les régions frontalières du Québec.

5.1.1 Sélection de la distribution la plus appropriée

Une étude statistique a été réalisée à l'aide de cinq distributions afin d'obtenir l'équivalent en eau de l'enneigement de récurrence de 100 ans. La sélection de la distribution la plus appropriée a été basée sur les valeurs calculées de deux critères d'information théoriques, soit les critères d'Akaike et de Bayes (voir rapport sectoriel portant sur l'enneigement, SNC-Lavalin, mars 2003). La distribution Normale a été retenue. L'équivalent en eau du couvert nival centennal a donc été calculé selon la loi Normale pour toutes les stations utilisées.

5.1.2 Cartographie de l'E100

Les relations donnant l'équivalent en eau du couvert nival centennal en fonction des valeurs calculées aux stations voisines, des coordonnées géographiques et de l'altitude ont été établies au moyen du logiciel ANUSPLIN, version 4.0. Les relations ont été cartographiées et les résultats sont présentés sur la planche 5. Sur cette planche, les valeurs les plus faibles de l'équivalent en eau se retrouvent au sud de Montréal et dans le nord-ouest de la Baie-James alors que les valeurs les plus fortes se retrouvent dans les régions de Charlevoix, de Bersimis, sur la Côte-Nord et en Gaspésie.

Comme pour l'EMP, on observe une augmentation des valeurs de l'équivalent en eau du couvert de neige centennal en fonction de l'altitude. Cet effet est particulièrement sensible dans les régions de Charlevoix, de la Côte-Nord et de la Gaspésie. Cet effet est du au gradient thermique lors des chutes de neige et aux fontes partielles du couvert de neige entre les précipitations, qui diminuent avec l'altitude.

5.2 Détermination des E100 sur un bassin donné

Afin d'estimer la valeur de l'E100 pour un bassin versant donné, le bassin doit être tracé sur la planche 5 et la valeur lue au centre du bassin versant donne une bonne approximation de la valeur de l'E100.

6 SCÉNARIO CRITIQUE DES TEMPÉRATURES

La séquence de températures journalières lors de la fonte de la neige a une importance primordiale sur la CMP printanière. Parmi les phénomènes susceptibles de se produire, ceux conduisant au débit de pointe le plus élevé pour la CMP ont été retenus.

6.1 Étapes du scénario critique de températures

Le scénario de températures a été établi à partir des données quotidiennes de températures (minimum, maximum et moyenne). Pour obtenir le scénario permettant de générer le débit de pointe sortant le plus élevé possible, il faut que le couvert de neige fonde sur une courte période et que la fin de cette fonte coïncide, dans le temps, avec l'arrivée de la PMP.

Le scénario critique de températures a été développé à partir des recommandations de l'OMM (1969) ; il consiste en une suite d'étapes de nature différente qui sont montrées au tableau 6.1 et qui sont décrites dans les sections suivantes.

Tableau 6.1
Étapes du scénario critique des températures

Étape	Période
Hiver froid	du 1er mars à la date de fin d'hiver
Maturation du couvert de neige	± 10 jours
Fonte	max. 8 jours
Période de dépression (pluie)	5 jours

6.1.1 Fin de l'hiver froid

Les températures entre le 1er mars et la date de fin d'hiver doivent représenter les températures d'un hiver froid, afin de minimiser les pertes de couvert de neige par la fonte avant la date de fin d'hiver.

Une analyse statistique des dates de fin d'hiver observées au Québec (déterminées par cumul de degrés-jours) en fonction de la latitude montre qu'entre 45 et 55 degrés de latitude, la date de fin

d'hiver augmente de 5 jours par degré de latitude en allant vers le nord. Au 45e parallèle (frontière Québec – Etats-Unis), un hiver tardif finit aux alentours du 2 avril, tandis qu'au 55e parallèle (nord de la Baie-James) il finit le 22 mai, tel que montré à l'annexe B. Une analyse de sensibilité montre que la longitude a peu d'influence sur cette date.

6.1.2 Période de maturation de la neige

La fin de l'hiver est suivie par une période de maturation du couvert, caractérisée par des températures autour du point de congélation. Cette période dure environ 10 jours.

6.1.3 Période de fonte

La période de fonte se caractérise par une hausse importante des températures jusqu'à l'atteinte d'une pointe, puis par une chute de température associée à la dépression précédant l'événement de pluie. La hausse importante des températures moyennes entraîne une fonte rapide du couvert de neige avant le début de la pluie. La séquence de la hausse des températures a été établie à partir des courbes enveloppe des températures moyennes journalières enregistrées à diverses stations au Québec.

6.1.4 Période de dépression

La durée de la période de dépression est de 5 jours. Cette durée correspond à la durée moyenne des fortes dépressions associées aux tempêtes printanières analysées. Lors de ces tempêtes, la température augmente jusqu'au 3e jour, puis redescend jusqu'au 5e jour. La pointe de pluie correspond à la pointe de température (3e jour), qui est déterminée en fonction du point de rosée maximal du mois en cours. La séquence de températures durant la période de dépression doit refléter le plus fidèlement possible le comportement de la température moyenne à l'approche et au passage d'une dépression forte.

L'événement pluvieux de 72 heures composant la crue de printemps (PMP printanière ou P100) est donc centré sur la période associée au passage de la dépression et se produit les jours 2, 3 et 4 de cette période.

6.2 Élaboration du scénario critique de températures

Des scénarios critiques de températures ont été élaborés pour des stations situées au nord, au centre et au sud du Québec. Une séquence enveloppe des séquences critiques de températures a ensuite été créée. Cette séquence de températures est conservatrice. Elle peut être modifiée à la baisse, à l'exception de la période associée à la dépression qui ne doit pas être modifiée quant à ses températures et à sa durée.

Si, lors de la simulation, le couvert de neige fond avant l'arrivée de l'événement de pluie, les températures durant la période de fonte pourront être diminuées en conséquence, en diminuant par exemple la température de 2ºC au cours des premiers jours de la période de fonte.

Par contre, si le couvert de neige n'arrive pas à fondre au complet après la pointe de la pluie (après le 3e jour de la période de dépression), les températures ne pourront être augmentées artificiellement car on considère qu'il ne s'agirait pas là d'un scénario réaliste. Quelques jours autour des températures saisonnières, soit environ 7ºC, pourraient cependant être ajoutés entre la période de maturation et la période de fonte, au besoin, en décalant du même nombre de jours les périodes suivantes (périodes de fonte et de dépression, puis journées printanières subséquentes).

Le scénario critique de températures est présenté au tableau 6.2 et montré à la figure 6.1.

6.3 Détermination du scénario critique de températures

La date de fin d'hiver pour le bassin est déterminée selon la formule suivante :

Date de fin d'hiver = 2 avril + (latitude du bassin - 45º) * 5 jours/degré

Une fois la date de fin d'hiver déterminée, la séquence de températures au tableau 6.2 pourra être déplacée dans le temps de façon à ce que la date de fin d'hiver coïncide avec le jour 0 de la séquence. On retrouve cette même séquence graphiquement, ainsi que la méthodologie complète de détermination de la séquence critique de températures à l'annexe B.

Tableau 6.2
Scénario critique de températures

Jour	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmoy (°C)
-75	-15,0	-3,0	-9,0
-74	-14,9	-2,9	-8,9
-73	-14,7	-2,7	-8,7
-72	-14,6	-2,6	-8,6
-71	-14,4	-2,4	-8,4
-70	-14,3	-2,3	-8,3
-69	-14,1	-2,1	-8,1
-68	-14,0	-2,0	-8,0
-67	-13,8	-1,8	-7,8
-66	-13,7	-1,7	-7,7
-65	-13,6	-1,6	-7,6
-64	-13,4	-1,4	-7,4
-63	-13,3	-1,3	-7,3
-62	-13,1	-1,1	-7,1
-61	-13,0	-1,0	-7,0
-60	-12,8	-0,8	-6,8
-59	-12,7	-0,7	-6,7
-58	-12,5	-0,5	-6,5
-57	-12,4	-0,4	-6,4
-56	-12,3	-0,3	-6,3
-55	-12,1	-0,1	-6,1
-54	-12,0	0,0	-6,0
-53	-11,8	0,2	-5,8
-52	-11,7	0,3	-5,7
-51	-11,5	0,5	-5,5
-50	-11,4	0,6	-5,4
-49	-11,2	0,8	-5,2
-48	-11,1	0,9	-5,1
-47	-10,9	1,1	-4,9
-46	-10,8	1,2	-4,8
-45	-10,7	1,3	-4,7
-44	-10,5	1,5	-4,5
-43	-10,4	1,6	-4,4
-42	-10,2	1,8	-4,2
-41	-10,1	1,9	-4,1
-40	-9,9	2,1	-3,9
-39	-9,8	2,2	-3,8
-38	-9,6	2,4	-3,6
-37	-9,5	2,5	-3,5
-36	-9,4	2,6	-3,4
-35	-9,2	2,8	-3,2
-34	-9,1	2,9	-3,1
-33	-8,9	3,1	-2,9
-32	-8,8	3,2	-2,8
-31	-8,6	3,4	-2,6
-30	-8,5	3,5	-2,5
-29	-8,3	3,7	-2,3
-28	-8,2	3,8	-2,2
-27	-8,1	3,9	-2,1
-26	-7,9	4,1	-1,9

Jour	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmoy (°C)
-25	-7,8	4,2	-1,8
-24	-7,6	4,4	-1,6
-23	-7,5	4,5	-1,5
-22	-7,3	4,7	-1,3
-21	-7,2	4,8	-1,2
-20	-7,0	5,0	-1,0
-19	-6,9	5,1	-0,9
-18	-6,8	5,3	-0,7
-17	-6,6	5,4	-0,6
-16	-6,5	5,5	-0,5
-15	-6,3	5,7	-0,3
-14	-6,2	5,8	-0,2
-13	-6,0	6,0	0,0
-12	-5,9	6,1	0,1
-11	-5,7	6,3	0,3
-10	-5,6	6,4	0,4
-9	-5,4	6,6	0,6
-8	-5,3	6,7	0,7
-7	-5,2	6,8	0,8
-6	-5,0	7,0	1,0
-5	-4,9	7,1	1,1
-4	-4,7	7,3	1,3
-3	-4,6	7,4	1,4
-2	-4,4	7,6	1,6
-1	-4,3	7,7	1,7
0	-4,1	7,9	1,9
1	-4,0	8,0	2,0
2	-4,0	8,0	2,0
3	-4,0	8,0	2,0
4	-4,0	8,0	2,0
5	-4,0	8,0	2,0
6	-4,0	8,0	2,0
7	-4,0	8,0	2,0
8	-4,0	8,0	2,0
9	-4,0	8,0	2,0
10	-4,0	8,0	2,0
11	4,2	16,2	10,2
12	5,8	17,8	11,8
13	7,5	19,5	13,5
14	9,2	21,2	15,2
15	10,9	22,9	16,9
16	12,5	24,5	18,5
17	14,2	26,2	20,2
18	8,0	20,0	14,0
19	1,9	13,9	7,9
20	9,9	16,9	13,4
21	18,0	20,0	19,0
22	9,6	16,6	13,1
23	3,0	15,0	9,0
24	3,2	15,2	9,2

Jour	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmoy (°C)
25	3,4	15,4	9,4
26	3,6	15,6	9,6
27	3,8	15,8	9,8
28	4,0	16,0	10,0
29	4,1	16,1	10,1
30	4,3	16,3	10,3
31	4,5	16,5	10,5
32	4,7	16,7	10,7
33	4,9	16,9	10,9
34	5,1	17,1	11,1
35	5,3	17,3	11,3
36	5,5	17,5	11,5
37	5,7	17,7	11,7
38	5,9	17,9	11,9
39	6,1	18,1	12,1
40	6,2	18,2	12,2
41	6,4	18,4	12,4
42	6,6	18,6	12,6
43	6,8	18,8	12,8
44	7,0	19,0	13,0
45	7,2	19,2	13,2

Fin de l'hiver

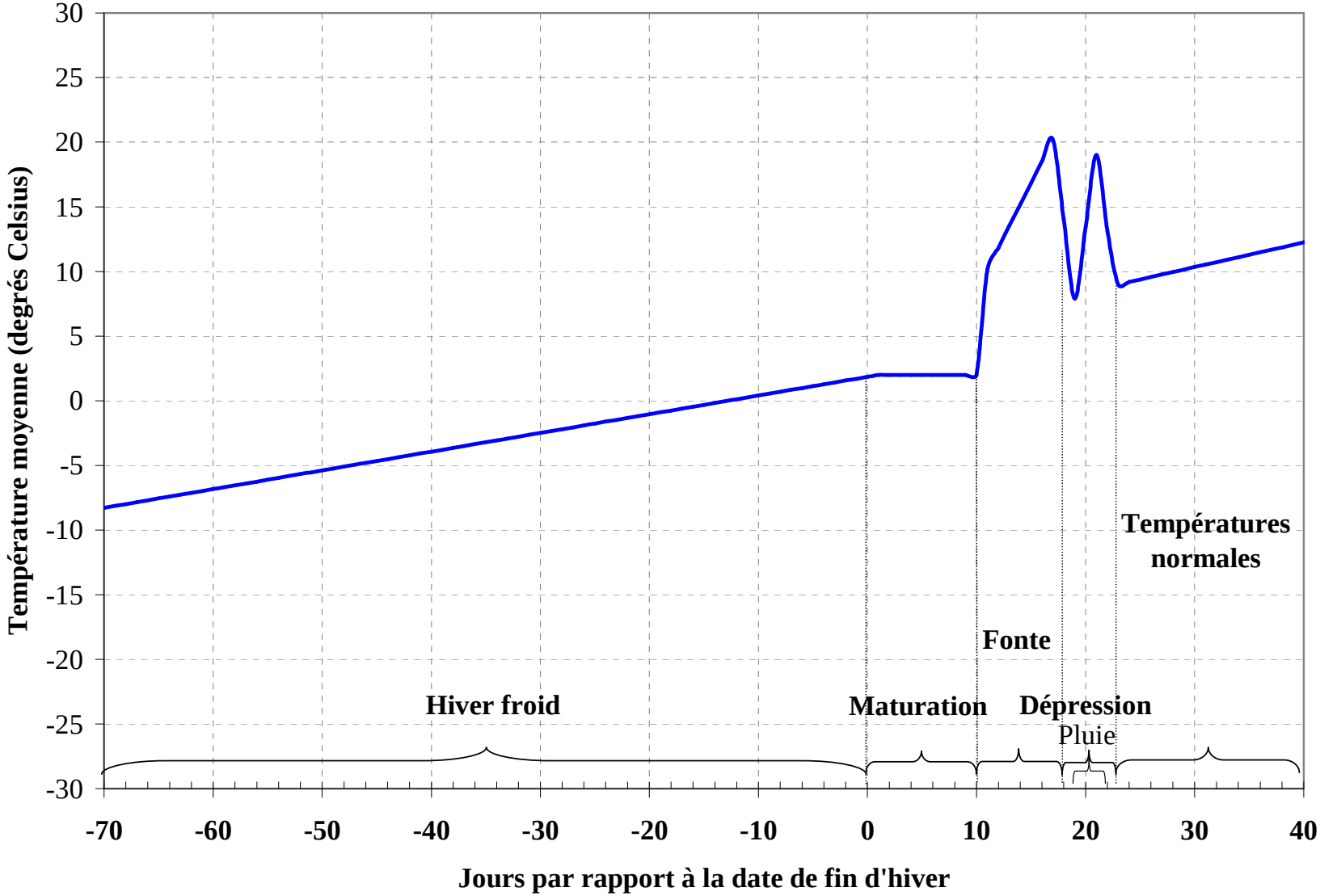
Maturation

Fonte

Pluie

Dépression

Figure 6.1 Scénario critique de températures moyennes journalières



7 GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

Une fois les conditions hydrométéorologiques conduisant à la crue maximale probable estimées pour un bassin versant, la modélisation hydrologique du bassin permet de simuler les trois scénarios de CMP et d'obtenir les hydrogrammes correspondants.

La modélisation hydrologique d'un bassin est l'ajustement des caractéristiques d'un modèle mathématique pluie – ruissellement permettant de simuler des événements connus, c'est-à-dire de reproduire des débits mesurés à partir des pluies et des températures mesurées près du bassin.

Ce chapitre présente un guide méthodologique permettant d'obtenir les hydrogrammes des CMP pour un bassin versant. Neuf étapes doivent être suivies afin d'obtenir les hydrogrammes de CMP :

1. Rassemblement des données,
2. Choix de la période de calibration,
3. Choix du modèle pluie – ruissellement,
4. Calibration du modèle,
5. Validation de la calibration,
6. Préparation du modèle pour le calcul des CMP,
7. Calcul de la CMP d'été-automne,
8. Calcul de la CMP de printemps,
9. Validation des résultats.

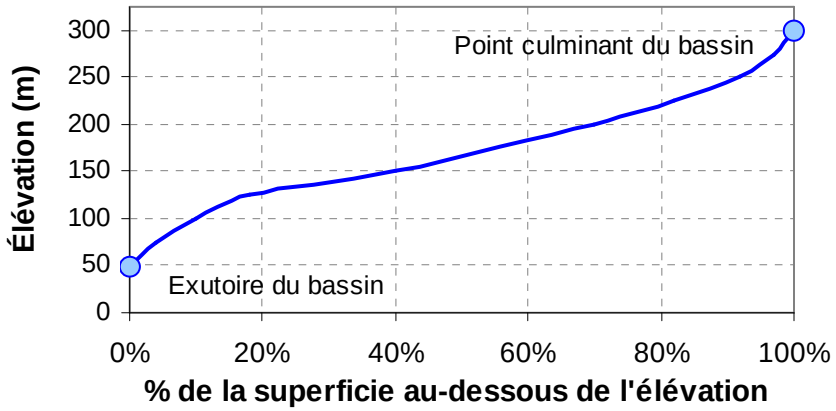
7.1 Rassemblement des données

7.1.1 Tracé du bassin

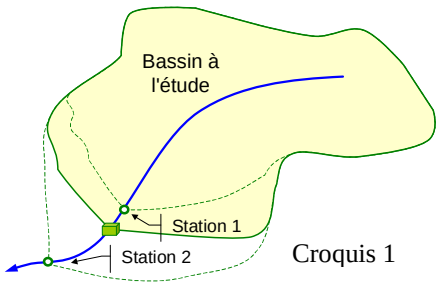
Les limites du bassin versant sont tracées sur une carte topographique (échelle 1 :50 000), et la superficie totale du bassin est mesurée par planimétrie ou numériquement.

La courbe hypsométrique[5], dont un exemple est montré à la figure 7.1, est ensuite évaluée. Cette courbe permet de calculer certains paramètres en fonction de l'élévation dans le processus de la modélisation pluie - ruissellement.

Figure 7.1
Courbe hypsométrique



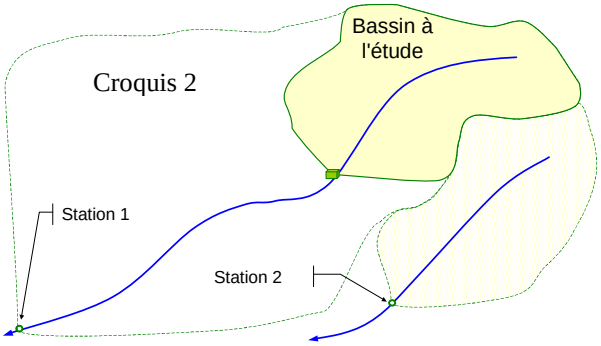
Pour la calibration du modèle, les caractéristiques (superficie et courbe hypsométrique) doivent aussi être connues pour le bassin versant de la station hydrométrique utilisée. Ce bassin doit être similaire au bassin étudié. Quelques cas sont cités à titre d'exemples :



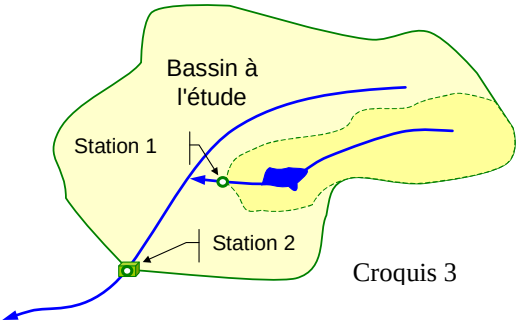
Croquis 1

Croquis 1 : Si une station hydrométrique existe à proximité du site pour lequel la CMP doit être estimée, la station 1 ou la station 2, cette station est choisie puisque les caractéristiques du bassin à l'étude et celles du bassin de la station sont similaires. Les caractéristiques du bassin de la station sont utilisées lors de la calibration. Celles du bassin à l'étude sont ensuite utilisées lors du calcul de la CMP (section 7.6).

[5] La courbe hypsométrique met en relation les altitudes et les surfaces dans un bassin, sous forme de fréquence de superficies inférieures à une altitude donnée.



Croquis 2 : Si une station hydrométrique existe sur le cours d'eau mais que la superficie de son bassin versant est très différente (station 1), il peut être préférable de calibrer un bassin voisin similaire dont la superficie à la station est du même ordre de grandeur (station 2). Les caractéristiques du bassin de la station 2 sont utilisées lors de la calibration, puis celles du bassin à l'étude sont utilisées lors du calcul de la CMP.



Croquis 3 : Dans ce dernier cas, si une station hydrométrique existe à l'intérieure du bassin à l'étude sur un affluent (station 1) et qu'une autre existe à proximité du site où la CMP doit être estimée (station 2), la calibration peut être faite en deux étapes. D'abord, le bassin de la station 1 est calibré. Puis la calibration est effectuée sur le bassin entier (à la station 2) en ajoutant le second sous-bassin au modèle, mais seuls les paramètres de ce sous-bassin (bassin intermédiaire) sont ajustés, ceux du sous-bassin à la station 1 étant déjà calibrés. La superficie du bassin intermédiaire correspond à la superficie à la station 2 moins la superficie à la station 1.

7.1.2 Conditions hydrométéorologiques

Afin d'estimer les six conditions hydrométéorologiques pour un bassin versant donné, le bassin doit être tracé sur les planches 1 à 5 (planches des cinq conditions de pluies et d'enneigement), puis la valeur au centre du bassin est lue. Les chapitres 2 à 6 expliquent la méthode d'estimation des valeurs représentant les conditions hydrométéorologiques conduisant aux CMP.

Les six conditions hydrométéorologiques sont les suivantes :

Condition hydrométéorologique	Planche	Estimation des valeurs
▪ PMP d'été-automne	1	calculer le hyétogramme, voir chapitre 2
▪ PMP de printemps	2	calculer le hyétogramme, voir chapitre 2
▪ P100	3	calculer le hyétogramme, voir chapitre 3,
▪ EMP	4	valeur obtenue directement
▪ E100	5	valeur obtenue directement
▪ Scénario de températures	-	établir le scénario, voir chapitre 6.

7.1.3 Station hydrométrique

Sélection

La station hydrométrique la plus proche du barrage pour lequel la CMP doit être obtenue est normalement retenue, dans la mesure où les données sont suffisantes et de bonne qualité.

Si aucune station hydrométrique n'est disponible sur la rivière à l'étude, un bassin voisin comparable peut être utilisé pour la calibration.

Période

La période de disponibilité des données hydrométriques est notée. Il est souhaitable que la station dispose de plus de cinq années complètes de données. Si quelques données ponctuelles sont manquantes, elles peuvent être complétées en interpolant les données de débit observé. Si les données manquantes couvrent plusieurs jours lors d'une forte crue, il est préférable d'ignorer cette année de données lors de la calibration.

Qualité

Pour mener à bien une calibration, les débits du cours d'eau doivent être naturels, c'est à dire non régularisés par des ouvrages de stockage ou de dérivation. Si les débits sont régularisés, les débits naturels doivent être reconstitués par délaminage des débits sortant d'un réservoir, en tenant compte des règles d'exploitation des ouvrages de contrôle et de la courbe d'emmagasinement du réservoir.

7.1.4 Stations climatologiques

Sélection

Les données climatologiques requises sont les suivantes :

- les données de précipitation totale journalières (neige et pluie), et
- les données de température journalières (moyenne ou minimale et maximale, selon le modèle utilisé, voir section 7.3).

Les stations climatologiques retenues devraient être situées à l'intérieur du bassin étudié ou à proximité, et les périodes d'enregistrement devraient correspondre ou englober la période d'enregistrement de la station hydrométrique.

Idéalement, il serait souhaitable d'avoir au moins deux stations par bassin à calibrer, préférablement trois.

Période

La période de disponibilité des données climatologiques est notée, pour chaque station. Si quelques données ponctuelles sont manquantes, elles peuvent être complétées en interpolant les données de température et en utilisant la précipitation totale observée à la station la plus proche. Si les données manquantes couvrent plusieurs jours lors d'une forte crue, il est préférable d'ignorer cette année de données lors de la calibration.

7.1.5 Autres paramètres météorologiques

Évapotranspiration normale

La normale d'évapotranspiration sur le bassin versant est une donnée utile pour fins de comparaison. Cette donnée peut être trouvée dans l'Atlas hydrologique du Canada (Pêches et environnement Canada, 1978). L'évaporation annuelle calculée lors de la calibration devrait se rapprocher de la normale climatique.

Précipitation normale

La normale de précipitation au bassin versant est aussi une donnée utile. Cette donnée peut être trouvée dans l'Atlas hydrologique du Canada (Pêches et environnement Canada, 1978). Elle permet de vérifier que la lame d'eau ruisselée s'approche des normales climatiques. Cette vérification est expliquée à la section 7.4.1.

7.2 Choix de la période de calibration

La calibration du modèle hydrologique consiste à ajuster les paramètres et fonctions qui le gouvernent. Pour s'assurer que l'ajustement est valable, la calibration est effectuée à partir d'au moins six années successives d'enregistrement (débit, température et précipitation), là où c'est possible. Pour le Québec, une année de calibration débute normalement le 1er septembre pour se terminer le 31 août de l'année suivante, ceci dans le but de s'assurer que toutes les précipitations de neige de l'hiver sont enregistrées afin de représenter le volume disponible pour la crue printanière suivante.

Pour arrêter le choix sur les années de calibration, il faut comparer les années de disponibilité des stations climatologiques et de la station hydrométrique. Il s'agit ensuite de repérer une période de six années consécutives pour laquelle la station hydrométrique possède des données complètes (ou complétées) et pour laquelle la plus grande partie des stations climatologiques sont disponibles. Si une telle période de données successives n'est pas disponible, deux périodes totalisant six années sont repérées.

Les autres années de données complètes seront utilisées pour la validation de la calibration.

7.3 Choix du modèle pluie – ruissellement

Plusieurs modèles hydrologiques peuvent être utilisés ; les deux premiers sont publics :

- HEC-HMS ou le tandem HEC-HMS et Geo-HMS (US Army Corps of Engineers, Hydrologic Eng. Center),
- SSARR (Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation), US Army Corps of Engineers, 1992),
- CEQUEAU (INRS-Eau, Québec, Canada – Institut national de recherche scientifique),
- MIKE 11 (Danish Hydraulic Institute), et
- HSAMI (logiciel maison d'Hydro-Québec).

Il est à noter que le modèle HEC-HMS dans sa version actuelle permet uniquement de simuler les crues pluviales. Dans sa prochaine version (HEC-HMS 3), la simulation des crues printanières sera possible.

Pour les exemples de calcul de CMP des chapitres 8 et 9, le modèle SSARR est utilisé.

7.4 Calibration du modèle

La calibration d'un modèle hydrologique pour un bassin versant consiste à ajuster les paramètres et fonctions qui le gouvernent de manière à reconstituer un hydrogramme similaire à celui observé.

Le modèle est calibré à la station hydrométrique, c'est-à-dire que la superficie utilisée lors de la calibration est celle qui correspond à la station. Si l'exutoire du bassin à l'étude n'est pas situé à

la station hydrométrique, la superficie devra être ajustée lors de la préparation du modèle pour le calcul des CMP, section 7.6, pour refléter la superficie du bassin.

Les paramètres du modèle sont ajustés au cours de simulations successives. Pour la première simulation, les paramètres peuvent être pris égaux à ceux d'un bassin versant voisin déjà calibré ou peuvent être choisis selon le guide de l'usager du modèle hydrologique utilisé. Les valeurs par défaut du modèle peuvent aussi être utilisées.

Il est recommandé de prendre un pas de calcul de 24 heures pour la calibration puisque les données hydrométriques et climatologiques disponibles sont généralement des valeurs journalières.

7.4.1 Vérification sommaire des premiers résultats

Après une première simulation du modèle hydrologique, une vérification importante doit être effectuée. Il s'agit de la comparaison entre la lame d'eau ruisselée observée pour la période de calibration d'une part, et la différence entre la normale de précipitation et la normale d'évapotranspiration pour la région à l'étude telles que publiées dans l'Atlas hydrologique du Canada. Cette vérification peut être synthétisée par la comparaison des deux lames suivantes :

- Lame d'eau normale = (Normale de précipitation – Normale d'évapotranspiration)
- Lame d'eau ruisselée = Lame totale observée pour une année de calibration

S'il y a une bonne correspondance entre les deux, la calibration peut être poursuivie. Si la vérification indique un écart trop important entre les deux lames d'eau, il faut chercher à expliquer la différence avant de procéder à l'étape suivante de la calibration.

Par exemple, il peut s'agir :

- d'une erreur dans la superficie du bassin,
- des particularités physiographiques du bassin,
- de la présence d'un réservoir interannuel en amont,
- etc.

Dans ce cas, une attention particulière doit être portée à la calibration, et certains critères de mesure de la qualité de la calibration donneront des résultats possiblement anormaux, mais pourront être expliqués ou validés.

7.4.2 Principales étapes de la calibration

La calibration a pour but de :

- Ajuster les facteurs qui contrôlent l'évapotranspiration.
- Normaliser le poids des stations pluviométriques : le poids des stations pluviométriques est ajusté de façon à ce que le total des précipitations sur le bassin corresponde à la normale climatique; cette pondération peut être déterminée par la méthode des polygones de Thiessen ou par jugement et essais successifs.
- Minimiser le décalage saisonnier entre le débit simulé et le débit observé : cette étape est réalisée en ajustant les paramètres et fonctions d'écoulement. Il est à noter que lorsque des changements sont apportés aux paramètres de l'écoulement, une variation dans le taux d'évapotranspiration peut être observée. Par conséquent, les paramètres qui contrôlent l'évapotranspiration doivent être réajustés.
- Raffiner la calibration à court terme : cette étape permet d'ajuster la forme de la pointe de l'hydrogramme de crue par certains ajustements fins apportés au modèle, comme le taux de partage de l'écoulement direct, le taux de fonte de neige, le gradient vertical de température, les caractéristiques de propagation de l'écoulement, etc.

L'annexe C présente le détail de la calibration pour le modèle SSARR.

L'étape de calibration est terminée lorsque l'écart entre les hydrogrammes simulés et observés est minimisé de façon satisfaisante.

7.4.3 Qualité de la calibration

L'impact d'un ajustement sur l'hydrogramme simulé peut être apprécié visuellement. Le critère visuel consiste à comparer pour chaque année la forme de l'hydrogramme de la crue simulée à la forme de l'hydrogramme de crue observée.

Cependant, la maximisation de critères numériques permet l'appréciation objective d'une bonne calibration du modèle hydrologique.

Les critères numériques utilisés sont les suivants :

- le critère de Nash (CN) et le critère de Nash modifié par SNC-Lavalin (CNM)

  Ces deux critères permettent d'évaluer la qualité de l'hydrogramme simulé à partir des écarts entre les valeurs journalières simulées et observées. La différence entre les deux critères réside dans le fait que le critère de Nash modifié pénalise plus fortement les écarts sur les débits de pointe et fournit ainsi un indice permettant une meilleure évaluation en période de crues. Ces critères sont définis par les équations suivantes :

$$CN = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[\left(Q_{obs,i} - Q_{cal,i} \right)^2 \right]}{\sum_{i=1}^{n} \left[\left(Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}} \right)^2 \right]}$$

$$CNM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[Q_{obs,i} \cdot \left(Q_{obs,i} - Q_{cal,i} \right)^2 \right]}{\sum_{i=1}^{n} \left[Q_{obs,i} \cdot \left(Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}} \right)^2 \right]}$$

où $Q_{obs,i}$: débit observé au jour i;

$Q_{cal,i}$: débit calculé au jour i;

$Q_{obs\ max}$: débit maximal observé;

$\overline{Q_{obs}}$: la moyenne des débits journaliers observés durant toute l'année.

Avec un ajustement parfait, CN et CNM sont égaux à 1. Une valeur de l'ordre de 0,70 ou 0,80 est considérée acceptable pour une calibration d'un bassin versant non régularisé.

Lorsque les apports naturels du bassin doivent être reconstitués à partir des enregistrements à la sortie d'un grand lac ou d'un réservoir, la valeur de ces critères peut être inférieure à 0,70.

- le critère des masses d'eau (CM)

  Ce critère permet de comparer les volumes d'eau calculés et observés. Il est défini par l'équation suivante :

$$CM = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{obs,i} - Q_{calc,i}\right)}{\left(n * \overline{Q_{obs}}\right)}$$

  Avec un ajustement parfait, CM est égal à 0. En général, un CM variant entre ±5% est considéré satisfaisant.

7.5 Validation de la calibration

Lorsque la calibration du bassin est terminée et jugée satisfaisante selon les critères d'évaluation de la qualité de la calibration, une validation de la calibration est réalisée. La validation consiste en une simulation portant sur une période différente de la calibration, avec les mêmes paramètres que ceux utilisés lors de la calibration.

Les mêmes critères de qualité que ceux utilisés lors de la calibration sont utilisés pour vérifier la qualité de la validation (section 7.4.3).

Les résultats de la validation devraient confirmer la qualité de la calibration. Si toutefois certains critères de qualité donnaient des résultats moins satisfaisants, la calibration devrait être révisée.

7.6 Préparation du modèle pour le calcul des CMP

Pour la simulation d'un scénario de crue, les paramètres calibrés et validés précédemment demeurent les mêmes. Seuls les changements suivants sont effectués :

- Si le bassin à l'étude n'est pas situé à la station hydrométrique, la superficie doit être modifiée pour refléter la superficie du bassin.

- Une seule station pluviométrique est requise, elle contiendra les données de pluies estimées à la section 7.1.2 (PMP d'été-automne, PMP de printemps ou P100);

- Une seule station de données de température est requise, elle contiendra le scénario critique de températures dans le cas de la CMP printanière, estimé à la section 7.1.2, ou des températures supérieures à 0°C pour la CMP d'été-automne (afin d'éviter que les précipitations tombent sous forme de neige);

- La pondération de la station pluviométrique est mise à 100%, de même que toute autre pondération des précipitations;

- Dans le cas d'un scénario de CMP printanière, l'enneigement (EMP ou E100) est imposé comme couvert de neige au début de la simulation.

- Les conditions initiales du modèle sont imposées, tel que le débit dans chacune des couches d'écoulement, le taux de ruissellement, l'indice d'humidité du sol, ou toute autre condition initiale, dépendamment du modèle choisi. Les valeurs des conditions initiales peuvent être lues dans les fichiers de résultats de la calibration pour la période correspondant au début de la simulation d'un événement de crue. Les valeurs les plus fortes rencontrées devraient être utilisées.

Il est recommandé de prendre un pas de calcul de 6 heures pour la simulation de la CMP dans les petits bassins (1000 km² ou moins) afin de mieux représenter la pointe. Il est à noter que le modèle étant calibré avec un pas de 24 h, une attention particulière devra être portée à la forme de la pointe de crue à l'intérieur d'une période de 24 h. Il est recommandé de s'assurer que les paramètres qui définissent l'écoulement de surface reflètent de façon réaliste le temps de concentration du bassin étudié. Pour cela, une vérification de la calibration lorsque de forts débits sont observés peut être faite à partir de données de débits aux 6 heures, si disponibles.

Pour les plus grands bassins versants, un pas de 24 h est suffisant.

7.7 Calcul de la CMP d'été-automne

Les conditions de CMP d'été-automne les plus sévères surviennent lorsque la PMP se produit au moment où le sol est saturé d'eau, ce qui fait que le ruissellement en surface est maximal. Afin d'assurer ce ruissellement maximal, la PMP d'été-automne est précédée d'une autre précipitation de forte intensité correspondant à la demi-PMP.

Une analyse statistique menée sur le nombre de jours séparant les pointes des événements de 72 heures ayant généré plus de 10 mm de pluie à plusieurs stations à travers le Québec pour toutes les années d'observation disponibles montre que 6 jours séparent en moyenne les pointes de tels événements pluvieux.

Une première tempête, d'une magnitude correspondant à une demi-PMP, est donc placée six jours avant l'application de la PMP afin de saturer le sol.

Période de simulation

La simulation de la CMP d'été-automne est effectuée sur une période de trente jours. Le début de la simulation est fixé au 1er septembre, et l'événement de pluie (PMP) débute le 9 septembre. La demi-PMP débute 6 jours avant, soit le 3 septembre. Ces dates sont choisies par simplicité, le 9 septembre correspondant simplement au jour 9 de la simulation.

Pluie d'été-automne

Les données de pluie utilisées sont la demi-PMP et la PMP d'été-automne, tel que vu précédemment.

Une série de pluies doit être ajoutée après la PMP. Il est suggéré d'adopter une série de pluies journalières correspondant aux précipitations observées lors d'un automne pluvieux, tirée des fichiers de précipitations utilisés pour la calibration.

Température de l'air

Lors de la crue d'automne, la température de l'air n'a pas d'influence sur la CMP pourvu qu'elle dépasse le point de congélation.

7.8 Calcul de la CMP de printemps

Deux scénarios de crue maximale probable printanière ont été considérés :

- dans le premier cas, la fonte de l'enneigement maximal probable de neige (EMP) a été combinée à une précipitation de 100 ans de récurrence (P100);
- le deuxième scénario consiste à combiner l'enneigement centennal (E100) avec la PMP de printemps.

La fonte du couvert de neige au sol est contrôlée de manière à synchroniser le débit de fonte maximal avec la précipitation de pluie.

Pour chaque cas étudié, il peut être nécessaire d'ajuster les séquences de températures (section 7.1.2) afin d'assurer le synchronisme et augmenter le débit de pointe, tout en s'assurant que la séquence est plausible et compatible avec les conditions synoptiques produisant le scénario de fonte voulu.

Période de simulation

La simulation de la CMP printanière doit débuter avant le début de la période de maturation du couvert de neige pour se terminer à la fin juin.

Neige

L'EMP ou l'E100 doit être ajouté dans le fichier des conditions initiales en tant qu'équivalent en eau du couvert de neige. Si la simulation débute tôt au cours de l'hiver, une attention particulière devra être portée à la fonte partielle de l'enneigement. La totalité du couvert tel que déterminé au chapitre 2 doit être disponible au début de la période de maturation; un couvert un peu plus grand doit donc être entré dans les conditions initiales afin de compenser pour la fonte partielle survenant avant la maturation du couvert.

Pluie de printemps

La P100 ou la PMP de 72 heures se produit au cours de la période de dépression de 5 jours et débute au jour 2 de cette période, le premier jour étant un jour de faible température marquant le début de la dépression forte. La pointe de la pluie coïncide avec la pointe de température lors du passage de cette dépression.

Une série de pluies doit être ajoutée après la période de dépression. Il est suggéré d'adopter une série de pluies journalières correspondant aux précipitations observées lors d'un printemps pluvieux, tirée des fichiers de précipitations utilisés pour la calibration.

Température de l'air

Le scénario critique de températures est utilisé. Dans le cas où la fonte se produirait trop tôt par rapport à la pointe de pluie, les températures au cours de la période de fonte peuvent être diminuées légèrement (1 ou 2 degrés) au cours des premiers jours de cette période (jours 11 à 15).

Par contre, si le couvert de neige n'arrive pas à fondre au complet après la pointe de la pluie (après le 3e jour de la période de dépression), quelques jours autour des températures saisonnières sont ajoutés entre la période de maturation et la période de fonte, au besoin, en décalant du même nombre de jours les périodes suivantes (section 6.2). Si la fonte du couvert de neige n'est pas terminée après le passage de la pluie, les températures lors de la décrue (à partir du jour 24 du scénario critique des températures) peuvent être légèrement augmentées.

7.9 Validation des résultats

Une façon simple de vérifier qu'aucune erreur importante ne s'est glissée dans les calculs est de comparer les volumes de crue. En effet, le volume de la crue simulée doit être légèrement inférieur au volume des apports (pluie dans le cas de la crue d'été-automne, pluie et neige dans le cas des crues printanières) calculé à partir des conditions hydrométéorologiques du bassin (voir section 7.1.2). En général, lors d'événements forts, le coefficient de ruissellement varie de 70 % à 95 %, puisqu'une certaine portion des apports est soit emmagasinée ou infiltrée, et ne participe pas à l'écoulement direct qui génère l'hydrogramme de CMP.

8 CALCUL DES CMP DE LA RIVIÈRE NEIGETTE

Le bassin de la rivière Neigette est un tributaire de la rivière Mitis, sur la rive Sud du Saint-Laurent près de Rimouski. C'est un bassin naturel, non régularisé.

Toutes les étapes du guide méthodologique sont suivies et appliquées au fil des sections suivantes afin d'estimer les trois scénarios de CMP au site de la station hydrométrique, 3,7 km en amont de la confluence de la rivière Neigette avec la rivière Mitis.

8.1 Rassemblement des données

8.1.1 Tracé du bassin

Le bassin versant couvre une superficie de 492 km² à la station hydrométrique. L'élévation du terrain varie entre 50 m et 300 m. La courbe hypsométrique est supposée linéaire. Cette hypothèse est posée par simplicité au début de la calibration, mais la courbe peut être définie avec plus de précision pour améliorer les résultats de calibration[6], si requis.

Le bassin fait partie de la zone de transposabilité des tempêtes AG, c'est à dire la zone associée à des tempêtes en provenance de l'Atlantique (A) ou des Grands Lacs (G). Le centre du bassin est près de la latitude 48º10' N.

8.1.2 Conditions hydrométéorologiques

Les valeurs des conditions hydrométéorologiques sont lues sur les planches 1 à 5 :

Condition hydrométéorologique	Planche	Estimation des valeurs
▪ PMP d'été-automne – 24 h –25 km²	1	318 mm,
▪ PMP de printemps – 24 h –25 km²	2	301 mm,
▪ P100	3	47 mm,
▪ EMP (équivalent en eau)	4	900 mm,
▪ E100 (équivalent en eau)	5	450 mm.

[6] L'expérience montre que l'amélioration est marginale, et ne justifie pas le travail dépensé.

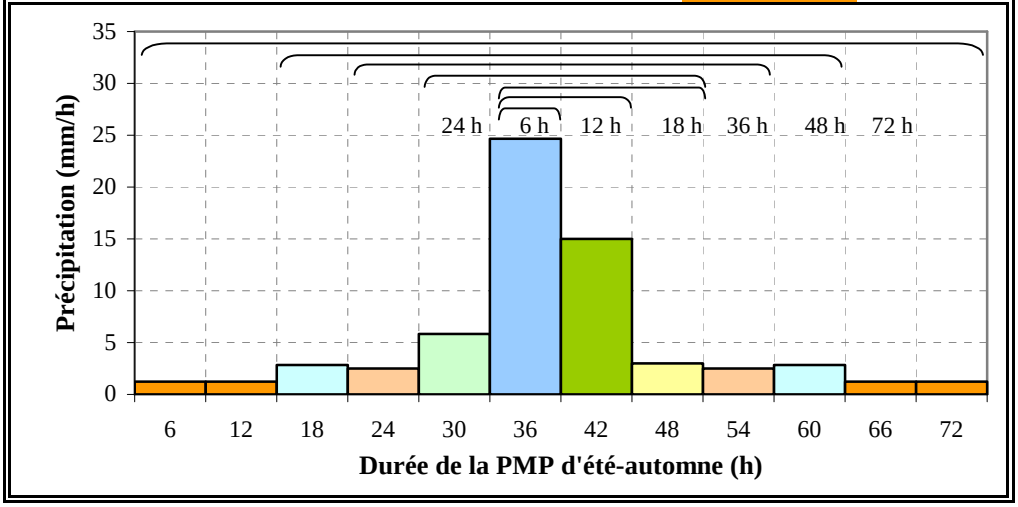
Les valeurs d'enneigement (EMP et E100) sont à inscrire directement dans les conditions initiales lors de la simulation des deux scénarios de CMP printanières. Pour ce qui est des valeurs de pluie, les hyétogrammes doivent être déterminés.

Hyétogramme de la PMP d'été-automne

Les facteurs de conversion qui permettent de calculer la hauteur de pluie pour différentes durées de précipitation au bassin sont obtenus au tableau 2.2. Le tableau 8.1 présente le hyétogramme de la PMP d'été-automne construit avec un pas de calcul de 6 heures.

Tableau 8.1
Construction du hyétogramme de PMP d'été-automne – rivière Neigette

durée totale	facteur de conversion tableau 2.2	pluie cumulative (mm)	incrément de pluie (mm)	intensité de la pluie (mm/h)	durée (h)
6 h	0,46	148	148	24,7	6 h
12 h	0,75	238	90	15,0	6 h
18 h	0,80	256	18	3,0	6 h
24 h	0,91	291	35	5,8	6 h
36 h	1,01	321	30	2,5	12 h
48 h	1,11	355	34	2,8	12 h
72 h	1,21	385	30	1,2	24 h

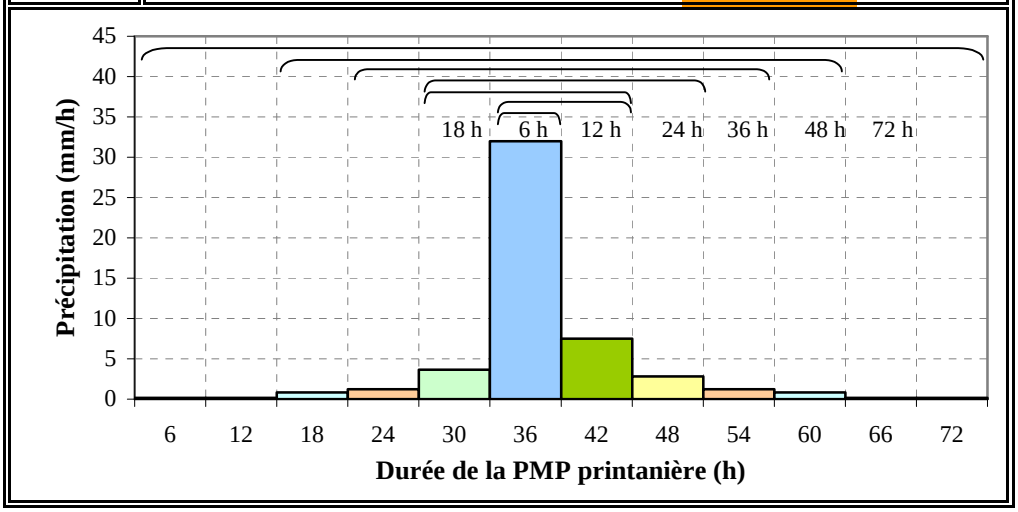


Hyétogramme de la PMP de printemps

Les facteurs de conversion qui permettent de calculer la hauteur de pluie pour différentes durées de précipitation au bassin sont aussi obtenus au tableau 2.2. Le tableau 8.2 présente le hyétogramme de la PMP printanière construit avec un pas de calcul de 6 heures.

Tableau 8.2
Construction du hyétogramme de PMP de printemps – rivière Neigette

durée totale	facteur de conversion tableau 2.2	pluie cumulative (mm)	incrément de pluie (mm)	intensité de la pluie (mm/h)	durée (h)
6 h	0,64	192	192	32,0	6 h
12 h	0,79	237	45	7,5	6 h
18 h	0,86	259	22	3,7	6 h
24 h	0,92	276	17	2,8	6 h
36 h	0,97	291	15	1,3	12 h
48 h	1,00	301	10	0,8	12 h
72 h	1,01	305	4	0,2	24 h



Hyétogramme de la P100

Les facteurs de conversion qui permettent de calculer la hauteur de pluie pour différentes durées de précipitation au bassin sont obtenus au tableau 3.1, région AG. Le tableau 8.3 présente le hyétogramme de la PMP printanière construit avec un pas de calcul de 6 heures.

Le tableau 8.4 présente les trois hyétogrammes construits pour la rivière Neigette (PMP d'été-automne, PMP de printemps et P100).

Tableau 8.3
Construction du hyétogramme de P100 – rivière Neigette

durée totale	facteur de conversion tableau 3.1	pluie cumulative (mm)	incrément de pluie (mm)	intensité de la pluie (mm/h)	durée (h)
6 h	0,69	32,5	32,5	5,4	6 h
12 h	0,84	39,5	7,0	1,2	6 h
18 h	0,93	43,7	4,2	0,71	6 h
24 h	**1,00**	**47,0**	3,3	0,55	6 h
36 h	1,06	49,8	2,8	0,24	12 h
48 h	1,08	50,8	1,0	0,08	12 h
72 h	1,10	51,7	0,9	0,04	24 h

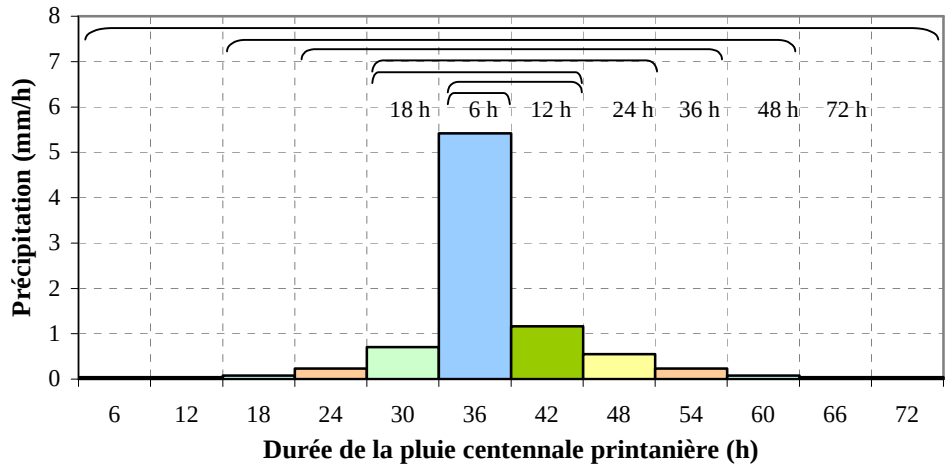


Tableau 8.4
Hyétogrammes des PMP et de la P100 – rivière Neigette

Pas de calcul	Hyétogrammes (mm)		
	PMP d'été-automne	PMP de printemps	P100
6 h	7,5	1,0	0,22
12 h	7,5	1,0	0,23
18 h	17	5,0	0,5
24 h	15	7,5	1,4
30 h	35	22	4,2
36 h	148	192	32,5
42 h	90	45	7,0
48 h	18	17	3,3
54 h	15	7,5	1,4
60 h	17	5,0	0,5
66 h	7,5	1,0	0,23
72 h	7,5	1,0	0,22
Total	385	305	51,7

Détermination du scénario critique de températures

La date de fin d'hiver (ou jour 0), estimée en fonction de la latitude du centre du bassin versant, est la suivante :

- Date de fin d'hiver = 2 avril + (48,2º - 45º) * 5 jours/degré = 18 avril.

Les valeurs de la première colonne du tableau 6.2 sont donc remplacées par les dates correspondantes.

8.1.3 Station hydrométrique

La station hydrométrique est la station 021915, avec une période de disponibilité des données allant de novembre 1974 à septembre 1996. Les débits sont naturels, donc utilisés tels quels dans la calibration.

8.1.4 Stations climatologiques

Aucune station climatologique n'est présente sur le bassin. Deux stations sont disponibles à proximité des limites est et ouest du bassin versant, et ce nombre est jugé satisfaisant vu la petite superficie du bassin, ce qui sera confirmé par la qualité de la calibration. Les stations climatologiques de Luceville (station 7054355) et Ouimet (station 7055770) sont utilisées.

Leurs périodes de disponibilité pour les données de précipitation totale et de température sont les suivantes :

- Luceville : juillet 1964 à janvier 1985,
- Ouimet : janvier 1963 à mars 1993.

Quelques données ponctuelles sont manquantes, elles ont été interpolées dans le cas des données de température, et complétées dans le cas des données de précipitation (les données de l'autre station sont utilisées).

8.1.5 Autres paramètres météorologiques

Selon l'Atlas hydrologique du Canada, les normales climatiques pour la rivière Neigette sont les suivantes :

- Normale de précipitation : 1150 mm,
- Normale d'évapotranspiration : 400 mm.

8.2 Choix de la période de calibration

La calibration des paramètres est effectuée sur une période de six années, de septembre 1977 à août 1983. Au cours de cette période, les données des deux stations climatologiques et de la station hydrométrique sont disponibles.

8.3 Choix du modèle pluie – ruissellement

Le modèle SSARR (version 8, 1991) est choisi pour la calibration du bassin de la rivière Neigette.

8.4 Calibration du modèle

La calibration est effectuée sur trois périodes consécutives de deux ans.

Pour la simulation de l'évolution du couvert de neige dans le bassin de la rivière Neigette, une seule bande d'élévation est définie (cette caractéristique est particulière au modèle SSARR, voir annexe C).

8.4.1 Vérification sommaire des premiers résultats

La vérification sommaire des données par la comparaison entre la lame d'eau ruisselée observée pour la période de calibration d'une part, et la différence entre la normale de précipitation et la normale d'évapotranspiration pour la région a confirmé que l'écoulement est naturel et que les paramètres physiques estimés sont représentatifs du bassin. Pour le modèle calibré, le détail des différentes vérifications effectuées est présenté au tableau 8.5.

8.4.2 Principales étapes de la calibration

Toutes les fonctions et tous les paramètres sont ajustés, au besoin, au cours des simulations successives. L'annexe C présente le détail de la calibration pour le modèle SSARR, tandis que l'annexe D présente les hydrogrammes observés et simulés sous forme graphique.

8.4.3 Qualité de la calibration

Les résultats obtenus pour les critères de mesure de la qualité de calibration sont présentés au tableau 8.6.

Tableau 8.5
Vérification sommaire des données – rivière Neigette

Vérification sommaire des données		
Vérification des précipitations (stations pondérées à 100%)		
Normale de précipitation pour la région (Atlas) :		**115 cm**
PCP - 1977/1979 (215,80 cm / 2 années)		107,9 cm
PCP - 1979/1981 (255,75 cm / 2 années)		127,9 cm
PCP - 1981/1983 (219,82 cm / 2 années)		109,9 cm
Les précipitations s'approchent de la normale de précipitation (période 2 forte)		
Vérification de l'évapotranspiration		
Normale d'évapotranspiration pour la région (Atlas) :		**40 cm**
ET + INTER - 1977/1979 (47,35 + 34,03 cm)/2 années		40,7 cm
ET + INTER - 1979/1981 (58,67 + 41,63 cm)/2 années		50,2 cm
ET + INTER - 1981/1983 (43,37 + 36,86 cm)/2 années		40,1 cm
Évapotranspiration près des normales (période 2 forte)		
Vérification du volume ruisselé (près des normales)		
Normale de précipitation - normale d'évapotranspiration (Atlas)		**75 cm**
Lame d'eau observée 1977/1979 (119,51 cm / 2 années)		59,8 cm
Lame d'eau observée 1979/1981 (150,42 cm / 2 années)		75,2 cm
Lame d'eau observée 1981/1983 (139,80 cm / 2 années)		69,9 cm
Volume ruisselé près des normales pour les 3 périodes de calibration		
Vérification des volumes ruisselés calculé et observé	lame calculée,	observée
Lame d'eau annuelle - années 1977/1979 (131,89 cm / 2 années)	65,9	59,8 cm
Lame d'eau annuelle - années 1979/1981 (150,45 cm / 2 années)	75,2	75,2 cm
Lame d'eau annuelle - années 1981/1983 (136,38 cm / 2 années)	68,2	69,9 cm
Volumes calculés et ruisselés similaires		

Tableau 8.6
Qualité de la calibration – rivière Neigette

Période de calibration	**Critère de calibration**		
	Nash CN	Nash modifié CNM	Masses d'eau CM
sept. 1977 à août 1979	0,92	0,95	10,30%
sept. 1979 à août 1981	0,52	0,53	0,00%
sept. 1981 à août 1983	0,91	0,90	2,44%
Sommaire	0,781	0,80	4,24%

La calibration est jugée satisfaisante, selon les critères de qualité et selon l'appréciation visuelle de l'hydrogramme simulé versus l'hydrogramme observé. Les paramètres ajustés et les résultats de calibration sont présentés à l'annexe D (bilan hydrique et graphiques des débits ruisselés calculés et observés pour les six années de calibration). L'annexe E présente les fichiers contenant les paramètres et les conditions initiales de modélisation pour le modèle calibré. L'annexe E présente aussi un fichier de départ type pour la calibration d'un bassin quelconque.

8.5 Validation de la calibration

La validation de la calibration du modèle, sur les autres années de disponibilité des données, confirme la qualité de la calibration, appuyée par les critères de Nash, le critère des masses d'eau et l'appréciation visuelle.

8.6 Préparation du modèle pour le calcul des CMP

Le modèle calibré est modifié, tel que décrit à la section 7.6. Puisque la CMP est estimée au site de la station hydrométrique, la même superficie que lors de la calibration est utilisée. Une seule station de données de température et une seule station de données pluviométriques sont utilisées, et les pondérations reliées à cette dernière sont mises à 100%. Les données de températures et les données pluviométriques sont inscrites dans des fichiers qui sont lus lors de la simulation.

Les conditions initiales imposées au début des simulations proviennent des résultats de la calibration, où les valeurs les plus fortes rencontrées sont choisies.

Pour les simulations des CMP, un pas de calcul de six heures est utilisé.

L'annexe F présente les fichiers de simulation, soit le fichier des caractéristiques du modèle et le fichier des conditions initiales. Vu leur volume, les fichiers de données de températures et de données pluviométriques ne sont pas présentés dans ce rapport, mais les données sont présentées graphiquement à l'annexe G, avec les résultats des simulations de CMP.

8.7 Calcul de la CMP d'été-automne

La CMP d'été-automne est simulée en utilisant la PMP d'été-automne, précédée de la demi-PMP. Puisque le bassin n'est pas régularisé par la présence d'un grand lac ou d'un réservoir, seule la pointe de la CMP a un impact sur la sécurité des ouvrages; l'ajout d'une série de pluies saisonnières après la PMP n'est donc pas requis.

La figure 8.3 présente l'hydrogramme de crue d'été-automne pour la rivière Neigette.

8.8 Calcul de la CMP de printemps

Les deux scénarios de CMP de printemps sont simulés en utilisant la P100, dans le premier cas, puis la PMP dans le deuxième cas. Le scénario critique des températures est imposé dans les deux cas, mais les températures lors de la fonte ont dû être revues à la baisse dans le cas du scénario composé de la PMP et de l'E100, puisque le couvert de neige fondait avant la pointe de la pluie. L'enneigement est imposé dans le fichier des conditions initiales du modèle en utilisant l'EMP dans le premier cas, et l'E100 dans le deuxième cas.

La simulation de la CMP de printemps débute le 11 avril, une semaine avant la fin d'hiver et le début de la période de maturation. Au cours de la première semaine de simulation, 10 mm d'équivalent en eau du couvert de neige sont perdus par fonte, pour chacun des deux scénarios. Dans les conditions initiales, 10 mm d'équivalent en eau du couvert sont donc ajoutés à la valeur du couvert de neige pour compenser la fonte, pour un EMP imposé de 910 mm et un E100 imposé de 460 mm. Au début de la période de fonte, les valeurs calculée à la section 8.1.2 sont retrouvées, soit 900 mm et 450 mm.

Les figures 8.1 et 8.2 présentent les hydrogrammes de crue des deux scénarios de CMP printanières pour la rivière Neigette.

8.9 Validation des résultats

Résultats de simulation des CMP

Le tableau 8.7 présente un sommaire des résultats de CMP obtenus pour la rivière Neigette.

Tableau 8.7
Résultats de simulation des CMP – rivière Neigette

CMP	Résultats de simulation	
	Débit de pointe (m^3/s)	Volume de crue (hm^3)
CMP de printemps (EMP+P100)	335	420
CMP de printemps (PMP+E100)	1035	355
CMP d'été-automne (PMP)	650	170

Note : Le débit de pointe correspond au débit moyen sur 6 heures (durée du pas de calcul).

Dans le cas de la CMP printanière, le scénario de crue composé de l'EMP donne le plus grand volume de crue (plus de 400 hm^3). Bien qu'inférieur, le volume obtenu pour le scénario printanier composé de la PMP est cependant généré beaucoup plus rapidement, produisant un débit de pointe 3 fois plus important (1 035 m^3/s en moyenne sur une période de 6 heures).

La CMP d'été-automne génère un volume moins important que les CMP printanières mais montre un débit de pointe important, toutefois inférieur au débit de pointe pour la CMP printanière composé de la PMP (650 m^3/s – 6_{heures}).

Validation

Le tableau 8.8 compare les volumes de crue obtenus à l'aide du modèle SSARR aux volumes des apports sur le bassin versant de la rivière Neigette.

Par exemple, les apports sont calculés de la façon suivante pour la CMP de printemps composée de l'EMP et de la P100 :

Hauteur d'eau des apports (EMP + P100) * superficie du bassin

(900 mm + 47 mm) * 492 km^2 = 466 x 10^6 m^3 = 466 hm^3

Tableau 8.8
Comparaison des volumes de crue - rivière Neigette

Crue	Volume (hm^3)		Coefficient de ruissellement
	des apports (pluie + neige)	ruisselé (simulation)	
CMP de printemps (EMP+P100)	466	420	0,90
CMP de printemps (PMP+E100)	370	355	0,96
CMP d'été-automne (PMP) [1]	235	215	0,91

[1] Le volume inclut la demi-PMP qui précède la PMP d'été-automne.

Les coefficients de ruissellements calculés se situent dans les trois cas au-dessus de 0,90, c'est-à-dire que la presque totalité des apports est ruisselée, ce qui est souvent le cas des petits bassins versants. Le volume de crue ruisselé correspond au volume de crue des apports, pour un coefficient de ruissellement réaliste en de tels événements, dans les trois cas de CMP.

Figure 8.1
CMP de printemps (EMP + P100) – rivière Neigette

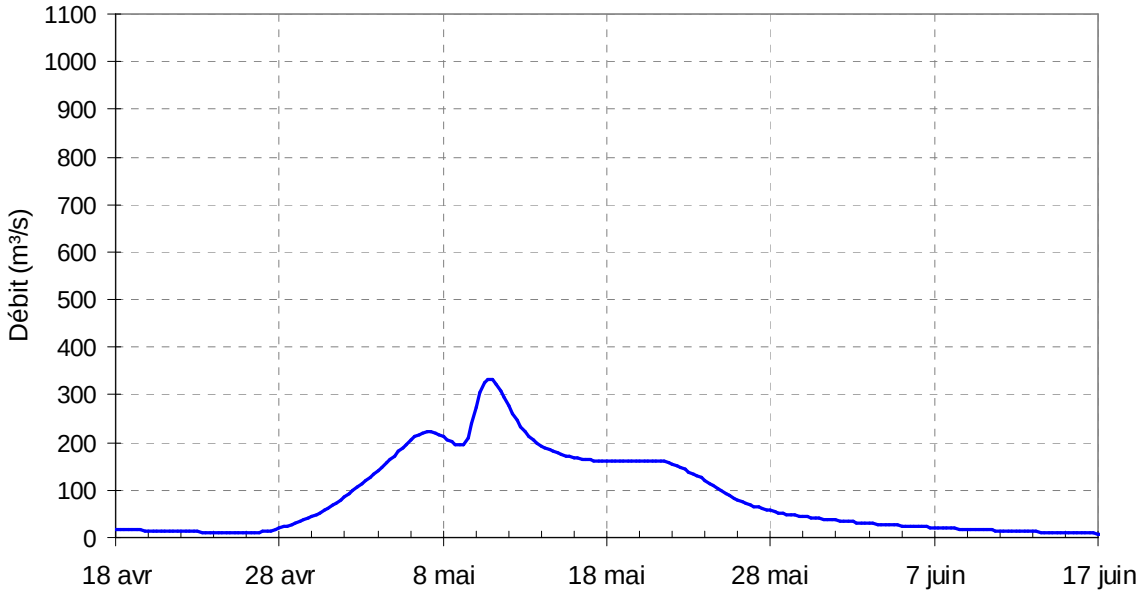


Figure 8.2
CMP de printemps (PMP + E100) – rivière Neigette

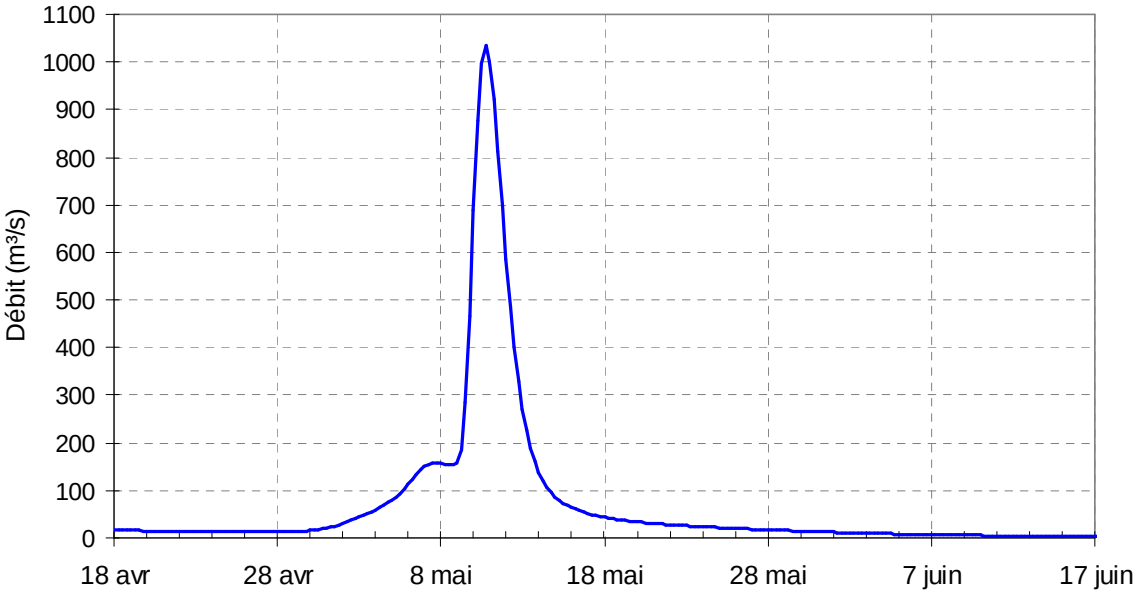
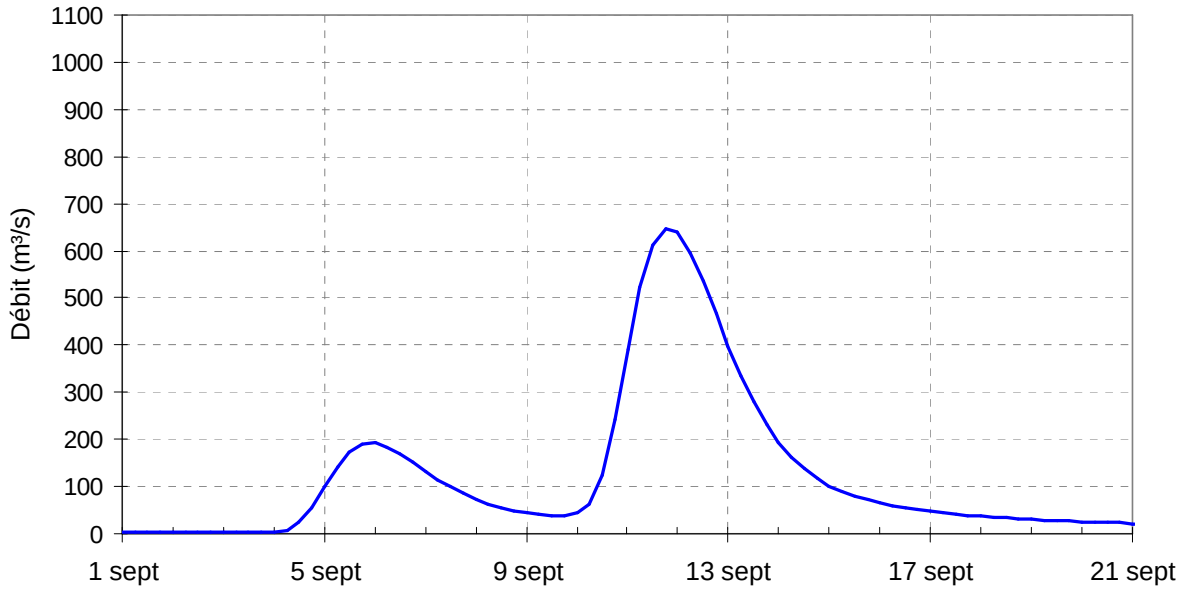


Figure 8.3
CMP d'été-automne – rivière Neigette



9 CALCUL DES CMP DE LA PETITE RIVIÈRE PÉRIBONKA

Le bassin de la Petite rivière Péribonka est situé entre les rivières Mistassibi et Péribonka au nord du Lac-Saint-Jean. Il est à l'état naturel et son comportement est semblable à celui des bassins voisins.

Toutes les étapes du guide méthodologique sont suivies et appliquées au fil des sections suivantes afin d'estimer les trois scénarios de CMP au site de la station hydrométrique, 200 m en amont de la route 169.

9.1 Rassemblement des données

9.1.1 Tracé du bassin

Le bassin versant couvre une superficie de 1 090 km² à la station hydrométrique. L'élévation du terrain varie entre 104 m et 550 m. La courbe hypsométrique est estimée grossièrement de la façon suivante :

Superficie	Élévation
0 %	104 m
15 %	150 m
50 %	325 m
85 %	500 m
100 %	550 m

Le bassin fait partie de la zone de transposabilité des tempêtes AGP, c'est à dire la zone associée à des tempêtes en provenance de l'Atlantique (A), des Grands Lacs (G) ou des Prairies. Le centre du bassin est près de la latitude 49º00' N.

9.1.2 Conditions hydrométéorologiques

Les valeurs des conditions hydrométéorologiques sont lues sur les planches 1 à 5 :

Condition hydrométéorologique	Planche	Estimation des valeurs
▪ PMP d'été-automne – 24 h –25 km²	1	344 mm,
▪ PMP de printemps – 24 h –25 km²	2	298 mm,

- P100 3 40 mm,
- EMP (équivalent en eau) 4 650 mm,
- E100 (équivalent en eau) 5 390 mm.

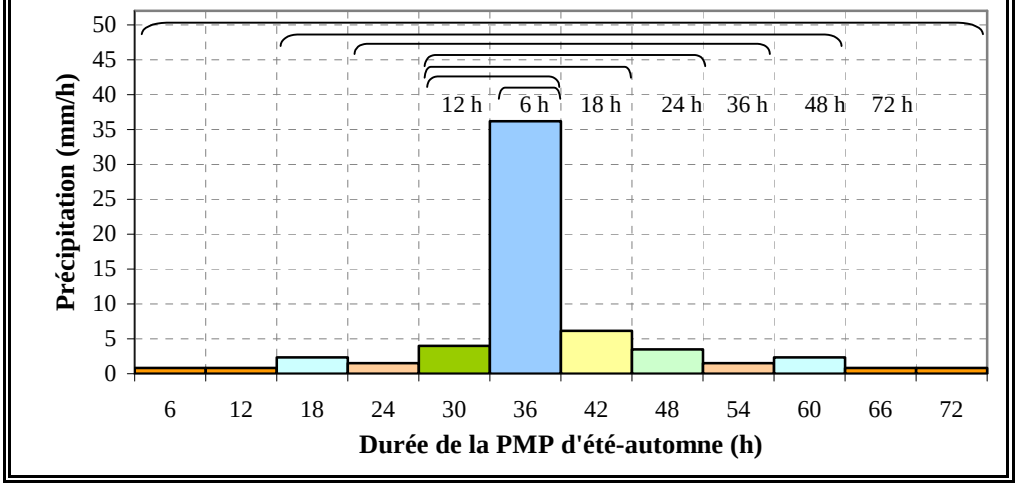
Les valeurs d'enneigement (EMP et E100) sont à inscrire directement dans les conditions initiales lors de la simulation des deux scénarios de CMP printanières. Pour ce qui est des valeurs de pluie, les hyétogrammes doivent être déterminés.

Hyétogramme de la PMP d'été-automne

Les facteurs de conversion qui permettent de calculer la hauteur de pluie pour différentes durées de précipitation au bassin sont obtenus au tableau 2.3. Le tableau 9.1 présente le hyétogramme de la PMP d'été-automne construit avec un pas de calcul de 6 heures.

Tableau 9.1
Construction du hyétogramme de PMP d'été-automne – Petite rivière Péribonka

durée totale	facteur de conversion tableau 2.3	pluie cumulative (mm)	incrément de pluie (mm)	intensité de la pluie (mm/h)	durée (h)
6 h	0,63	217	217	36,2	6 h
12 h	0,70	241	24	4,0	6 h
18 h	0,81	278	37	6,2	6 h
24 h	0,87	299	21	3,5	6 h
36 h	0,92	317	18	1,5	12 h
48 h	1,00	345	28	2,3	12 h
72 h	1,06	365	20	0,8	24 h

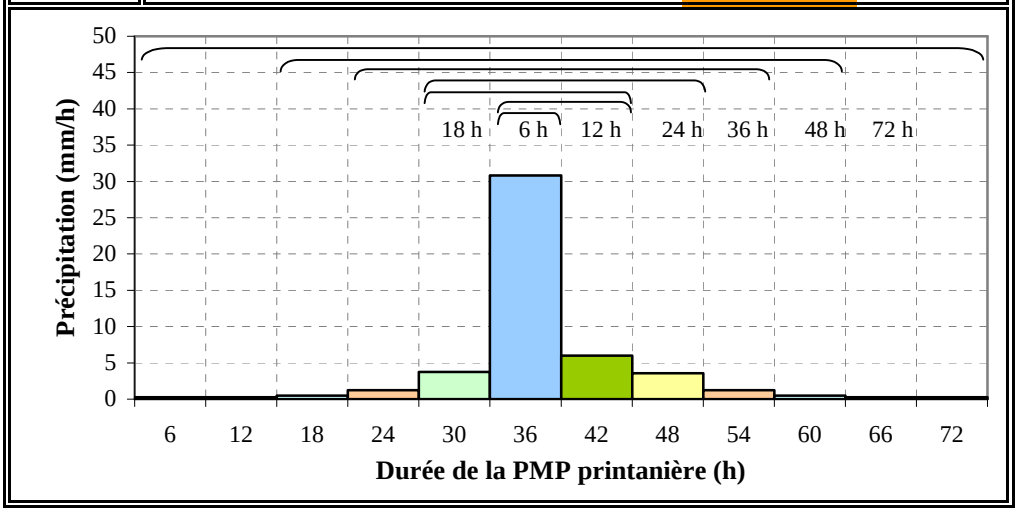


Hyétogramme de la PMP de printemps

Les facteurs de conversion qui permettent de calculer la hauteur de pluie pour différentes durées de précipitation au bassin sont aussi obtenus au tableau 2.3. Le tableau 9.2 présente le hyétogramme de la PMP printanière construit avec un pas de calcul de 6 heures.

Tableau 9.2
Construction du hyétogramme de PMP de printemps– Petite rivière Péribonka

durée totale	facteur de conversion tableau 2.3	pluie cumulative (mm)	incrément de pluie (mm)	intensité de la pluie (mm/h)	durée (h)
6 h	0,62	185	185	31	6 h
12 h	0,74	221	36	6,0	6 h
18 h	0,82	244	23	3,8	6 h
24 h	0,89	265	21	3,6	6 h
36 h	0,94	280	15	1,3	12 h
48 h	0,96	286	6	0,5	12 h
72 h	0,98	292	6	0,3	24 h



Hyétogramme de la P100

Les facteurs de conversion qui permettent de calculer la hauteur de pluie pour différentes durées de précipitation au bassin sont obtenus au tableau 3.1, région AGP. Le tableau 9.3 présente le hyétogramme de la PMP printanière construit avec un pas de calcul de 6 heures.

Le tableau 9.4 présente les trois hyétogrammes construits pour la Petite rivière Péribonka (PMP d'été-automne, PMP de printemps et P100).

Tableau 9.3
Construction du hyétogramme de pluie centennale – Petite rivière Péribonka

durée totale	facteur de conversion tableau 3.1	pluie cumulative (mm)	incrément de pluie (mm)	intensité de la pluie (mm/h)	durée (h)
6 h	0,69	27,6	27,6	4,6	6 h
12 h	0,84	33,6	6,0	1,0	6 h
18 h	0,93	37,2	3,6	0,6	6 h
24 h	**1,00**	**40,0**	2,8	0,5	6 h
36 h	1,06	42,4	2,4	0,2	12 h
48 h	1,08	43,2	0,8	0,1	12 h
72 h	1,10	44,0	0,8	0,03	24 h

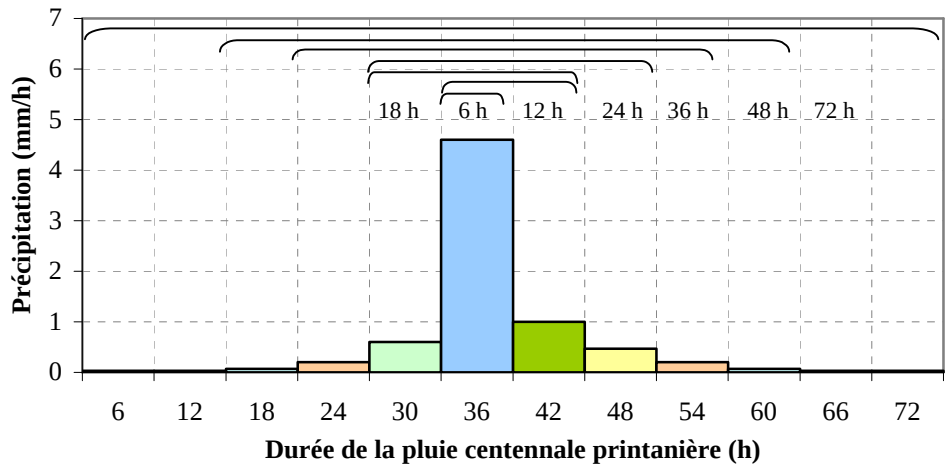


Tableau 9.4
Hyétogrammes des PMP et de la P100 – Petite rivière Péribonka

Pas de calcul	Hyétogrammes (mm)		
	PMP d'été-automne	PMP de printemps	P100
6 h	5	1,5	0,2
12 h	5	1,5	0,2
18 h	14	3,0	0,4
24 h	9	7,5	1,2
30 h	24	23	3,6
36 h	217	185	27,6
42 h	37	36	6,0
48 h	21	21	2,8
54 h	9	7,5	1,2
60 h	14	3,0	0,4
66 h	5	1,5	0,2
72 h	5	1,5	0,2
Total	365	292	44,0

Détermination du scénario critique de températures

La date de fin d'hiver (ou jour 0), estimée en fonction de la latitude du centre du bassin versant, est la suivante :

- Date de fin d'hiver = 2 avril + (49º - 45º) * 5 jours/degré = 22 avril.

Les valeurs de la première colonne du tableau 6.2 sont donc remplacées par les dates correspondantes.

9.1.3 Station hydrométrique

La station hydrométrique est la station 061801, avec une période de disponibilité des données allant d'octobre 1974 à septembre 1996. Les débits sont naturels, donc utilisés tels quels dans la calibration.

9.1.4 Stations climatologiques

Aucune station climatologique n'est présente sur le bassin. Deux stations sont disponibles à proximité des limites sud et ouest du bassin versant, et ce nombre est jugé satisfaisant vu la petite superficie du bassin, ce qui sera confirmé par la qualité de la calibration. Les stations climatologiques de Péribonka (station 7065960) et Notre-Dame-de-Lorette (station 7065667) sont utilisées.

Leurs périodes de disponibilité pour les données de précipitation totale et de température sont les suivantes :

- Péribonka : juin 1951 à aujourd'hui,
- Notre-Dame-de-Lorette : mai 1977 à novembre 1992.

Quelques données ponctuelles sont manquantes, elles ont été interpolées dans le cas des données de température, et complétées dans le cas des données de précipitation (les données de l'autre station sont utilisées).

9.1.5 Autres paramètres météorologiques

Selon l'Atlas hydrologique du Canada, les normales climatiques pour la Petite rivière Péribonka sont les suivantes :

- Normale de précipitation : 1000 mm,
- Normale d'évapotranspiration : 350 mm.

9.2 Choix de la période de calibration

La calibration des paramètres est effectuée sur une période de six années, de septembre 1979 à août 1985. Au cours de cette période, les données des deux stations climatologiques et de la station hydrométrique sont disponibles.

9.3 Choix du modèle pluie – ruissellement

Le modèle SSARR (version 8, 1991) est choisi pour la calibration du bassin de la Petite rivière Péribonka.

9.4 Calibration du modèle

La calibration est effectuée sur trois périodes consécutives de deux ans.

Pour la simulation de l'évolution du couvert de neige dans le bassin de la Petite rivière Péribonka, une seule bande d'élévation est définie (cette caractéristique est particulière au modèle SSARR, voir annexe C).

9.4.1 Vérification sommaire des premiers résultats

La vérification sommaire des données par la comparaison entre la lame d'eau ruisselée observée pour la période de calibration d'une part, et la différence entre la normale de précipitation et la normale d'évapotranspiration pour la région a confirmé que l'écoulement est naturel et que les paramètres physiques estimés sont représentatifs du bassin. Pour le modèle calibré, le détail des différentes vérifications effectuées est présenté au tableau 9.5.

9.4.2 Principales étapes de la calibration

Toutes les fonctions et tous les paramètres sont ajustés, au besoin, au cours des simulations successives. L'annexe C présente le détail de la calibration pour le modèle SSARR, tandis que l'annexe D présente les hydrogrammes observés et simulés sous forme graphique.

9.4.3 Qualité de la calibration

Les résultats obtenus pour les critères de mesure de la qualité de calibration sont présentés au tableau 9.6.

Tableau 9.5
Vérification sommaire des données – Petite rivière Péribonka

Vérification sommaire des données	
Vérification des précipitations (stations pondérées à 104,5%)	
Normale de précipitation pour la région (Atlas) :	**100 cm**
PCP - 1979/1981 (203,73 cm / 2 années)	101,9 cm
PCP - 1981/1983 (180,65 cm / 2 années)	90,3 cm
PCP - 1983/1985 (193,89 cm / 2 années)	96,9 cm
Les précipitations s'approchent de la normale de précipitation (période 2 faible)	
Vérification de l'évapotranspiration	
Normale d'évapotranspiration pour la région (Atlas) :	**35 cm**
ET + INTER - 1979/1981 (45,58 + 37,43 cm)/2 années	41,5 cm
ET + INTER - 1981/1983 (37,80 + 39,06 cm)/2 années	38,4 cm
ET + INTER - 1983/1985 (41,74 + 43,55 cm)/2 années	42,6 cm
Évapotranspiration près des normales	
Vérification du volume ruisselé (près des normales)	
Normale de précipitation - normale d'évapotranspiration (Atlas)	**65 cm**
Lame d'eau observée 1979/1981 (123,34 cm / 2 années)	61,7 cm
Lame d'eau observée 1981/1983 (119,15 cm / 2 années)	59,6 cm
Lame d'eau observée 1983/1985 (105,34 cm / 2 années)	52,7 cm
Volume ruisselé près des normales	

Vérification des volumes ruisselés calculé et observé	lame calculée,	observée
Lame d'eau annuelle - années 1979/1981 (122,87 cm / 2 années)	61,4	61,7 cm
Lame d'eau annuelle - années 1981/1983 (103,35 cm / 2 années)	51,7	59,6 cm
Lame d'eau annuelle - années 1983/1985 (107,02 cm / 2 années)	53,5	52,7 cm
Volumes calculé et ruisselé similaires		

Tableau 9.6
Qualité de la calibration – Petite rivière Péribonka

Période de calibration	**Critère de calibration**		
	Nash CN	Nash modifié CNM	Masses d'eau CM
sept. 1979 à août 1981	0,69	0,67	0,30%
sept. 1981 à août 1983	0,78	0,78	13,27%
sept. 1983 à août 1985	0,81	0,81	-1,57%
Sommaire	0,76	0,75	4,00%

La calibration est jugée satisfaisante, selon les critères de qualité et selon l'appréciation visuelle de l'hydrogramme simulé versus l'hydrogramme observé. Les critères de Nash donnent cependant des résultats un peu moins élevés que pour l'exemple de la rivière Neigette, ce qui s'explique par le fait que les deux stations climatologiques utilisées sont plus éloignées du bassin et sont surtout représentatives des pluies qui couvrent le sud-ouest du bassin versant.

Les paramètres ajustés et les résultats de calibration sont présentés à l'annexe D (bilan hydrique et graphiques des débits ruisselés calculés et observés pour les six années de calibration). L'annexe E présente les fichiers contenant les paramètres et les conditions initiales de modélisation pour le modèle calibré. L'annexe E présente aussi un fichier de départ type pour la calibration d'un bassin quelconque.

9.5 Validation de la calibration

La validation de la calibration du modèle, sur les autres années de disponibilité des données, confirme la qualité de la calibration, appuyée par les critères de Nash, le critère des masses d'eau et l'appréciation visuelle.

9.6 Préparation du modèle pour le calcul des CMP

Le modèle calibré est modifié, tel que décrit à la section 7.6. Puisque la CMP est estimée au site de la station hydrométrique, la même superficie que lors de la calibration est utilisée. Une seule station de données de température et une seule station de données pluviométriques sont utilisées, et les pondérations reliées à cette dernière sont mises à 100%. Les données de températures et les données pluviométriques sont inscrites dans des fichiers qui sont lus lors de la simulation.

Les conditions initiales imposées au début des simulations proviennent des résultats de la calibration, où les valeurs les plus fortes rencontrées sont choisies.

Pour les simulations des CMP, un pas de calcul de six heures est utilisé.

L'annexe F présente les fichiers de simulation, soit le fichier des caractéristiques du modèle et le fichier des conditions initiales. Vu leur volume, les fichiers de données de températures et de données pluviométriques ne sont pas présentés dans ce rapport, mais les données sont présentées graphiquement à l'annexe G, avec les résultats des simulations de CMP.

9.7 Calcul de la CMP d'été-automne

La CMP d'été-automne est simulée en utilisant la PMP d'été-automne, précédée de la demi-PMP. Puisque le bassin n'est pas régularisé par la présence d'un grand lac ou d'un réservoir,

seule la pointe de la CMP a un impact sur la sécurité des ouvrages; l'ajout d'une série de pluies saisonnières après la PMP n'est donc pas requis.

La figure 9.3 présente l'hydrogramme de crue d'été-automne pour la Petite rivière Péribonka.

9.8 Calcul de la CMP de printemps

Les deux scénarios de CMP de printemps sont simulés en utilisant la P100, dans le premier cas, puis la PMP dans le deuxième cas. Le scénario critique des températures est imposé dans les deux cas, mais les températures lors de la fonte ont dû être revues à la baisse dans le cas du scénario composé de la PMP et de l'E100, puisque le couvert de neige fondait avant la pointe de la pluie. L'enneigement est imposé dans le fichier des conditions initiales du modèle en utilisant l'EMP dans le premier cas, et l'E100 dans le deuxième cas.

La simulation de la CMP de printemps débute le 15 avril, une semaine avant la fin d'hiver et le début de la période de maturation. Au cours de la première semaine de simulation, 10 mm d'équivalent en eau du couvert de neige sont perdus par fonte, pour chacun des deux scénarios. Dans les conditions initiales, 10 mm d'équivalent en eau du couvert sont donc ajoutés à la valeur du couvert de neige pour compenser la fonte, pour un EMP imposé de 660 mm et un E100 imposé de 400 mm. Au début de la période de fonte, les valeurs calculée à la section 9.1.2 sont retrouvées, soit 650 mm et 390 mm.

Les figures 9.1 et 9.2 présentent les hydrogrammes de crue des deux scénarios de CMP printanières pour la Petite rivière Péribonka.

9.9 Validation des résultats

Résultats de simulation des CMP

Le tableau 9.7 présente un sommaire des résultats de CMP obtenus pour la Petite rivière Péribonka.

Tableau 9.7
Résultats de simulation des CMP – Petite rivière Péribonka

CMP	Résultats de simulation	
	Débit de pointe (m^3/s)	Volume de crue (hm^3)
CMP de printemps (EMP+P100)	525	615
CMP de printemps (PMP+E100)	1975	615
CMP d'été-automne (PMP)	1365	345

Note : Le débit de pointe correspond au débit moyen sur 6 heures (durée du pas de calcul).

Dans le cas de la CMP printanière, les deux scénarios de crue donnent des volumes similaires de plus de 600 hm^3. Le volume obtenu pour le scénario printanier composé de la PMP est cependant généré beaucoup plus rapidement, produisant un débit de pointe presque quatre fois plus important (1 975 m^3/s en moyenne sur une période de 6 heures).

La CMP d'été-automne génère un volume moins important que les CMP printanières mais montre un débit de pointe important, toutefois inférieur au débit de pointe pour la CMP printanière composé de la PMP (1 365 $m^3/s - 6_{heures}$).

Validation

Le tableau 9.8 compare les volumes de crue obtenus à l'aide du modèle SSARR aux volumes des apports sur le bassin versant de la Petite rivière Péribonka.

Tableau 9.8
Comparaison des volumes de crue - Petite rivière Péribonka

Crue	Volume (hm^3)		Coefficient de ruissellement
	des apports (pluie + neige)	ruisselé (simulation)	
CMP de printemps (EMP+P100)	750	615	0,82
CMP de printemps (PMP+E100)	750	615	0,82
CMP d'été-automne (PMP) [1]	560	450	0,80

[1] Le volume inclut la demi-PMP qui précède la PMP d'été-automne.

Les coefficients de ruissellements calculés se situent dans les trois cas au-dessus de 0,80, c'est-à-dire que la majeure partie des apports est ruisselée, ce qui est souvent le cas des petits bassins

versants. Le volume de crue simulé correspond au volume de crue calculé, pour un coefficient de ruissellement réaliste en de tels événements, dans les trois cas de CMP.

Figure 9.1
CMP de printemps (EMP + P100) – Petite rivière Péribonka

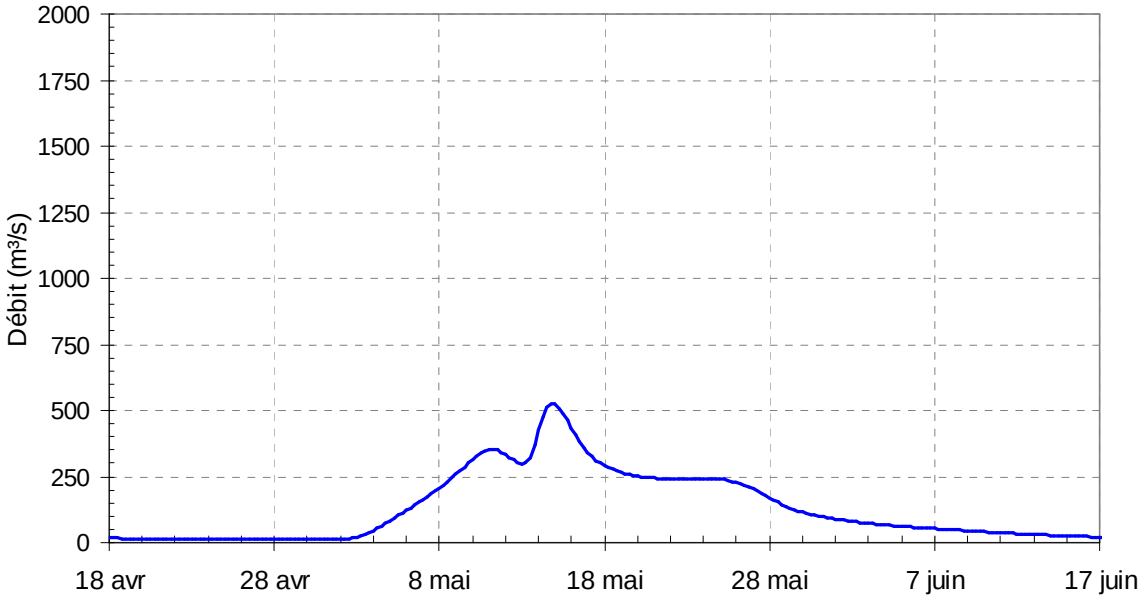


Figure 9.2
CMP de printemps (PMP + E100) – Petite rivière Péribonka

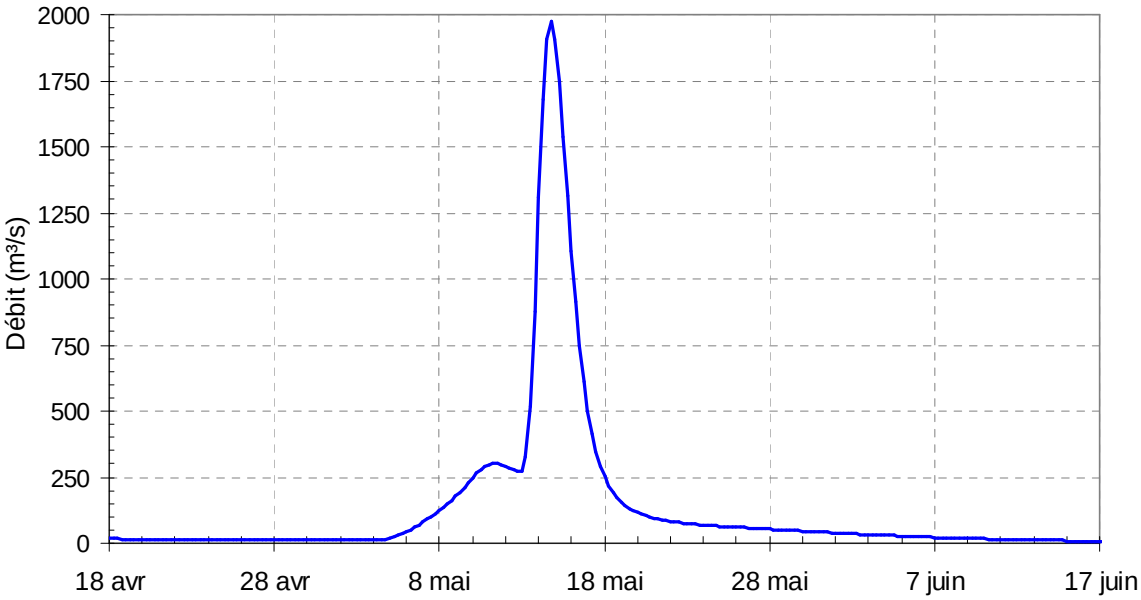
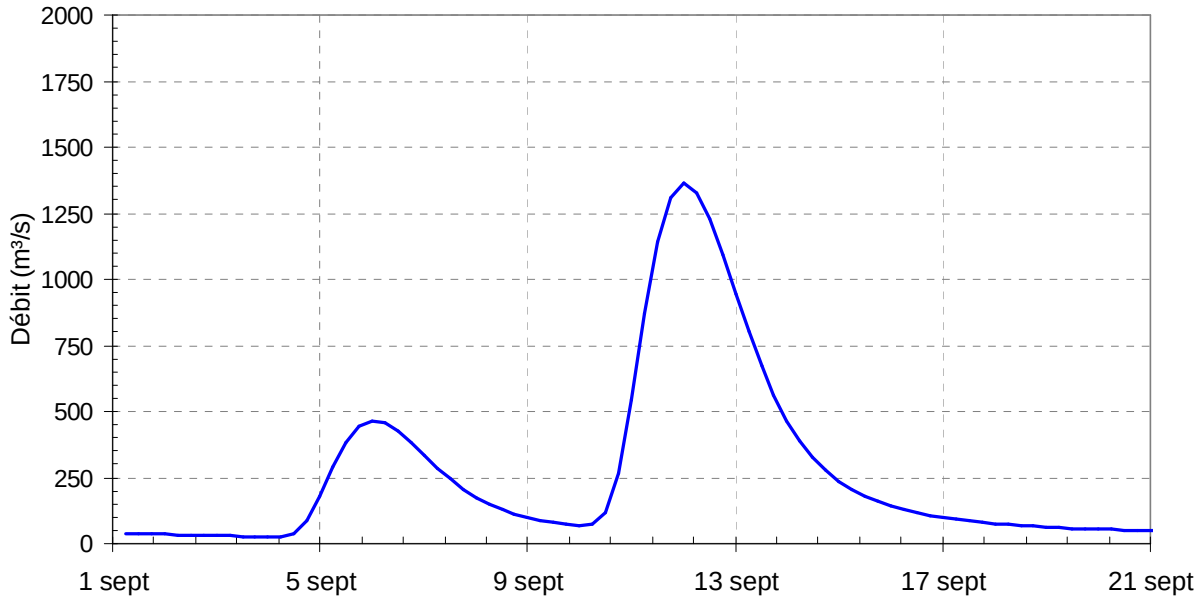


Figure 9.3
CMP d'été-automne – Petite rivière Péribonka



10 CONCLUSIONS

Le calcul des CMP de printemps requiert une étude hydrométéorologique visant à estimer les pluies de printemps (PMP ou pluie de récurrence de 100 ans) et les stocks de neige (enneigement maximal probable (EMP) ou couvert de neige de récurrence de 100 ans).

Cette étude portait sur la présentation des résultats de l'estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables au Québec ainsi que sur la présentation d'un guide de modélisation hydrologique d'un bassin versant dans le but de générer des hydrogrammes de crue maximale probable.

De plus, la présentation de deux exemples d'estimation des conditions hydrométéorologiques pour un bassin versant donné ainsi que la modélisation hydrologique de ces deux bassins versants en utilisant les conditions estimées ont permis de montrer les étapes de génération des hydrogrammes de CMP de façon concrète.

11 RÉFÉRENCES

Atria Engineering, *Probable Maximum Flood in Boreal Regions*, Préparé pour l'Association Canadienne d'Électricité, ACE nº 9111 G 839, Montréal (Canada), 1994.

BOSS Corporation, *BOSS HMR52*, Proprietary Software, Version 1.10, 1988.

Gouvernement du Québec, *Décret 300-2002, Loi sur la sécurité des barrages (2000, c.9)* Gazette officielle du Québec, Partie 2 – Règlements et autres actes, Québec, 134e année, nº 13-27 mars 2002, pp 2043-2067.

Hutchinson, M.F., *Anusplin*, version 4.0, Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies, Canberra (Australie), 2000.

Linsley, R.K., Kohler, M.A. et Paulhus, J.L.H., *Hydrology for Engineers*, *SI Metric Edition*, McGraw-Hill, Singapore, 1988.

OMM (Organisation météorologique mondiale), *Manual for estimation of probable maximum precipitation, Operational hydrology report no 1*, 2e édition du Secrétariat de l'OMM, no 332, Genève (Suisse), 1986.

National Weather Service, *Application of probable maximum precipitation estimates, United States east of the 105th meridian*, *NOAA Hydrometeorological Report no. 52*, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Washington, DC, 1982.

National Weather Service and Bureau of Reclamation, *Probable maximum precipitation, Pacific Northwest States*, *Hydrometeorological Report no. 57*, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, MD, 1994.

Newton, D.W., *Realistic Assessment of Maximum Flood Potentials*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, no 6, juin 1983.

Pêches et environnement Canada, *Atlas hydrologique du Canada*, Approvisionnements et services Canada, Ottawa, Canada, 1978.

Rockwood, D. et Kuehl, D., *Interactive Calibration for the SSARR Watershed Model*, 1993 Western and Eastern snow conference, Quebec City, Quebec, Canada, 1993.

SNC-Lavalin, *Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables (CMP) au Québec, Enneigement*, Division Énergie, Montréal, mars 2003.

SNC-Lavalin, *Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables (CMP) au Québec, Pluies*, Division Énergie, Montréal, août 2003.

SNC-Shawinigan, *Recommendations of the Expert Committee on the determination of a Realistic Scenario for Probable Maximum Flood on the St-Maurice River Basin*, Rapport préparé pour la direction Aménagements de Centrales, Service Hydraulique, Hydro-Québec, novembre 1992.

U.S. Army Corps of Engineers, *SSARR - User Manual*, North Pacific Division, Portland, Oregon, 1992.

Annexe A

Courbes enveloppe des PMP au « point 1 »
selon les 4 régions de transposition des tempêtes

Figure A.1 Courbes enveloppe des tempêtes de printemps A,G au « point 1 »

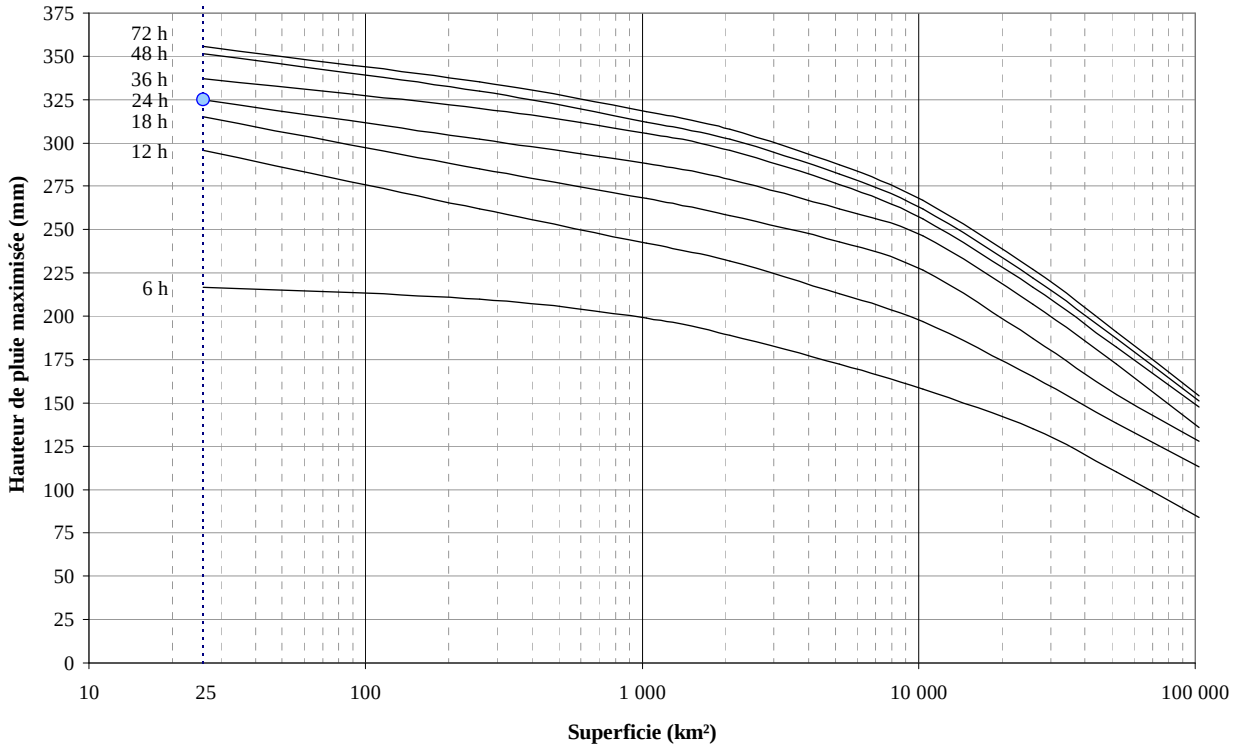


Figure A.2 Courbes enveloppe des tempêtes d'été-automne A,G au « point 1 »

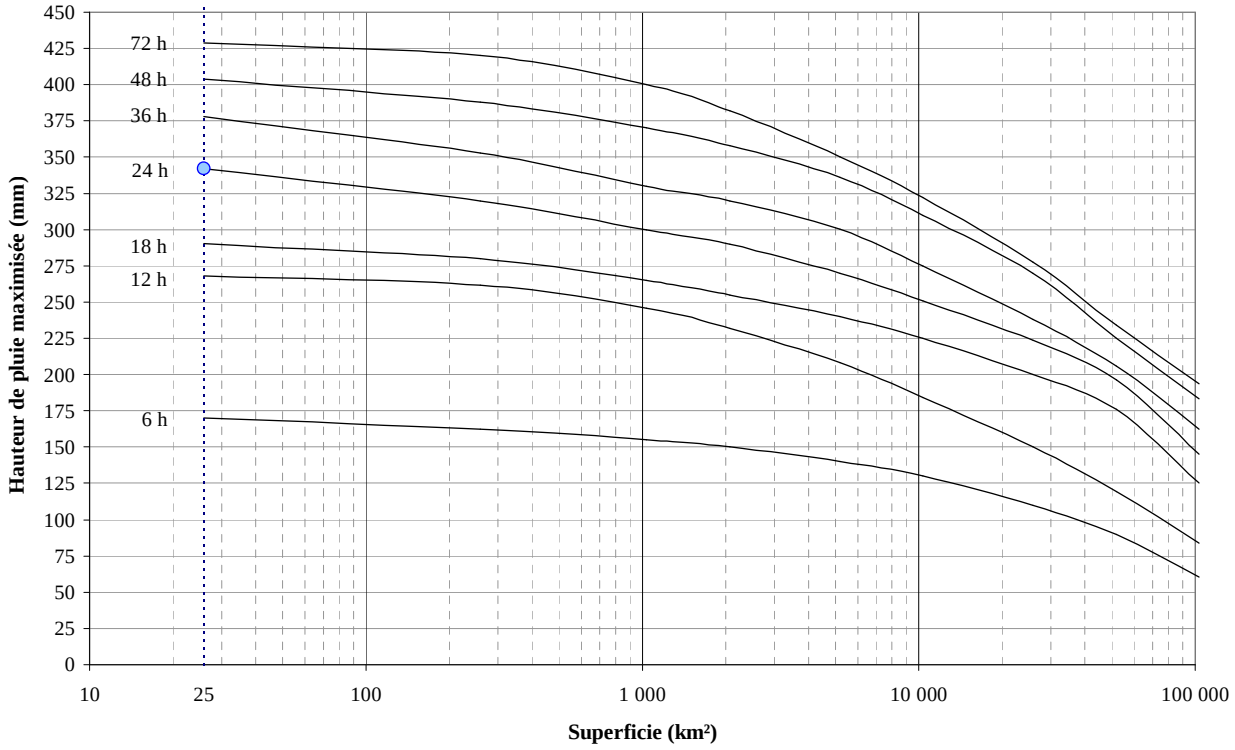


Figure A.3 Courbes enveloppe des tempêtes de printemps A,G,P au « point 1 »

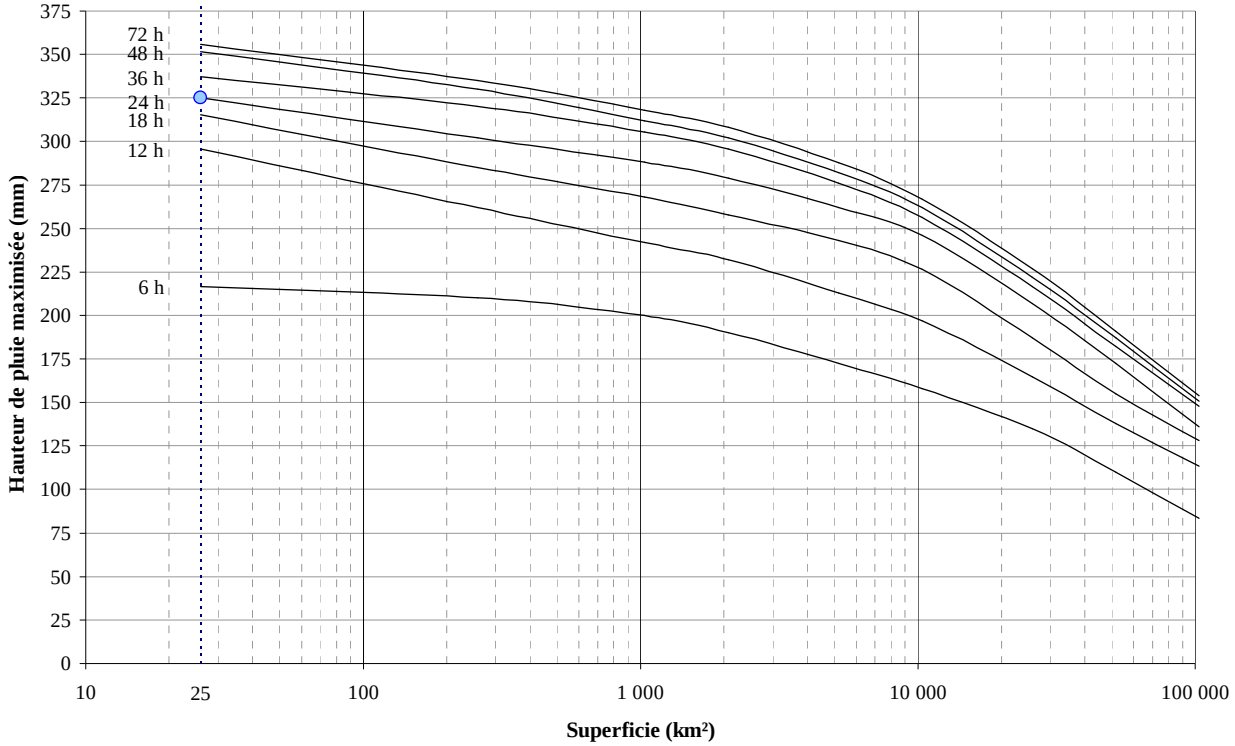


Figure A.4 Courbes enveloppe des tempêtes d'été-automne A,G,P au « point 1 »

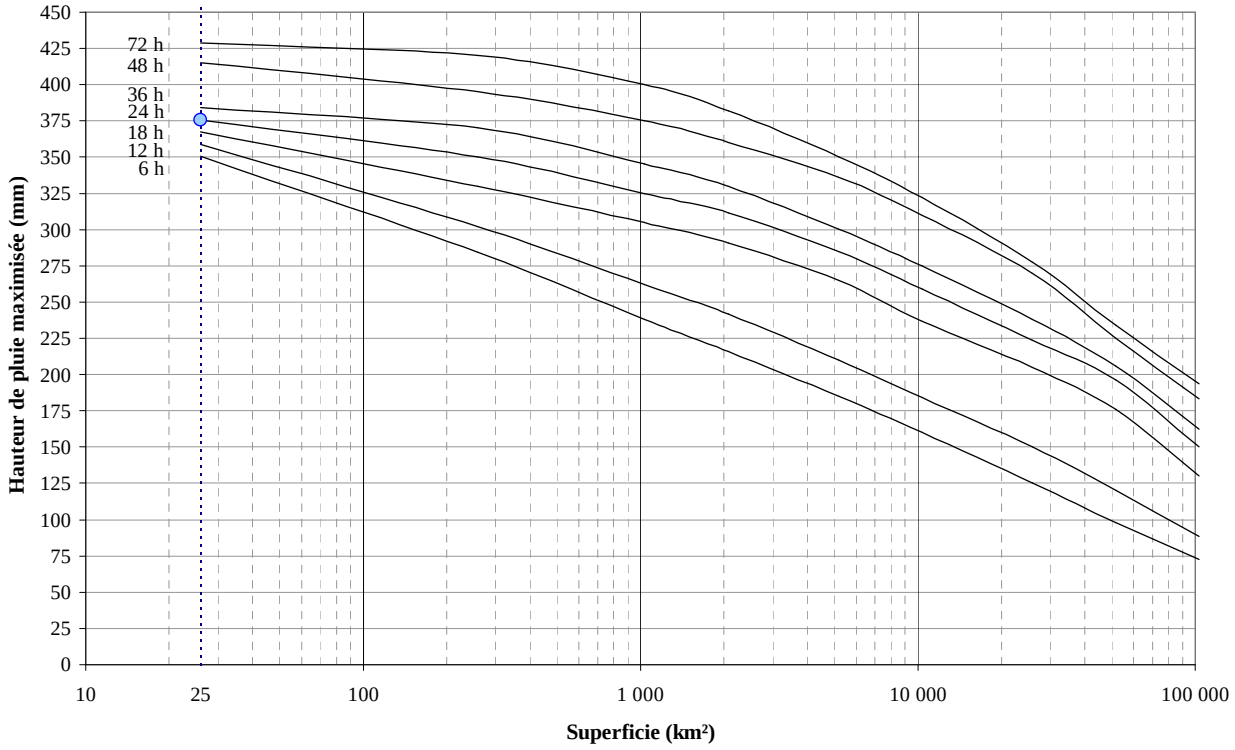


Figure A.5 Courbes enveloppe des tempêtes de printemps G,P au « point 1 »

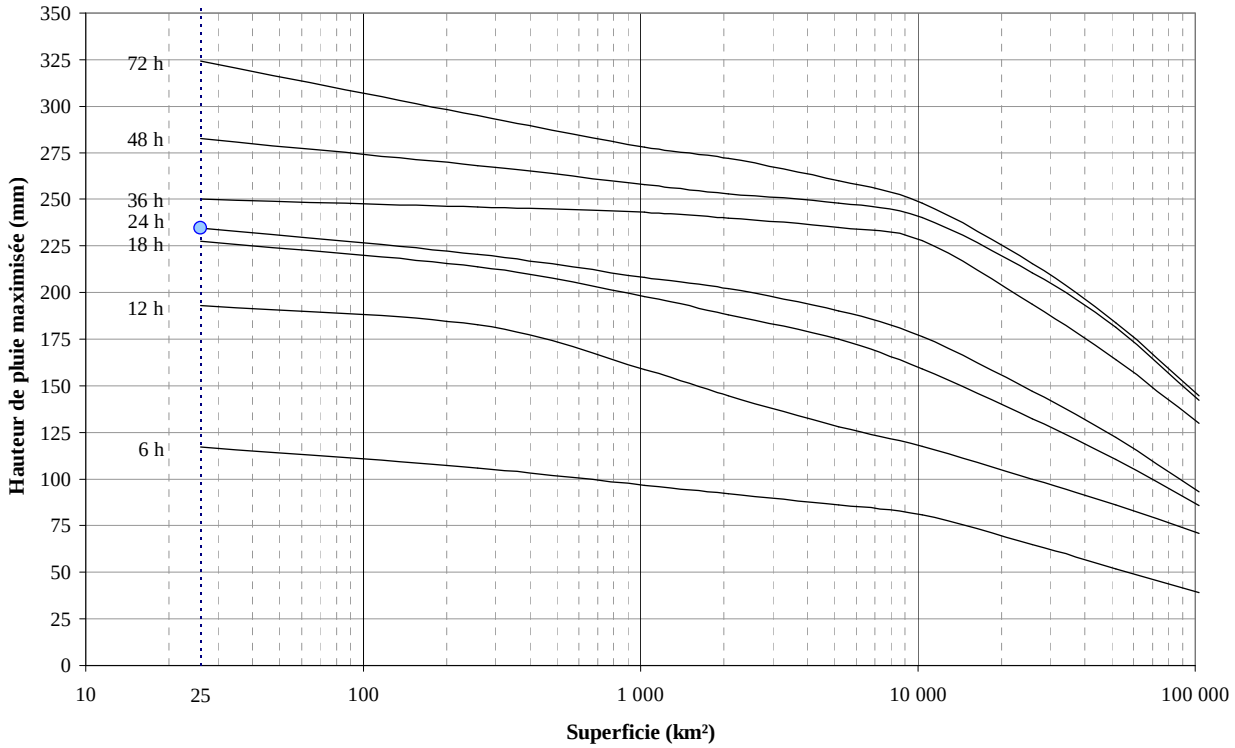


Figure A.6 Courbes enveloppe des tempêtes d'été-automne G,P au « point 1 »

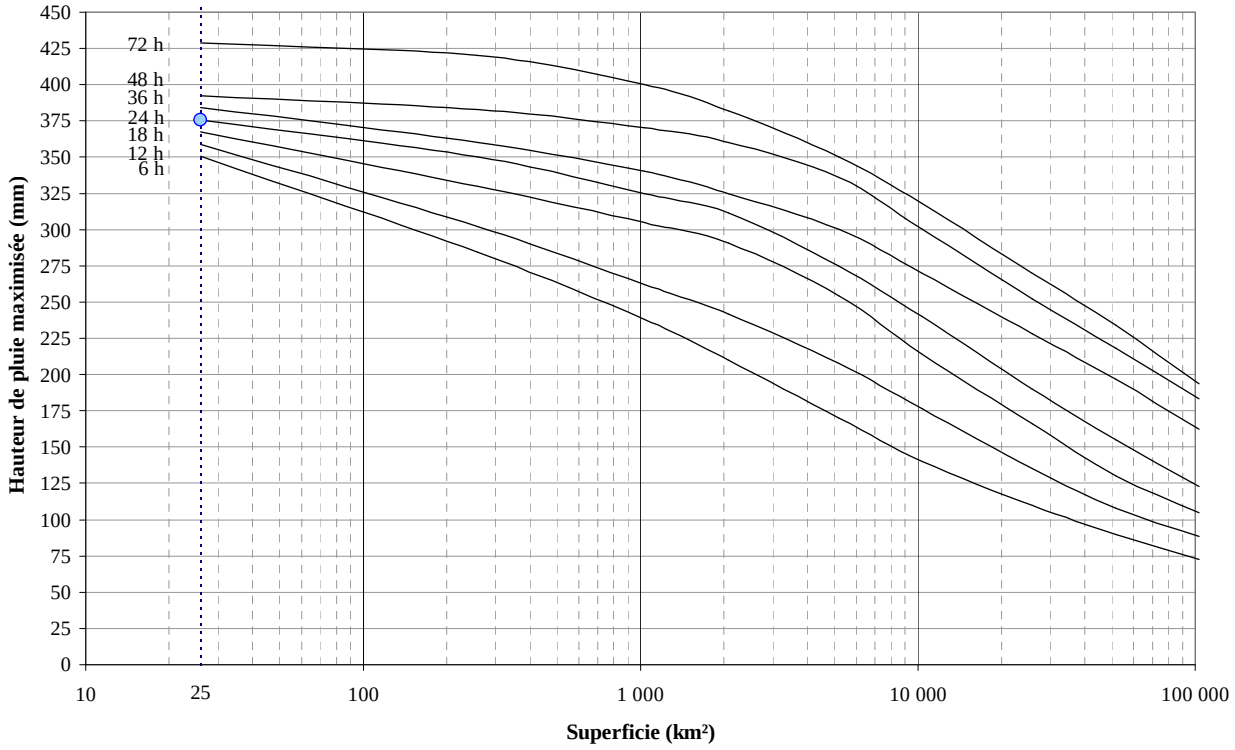


Figure A.7 Courbes enveloppe des tempêtes de printemps P au « point 1 »

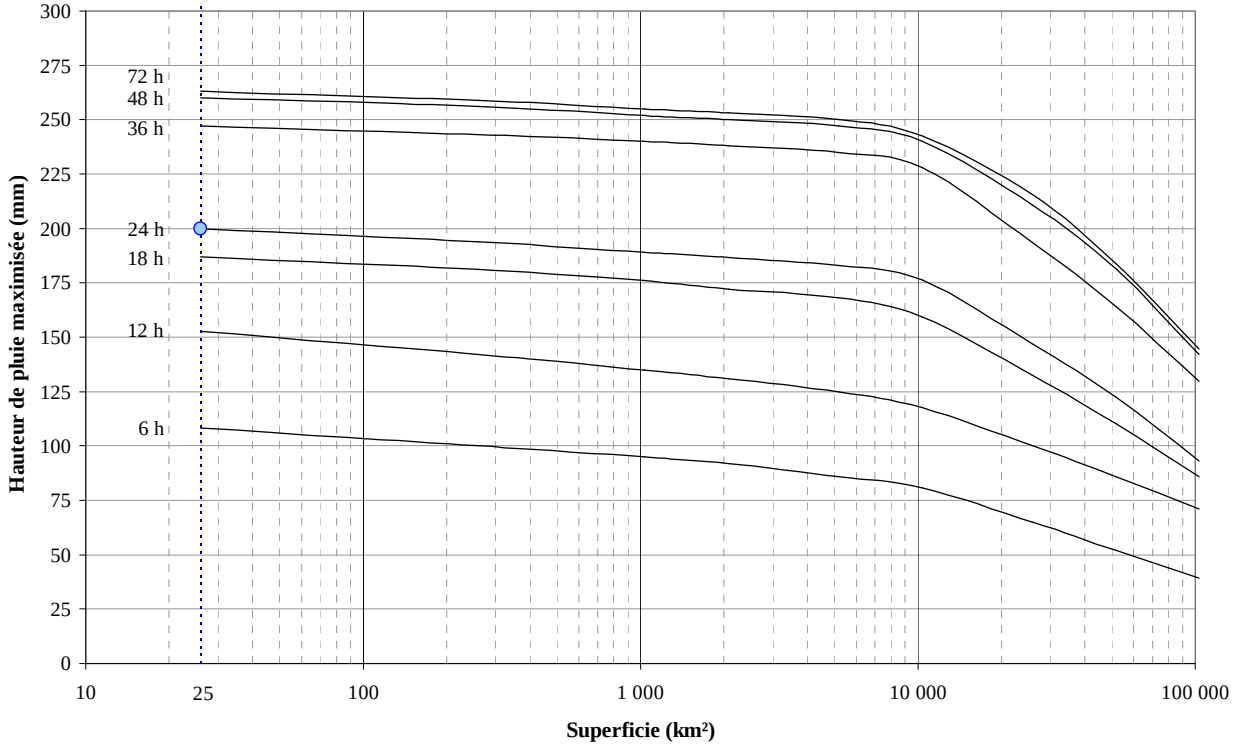
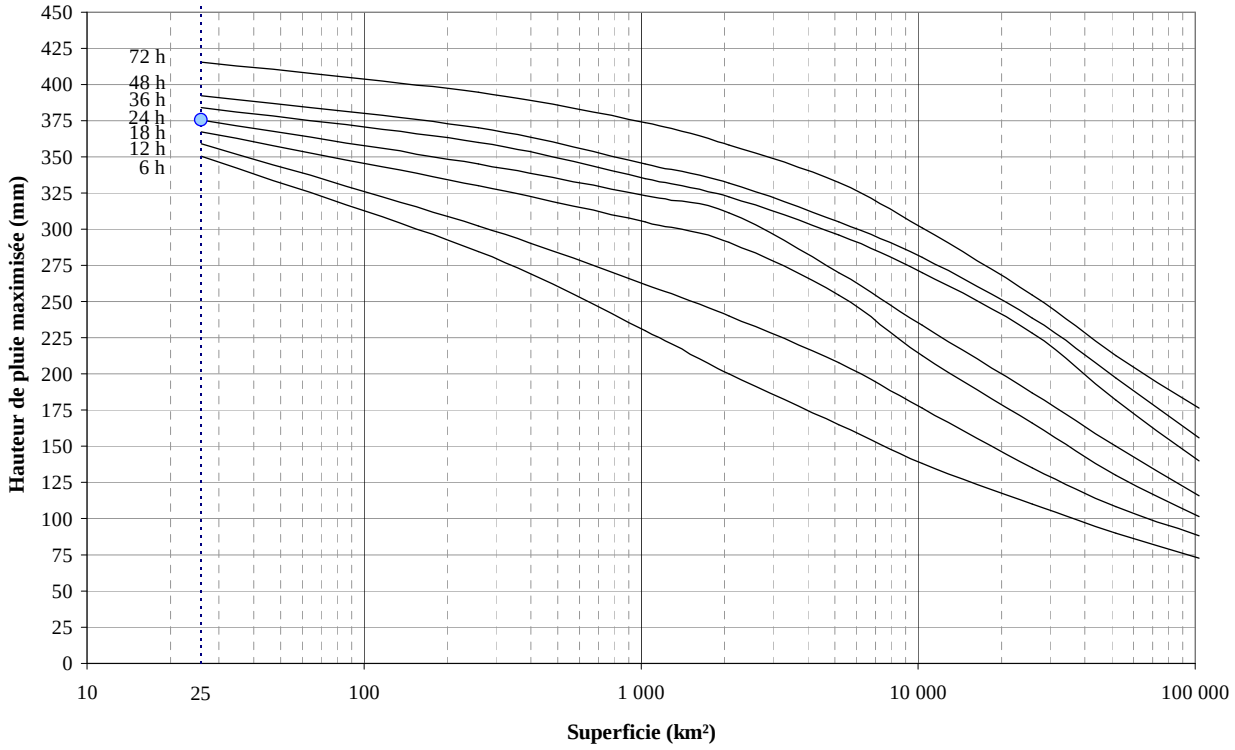


Figure A.8 Courbes enveloppe des tempêtes d'été-automne P au « point 1 »



Annexe B

Estimation du scénario critique des températures

Estimation du scénario critique des températures

La séquence de températures journalières lors de la fonte de la neige a une importance primordiale sur la CMP printanière. Parmi les phénomènes susceptibles de se produire, ceux conduisant au débit de pointe le plus élevé pour la CMP ont été retenus.

Cette annexe décrit la méthodologie suivie et les données utilisées pour l'élaboration des scénarios critiques printaniers de températures au Québec.

B.1 Méthodologie

Le scénario de températures a été établi à partir des données quotidiennes de températures (minimum, maximum et moyenne). Pour obtenir le scénario permettant de générer le débit de pointe sortant le plus élevé possible, il faut que le couvert de neige fonde sur une courte période et que la fin de cette fonte coïncide, dans le temps, avec la PMP. Il est donc nécessaire de déterminer la séquence de températures maximales susceptible d'être observée durant la période de fonte tout en respectant les conditions synoptiques pouvant se produire au moment de la crue maximale probable. De plus, afin que cette période de fonte soit la plus courte possible et que la CMP soit maximale, il est également préférable que la fonte soit tardive. Ceci implique que les températures maximales journalières, durant cette période, peuvent être plus élevées que si la crue se produisait tôt au printemps.

Le scénario critique de températures a été développé à partir des recommandations de l'OMM (1969) et du rapport du comité d'experts (SNC-Shawinigan, 1992).

B.2 Étapes du développement du scénario de températures

Le scénario critique de températures est composé d'étapes de nature différente qui se suivent chronologiquement. Ces étapes sont montrées au tableau B.1.

Tableau B.1
Étapes du scénario critique de températures

Étape	Période
Hiver froid	du 1er mars à la date de fin d'hiver
Maturation du couvert de neige	± 10 jours
Fonte	max. 8 jours
Période de dépression (pluie)	5 jours

Les modèles de simulation utilisés pour le calcul des crues maximales probables nécessitent des valeurs de températures maximales et minimales ou des valeurs de températures moyennes. Le scénario a donc été développé avec des températures maximales, minimales et moyennes.

B.2.1 Période de fin d'hiver

La période de fin d'hiver doit refléter les températures d'une fin d'hiver froid où aucune fonte n'est observée afin de conserver le manteau nival à son maximum. Cette date de fin d'hiver a été définie comme étant le dernier jour où la somme des degrés-jours est sous zéro. Ainsi, à chaque station, la date de fin d'hiver du scénario de températures a été déterminée à partir du 75e percentile de toutes les fins d'hiver trouvées dans l'historique des données. On remarque qu'entre 45 et 55 degrés de latitude, la date de fin d'hiver augmente de 5 jours par degré en allant vers le nord. Au 45e parallèle (frontière Québec - Etats-Unis), l'hiver finit aux alentours du 2 avril, tandis qu'au 55e parallèle (nord de la Baie-James), il finit le 22 mai, tel que montré à la figure B.1. Une analyse de sensibilité montre que cette date ne dépend pas de la longitude.

L'hiver le plus froid à n'importe quel endroit au Québec, est déterminé en cumulant les degrés-jours entre le 1er mars et la date de fin d'hiver, déterminée en fonction de la latitude, pour chaque année. Le ou les hivers dont la date de la dernière journée où la somme des degrés-jours est égale à zéro correspond à la date déterminée précédemment sont susceptible d'être utilisés dans la séquence critique de températures. Finalement, l'hiver dont les températures sont les plus froides est utilisé, afin de minimiser la fonte avant la date de fin d'hiver.

B.2.2 Période de maturation de la neige

Pour maximiser la fonte, il est nécessaire de faire mûrir le couvert de neige pendant quelques jours. Ainsi, la fin de l'hiver est suivie par une période de maturation du couvert caractérisée par des températures autour du point de congélation. Pour l'établissement du scénario de fonte, ces températures sont déterminées de façon aléatoire entre 1 °C et 3 °C. Cette période dure une dizaine de jours.

B.2.3 Période de fonte

La période de fonte se caractérise par une hausse importante des températures jusqu'à l'atteinte d'une pointe, puis par une chute de température associée à la dépression précédant l'événement de pluie. Cette période de fonte s'étale sur 8 jours.

La hausse importante des températures moyennes entraîne une fonte rapide du couvert de neige avant le début de la pluie. La séquence de la hausse des températures a été établie à partir des courbes enveloppe des températures moyennes journalières enregistrées à diverses stations au Québec. Ainsi, des courbes enveloppe des températures moyennes journalières pour des périodes de un, trois, cinq, sept, neuf et onze jours consécutifs ont été préparées.

La pointe de température est atteinte le 7ème jour de la période de fonte, qui correspond à la valeur enveloppe des températures moyennes pour cette date. Après cette pointe, on observe une baisse des températures moyennes pendant un ou deux jours. Il a été supposé que le passage de la dépression fait descendre la température aux environs de la température moyenne saisonnière.

B.2.4 Période de dépression

La séquence de températures durant la période de dépression doit refléter le plus fidèlement possible le comportement de la température moyenne à l'approche et au passage d'une dépression forte. D'une façon générale au Québec :

- la durée moyenne des dépressions observées au Québec est de cinq jours;
- la pointe de température coïncide habituellement avec la pointe de pluie.

La pointe de température se produit le troisième jour de la période. Pour avoir une valeur de pointe représentative d'une très forte dépression, la température du point de rosée estimée à partir de l'eau précipitable maximale de la période est utilisée. Pour les jours qui précèdent et suivent la pointe, les valeurs de températures moyennes journalières sont utilisées.

Les températures maximale et minimale de la période de dépression ont été évaluées de façon à refléter le passage d'une dépression. Ainsi, pour représenter la saturation le jour de la pointe de pluie, l'écart entre la température moyenne et les deux extrêmes est minimal. L'écart augmente ensuite graduellement durant les jours suivants jusqu'à atteindre l'écart moyen journalier du mois en cours.

B.2.5 Période après le passage de la dépression

Comme le scénario de températures après le passage de la dépression a peu d'influence sur la pointe de la crue, la moyenne des températures journalières observées est utilisée. Dans le cas où la fonte ne serait pas terminée après la période de pluie, les températures peuvent être augmentées de quelques degrés (1 à 3 degrés) dans la semaine qui suit (à partir du jour 24 du scénario critique).

B.3 Modification du scénario de températures

Le scénario de températures développé est modifiable. Lors des simulations de crue maximale probable, ce scénario pourra être changé afin de produire une fonte printanière maximale. Pour faire fondre tout le couvert de neige au sol (EMP ou E100), il est possible de :

- devancer ou retarder la date de fin d'hiver ;
- allonger ou raccourcir la période de maturation du couvert de neige ;
- raccourcir la période de fonte du couvert de neige.

Il n'est pas recommandé, d'un point de vue météorologique, d'allonger la période de fonte puisque cette dernière est associée à un anticyclone, donc à une période sans pluie.

Si la date de fin d'hiver est retardée, les températures pour les journées ajoutées sont calculées de la même façon qu'à la section B.2.1.

Si la période de fonte ou la période de dépression doit être modifiée quant à ses dates, les températures de ces deux périodes doivent être modifiées en conséquence. Il est important de toujours respecter la succession des deux périodes. Par exemple, si la période de fonte est raccourcie de deux jours, la période de pluie doit aussi être devancée de deux jours, et vice-versa. Si la période de fonte est devancée (ou reculée), les températures quotidiennes doivent être diminuées (ou augmentées) en conséquence. Les nouvelles températures sont estimées à partir de la courbe enveloppe des températures quotidiennes moyennes à la station.

Si la période de pluie est devancée (ou reculée), les températures quotidiennes moyennes durant cette période doivent être diminuées (ou augmentées) à raison de 0,5 °C par semaine. Ces changements ont été estimés à partir des points de rosée maximums mensuels pour la région. De plus, il est important de respecter les écarts entre la température moyenne et la température maximale (et minimale) de façon à représenter le passage de la dépression.

Il est recommandé d'utiliser les mêmes écarts que ceux de la période de pluie du scénario original. Dans ce cas, il faut déplacer la période de fonte du même nombre de jours que la période de pluie, ou la raccourcir.

B.3.1 Transformation des températures moyennes en températures maximales et minimales

L'étude des données de températures à diverses stations au Québec montre que les écarts moyens entre les températures moyennes et les températures maximales ou minimales varient peu en fonction de la latitude. Ainsi, pour la transformation des températures moyennes en températures extrêmes, il suffira d'utiliser l'écart moyen des mois de mars à juin, soit 6 °C.

Les températures maximale et minimale de la période de pluie sont évaluées de façon à refléter le passage d'une dépression. Ainsi, pour représenter la saturation le jour de la pointe de pluie, l'écart entre la température moyenne et les deux extrêmes est minimal (1,0 °C). L'écart augmente ensuite graduellement durant les jours suivants jusqu'à atteindre l'écart moyen journalier du mois en cours.

B.4 Généralisation du scénario critique de températures

Des scénarios critiques de températures ont été élaborés pour des stations situées au nord, au centre et au sud du Québec. Ces scénarios ont ensuite été placés sur le même graphique, puis décalés dans le temps d'un nombre de jours équivalent à 5 fois le nombre de degrés qui séparent les stations, tel que montré à la section B.2.1. Ces scénarios sont montrés à la figure B.2. Ainsi, une séquence enveloppe des séquences critiques de températures a été créée.

Le scénario critique généralisé est exprimé en termes de température au jour x, et le jour 0 correspond à la date de fin d'hiver. Le tableau B.2 montre le scénario critique de températures sous forme de table.

Cette séquence de températures est conservatrice. Elle peut être modifiée à la baisse, à l'exception de la période de pluie qui ne doit pas être modifiée quant à ses températures et à sa durée. Si, lors de la simulation, le couvert de neige fond avant l'arrivée de l'événement de pluie, les températures pourront être diminuées en conséquence. Par contre, si le couvert de neige n'arrive pas à fondre au complet avant la date de la pluie, les températures ne pourront être augmentées artificiellement car on considère qu'il s'agit d'un scénario réaliste. Ce scénario peut s'appliquer n'importe où au Québec, en modifiant simplement la date de fin d'hiver.

Tableau B.2 Scénario critique de températures

Jour	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmoy (°C)
-75	-15,0	-3,0	-9,0
-74	-14,9	-2,9	-8,9
-73	-14,7	-2,7	-8,7
-72	-14,6	-2,6	-8,6
-71	-14,4	-2,4	-8,4
-70	-14,3	-2,3	-8,3
-69	-14,1	-2,1	-8,1
-68	-14,0	-2,0	-8,0
-67	-13,8	-1,8	-7,8
-66	-13,7	-1,7	-7,7
-65	-13,6	-1,6	-7,6
-64	-13,4	-1,4	-7,4
-63	-13,3	-1,3	-7,3
-62	-13,1	-1,1	-7,1
-61	-13,0	-1,0	-7,0
-60	-12,8	-0,8	-6,8
-59	-12,7	-0,7	-6,7
-58	-12,5	-0,5	-6,5
-57	-12,4	-0,4	-6,4
-56	-12,3	-0,3	-6,3
-55	-12,1	-0,1	-6,1
-54	-12,0	0,0	-6,0
-53	-11,8	0,2	-5,8
-52	-11,7	0,3	-5,7
-51	-11,5	0,5	-5,5
-50	-11,4	0,6	-5,4
-49	-11,2	0,8	-5,2
-48	-11,1	0,9	-5,1
-47	-10,9	1,1	-4,9
-46	-10,8	1,2	-4,8
-45	-10,7	1,3	-4,7
-44	-10,5	1,5	-4,5
-43	-10,4	1,6	-4,4
-42	-10,2	1,8	-4,2
-41	-10,1	1,9	-4,1
-40	-9,9	2,1	-3,9
-39	-9,8	2,2	-3,8
-38	-9,6	2,4	-3,6
-37	-9,5	2,5	-3,5
-36	-9,4	2,6	-3,4
-35	-9,2	2,8	-3,2
-34	-9,1	2,9	-3,1
-33	-8,9	3,1	-2,9
-32	-8,8	3,2	-2,8
-31	-8,6	3,4	-2,6
-30	-8,5	3,5	-2,5
-29	-8,3	3,7	-2,3
-28	-8,2	3,8	-2,2
-27	-8,1	3,9	-2,1
-26	-7,9	4,1	-1,9
-25	-7,8	4,2	-1,8
-24	-7,6	4,4	-1,6
-23	-7,5	4,5	-1,5
-22	-7,3	4,7	-1,3
-21	-7,2	4,8	-1,2
-20	-7,0	5,0	-1,0
-19	-6,9	5,1	-0,9
-18	-6,8	5,3	-0,7
-17	-6,6	5,4	-0,6
-16	-6,5	5,5	-0,5
-15	-6,3	5,7	-0,3
-14	-6,2	5,8	-0,2
-13	-6,0	6,0	0,0
-12	-5,9	6,1	0,1
-11	-5,7	6,3	0,3
-10	-5,6	6,4	0,4
-9	-5,4	6,6	0,6
-8	-5,3	6,7	0,7
-7	-5,2	6,8	0,8
-6	-5,0	7,0	1,0
-5	-4,9	7,1	1,1
-4	-4,7	7,3	1,3
-3	-4,6	7,4	1,4
-2	-4,4	7,6	1,6
-1	-4,3	7,7	1,7
0	-4,1	7,9	1,9
1	-4,0	8,0	2,0
2	-4,0	8,0	2,0
3	-4,0	8,0	2,0
4	-4,0	8,0	2,0
5	-4,0	8,0	2,0
6	-4,0	8,0	2,0
7	-4,0	8,0	2,0
8	-4,0	8,0	2,0
9	-4,0	8,0	2,0
10	-4,0	8,0	2,0
11	4,2	16,2	10,2
12	5,8	17,8	11,8
13	7,5	19,5	13,5
14	9,2	21,2	15,2
15	10,9	22,9	16,9
16	12,5	24,5	18,5
17	14,2	26,2	20,2
18	8,0	20,0	14,0
19	1,9	13,9	7,9
20	9,9	16,9	13,4
21	18,0	20,0	19,0
22	9,6	16,6	13,1
23	3,0	15,0	9,0
24	3,2	15,2	9,2
25	3,4	15,4	9,4
26	3,6	15,6	9,6
27	3,8	15,8	9,8
28	4,0	16,0	10,0
29	4,1	16,1	10,1
30	4,3	16,3	10,3
31	4,5	16,5	10,5
32	4,7	16,7	10,7
33	4,9	16,9	10,9
34	5,1	17,1	11,1
35	5,3	17,3	11,3
36	5,5	17,5	11,5
37	5,7	17,7	11,7
38	5,9	17,9	11,9
39	6,1	18,1	12,1
40	6,2	18,2	12,2
41	6,4	18,4	12,4
42	6,6	18,6	12,6
43	6,8	18,8	12,8
44	7,0	19,0	13,0
45	7,2	19,2	13,2

Fin de l'hiver

Maturation

Fonte

Pluie

Dépression

Figure B.1 Variation de la date de fin d'hiver en fonction de la latitude

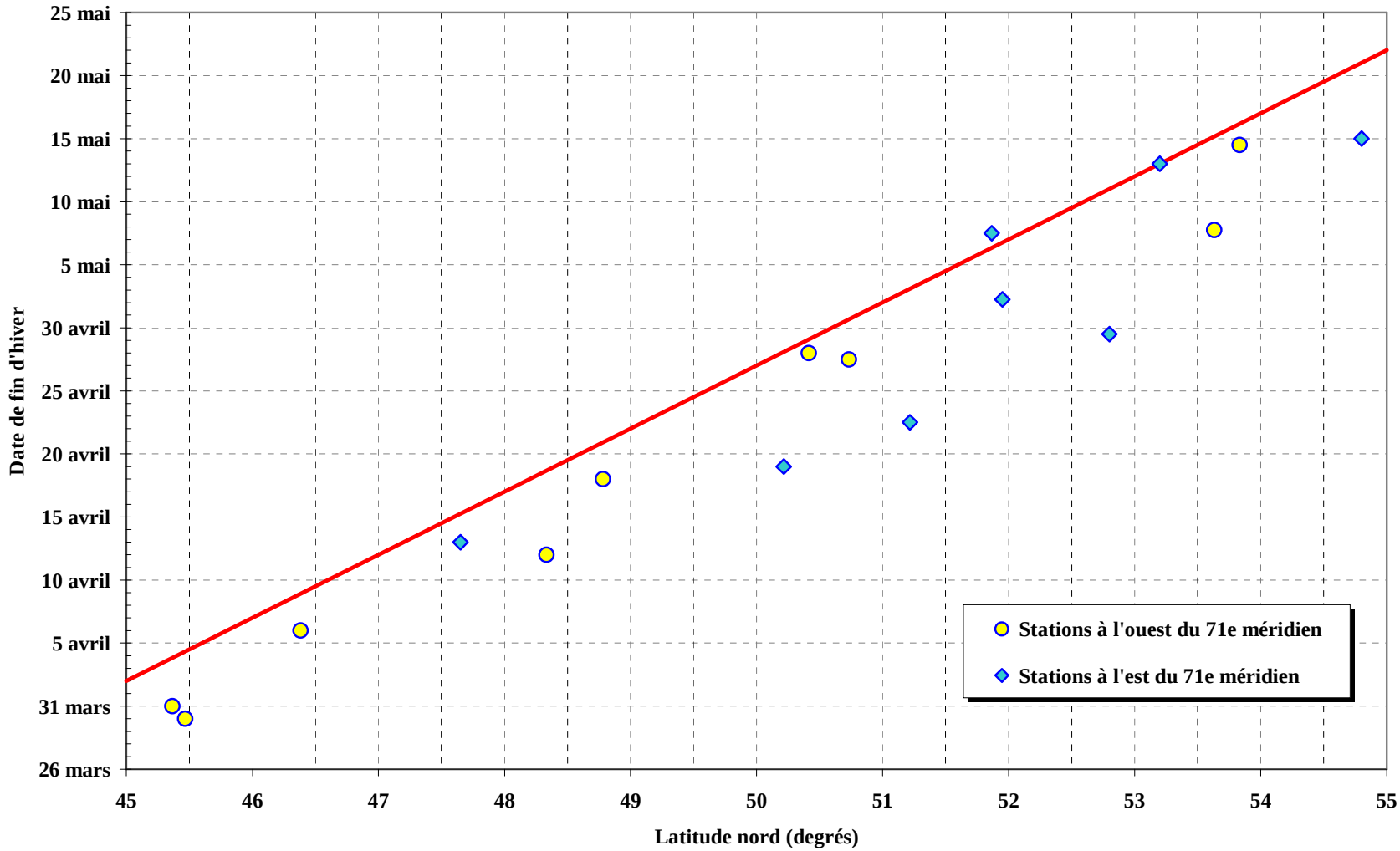
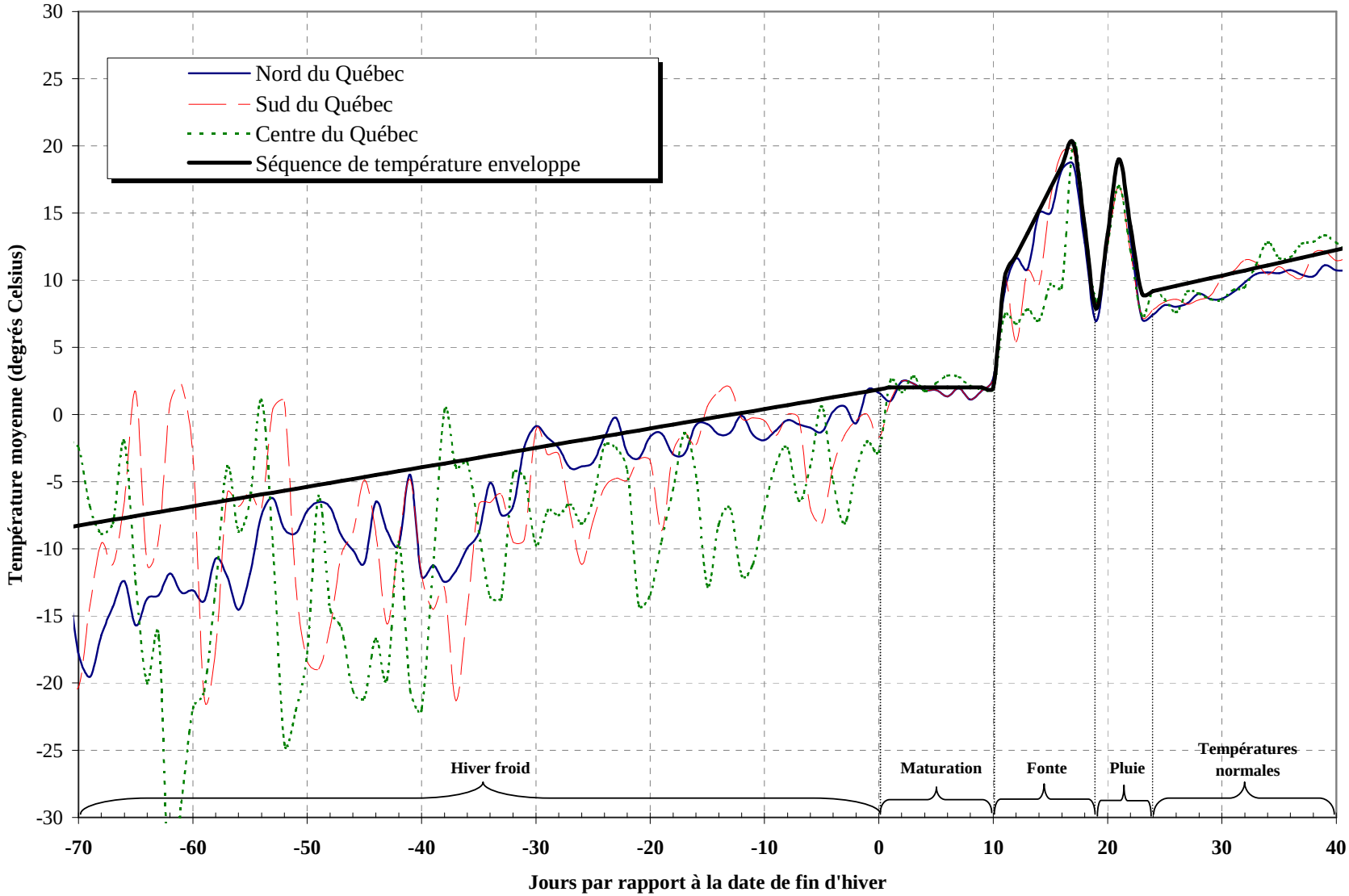


Figure B.2 Scénario critique de températures moyennes



Annexe C

Calibration – modèle SSARR

Calibration du modèle SSARR

Le modèle utilisé pour la simulation hydrologique des deux bassins utilisés comme exemple dans ce rapport est le modèle SSARR.

Le modèle SSARR

SSARR est un modèle mathématique hydrologique de type déterministe qui permet de:

- simuler les débits d'un bassin à partir des données de précipitation, de température et du couvert de neige. L'accumulation et la fonte de la neige sont simulées par le programme;
- laminer les débits à travers les cours d'eau et dans les lacs;
- simuler la régularisation du débit par les réservoirs.

Les plus récentes versions de SSARR proposent deux choix de modèles pour la simulation de l'évolution du couvert de neige :

- le «*depletion curve watershed model*»;
- le «*snowband watershed model*».

Ce dernier, plus récent, permet de simuler l'accumulation et la fonte de la neige sur une base continue; il a été retenu pour illustrer la simulation des débits dans la présente étude.

Un schéma de l'algorithme de calcul du modèle SSARR est présenté à la figure C.1.

Étapes de modélisation hydrologiques avec le modèle SSARR

Les étapes suivantes sont détaillées pour le modèle SSARR :

- La calibration du modèle,
- La qualité de la calibration,
- La simulation d'un scénario de crue.

C.1 Calibration du modèle

La calibration d'un modèle hydrologique pour un bassin versant consiste à ajuster les paramètres et fonctions qui le gouvernent de manière à reconstituer un hydrogramme similaire à celui observé. La calibration des bassins est basée sur l'approche suggérée par Rockwood et Kuehl (1993) qui présente une technique en six étapes pour déterminer les principaux paramètres du bassin en limitant le nombre d'itérations requises. Ces six étapes se résument comme suit :

1. Choix des paramètres initiaux,
2. Normalisation de l'évapotranspiration simulée,
3. Normalisation du poids des stations pluviométriques,
4. Minimisation du décalage saisonnier entre le débit simulé et le débit observé,
5. Raffinement de la calibration à court terme.

C.1.1 Choix des paramètres initiaux

Les paramètres variables du bassin qui doivent être ajustés au cours de l'étape de calibration sont les suivants :

- paramètres météorologiques : évapotranspiration, interception, pondération des stations météorologiques, température de gel, seuil de fonte, gradient vertical de température, etc,
- paramètres hydrologiques : indice d'humidité du sol (SMI, *soil moisture index*), composantes de l'écoulement(nombre de phases d'écoulement et temps de stockage), indice d'infiltration du débit souterrain (BII, *base flow infiltration index*), pourcentage du ruissellement affecté à l'écoulement souterrain (BFP, *base flow percent*), taux de partage de l'écoulement de surface (RS) et de l'écoulement hypodermique (RSS), taux de fonte de la neige, caractéristiques de propagation (temps de parcours et laminage de l'écoulement), etc.

C.1.2 Normalisation de l'évapotranspiration simulée

L'évaluation de l'évapotranspiration permet de considérer les pertes dues à l'assèchement du sol. Cette étape de la calibration est importante puisque la simulation d'une évapotranspiration anormale ou très différente des normales peut avoir un impact important sur les autres facteurs. Cette normalisation est effectuée en imposant une relation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) en fonction de la température (t°) pour le bassin versant par la méthode de Thornthwaite (*U.S. Army Corps of Engineers*, 1956).

L'efficacité de la relation ETP - t° en fonction de la durée du jour est déterminée en suivant la procédure décrite dans le manuel SSARR. La normale d'évapotranspiration varie de 250 mm dans le nord-est du Québec au 55e parallèle, à 700 mm au sud du Québec (à Montréal).

C.1.3 Normalisation du poids des stations pluviométriques

Le poids des stations pluviométriques est ajusté de façon à ce que le total de précipitations sur le bassin corresponde à la normale publiée dans l'Atlas hydrologique du Canada. Initialement, une plus grande pondération est accordée à la station climatologique la plus rapprochée du centre du bassin versant étudié. Ce partage peut être déterminé par la méthode des polygones de Thiessen ou par jugement et essais successifs si la distribution des précipitations à l'une des stations est plus représentative des hydrogrammes observés sur le bassin étudié.

Dépendamment du relief du bassin versant, un gradient peut être imposé à la précipitation en fonction de l'altitude. Par exemple, des gradients variant entre 90% et 110% peuvent être utilisés. Cependant, la précipitation totale sur le bassin ne doit pas dépasser la normale pour la région.

Une fois la précipitation ajustée, il faut procéder au calage des relations d'efficacité de l'ETP et de l'interception. La somme de l'ETP et de l'interception annuelles correspond à la normale d'évapotranspiration pour la région. Les ajustements se poursuivent par tâtonnement jusqu'à ce que la lame d'eau annuelle observée soit comparable à la lame d'eau annuelle simulée par le modèle hydrologique.

Le partage de la quantité d'eau évapotranspirée et celle interceptée est subjectif si aucune information à ce sujet n'est disponible, puisque pendant que l'efficacité de l'ETP varie peu d'une même région géomorphologique, l'interception peut varier entre 10% et 20% de la précipitation annuelle (Lindsay et al., 1988). De plus, l'intensité de l'interception augmente graduellement lorsqu'on passe vers des régions d'une température plus chaude.

C.1.4 Minimisation du décalage saisonnier entre le débit simulé et le débit observé

Dans le modèle SSARR, l'écoulement sur le bassin se divise en quatre composantes regroupées en deux catégories principales, soit l'écoulement direct (écoulement de surface S et écoulement hypodermique SS) et l'écoulement souterrain (écoulement de base BF et écoulement dans les couches profondes LZ). Chacune de ces composantes d'écoulement possède des caractéristiques spécifiques et la somme des débits de chaque composante permet de représenter le comportement du bassin à l'exutoire tout au long de l'année. Par exemple, l'écoulement de surface réagit très rapidement et permet de représenter le débit de pointe après un orage alors que l'écoulement de base permet de représenter le débit en rivière durant l'hiver.

Les caractéristiques de chaque composante sont définies en fonction du nombre de phases (Nb) et du temps de stockage (T_S) par phase adoptée. Une augmentation du nombre de phases de stockage de l'écoulement de surface ou hypodermique accroît la durée de stockage et réduit la pointe de la crue. L'augmentation du temps de stockage réduit la pointe de la crue et crée un décalage entre les pointes de crue observées et simulées.

Le modèle offre la possibilité de déterminer le pourcentage du ruissellement affecté à l'écoulement souterrain (BFP, *base flow percent*) en fonction d'un indice d'infiltration de l'écoulement souterrain (BII, *base flow infiltration index*). Un accroissement de la valeur du BII a normalement pour effet de diminuer le pourcentage du ruissellement total alloué à l'écoulement souterrain.

Afin de minimiser le décalage saisonnier entre le débit simulé et le débit observé, les relations entre l'indice d'humidité du sol (SMI, *soil moisture index*) et le pourcentage d'écoulement (ROP, *runoff percent*), entre l'indice d'infiltration souterraine (BII) et le pourcentage d'écoulement souterrain (BFP), ainsi qu'entre la fonte à l'interface neige-sol et le mois sont ajustées. Le pourcentage de l'écoulement souterrain attribué aux couches profondes est aussi ajusté par tâtonnement au cours de cette étape jusqu'à ce que les étiages de fin d'hiver soient bien reproduits. Le but de ces ajustements est de minimiser les écarts entre les lames d'eau mensuelles simulées et celles observées.

Il est à noter que lorsque des changements sont apportés à tous ces paramètres, une variation dans le taux d'évaporation peut être observée. Par conséquent, les relations d'efficacité de l'ETP doivent être réajustées afin de correspondre à la normale climatique.

C.1.5 Raffinement de la calibration à court terme

Lors de cette étape de la calibration, des ajustements fins sont apportés au modèle, par tâtonnement, au fil des simulations, dans le but de minimiser les écarts entre les débits observés et ceux simulés par le modèle hydrologique lors d'événement pluvieux ou lors de la fonte printanière. Pour cela, le modèle SSARR permet la simulation simultanée de plusieurs clones du bassin, puis la visualisation sur un graphique unique des débits simulés par chacun de ces clones, auxquels sont superposés les débits observés.

Taux de partage de l'écoulement direct

L'écoulement direct est divisé en deux types d'écoulement, soit l'écoulement de surface (S) et l'écoulement hypodermique (SS). Des ajustements par tâtonnement sont apportés aux relations entre l'écoulement direct (SRO) et l'écoulement de surface (S).

De plus, le nombre de phases d'écoulement et leur temps d'entrée sont ajustés.

Taux de fonte de neige

Le taux de fonte de la neige dépend principalement de la température journalière de l'air, mais varie également en fonction de l'indice de température antécédente (AT) et les taux de fonte et de froid (MRCR, *melt rate, cold rate*). Les relations entre ces deux paramètres et l'indice de température sont ajustées.

Les seuils de gel et de fonte pour le bassin à l'étude sont aussi ajustés. Ces valeurs ont généralement tendance à être légèrement négatives vu le pas de temps souvent retenu pour la calibration de 24 heures. Les fluctuations horaires de la température permettent en effet d'envisager qu'il puisse y avoir fonte pendant les heures d'ensoleillement, même si la moyenne journalière (moyenne de la température maximale et de la température minimale de chaque jour) se situe par exemple à --1 °C. De plus, la température n'est généralement pas uniforme sur tout le bassin et d'autres facteurs, tels que l'exposition solaire, le vent, la nébulosité, influencent également le processus de fonte.

En général, la température de fonte varie de -1,0 à 0,0 °C, et celle de gel de -0,5 à 0,0 °C.

Gradient vertical de température

Le modèle utilise un gradient vertical de température pour calculer la température dans le bassin à une élévation spécifique. Le gradient vertical de température a un effet sur la distribution de la neige, sa fonte ainsi que sur l'évaporation. Toutefois, en raison de la différence d'altitude relativement faible entre le point le plus élevé et le point le plus bas d'un bassin au Québec, l'utilisation du gradient vertical de température n'a pas une influence importante sur les résultats. Le gradient moyen a été fixé à -0,0065 °C par mètre d'altitude, soit la valeur par défaut du modèle SSARR.

Caractéristiques de propagation

L'équation de propagation de l'écoulement reproduit le laminage de l'écoulement qui s'effectue entre deux points d'une rivière. Dans le présent guide de modélisation et pour les deux exemples de modélisation, l'hydrogramme d'un bassin unique est simulé et aucune propagation n'est requise. Cependant, dans le cas de la simulation hydrologique d'un complexe de réservoir, la propagation de l'écoulement d'un réservoir à un autre devra être modélisée.

C.2 Qualité de la calibration

Lors de la minimisation du décalage saisonnier (section C.1.5) et pour vérifier l'impact d'un ajustement sur l'hydrogramme simulé lors de l'étape de raffinement de la calibration (section C.1.6), les ajustements peuvent être appréciés visuellement ou par le calcul des critères numériques, vus à la section 7.4.3.

- Autres critères, relatifs au modèle SSARR :

  - l'indice de l'humidité du sol (SMI) oscille autour des mêmes valeurs au début et à la fin du cycle hydrologique annuel, de sorte que l'incrément de l'indice de l'humidité du sol tende vers 0 pour l'ensemble des années ayant servi à la calibration ;
  - la somme de l'évapotranspiration annuelle et de l'interception des précipitations se situe près de la normale d'évapotranspiration pour la région à l'étude ;
  - le bilan hydrique annuel calculé à partir des valeurs mensuelles permet de vérifier le bilan des quantités d'eau interceptées, évaporées, infiltrées et ruisselées.

C.3 Simulation d'un scénario de crue

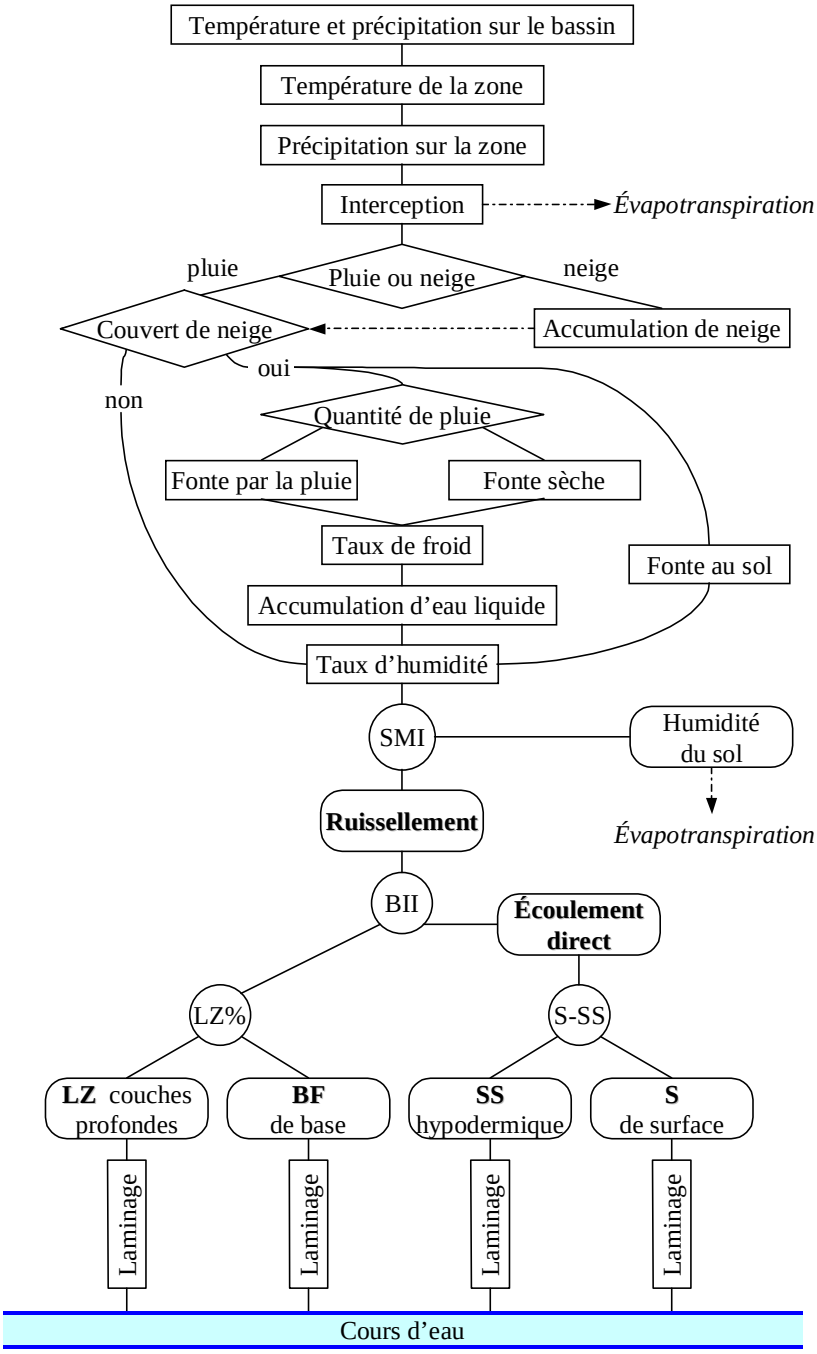
Pour la simulation d'un scénario de crue, les paramètres calibrés et validés précédemment demeurent les mêmes, à l'exception des ajustements suivants, seulement requis pour la calibration :

- Le poids des stations pluviométriques est mis à 100%,
- Les seuils de fonte et de gel sont remis à 0ºC,
- La pondération des précipitations en fonction de l'élévation (table XXXXEPP) mis à 100%.

Les données de température et de précipitation ainsi que les conditions initiales du modèle, qui dépendent du scénario de crue simulé, seront modifiées. Dans le cas des données de température et de précipitation, une seule station est utilisée.

Pour ce qui est des conditions initiales à définir, le débit dans chacune des phases d'écoulement de chacune des quatre couches d'écoulement, ainsi que certaines valeurs associées à chacune des bandes d'élévation, tel que le taux de ruissellement, le pourcentage de l'écoulement affecté à l'écoulement souterrain et l'équivalent en eau du couvert de neige (lorsqu'une crue de printemps est simulée) sont à définir. Ces valeurs peuvent être lues dans les fichiers de résultats de la calibration pour la période correspondant au début de la simulation d'un événement de crue. Les valeurs les plus fortes rencontrées devraient être utilisées.

Figure C.1
Schéma de l'algorithme de calcul du
« *snowband watershed model* » du modèle SSARR



Annexe D

Résultats de calibration

Figure D.1.1 - Calibration du modèle hydrologique – Rivière Neigette – année 1977 / 1978

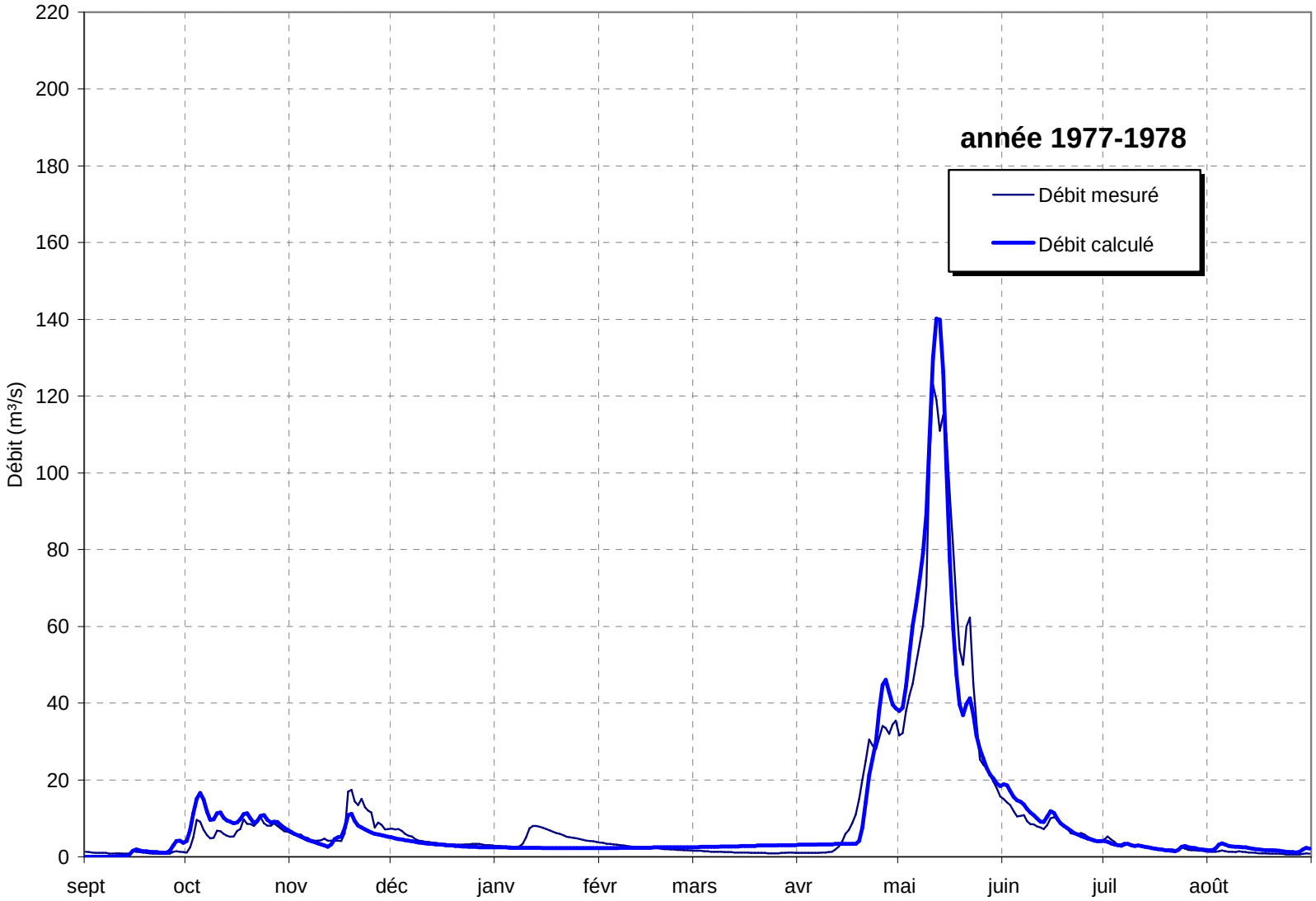


Figure D.1.2 - Calibration du modèle hydrologique – Rivière Neigette – année 1978 / 1979

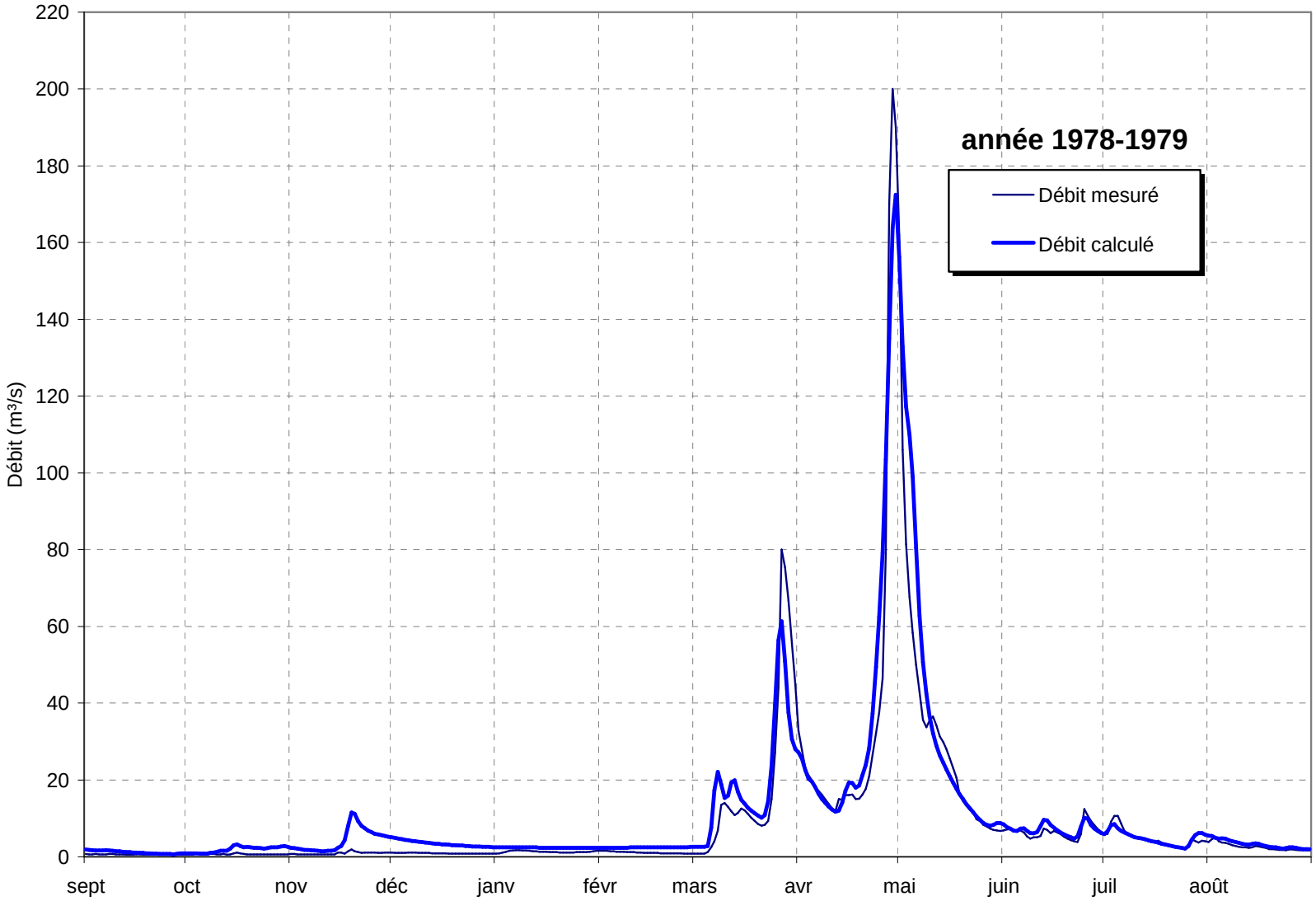


Figure D.1.3 - Calibration du modèle hydrologique – Rivière Neigette – année 1979 / 1980

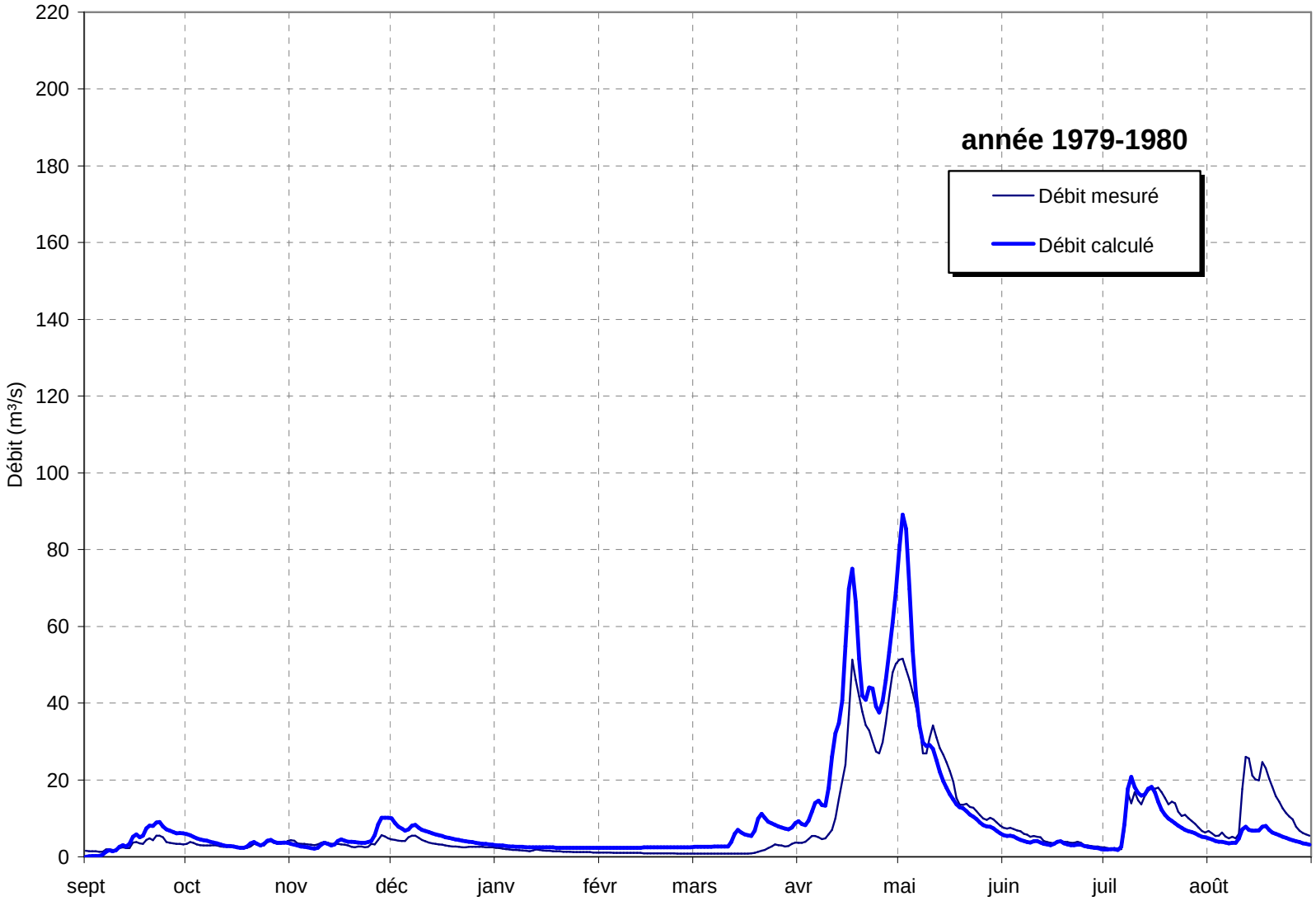


Figure D.1.4 - Calibration du modèle hydrologique – Rivière Neigette – année 1980 / 1981

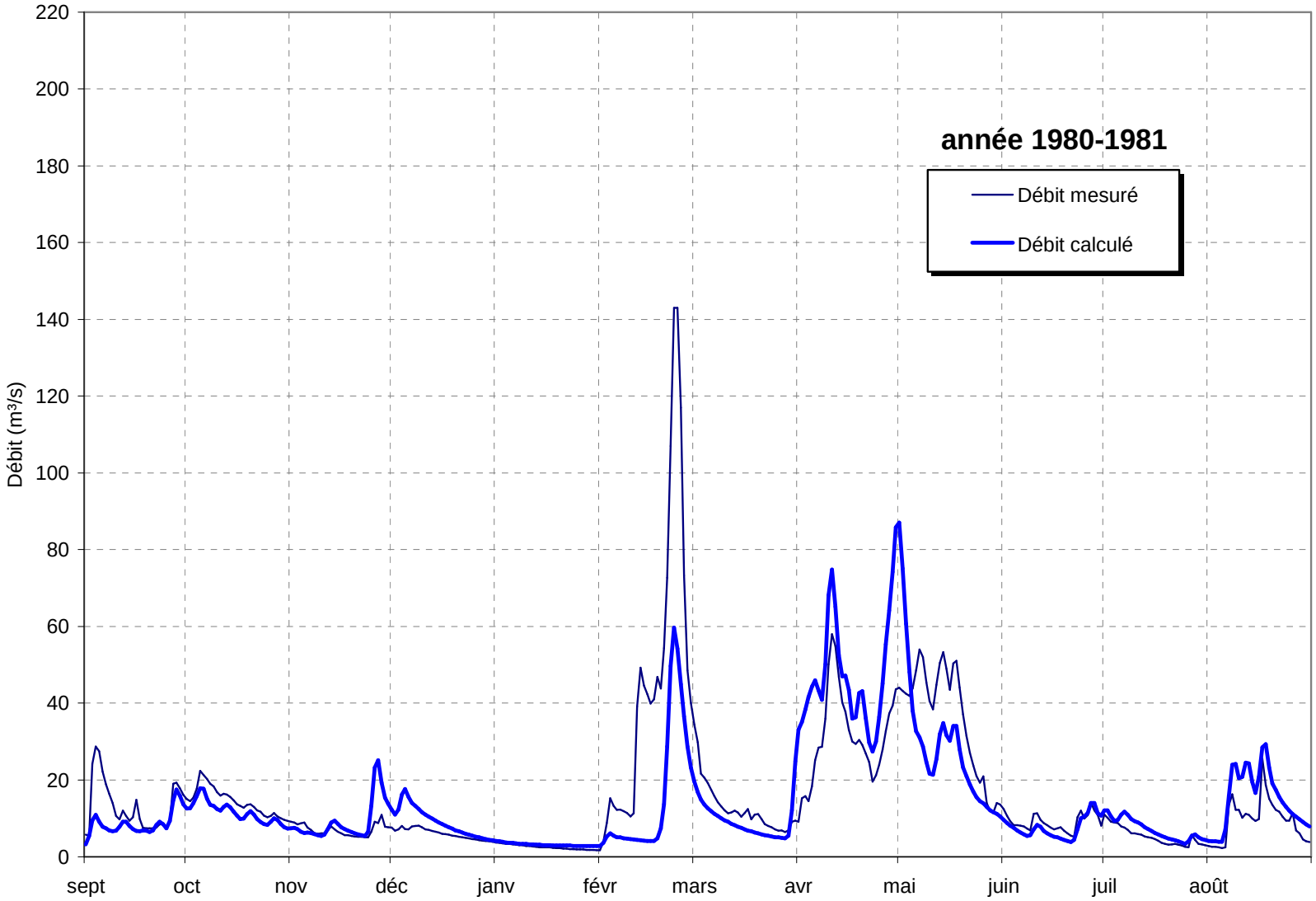


Figure D.1.5 - Calibration du modèle hydrologique – Rivière Neigette – année 1981 / 1982

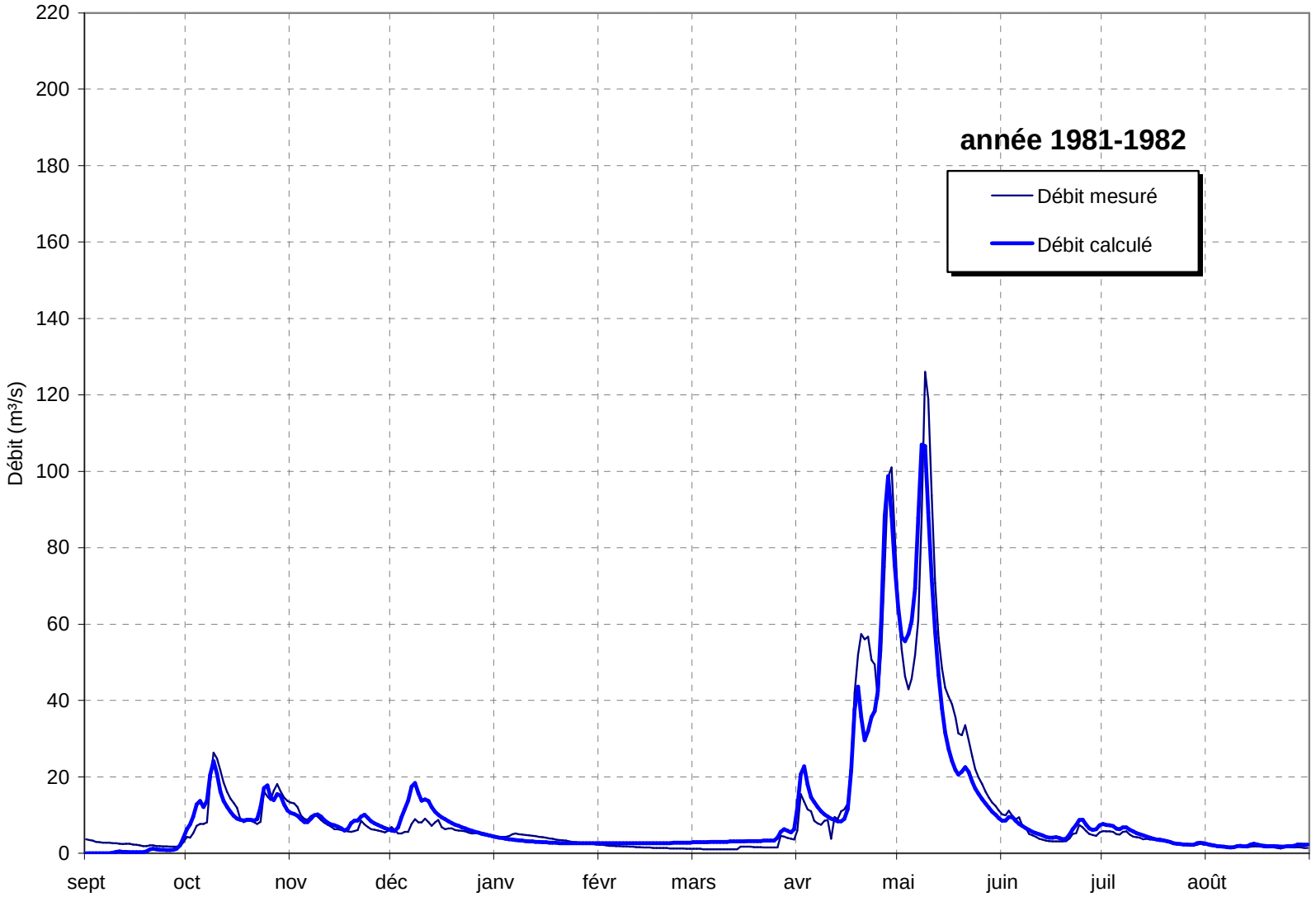


Figure D.1.6 - Calibration du modèle hydrologique – Rivière Neigette – année 1982 / 1983

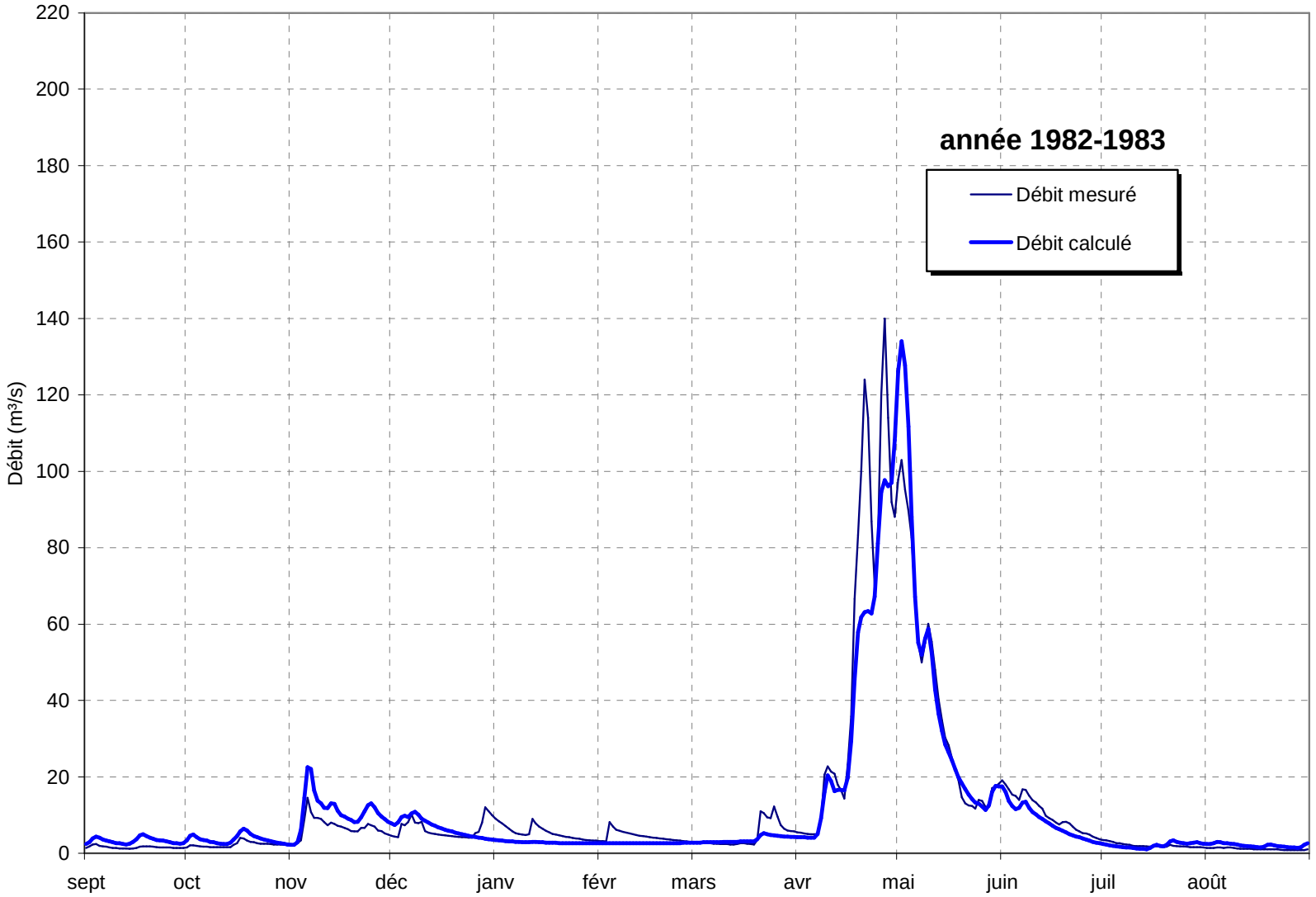


Figure D.2.1 - Calibration du modèle hydrologique – Petite rivière Péribonka – année 1979 / 1980

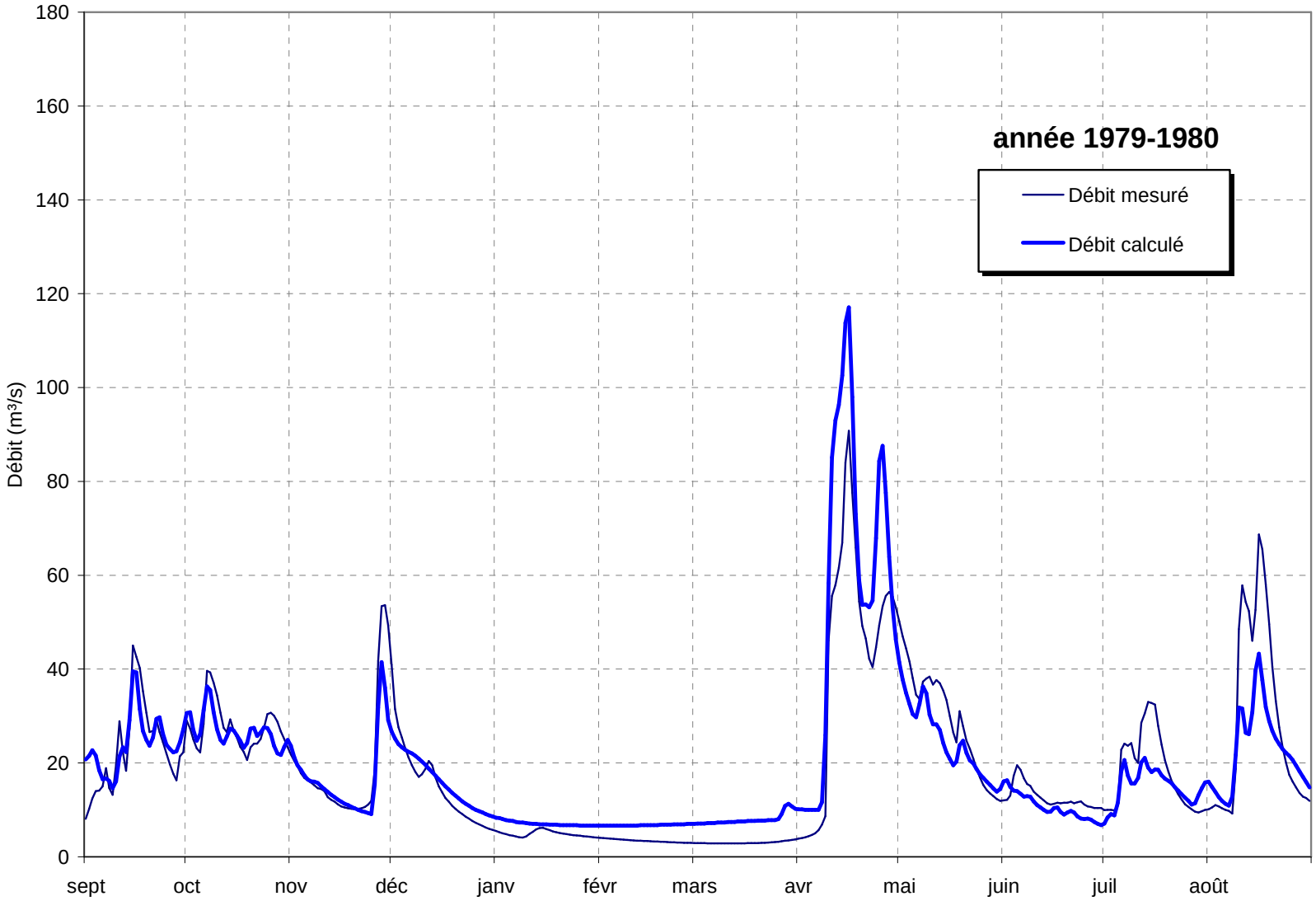


Figure D.2.2 - Calibration du modèle hydrologique – Petite rivière Péribonka – année 1980 / 1981

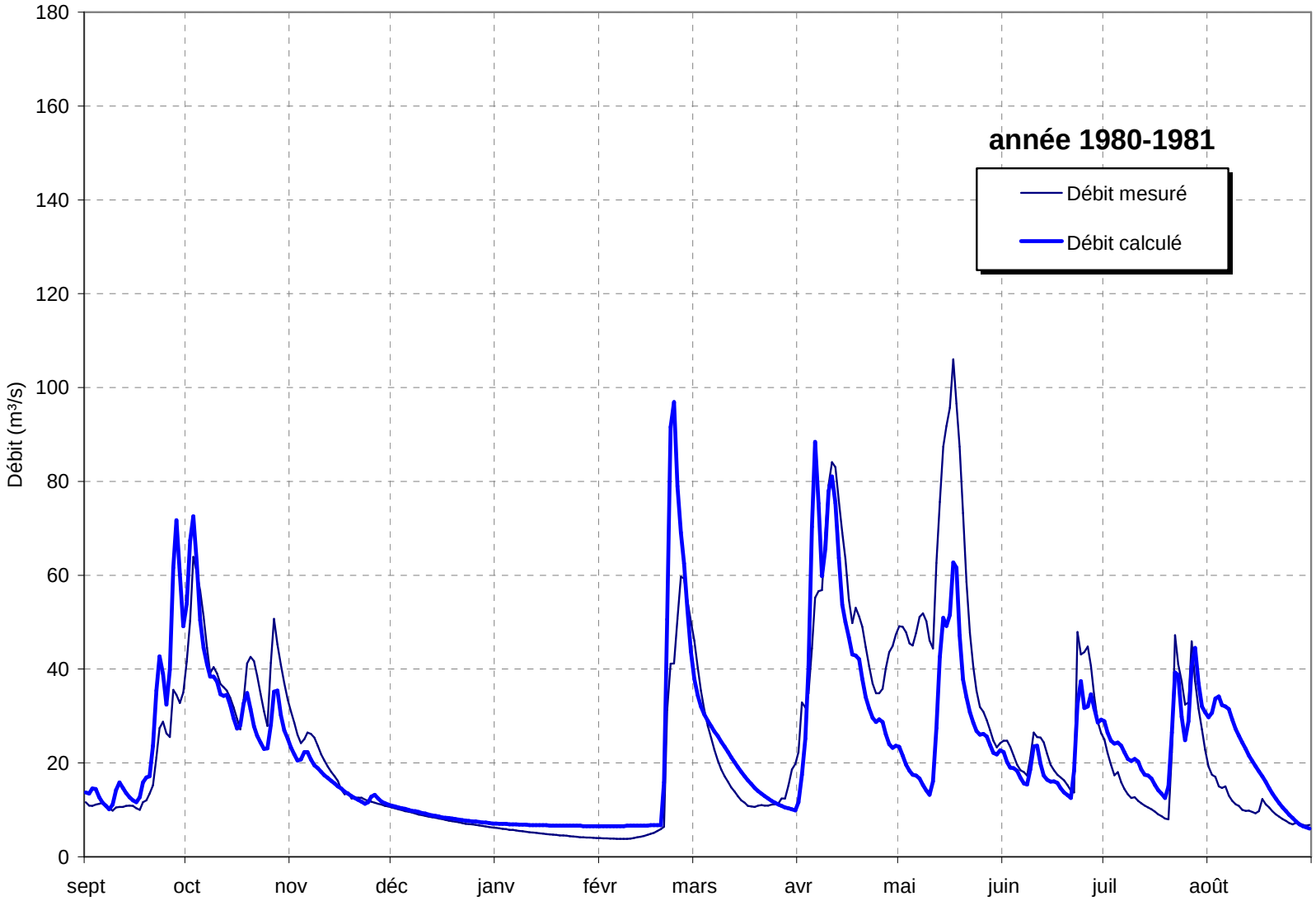


Figure D.2.3 - Calibration du modèle hydrologique – Petite rivière Péribonka – année 1981 / 1982

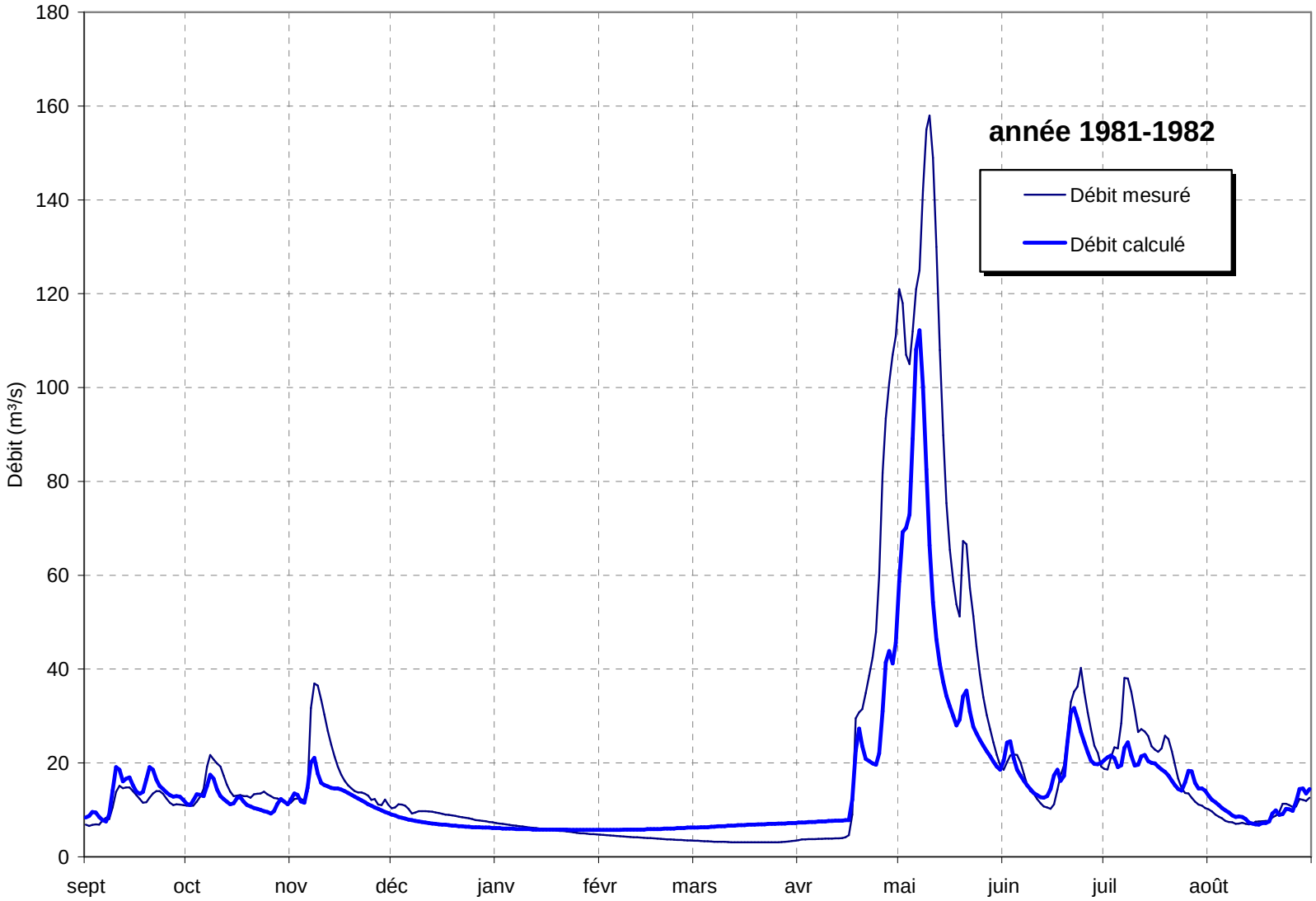


Figure D.2.4 - Calibration du modèle hydrologique – Petite rivière Péribonka – année 1982 / 1983

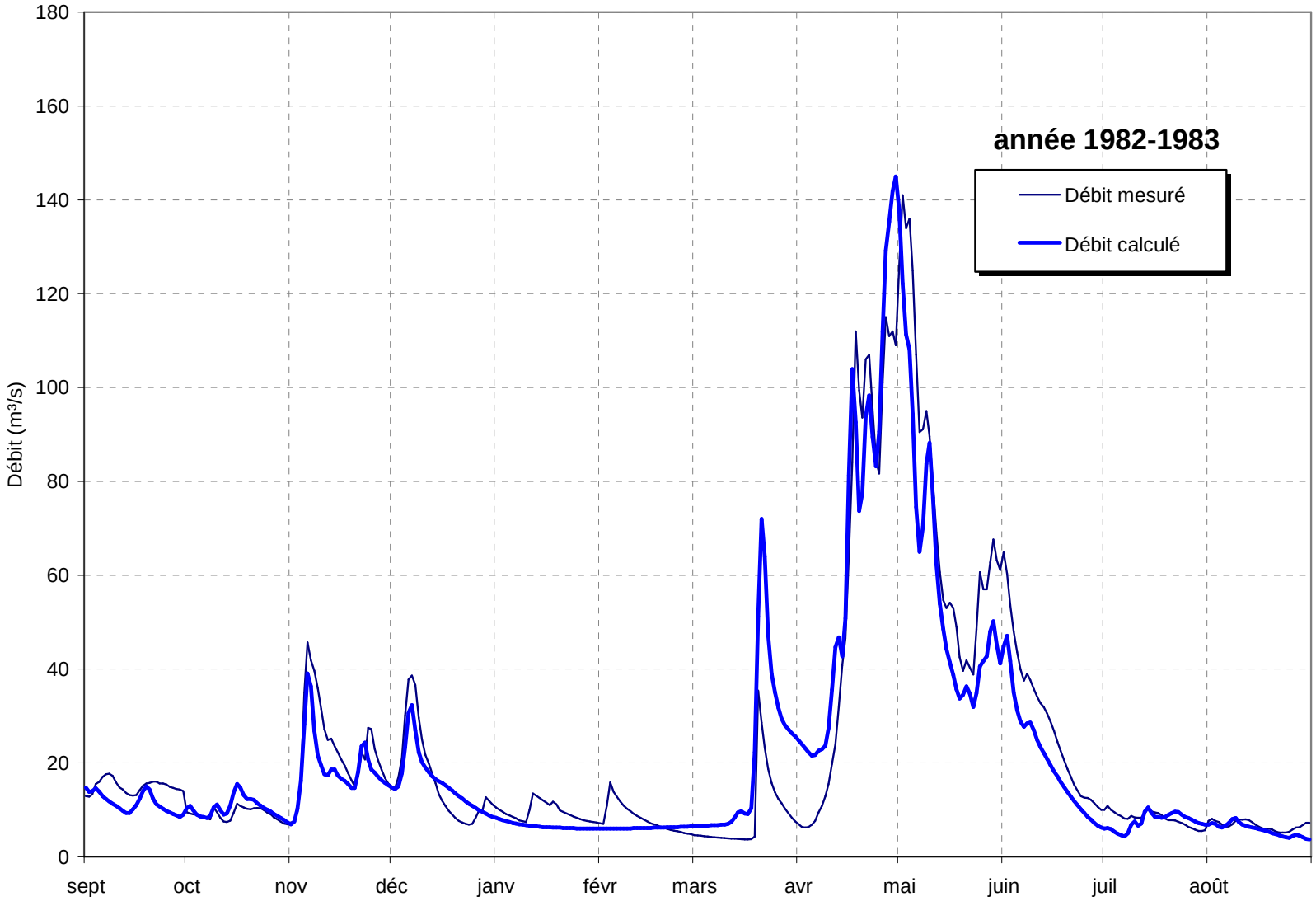


Figure D.2.5 - Calibration du modèle hydrologique – Petite rivière Péribonka – année 1983 / 1984

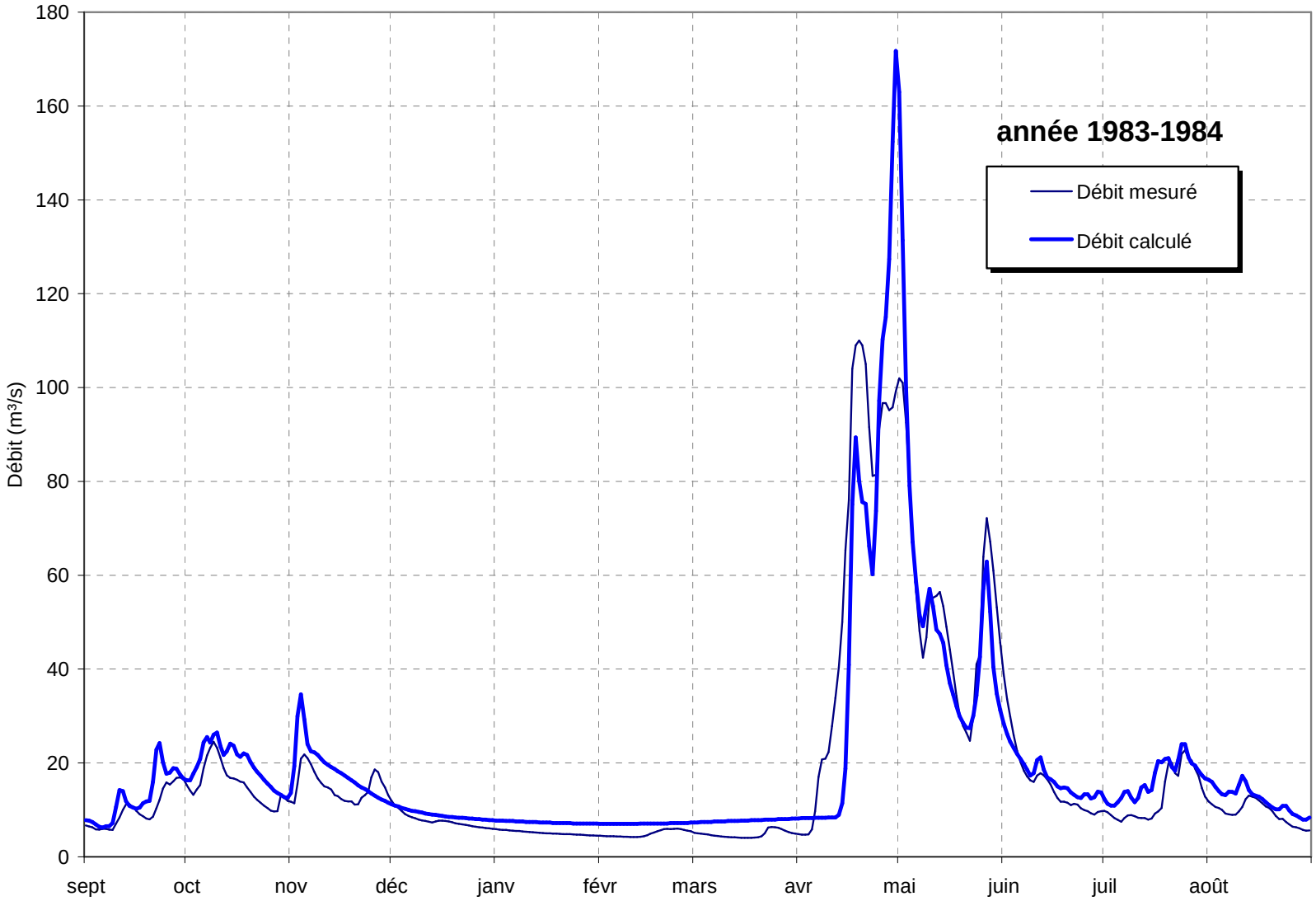
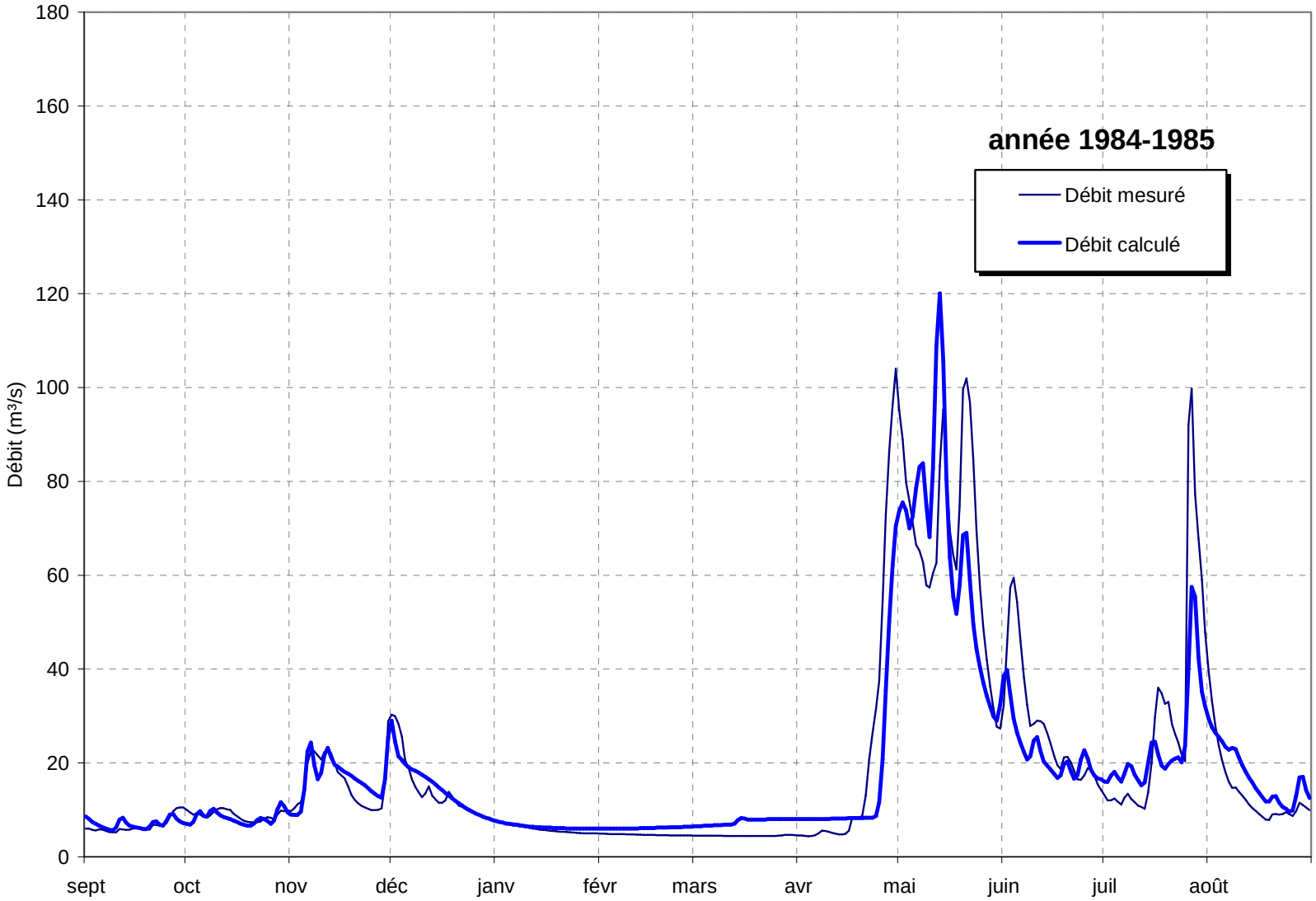


Figure D.2.6 - Calibration du modèle hydrologique – Petite rivière Péribonka – année 1984 / 1985



Résultats de calibration

Description des résultats

Bilan hydrique mensuel

- PCP : Précipitation au cours de la période (cm)
- INTER : Interception, perte de précipitation par interception (cm)
- SWE : Équivalent en eau du couvert de neige (*snow water equivalent*)
  - EOM : SWE à la fin du mois (cm)
  - INCR : Incrément p/r au mois précédent (cm)
- MI : Taux d'humidité (*moisture input*)
- SMI : Indice d'humidité du sol (*soil moisture index*)
  - EOM : SMI à la fin du mois (cm)
  - INCR : Incrément p/r au mois précédent (cm)
- GRO : Ruissellement (*generated runoff*) (cm)

Résultats des composantes de l'écoulement
(volume d'écoulement au cours du mois, exprimé en hauteur d'eau sur le bassin)

- SFRO : Écoulement dans la couche de surface (cm)
- SSRO : Écoulement dans la couche hypodermique (cm)
- BFRO : Écoulement dans la couche de base (cm)
- LZRO : Écoulement dans les couches profondes (cm)
- TOTAL : Écoulement total dans les 4 couches d'écoulement (cm)

Écoulement observé

- OBS : Écoulement observé (cm)

Les paramètres ajustés lors de la calibration de la rivière Neigette sont présentés au tableau D.1. Lorsqu'un paramètre varie en fonction d'un autre paramètre, le nom de la table est indiqué. L'annexe E présente les fichiers contenant les paramètres et les conditions initiales de modélisation pour le modèle calibré. L'annexe E présente aussi un fichier de départ type pour la calibration d'un bassin quelconque.

Tableau D.1
Paramètres ajustés lors de la calibration – rivière Neigette

Paramètres ajustés

Normalisation du poids des stations pluviométriques

Les stations Luceville et Ouimet sont pondérées à 100%.

Caractéristiques des phases d'écoulement (nombre de phases et temps de stockage)

surface		hypodermique		de base		zone profonde		% zone
Nb	T_S	Nb	T_S	Nb	T_S	Nb	T_S	profonde
4	12	4	26	2	180	2	2000	5%

Température de gel et seuil de fonte

T-SN	Température du seuil de fonte de la neige	-0,8 ºC
T-RN	Température du seuil de gel des précipitations	0,0 ºC

Relations diverses		table
MRCR-AT	Taux de fonte et de froid *vs* Température antécédente	NEIGTTF
SMI-ROP	Indice d'humidité du sol *vs* Taux de ruissellement	NEIGSMI
BII-BFP	% du ruissellement affecté à l'écoulement souterrain	NEIGBII
S-SRO	Écoulement de surface *vs* Écoulement direct	NEIGSSS
ETP-T	Évapotranspiration potentielle vs Température	NEIGETP
SMI-DKE	Efficacité de l'indice d'évapotranspiration *vs* SMI	NEIGDKE
ETI-DAY	Efficacité de l'indice d'évapotranspiration *vs* Durée du jour (/mois)	NEIGETM
INT-MOIS	Interception maximale *vs* Mois de l'année (considéré constant)	NEIGINT
GM-MOIS	Fonte du couvert de neige *vs* Mois de l'année	NEIGMGM
ETI-EL	Efficacité de l'indice d'évapotranspiration *vs* Élévation (constant)	NEIGETI
MR-MOIS	Efficacité du taux de fonte vs Mois de l'année	NEIGMRP

SSARR WATERSHED MODEL - MONTHLY WATER BALANCES - SUMMARY MODULE

BASIN	ZONES	MM	YY	AREA	RUN: 1428 HOURS 14 NOV 3
NEIGE_1	1	9	77	492. SQ KM	SOUS-BASSIN RIVIERE NEIGETTE (021915)

UNITS: BASIN CENTIMETERS

HYDROLOGIC INPUTS:

DATA TYPE	STATION ID	WEIGHT
4.	TLUC	100.0%
3.	POUI	100.0%
3.	PLUC	100.0%

WATERSHED PARAMETERS:

BFLIM:	.100	TINTMX:	.000	PBLZ:	5.%	BIITS:	50.00	DGWLIM:	.050	BIIMX:	3.50
ELINT:	3500.	BASE:	-.8	PXTEMP:	.0	TIPMR:	.60	TIPM:	.75		

WATERSHED FUNCTIONS:

SMI/ROP:	NEIGSMI	BII/BFP:	NEIGBII	ETMO:	NEIGETM	EKE:	NEIGEKE	EL/ETI:	NEIGETI
ETP:	NEIGETP	S/SS:	NEIGSSS	DKE:	NEIGDKE	ATIMR:	NEIGTTF		

Rivière Neigette (suite)

	MONTHLY WATER BALANCE AMOUNTS									OUTPUTS FROM FLOW COMPONENTS					OBS
			-----SWE------				-----SMI-----								FLOW
MO-YR	PCP	INTER	EOM	INCR	MI	ET	EOM	INCR	GRO	SFRO	SSRO	BFRO	LZRO	TOTAL	
SEP-77	6.91	1.69	.00	.00	5.23	.96	3.68	3.68	1.37	.12	.09	.36	.00	.56	.51
OCT-77	11.20	1.73	.00	.00	9.47	2.39	3.66	-.02	6.24	.84	.87	3.72	.01	5.44	3.78
NOV-77	7.60	.46	3.60	3.60	4.53	.95	4.53	.87	2.80	.32	.32	2.37	.03	3.04	4.12
DEC-77	9.72	.01	10.63	7.03	1.70	.01	4.94	.41	1.27	.11	.12	1.52	.05	1.80	2.24
JAN-78	13.03	.03	22.46	11.82	1.55	.02	5.27	.33	1.19	.10	.10	.97	.06	1.23	2.67
FEB-78	4.32	.00	25.05	2.59	1.53	.00	5.60	.33	1.21	.11	.10	.88	.06	1.15	1.22
MAR-78	11.04	.00	35.21	10.16	2.02	.00	5.99	.39	1.63	.15	.15	1.16	.06	1.51	.62
APR-78	8.84	.71	28.33	-6.88	13.43	.52	7.19	1.21	11.76	2.58	2.06	2.50	.06	7.21	7.04
MAY-78	8.09	1.97	.00	-28.33	34.70	5.82	3.77	-3.42	32.00	9.63	10.14	12.66	.10	32.54	31.59
JUN-78	8.74	3.57	.00	.00	5.17	5.39	1.67	-2.10	1.99	.27	.28	4.46	.15	5.15	4.38
JUL-78	5.47	2.13	.00	.00	3.35	3.31	.98	-.68	.78	.07	.08	1.05	.18	1.37	1.36
AUG-78	6.56	2.23	.00	.00	4.33	2.83	1.45	.46	1.02	.08	.06	.78	.17	1.10	.55
SEP-78	3.74	2.80	.00	.00	.94	1.23	1.14	-.31	.23	.02	.03	.41	.15	.61	.30
OCT-78	6.43	2.20	.00	.00	4.23	1.02	2.89	1.75	1.30	.11	.11	.68	.14	1.04	.35
NOV-78	10.60	.27	5.66	5.66	4.91	.42	4.61	1.72	2.83	.36	.36	1.45	.12	2.29	.48
DEC-78	18.11	.00	22.54	16.88	1.70	.00	5.02	.41	1.28	.11	.12	1.53	.11	1.87	.49
JAN-79	11.59	.01	32.43	9.89	1.55	.01	5.36	.34	1.20	.10	.10	.98	.10	1.29	.70
FEB-79	7.42	.00	37.81	5.37	1.53	.00	5.67	.31	1.21	.11	.10	.89	.08	1.18	.54
MAR-79	9.24	.40	29.16	-8.64	17.10	.54	7.30	1.62	14.94	2.96	2.70	4.88	.09	10.63	10.37
APR-79	11.87	.74	4.74	-24.43	34.57	1.24	7.66	.37	32.95	8.26	5.58	7.31	.11	21.26	20.61
MAY-79	5.37	2.75	.00	-4.74	8.66	5.97	2.85	-4.81	7.33	3.57	6.48	11.21	.17	21.44	8.14
JUN-79	12.75	3.76	.00	.00	8.99	6.16	2.55	-.30	3.34	.40	.43	2.75	.20	3.78	3.43
JUL-79	11.10	3.19	.00	.00	7.91	5.05	2.58	.04	2.55	.23	.20	1.97	.22	2.62	2.63
AUG-79	6.04	3.38	.00	00	2.66	3.52	1.27	1.31	.71	.07	.11	1.37	.21	1.77	1.40
TOT	215.80	34.03		.00	181.76	47.35		1.27	133.14	30.70	30.70	67.85	2.65	131.89	119.51

	MONTHLY WATER BALANCE AMOUNTS									OUTPUTS FROM FLOW COMPONENTS					OBS
			-----SWE------				-----SMI-----								FLOW
MO-YR	PCP	INTER	EOM	INCR	MI	ET	EOM	INCR	GRO	SFRO	SSRO	BFRO	LZRO	TOTAL	
SEP-79	12.19	2.67	.00	.00	9.52	2.67	3.03	3.03	3.68	.35	.34	1.57	.00	2.25	1.54
OCT-79	5.14	1.72	.00	.00	3.42	1.90	3.18	.14	1.48	.13	.14	1.71	.01	1.99	1.68
NOV-79	6.02	.56	.16	.16	5.36	.48	4.62	1.44	3.48	.37	.28	1.56	.02	2.24	1.82
DEC-79	8.72	.03	6.45	6.28	2.42	.03	5.18	.56	1.83	.22	.32	2.49	.04	3.07	1.87
JAN-80	13.81	.00	18.84	12.39	1.55	.00	5.51	.33	1.21	.11	.11	1.08	.05	1.35	.84
FEB-80	4.76	.00	21.74	2.89	1.59	.00	5.83	.32	1.27	.11	.11	.94	.05	1.21	.48
MAR-80	11.98	.02	28.23	6.50	5.45	.06	6.64	.81	4.58	.47	.43	2.31	.06	3.26	.87
APR-80	5.68	.97	.48	-27.75	31.40	1.24	7.45	.81	29.32	6.94	5.88	7.46	.08	20.36	13.01
MAY-80	6.06	3.05	.00	-.48	4.63	5.68	2.73	-4.72	3.92	1.96	3.07	7.96	.13	13.12	12.34
JUN-80	6.84	3.19	.00	.00	3.64	4.06	1.31	-1.43	1.09	.09	.09	1.50	.16	1.84	2.33
JUL-80	18.01	6.15	.00	.00	11.86	5.53	1.32	.01	5.88	1.01	1.00	3.16	.17	5.34	6.01
AUG-80	10.74	3.21	.00	.00	7.53	4.83	1.75	.43	2.48	.24	.24	2.13	.17	2.78	6.63
SEP-80	17.48	3.34	.00	.00	14.14	4.41	4.62	2.87	6.72	.73	.61	3.06	.16	4.56	6.91
OCT-80	9.08	2.09	.00	.00	6.99	2.12	4.44	-.18	5.15	.62	.72	4.80	.17	6.32	7.82
NOV-80	12.04	.34	4.21	4.21	7.43	.23	5.94	1.50	5.68	.88	.78	2.94	.17	4.77	3.70
DEC-80	14.56	.00	14.78	10.58	4.00	.00	6.59	.66	3.33	.36	.47	3.95	.18	4.96	3.29
JAN-81	14.26	.00	27.55	12.77	1.55	.00	6.78	.18	1.37	.12	.12	1.29	.18	1.72	1.37
FEB-81	10.15	.37	25.84	-1.71	11.54	.40	7.35	.58	10.56	2.47	2.24	2.67	.15	7.53	22.09
MAR-81	7.10	.11	25.90	.06	6.25	.13	7.55	.19	5.93	.53	.49	3.88	.17	5.08	6.97
APR-81	7.91	1.35	.36	-25.54	31.90	1.19	7.52	-.02	30.67	8.25	7.30	9.08	.18	24.82	16.30
MAY-81	11.82	3.33	.00	-.36	9.67	6.03	3.04	-4.48	8.03	2.44	3.65	9.52	.22	15.84	19.77
JUN-81	14.10	3.26	.00	.00	10.85	5.65	3.48	.44	4.67	.51	.45	2.77	.24	3.98	4.73
JUL-81	9.23	2.95	.00	.00	6.27	5.61	2.18	-1.30	1.98	.27	.34	3.02	.25	3.89	2.91
AUG-81	18.08	2.94	.00	.00	15.14	6.43	2.30	.12	8.83	1.55	1.56	4.84	.25	8.19	5.15
TOT	255.75	41.63		.00	214.11	58.67		2.30	153.14	30.73	30.73	85.69	3.29	150.45	150.42

Rivière Neigette (suite)

	MONTHLY WATER BALANCE AMOUNTS									OUTPUTS FROM FLOW COMPONENTS					OBS
			-----SWE------				-----SMI-----								FLOW
MO-YR	PCP	INTER	EOM	INCR	MI	ET	EOM	INCR	GRO	SFRO	SSRO	BFRO	LZRO	TOTAL	
SEP-81	7.59	1.75	.00	.00	5.84	.61	3.44	3.44	1.70	.08	.04	.20	.00	.33	1.20
OCT-81	13.36	1.92	.00	.00	11.45	2.08	4.87	1.42	8.06	1.41	1.40	4.13	.01	6.95	6.88
NOV-81	6.47	.56	1.14	1.14	4.71	.62	5.36	.50	3.57	.38	.42	3.55	.04	4.39	4.10
DEC-81	11.42	.06	8.32	7.18	5.77	.06	6.38	1.02	4.68	.67	.67	3.58	.06	4.99	3.52
JAN-82	12.37	.00	19.07	10.76	1.55	.00	6.59	.21	1.34	.12	.12	1.35	.08	1.67	2.09
FEB-82	7.37	.00	23.70	4.62	1.53	.00	6.78	.18	1.35	.12	.12	.99	.08	1.31	.79
MAR-82	7.53	.16	26.20	2.51	3.59	.17	7.16	.38	3.23	.25	.22	1.38	.09	1.94	.97
APR-82	12.45	1.08	13.71	-12.49	24.25	.87	7.52	.36	22.84	5.81	4.59	5.78	.09	16.28	17.47
MAY-82	4.21	1.31	.00	-13.71	17.25	5.12	3.20	-4.33	16.25	5.05	6.31	10.97	.14	22.48	24.70
JUN-82	12.04	4.04	.00	.00	8.00	4.95	2.94	-.25	3.36	.30	.27	2.60	.18	3.35	3.00
JUL-82	6.36	2.88	.00	.00	3.48	4.13	1.23	-1.72	1.11	.14	.16	1.91	.19	2.39	2.06
AUG-82	7.91	4.16	.00	.00	3.75	2.34	2.03	.81	.93	.07	.08	.75	.19	1.08	.89
SEP-82	8.41	2.98	.00	.00	5.43	2.96	3.22	1.19	1.76	.16	.16	1.24	.16	1.72	.83
OCT-82	5.02	1.27	.00	.00	3.75	1.83	2.69	-.53	1.71	.20	.20	1.44	.15	1.99	1.23
NOV-82	11.45	.97	.14	.14	10.47	.83	5.37	2.68	7.01	1.11	1.08	3.40	.14	5.72	3.60
DEC-82	10.01	.15	6.64	6.50	3.42	.20	5.87	.50	2.72	.29	.31	2.91	.14	3.65	3.39
JAN-83	10.80	.02	15.56	8.92	1.61	.01	6.14	.27	1.32	.12	.12	1.19	.14	1.56	2.94
FEB-83	7.94	.00	22.11	6.55	1.53	.00	6.38	.24	1.29	.11	.11	.95	.11	1.30	2.16
MAR-83	10.89	.04	30.23	8.12	2.57	.04	6.68	.30	2.23	.21	.21	1.41	.12	1.95	2.54
APR-83	11.56	1.34	1.35	-28.88	36.62	1.27	7.53	.84	34.45	8.27	6.69	6.10	.11	21.18	26.66
MAY-83	14.74	3.41	.00	-1.35	15.23	4.94	4.31	-3.22	13.38	5.02	6.48	11.87	.16	23.53	21.56
JUN-83	5.11	2.66	.00	.00	2.44	4.88	.74	-3.56	1.34	.22	.36	3.55	.20	4.33	5.48
JUL-83	7.69	3.17	.00	.00	4.51	2.76	1.38	.64	1.06	.08	.08	.78	.21	1.15	1.13
AUG-83	7.10	2.93	.00	.00	4.18	2.70	1.87	.48	1.02	.07	.06	.80	.20	1.13	.61
TOT	219.82	36.86		.00	182.96	43.37		1.87	137.72	30.28	30.26	72.84	3.00	136.38	139.80

Les paramètres ajustés lors de la calibration de la Petite rivière Péribonka sont présentés au tableau D.2. Lorsqu'un paramètre varie en fonction d'un autre paramètre, le nom de la table est indiqué. L'annexe E présente les fichiers contenant les paramètres et les conditions initiales de modélisation pour le modèle calibré. L'annexe E présente aussi un fichier de départ type pour la calibration d'un bassin quelconque.

Tableau D.2
Paramètres ajustés lors de la calibration – Petite rivière Péribonka

Paramètres ajustés

Normalisation du poids des stations pluviométriques

Les stations Péribonka et Notre-Dame-de-Lorette sont pondérées à 104,5%.

Caractéristiques des phases d'écoulement (nombre de phases et temps de stockage)

surface		hypodermique		de base		zone profonde		% zone
Nb	T_S	Nb	T_S	Nb	T_S	Nb	T_S	profonde
4	12	4	25	3	130	2	2000	10%

Température de gel et seuil de fonte

T-SN	Température du seuil de fonte de la neige	-0,5 ºC
T-RN	Température du seuil de gel des précipitations	0,0 ºC

Relations diverses		table
MRCR-AT	Taux de fonte et de froid *vs* Température antécédente	PPERTTF
SMI-ROP	Indice d'humidité du sol *vs* Taux de ruissellement	PPERSMI
BII-BFP	% du ruissellement affecté à l'écoulement souterrain	PPERBII
S-SRO	Écoulement de surface *vs* Écoulement direct	PPERSSS
ETP-T	Évapotranspiration potentielle vs Température	PPERETP
SMI-DKE	Efficacité de l'indice d'évapotranspiration *vs* SMI	PPERDKE
ETI-DAY	Efficacité de l'indice d'évapotranspiration *vs* Durée du jour (/mois)	PPERETM
INT-MOIS	Interception maximale *vs* Mois de l'année (considéré constant)	PPERINT
GM-MOIS	Fonte du couvert de neige *vs* Mois de l'année	PPERMGM
ETI-EL	Efficacité de l'indice d'évapotranspiration *vs* Élévation (constant)	PPERETI
MR-MOIS	Efficacité du taux de fonte vs Mois de l'année	PPERMRP

SSARR WATERSHED MODEL - MONTHLY WATER BALANCES - SUMMARY MODULE

BASIN	ZONES	MM	YY	AREA	RUN: 1030 HOURS 01 JAN 98
PPERI_N	1	09	79	1090. SQ KM	SOUS-BASSIN PETITE PERIBONKA (061801)

UNITS: BASIN CENTIMETERS

HYDROLOGIC INPUTS:

DATA TYPE	STATION ID	WEIGHT
4.	TPER	100.0%
4.	TNDL	100.0%
3.	PPER	104.5%
3.	PNDL	104.5%

WATERSHED PARAMETERS:

BFLIM:	.100	TINTMX:	.000	PBLZ:	10.%	BIITS:	50.00	DGWLIM:	.050	BIIMX:	3.50
ELINT:	3500.	BASE:	-.5	PXTEMP:	.0	TIPMR:	.60	TIPM:	.75		

WATERSHED FUNCTIONS:

SMI/ROP:	PPERSMI	BII/BFP:	PPERBII	ETMO:	PPERETM	EKE:	PPEREKE	EL/ETI:	PPERETI
ETP:	PPERETP	S/SS:	PPERSSS	DKE:	PPERDKE	ATIMR:	PPERTTF		

Petite rivière Péribonka (suite)

	MONTHLY WATER BALANCE AMOUNTS									OUTPUTS FROM FLOW COMPONENTS					OBS
			-----SWE------				-----SMI-----								FLOW
MO-YR	PCP	INTER	EOM	INCR	MI	ET	EOM	INCR	GRO	SFRO	SSRO	BFRO	LZRO	TOTAL	
SEP-79	15.07	2.94	.00	.00	12.13	2.40	5.72	2.52	7.12	.77	.96	3.41	.42	5.55	5.35
OCT-79	9.54	1.86	.00	.00	7.68	1.42	6.31	.60	5.70	.84	.85	4.44	.45	6.58	6.79
NOV-79	12.53	.24	6.24	6.24	5.99	.25	7.42	1.11	4.70	.59	.47	2.48	.44	3.98	4.41
DEC-79	4.77	.00	9.37	3.13	1.70	.00	7.68	.26	1.44	.15	.30	3.10	.44	3.99	3.75
JAN-80	3.78	.00	11.58	2.22	1.55	.00	7.89	.21	1.33	.12	.12	1.09	.41	1.74	1.20
FEB-80	.89	.00	10.84	-.75	1.59	.00	8.09	.20	1.39	.12	.12	.96	.34	1.55	.78
MAR-80	2.81	.00	11.17	.34	2.46	.13	8.25	.16	2.18	.21	.20	1.22	.32	1.95	.74
APR-80	8.10	1.12	.00	-11.17	18.22	2.05	7.53	-.72	16.66	4.08	4.01	5.09	.29	13.47	9.94
MAY-80	8.36	3.00	.00	.00	5.36	4.22	4.79	-2.74	3.95	.35	.44	4.98	.33	6.10	7.19
JUN-80	6.02	3.54	.00	.00	2.48	3.38	3.18	-1.61	1.29	.16	.17	1.87	.33	2.53	3.02
JUL-80	14.10	4.55	.00	.00	9.55	4.08	3.59	.40	4.65	.43	.38	2.53	.34	3.67	4.45
AUG-80	13.35	3.87	.00	.00	9.48	4.36	3.46	-.12	5.14	.78	.83	3.62	.33	5.57	7.11
SEP-80	17.56	2.52	.00	.00	14.65	1.91	7.17	3.71	9.35	1.43	1.17	2.82	.33	5.75	3.98
OCT-80	9.24	1.17	.00	.00	8.46	.88	7.57	.40	6.96	1.22	1.44	5.95	.36	8.97	9.97
NOV-80	4.17	.06	1.33	1.33	2.82	.03	7.95	.38	2.42	.23	.26	2.91	.37	3.77	4.22
DEC-80	6.62	.00	6.21	4.88	1.70	.00	8.16	.21	1.49	.14	.14	1.47	.38	2.13	2.00
JAN-81	3.54	.00	8.30	2.09	1.55	.00	8.33	.17	1.38	.12	.12	1.05	.35	1.65	1.21
FEB-81	9.14	.35	7.48	-.82	9.49	.42	8.79	.46	8.62	1.85	1.68	1.63	.29	5.45	3.77
MAR-81	2.02	.15	7.12	-.36	2.02	.19	8.80	.02	1.87	.19	.36	3.85	.31	4.72	4.39
APR-81	7.36	1.49	.00	-7.12	13.21	1.50	8.14	-.67	12.24	2.61	2.61	5.15	.31	10.69	12.05
MAY-81	11.51	2.49	.00	.00	9.02	4.46	5.38	-2.76	7.28	1.23	1.23	4.42	.35	7.23	13.29
JUN-81	14.31	3.35	.00	.00	10.96	4.80	5.36	-.02	6.12	.75	.70	3.29	.36	5.10	5.97
JUL-81	14.10	2.28	.00	.00	11.82	5.23	5.33	-.03	6.59	.82	.83	4.07	.38	6.11	5.13
AUG-81	4.83	2.45	.00	.00	2.39	3.88	2.55	-2.78	1.49	.15	.20	3.91	.40	4.67	2.61
TOT	203.73	37.43		.00	166.30	45.58		-.65	121.37	19.35	19.59	75.32	8.61	122.87	123.34

	MONTHLY WATER BALANCE AMOUNTS									OUTPUTS FROM FLOW COMPONENTS					OBS
			-----SWE------				-----SMI-----								FLOW
MO-YR	PCP	INTER	EOM	INCR	MI	ET	EOM	INCR	GRO	SFRO	SSRO	BFRO	LZRO	TOTAL	
SEP-81	10.48	3.01	.00	.00	7.46	.97	3.19	3.19	3.28	.36	.41	2.03	.34	3.13	2.64
OCT-81	7.47	1.31	.00	.00	5.68	.67	5.31	2.12	3.04	.29	.27	2.02	.35	2.94	3.46
NOV-81	7.09	.31	3.38	3.38	3.85	.21	6.17	.86	2.67	.30	.32	2.23	.33	3.18	4.24
DEC-81	4.79	.00	6.63	3.26	1.70	.00	6.55	.38	1.31	.12	.12	1.18	.32	1.74	2.23
JAN-82	4.83	.00	10.45	3.82	1.55	.00	6.87	.32	1.23	.11	.11	.93	.29	1.43	1.45
FEB-82	3.13	.00	11.53	1.07	1.53	.00	7.16	.29	1.24	.11	.11	.86	.23	1.31	.89
MAR-82	2.83	.05	12.07	.54	2.02	.05	7.45	.30	1.68	.15	.15	1.12	.23	1.65	.78
APR-82	5.53	.77	6.38	-5.69	9.40	.71	8.09	.64	8.08	.92	.73	2.19	.20	4.06	6.98
MAY-82	5.24	1.93	.00	-6.38	10.81	5.08	5.17	-2.92	9.10	2.36	2.56	6.48	.24	11.62	20.04
JUN-82	13.30	3.64	.00	.00	9.66	4.49	4.46	-.71	5.26	.63	.61	3.17	.26	4.68	4.99
JUL-82	11.85	4.67	.00	.00	7.18	4.69	3.21	-1.25	3.75	.41	.41	3.46	.30	4.59	5.40
AUG-82	9.77	4.26	.00	.00	5.51	2.35	3.82	.61	2.60	.24	.22	1.66	.31	2.42	2.21
SEP-82	7.00	2.72	.00	.00	4.28	2.20	3.87	.05	2.09	.21	.24	1.99	.30	2.73	3.56
OCT-82	5.58	1.94	.00	.00	3.64	1.26	4.32	.44	1.92	.23	.23	1.79	.29	2.55	2.22
NOV-82	8.98	.55	.55	.55	8.08	.26	6.68	2.36	5.49	.77	.76	2.68	.27	4.49	5.48
DEC-82	6.75	.17	2.92	2.36	3.95	.12	7.32	.64	3.19	.41	.41	2.80	.28	3.91	3.99
JAN-83	4.52	.00	5.89	2.97	1.55	.00	7.56	.25	1.30	.11	.11	1.11	.28	1.62	2.33
FEB-83	9.14	.00	13.49	7.60	1.53	.00	7.79	.22	1.31	.12	.11	.90	.23	1.37	1.81
MAR-83	7.34	.22	12.67	-.82	7.93	.17	8.58	.79	6.96	1.16	1.15	2.49	.24	5.04	2.15
APR-83	13.44	1.67	.00	-12.67	24.51	1.50	8.64	.06	22.77	5.26	4.40	5.96	.25	15.87	13.70
MAY-83	16.21	3.76	.00	.00	12.44	3.92	6.68	-1.96	10.59	2.59	3.31	8.61	.33	14.84	18.14
JUN-83	4.40	2.83	.00	.00	1.57	4.71	2.48	-4.20	1.15	.31	.46	3.78	.38	4.93	6.82
JUL-83	6.41	2.61	.00	.00	3.80	2.76	1.87	-.61	1.73	.14	.14	1.15	.41	1.84	2.00
AUG-83	4.59	2.63	.00	.00	1.96	1.66	1.18	-.69	.86	.08	.08	.87	.39	1.41	1.63
TOT	180.65	39.06		.00	141.59	37.80		1.18	102.62	17.38	17.43	61.47	7.06	103.35	119.15

Petite rivière Péribonka (suite)

	MONTHLY WATER BALANCE AMOUNTS									OUTPUTS FROM FLOW COMPONENTS					OBS
			-----SWE------				-----SMI-----								FLOW
MO-YR	PCP	INTER	EOM	INCR	MI	ET	EOM	INCR	GRO	SFRO	SSRO	BFRO	LZRO	TOTAL	
SEP-83	10.67	2.94	.00	.00	7.73	.94	3.30	3.30	3.40	.38	.43	1.27	.89	2.96	2.32
OCT-83	9.79	1.51	1.00	1.00	6.78	1.00	5.52	2.22	3.78	.40	.40	3.12	.89	4.81	3.77
NOV-83	9.69	.28	5.77	4.77	5.13	.14	6.67	1.15	3.72	.51	.51	2.56	.79	4.36	3.56
DEC-83	9.77	.00	13.91	8.14	1.70	.00	7.00	.33	1.36	.12	.12	1.24	.72	2.21	1.89
JAN-84	2.94	.00	15.19	1.28	1.55	.00	7.28	.28	1.27	.11	.11	.96	.61	1.80	1.25
FEB-84	4.61	.12	18.13	2.94	1.59	.10	7.44	.16	1.33	.12	.12	.92	.48	1.63	1.14
MAR-84	3.95	.11	19.89	1.76	2.02	.08	7.67	.23	1.71	.16	.15	1.15	.43	1.89	1.18
APR-84	4.88	.72	.00	-19.89	23.81	2.20	8.23	.56	20.97	4.86	3.78	3.27	.36	12.28	14.07
MAY-84	12.48	4.05	.00	.00	8.75	4.06	5.85	-2.38	6.98	1.92	2.95	7.82	.38	13.07	13.20
JUN-84	8.76	4.12	.00	.00	4.64	4.64	3.43	-2.41	2.41	.20	.24	3.28	.39	4.11	3.84
JUL-84	14.26	5.40	.00	.00	8.86	4.41	3.53	.10	4.35	.48	.50	2.68	.40	4.05	3.14
AUG-84	8.26	4.04	.00	.00	4.22	3.30	2.54	-1.00	2.01	.18	.18	2.24	.39	3.00	2.30
SEP-84	5.82	2.87	.00	.00	2.94	1.30	2.85	.31	1.35	.13	.13	1.06	.35	1.67	1.58
OCT-84	5.77	1.27	1.08	1.08	4.50	.82	4.41	1.56	2.19	.20	.18	1.33	.33	2.04	2.18
NOV-84	9.14	.28	.45	-.64	8.51	.11	6.92	2.51	5.87	.54	.47	2.67	.29	3.97	3.74
DEC-84	6.92	.02	7.81	7.36	1.70	.00	7.23	.31	1.39	.26	.34	2.71	.30	3.61	3.49
JAN-85	5.02	.00	9.18	1.38	1.55	.00	7.49	.26	1.29	.11	.11	1.06	.28	1.57	1.44
FEB-85	4.10	.00	12.30	3.12	1.53	.00	7.72	.23	1.30	.12	.11	.90	.23	1.36	1.04
MAR-85	6.08	.08	15.48	3.17	2.20	.06	7.96	.24	1.90	.18	.18	1.24	.23	1.83	1.10
APR-85	2.50	.58	7.71	-7.77	8.26	.96	8.10	.15	7.19	1.15	.68	1.50	.21	3.53	5.19
MAY-85	11.57	2.87	.00	-7.71	17.75	3.96	6.22	-1.89	15.50	3.88	4.32	7.47	.24	15.91	16.62
JUN-85	8.98	3.05	.00	.00	5.93	4.74	3.83	-2.39	3.54	.49	.51	4.01	.28	5.28	6.61
JUL-85	20.13	5.85	.00	.00	14.28	5.01	5.46	1.63	7.61	1.05	.98	3.51	.32	5.86	7.28
AUG-85	7.82	3.40	.00	.00	4.42	3.91	3.92	-1.54	2.24	.22	.27	3.40	.35	4.23	3.40
TOT	193.89	43.55		.00	50.35	41.74		3.92	104.69	17.74	17.77	61.36	10.15	107.02	105.34

Annexe E
Paramètres des modèles hydrologiques calibrés

Paramètres des modèles hydrologiques calibrés
Rivière Neigette

Fichier NEIGE.CHR (calibré)

```
***          CALIBRATION DU BASSIN NEIGETTE (021915)

ZC1 NEIGE_1  SOUS-BASSIN NEIGETTE

***          AIRE  ZON  SUR    SUBS    BASEF  LOWZON  BIITS  BIIMX  BFLIM  LZ%  LZLIM
ZC2 NEIGE_1  492   1    4  12  4  26   2 180  2  2000  50     3.5    .10    5    0.05

***          EL-P     MR,CC    TIPMR  TIPM   RMR    PLWHC  SNETF  ELINT  LAPSE
ZC3 NEIGE_1  NEIGEPP  NEIGTTF  0.60   0.75   0.338  0.03   0.5    3500   ,     ,

***          SM-RO    BI-B%    DIR-SS   RN-EKE   TM-ETP   SM-DKE   MON-ETMO
ZC4 NEIGE_1  NEIGSMI  NEIGBII  NEIGSSS  NEIGEKE  NEIGETP  NEIGDKE  NEIGETM

***          INTX     T-SN  T-RN  RNMLT  SNO-CC  ROMLT    EL-ET    WEMN  WE%  WEMX
ZC5 NEIGE_1  NEIGINT  -0.8  0.0   0.040  0.085   NEIGMGM  NEIGETI  5.0   60   1.0

***          MR%      OBSERVED DISCHARGE
ZC6 NEIGE_1  NEIGMRP  QNEIGETT

***          PERCENT AREA IN EACH BAND:
ZCA NEIGE_1  100.

***          ELEV VS AREA %
ZCP NEIGE_1  50  0  150  100

***          MET STATION LIST: TYPE(6=LR,4=TA,3=PP), NAME, WEIGHT %
ZCH NEIGE_1  4 TLUC 100

ZCH NEIGE_1  3 POUI 100
ZCH NEIGE_1  3 PLUC 100

***          ST. NAME  METEOROLOGICAL STATION EL,  SNOW WEIGHTING,  PX TEMPERATURE
ZH           TLUC      38                          100               0.0

ZH           POUI      305                         120               0.0
ZH           PLUC      38                          120               0.0


***          TABLES

***  TABLE NEIGEPP :  ELEV.(M) VS WEIGHTED PRECIP.(%)
ZCT  NEIGEPP          2  50  100  300  100

***  TABLE NEIGTTF :  ATI TEMP INDEX VS MELT RATE, COLD RATE
ZCT  NEIGTTF          3      0  .2400  .1000     10  .2500  .1000
ZCT  NEIGTTF                20  .3200  .1000     30  .3800  .1000
ZCT  NEIGTTF                50  .3800  .1000    100  .3800  .1000
ZCT  NEIGTTF             99999  .3800  .1000
```

```
     ***   TABLE NEIGSMI :      MI (CM) & SMI (CM) VS ROP (%)
ZCT  NEIGSMI                2        0    20         2    28         4    71
ZCT  NEIGSMI                         6    82         7    91         8   100
ZCT  NEIGSMI                        20   100        30   100       999   100

     ***   TABLE NEIGBII :      BASEFLOW - BII (CM/DAY) VS BFP (%)
ZCT  NEIGBII                2      0.0    85       0.5    53       1.0    40
ZCT  NEIGBII                        2.0    35       4.0    35       999    35

     ***   TABLE NEIGSSS :      SURF+SUBSURF RUNOFF (CM/HR) VS SURF RUNOFF (CM/HR)
     ***   SSARR MANUAL PROCEDURE KSS=.1 CM/HR
ZCT  NEIGSSS                2        0     0       .05   .025       .10   .050
ZCT  NEIGSSS                        .15  .075       .20   .100       .25   .125
ZCT  NEIGSSS                       1.25  1.16       250   249

     ***   TABLE NEIGEKE : RAIN RATE (CM/DAY) VS EKE (ETI EFFECTIVENESS %)
ZCT  NEIGEKE                2        0   100       2.5    70         5    30
ZCT  NEIGEKE                        10     1      9999     1

     ***   TABLE NEIGETP : TEMPERATURE (C) VS EVAPOTRANSPIRATION (CM/DAY)
ZCT  NEIGETP                2      -30   .00         0   .00         5   .12
ZCT  NEIGETP                        10   .20        15   .28        20   .36
ZCT  NEIGETP                        25   .42        30   .49        35   .56
ZCT  NEIGETP                       999   .56

     ***   TABLE NEIGDKE : SMI (CM) VS DKE (% EFFECTIVE ETI)
ZCT  NEIGDKE                2        0     0       2.5    50         5    90
ZCT  NEIGDKE                       7.5   100        10   100        12   100
ZCT  NEIGDKE                       999   100

     ***   TABLE NEIGETM : MONTH VS PET ADJUSTMENT (%) FOR DAY LENGTH
ZCT  NEIGETM                2        1    75         2    79         3   102
ZCT  NEIGETM                         4   114         5   132         6   134
ZCT  NEIGETM                         7   135         8   124         9   105
ZCT  NEIGETM                        10    93        11    76        12    71
ZCT  NEIGETM                        13    75       999    75

     ***   TABLE NEIGINT : MONTH VS INTERCEPTION (CM)
ZCT  NEIGINT                2        1   .10         4   .10         5   .30
ZCT  NEIGINT                         9   .30        11   .10        13   .10

     ***   TABLE NEIGMGM : MONTH VS GROUND MELT (CM/DAY)
ZCT  NEIGMGM                2        1  .050         2  .050         3  .060
ZCT  NEIGMGM                         4  .070         5  .080         6  .100
ZCT  NEIGMGM                         7  .100         8  .100         9  .080
ZCT  NEIGMGM                        10  .080        11  .070        12  .060
ZCT  NEIGMGM                        13  .050

     ***   TABLE NEIGETI : ELEVATION (M) VS EFFECTIVE ETI (%)
ZCT  NEIGETI                2        0   100       500   100      9999   100

     ***   TABLE NEIGMRP : MONTH VS PERCENT EFFECTIVE MELT RATE (%)
ZCT  NEIGMRP                2        1    31         2    37         3    53
ZCT  NEIGMRP                         4    70         5    87         6   100
ZCT  NEIGMRP                         7   100         8    91         9    76
ZCT  NEIGMRP                        10    58        11    41        12    32
ZCT  NEIGMRP                        13    31
```

Fichier NEIGE.IC (calibré)

```
         ***          CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN NEIGETTE

         ***          une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
         ***          TIME-DATE      ROP   BFP   CC    LIQW   ATIMR  ATICC  WE     SMI BII   TINT
Z201     NEIGE_1      000010977      30    40    .00   .00    0.     0.     0.0,   , ,       .00


         ***          TIME-DATE      FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

         ***          SURFACE FLOW
Z2S      NEIGE_1      000010977      0     0     0     0      0

         ***          SUBSURFACE FLOW
Z2SS     NEIGE_1      000010977      5     5     5     5      5

         ***          BASEFLOW
Z2B      NEIGE_1      000010977      5     5     5

         ***          LOWERZONE
Z2LZ     NEIGE_1      000010977      1     1     1
```

Paramètres des modèles hydrologiques calibrés
Petite rivière Péribonka

Fichier PPERI.CHR (calibré)

```
***          CALIBRATION DU BASSIN PETITE PÉRIBONkA (061801)

ZC1 PPERI_N  SOUS-BASSIN PETITE PERIBONkA (061801)

***          AIRE    ZON     SUR     SUBS    BASEF   LOWZON  BIITS   BIIMX   BFLIM   LZ%     LZLIM
ZC2 PPERI_N  1090    1       4  12   4  25   3  130  2  2000 50      3.5     .10     10      0.05

***          EL-P    MR,CC   TIPMR   TIPM    RMR     PLWHC   SNETF   ELINT   LAPSE
ZC3 PPERI_N  PPEREPP PPERTTF 0.60    0.75    0.338   0.03    0.9     3500    ,       ,

***          SM-RO   BI-B%   DIR-SS  RN-EKE  TM-ETP  SM-DKE  MON-ETMO
ZC4 PPERI_N  PPERSMI PPERBII PPERSSS PPEREKE PPERETP PPERDKE PPERETM

***          INTX    T-SN    T-RN    RNMLT   SNO-CC  ROMLT   EL-ET   WEMN    WE%     WEMX
ZC5 PPERI_N  PPERINT -0.5    0.0     0.040   0.085   PPERMGM PPERETI 5.0     60      1.0

***          MR%     OBSERVED DISCHARGE
ZC6 PPERI_N  PPERMRP PPERI_Q

***          PERCENT AREA IN EACH BAND:
ZCA PPERI_N  100.

***          ELEV VS AREA %
ZCP PPERI_N  104  0     150  15    325  50    500  85    550  100

***          MET STATION LIST: TYPE(6=LR,4=TA,3=PP), NAME, WEIGHT %
ZCH PPERI_N  4 TNDL 100
ZCH PPERI_N  4 TPER 100

ZCH PPERI_N  3 PNDL 104.5
ZCH PPERI_N  3 PPER 104.5

***          ST. NAME    METEOROLOGICAL STATION EL,    SNOW WEIGHTING,    PX TEMPERATURE
ZH           TNDL        183                           100                0.0
ZH           TPER        103                           100                0.0

ZH           PNDL        183                           100                0.0
ZH           PPER        103                           100                0.0


***          TABLES

   ***  TABLE PPEREPP :  ELEV.(M) VS WEIGHTED PRECIP.(%)
ZCT  PPEREPP             2       104   100     550   100

   ***  TABLE PPERTTF :  ATI TEMP INDEX VS MELT RATE, COLD RATE
ZCT  PPERTTF             3         0   .2200   .1500      10   .2200   .1500
ZCT  PPERTTF                      20   .2200   .1500      30   .2800   .1500
ZCT  PPERTTF                      50   .3800   .1500     100   .3800   .1500
ZCT  PPERTTF                   99999   .3800   .1500
```

```
       ***  TABLE PPERSMI :     MI (CM) & SMI (CM) VS ROP (%)
ZCT  PPERSMI                2          0     40         2     45          4     50
ZCT  PPERSMI                           6     75        10    100       12.5    100
ZCT  PPERSMI                          15    100        20    100        999    100

       ***  TABLE PPERBII :     BASEFLOW - BII (CM/DAY) VS BFP (%)
ZCT  PPERBII                2        0.0    85        0.5   53          1.0    40
ZCT  PPERBII                         2.0    35        4.0   35          999    35

       ***  TABLE PPERSSS :     SURF+SUBSURF RUNOFF (CM/HR) VS SURF RUNOFF (CM/HR)
       ***  SSARR MANUAL PROCEDURE KSS=.1 CM/HR
ZCT  PPERSSS                2          0     0        .05   .025        .10   .050
ZCT  PPERSSS                         .15  .075        .20   .100        .25   .125
ZCT  PPERSSS                        1.25  1.16        2.0    1.8        250    249

       ***  TABLE PPEREKE : RAIN RATE (CM/DAY) VS EKE (ETI EFFECTIVENESS %)
ZCT  PPEREKE                2          0   100        2.5     90          5     50
ZCT  PPEREKE                          10     1       9999      1

       ***  TABLE PPERETP : TEMPERATURE (C) VS EVAPOTRANSPIRATION (CM/DAY)
ZCT  PPERETP                2        -30   .00          0    .00          5    .12
ZCT  PPERETP                          10   .20         15    .28         20    .36
ZCT  PPERETP                          25   .42         30    .49         50    .56

       ***  TABLE PPERDKE : SMI (CM) VS DKE (% EFFECTIVE ETI)
ZCT  PPERDKE                2          0     0        2.5     25          5     50
ZCT  PPERDKE                         7.5    75         10    100         12    100
ZCT  PPERDKE                         999   100

       ***  TABLE PPERETM : MONTH VS PET ADJUSTMENT (%) FOR DAY LENGTH
ZCT  PPERETM                2          1    75          2     79          3    102
ZCT  PPERETM                           4   114          5    132          6    134
ZCT  PPERETM                           7   135          8    124          9    105
ZCT  PPERETM                          10    93         11     76         12     71
ZCT  PPERETM                          13    75        999     75

       ***  TABLE PPERINT : MONTH VS INTERCEPTION (CM)
ZCT  PPERINT                2          1   .10          4    .10          5    .30
ZCT  PPERINT                           9   .30         11    .10         13    .10

       ***  TABLE PPERMGM : MONTH VS GROUND MELT (CM/DAY)
ZCT  PPERMGM                2          1  .050          2   .050          3   .060
ZCT  PPERMGM                           4  .070          5   .080          6   .100
ZCT  PPERMGM                           7  .100          8   .100          9   .080
ZCT  PPERMGM                          10  .080         11   .070         12   .060
ZCT  PPERMGM                          13  .050

       ***  TABLE PPERETI : ELEVATION (M) VS EFFECTIVE ETI (%)
ZCT  PPERETI                2          0   100        500    100       9999    100

       ***  TABLE PPERMRP : MONTH VS PERCENT EFFECTIVE MELT RATE (%)
ZCT  PPERMRP                2          1    31          2     37          3     53
ZCT  PPERMRP                           4    70          5     87          5    100
ZCT  PPERMRP                           7   100          8     91          9     76
ZCT  PPERMRP                          10    58         11     41         12     32
ZCT  PPERMRP                          13    31
```

Fichier PPERI.IC (calibré)

```
         ***      CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN PETITE PÉRIBONkA

         ***      une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
         ***      TIME-DATE       ROP   BFP   CC    LIQW   ATIMR  ATICC  WE    SMI BII   TINT
Z201     PPERI_N  000010979       48    80    .00   .00    0.     0.     0.0   , , ,     .00

         ***      TIME-DATE       FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

         ***      SURFACE FLOW
Z2S      PPERI_N  000010979       0     0     0     0      0

         ***      SUBSURFACE FLOW
Z2SS     PPERI_N  000010979       5     5     5     5      5

         ***      BASEFLOW
Z2B      PPERI_N  000010979       5     5     5     5

         ***      LOWERZONE
Z2LZ     PPERI_N  000010979       1     1     1
```

Fichier de départ pour calibration
Bassin X

Fichier XXXXX.CHR (fichier de départ pour calibration d'un bassin X)

```
         ***    CALIBRATION DU BASSIN X

ZC1 XXXXX       BASSIN XXXXXXXXXXXX

         ***    AIRE    ZON     SUR     SUBS    BASEF   LOWZON  BIITS   BIIMX   BFLIM   LZ%     LZLIM
ZC2 XXXXX       1090    1       4  12   4  25   2 200   2  2000 50      3.5     .10     10      0.05

         ***    EL-P        MR,CC       TIPMR       TIPM        RMR     PLWHC   SNETF   ELINT   LAPSE
ZC3 XXXXX       XXXXEPP     XXXXTTF     0.60        0.75        0.338   0.03    0.5     3500    ,   ,

         ***    SM-RO   BI-B%   DIR-SS  RN-EKE  TM-ETP  SM-DKE  MON-ETMO
ZC4 XXXXX       XXXXSMI XXXXBII XXXXSSS XXXXEKE XXXXETP XXXXDKE XXXXETM

         ***    INTX    T-SN    T-RN    RNMLT   SNO-CC  ROMLT   EL-ET   WEMN    WE%     WEMX
ZC5 XXXXX       XXXXINT 0.0     0.0     0.040   0.085   XXXXMGM XXXXETI 5.0     60      1.0

         ***    MR%     OBSERVED DISCHARGE
ZC6 XXXXX       XXXXMRP XXXXX_Q

         ***    PERCENT AREA IN EACH BAND:
ZCA XXXXX       100.

         ***    ELEV VS AREA %
ZCP XXXXX       0  0            500  100

         ***    MET STATION LIST: TYPE(6=LR,4=TA,3=PP), NAME, WEIGHT %
ZCH XXXXX       4 Txx1 100
ZCH XXXXX       4 Txx2 100

ZCH XXXXX       3 Pxx1 100
ZCH XXXXX       3 Pxx2 100

         ***    ST. NAME    METEOROLOGICAL STATION EL,      SNOW WEIGHTING,     PX TEMPERATURE
ZH              Txx1        xxx                             100                 0.0
ZH              Txx2        xxx                             100                 0.0

ZH              Pxx1        xxx                             100                 0.0
ZH              Pxx2        xxx                             100                 0.0


         ***    TABLES

      ***   TABLE XXXXEPP :     ELEV.(M) VS WEIGHTED PRECIP.(%)
ZCT   XXXXEPP                   2           0   100         500   100

      ***   TABLE XXXXTTF :     ATI TEMP INDEX VS MELT RATE, COLD RATE
ZCT   XXXXTTF                   3           0   .2400   .0400       50  .2900   .0500
ZCT   XXXXTTF                       70      .2900   .0500       100 .2900   .0500
ZCT   XXXXTTF                       150     .2900   .0500       200 .2900   .0500
ZCT   XXXXTTF                       99999   .2900   .0500
```

```
     ***   TABLE XXXXSMI :      MI (CM) & SMI (CM) VS ROP (%)
ZCT  XXXXSMI                2        0    10        2    23        4    64
ZCT  XXXXSMI                         6    76        7    83       10   100
ZCT  XXXXSMI                        20   100       30   100      999   100

     ***   TABLE XXXXBII :      BASEFLOW - BII (CM/DAY) VS BFP (%)
ZCT  XXXXBII                2      0.0    85      0.5    53      1.0    40
ZCT  XXXXBII                        2.0    35      4.0    35      999    35

     ***   TABLE XXXXSSS :      SURF+SUBSURF RUNOFF (CM/HR) VS SURF RUNOFF (CM/HR)
     ***   SSARR MANUAL PROCEDURE KSS=.1 CM/HR
ZCT  XXXXSSS                2        0     0      .05   .018      .10   .036
ZCT  XXXXSSS                        .15   .06      .20   .110      .25   .160
ZCT  XXXXSSS                       1.25  1.16      250   249

     ***   TABLE XXXXEKE : RAIN RATE (CM/DAY) VS EKE (ETI EFFECTIVENESS %)
ZCT  XXXXEKE                2        0   100      2.5    70        6    30
ZCT  XXXXEKE                        10     1     9999     1

     ***   TABLE XXXXETP : TEMPERATURE (C) VS EVAPOTRANSPIRATION (CM/DAY)
ZCT  XXXXETP                2      -30   .00        0   .00        5   .11
ZCT  XXXXETP                        10   .19       15   .27       20   .35
ZCT  XXXXETP                        25   .42       30   .49       35   .56
ZCT  XXXXETP                        50   .56

     ***   TABLE XXXXDKE : SMI (CM) VS DKE (% EFFECTIVE ETI)
ZCT  XXXXDKE                2        0     0      2.5    25        5    50
ZCT  XXXXDKE                       7.5    75       10   100       12   100
ZCT  XXXXDKE                       999   100

     ***   TABLE XXXXETM : MONTH VS PET ADJUSTMENT (%) FOR DAY LENGTH
ZCT  XXXXETM                2        1    75        2    79        3   102
ZCT  XXXXETM                         4   114        5   132        6   134
ZCT  XXXXETM                         7   135        8   124        9   105
ZCT  XXXXETM                        10    93       11    76       12    71
ZCT  XXXXETM                        13    75      999    75

     ***   TABLE XXXXINT : MONTH VS INTERCEPTION (CM)
ZCT  XXXXINT                2        1   .10        4   .10        5   .30
ZCT  XXXXINT                         9   .30       11   .10       13   .10

     ***   TABLE XXXXMGM : MONTH VS GROUND MELT (CM/DAY)
ZCT  XXXXMGM                2        1  .050        2  .050        3  .060
ZCT  XXXXMGM                         4  .070        5  .080        6  .100
ZCT  XXXXMGM                         7  .100        8  .100        9  .080
ZCT  XXXXMGM                        10  .080       11  .070       12  .060
ZCT  XXXXMGM                        13  .050

     ***   TABLE XXXXETI : ELEVATION (M) VS EFFECTIVE ETI (%)
ZCT  XXXXETI                2        0   100      500   100     9999   100

     ***   TABLE XXXXMRP : MONTH VS PERCENT EFFECTIVE MELT RATE (%)
ZCT  XXXXMRP                2        1    31        2    37        3    53
ZCT  XXXXMRP                         4    70        5    87        6   100
ZCT  XXXXMRP                         7   100        8    91        9    76
ZCT  XXXXMRP                        10    58       11    41       12    32
ZCT  XXXXMRP                        13    31
```

Fichier XXXXX.IC (fichier de départ pour calibration d'un bassin X)

```
        ***     CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN PETITE PÉRIBONkA

        ***     une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
        ***     TIME-DATE       ROP   BFP   CC    LIQW  ATIMR  ATICC  WE     SMI  BII  TINT
Z201    XXXXX   000010977       30    40    .00   .00   0.     0.     0.0,   ,    ,    .00

        ***     TIME-DATE       FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

        ***     SURFACE FLOW
Z2S     XXXXX   000010977       0     0     0     0     0

        ***     SUBSURFACE FLOW
Z2SS    XXXXX   000010977       5     5     5     5     5

        ***     BASEFLOW
Z2B     XXXXX   000010977       5     5     5     5

        ***     LOWERZONE
Z2LZ    XXXXX   000010977       1     1     1
```

Annexe F

Modélisation des scénarios de CMP

Fichier de simulation de CMP
Rivière Neigette

Fichier NEIGE. CHR - pour les 3 CMP

```
         ***    SIMULATION DES CMP - BASSIN NEIGETTE  (021915)

ZC1 NEIGE_1     SOUS-BASSIN NEIGETTE

         ***    AIRE    ZON     SUR     SUBS    BASEF   LOWZON  BIITS   BIIMX   BFLIM   LZ%     LZLIM
ZC2 NEIGE_1     492     1       4  12   4  26   2 180   2  2000 50      3.5     .10     5       0.05

         ***    EL-P        MR,CC       TIPMR       TIPM        RMR     PLWHC   SNETF   ELINT   LAPSE
ZC3 NEIGE_1     NEIGEPP     NEIGTTF     0.60        0.75        0.338   0.03    0.5     3500    ,   ,

         ***    SM-RO   BI-B%   DIR-SS  RN-EKE  TM-ETP  SM-DKE  MON-ETMO
ZC4 NEIGE_1     NEIGSMI NEIGBII NEIGSSS NEIGEKE NEIGETP NEIGDKE NEIGETM

         ***    INTX    T-SN    T-RN    RNMLT   SNO-CC  ROMLT   EL-ET   WEMN    WE%     WEMX
ZC5 NEIGE_1     NEIGINT 0.0     0.0     0.040   0.085   NEIGMGM NEIGETI 5.0     60      1.0

         ***    MR%     OBSERVED DISCHARGE
ZC6 NEIGE_1     NEIGMRP

         ***    PERCENT AREA IN EACH BAND:
ZCA NEIGE_1     100.

         ***    ELEV VS AREA %
ZCP NEIGE_1     50  0       150  100

         ***    MET STATION LIST: TYPE(6=LR,4=TA,3=PP), NAME, WEIGHT %
         ***    TPR1 = CMP Printemps 1,   TPR2 = CMP Printemps 2,   TEA1 = CMP Été-automne
         ***    P100 = Pluie 100 ans Printemps,     PPMP = PMP Printemps,       PPMA = PMP Été-automne

ZCH NEIGE_1     4 TPR1 100
ZCH NEIGE_1     3 PPMP 100

         ***    TABLES

      ***  TABLE NEIGEPP :   ELEV.(M) VS WEIGHTED PRECIP.(%)
ZCT  NEIGEPP                2       50      100         300     100

      ***  TABLE NEIGTTF :   ATI TEMP INDEX VS MELT RATE, COLD RATE
ZCT  NEIGTTF                3       0       .2400   .1000       10      .2500   .1000
ZCT  NEIGTTF                        20      .3200   .1000       30      .3800   .1000
ZCT  NEIGTTF                        50      .3800   .1000       100     .3800   .1000
ZCT  NEIGTTF                        99999   .3800   .1000
```

```
      ***   TABLE NEIGSMI :       MI (CM) & SMI (CM) VS ROP (%)
ZCT  NEIGSMI                2          0    40          2    45          4    50
ZCT  NEIGSMI                           6    75         10   100          8   100
ZCT  NEIGSMI                          15   100         20   100        999   100

      ***   TABLE NEIGBII :       BASEFLOW - BII (CM/DAY) VS BFP (%)
ZCT  NEIGBII                2        0.0    85        0.5    53        1.0    40
ZCT  NEIGBII                         2.0    35        4.0    35        999    35

      ***   TABLE NEIGSSS :       SURF+SUBSURF RUNOFF (CM/HR) VS SURF RUNOFF (CM/HR)
      ***   SSARR MANUAL PROCEDURE KSS=.1 CM/HR
ZCT  NEIGSSS                2          0     0        .05  .025        .10  .050
ZCT  NEIGSSS                         .15  .075        .20  .100        .25  .125
ZCT  NEIGSSS                        1.25  1.16        250   249

      ***   TABLE NEIGEKE : RAIN RATE (CM/DAY) VS EKE (ETI EFFECTIVENESS %)
ZCT  NEIGEKE                2          0   100        2.5    70          5    30
ZCT  NEIGEKE                          10     1       9999     1

      ***   TABLE NEIGETP : TEMPERATURE (C) VS EVAPOTRANSPIRATION (CM/DAY)
ZCT  NEIGETP                2        -30   .00          0   .00          5   .12
ZCT  NEIGETP                          10   .20         15   .28         20   .36
ZCT  NEIGETP                          25   .42         30   .49         35   .56
ZCT  NEIGETP                         999   .56

      ***   TABLE NEIGDKE : SMI (CM) VS DKE (% EFFECTIVE ETI)
ZCT  NEIGDKE                2          0     0        2.5    50          5    90
ZCT  NEIGDKE                         7.5   100         10   100         12   100
ZCT  NEIGDKE                         999   100

      ***   TABLE NEIGETM : MONTH VS PET ADJUSTMENT (%) FOR DAY LENGTH
ZCT  NEIGETM                2          1    75          2    79          3   102
ZCT  NEIGETM                           4   114          5   132          6   134
ZCT  NEIGETM                           7   135          8   124          9   105
ZCT  NEIGETM                          10    93         11    76         12    71
ZCT  NEIGETM                          13    75        999    75

      ***   TABLE NEIGINT : MONTH VS INTERCEPTION (CM)
ZCT  NEIGINT                2          1   .10          4   .10          5   .30
ZCT  NEIGINT                           9   .30         11   .10         13   .10

      ***   TABLE NEIGMGM : MONTH VS GROUND MELT (CM/DAY)
ZCT  NEIGMGM                2          1  .050          2  .050          3  .060
ZCT  NEIGMGM                           4  .070          5  .080          6  .100
ZCT  NEIGMGM                           7  .100          8  .100          9  .080
ZCT  NEIGMGM                          10  .080         11  .070         12  .060
ZCT  NEIGMGM                          13  .050

      ***   TABLE NEIGETI : ELEVATION (M) VS EFFECTIVE ETI (%)
ZCT  NEIGETI                2          0   100        500   100       9999   100

      ***   TABLE NEIGMRP : MONTH VS PERCENT EFFECTIVE MELT RATE (%)
ZCT  NEIGMRP                2          1    31          2    37          3    53
ZCT  NEIGMRP                           4    70          5    87          6   100
ZCT  NEIGMRP                           7   100          8    91          9    76
ZCT  NEIGMRP                          10    58         11    41         12    32
ZCT  NEIGMRP                          13    31
```

Fichier NEIGE.IC CMP de printemps - EMP + P100

```
        ***     CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN NEIGETTE

        ***     une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
        ***     TIME-DATE       ROP     BFP     CC      LIQW    ATIMR   ATICC   WE      SMI     BII     TINT
Z201    NEIGE_1 000110475,      ,       80,     ,       ,       ,       ,       91      7.6,    ,

        ***     TIME-DATE       FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

        ***     SURFACE FLOW
Z2S     NEIGE_1 000110475       34      34      34      34      34

        ***     SUBSURFACE FLOW
Z2SS    NEIGE_1 000110475       23      23      23      23      23

        ***     BASEFLOW
Z2B     NEIGE_1 000110475       18      18      18

        ***     LOWERZONE
Z2LZ    NEIGE_1 000110475       .3      .3      .3
```

Fichier NEIGE.IC CMP de printemps - PMP + E100

```
        ***     CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN NEIGETTE

        ***     une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
        ***     TIME-DATE       ROP     BFP     CC      LIQW    ATIMR   ATICC   WE      SMI     BII     TINT
Z201    NEIGE_1 000110475,      ,       80,     ,       ,       ,       ,       46      7.6,    ,

        ***     TIME-DATE       FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

        ***     SURFACE FLOW
Z2S     NEIGE_1 000110475       34      34      34      34      34

        ***     SUBSURFACE FLOW
Z2SS    NEIGE_1 000110475       23      23      23      23      23

        ***     BASEFLOW
Z2B     NEIGE_1 000110475       18      18      18

        ***     LOWERZONE
Z2LZ    NEIGE_1 000110475       .3      .3      .3
```

Fichier NEIGE.IC CMP d'été-automne - PMP

```
***  CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN NEIGETTE

***  une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
***  TIME-DATE      ROP   BFP   CC    LIQW   ATIMR  ATICC  WE    SMI    BII   TINT
Z201 NEIGE_1 000010975,  ,     85,   ,     ,      ,      ,     0     2.0,   ,

***  TIME-DATE      FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

***  SURFACE FLOW
Z2S  NEIGE_1 000010975  .3    .3    .3    .3     .3

***  SUBSURFACE FLOW
Z2SS NEIGE_1 000010975  .3    .3    .3    .3     .3

***  BASEFLOW
Z2B  NEIGE_1 000010975  2.5   2.5   2.5

***  LOWERZONE
Z2LZ NEIGE_1 000010975  .33   .33   .33
```

Fichier de simulation de CMP
Petite rivière Péribonka

Fichier PPERI.CHR - pour les 3 CMP

```
***          SIMULATION DES CMP - BASSIN PETITE PÉRIBONkA (061801)

ZC1 PPERI_N  SOUS-BASSIN PETITE PERIBONkA (061801)

***          AIRE     ZON      SUR      SUBS     BASEF    LOWZON   BIITS    BIIMX    BFLIM    LZ%      LZLIM
ZC2 PPERI_N  1090     1        4  12    4  25    3  130   2  2000  50       3.5      .10      10       0.05

***          EL-P     MR,CC    TIPMR    TIPM     RMR      PLWHC    SNETF    ELINT    LAPSE
ZC3 PPERI_N  PPEREPP  PPERTTF  0.60     0.75     0.338    0.03     0.9      3500     ,     ,

***          SM-RO    BI-B%    DIR-SS   RN-EKE   TM-ETP   SM-DKE   MON-ETMO
ZC4 PPERI_N  PPERSMI  PPERBII  PPERSSS  PPEREKE  PPERETP  PPERDKE  PPERETM

***          INTX     T-SN     T-RN     RNMLT    SNO-CC   ROMLT    EL-ET    WEMN     WE%      WEMX
ZC5 PPERI_N  PPERINT  0.00     0.0      0.040    0.085    PPERMGM  PPERETI  5.0      60       1.0

***          MR%      OBSERVED DISCHARGE
ZC6 PPERI_N  PPERMRP

***          PERCENT AREA IN EACH BAND:
ZCA PPERI_N  100.

***          ELEV VS AREA %
ZCP PPERI_N  104  0    150  15    325  50    500  85    550  100

***          MET STATION LIST: TYPE(6=LR,4=TA,3=PP), NAME, WEIGHT %
***          TPR1 = CMP Printemps 1,   TPR2 = CMP Printemps 2,   TEA1 = CMP Été-automne
***          P100 = Pluie 100 ans Printemps,   PPMP = PMP Printemps,   PPMA = PMP Été-automne

ZCH PPERI_N  4 TPR1 100
ZCH PPERI_N  3 PPMP 100

***          TABLES

     ***  TABLE PPEREPP :  ELEV.(M) VS WEIGHTED PRECIP.(%)
ZCT  PPEREPP               2        104   100      550   100

     ***  TABLE PPERTTF :  ATI TEMP INDEX VS MELT RATE, COLD RATE
ZCT  PPERTTF               3          0   .2200    .1500        10   .2200    .1500
ZCT  PPERTTF                         20   .2200    .1500        30   .2800    .1500
ZCT  PPERTTF                         50   .3800    .1500       100   .3800    .1500
ZCT  PPERTTF                      99999   .3800    .1500

     ***  TABLE PPERSMI :  MI (CM) & SMI (CM) VS ROP (%)
ZCT  PPERSMI               2          0   40         2   45         4   50
ZCT  PPERSMI                          6   75        10   100       12.5 100
ZCT  PPERSMI                         15   100       20   100       999  100

     ***  TABLE PPERBII :  BASEFLOW - BII (CM/DAY) VS BFP (%)
ZCT  PPERBII               2        0.0   85        0.5  53        1.0  40
ZCT  PPERBII                        2.0   35        4.0  35        999  35
```

```
      ***   TABLE PPERSSS :     SURF+SUBSURF RUNOFF (CM/HR) VS SURF RUNOFF (CM/HR)
      ***   SSARR MANUAL PROCEDURE KSS=.1 CM/HR
ZCT  PPERSSS              2          0     0           .05   .025          .10   .050
ZCT  PPERSSS                       .15  .075           .20   .100          .25   .125
ZCT  PPERSSS                      1.25  1.16           2.0    1.8          250    249

      ***   TABLE PPEREKE : RAIN RATE (CM/DAY) VS EKE (ETI EFFECTIVENESS %)
ZCT  PPEREKE              2          0   100           2.5     90            5     50
ZCT  PPEREKE                        10     1          9999      1

      ***   TABLE PPERETP : TEMPERATURE (C) VS EVAPOTRANSPIRATION (CM/DAY)
ZCT  PPERETP              2        -30   .00             0    .00            5    .12
ZCT  PPERETP                        10   .20            15    .28           20    .36
ZCT  PPERETP                        25   .42            30    .49           50    .56

      ***   TABLE PPERDKE : SMI (CM) VS DKE (% EFFECTIVE ETI)
ZCT  PPERDKE              2          0     0           2.5     25            5     50
ZCT  PPERDKE                       7.5    75            10    100           12    100
ZCT  PPERDKE                       999   100

      ***   TABLE PPERETM : MONTH VS PET ADJUSTMENT (%) FOR DAY LENGTH
ZCT  PPERETM              2          1    75             2     79            3    102
ZCT  PPERETM                         4   114             5    132            6    134
ZCT  PPERETM                         7   135             8    124            9    105
ZCT  PPERETM                        10    93            11     76           12     71
ZCT  PPERETM                        13    75           999     75

      ***   TABLE PPERINT : MONTH VS INTERCEPTION (CM)
ZCT  PPERINT              2          1   .10             4    .10            5    .30
ZCT  PPERINT                         9   .30            11    .10           13    .10

      ***   TABLE PPERMGM : MONTH VS GROUND MELT (CM/DAY)
ZCT  PPERMGM              2          1  .050             2   .050            3   .060
ZCT  PPERMGM                         4  .070             5   .080            6   .100
ZCT  PPERMGM                         7  .100             8   .100            9   .080
ZCT  PPERMGM                        10  .080            11   .070           12   .060
ZCT  PPERMGM                        13  .050

      ***   TABLE PPERETI : ELEVATION (M) VS EFFECTIVE ETI (%)
ZCT  PPERETI              2          0   100           500    100         9999    100

      ***   TABLE PPERMRP : MONTH VS PERCENT EFFECTIVE MELT RATE (%)
ZCT  PPERMRP              2          1    31             2     37            3     53
ZCT  PPERMRP                         4    70             5     87            6    100
ZCT  PPERMRP                         7   100             8     91            9     76
ZCT  PPERMRP                        10    58            11     41           12     32
ZCT  PPERMRP                        13    31
```

Fichier PPERI.IC CMP de printemps - EMP + P100

```
        ***     CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN PETITE PÉRIBONkA

        ***     une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
        ***     TIME-DATE       ROP     BFP     CC      LIQW    ATIMR   ATICC   WE      SMI     BII     TINT
Z201    PPERI_N 000150475,      ,       60,     ,       ,       ,       ,       66      8.3,    ,

        ***     TIME-DATE       FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

        ***     SURFACE FLOW
Z2S     PPERI_N 000150475       1.2     1.2     1.2     1.2     1.2

        ***     SUBSURFACE FLOW
Z2SS    PPERI_N 000150475       6.4     6.4     6.4     6.4     6.4

        ***     BASEFLOW
Z2B     PPERI_N 000150475       9.0     9.0     9.0

        ***     LOWERZONE
Z2LZ    PPERI_N 000150475       1.1     1.1     1.1
```

Fichier PPERI.IC CMP de printemps - PMP + E100

```
        ***     CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN PETITE PÉRIBONkA

        ***     une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
        ***     TIME-DATE       ROP     BFP     CC      LIQW    ATIMR   ATICC   WE      SMI     BII     TINT
Z201    PPERI_N 000150475,      ,       60,     ,       ,       ,       ,       40      8.3,    ,

        ***     TIME-DATE       FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

        ***     SURFACE FLOW
Z2S     PPERI_N 000150475       1.2     1.2     1.2     1.2     1.2

        ***     SUBSURFACE FLOW
Z2SS    PPERI_N 000150475       6.4     6.4     6.4     6.4     6.4

        ***     BASEFLOW
Z2B     PPERI_N 000150475       9.0     9.0     9.0

        ***     LOWERZONE
Z2LZ    PPERI_N 000150475       1.1     1.1     1.1
```

Fichier PPERI.IC CMP d'été-automne - PMP

```
            ***     CONDITIONS INITIALES – "SNOWBAND MODEL" - BASSIN PETITE PÉRIBONkA

            ***     une carte Z2nn par bande d'élévation (Z201, Z202, Z203, …)
            ***     TIME-DATE       ROP     BFP     CC      LIQW    ATIMR   ATICC   WE      SMI     BII     TINT
Z201  PPERI_N       000010975,       ,      60,     ,       ,       ,       ,       ,       5,      ,

            ***     TIME-DATE       FLOW VALUE FOR EACH ROUTING PHASE

            ***     SURFACE FLOW
Z2S   PPERI_N       000010975       10      10      10      10      10

            ***     SUBSURFACE FLOW
Z2SS  PPERI_N       000010975       13      13      13      13      13

            ***     BASEFLOW
Z2B   PPERI_N       000010975       11      11      11

            ***     LOWERZONE
Z2LZ  PPERI_N       000010975       1.4     1.4     1.4
```

Annexe G

Résultats de simulation des CMP

Fichier de simulation de CMP
Rivière Neigette

Figure G.1.1 - Rivière Neigette - CMP de printemps - EMP + P100

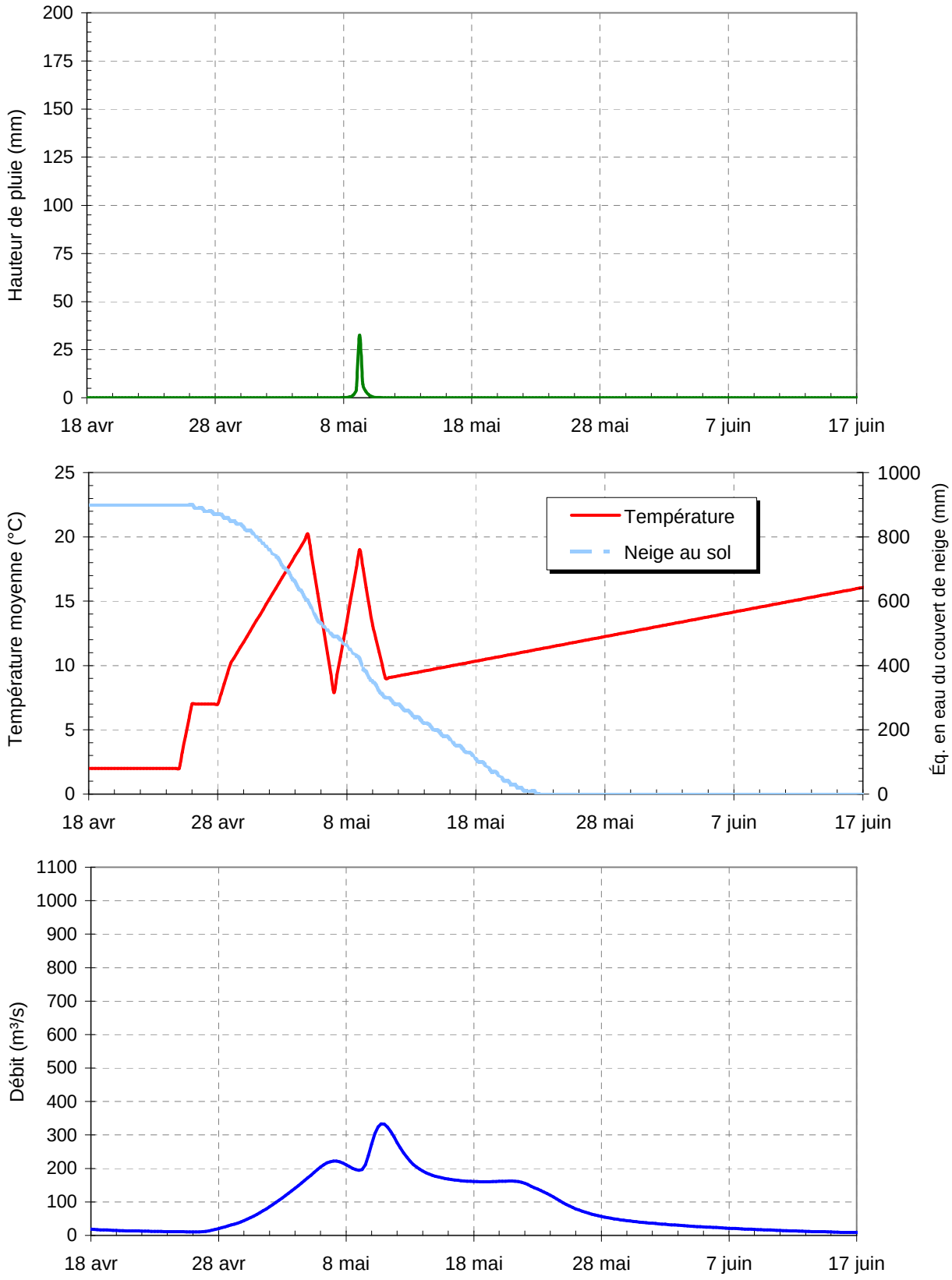


Figure G.1.2 - Rivière Neigette - CMP de printemps - PMP + E100

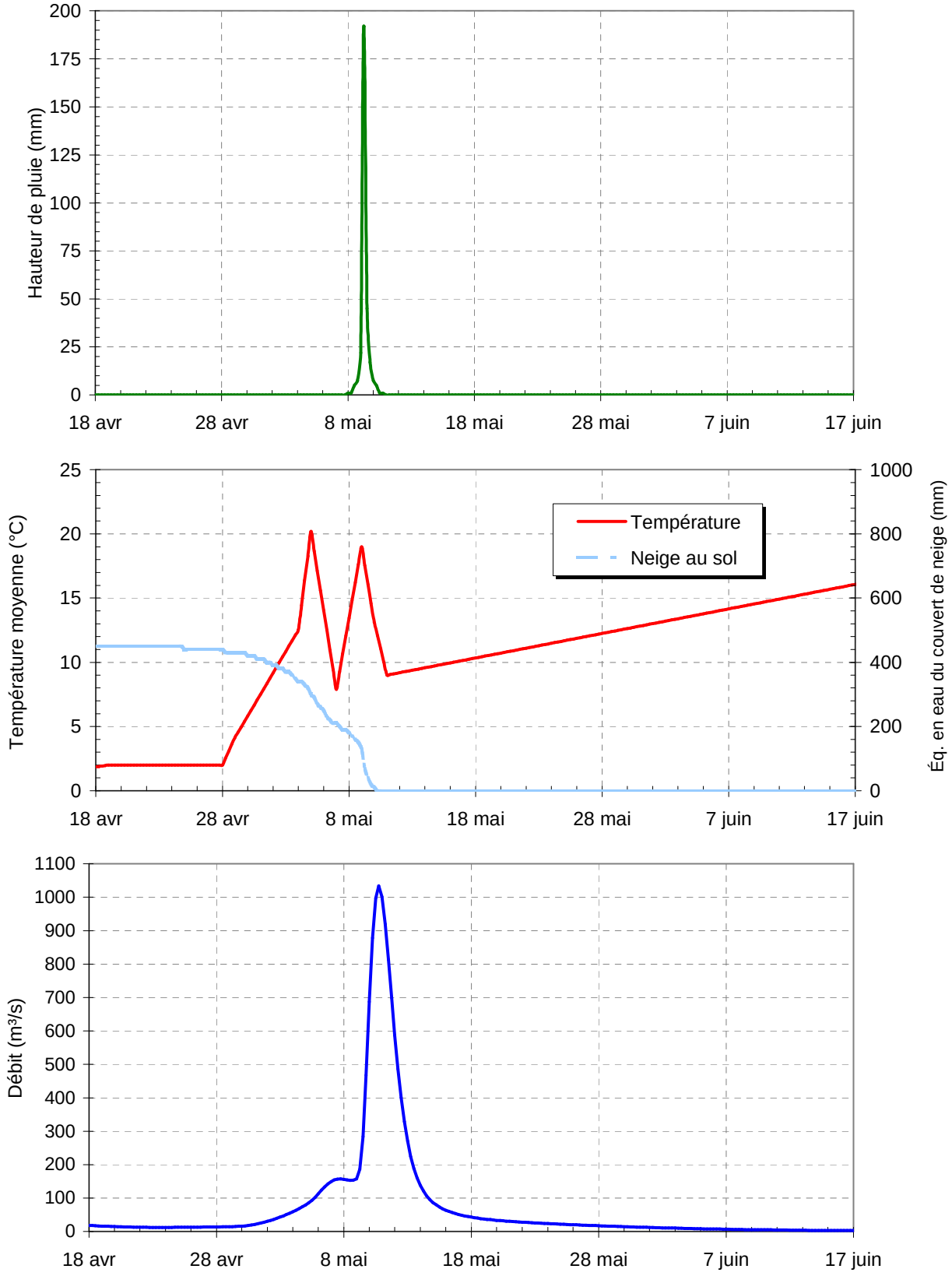
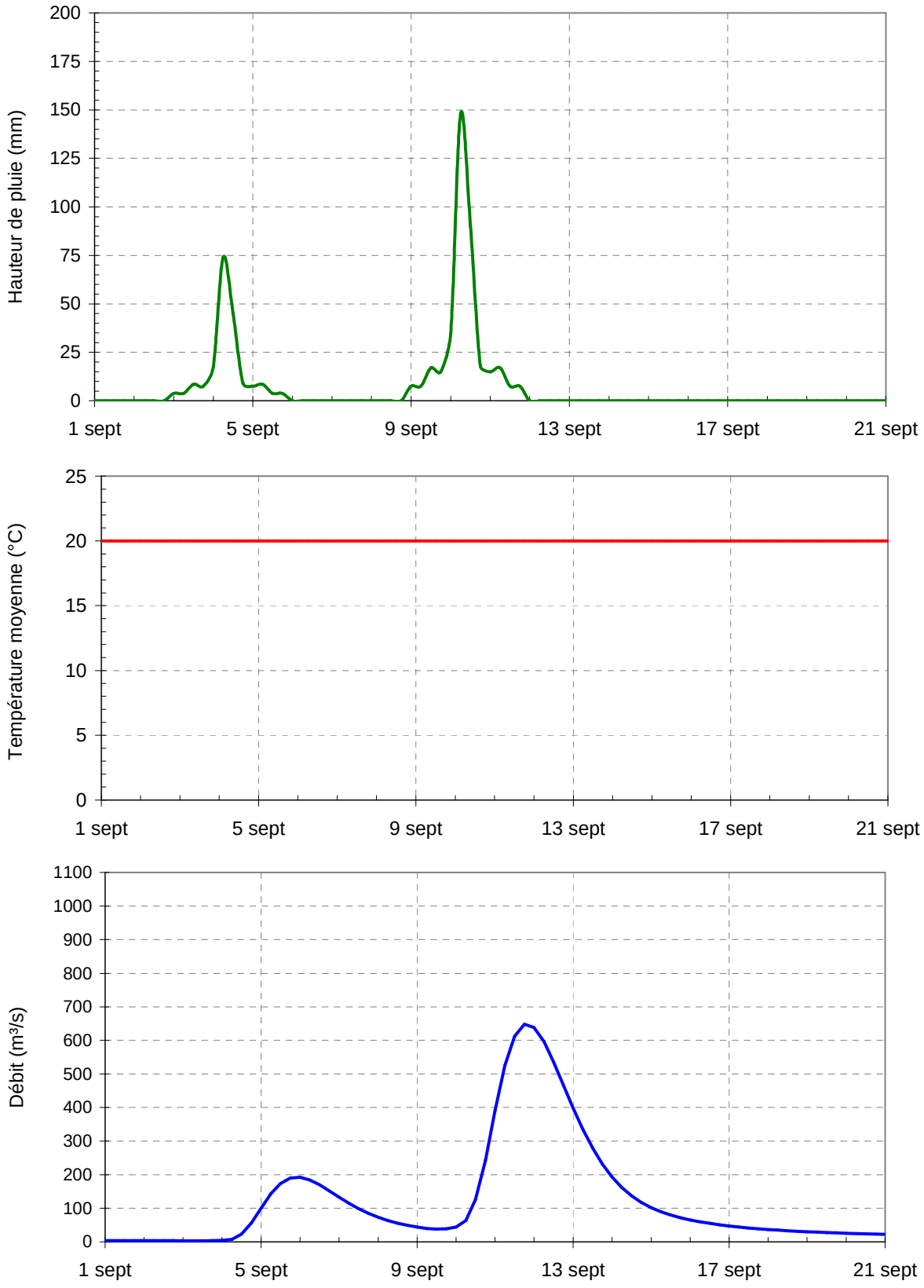


Figure G.1.3 - Rivière Neigette - CMP d'été-automne - PMP



Fichier de simulation de CMP
Petite rivière Péribonka

Figure G.2.1 - Petite Péribonka - CMP de printemps - EMP + P100

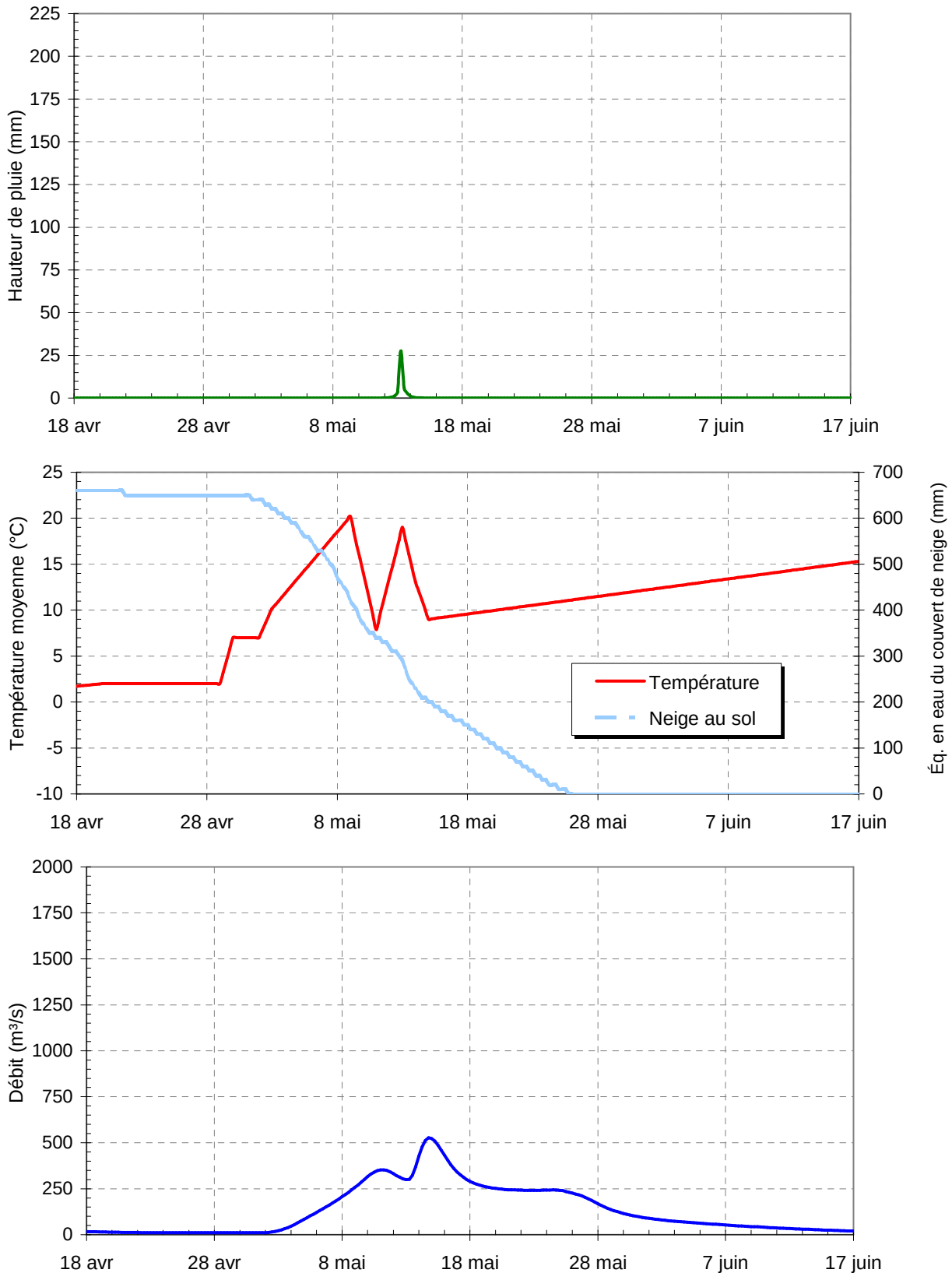


Figure G.2.2 - Petite Péribonka - CMP de printemps - PMP + E100

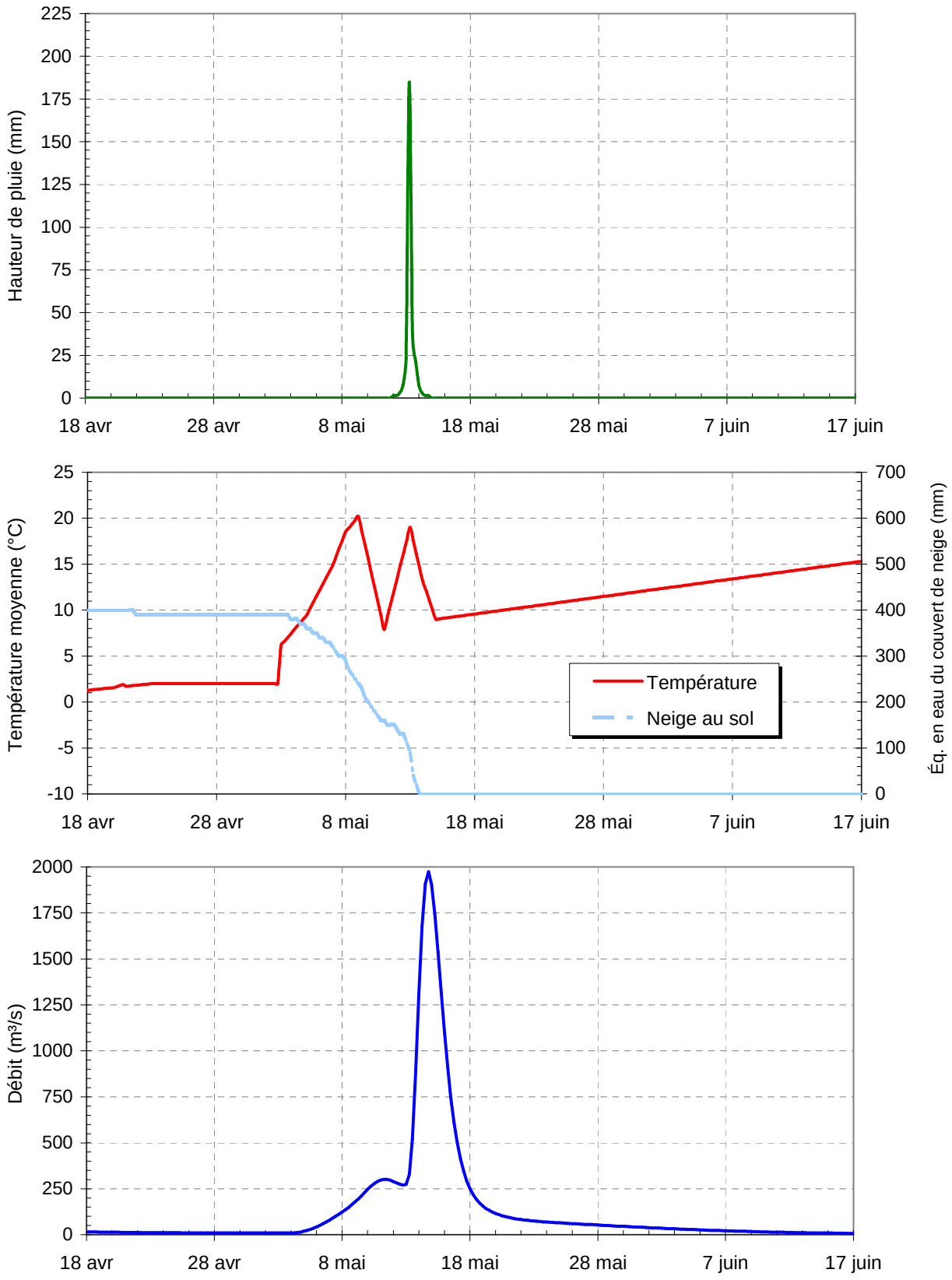
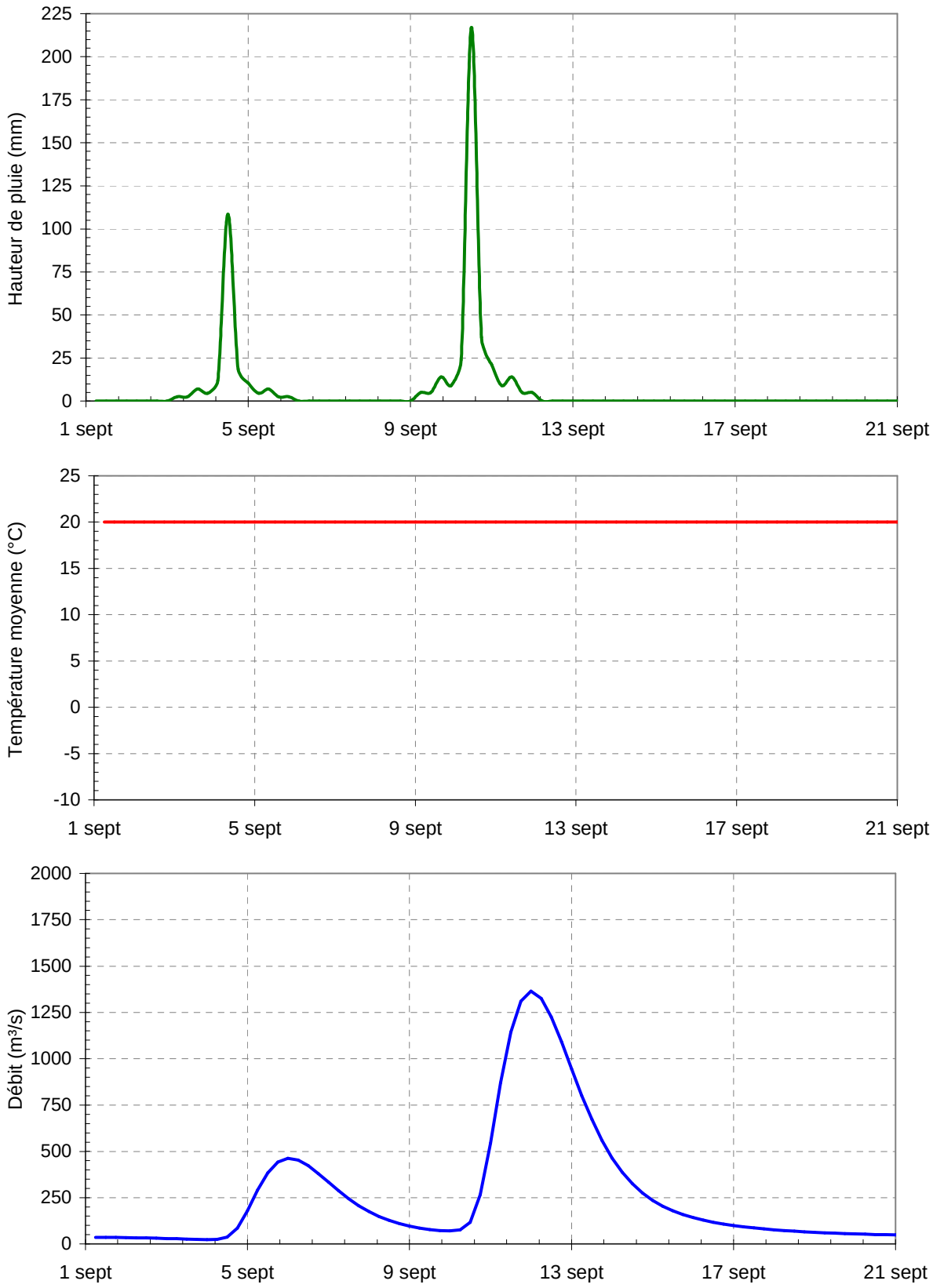


Figure G.2.3 - Petite Péribonka - CMP d'été-automne - PMP



Annexe H

Planches