

Réfection du barrage en enrochement et des digues de l'aménagement des Rapides-des-Quinze

Complément du rapport d'avant-projet

Réponses aux questions et aux commentaires
du ministère de l'Environnement du Québec

***Réfection du barrage en
enrochement et des digues
de l'aménagement
des Rapides-des-Quinze***

Complément du rapport d'avant-projet

Réponses aux questions et aux commentaires
du ministère de l'Environnement du Québec

Ce document complète le rapport d'avant-projet soumis en décembre 2000 au ministère de l'Environnement du Québec aux fins de l'obtention d'un certificat d'autorisation du gouvernement, conformément aux articles 31.1 et suivants de la Loi sur la qualité de l'environnement, relativement à la réalisation du projet de réfection du barrage en enrochement et des digues de l'aménagement des Rapides-des-Quinze.

Le présent document a été préparé par
le groupe – Ingénierie, approvisionnement et construction
et le groupe – Production
avec la collaboration de la direction principale – Communication
et de la direction principale – Technologies de l'information

Table des matières

Réponses aux questions et aux commentaires	1
<i>Question 1 La roche dynamitée</i>	1
<i>Question 2 Chantier temporaire</i>	2
<i>Question 3 La crue maximale probable (CMP)</i>	2
<i>Question 4 Les poissons</i>	5
<i>Question 5 Évaluation des risques</i>	7
<i>Question 6 Certificats d'analyse</i>	22
<i>Question 7 Crédibilité de l'étude</i>	23
Références bibliographiques	27

Annexes

- A Qualité des matériaux d'emprunt
- B Calcul de la crue maximale probable
- C Schéma logique et processus d'urgence-barrage
- D Certificats d'analyse bactériologique

Tableaux

1 Résultats d'échantillonnage d'œufs et d'alevins en aval du barrage des Quinze.....	6
2 Rupture par temps sec de la digue en terre située en rive droite de l'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Quinze (scénario 10).....	8
3 Personnel d'Hydro-Québec ayant participé à l'étude d'impact.....	24
4 Personnel des firmes de consultants ayant participé à l'étude d'impact.....	25

Figures

1	Roulottes de chantier, espaces de stationnement et cours d'entreposage	3
2	Stations d'échantillonnage en aval du barrage des Quinze.....	6
3	Hydrogramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Quinze (scénario 10)	10
4	Limnigramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Quinze (scénario 10)	10
5	Hydrogramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal et de la digue en rive droite des Rapides-des-Quinze (scénario 13)	11
6	Limnigramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal et de la digue en rive droite des Rapides-des-Quinze (scénario 13)	11
7	Hydrogramme après l'arrivée de la CMP automnale aux lacs Simard et des Quinze (scénario 6).....	12
8	Limnigramme après l'arrivée de la CMP automnale aux lacs Simard et des Quinze (scénario 6).....	13
9	Zones et bâtiments inondés selon le scénario 6 : échelle de 1 : 20 000	16
10	Zones et bâtiments inondés selon le scénario 6 : vue 3D.....	17
11	Zones et bâtiments inondés selon le scénario 6 : agrandissement 3D.....	18
12	Zones et bâtiments inondés selon le scénario 13 : échelle de 1 : 20 000	19
13	Zones et bâtiments inondés selon le scénario 13 : agrandissement 3D.....	20

Réponses aux questions et aux commentaires

Question 1 – La roche dynamitée

*Re : Étude d'impact, section 3.5.2 : « Méthodes de construction »,
page 23, 3^e paragraphe.*

Quels sont la nature, la provenance et le potentiel de génération d'acide du matériau d'enrochement supplémentaire obtenu par abattage à l'explosif sur un massif rocheux utilisé pour la réfection du massif aval, pour le rehaussement de la crête de l'ouvrage et pour la construction des perrés ou pour tout autre remblai, en eau, permanent ou temporaire ?

Réponse

Le rapport de Monterval (2000) présente les informations relatives aux matériaux d'emprunt qui seront utilisés pour la réfection des barrages et des digues. La roche pourrait provenir de la réserve de roche dynamitée qui est située près du poste des Rapides-des-Quinze et des carrières C-4 (massif rocheux) et C-5 (ancienne carrière). Ces dernières se trouvent en rive droite du barrage en remblai. La nature du matériau d'enrochement est la suivante :

- *Réserve de roche dynamitée* : Échantillon 4977. Roche métamorphique ultramafique, de type serpentine. Présence de schiste à amphibole, de feldspaths et de quartz.
- *Carrière C-4* : Échantillon 4978. Roche mafique (pyroxène et amphibole) de type diabase et feldspaths.
- *Carrière C-5* : Échantillon 4979. Roche mafique (pyroxène et amphibole) de type gabbro.

La figure 6.4 du rapport d'avant-projet montre l'emplacement des carrières potentielles. Les échantillons de roche analysés n'ont pas démontré un potentiel de génération acide. L'annexe A du présent document donne les résultats des essais sur les matériaux granulaires, le certificat d'analyse du test de potentiel de génération acide et les données d'examen pétrographique des fragments de roche.

Question 2 – Chantier temporaire

*Re : Étude d'impact, section 3.5.3 : « Installation de chantier »,
page 23, 5^e paragraphe.*

Quelle est la localisation précise de cette « aire de service » de 30 mètres sur 50 ?

La petite vallée au nord de l'extrémité droite de la digue abrite une zone humide dans laquelle passe déjà la nouvelle route d'accès. Aucun autre remblai ne doit être construit dans cette vallée.

Réponse

La figure 1 montre l'emplacement des roulottes de chantier, des espaces de stationnement et des cours d'entreposage. Ces installations sont situées en rive droite du barrage en remblai. Il est à noter qu'aucun remblai ne sera déposé dans la vallée abritant la zone humide.

La figure 1 indique également l'emplacement prévu d'une rampe de mise à l'eau. Celle-ci devra être aménagée pour les travaux de réfection de l'évacuateur de crues, et non du barrage en enrochement. Le moment venu, Hydro-Québec demandera un certificat d'autorisation à cette fin.

Question 3 – La crue maximale probable (CMP)

Re : Étude d'impact, section 5.1.3 : « Régime hydrologique ».

Pour se prononcer sur la recevabilité de l'étude, le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) a besoin de connaître les données de base, les résultats, les graphiques et les calculs relatifs au petit et au grand réservoir des Quinze qui ont mené à l'établissement de la cote de la CMP à 257,5 mètres, qui en fait est le cœur de la justification des travaux. Dans ce dossier, le CEHQ agit à titre d'expert en hydraulique pour le Ministère.

Selon le CEHQ, ces données se retrouvent dans « L'étude globale des crues sur la rivière des Outaouais » que vous citez en référence à la section 2.2.3 « Références », de la section 2.2 « Régime hydrologique », de l'annexe A « Recueil des méthodes ».

Réponse

Les calculs qui ont mené à l'établissement à 257,5 m de la CMP sont expliqués en détail à l'annexe B.

Question 4 – Les poissons

Re : Étude d'impact, sections 5.2.2.1 et 6.3.4.1 : « Ichtyofaune ».

À la sous-section 5.2.2.1 « Description des communautés de poissons » de la section 5.2.2 « Ichtyofaune », on discute de Cisco de lac (*Coregonus artedie*) dans trois des quatre paragraphes. Au tableau 5.5, on discute aussi de Cisco de lac (*Coregonus artedie*). Au tableau A-3 de l'annexe A « Caractéristiques des lieux propices à la fraie pour quelques espèces de poissons », on discute encore de Cisco de lac (*Coregonus artedie*). Cependant en page 66 à la sous-section 6.3.4.1 « Bief amont du barrage des Rapides-des-Quinze » de la section 6.3.4 « Impact sur l'Ichtyofaune », on discute d'**Omisco**.

4.1 Est-ce qu'on parle vraiment d'Omisco (*Percopsis omniscomayacus*) ou de Cisco de lac (*Coregonus artedie*) ?

Si on parle d'Omisco (*Percopsis omniscomayacus*) il faudrait ajuster, à la section 5.2.2, la description des communautés de poissons, le tableau 5.5 de même que le tableau A-3 de l'annexe A, sinon corriger la page 66.

4.2 Expliquez pourquoi le doré noir (*Stizostedion canadense*) ne peut pas utiliser la frayère identifiée pour le doré jaune (*Stizostedion vitreum*) au 3^e paragraphe en page 66, même si les caractéristiques de ses besoins en matière de frayère sont identiques à celles de son cousin, comme il est au tableau A-3.

Réponse

4.1 Omisco ou cisco de lac

Les pêches expérimentales effectuées en juillet 1999 par Environnement Illimité n'ont pas permis la capture d'omisco (*Percopsis omniscomayacus*) dans le Petit réservoir des Quinze. L'espèce est toutefois présente dans le lac des Quinze (Nadeau, 1995).

Dans le rapport d'avant-projet, on a omis de présenter les résultats des échantillonnages des pêches printanières effectuées entre le 10 et le 19 mai 1999 à l'aval du barrage des Quinze (barrage d'Angliers). La figure 2 présente les stations d'échantillonnage et le tableau 1, les résultats de l'échantillonnage. Il est à noter que la température de l'eau a varié de 8 °C à 12 °C durant la période d'échantillonnage.

L'affirmation selon laquelle il y a de l'omisco dans le Petit réservoir des Quinze est donc exacte (voir le rapport d'avant-projet, p. 66).

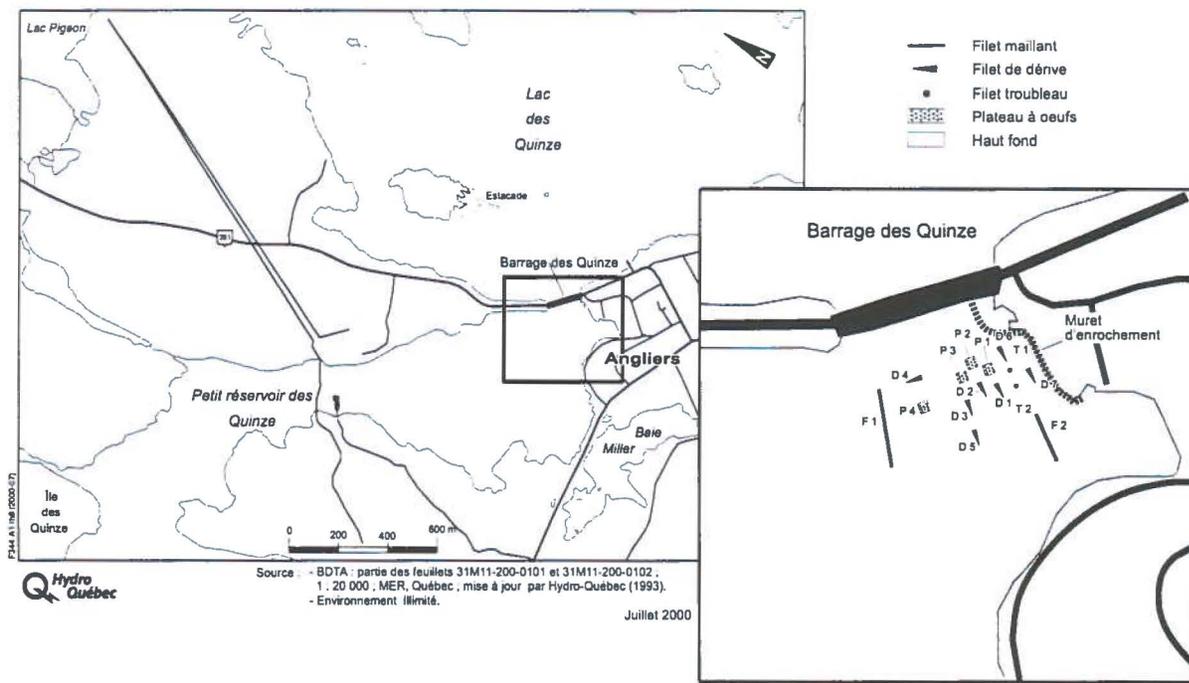


Figure 2 – Stations d'échantillonnage en aval du barrage des Quinze

Tableau 1 – Résultats d'échantillonnage d'œufs et d'alevins en aval du barrage des Quinze

Espèce	Nombre de géniteurs	Nombre d'œufs	Nombre d'alevins
Doré jaune	2	18	—
Meuniers	59	151	—
Omisco	1	133	—
Éperlan	1	2	—
Corégoninés	—	—	60

4.2 Utilisation de la frayère par le doré noir

Le rapport d'avant-projet (p. 66) ne mentionne pas que le doré noir ne peut pas utiliser la frayère du doré jaune. Il est écrit : « Il s'agit d'une frayère à doré jaune, à catostomidés et à omisco ». Aucun géniteur de doré noir n'a été capturé à la frayère. Les deux espèces de doré, soit le doré noir et le doré jaune, sont susceptibles d'utiliser cette frayère.

Question 5 – Évaluation des risques

Re : Directive, partie 1, section 5 : « Gestion des risques d'accident ».

- 5.1 *Quelle est votre évaluation du risque que les travaux projetés provoquent une rupture des digues en réfection ?*
- 5.2 *Quelle est votre évaluation du risque de rupture des digues pendant les travaux que des événements externes, d'ordre climatique ou autre, pourraient provoquer ?*
- 5.3 *Quelle est l'onde de submersion qui résulterait de la rupture de chacune des trois digues ?*
- 5.4 *Quelles sont les conséquences d'une telle rupture pour les populations des municipalités d'Angliers, de Guérin, de Saint-Eugène-de-Guigues et de Notre-Dame-du-Nord ?*
- 5.5 *Décrire ou fournir le plan des mesures d'urgence relié à ces ouvrages de même que son articulation avec les plans de sécurité civile des municipalités d'Angliers, de Guérin, de Notre-Dame-du-Nord et de Saint-Eugène-de-Guigues et décrire les mises à jour effectuées afin d'actualiser ce plan des mesures d'urgence pour le projet de réfection des digues du Petit réservoir des Quinze.*
- 5.6 *En quoi consiste le programme de surveillance de l'intégrité des ouvrages pendant l'exécution des travaux ?*
- 5.7 *En quoi consiste le programme de surveillance permanente de l'intégrité de ces ouvrages après leur réfection ?*

Réponse

5.1 Effet des travaux sur la stabilité des digues en réfection

Les travaux projetés ne mettent pas en danger la sécurité des ouvrages. D'un faible volume, les excavations seront exécutées du côté amont de la crête au fur et à mesure du rehaussement des digues. Elles n'auront pas d'effet sur l'élément d'étanchéité ni sur la stabilité des ouvrages.

5.2 Effet d'éventuels événements climatiques ou hydrauliques

La sécurité des ouvrages ne sera pas mise en danger par d'éventuels événements climatiques, puisque le facteur de sécurité quant aux sollicitations sismiques est supérieur à 1,25.

En ce qui concerne les sollicitations hydrauliques, l'évacuateur de crues existant a la capacité d'évacuer la crue maximale probable (CMP).

5.3 Onde de submersion résultant d'une rupture

■ Rupture par temps sec

Le tableau 2 présente l'onde de submersion résultant de la rupture par temps sec du barrage en enrochement des Rapides-des-Quinze selon le scénario 10 (SC10).

Tableau 2 – Rupture par temps sec de la digue en terre située en rive droite de l'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Quinze (scénario 10)

Section	Chaînage (km)	Niveau initial (m)	Niveau maximal atteint (m)	Surélévation maximale (m)	Temps d'élévation maximal (h)	Débit maximal (m ³ /s)	Vitesse maximale (m/s)
1	0,09	239,09	245,99	6,90	0,55	5396	1,98
2	0,34	238,06	245,74	7,68	0,55	5269	5,75
3	0,70	235,21	243,70	8,49	0,60	5238	8,93
4	1,26	232,02	240,44	8,41	0,60	5206	5,14
5	1,83	230,16	233,91	3,75	0,95	5192	22,27

La section 1 correspond à l'aval immédiat de l'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Quinze, alors que la section 5 correspond à la tête de la retenue des Rapides-des-Îles.

Ce scénario de rupture par temps sec, c'est-à-dire sans submersion de l'ouvrage, suppose que les ouvrages d'évacuation des Rapides-des-Quinze maintiennent à 256,03 m le niveau d'exploitation maximal du bief amont avant et durant la rupture. Un débit de 476 m³/s passe alors par la centrale.

Le débit de l'onde de rupture de l'évacuateur est laminé dans la portion de la rivière des Outaouais qui mène jusqu'à l'aval de la centrale. En ajoutant le débit de la centrale, on atteint un débit de 5 680 m³/s. L'onde de rupture est ensuite propagée jusqu'à l'aménagement des Rapides-des-Îles, où on suppose également qu'avant la rupture les ouvrages d'évacuation sont bloqués au niveau d'exploitation maximal du bief amont et qu'on ne les ouvre pas pour l'arrivée de l'onde de rupture en provenance des Rapides-des-Quinze.

L'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Îles est alors submergé de 1,86 m. Lorsqu'il se rompt, le débit maximal dans la brèche est de 2 190 m³/s. De même, la digue située en rive gauche de la centrale des Rapides-des-Îles est submergée de 0,65 m et se rompt. Le débit maximal dans la brèche est de 3 275 m³/s. L'onde de rupture est alors propagée jusqu'au barrage de la Première-Chute, qu'on suppose lui aussi bloqué à son niveau d'exploitation maximal, ce qui entraîne sa rupture.

L'étude de rupture effectuée en 1998 ne présente pas l'onde de rupture de ce scénario (SC11) plus à l'aval que ce qui est montré dans le tableau 2, car il ne s'agit pas du scénario le plus critique. Les figures 3 à 6 donnent l'allure générale des temps de propagation des ondes de rupture par temps sec selon les scénarios 10 et 13.

Le scénario 10 correspond à la rupture de l'évacuateur en béton des Rapides-des-Quinze, au lieu de la digue, pour un débit maximal de 4 513 m³/s, au lieu de 5 396 m³/s. Les figures 3 et 4 montrent les hydrogrammes et les limnigrammes après rupture pour chacun des secteurs jusqu'à la tête du lac Témiscamingue.

Le scénario le plus critique (SC13) correspond à la rupture simultanée par temps sec de la digue et de l'évacuateur en béton des Rapides-des-Quinze, puis de l'évacuateur et des deux digues des Rapides-des-Îles. Les figures 5 et 6 présentent les hydrogrammes et les limnigrammes des différents secteurs jusqu'au lac Témiscamingue. Ce scénario correspond cependant à un débit de pointe en provenance des Rapides-des-Quinze bien supérieur (9 308 m³/s) à celui du scénario SC11 (5 396 m³/s), où seule la digue se rompt.

■ Rupture par submersion

Les analyses des ruptures par submersion montrent que, pour rompre la digue des Rapides-des-Quinze, il faut que la CMP automnale (avec le réservoir des Rapides-des-Quinze rempli) soit centrée sur le barrage des Quinze (barrage d'Angliers), que cet ouvrage soit ouvert à 100 % de sa capacité, mais que l'évacuateur de crues des Rapides-des-Quinze ne soit ouvert qu'à 50 % ou moins de sa capacité. Pour ce scénario (SC6), on a une rupture par submersion de la digue en rive droite de l'évacuateur des Rapides-des-Quinze. En supposant que les évacuateurs des Rapides-des-Îles sont ouverts à 100 %, il y a tout de même rupture par submersion de la digue située en rive gauche de l'évacuateur. On a alors une rupture du barrage de la Première-Chute, où on suppose que l'évacuateur est ouvert à 50 % de sa capacité. Les figures 7 et 8 présentent les hydrogrammes et les limnigrammes qui correspondent à ce cas.

Il est à noter qu'il ne se produit plus aucune rupture si l'évacuateur des Rapides-des-Quinze est ouvert à 56 % ou plus, même si le barrage des Quinze est ouvert à 100 %.

■ Digues des lacs Long et Talé

Aucune onde de rupture n'est présentée dans l'étude de rupture pour les digues des lacs Long et Talé étant donné leurs faibles hauteurs (respectivement 3 m et 4,5 m). Cependant, plusieurs des scénarios de rupture par submersion conduisent à un niveau d'eau critique vers la digue du lac Long, où en cas de bris durant la CMP l'eau pourrait emprunter plusieurs chemins nouveaux rejoignant la rivière en aval ou même directement le lac Témiscamingue.

Les études montrent que, dans tous les cas de rupture envisagés, les conséquences sont mineures sur le lac Témiscamingue. La surélévation maximale du lac en conditions de CMP n'est que de 0,45 m et elle n'a donc pas d'impact mesurable sur les zones riveraines habitées.

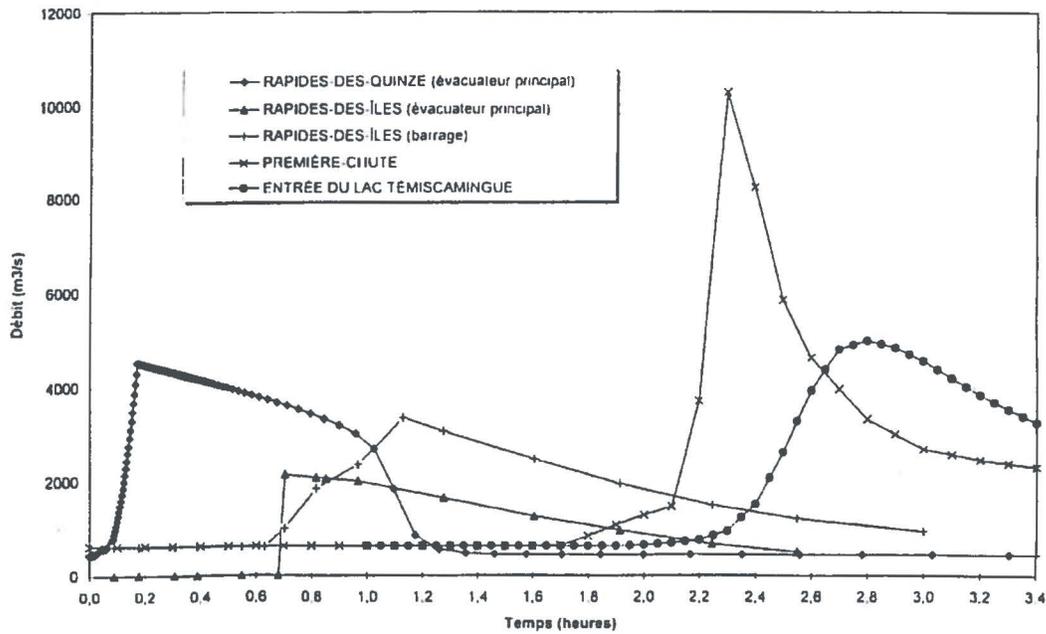


Figure 3 – Hydrogramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Quinze (scénario 10)

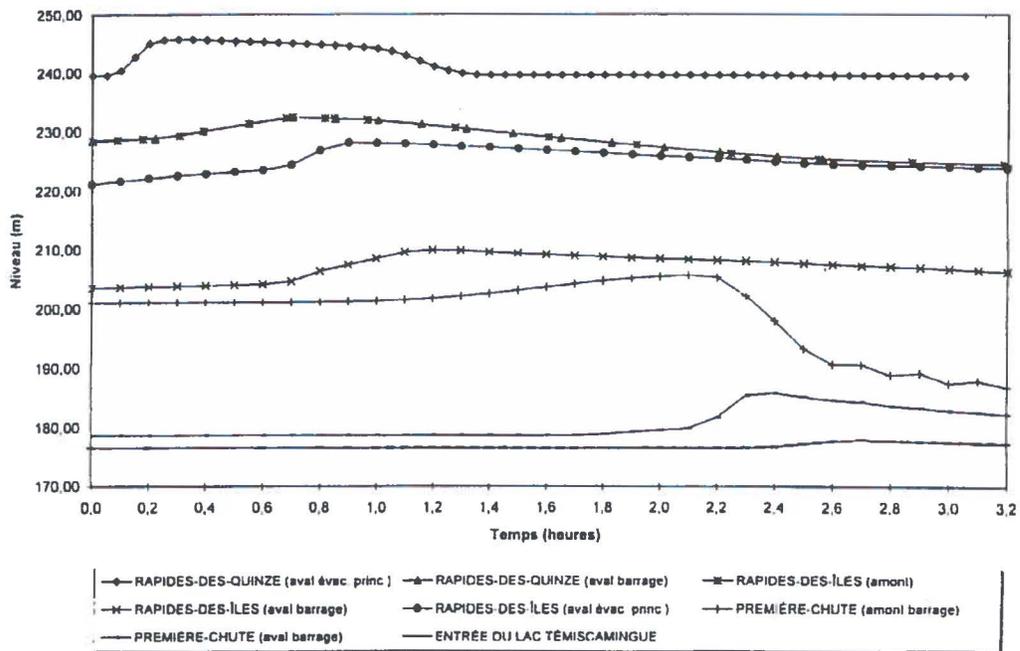


Figure 4 – Limnigramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal des Rapides-des-Quinze (scénario 10)

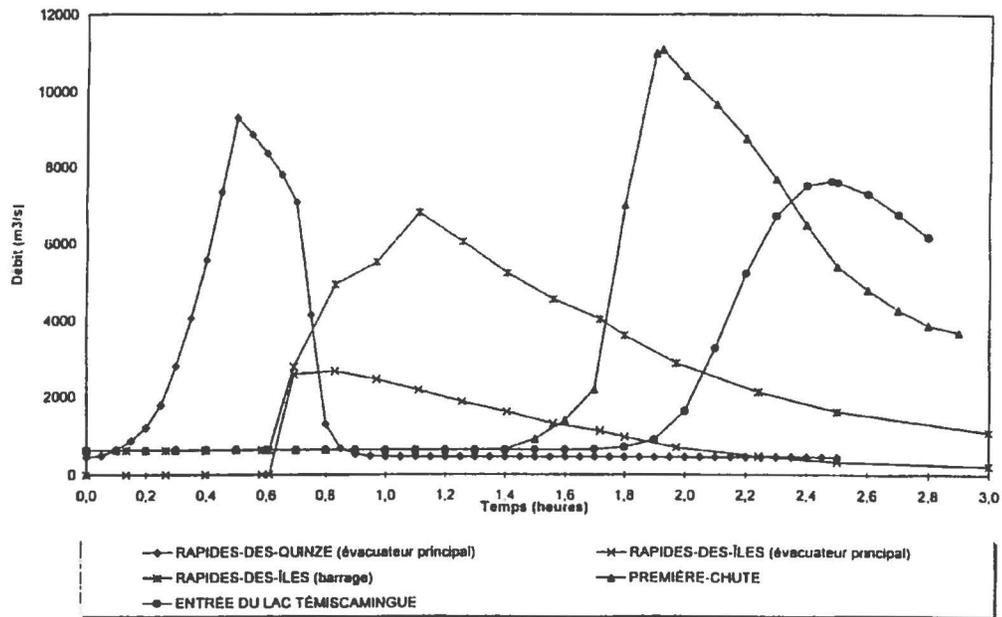


Figure 5 – Hydrogramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal et de la digue en rive droite des Rapides-des-Quinze (scénario 13)

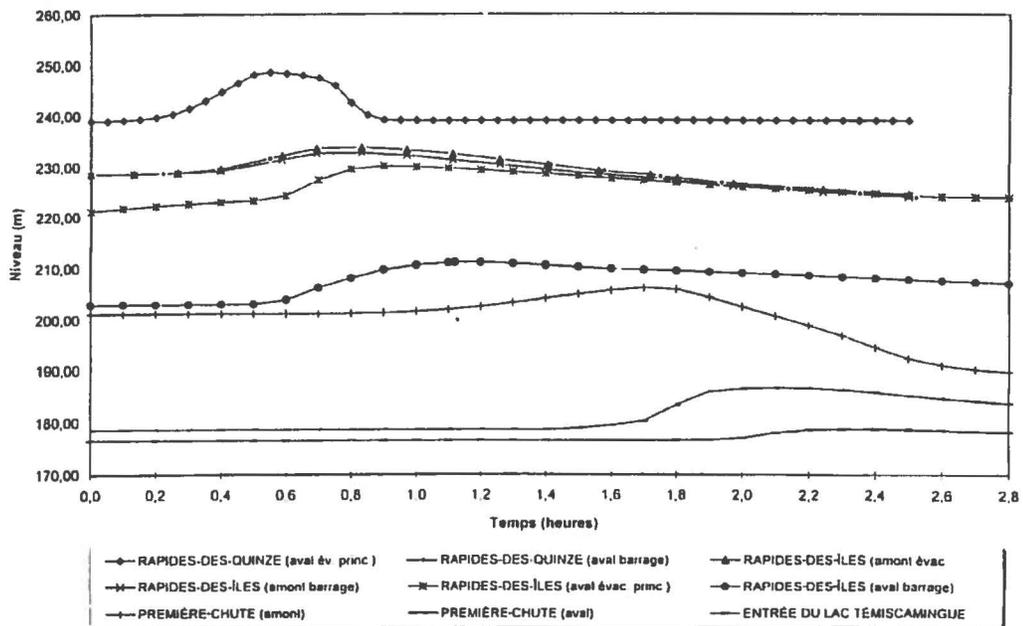


Figure 6 – Limnigramme après la rupture par temps sec de l'évacuateur de crues principal et de la digue en rive droite des Rapides-des-Quinze (scénario 13)

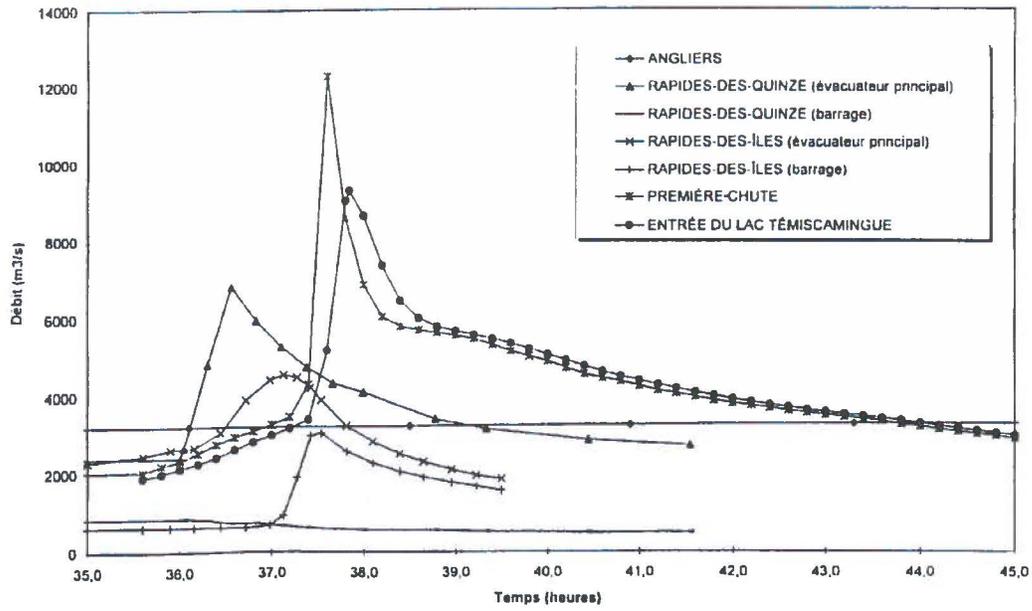
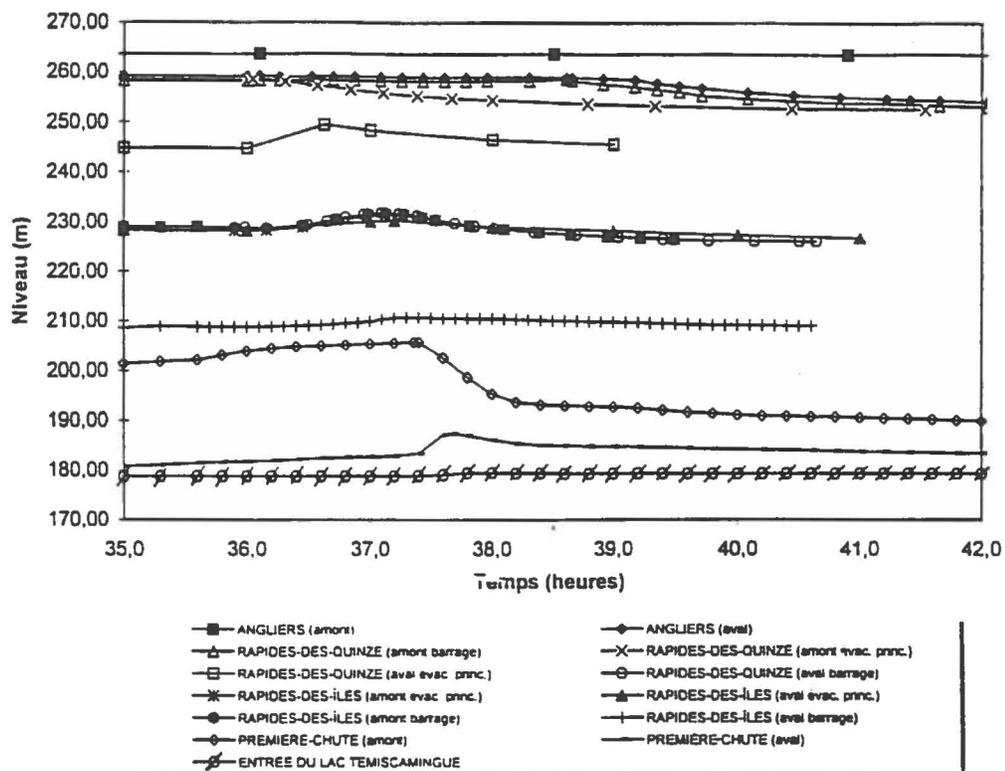


Figure 7 – Hydrogramme après l'arrivée de la CMP automnale aux lacs Simard et des Quinze (scénario 6)



À l'aménagement des Rapides-des-Quinze

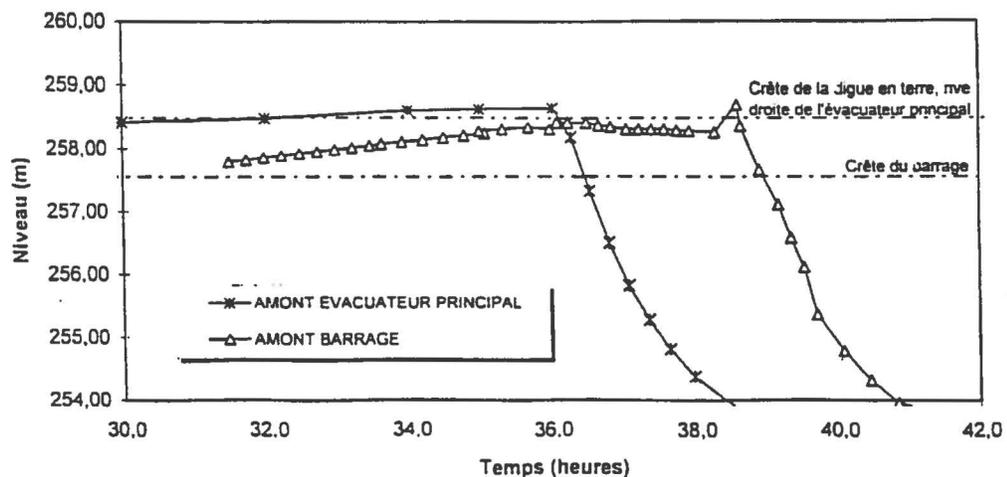


Figure 8 – Limnigramme après l'arrivée de la CMP automnale aux lacs Simard et des Quinze (scénario 6)

5.4 Conséquences d'une rupture sur la population

On décrit ci-dessous les conséquences que pourrait engendrer la rupture des digues ou du barrage en enrochement des Rapides-des-Quinze sur les municipalités établies en aval.

■ Angliers

À Angliers, les conséquences sont liées à l'abaissement du bief amont de la centrale des Rapides-des-Quinze, ce qui toucherait la prise d'eau de cette ville de même qu'une pisciculture située en rive gauche, à l'aval de la municipalité.

En cas de rupture du barrage en enrochement des Rapides-des-Quinze, la prise d'eau de la ville d'Angliers serait touchée, puisque sa cote d'alerte est de 255,42 m, soit le niveau d'exploitation minimal du bief amont des Rapides-des-Quinze. La rupture de la digue du lac Talé aurait, elle aussi, des répercussions sur la prise d'eau d'Angliers, puisque celle-ci est à la cote de 253,8 m. Cependant, la rupture de la digue du lac Long n'aurait pas d'effet sur la prise d'eau, puisque sa base est au même niveau que la cote d'alerte.

■ Guérin

Aucune conséquence ne découle d'une telle rupture sur la municipalité de Guérin, établie en rive droite.

■ Saint-Eugène-de-Guigues

Saint-Eugène-de-Guigues ne serait pas touchée par la rupture du barrage en enrochement des Rapides-des-Quinze, mais elle le serait par la rupture des digues du lac Long et du lac Talé.

Le rôle de ces digues est important car, dans le cas d'un fort rehaussement du lac Long, il se créerait un écoulement vers l'aménagement des Rapides-des-Îles au nord et vers le lac Baby à l'ouest. Or, le lac Baby se jette dans le lac Témiscamingue par l'intermédiaire du ruisseau Cameron et de la rivière à la Loutre. Ce débordement inonderait le village de Saint-Eugène-de-Guigues.

■ Notre-Dame-du-Nord

La rupture des digues des lacs Long et Talé n'a pas de conséquence sur Notre-Dame-du-Nord, située à l'aval du barrage de la Première-Chute. Par contre, il y a risque d'inondation en cas de rupture du barrage en enrochement dans les scénarios où cette rupture découle de celle du barrage de la Première-Chute.

Aux fins de l'évaluation des conséquences, les deux scénarios suivants ont été retenus : l'un en condition de CMP et l'autre par temps sec.

Le scénario 6 (voir la réponse à la question 5.3) considère que la CMP est centrée sur le barrage des Quinze et qu'il y a rupture du barrage en enrochement des Rapides-des-Quinze, du barrage en enrochement des Rapides-des-Îles et du barrage de la Première-Chute, ces ruptures étant occasionnées par des difficultés d'ouverture ou des blocages des ouvrages d'évacuation. Le niveau maximal atteint 184,54 m en amont de Notre-Dame-du-Nord et diminue graduellement jusqu'à 181,04 m à la tête du lac Témiscamingue.

Ce scénario touche dix-sept bâtiments, dont quatorze sont situés en rive gauche, à l'est du pont de la route 101. La profondeur d'écoulement maximale atteint 3,51 m en rive gauche et 1,26 m en rive droite (voir les figures 9, 10 et 11).

Dans le second scénario considéré comme critique, soit le scénario 13 (voir la réponse à la question 5.3), on considère la rupture simultanée par temps sec de l'évacuateur et du barrage en enrochement des Rapides-des-Quinze, ce qui engendre toutes les ruptures en aval. Le niveau maximal atteint à Notre-Dame-du-Nord est un peu plus bas (d'environ 0,4 m) que le niveau présenté au scénario 6.

Selon le scénario 6, seize bâtiments sont touchés. Quatorze de ces bâtiments sont situés en rive gauche, à l'est du pont de la route 101. La profondeur d'écoulement maximale atteint 3,13 m en rive gauche et 0,87 m en rive droite (voir les figures 12 et 13).

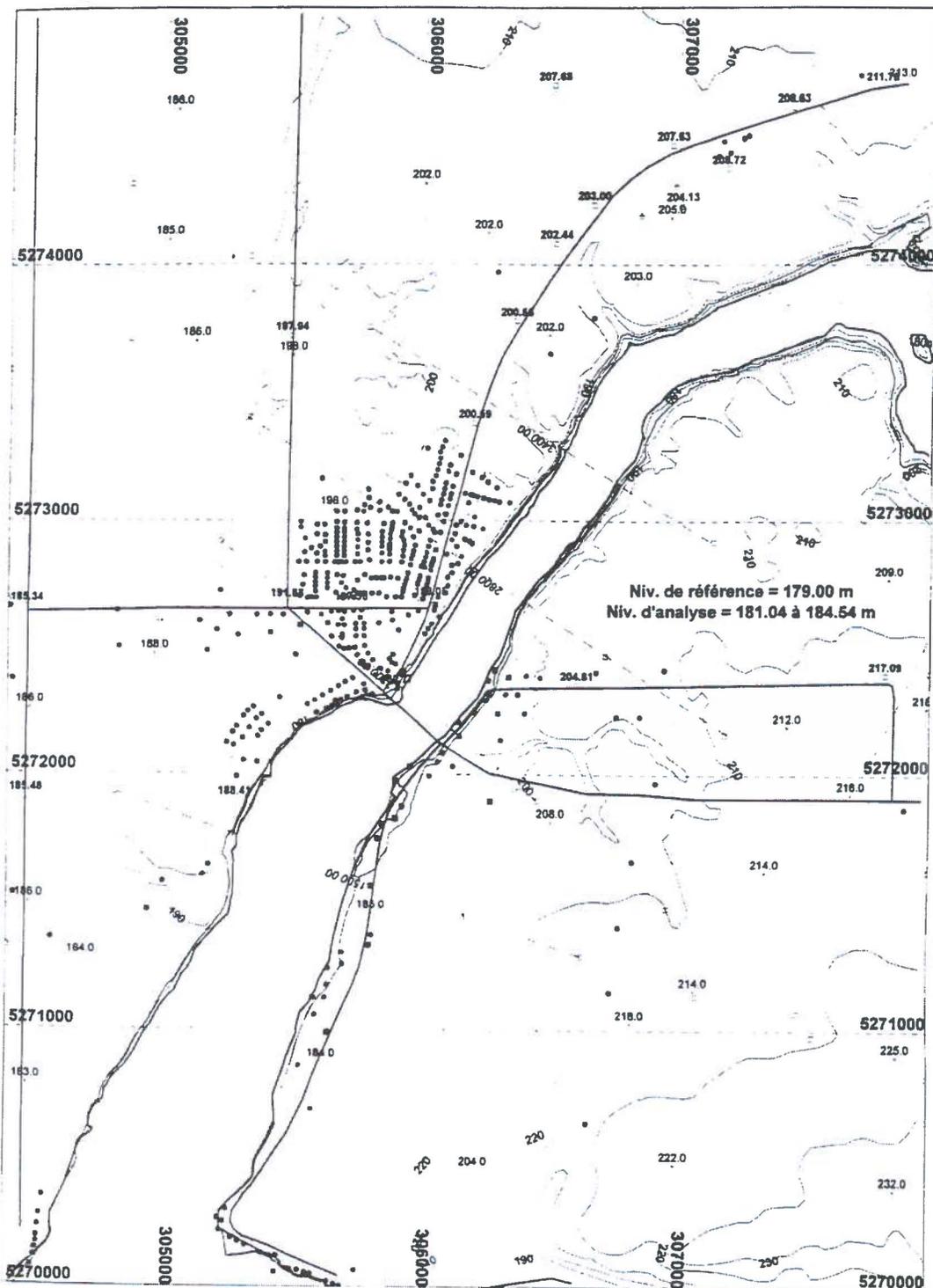


Figure 9 – Zones et bâtiments inondés selon le scénario 6 : échelle de 1 : 20 000

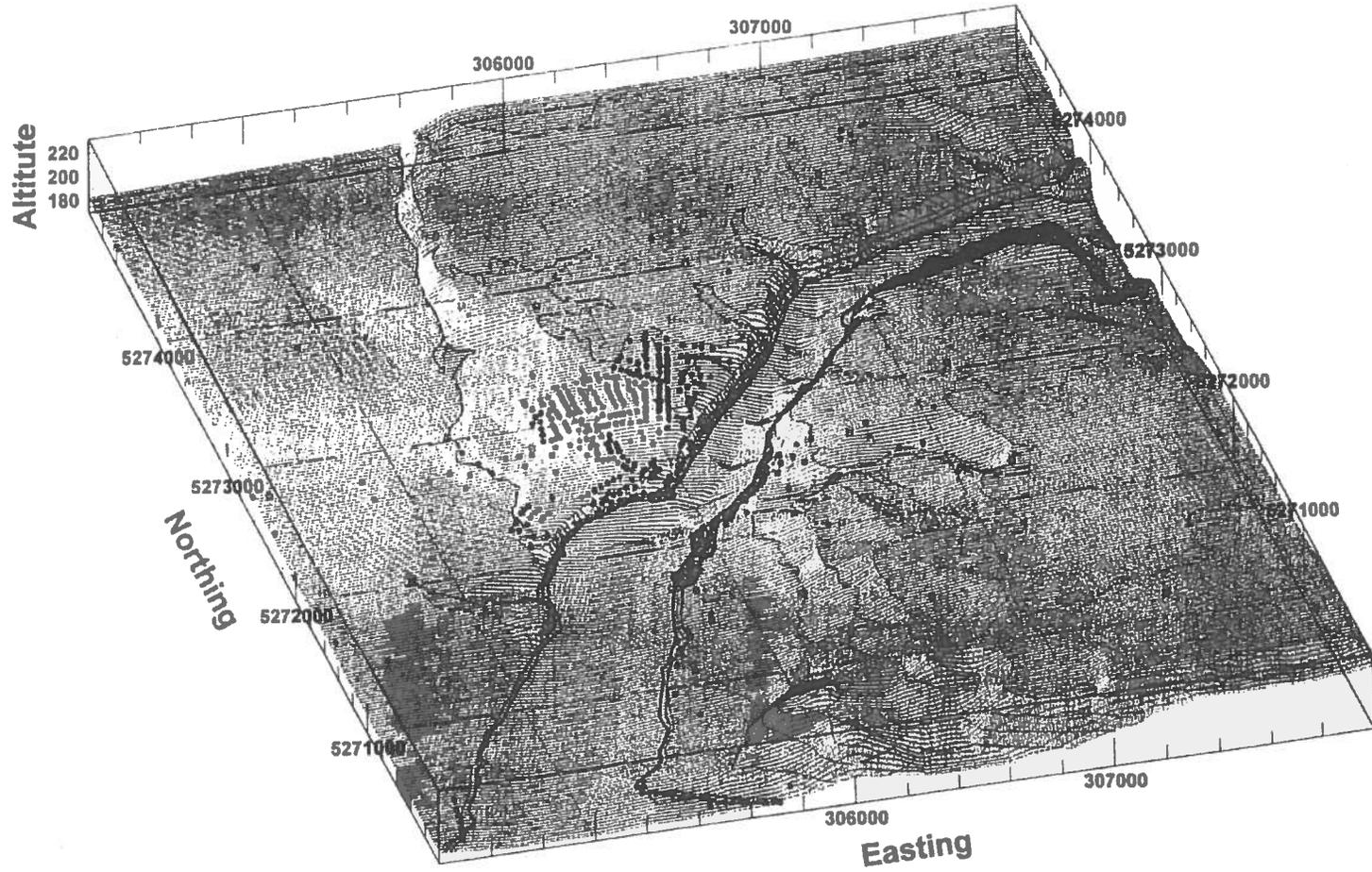


Figure 10 – Zones et bâtiments inondés selon le scénario 6 : vue 3D

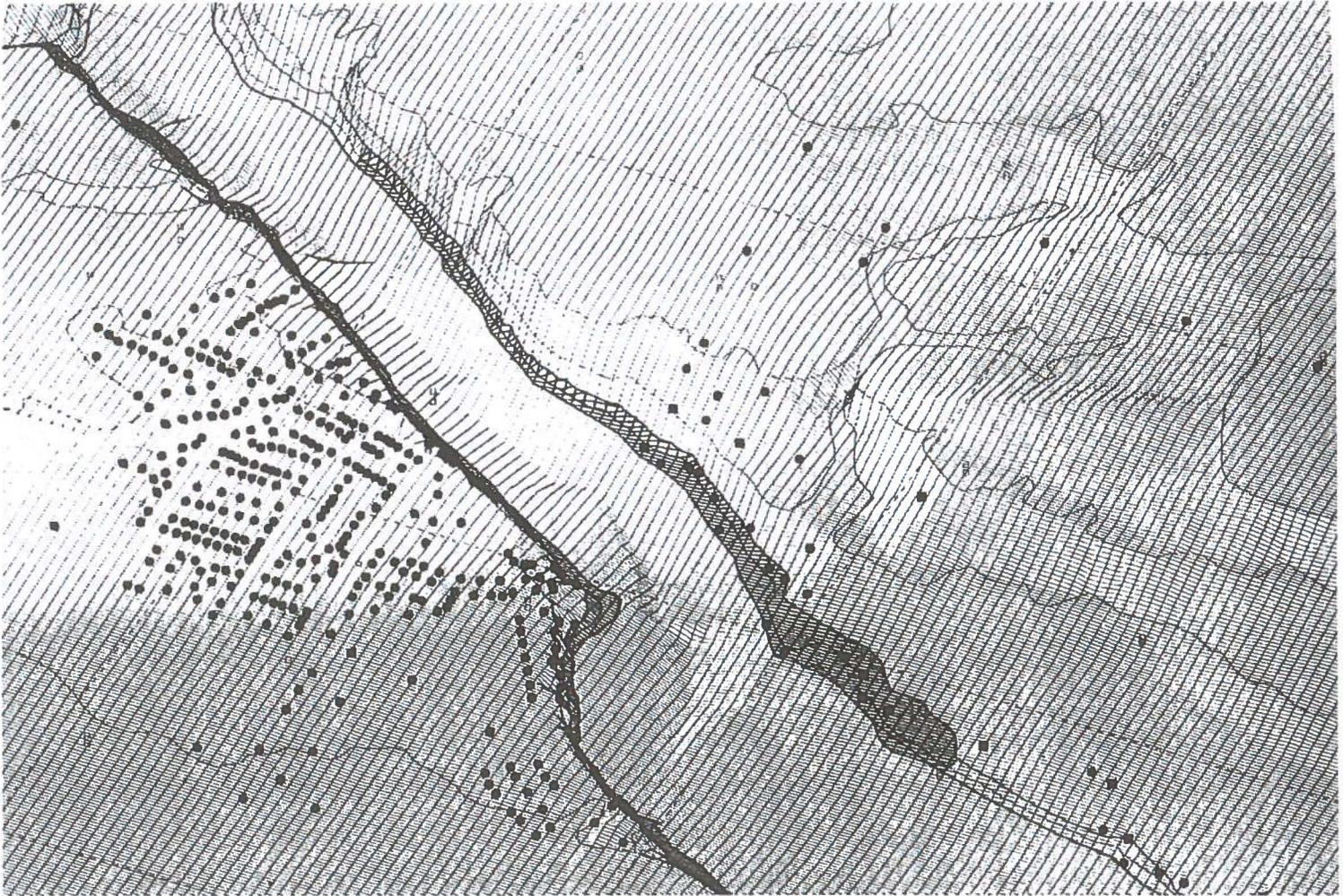


Figure 11 – Zones et bâtiments inondés selon le scénario 6 : agrandissement 3D



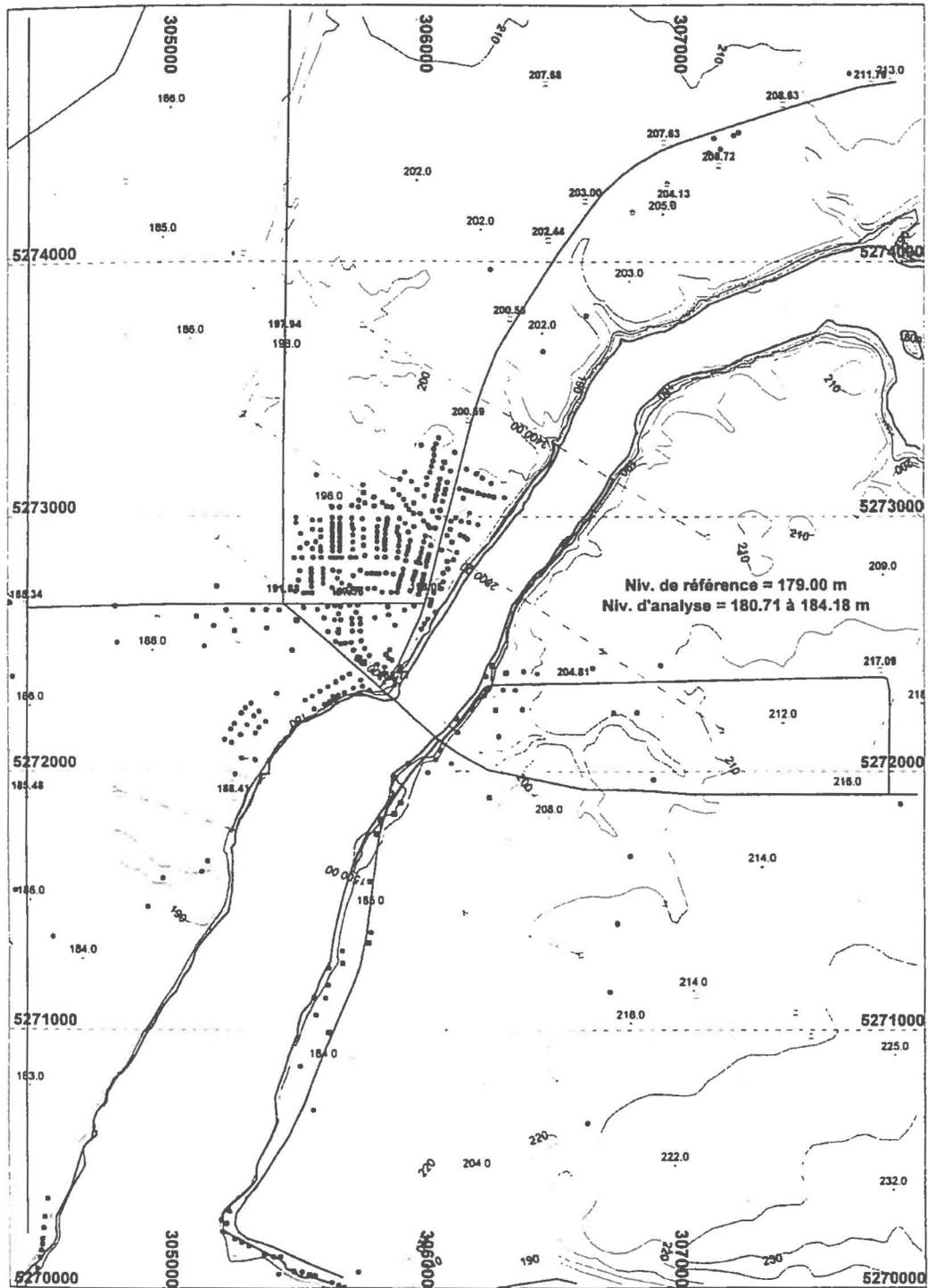


Figure 12 – Zones et bâtiments inondés selon le scénario 13 : échelle de 1 : 20 000

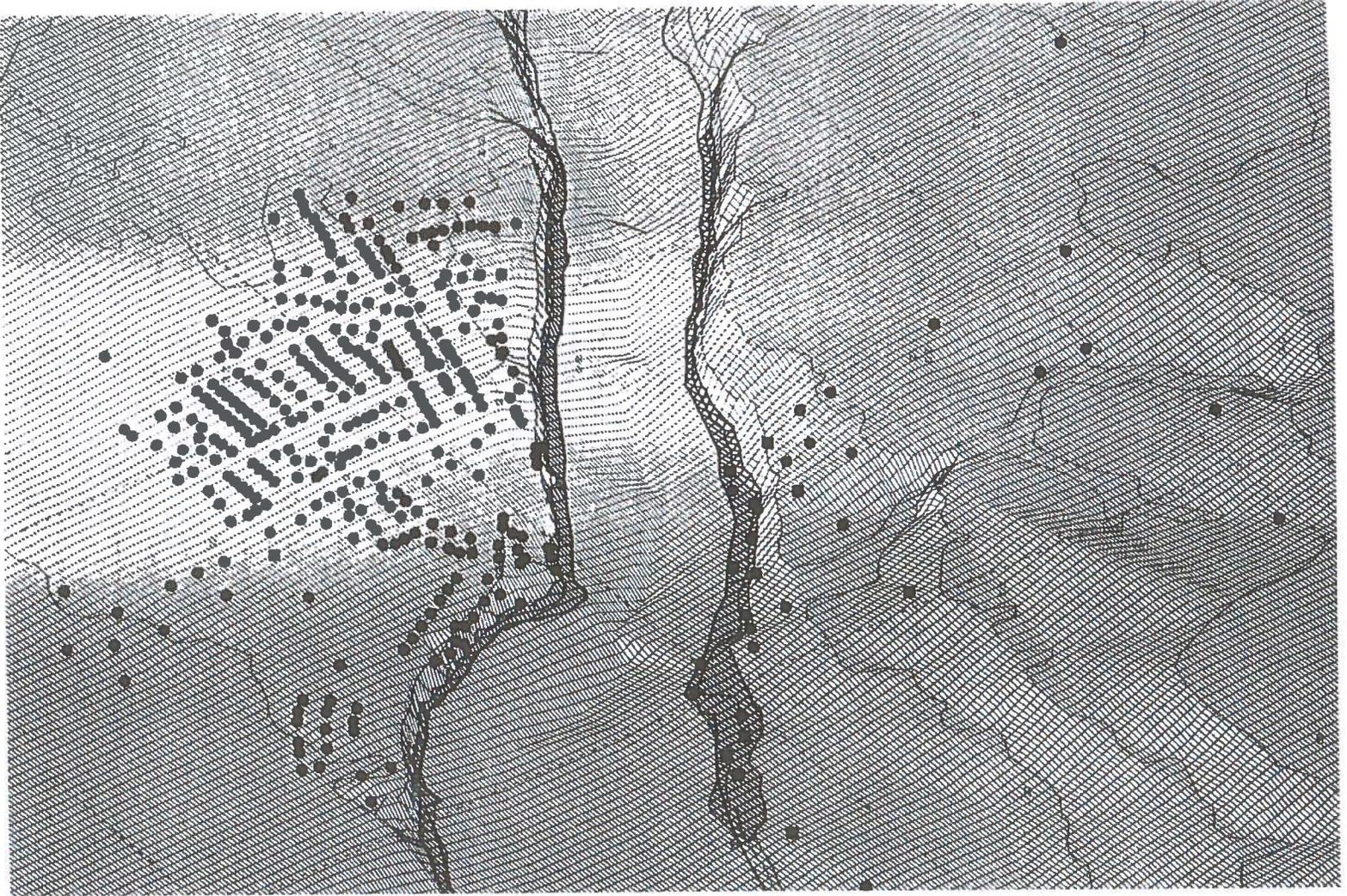


Figure 13 – Zones et bâtiments inondés selon le scénario 13 : agrandissement 3D



5.5 Plan des mesures d'urgence

Le *Plan des mesures d'urgence, Urgence barrage régions 08 et 10*, Direction Production La Grande Rivière est mis à jour deux fois l'an. Ce plan présente globalement l'organisation des mesures d'urgence-barrage pour les barrages des régions administratives 08 et 10. On y indique aussi les études de rupture de barrage qui ont servi à l'analyse des impacts. L'annexe C présente le schéma logique des actions d'urgence-barrage de même que le processus d'urgence-barrage pour les régions 08 et 10.

Les scénarios de rupture de barrage dans le bassin supérieur de la rivière des Outaouais, y compris les ouvrages mentionnés dans la question, ont été présentés aux municipalités de la MRC du Témiscamingue le 27 mai 1999 à Laverlochère. Les élus municipaux d'Angliers, de Guérin, de Notre-Dame-du-Nord et de Saint-Eugène-de-Guigues y étaient présents. Les représentants d'Hydro-Québec y ont expliqué que l'entreprise était prête à rencontrer les municipalités afin de les aider à intégrer à leur plan d'urgence la gestion des risques hydrauliques liés à des ruptures de barrage, et ce, dans la mesure où la Sécurité civile assisterait la démarche de révision et de mise à jour.

L'obligation d'Hydro-Québec envers le milieu est de présenter les impacts engendrés par les activités d'exploitation des barrages, ce qui a été fait lors d'une rencontre tenue à l'automne de 2000 avec les représentants de la Sécurité civile et des municipalités. L'entreprise y a résumé les résultats des études de bris de barrage dans la région 08.

Enfin, le 9 novembre 2000, Hydro-Québec a rencontré Travaux publics Canada, le gestionnaire du barrage d'Angliers, afin de présenter les scénarios de rupture de barrage dans le bassin supérieur de la rivière des Outaouais.

5.6 Programme de surveillance pendant les travaux

Pendant l'exécution des travaux, Hydro-Québec s'assurera que l'entrepreneur respecte les plans d'ingénierie et qu'il ne provoque aucun dommage aux ouvrages existants. De plus, une équipe d'ingénieurs d'Hydro-Québec veillera au respect des plans et devis par une surveillance quotidienne des travaux. Une attention particulière sera accordée à tout changement de l'état des observations (aires humides, venues d'eau, etc.), et des lectures hebdomadaires des instruments d'auscultation (piézomètres, déversoirs de jaugeage) seront effectuées.

5.7 Programme de surveillance après la réfection

Après les travaux de réfection des digues, le programme normal de suivi du comportement des ouvrages se poursuivra. Ce programme, sous la responsabilité de l'unité régionale spécialisée d'Hydro-Québec, consiste en l'analyse régulière du comportement des ouvrages, basée sur les résultats des activités d'inspection (1 fois par mois), d'auscultation (1 fois par mois) et de maintenance. L'information et l'analyse en découlant sont synthétisées sur une fiche de diagnostic produite annuellement par l'équipe du suivi du comportement des barrages. Enfin, Hydro-Québec effectue une étude d'évolution de la sécurité des ouvrages à une fréquence déterminée en conformité avec la loi et les règlements sur la sécurité des barrages.

Question 6 – Certificats d'analyse

Re : Étude d'impact, annexe B : « Certificats d'analyse ».

Ces certificats d'analyse sont adressés à « Environnement Illimité ».

- *Pourquoi Hydro-Québec utilise-t-elle des certificats d'analyse appartenant à Environnement Illimité ? Sont-ils vraiment valables pour ce projet ?*
- *Les cinq analyses bactériologiques, dont les résultats apparaissent sur ces certificats d'analyse, ont-elles été faites par/ou sous la supervision d'un microbiologiste ou par/ou sous la supervision d'un chimiste ?*

Réponse

Hydro-Québec a retenu les services de la firme Environnement Illimité pour effectuer les études sur la qualité de l'eau et sur la faune aquatique. En ce qui concerne la qualité de l'eau, cette firme avait un mandat clés en main pour l'engagement d'un laboratoire d'analyse, l'échantillonnage des plans d'eau, l'envoi des échantillons au laboratoire et l'analyse des résultats provenant du laboratoire. Le choix du laboratoire d'analyse, soit PSC Philip Services établi à Anjou, a été autorisé par Hydro-Québec. Les certificats sont émis au nom d'Environnement illimité, puisque Hydro-Québec lui a confié la responsabilité de cette activité.

Hydro-Québec confirme la validité de ces certificats, qui portent aussi l'identification du projet : R15 (abréviation de « Rapides-des-Quinze »), lac Long, lac Talé ou lac des Quinze.

Le laboratoire PSC Philip Services a retenu les services du Laboratoire SM pour les analyses bactériologiques, qui ont été faites par ses microbiologistes. Une copie de deux certificats d'analyse relatifs au projet des Rapides-des-Quinze est jointe à l'annexe D.

Question 7 – Crédibilité de l'étude

Re : Directive, partie 1, section 1.1 : « Présentation de l'initiateur ».

La directive, dans la section 1.1 de sa partie 1, demande à l'initiateur de faire une présentation de ses compétences en environnement de même que celles de son ou de ses consultants en environnement.

- 7.1 Aucun croquis n'est signé par un ingénieur : sont-ils conçus ou approuvés par un ingénieur, sont-ils corrects, présentent-ils des défauts de conception s'ils n'ont pas été conçus par un ingénieur ?*
- 7.2 Qui, chez Hydro-Québec, a participé à la réalisation de l'étude, quelles sont les compétences de ces personnes et quelles étaient les responsabilités de ces personnes dans la réalisation de l'étude d'impact ?*
- 7.3 Quel(s) consultant(s) a(ont) participé à l'élaboration de cette étude et quelle(s) fonction(s) remplissait(aient)-il(s) ?*

Réponse

7.1 Auteurs des plans

Les plans présentés dans l'étude d'impact ont été conçus par des ingénieurs civils. Dans une étude d'impact sur l'environnement, Hydro-Québec présente rarement les plans scellés et signés, puisque l'ingénierie de détail n'est pas terminée.

7.2 Participants à l'étude d'impact

Le tableau 3 présente le nom et la fonction des principaux ingénieurs et spécialistes en environnement qui ont travaillé à la réalisation de l'étude d'impact. Ces ingénieurs et spécialistes ont de 10 à 25 ans d'expérience dans le domaine lié à leur compétence.

Tableau 3 – Personnel d’Hydro-Québec ayant participé à l’étude d’impact

Nom	Fonction ou responsabilité
Études techniques	
Claude Mercier	Administrateur d’ingénierie
Vlad Alicescu	Ingénieur civil (digues et barrage)
Diane Tremblay	Ingénieure hydraulique (calcul des crues)
Guy Robert	Ingénieur de projet
Harry Barton	Ingénieur de projet
Pierre Villemure	Ingénieur civil (accès)
Maryse Bélanger	Ingénieure civil (méthodes de construction)
Richard Gagner	Ingénieur civil (méthodes de construction)
Études environnementales	
Benoit Gagnon, biologiste	Chargé de projet – Environnement
Louise Roy, urbaniste	Conseillère – Milieu humain
Marie-Josée Grimard, biologiste	Conseillère – Milieu naturel
Roger Bérubé, biologiste	Conseiller – Milieu naturel
Bertrand Énard, archéologue	Conseiller – Archéologie et ethnologie
Jacques Lecours	Conseiller – Patrimoine
Michel Desfossés	Conseiller – Relations avec le milieu
Dominique Caron, cartographe	Conseillère – Cartographie numérique
Michel Robert	Conseiller – Géographie
Isabelle Thériault	Ingénieure hydraulique

7.3 Consultants

Le tableau 4 présente les firmes et le personnel choisis par Hydro-Québec pour faire l’étude d’impact :

- La firme Foramec avait le mandat des études sur le milieu physique, sur la végétation, sur la faune et sur le milieu humain ainsi que la responsabilité d’intégrer les études sectorielles et d’évaluer les impacts du projet en collaboration avec les autres firmes.
- La firme Archéotec a fait l’inventaire patrimonial du milieu et l’étude du potentiel archéologique.
- La firme Environnement Illimité avait la responsabilité des études sur la qualité de l’eau et sur la faune aquatique.
- Le groupe PAT Communications avait le mandat de faire l’inventaire sociopolitique.
- La firme L.B. Consultation a été retenue pour les études socioéconomiques.

Les firmes Foramec, Archéotec et Environnement Illimité œuvrent en environnement depuis près de 20 ans. Ce sont des partenaires d'expérience avec qui Hydro-Québec collabore régulièrement depuis plusieurs années.

Tableau 4 – Personnel des firmes de consultants ayant participé à l'étude d'impact

Nom	Fonction
Foramec	
Jacques Ouzilleau, M. Sc.	Directeur de projet
Francine Long, M. Sc.	Chargée de projet
Denis Bouchard, M. Sc.	Écologiste
Josée Tardif, M. Sc.	Faune aviaire
Christian Fortin, M. Sc.	Faune terrestre
Marie-France La Rochelle	Cartographe
Louise Tourigny	Secrétariat
Hélène Grenier	Édition
Archéotec	
Daniel Chevrier, M. Sc.	Archéologue
Hélène Buteau-Tran, M. Sc	Archéologue
Benoît Gauthier, B. Sp.	Cartographe
Environnement Illimité	
Marc Gendron, M. Sc.	Chargé de projet
François Poirier, B. Sp.	Faune aquatique
Lucie Paquet	Technicienne de la faune
Steve Chevarie	Technicien de la faune
Julie Paquette	Cartographe
PAT Communications	
Benoît Gourd	Analyste sociopolitique
L.B. Consultation	
Luc Blanchette, M. Sc.	Économiste

Références bibliographiques

- MONTERVAL. 2000. *Aménagement Rapides-des-Quinze. Investigations relatives à la disponibilité et à la qualité des matériaux d'emprunt locaux*. Rapport final, préparé pour Hydro-Québec. 30 p. et ann.
- NADEAU, M. 1995. *Résultats des pêches expérimentales pour le doré jaune au réservoir des Quinze pour les années 1992, 1993 et 1994*. Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec.

Annexe A

Qualité des matériaux d'emprunt

MONTERVAL INC.
Géotechnique Contrôle qualitatif

442, Avenue Centrale, Val d'Or, Québec J9P 1P5
Téléphone: (819) 824-6894
Télécopie: (819) 824-3762

ESSAIS SUR MATÉRIAUX GRANULAIRES

PROJET: Hydro-Québec, Aménagement Rapides-des-Quinze: recherche de matériaux d'emprunt	N° DE DOSSIER: 1443-7F
ÉCHANTILLON: Roc dynamité	PROVENANCE: Réserve de roc dynamité site Rapides-des-Quinze
N° ÉCHANTILLON: 4977	MUNICIPALITÉ: Angliers, Québec
USAGE PROPOSÉ: Matériau d'enrochement	ENDROIT: Fragments prélevés aléatoirement dans la réserve de roc dynamité.
Prélevé par: Daniel Cockburn, ing.	Soumis par: Daniel Cockburn, ing.
Date (aa.mm.jj): 8 août 2000	Date (aa.mm.jj): 15 août 2000

GRANULOMÉTRIE (% PASSANT)

Tamis	Séparé	cumulatif	Exigences
112 mm		(note 1)	
80 mm		100	
56 mm		81	
40 mm		40	
31.5 mm		30	
20 mm		20	
14 mm		16	
10 mm		13	
5 mm		9	
2,5 mm			
1,25 mm			
630 µm			
315 µm			
160 µm			
80 µm			
5 µm			

ESSAIS DIVERS

Nb. pétrographique		Coeff. d'usure Dorry (%)	
MgSO ₄ > 5 mm (%)	0,58	MgSO ₄ < 5 mm (%)	
Densité brute > 5 mm (%).s.s.	2,946	Densité brute < 5 mm (%)	
Absorption > 5 mm (%)	0,31	Absorption < 5 mm (%)	
Masse tassée (kg/m ³)		Masse non tassée (kg/m ³)	
Particules plates (%)		Particules allongées ()	
Los Angeles (E) (%)	21,6	Micro-Deval (B) (%)	20,7
Mod. finesse < 5 mm		Mod. finesse < 10 mm	
Valeur au bleu		Essai à la soude	
Fragmentation (%)		Friabilité (%)	
Ind. angularité > 5 mm		Coeff. d'écoulement	
Proctor (kg/m ³) Mod. ()		Teneur en eau opt. (%)	
	Std. ()		
% de matières organiques		Teneur en eau naturelle (%)	

CONSTITUANTS:

Échantillon soumis à un examen pétrographique par le Laboratoire de Béton Ltée, voir rapport ci-joint (à venir), et à une vérification du potentiel de génération d'acide par Techni-Lab Inc., voir certificat ci-joint.

REMARQUES: Sauf indication contraire, les essais sont réalisés selon les procédures normatives du BNQ.

Note 1 : Les fragments de roc ont été concassés en laboratoire pour la production des calibres de granulats voués aux essais. Les résultats granulométriques sont présentés à titre indicatif.

Préparé par:
Luc Bertrand, tech.

Approuvé par:
Daniel Cockburn, ing. 

Date:
15 septembre 2000

MONTERVAL INC.
Géotechnique Contrôle qualitatif

442, Avenue Centrale, Val d'Or, Québec J9P 1P5
Téléphone: (819) 824-6894
Télécopie: (819) 824-3762

ESSAIS SUR MATÉRIAUX GRANULAIRES

PROJET: Hydro-Québec, Aménagement Rapides-des-Quinze: recherche de matériaux d'emprunt	N° DE DOSSIER: 1443-7F
ÉCHANTILLON: Fragments de roc	PROVENANCE: Site C-4 (carrière potentielle), barrage-remblai, rive droite.
N° ÉCHANTILLON: 4978	MUNICIPALITÉ: Angliers, Québec
USAGE PROPOSÉ: Matériau d'enrochement	ENDROIT: Fragments de roc détachés de la paroi rocheuse.
Prélevé par: Daniel Cockburn, ing.	Soumis par: Daniel Cockburn, ing.
Date (aa.mm.jj): 8 août 2000	Date (aa.mm.jj): 15 août 2000

GRANULOMÉTRIE (% PASSANT)			
Tamis	Séparé	cumulatif	Exigences
		(note 1)	
112 mm		100	
80 mm		96	
56 mm		74	
40 mm		49	
31.5 mm		36	
20 mm		24	
14 mm		18	
10 mm		14	
5 mm		9	
2,5 mm			
1,25 mm			
630 µm			
315 µm			
160 µm			
80 µm			
5 µm			

ESSAIS DIVERS			
Nb. pétrographique		Coeff. d'usure Dorry (%)	
MgSO ₄ > 5 mm (%)	0,42	MgSO ₄ < 5 mm (%)	
Densité brute s.s.s. > 5 mm	3,068	Densité brute < 5 mm	
Absorption > 5 mm (%)	0,35	Absorption < 5 mm (%)	
Masse tassée (kg/m ³)		Masse non tassée (kg/m ³)	
Particules plates (%)		Particules allongées ()	
Los Angeles (E) (%)	10,7	Micro-Deval (B) (%)	12,1
Mod. finesse < 5 mm		Mod. finesse < 10 mm	
Valeur au bleu		Essai à la soude	
Fragmentation (%)		Friabilité (%)	
Ind. angularité > 5 mm		Coeff. d'écoulement	
Proctor (kg/m ³) Mod. ()		Teneur en eau opt. (%)	
	Std. ()		
% de matières organiques		Teneur en eau naturelle (%)	
CONSTITUANTS:			
Échantillon soumis à un examen pétrographique par le Laboratoire de Béton Ltée, voir rapport ci-joint (à venir), et à une vérification du potentiel de génération d'acide par Techni-Lab Inc., voir certificat ci-joint.			

REMARQUES: Sauf indication contraire, les essais sont réalisés selon les procédures normatives du BNQ.
Note 1 : Les fragments de roc ont été concassés en laboratoire pour la production des calibres de granulats voués aux essais. Les résultats granulométriques sont présentés à titre indicatif.

Préparé par: Luc Bertrand, tech.	Approuvé par: Daniel Cockburn, ing. 	Date: 15 septembre 2000
--	--	-----------------------------------

MONTERVAL INC.
Géotechnique Contrôle qualitatif

442, Avenue Centrale, Val d'Or, Québec J9P 1P5
Téléphone: (819) 824-6894
Télécopie: (819) 824-3762

ESSAIS SUR MATÉRIAUX GRANULAIRES

PROJET: Hydro-Québec, Aménagement Rapides-des-Quinze: recherche de matériaux d'emprunt	N° DE DOSSIER: 1443-7F
ÉCHANTILLON: Fragments de roc N° ÉCHANTILLON: 4979 USAGE PROPOSÉ: Matériau d'enrochement	PROVENANCE: Site C-5 (carrière potentielle), barrage-remblai, rive droite. MUNICIPALITÉ: Angliers, Québec ENDROIT: Fragments de roc détachés de la paroi rocheuse.
Prélevé par: Daniel Cockburn, ing. Date (aa.mm.jj): 8 août 2000	Soumis par: Daniel Cockburn, ing. Date (aa.mm.jj): 15 août 2000

GRANULOMÉTRIE (% PASSANT)

Tamis	Séparé	cumulatif	Exigences
		(note 1)	
112 mm		100	
80 mm		96	
56 mm		75	
40 mm		48	
31.5 mm		37	
20 mm		25	
14 mm		20	
10 mm		15	
5 mm		10	
2,5 mm			
1,25 mm			
630 µm			
315 µm			
160 µm			
80 µm			
5 µm			

ESSAIS DIVERS

Nb. pétrographique		Coeff. d'usure Dorry (%)	
MgSO ₄ > 5 mm (%)	0,82	MgSO ₄ < 5 mm (%)	
Densité brute s.s.s. > 5 mm	2,948	Densité brute < 5 mm	
Absorption > 5 mm (%)	0,59	Absorption < 5 mm (%)	
Masse tassée (kg/m ³)		Masse non tassée (kg/m ³)	
Particules plates (%)		Particules allongées ()	
Los Angeles (E) (%)	11,7	Micro-Deval (B) (%)	11,1
Mod. finesse < 5 mm		Mod. finesse < 10 mm	
Valeur au bleu		Essai à la soude	
Fragmentation (%)		Friabilité (%)	
Ind. angularité > 5 mm		Coeff. d'écoulement	
Proctor (kg/m ³) Mod. () Std. ()		Teneur en eau opt. (%)	
% de matières organiques		Teneur en eau naturelle (%)	

CONSTITUANTS:

Échantillon soumis à un examen pétrographique par le Laboratoire de Béton Ltée, voir rapport ci-joint (à venir), et à une vérification du potentiel de génération d'acide par Techni-Lab Inc., voir certificat ci-joint.

REMARQUES: Sauf indication contraire, les essais sont réalisés selon les procédures normatives du BNQ.
Note 1 : Les fragments de roc ont été concassés en laboratoire pour la production des calibres de granulats voués aux essais. Les résultats granulométriques sont présentés à titre indicatif.

Préparé par: Luc Bertrand, tech.	Approuvé par: Daniel Cockburn, ing. 	Date: 15 septembre 2000
--	--	-----------------------------------



TECHNI-LAB

pyroanalyse
géochimie
environnement

CERTIFICAT D'ANALYSE

À l'attention de M. Daniel Cockburn

Client Monterval Inc.
442, avenue Centrale
Val d'Or (Québec)
J9P 1P5

Téléphone (819) 824-6894
Télécopieur (819) 824-3762

Date de prélèvement 30-08-2000
Date de réception 08-09-2000
Projet E-38696
Prélevé par M. Daniel Cockburn
Bon de commande 1443-7F, DC-152
Matrice Sol
Site 4977 à 4979

Échantillon	Soufre	Production théorique d'acide	Neutralisation d'acide	Génération d'acide
#	%	H ₂ SO ₄ (Kg/t)	H ₂ SO ₄ (Kg/t)	
4977	0.07	2.141	12.45	Non
4978	0.05	1.530	22.61	Non
4979	0.05	1.530	11.43	Non

Commentaire :

Accréditation : 2375

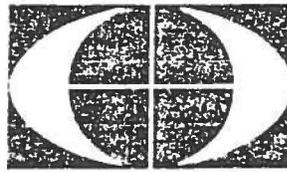
Roger Turmel, B. Sc.
Chimiste, 96-044



3-10-00
Date

Note : Ces résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour analyse.

Toutes les analyses incluses dans ce certificat ont été effectuées selon les règles de l'art incluant les procédures d'assurance et de contrôle de la qualité à moins d'entente écrite conclue au préalable avec le client. Les échantillons seront conservés pendant 30 jours à partir de la date du certificat à moins d'indication contraire convenue préalablement. Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite de Techni-Lab S.G.B. Abitibi inc.



LABORATOIRE DE BÉTON LTÉE

Membre du Groupe Qualitas inc.

Le 18 octobre 2000

Monsieur Daniel Cockburn, ing.
Monterval inc.
442, avenue Centrale
Val-d'Or (Québec)
J9P 1P5

Notre dossier n° : B7137-005
Référence n° : rap-001

Objet : **Examen pétrographique sur fragments de roc**
Votre dossier n° : 1443-7F
Commande n° : DC-151A
Réserve de roc dynamité, rive gauche (4977)
Site C-4, rive droite (4978)
Ancienne carrière près du barrage-remblai (4979)
Usage : Enrochement

Monsieur,

Veuillez trouver ci-joint les résultats d'essai indiqué en titre exécuté sur trois échantillons de fragments de roc que vous avez fait parvenir à notre laboratoire le 6 septembre 2000.

L'examen pétrographique visait à déterminer le potentiel d'utilisation de la pierre concassée comme matériaux d'enrochement. Un nombre pétrographique selon la norme BNQ 2560-900 a d'abord été réalisé sur la pierre concassée afin de quantifier les propriétés mécaniques et physiques globales des granulats examinés. Ce nombre ne reflète aucunement la performance chimique dans le béton. Au besoin, un

Monsieur Daniel Cockburn, ing.
Monterval inc

Dossier n° : B7137-005
Référence n° : rap-001

stéréoscope et un microscope optique ont été utilisés pour faciliter l'identification visuelle des phases minérales présentes dans les granulats.

Échantillon 4977

Cet échantillon est le plus hétérogène des trois échantillons reçus au laboratoire. Il est constitué de roches dont la composition est variable d'un fragment à l'autre en fonction du degré d'altération ou de métamorphisme. La couleur générale varie de gris-verdâtre à noire. On note principalement la présence de schiste à amphibole, feldspaths et quartz. Certains fragments ont une dureté moyenne et un touché gras (20 %). La composition de ces fragments s'apparente à une serpentinite contenant un certain pourcentage de talc.

La nombre pétrographique est évalué à 160 pour l'ensemble de l'échantillon. D'un point de vue pétrographique, la résistance à l'usure et à la fragmentation est variable selon les fragments (bonne à moyenne).

Échantillon 4978

Les fragments de roche de cet échantillon ont une composition relativement similaire. Ils ont une couleur noire légèrement verdâtre et une texture cristalline granulaire à grain fin. On remarque une altération superficielle de couleur brun-rouille sur environ 25 % des fragments. Le nom attribué à cette roche est diabase. Cette roche se compose majoritairement de minéraux mafiques (pyroxène et amphibole) et de feldspaths.

La nombre pétrographique est évalué à 105 pour l'ensemble de l'échantillon. Au microscope, on note un bon enchevêtrement des minéraux dont la dureté moyenne

Monsieur Daniel Cockburn, ing.
Monterval inc

Dossier n° : B7137-005
Référence n° : rap-001

est d'environ 6 sur l'échelle de Mohs. D'un point de vue pétrographique, la résistance à l'usure et à la fragmentation est considérée bonne tandis que la porosité est faible. Une faible porosité et l'absence de minéraux argileux confère à cette roche une bonne résistance au gel et dégel.

Échantillon 4979

Les fragments de roche de cet échantillon ont une composition relativement similaire. Ils ont une couleur noir tacheté blanc et une texture cristalline granulaire à grain moyen. On remarque une altération superficielle de couleur rouille sur un peu moins de 50 % des fragments. Le nom attribué à cette roche est gabbro.

Ils se composent de minéraux mafiques (amphibole et pyroxène) et de feldspaths. Les feldspaths (40 à 50 % de la roche) se retrouvent en fins cristaux d'environ 0,2 mm de diamètre et quelques phénocristaux. La présence de chlorite est également observée.

La nombre pétrographique est évalué à 110 pour l'ensemble de l'échantillon. Au microscope, on note un bon enchevêtrement des minéraux dont la dureté moyenne est d'environ 6 sur l'échelle de Mohs. D'un point de vue pétrographique, la résistance à l'usure et à la fragmentation est considérée bonne tandis que la porosité est faible.

Notre choix pour l'utilisation de ces matériaux comme enrochement favorise les échantillons 4978 et 4979 au détriment de l'échantillon 4977. Les deux premiers types de roche devraient avoir un meilleur comportement aux sollicitations physico-mécaniques et donc une meilleure résistance à l'usure et à l'impact entre autres.

Annexe B

Calcul de la crue maximale probable

Table des matières

1	Introduction	7
2	Étude des paramètres météorologiques nécessaires au calcul des crues maximales probables de printemps et d'été-automne pour les bassins versants intermédiaires	9
2.1	Introduction	9
2.2	Description des bassins versants et méthodologie	9
2.2.1	<i>Situation géographique</i>	9
2.2.2	<i>Climatologie</i>	10
2.2.3	<i>Méthodologie générale</i>	10
2.3	Pluie maximale probable d'été-automne.....	11
2.3.1	<i>Données utilisées</i>	11
2.3.2	<i>Catégories de dépressions</i>	11
2.3.3	<i>Résultats de la maximisation de la pluie</i>	12
2.3.4	<i>Distribution spatiale et temporelle</i>	12
2.4	Pluie maximale probable de printemps.....	12
2.4.1	<i>Méthodologie</i>	12
2.4.2	<i>Distribution spatiale et temporelle</i>	12
2.5	Analyse de fréquence de la pluie printanière.....	13
2.5.1	<i>Données utilisées</i>	13
2.5.2	<i>Ajustements et résultats</i>	14
2.5.3	<i>Distribution spatiale et temporelle</i>	14
2.6	Analyse de fréquence du couvert de neige.....	15
2.7	Neige maximale probable	16
2.8	Scénario optimal de températures	17
2.8.1	<i>Données utilisées</i>	17
2.8.2	<i>Étapes du développement de la séquence de températures</i>	17
2.8.3	<i>Interpolation aux bassins versants</i>	19
2.9	Conclusion.....	19
3	Étalonnage du modèle SSARR pour les bassins versants intermédiaires	21
3.1	Introduction	21
3.2	Données de base.....	22
3.2.1	<i>Données hydrométriques</i>	23
3.2.2	<i>Données météorologiques</i>	23
3.2.3	<i>Données topographiques</i>	24
3.3	Méthodologie d'étalonnage.....	25

3.4	Étalonnage préliminaire du modèle.....	29
3.4.1	Généralités.....	29
3.4.2	Recommandations des experts.....	29
3.4.3	Actions prises.....	32
3.5	Résultats finaux de l'étalonnage.....	32
3.5.1	Résultats et validation.....	32
3.5.2	Particularités.....	32
3.6	Conclusion et recommandation.....	35
4	Simulations des crues maximales probables des bassins versants intermédiaires avec le modèle SSARR.....	37
4.1	Introduction.....	37
4.2	Données de base.....	37
4.2.1	Pluies extrêmes.....	37
4.2.2	Accumulation de neige extrême.....	38
4.2.3	Séquences de températures optimales de base.....	38
4.3	Conditions initiales à la CMP.....	39
4.3.1	Crue maximale probable de printemps.....	39
4.3.2	Crue maximale probable d'été-automne.....	39
4.4	Simulation des crues maximales probables.....	40
4.4.1	Optimisation des séquences de température de printemps.....	40
4.4.2	Application de la pluie de printemps.....	40
4.4.3	Application de la pluie d'été-automne.....	41
4.4.4	Résultats de CMP.....	41
4.5	Analyse et fiabilité des résultats.....	41
4.6	Conclusion et recommandation.....	43
5	Modèle MENVIQ de laminage des crues pour le système hydrique de l'Outaouais et simulations d'étalonnage.....	45
5.1	Introduction.....	45
5.2	Description du modèle.....	46
5.2.1	Algorithme de décision des lâchages.....	47
5.2.2	Méthode de laminage.....	48
5.3	Hypothèses de modélisation et règles d'exploitation.....	48
5.3.1	Zone d'étude et découpage des bassins versants.....	48
5.3.2	Courbes d'emménagement.....	49
5.3.3	Courbes de capacité d'évacuation.....	50
5.3.4	Débits garantis et facteurs de répartition du surplus et du déficit.....	51
5.3.5	Emménagement cible.....	53
5.3.6	Contraintes de niveaux et de débits.....	53
5.4	Résultats de l'étalonnage.....	54
5.5	Forces et faiblesses du modèle MENVIQ96.....	55
5.6	Fiabilité du modèle MENVIQ96.....	56
5.7	Conclusions et recommandations.....	57

6	Laminage des crues maximales probables avec le modèle MENVIQ	59
6.1	Introduction	59
6.2	Validation des modèles SSARR et MENVIQ combinés	59
6.3	Conditions initiales pour le laminage	60
6.4	Résultats du laminage des CMP	61
6.4.1	<i>Laminage des CMP de printemps</i>	61
6.4.2	<i>Laminage des CMP d'été-automne</i>	61
6.4.3	<i>Analyse des résultats</i>	64
6.5	Conclusions et recommandations	64
7	Établissement du niveau maximal en CMP au barrage des Rapides-des-Quinze	65
7.1	Données et hypothèses de base	65
7.2	Caractéristiques des ouvrages d'évacuation actuels	66
7.3	Contraintes d'exploitation	66
7.4	Niveau maximal atteint en CMP	67
	Références bibliographique	69

1 Introduction

Ce texte présente la méthodologie ainsi que les données et calculs qui ont conduit à l'établissement, à 257,5 m, de la cote maximale du bief amont de l'aménagement des Rapides-des-Quinze en conditions de crue maximale probable (CMP).

Le texte est divisé de la façon suivante :

On présente tout d'abord, au chapitre 2, l'étude des paramètres météorologiques nécessaires au calcul des crues maximales probables de printemps et d'été-automne pour les bassins versants intermédiaires.

Le modèle SSARR a ensuite été utilisé pour l'étalonnage des bassins versants intermédiaires, tel qu'expliqué au chapitre 3.

Une fois l'étalonnage complété, on a réalisé avec le modèle SSARR la simulation des crues maximales probables sur les bassins versants intermédiaires. Cette activité est décrite au chapitre 4.

Pour le laminage des crues le long du système hydrique de l'Outaouais, c'est le modèle MENVIQ qui a été utilisé. Ce modèle ainsi que les simulations d'étalonnage sont décrits au chapitre 5, tandis que le laminage des crues maximales probables est présenté au chapitre 6.

On décrit finalement au chapitre 7, les hypothèses de calcul conduisant à l'établissement de la cote maximale en CMP à utiliser pour le design du barrage en enrochement et des digues de l'aménagement.

On prendra note que, dans la description des études de CMP, lorsqu'il est question de « Des Quinze », il s'agit du lac ou réservoir des Quinze, contrôlé par le barrage des Quinze (barrage d'Angliers). Le Petit réservoir des Quinze, entre Angliers et le barrage des Rapides-des-Quinze, est exploité au fil de l'eau ; on y néglige l'effet de laminage et il reçoit donc directement la pointe laminée sortant de l'évacuateur des Quinze.

Les hydrogrammes entrant et sortant du réservoir des Quinze (Angliers), qui font l'objet principal de la question 3, sont présentés aux figures 6.2 et 6.3 (sections 6.4.1 et 6.4.2). Les paramètres du laminage sont regroupés au tableau 5.1.

2 Étude des paramètres météorologiques nécessaires au calcul des crues maximales probables de printemps et d'été-automne pour les bassins versants intermédiaires

2.1 Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie générale utilisée pour calculer les paramètres météorologiques nécessaires à l'estimation des crues maximales probables de printemps et d'été-automne sur les bassins versants de la rivière des Outaouais. Les éléments météorologiques influençant une crue printanière normale sont les températures maximales et minimales, la pluie et la neige. Pour la période d'été-automne, seul l'élément « pluie » est important.

En 1990, la firme M. M. Dillon a fait, pour Ontario-Hydro, une étude de crue maximale probable pour certains bassins de la rivière des Outaouais (Dillon, 1990). Cette étude couvrait seulement une partie des bassins versants qui sont traités dans la présente étude. Les méthodologies utilisées pour le calcul des pluies maximales probables et l'analyse de fréquence de la neige sont demeurées les mêmes. Par contre, les méthodes utilisées pour estimer les autres paramètres météorologiques diffèrent.

Le présent chapitre est subdivisé en huit parties. La première section décrit la situation géographique et climatologique des bassins versants à l'étude tandis que la deuxième traite de la méthodologie générale utilisée dans cette étude. La troisième partie décrit la maximisation de la pluie d'été-automne. Finalement, les cinq dernières parties présentent la maximisation des paramètres météorologiques influents au printemps, notamment les méthodes de maximisation pour la pluie et la neige et l'élaboration des scénarios optimaux de températures.

2.2 Description des bassins versants et méthodologie

2.2.1 Situation géographique

Rapides-des-Quinze fait partie du bassin de la rivière des Outaouais. La rivière des Outaouais forme la frontière entre les provinces du Québec et de l'Ontario sur la plus grande partie de son parcours. Son bassin versant a une superficie totale d'environ 143 000 kilomètres carrés, 65 % étant situés au Québec, 35 % en Ontario. Ses limites approximatives sont les suivantes : à l'est : 74°20' ; à l'ouest : 81°25' ; au nord : 48°45' ; au sud : 44°40'.

Depuis sa source à l'est du réservoir Dozois jusqu'à son exutoire dans le lac des Deux Montagnes, la rivière parcourt plus de 1 130 kilomètres. À sa sortie du réservoir Dozois, la rivière coule vers l'ouest jusqu'au lac Témiscamingue, tronçon sur lequel se trouve Rapides-

des-Quinze, pour ensuite bifurquer vers le sud-est jusqu'à Ottawa et finalement, couler en direction est jusqu'à son exutoire.

L'étude a porté sur le bassin versant de la rivière des Outaouais jusqu'à la centrale de Carillon, située à approximativement 20 kilomètres de son exutoire. Le bassin versant total (aussi nommé Outaouais dans ce texte) a été subdivisé en vingt sous-bassins.

2.2.2 Climatologie

L'imposante taille des bassins versants des tributaires de la rivière des Outaouais implique une plus grande variabilité des conditions météorologiques. Conséquemment, ce facteur a dû être considéré lors de la maximisation des différents paramètres météorologiques, comme nous le verrons plus loin.

L'élévation moyenne du bassin versant de la rivière des Outaouais varie entre 200 et 400 mètres. La région sud-est du bassin versant est moins élevée avec des hauteurs moyennes variant entre 20 et 200 mètres. Finalement, dans les régions du parc Algonquin, du parc du Mont-Tremblant et de l'extrême nord des bassins versants Gatineau et Lièvre, l'élévation est légèrement supérieure à 500 m.

2.2.3 Méthodologie générale

Lors de l'étude de crue maximale probable sur la rivière Saint-Maurice (SNC-Shawinigan, 1992), un comité d'experts a été formé. Ces experts ont alors émis plusieurs recommandations concernant les relations entre les différents éléments météorologiques présents lors d'une crue printanière. Ce sont ces recommandations qui ont servi de base à cette étude. Nous en faisons ici un bref résumé.

La première recommandation des experts a été de ne jamais combiner deux événements probables maximaux. Selon eux, un événement probable maximal doit plutôt être couplé avec un événement extrême (ayant une période de retour de 100 ans, par exemple). Ainsi, une pluie maximale probable ne peut être couplée avec une neige maximisée pour la crue printanière. Ils ont plutôt suggéré d'utiliser une pluie maximale probable avec une neige ayant une période de retour de 100 ans lorsque la pointe, lors d'une crue maximale, devient l'élément critique dans la gestion. Par contre, lorsque le volume d'eau devient l'élément critique lors d'une crue maximale, ils ont recommandé de combiner une pluie ayant une période de retour de 100 ans avec une neige maximale.

La deuxième recommandation des experts concernait le scénario de températures et, plus particulièrement, la séquence de températures à développer durant la période de fonte. Ils ont d'abord suggéré d'établir une séquence de températures suffisamment longue pour faire fondre toute la neige ; deux semaines leur apparaissant être une période raisonnable.

Selon eux, la séquence de températures durant cette période doit refléter le plus adéquatement possible les conditions synoptiques présentes. Ceci implique que des températures plus chaudes doivent dominer durant la première partie de la séquence, au moment où un anticyclone influence la région, et que ces dernières soient suivies par une

séquence de températures plus froides, celles-ci étant associées au passage de la masse d'air froid accompagnant la dépression. Évidemment, à cause de la grande superficie des bassins versants étudiés, le profil de températures doit varier d'une région à l'autre en fonction de la trajectoire de la dépression.

Les différents paramètres météorologiques cités plus haut ont été calculés en utilisant différentes méthodes et études. La maximisation de la pluie a été effectuée selon la méthode de l'Organisation météorologique mondiale (OMM, 1986). Pour le calcul de la neige maximale, c'est la technique développée par Chow (1994) qui a été utilisée. L'analyse de fréquence de la pluie printanière a été faite selon la méthode développée dans l'étude des crues maximales pour la rivière Gatineau (Doray, 1994). Finalement, l'analyse statistique du couvert de neige est basée sur un rapport de la firme SNC-Shawinigan (1992).

En ce qui concerne le calcul des paramètres météorologiques pour la crue d'été-automne, la méthode présentée par l'Organisation météorologique mondiale a été utilisée (OMM, 1986).

2.3 Pluie maximale probable d'été-automne

La pluie maximale probable pour l'été-automne a été estimée selon la méthode proposée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM, 1986). Cette méthode de maximisation consiste à déterminer, pour chaque tempête, un facteur de maximisation et à appliquer celui-ci aux quantités de pluie observées.

2.3.1 Données utilisées

Cette partie de l'étude a été réalisée en utilisant les analyses hauteur-durée-superficie et les cartes météorologiques de tempêtes observées sur l'Ontario et le Québec réunies dans la série « Pluies de tempêtes au Canada ».

Les valeurs d'eau précipitable disponibles pour chaque tempête de la série (W_s) ont été fournies par le Centre climatologique canadien à Toronto. Des cartes généralisées des températures de point de rosée mensuelles (Dillon, 1988) ont, quant à elles, été utilisées pour estimer les quantités d'eau précipitable maximales (W_{max}) relatives à chaque tempête.

2.3.2 Catégories de dépressions

Étant donné la très grande superficie du bassin versant de la rivière des Outaouais, nous avons subdivisé les dépressions sélectionnées en fonction de leur trajectoire générale. Ces différentes catégories sont identifiées sous les noms « Outaouais sud », « Outaouais nord » et « Outaouais total ».

2.3.3 Résultats de la maximisation de la pluie

À partir des hauteurs de pluie maximisées les plus fortes, nous avons fait, pour chaque superficie analysée, des graphiques de la hauteur de pluie en fonction de la durée afin de tracer les courbes-enveloppes. Ces graphiques « hauteur-durée » ont été faits pour chaque catégorie de pluie maximale probable.

Même si nous n'avons pas divisé le grand bassin versant de la rivière des Outaouais de la même manière que dans l'étude de Dillon (1990), les résultats obtenus pour le nord et le sud sont similaires à ceux de Dillon et la différence est généralement inférieure à 10 %. Cette différence s'explique essentiellement par le fait que contrairement à l'étude de Dillon (1990), nous n'avons pas modifié les facteurs de maximisation supérieurs à 2,0.

2.3.4 Distribution spatiale et temporelle

Le modèle utilisé pour les simulations de crues exige que la pluie maximale probable soit distribuée sur les différents bassins versants à l'étude. Cette distribution a été effectuée à l'aide du logiciel HMR52 (1988).

Étant donné la quantité de bassins versants à l'étude, nous avons décidé de restreindre le nombre de centres de précipitation aux bassins où il y a des barrages contrôlés. En outre, étant donné qu'il n'y a aucun barrage contrôlé dans le sud, nous avons choisi, de concert avec Ontario-Hydro (réunion du 7 mars 1995), trois centres additionnels.

2.4 Pluie maximale probable de printemps

2.4.1 Méthodologie

La publication « Pluies de tempêtes au Canada » regroupe toutes les tempêtes ayant accumulé au moins cinq centimètres de pluie en 24 heures. Étant donné que les fortes dépressions printanières produisent souvent moins de cinq centimètres de pluie par jour, le nombre de tempêtes printanières répertoriées dans cette liste était nettement insuffisant pour estimer avec confiance une pluie maximale probable de printemps. Il était donc nécessaire de faire de nouvelles analyses « hauteur-durée-superficie » pour des dépressions printanières fortes. C'est ce qui a été fait dans des études antérieures pour les bassins versants des rivières Mississagi, Mississippi et Ottawa (Dillon, 1987, 1989, 1990).

Les tempêtes choisies et la méthode de maximisation utilisée dans ces études sont identiques aux nôtres. Il nous semblait donc correct d'utiliser directement leurs valeurs de pluie maximale pour l'Outaouais sud et nord. Pour l'Outaouais total, nous avons fait une moyenne entre les deux.

2.4.2 Distribution spatiale et temporelle

Tout comme pour la pluie maximale d'été-automne, nous avons distribué les valeurs sur les différents bassins versants. Le logiciel utilisé et la méthode utilisée sont les mêmes que ceux présentés à la section 2.3.4.

2.5 Analyse de fréquence de la pluie printanière

L'analyse de fréquence de la pluie printanière a été effectuée essentiellement en trois étapes. Premièrement, les averses les plus abondantes pour chaque année ont été sélectionnées et analysées. Ensuite, la quantité totale de pluie associée à chaque dépression a été estimée aux stations climatologiques, pour ensuite être interpolée aux bassins versants. Finalement, une distribution statistique a été appliquée aux données interpolées.

2.5.1 Données utilisées

Les données météorologiques utilisées pour cette partie de l'étude sont les données journalières de pluie. Celles-ci proviennent du Centre climatologique canadien du Service de l'environnement atmosphérique à Toronto.

Parmi toutes les stations disponibles (Environnement Canada, 1981), un premier tri a été fait en fonction de leurs positions géographiques par rapport aux bassins versants de la rivière des Outaouais. Nous avons ensuite procédé à une deuxième sélection, cette fois en fonction de la disponibilité des données de pluie. Les critères pour ce deuxième tri ont été fixés de la façon suivante : les stations devaient avoir au moins vingt années de données préférablement consécutives. Nous sommes conscients que vingt ans de données ne sont pas suffisants. Cependant, parce que la concentration des données disponibles dans certaines parties du bassin versant n'est pas suffisante pour établir une analyse complète, nous avons dû diminuer nos exigences.

Quarante-quatre stations climatologiques ont finalement été sélectionnées pour effectuer l'analyse de fréquence de la pluie printanière. Parmi celles-ci, deux ne remplissaient pas les critères cités plus haut. Il s'agit de Parent et de Des Joachims.

Les deux ont malgré tout été utilisées étant donné que la qualité de leurs données de pluie nous semblait adéquate et que ces dernières ajoutaient de l'information à des endroits où le nombre de stations disponibles est restreint. Par contre, nous avons utilisé la station Des Joachims uniquement lorsque les observations de sa jumelle au Québec, Rapide des Joachims, n'étaient pas disponibles.

La distribution des stations climatologiques sur les bassins versants n'est malheureusement pas uniforme. Certains sont très bien représentés et d'autres comme Montréal, Dumoine, Coulonge et Noire n'ont aucune station à proximité.

En plus des observations journalières aux stations climatologiques, nous avons utilisé des cartes météorologiques de surface afin de pouvoir analyser les dépressions plus facilement et plus adéquatement. Ces cartes proviennent du Centre climatologique canadien à Toronto et elles sont disponibles à toutes les six heures (00, 06, 12 et 18 TU).

2.5.2 Ajustements et résultats

La distribution de Gumbel (méthode des moments) a été choisie et appliquée à tous les échantillons pour évaluer la pluie printanière ayant une période de retour de 100 ans.

Une analyse des résultats nous permet de constater que certaines valeurs de pluie 1/100 ans semblent trop fortes par rapport à celles estimées aux bassins versants avoisinants. La distribution géographique des stations peut facilement expliquer ces différences de résultats. Nous avons remarqué que dans le cas où un bassin versant est représenté par trois stations climatologiques ou moins, il y a plus de chance que toutes les stations rapportent de fortes valeurs de pluie pour une tempête donnée et conséquemment, que la valeur interpolée soit forte. Si cette situation se reproduit pour plus d'une tempête, les valeurs moyenne et de pluie 1/100 ans calculées seront plus grandes que celles des bassins versants avoisinants.

2.5.3 Distribution spatiale et temporelle

Les quantités de pluie printanière ayant une période de retour de 100 ans estimées à la section 2.5.2 représentent des hauteurs totales de pluie centrées sur chacun des bassins versants à l'étude. Le modèle de simulation utilisé pour le calcul des crues maximales probables nécessitent des valeurs de pluie distribuées spatialement et temporellement. D'une part, il s'agit de distribuer la quantité totale de pluie sur la durée moyenne d'une tempête, c'est-à-dire trois jours. D'autre part, il faut répartir les quantités de pluie centrées sur l'un ou l'autre des bassins versants sur tous les autres bassins.

Contrairement à l'étude de la Gatineau (Doray, 1994) où nous avons utilisé des dépressions observées sur les bassins versants pour calculer la distribution spatiale, nous avons utilisé cette fois, les pourcentages calculés par le logiciel HMR52 pour la pluie maximale probable de printemps (voir section 2.4). Ces pourcentages nous semblaient adéquats et aussi représentatifs de la réalité que ceux de l'autre méthode, puisqu'il est difficile d'avoir un nombre suffisant de dépressions centrées sur chaque bassin versant. Comme dans l'étude de la Gatineau (Doray, 1994), la distribution temporelle, sur trois jours, a été déterminée en utilisant les pourcentages correspondant à une pluie maximale probable printanière.

2.6 Analyse de fréquence du couvert de neige

L'analyse de fréquence du couvert de neige a été effectuée par la firme C.D.Z. Environnement inc. pour tous les bassins versants de la rivière des Outaouais (1994). L'interpolation aux bassins versants faite dans ce rapport n'utilise pas les mêmes bassins versants que ceux utilisés dans la présente étude. Ainsi, l'interpolation a dû être refaite et les résultats sont présentés dans le rapport « Interpolation du couvert de neige avec une période de retour de 100 ans et évaluation de la neige maximale probable aux bassins versants de la rivière des Outaouais » (C.D.Z. Environnement inc., 1994).

De façon générale, l'analyse statistique s'est effectuée en quatre étapes. La première consistait en la validation des données de neige au sol pour les 86 stations nivométriques disponibles par Hydro-Québec, Ontario-Hydro ou le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario. Par la suite, pour chaque station, à partir de la date des mesures, les données disponibles ont été assignées à un échantillon associé à une des périodes suivantes :

- période 1 : le 1^{er} janvier (entre le 26 décembre et le 7 janvier) ;
- période 2 : le 1^{er} février (entre le 26 janvier et le 7 février) ;
- période 3 : le 1^{er} mars (entre le 23 février et le 7 mars) ;
- période 4 : le 15 mars (entre le 9 mars et le 21 mars) ;
- période 5 : le 1^{er} avril (entre le 26 mars et le 7 avril).

Un échantillon a également été constitué à partir des valeurs maximales annuelles observées aux stations. La troisième étape consistait en l'application d'une distribution statistique choisie afin d'évaluer le couvert de neige ayant une période de retour de 100 ans pour les périodes 3 à 5 et les maximums annuels. Finalement, ces résultats aux stations ont été interpolés aux 21 bassins versants de la rivière des Outaouais à l'aide de la méthode des polygones de Thiessen. Tous les résultats de la validation, des tests statistiques, des ajustements des échantillons et de l'interpolation aux bassins versants sont inclus dans les deux rapports cités plus haut.

Dans certains cas, la neige ayant une période de retour de 100 ans est plus grande pour la période 5 que pour le maximum annuel. Nous pouvons expliquer cette « anomalie » par la différence entre les écarts-types pour la période 5 et pour les maximums annuels puisque dans une distribution Gumbel la pente est fonction de l'écart-type. En effet, le fait qu'il y ait peu de valeurs près de la moyenne dans les échantillons de la période 5 (puisque cette période correspond à la fin de mars où la quantité de neige au sol est souvent le maximum annuel ou à une valeur beaucoup plus faible lorsque la fonte est commencée) engendre un écart-type plus fort et une moyenne plus faible. À l'opposé, il y a très peu d'écart entre les valeurs dans les échantillons des maximums annuels. Ainsi, la moyenne est plus forte mais l'écart-type demeure faible. Ainsi, malgré que la période 5 présente quelquefois des valeurs supérieures au maximum annuel, il est recommandé d'utiliser dans les simulations de crue les valeurs maximums.

2.7 Neige maximale probable

L'estimation de la neige maximale probable a été effectuée par la firme C.D.Z. Environnement inc. pour l'ensemble des stations climatologiques entourant la rivière des Outaouais et ces valeurs ont été interpolées aux bassins versants. Leur rapport, « Interpolation du couvert de neige avec une période de retour de 100 ans et évaluation de la neige maximale probable aux bassins versants de la rivière des Outaouais » (C.D.Z. Environnement inc., 1994), peut être consulté sur demande.

L'évaluation de l'accumulation maximale probable de neige aux stations climatologiques a été effectuée suivant la méthode développée par Chow et Jones (1994).

La première étape consiste à déterminer les hivers les plus forts ayant été observés sur les bassins versants de la rivière des Outaouais. Une fois ces hivers identifiés, toutes les dépressions d'un premier hiver sont analysées afin de déterminer les dates de début et de fin de chacune d'elles. Ensuite, il faut évaluer lesquelles sont maximisables afin de déterminer la quantité de neige observée, la quantité d'eau précipitable disponible (W_s), la quantité d'eau précipitable maximale mensuelle (W_{max}) et le facteur de maximisation (W_{max}/W_s). En appliquant ce facteur à la chute de neige observée aux stations pour chaque tempête, il est possible d'estimer la quantité de neige maximisée. Pour les tempêtes non maximisables, la quantité de neige observée aux stations est utilisée telle quelle. Finalement, la neige maximale probable totale pour un hiver est estimée à chaque station climatologique en additionnant les quantités de neige associées à chaque tempête, maximisable et non maximisable. Chaque hiver choisi à la première étape est maximisé de la même façon.

L'interpolation de la neige maximale probable aux bassins versants a été effectuée avec la méthode des polygones de Thiessen. Cette méthode et les détails de l'interpolation sont présentés dans le rapport de la firme C.D.Z. Environnement inc. (1994).

Les quantités de neige ont été transformées en équivalent en eau en utilisant une densité moyenne de 10 %.

L'hiver, où la neige maximale probable est la plus forte pour un bassin versant donné, représente l'hiver maximal pour ce bassin versant.

2.8 Scénario optimal de températures

2.8.1 Données utilisées

Les données météorologiques utilisées pour cette partie de l'étude sont les données journalières de températures (maximales et minimales) et de pluie aux mêmes stations climatologiques que celles utilisées pour le calcul de la pluie printanière ayant une période de retour de 100 ans. Les cartes généralisées des températures de point de rosée mensuelles (Dillon, 1988) ont, quant à elles, été utilisées pour estimer les températures durant l'application de la pluie maximale.

2.8.2 Étapes du développement de la séquence de températures

Un des éléments importants lors d'une crue printanière est la température puisque celle-ci est intimement reliée à la fonte. Il s'agit donc ici de développer un scénario optimal correspondant aux conditions de pluie et de neige maximale ou extrême. Comme nous l'avons mentionné à la section 2.2, le scénario de températures a été établi en tenant compte des recommandations des experts (SNC-Shawinigan, 1992). Cependant, comme nous pourrons le voir un peu plus loin, certaines modifications ont été apportées en fonction des observations faites sur les bassins versants à l'étude.

Une séquence de température moyenne a été développée pour chaque catégorie de dépression pour la période entre le 1^{er} mars et le 30 juin. Ces séquences sont divisées en plusieurs étapes et ce sont ces étapes qui sont présentées dans les prochains paragraphes.

A. Date moyenne de fin d'hiver

La première étape consiste à examiner les données journalières de températures afin de déterminer la date de fin d'hiver la plus tardive pour chacune des stations climatologiques. La date de fin d'hiver estimée pour les bassins du nord est le 24 avril et celle pour les bassins du sud est le 15 avril.

B. Températures froides de fin d'hiver

Cette étape doit refléter les températures d'une fin d'hiver froid où aucune fonte n'est observée afin de conserver le manteau nival au maximum. Cette étape commence le 1^{er} mars et se termine à la date de fin d'hiver.

Pour chaque station climatologique, l'hiver le plus froid est trouvé à partir de l'examen des degrés-jour. Ce sont les températures maximales et minimales de l'hiver choisi qui sont utilisées dans cette partie du scénario.

C. Période de maturation de la neige

Afin d'obtenir des conditions de fonte extrême lors de l'application de la pluie, il est nécessaire de faire mûrir le couvert de neige. Ainsi, la fin de l'hiver est suivie par une période de temps frais, d'une durée de 10 jours, caractérisée par des températures moyennes légèrement au-dessus du point de congélation. Ces températures ont été déterminées de façon arbitraire avec une gamme variant de 1 °C à 3 °C.

Même si les températures sont choisies aléatoirement, elles demeurent probables puisque les normales pour cette période varient entre 7 °C et 8 °C, pour l'ensemble des stations climatologiques utilisées.

D. Période de fonte précédant la pluie

Cette étape correspond à une période chaude pendant le printemps permettant une fonte maximale de la neige avant le début de la pluie. Cette étape dure huit jours.

Les températures moyennes journalières pour cette séquence de huit jours sont estimées à partir des courbes enveloppes des températures moyennes maximales pour des périodes de un, trois, sept et onze jours.

E. Période associée à l'application de la pluie

Les températures lors de cette période, d'une durée de 5 jours, doivent refléter le plus exactement possible les conditions météorologiques présentes avant et pendant le passage d'une dépression produisant une pluie extrême ou maximale. Nous avons utilisé la méthodologie développée dans le cadre de l'étude sur la rivière Gatineau (Doray, 1994) à partir des séquences de températures observées en présence de fortes dépressions.

Ainsi, la dépression produisant la pluie maximale ou extrême est précédée par une zone de haute pression d'une durée de trois jours où les températures moyennes augmentent linéairement de 3°C par jour pour finalement atteindre la pointe de température. La journée où est observée la pointe de température coïncide avec le début de la pluie. Puisque lorsqu'il y a précipitation, la température et la température de point de rosée sont égales, nous avons utilisé la température de point de rosée maximale du mois de mai comme valeur pour la pointe de température. Avec le passage du front froid associé à la dépression, les deux jours suivants montrent des baisses de températures de 2 °C et de 6,5 °C, respectivement.

F. Températures après le passage de la dépression

Comme le scénario de températures après le passage de la dépression a peu d'impact sur la crue, nous avons utilisé une séquence de températures normales moyennées sur cinq ans (entre 1955 et 1960) pour la période allant du 19 mai au 30 juin.

Différentes séquences en fonction des catégories de dépressions ont été créées. Les températures de chacune des séquences ne sont pas disponibles dans ce rapport mais peuvent être consultées sur demande.

2.8.3 Interpolation aux bassins versants

À partir du scénario général développé à la section 2.8.2, nous avons établi un scénario optimal de températures pour chaque station climatologique mentionnée à la section 2.8.1. Par la suite, l'interpolation de ces séquences de températures aux bassins versants a été effectuée à l'aide de la méthode des polygones de Thiessen.

Il est important de noter ici que les séquences optimales de températures à chaque bassin versant sont des scénarios généraux qui n'ont pas été développés en fonction de la quantité de neige au sol accumulée à la fin de l'hiver. Dans ces deux cas, il est recommandé de raccourcir ou d'allonger la période de fonte précédant la pluie, ce qui ne modifie en rien le reste de la séquence.

2.9 Conclusion

Ce chapitre présente les techniques de calcul et les résultats des différents paramètres météorologiques nécessaires à l'estimation des crues maximales probables de printemps et d'été-automne pour les bassins versants de la rivière des Outaouais. Les méthodes utilisées sont conformes aux recommandations du comité d'experts (SNC-Shawinigan, 1992) et à la méthodologie proposée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM, 1986).

L'étude de la pluie maximale probable de printemps et d'été-automne a été complétée selon la méthode proposée par l'Organisation météorologique mondiale. Les résultats obtenus sont comparables à ceux obtenus dans les études antérieures similaires (Hogg, 1987 ; Dillon, 1990 et Doray, 1994).

L'analyse de fréquence de la pluie printanière a été effectuée à partir des averses les plus abondantes observées dans la région de l'étude. Les quantités totales de précipitation associées à chaque dépression ont été estimées à partir de stations climatologiques pour ensuite être interpolées aux bassins versants. Une distribution de Gumbel (méthode des moments) a finalement été appliquée à tous les échantillons afin de déterminer la pluie printanière ayant une période de retour de 100 ans.

L'analyse de fréquence du couvert de neige ainsi que le calcul de la neige maximale probable ont été effectués par la firme C.D.Z. Environnement inc. L'analyse de fréquence du couvert de neige a été faite à partir des mesures de l'équivalent en eau de la neige au sol et les résultats obtenus par des ajustements des données à la distribution de Gumbel (méthode MXVR). L'estimation de la neige maximale probable a été effectuée suivant la méthode développée par Chow et Jones (1994). Les résultats obtenus dans les deux analyses sont semblables à ceux obtenus dans l'étude de la rivière Gatineau (Doray, 1994).

Finalement, les scénarios optimaux de températures ont été déterminés, d'une part, en tenant compte des recommandations des experts (SNC-Shawinigan, 1992) et, d'autre part, en suivant la méthodologie développée dans l'étude de la rivière des Outaouais (Doray, 1994).

3 Étalonnage du modèle SSARR pour les bassins versants intermédiaires

3.1 Introduction

Le modèle SSARR (*Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation*), développé par le US Army Corps of Engineers depuis 1956, a été utilisé dans sa plus récente version pour réaliser cette étude (USACE, 1991). C'est un modèle de simulation numérique précipitation-ruissellement qui permet de prendre en considération les facteurs météorologiques et les caractéristiques physiques d'un bassin versant. Ce modèle simule les principaux phénomènes hydrologiques se produisant sur le bassin (évapotranspiration, accumulation de neige, infiltration, ruissellement, etc.) et permet d'obtenir l'hydrogramme de sortie pour des conditions spécifiques. Dans sa dernière version, en développement depuis 1986 (USACE, 1989), le modèle présente l'avantage de pouvoir modéliser, sur une longue période, le comportement des bassins de grande superficie, ceci grâce à l'utilisation du module « Integrated-Snowband Watershed ». Ce module permet de diviser le bassin versant en plusieurs zones d'altitude sur lesquelles les précipitations, l'équivalent en eau de la neige, l'humidité du sol et d'autres paramètres sont pris en considération indépendamment.

Dans notre étude, trente bassins ont été étalonnés au modèle (tableau 3.1), afin de fournir, à partir des seules données météorologiques (précipitations et températures), des apports intermédiaires à différents sites de la rivière des Outaouais. La propagation en rivière de l'écoulement ainsi que le laminage des crues sont assurés par le modèle MENVIQ, discuté au chapitre 5. L'étalonnage de certains bassins versants intermédiaires est facilité par des travaux antérieurs, faits par Ontario-Hydro (1993 a, b, c, 1991 et 1987).

Tableau 3.1 – Étude globale de crue sur la rivière des Outaouais
 Liste des stations hydrométriques utilisées pour l'étalonnage du modèle SSARR

Bassin versant	Nom de la station utilisé	Número de la station
Dozols	DOZOIRIV	2092511001FI
Rapides-Sept	RAPIDES7	2091511001FI
Des Quinze	DEQUINZE	2091511005FI
Mistinikon	MISTINIK	2092511014FI
Lady Evelyn	LAEVELYN	2092511013FI
Lower Notch	LOWNOTCH	91511007
Kipawa	KIPAWARI	2092511006FI
Témiscamingue	TEMISCAM	2092511004FI
Joachims	JOACHIMS	91512017
Dumoine	RDUMOINE	2091411019
Petawawa	PETAWAWA	2091412009
Noire	RIVNOIRE	2091412020
Coulonge	COULONGE	2092412011
Chats Falls	DIR	DIR
Bark Lake	BARKLAKE	2092511016FI
Kaminisseg	DIR	DIR
Mountain Chute	DIR	DIR
Mississipi	MISSISSI	2092411012
Bonechère	BONECHER	2091411011
Cabonga	RCABONGA	2092512001FI
Mercler	RASKATON	2092512002FI
Paugan	PAUGANMA	2091512002FI
Rideau	RIDEAURI	2091412011
Nation Sud	NATIONSU	2091412014
Petite Nation	PENATION	2092412018
Carillon	DIR	DIR
Rouge	RIVROUGE	2091412019
Mitchinamécus	MITCHINA	2092512022FI
Klamika	KIAMIKAS	2092512023FI
Cedar Rapids	CEDARRAP	2091512024FI

DIR: Données reconstituées par rapport de superficies des bassins avoisnants

3.2 Données de base

Pour effectuer une simulation avec SSARR, les données ci-dessous doivent être fournies au modèle :

- **Caractéristiques physiques connues** : superficie et courbe hypsométrique du bassin ; altitudes des stations hydrométriques et météorologiques ainsi que l'évapotranspiration potentielle ;
- **Caractéristiques physiques à étalonner** : poids des stations météorologiques ; subdivision du bassin en zones d'altitude ; ajustement des précipitations et des températures en fonction de l'altitude ; ajustement de l'évapotranspiration en fonction de l'humidité du sol, des précipitations, de la saison et de la présence de neige au sol ; paramètres gouvernant la fonte de la neige ; relations de partage des écoulements ; nombre de phases et temps d'emménagement de chaque type d'écoulement ; etc. ;
- **Données hydrométéorologiques** : précipitations, températures et débits ;
- **Période de simulation** : début et fin de la simulation et pas de temps de calcul ;
- **Conditions initiales** : conditions prévalant au début de la période de simulation (ruissellement, neige accumulée, humidité du sol, infiltration, etc.).

Dans les sous-sections suivantes, nous présentons les données hydrométriques, météorologiques et topographiques utilisées, ainsi que les caractéristiques physiques connues, pour chaque bassin versant SSARR.

3.2.1 Données hydrométriques

Les mesures de débits ou les apports intermédiaires reconstitués sont nécessaires pour effectuer l'étalonnage et la validation du modèle SSARR. Afin d'alléger le texte, le terme « débits historiques » sera dorénavant utilisé pour désigner ces débits de référence, qu'ils soient observés ou reconstitués.

3.2.2 Données météorologiques

Vingt-trois stations météorologiques (tableau 3.2) ont servi à décrire les régimes de précipitations et de températures du bassin versant de la rivière des Outaouais.

La sélection des stations a été effectuée en fonction de la localisation et de la disponibilité des données. Les données manquantes à certaines stations ont été complétées en utilisant celles de stations avoisinantes et ayant des altitudes proches.

Tableau 3.2 – Étude globale de crue sur la rivière des Outaouais
Liste des stations météorologiques utilisées pour l'étalonnage du modèle SSARR

Nom	Numéro	Altitude (m)	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Période d'exploitation
Val-d'Or A	7098600	337	48 04	77 47	07/1951 - 12/1993
Ville-Marie	7088760	213	47 21	79 26	08/1913 - 11/1993
Mameville	7084560	311	48 33	78 29	10/1949 - 03/1993
Belleterre	7080600	322	47 23	78 42	09/1951 - 11/1993
Barrage-Témiscamingue	7080468	181	46 43	79 06	04/1910 - 11/1993
Ste-Agathe-des-monts	7036762	399	46 03	74 17	01/1966 - 07/1992
Notre-Dame-du-Laur	7035680	213	46 07	75 38	05/1929 - 05/1991
Nominingue	7035520	274	46 23	75 03	08/1913 - 11/1993
Maniwaki	7034480	170	46 23	75 58	07/1953 - 05/1993
Angers	7030170	107	45 32	75 30	01/1962 - 11/1993
Haliburton A	6163156	320	45 00	78 35	04/1883 - 12/1992
Purdy	6106779	491	45 19	77 43	07/1955 - 11/1993
Petawawa-Nat-Forestry	6106400	183	45 59	77 26	05/1931 - 11/1993
Ottawa CDA	6105976	79	45 23	75 43	11/1889 - 11/1993
Morrisburg	6105460	82	44 55	75 11	06/1913 - 11/1993
Cornwall	6101874	64	45 01	74 45	11/1950 - 11/1993
Chenault	6101494	84	45 35	76 41	06/1950 - 12/1990
Cataragui	6101265	145	44 22	76 37	08/1960 - 11/1993
Amprior-Grandon	6100345	107	45 25	76 22	10/1959 - 11/1993
North Bay A	6085700	358	46 21	79 26	01/1939 - 12/1993
Madawaska	6084770	316	45 30	77 59	08/1915 - 11/1993
Timmins A	6078285	295	48 34	81 22	04/1955 - 12/1993
Earlton A	6072225	243	47 42	79 51	09/1938 - 12/1993

3.2.3 Données topographiques

Vingt et un des trente bassins versants SSARR correspondent à des bassins versants. Leurs courbes hypsométriques proviennent donc directement du rapport de Galibois et Sparks, 1995. Pour les neuf autres bassins, qui correspondent à diverses combinaisons de bassins naturels, par exemple Dumoine (18 + 19) ou Cedar Rapids (41 + 43 + 44), les courbes hypsométriques sont déduites par superposition (SNC-Shawinigan, 1996).

3.3 Méthodologie d'étalonnage

L'étalonnage du modèle SSARR consiste à ajuster les paramètres et les fonctions qui gouvernent la relation précipitation-ruissellement de manière à reconstituer un hydrogramme semblable à celui observé. Pour s'assurer de la validité de l'ajustement, l'étalonnage s'est effectué sur la période de 1970 à 1980, puisque les données disponibles durant ces périodes sont fiables et couvrent des crues relativement importantes comme celles de 1974, 1976 et 1979. La validation a été réalisée sur les dix années suivantes, soit de 1981 à 1990.

L'étalonnage du modèle SSARR aux trente bassins est inspiré de la méthodologie des consultants SAR (Rockwood et Kuehl, 1993). Cette approche, que nous présentons ci-dessous, a été développée à l'aide du bassin versant Kinojevis de la rivière des Outaouais et des bassins versants de la rivière Sainte-Marguerite (Debs, 1995).

La méthode comprend quatre étapes essentielles : 1) une étape préliminaire qui comprend le choix des stations et des paramètres initiaux ; 2) la normalisation de l'évapotranspiration simulée et du poids des stations pluviométriques ; 3) la minimisation du décalage saisonnier du ruissellement ; et enfin 4) la minimisation du décalage du ruissellement à court terme. Nous allons décrire brièvement, chacune de ces étapes.

Étape 1 : Choix des stations et des conditions initiales

Le choix des stations doit être basé sur la disponibilité et la qualité des données. Il faut de plus s'assurer que les stations soient représentatives de toute la surface du bassin versant à étalonner.

Les caractéristiques de départ peuvent être inspirées des tables généralisées fournies avec le modèle SSARR. Il est aussi possible d'utiliser les caractéristiques de bassins avoisinants déjà étalonnés ou ceux d'un étalonnage antérieur des bassins versants à l'étude (comme ce fut le cas pour les bassins versants ontariens).

Étape 2 : Ajustement du bilan hydrique annuel

Dans cette seconde étape, il s'agit d'ajuster les volumes d'eau ruisselés annuellement, tout en normalisant l'évapotranspiration simulée et la précipitation générée. Tout d'abord, on calcule l'évaporation potentielle et on ajuste tous les paramètres qui lui sont reliés (interception, EKE, DKE, ETM). On ajuste ensuite les poids des stations pluviométriques. Les paragraphes qui suivent, décrivent la procédure.

Évapotranspiration simulée. La relation donnant l'évaporation potentielle ETP (cm/j) en fonction de la température T (°C) se calcule par la méthode de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948 ; USACE, 1989) :

$$ETP = 0.053 \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \quad (3.1)$$

Dans cette équation, « I » est l'indice thermique annuel (*annual heat index*) et « a » est une constante empirique. Ils se calculent respectivement par les équations 3.2 et 3.3, où T_m représente la température moyenne mensuelle (°C) du point le plus bas du bassin versant. Si cette température est négative, T_m prend la valeur nulle. Ceci signifie que l'indice thermique mensuel (*monthly heat index*) pour le mois en question est nul.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{\bar{T}_m}{5} \right)^{1.514} \quad \text{avec } \bar{T}_m \geq 0 \quad (3.2)$$

$$a = (67.51 \times 10^{-8}) I^3 - (77.11 \times 10^{-6}) I^2 + (179.21 \times 10^{-4}) I + 0.492 \quad (3.3)$$

La relation donnant ETP en fonction de la température ayant été calculée, différents paramètres et facteurs doivent être ajustés par itération en vue d'obtenir une évapotranspiration moyenne (évaporation + interception) comparable à celle donnée dans les atlas (Environnement Canada, 1971 ; Pêches et Environnement Canada, 1978). Ces paramètres sont l'interception et les facteurs d'ajustement de l'évapotranspiration en fonction de l'intensité de la pluie (EKE), de l'humidité du sol (DKE) et du mois (ETM). À noter que le partage entre le volume d'eau évaporé et celui intercepté est subjectif si aucune information sur la couverture végétale n'est interprétée. Ceci est le cas dans la présente étude. Toutefois, il est généralement admis que l'interception peut varier entre 10 % et 20 % de la précipitation annuelle totale (Linsley et coll., 1982).

Poids des stations pluviométriques. Au départ, on choisit les poids de chaque station par la méthode des polygones de Thiessen. Ces poids sont ensuite ajustés de façon à ce que la pluie moyenne sur le bassin soit comparable à la valeur interannuelle moyenne obtenue de l'atlas (Environnement Canada, 1971).

Il est à noter que les normalisations de l'évapotranspiration et de la précipitation discutées plus haut, doivent se faire dans le principal objectif d'ajuster les volumes d'eau ruisselés annuellement aux volumes historiques. Ceci constitue le critère principal de cette seconde étape de la méthodologie. Des critères secondaires sont la vraisemblance et la cohérence des valeurs d'interception et d'évapotranspiration annuelles.

Étape 3 : Minimisation du décalage saisonnier

Le décalage saisonnier s'interprète à partir des hydrogrammes simulés et observés et du bilan hydrique mensuel. Il s'agit d'une avance ou d'un retard systématique des volumes d'eau simulés, dû à un étalonnage inachevé. Contrairement au décalage à court terme qu'on discute plus tard, le décalage saisonnier se fait sentir sur une base mensuelle ou trimestrielle. Un de ses effets est l'absence de réactions aux pluies estivales. Pour minimiser ce décalage, les caractéristiques et relations à ajuster sont l'indice d'humidité du sol en fonction du taux de ruissellement (SMI-ROP), l'indice d'infiltration de l'écoulement en fonction du pourcentage du ruissellement attribué à l'écoulement de base (BII-BFP), le partage du ruissellement indirect en zone profonde (LZ) et de base (BF) ainsi que la fonte à l'interface sol-neige. Les paragraphes suivants illustrent la procédure à suivre.

Relation SMI-ROP. La relation reliant l'indice d'humidité du sol au taux de ruissellement est la relation la plus importante du modèle SSARR. Quand l'humidité du sol est à son maximum, tout apport d'eau additionnel va ruisseler. Inversement, lorsque le sol est sec, un apport d'eau s'infiltrera dans le sol et la quantité ruisselée sera faible. Le pourcentage ruisselé pour une humidité du sol minimale est bien ajusté par le pourcentage de superficie couverte par des lacs sur le bassin versant. Pour ajuster la valeur maximale et la forme de cette relation, il faut comparer les hydrogrammes de ruissellement simulés et observés. Pour ceci, il est conseillé d'utiliser les périodes où l'on observe des tempêtes de pluie sans neige au sol, c'est-à-dire en été ou en automne. Dans ces conditions, le sol n'étant pas encore saturé par la neige, il est plus facile de voir l'effet de SMI sur le ruissellement de tout apport liquide. Au Québec, le pourcentage de l'apport liquide ruisselé en fonction de l'apport brut varie entre 35 % en été et 90 % au printemps.

Relation BII-BFP. Dans cette relation, le terme BFP représente le pourcentage d'écoulement total qui se dirige vers l'écoulement indirect et non pas uniquement vers l'écoulement de base comme l'abréviation BFP pourrait laisser entendre. Normalement, le pourcentage d'écoulement indirect sera maximal lorsque le sol est sec ($BII = 0$) et ira en décroissant à mesure que l'indice d'infiltration augmentera. Vu la période de fonte intense juste avant l'arrivée des pluies printanières, il y a lieu de croire que l'indice d'infiltration sera à son maximum et que le pourcentage du ruissellement allant à l'écoulement indirect sera minimal. L'ajustement de cette relation se fait par itération de concert avec l'ajustement du délai BIITS (période d'emménagement pour le calcul du changement de BII). Au Québec, le pourcentage de l'écoulement total attribuable à l'écoulement indirect ne devrait pas excéder 50 % ou 60 %.

Partage du ruissellement indirect. Le partage du ruissellement indirect en zone profonde et en écoulement de base se fait selon un pourcentage constant (PLZ) et en respectant les limites maximales de chacun des écoulements (LZLIM et BFLIM). Le pourcentage et les limites sont fixés par itération, sachant que l'écoulement de base retarde le ruissellement de deux à trois mois alors que l'écoulement en zone profonde a un retard qui peut atteindre un an. Dans le bouclier canadien, l'écoulement en zone profonde constitue 25 % à 40 % du ruissellement indirect. Cet écoulement représente la persistance de l'écoulement des lacs.

Fonte à l'interface sol-neige. Dans les régions nordiques, la fonte à l'interface sol-neige est négligeable. Elle ne se produit qu'au début de la saison d'accumulation nivale. Il est donc important de s'assurer que ce type de fonte n'excède pas 0,05 cm/j.

Étape 4 : Minimisation du décalage du ruissellement à court terme

Contrairement au décalage saisonnier du ruissellement, le décalage à court terme constitue une avance ou un retard des volumes d'eau simulés sur une base journalière ou hebdomadaire plutôt que mensuelle ou trimestrielle. Pour minimiser ce décalage, les facteurs les plus importants à ajuster sont : la relation gouvernant la répartition du ruissellement direct en écoulement de surface et en écoulement hypodermique, le nombre de phases et le temps d'emmagasinement par phase de chaque type d'écoulement et les différents paramètres et relations régissant la fonte de la neige.

Notre but, à ce stade, est d'avoir un hydrogramme de ruissellement simulé qui se confond le plus possible avec l'hydrogramme observé. Pour ce faire, en plus des graphiques hydrométéorologiques et des valeurs de débits de pointe observées et simulées, nous utilisons le critère numérique de Nash (CN). Ce critère évalue les résultats du modèle par rapport aux écarts avec le débit moyen historique sur la période simulée (ASCE, 1993 ; Nash et Sutcliffe, 1970) :

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2 - \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{cal,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (3.4)$$

où :

- $Q_{obs,i}$ est le débit historique au jour i (m^3/s) ;
- $Q_{cal,i}$ est le débit calculé au jour i (m^3/s) ;
- \bar{Q}_{obs} est la moyenne des débits historiques (m^3/s).

Pour un ajustement parfait, le CN devrait être égal à 1. En général, une valeur de l'ordre de 0,7 est considérée acceptable, surtout lorsque les apports naturels du bassin sont des valeurs reconstituées, comme c'est le cas dans plusieurs des bassins de cette étude.

On attire l'attention sur le fait que dans les études de SNC-Shawinigan, 1995 et 1996, les coefficients de Nash sont calculés sur une période bi-annuelle alors qu'à Hydro-Québec les calculs se font sur une période annuelle. Cette différence a pour conséquence de donner des coefficients de Nash qui, dans les études de SNC-Shawinigan, semblent être meilleurs que ceux que nous avons obtenus dans cette étude. Cette différence est due à la variance observée (somme des écarts au carré des débits observés au débit moyen) qui, calculée sur deux ans, sera toujours plus grande que calculée sur une seule année et ceci pour une même variance estimée (somme des écarts au carré des débits observés aux débits calculés). Le CN sera donc plus proche de l'unité lorsque calculé sur deux ans.

3.4 Étalonnage préliminaire du modèle

3.4.1 Généralités

Initialement, l'étalonnage du modèle SSARR aux trente bassins de la rivière des Outaouais a été fait en quatre phases :

1. Étalonnage de six bassins versants types par SNC-Shawinigan en juin 1995 : Dozois, Noire, Coulonge, Baskatong, Petite Nation et Rouge.
2. Étalonnage de quatorze bassins versants supplémentaires par SNC-Shawinigan en mars 1996 : Rapides-7, Des Quinze, Témiscamingue, Dumoine, Des Joachims, Bonechère, Chats Falls, Cabonga, Paugan, Mitchinamecus, Kiamika, Cedar Rapids, Rideau et Carillon.
3. Ajustement des étalonnages de sept bassins versants ontariens en février 1996 : Lady Evelyn, Mistinikon, Lower Notch, Bark Lake, Kaminisseg et Mountain Chute.
4. Étalonnage des quatre bassins versants restants : Kipawa, Petawawa, Mississippi et Nation Sud.

Après avoir terminé l'étalonnage du modèle SSARR aux trente bassins versants, cinq ont été sélectionnés pour être validé par les consultants (SAR Consultants, 1996). Ce sont Kinojevis, Mistinikon, Coulonge, Baskatong et Rouge. Nous présentons ci-dessous les principales recommandations et suggestions qui ont été faites et qui nous ont amenés à entreprendre certains ajustements à l'étalonnage de dix-neuf des trente bassins versants intermédiaires.

3.4.2 Recommandations des experts

L'objectif principal de la validation des experts a été de s'assurer que les étalonnages du modèle SSARR respectent les lois hydrologiques connues et sont fiables pour la prévision, l'exploitation ou les études de crues. Les résultats sont en général acceptables. On cite à ce sujet, les conclusions de M. Rockwood (SAR Consultants, 1996) : « the results are considered to be entirely adequate for application to practical hydrologic applications, such as design flood studies, streamflow forecasting, and reservoir operations ».

Les consultants nous ont fait, toutefois, plusieurs suggestions et recommandations afin de rendre nos étalonnages plus proches de la réalité hydrologique. Ces recommandations n'ont pas eu pour effet d'améliorer d'une manière appréciable, les résultats comparés aux données d'observations (SAR Consultants, 1996) : « comparisons of the Hydro-Quebec and SAR Consultants (calibrations) showed some improvement in the fitting of the observed and computed runoff hydrographs, (but) there was not a dramatic improvement of results ». Ils ont l'avantage de rendre les modèles plus réalistes et permettraient d'obtenir de meilleurs résultats, surtout en période de crues estivales.

Les paragraphes qui suivent constituent une synthèse de ces principaux commentaires et suggestions.

1. Utilisation d'un pas de temps de calcul de 24 heures

L'utilisation d'un pas de temps journalier, comme c'est le cas dans cette étude, a un effet direct sur les températures et les précipitations.

Pour les températures, le fait qu'elles soient la moyenne entre le maximum et le minimum journalier les rendent rarement représentatives de la période du jour où la précipitation s'est produite. Ceci affecte l'algorithme qui décide si la précipitation est pluviale ou nivale, surtout lorsque les températures sont proches de zéro. Ces mêmes températures sont utilisées pour le calcul de l'évaporation et la fonte de neige. On s'aperçoit donc que le temps de réponse du modèle n'est qu'une approximation sur 24 heures.

Les précipitations sont des valeurs réelles observées et cumulées sur 24 heures. Le modèle SSARR considère implicitement que les précipitations sont uniformes sur toute la période. Ceci est rarement le cas et ne se produit que pendant les précipitations extrêmes comme la PMP, où la pluie est uniforme sur 72 heures. En général, les totaux journaliers ne sont le produit que de quelques heures de la journée, voir même quelques minutes. Ceci affecte tous les paramètres qui tentent d'évaluer les effets de l'intensité de la pluie sur la réponse hydrologique du modèle.

De plus, les périodes d'observation journalière des précipitations, des températures et du débit ne correspondent pas. Ces relevés se font respectivement à 20 h, 8 h et 12 h. Il y a donc un déphasage susceptible d'affecter l'étalonnage.

Les consultants auraient préféré un pas de temps plus court, six ou douze heures. Ceci devient important lorsque les bassins versants ne possèdent pas de grand réservoir et sont relativement de petite taille. C'est pourquoi, il a été nécessaire dans l'étude de Kang et Guerrero de 1995 sur la rivière Gatineau, de considérer un pas de temps de six heures. Pour le cas présent, ceci n'est pas nécessaire puisque tous les bassins versants de tête pour lesquels les résultats sont déterminés, sont munis d'un grand réservoir. La valeur journalière est donc suffisante. De plus, les données horaires disponibles sont beaucoup plus limitées en terme de série temporelle et de couverture spatiale. Nous nous sommes donc restreints aux valeurs journalières.

2. Représentativité des stations météorologiques

Le manque de stations météorologiques proches de certains bassins versants intermédiaires constitue un problème et nous oblige à utiliser des stations éloignées. Nous admettons ainsi un régime de précipitation sur le bassin versant de la rivière des Outaouais, plus uniforme que la réalité, surtout en été et en automne, où les tempêtes sont plutôt dispersées (cellules orageuses, etc.). Ce phénomène affecte les débits d'été-automne simulés par SSARR.

3. Distribution de l'écoulement

Nos simulations d'étalonnage préliminaires ont tendance à surestimer le pourcentage de l'écoulement totale attribuable à l'écoulement indirect (relation BII-BFP). Ceci affecte les crues estivales de courtes durées qui deviennent excessivement atténuées par laminage dans la composante lente de l'écoulement. Il en résulte une pointe estivale systématiquement sous-estimée. Ce phénomène a été noté sur plusieurs des bassins versants étalonnés et constitue une priorité dans les corrections pour l'étude de la CMP estivale.

Une autre tendance, beaucoup moins généralisée, est la surestimation du ruissellement hypodermique par rapport au ruissellement de surface (pourcentage constant). Les effets de cette surestimation sur la réponse hydrologique du modèle sont semblables à ceux discutés au paragraphe ci-dessus.

4. Relation SMI-ROP

Selon le manuel de l'utilisateur du modèle SSARR (USACE, 1991), la relation SMI-ROP est représentée par une courbe en S. La présente étude est basée sur cette forme qui était généralement admise dans la majorité des applications antérieures du modèle. Les experts suggèrent de changer cette pratique et d'utiliser une courbe qui est concave vers le haut (SAR Consultants, 1996). Ils se basent sur la théorie hydrologique et suggèrent que la courbe ROP soit aplatie pour les faibles valeurs de SMI puis augmenter de façon uniforme et accélérée avec la croissance de SMI. Quand le ROP est de 100 %, l'indice d'humidité correspondant représente la capacité d'absorption du sol. L'idée est d'avoir une courbe concave vers le haut dans la portion utile de la courbe, c'est-à-dire entre le ROP minimum et 90 % qui constitue en général la valeur du ROP maximum utile. Le reste de la courbe peut être asymptotique au 100 % ce qui selon les experts constitue la forme en « S » recommandée antérieurement. L'ajustement de la courbe SMI-ROP pourrait ainsi améliorer la simulation des crues estivales tardives.

5. Nombre de phases et temps d'emmagasinement par phase

Idéalement, pour une crue simple à pointe unique, les quatre composantes du ruissellement devraient avoir les formes suivantes :

- **Composante de surface** : atteindre sa pointe en même temps que la pointe de la crue observée.
- **Composante hypodermique** : croître pendant que la composante de surface décroît ou lorsque la décrue de l'hydrogramme observé change de courbure.
- **Composante de base** : atteindre sa pointe au moment où l'écoulement hypodermique devient minimal.
- **Composante de la zone profonde** : portion principale de l'écoulement en hiver avec une pointe qui se produit avant décembre.

3.4.3 Actions prises

Suite à la validation et aux commentaires des experts, nous avons jugé qu'il était indispensable pour la simulation des crues maximales probables d'été-automne d'ajuster l'étalonnage de certains bassins versants où le ruissellement indirect excédait 60 % du ruissellement total. Nous avons ainsi retenu dix-neuf des trente bassins versants étalonnés. Les ajustements faits touchent principalement la relation BII-BFP et le temps de stockage de chacune des quatre composantes de l'écoulement. De plus, il a été parfois nécessaire d'ajuster la relation SSS-SRO.

3.5 Résultats finaux de l'étalonnage

3.5.1 Résultats et validation

Le tableau 3.3 présente les résultats du bilan hydrométéorologique pour les bassins à l'amont des Rapides-des-Quinze et permet de faire une comparaison des valeurs simulées avec les normales obtenues de l'Atlas climatique (Environnement Canada, 1971).

Le tableau 3.4 montrent les coefficients de Nash de chacun du bassin des Rapides-des-Quinze, respectivement sur les années d'étalonnage (de 1970 à 1980) et de validation (de 1981 à 1990).

La figure présente, pour le bassin des Quinze qui nous intéresse ici, le résultat graphique de calibration pour la période 1975-1976.

3.5.2 Particularités

Il est à noter que la recommandation des experts concernant la nouvelle forme de la relation SMI-ROP (concave vers le haut plutôt qu'une courbe en S), n'a pas été considérée dans cette étude. Cette relation est sans doute la relation la plus importante du modèle SSARR. Son ajustement a des conséquences sur plusieurs autres paramètres du modèle et signifierait la reprise intégrale du processus d'étalonnage. Vu l'échéancier de l'étude, d'une part, et la précision marginale des résultats que rapporte une telle tâche, d'autre part, l'ajustement de cette relation ne sera pas fait. Ceci n'affectera pas les résultats de cette étude car les conditions du sol dans les simulations d'étalonnage se trouvent souvent dans la zone inférieure de la courbe, c'est-à-dire dans la zone concave vers le haut de nos courbes en « S » prononcé (sous-section 3.4.2). En effet, en simulant les crues maximales probables, on n'utilise que la partie supérieure de la courbe. Toutefois, il est fortement suggéré dans des études futures d'utiliser une courbe dont la forme dominante est la concavité vers le haut.

Tableau 3.3 – Comparaison des précipitations, évapotranspirations et lames d'eau ruisselées calculées et observées pour le bassin versant en amont de Des Quinzes

Bassin versant	Atlas climatique du Canada (1941-1970) Valeurs annuelles moyennes estimées			Période d'étalonnage (1970-1980)					Période de validation (1981-1990)				
	Préc.* (cm)	ETP* (cm)	Lame d'eau ruisselée (cm)	Valeurs annuelles moyennes calculées par le modèle SSARR			Données historiques	Ratio de lames d'eau ruisselées	Valeurs annuelles moyennes calculées par le modèle SSARR			Données historiques	Ratio de lames d'eau ruisselées
				Préc.* (cm)	ETP* (cm)	Lame d'eau ruisselée (cm)	Lame d'eau ruisselée (cm)	SSARR historique	Préc.* (cm)	ETP* (cm)	Lame d'eau ruisselée (cm)	Lame d'eau ruisselée (cm)	SSARR historique
Des Quinze	95	42	54	96	40,9	54,6	55,6	0,98	95,7	41,8	53,3	54,1	0,99
Des Quinze (Y)	98	42	56	80,2	40	39,7	39,5	1,01	76,3	39,5	36,6	33,6	1,09
Des Quinze (Z)	90	41	49	84,6	40,8	43,7	42,7	1,02	80,5	39,5	40,6	38,4	1,06

Notes* : prec.=précipitation, ETP = évapotranspiration et données historique = donnée observé ou reconstituée
X = période d'étalonnage de 1971 à 1980, Y= période de validation de 1981 à 1989 et Z = période de validation de 1981 à 1988

Tableau 3.4 – Coefficient de Nash du bassin versant intermédiaire SSARR de Rapides-des-Quinze

Année	Coefficients de Nash
1970	0,849
1971	0,758
1972	0,913
1973	0,835
1974	0,863
1975	0,767
1976	0,898
1977	0,893
1978	0,794
1979	0,83
1980	0,73
1981	0,819
1982	0,877
1983	0,762
1984	0,841
1985	0,755
1986	0,919
1987	0,632
1988	0,806
1989	n/d
1990	n/d

3.6 Conclusion et recommandation

L'étalonnage du modèle SSARR aux différents bassins de la rivière des Outaouais permet de simuler adéquatement les apports naturels à chacun des trente sites du bassin versant. Le modèle peut ainsi être utilisé pour simuler de façon fiable les crues maximales probables.

On rappelle toutefois que si l'on veut utiliser le modèle réglé à d'autres fins que la simulation de CMP, il serait nécessaire de considérer la recommandation des experts au sujet de la courbe SMI-ROP et d'ajuster l'étalonnage pour améliorer la simulation dans les périodes estivales.

4 Simulations des crues maximales probables des bassins versants intermédiaires avec le modèle SSARR

4.1 Introduction

La crue maximale probable (CMP) est la plus forte crue pouvant se produire dans un site donné, due à une combinaison raisonnablement possible de conditions météorologiques extrêmes (pluie, neige et température). Cette définition, mettant l'accent sur les termes « raisonnablement possible », découle d'une philosophie, récemment adoptée au Québec, du concept CMP. En 1992 (SNC-Shawinigan, 1992), un comité d'expert convoqué par Hydro-Québec recommande de ne pas combiner pour la crue printanière, deux événements indépendants maximisés (OMM, 1986) mais plutôt, un événement maximisé avec un événement extrême relativement caractéristique du bassin versant considéré : accumulation nivale centennale (AN100) suivie de la pluie maximale probable (PMP) ou accumulation maximale probable de neige (AMPN) suivie d'une pluie centennale (P100) (Debs, 1995).

Dans le cadre de l'étude des crues de la rivière des Outaouais, trois scénarios de CMP ont été considérés : deux scénarios printaniers (AMPN+P100 et AN100+PMP) et un scénario estival (PMP d'été-automne). Pour chacun de ces scénarios, neuf centres ont été retenus pour l'application de la pluie. Le nombre total de scénarios étudiés s'élève alors à vingt-sept (3 x 9). Rappelons que le choix des neuf centres d'orage est guidé par l'intérêt attribué par Hydro-Québec aux sites d'aménagement du système hydrique de l'Outaouais et par les études locales de la rivière Gatineau déjà réalisées (Kang et Guerrero, 1995 ; Bisson, 1995).

4.2 Données de base

Afin de simuler les crues maximales probables de printemps et d'été-automne, nous utilisons des données météorologiques de pluie, d'accumulation nivale et de température calculées par le Service prévisions (Doray, 1996). Le chapitre 2 du présent document en fait une brève description.

4.2.1 Pluies extrêmes

Les pluies maximales probables (PMP) sont évaluées par la méthode de maximisation et de transposition dont la méthodologie apparaît dans le manuel publié par l'OMM en 1986. La durée des PMP est de trois jours. La distribution spatiale et temporelle est effectuée par HMR-52 (Boss, 1988).

L'analyse statistique des pluies maximales donne les valeurs de période de retour de 100 ans. La durée des pluies est de trois jours et la distribution spatio-temporelle est proportionnelle à la PMP.

4.2.2 Accumulation de neige extrême

L'accumulation maximale probable de neige est évaluée par la méthode révisée de la maximisation des tempêtes de neige (Chow et Jones, 1994). On utilise le résultat de la maximisation de sept hivers qui ont donné les plus fortes chutes totales de neige. À ce stade, la pratique courante est de choisir l'hiver maximal. Toutefois, compte tenu de la taille imposante du bassin versant de la rivière des Outaouais, l'hiver maximal diffère d'une région à l'autre. On retient donc quatre hivers représentatifs de quatre régions de l'Outaouais : a) l'hiver 1959/1960 maximal pour l'Outaouais nord-est (à utiliser avec les centres C3, C4 et C6) ; b) l'hiver 1976/1977 maximal pour l'Outaouais nord-ouest (à utiliser avec les centres C1, C2 et C5) ; c) l'hiver 1971/1972 maximal pour l'Outaouais central (à utiliser avec le centre C7) ; et enfin d) l'hiver 1970/1971 maximal pour l'Outaouais sud (à utiliser avec les centres C8 et C9).

L'analyse statistique du couvert de neige utilise des données d'équivalents en eau de carottes de neige recueillies à différentes stations nivométriques.

4.2.3 Séquences de températures optimales de base

Les séquences de températures de base sont obtenues à partir des recommandations de l'OMM (1969) et du rapport du comité d'experts en hydrologie et météorologie formé dans le cadre des études de CMP sur la rivière Saint-Maurice (SNC-Shawinigan, 1992). Les séquences initiales ainsi obtenues sont conformes à la méthode physique et reflètent les conditions synoptiques présentes sur les bassins versants intermédiaires (Doray, 1996). Elles constituent des enveloppes typiques. Toutefois, il peut arriver que ces séquences de températures ne soient pas optimales pour l'un ou l'autre des scénarios, en vue de provoquer les CMP. Dans de tels cas, un ajustement additionnel, que nous discutons à la sous-section 4.4.1, est nécessaire.

Comme indiqué au chapitre 2, trois séries de séquences de températures ont été utilisées respectivement pour la partie nord de la rivière (centres C1, C2, C3, C4 et C5), la partie centrale (centres C6 et C7) et la partie sud (centres C8 et C9). Chacune de ces séries est composée de vingt séquences, respectivement pour les vingt bassins versants intermédiaires considérés dans l'étude météorologique (Doray, 1996). Ces températures sont des valeurs moyennes journalières, c'est-à-dire la demi-somme des maxima et des minima.

4.3 Conditions initiales à la CMP

Les paramètres hydrologiques et météorologiques antécédents à l'application des conditions extrêmes sont d'importance majeure et constituent un souci important à considérer avant la simulation des CMP. Ces conditions, comme les pluies antécédentes, les conditions d'humidité du sol et le niveau initial des réservoirs affectent de façon significative la crue simulée avec SSARR et laminée avec MENVIQ (NRC, 1989).

4.3.1 Crue maximale probable de printemps

Dans notre étude, les conditions initiales à la CMP de printemps sont générées automatiquement avec SSARR à partir de données météorologiques (précipitations et températures) observées en 1976. Selon une étude des plus fortes crues de l'Outaouais, cette année a connu une crue imposante sur la presque totalité des bassins versants à l'étude. Le site Carillon avait enregistré son plus fort débit de pointe ($8\,190\text{ m}^3/\text{s}$) et son deuxième plus fort volume de crue sur trente ans ($29\,377\text{ hm}^3$ après celui de l'année 1974 qui fût de $38\,808\text{ hm}^3$). Les données de 1976 ont ainsi servi comme « toile de fond » aux paramètres météorologiques extrêmes de pluie (PMP ou P100), de neige (AMPN ou AN100) et de température (SOT), pour la simulation des CMP de printemps.

4.3.2 Crue maximale probable d'été-automne

Au départ, nous avons utilisé des conditions initiales générées par le modèle SSARR à partir des données météorologiques de l'année 1976. Mais malgré la présence de fortes précipitations, le sol n'était pas assez saturé pour pouvoir simuler adéquatement une CMP. Par conséquent, une grande partie de la PMP estivale se perdait dans le sol sans ruissellement. Ceci est dû à la courbe SMI-ROP qui, comme l'ont fait remarquer les experts (section 3.4), n'est pas assez concave vers le haut.

Pour résoudre ce problème, nous avons considéré une pluie antécédente de quatre jours dont la valeur est de 50 % de la PMP de trois jours (Bisson, 1995). Cette pluie est appliquée six jours avant la PMP, ce qui permet d'avoir un indice d'humidité du sol de l'ordre de 60 % à 90 % lors de l'application de la PMP. Cette condition d'humidité du sol est donc conforme au critère de simulation des CMP.

4.4 Simulation des crues maximales probables

4.4.1 Optimisation des séquences de température de printemps

Selon l'hypothèse du scénario de crue généralement admis au printemps, la date d'application de la pluie (PMP ou P100) coïncide avec la fin de la période de fonte. Toutefois, il peut arriver que la séquence critique de température développée par Doray (1996) ne puisse pas assurer ce synchronisme pour certains scénarios. En conséquence, lorsque nous combinons la pluie, la neige et la séquence critique de température, la fonte est achevée bien avant l'arrivée de la pluie.

La période d'application de la pluie est fixée *a priori* aux 16, 17 et 18 mai pour les centres C1 à C7 et aux 4, 5 et 6 avril pour les centres C8 et C9. Cette période est à la base du développement des séquences critiques de température (Doray, 1996) et ne peut être modifiée sans les affecter.

Pour obtenir un synchronisme entre la fin de la fonte et l'application de la pluie, nous avons conservé la date d'application de la pluie tel que mentionné plus haut, et raccourci la période chaude de fonte d'un maximum de trois jours pour les scénarios faisant intervenir l'AMPN, d'une part, et jusqu'à cinq jours pour ceux faisant intervenir l'AN100, d'autre part. Ce raccourcissement est effectué en faveur de la période de mûrissement qui se trouve ainsi prolongé du nombre de jours amputés à la période chaude. Les jours de température chaude sont supprimés en commençant par les dernières journées de la période. Les températures de remplacement sont générées aléatoirement entre 1 °C et 3 °C (température journalière moyenne) et rajoutées à la période de mûrissement.

L'optimisation des séquences de température a été faite pour les deux scénarios de printemps, à chacun des bassins où un centre est localisé. Le bassin Bonnechère accueille deux des neuf centres (C8 et C9), ce qui nous donne un total de dix-huit séquences à optimiser (8 bassins versants x 2 scénarios printaniers). Il est à noter que l'action prise pour optimiser la séquence à l'endroit du centre se répercute au reste des bassins de l'étude de CMP. Par exemple à Dozois, l'optimisation de la séquence de température pour faire fondre l'AMPN requiert d'amputer deux jours à la période chaude en faveur du mûrissement. Cet ajustement de la séquence de température à Dozois est alors appliqué à celle des autres bassins versants. Les vingt séquences ainsi obtenues sont appelées « séquences optimales de température » (SOT).

Toutefois, pour les volumes de crue qui sont d'une importance majeure lors du laminage, les séquences de température n'ont aucun effet, à l'exception de déplacer la crue dans le temps.

4.4.2 Application de la pluie de printemps

Tel que mentionné plus haut, la date d'application de la pluie printanière (PMP ou P100) de trois jours est fixée aux 16, 17 et 18 mai pour les centres C1 à C7 et aux 4, 5 et 6 avril pour les centres C8 et C9. Dans tous les scénarios printaniers, nous avons considéré qu'il ne pleut jamais durant les trois jours précédant ces dates. Ceci est en concordance avec la séquence de température, puisque cette période correspond à la zone de haute pression (beau temps) où les températures moyennes augmentent linéairement de 3 °C par jour (sous-section 2.8.2).

La figure 4.1 présente pour Des Quinze les graphiques de température, précipitation printanière maximale probable centrée à C2, accumulation nivale centennale et hydrogramme intermédiaire résultant, pour le cas le plus critique à ce site.

4.4.3 Application de la pluie d'été-automne

La PMP estivale de trois jours est appliquée les 1^{er}, 2 et 3 août. Les conditions précédant et suivant ces dates sont dictées par les données météorologiques observées en 1976. Il est à noter cependant, que sur certains bassins versants, des pluies fortes se produisant après le 3 août ont dû être retirées afin de ne pas surestimer l'effet de la PMP sur la crue. En effet, dans certains cas, ces pluies tombent pendant que l'hydrogramme est en décrue et cause des pointes aussi fortes que celles dues à la PMP. Ceci s'explique par le fait que le sol se trouve saturé et que tout apport d'eau ruisselle directement en surface.

4.4.4 Résultats de CMP

La crue maximale probable est simulée par le modèle SSARR en utilisant trois scénarios (deux printaniers et un estival) et neuf centres d'orages. Ceci nous donne un total de vingt-sept simulations à effectuer sur chacun des trente bassins versants SSARR (sous-section 2.3.3). Les résultats ainsi obtenus sont des apports intermédiaires.

4.5 Analyse et fiabilité des résultats

Pour les sites MENVIQ, la valeur moyenne du débit spécifique maximum de printemps est de 0,51. Cette valeur est relativement semblable à celles obtenues dans des études antérieures sur les rivières Saint-Maurice, Gatineau et Madawaska (Kang et Guerrero, 1995). De plus, l'écart-type de ces valeurs de débit spécifique est de 0,15. Nous pouvons donc conclure que nos résultats sont raisonnablement fiables. À noter que, pour la crue d'été-automne, la valeur moyenne du débit spécifique est de 0,34. Ceci est dû au fait que la PMP, qui est le facteur dominant dans cette crue, n'est centrée que sur huit des vingt bassins considérés par Doray (1996). D'ailleurs, si l'on ne considère que ces bassins, la moyenne des débits spécifiques maxima monte à 0,45 avec un écart-type de 0,09.

Les ratios du débit de pointe journalière de CMP par le débit de pointe décennal correspondant est utilisé seulement à titre indicatif de la magnitude de la crue. L'attribution d'une probabilité à la CMP n'est pas appropriée, car la détermination de cette dernière est basée sur une approche physique de cause à effet et non de l'analyse fréquentielle. Ces ratios calculés permettent d'identifier les bassins versants sur lesquels l'orage n'a pas été centré surtout pour l'été-automne.

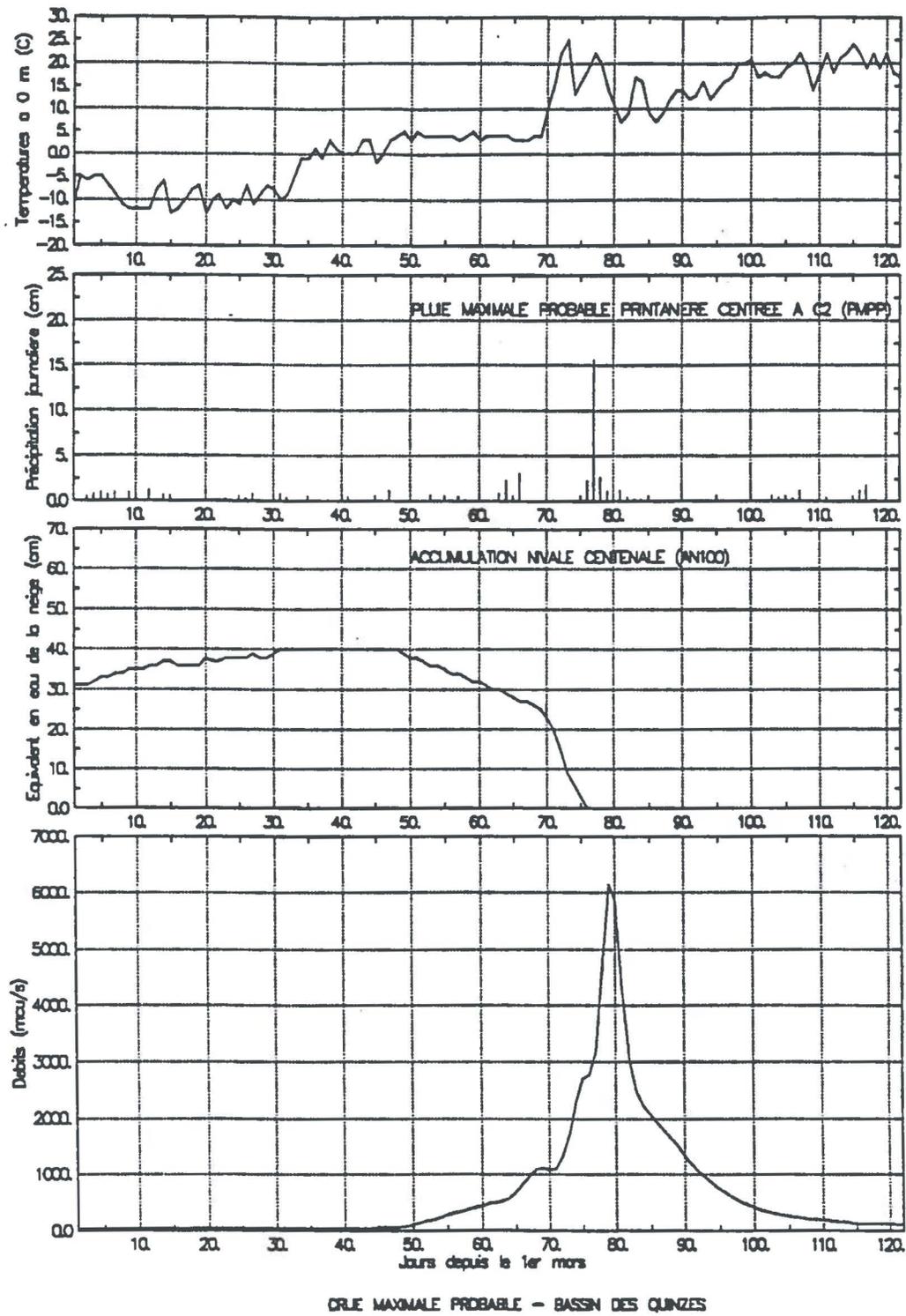


Figure 4.1

Notons que :

- Ontario-Hydro a déjà réalisé une étude des CMP propres aux rivières Montréal et Madawaska (Ontario-Hydro, 1987 et 1991) ;
- Hydro-Québec en a fait autant pour la rivière Gatineau comme mentionné à la section 4.1 ;
- les ouvrages de retenue sur la rivière du Lièvre n'appartiennent pas à Hydro-Québec, mais plutôt à la compagnie Mc Lauren.

4.6 Conclusion et recommandation

Les simulations des crues maximales probables de printemps et d'été-automne respectent les recommandations des experts de 1992 et leurs analyses montrent qu'elles sont fiables sur la majorité des bassins versants de la rivière des Outaouais. Toutefois, les apports intermédiaires maximaux probables des bassins versants sur lesquels la pluie n'a pas été centrée, pourraient être sous-estimés surtout en été, où la PMP est d'importance majeure. Ceci se manifeste moins au niveau de la CMP printanière qui est principalement due à l'AMPN.

Ainsi, pour les bassins des rivières Montréal, Madawaska et Gatineau, il est recommandé de se référer aux résultats d'études locales (Kang et Guerrero, 1995 ; Ontario-Hydro, 1987, 1991 et 1993 a, b et c).

5 Modèle MENVIQ de laminage des crues pour le système hydrique de l'Outaouais et simulations d'étalonnage

5.1 Introduction

Le modèle MENVIQ96 est un modèle déterministe de gestion des réservoirs adapté à la gestion des aménagements hydroélectriques du bassin de la rivière des Outaouais. Il est une version simplifiée du modèle MENVIQ (variante « main frame ») développée par Environnement Québec.

Les modifications du logiciel ont été confiées à la firme FMA (1994, 1995) qui a travaillé en collaboration avec Hydro-Québec. La majeure partie du présent texte est tiré des rapports émis par ce consultant.

Les réalisations de la firme FMA concernent les points suivants :

- a) modification du schéma de laminage du modèle MENVIQ en introduisant le bassin Madawaska et ses quatre sites ;
- b) redimensionnement de la base de données contenant les apports historiques journaliers pour une période de 21 ans (de 1969 à 1989) ;
- c) validation des bilans des apports journaliers basée sur la suite des débits observés à différents sites pour la période de simulation ;
- d) mise à jour et validation des caractéristiques physiques, hydrauliques et de gestion du système de l'Outaouais, incluant le bassin hydrographique Madawaska ;
- e) modification de la procédure permettant la création, en accès direct, d'une base de données des apports stochastiques journaliers pour une période de 20 000 ans ;
- f) extrapolation des courbes d'emmagasinement pour les sites avec structures hydrauliques et leur intégration dans le modèle ;
- g) modification du code source du modèle et ajout de « drapeaux » pour signaler les valeurs extrêmes et les débordements éventuels ;
- h) réalisation de la simulation avec la série stochastique d'une période de 20 000 ans.

La contribution d'Hydro-Québec concerne les points suivants :

- a) adaptation du modèle à une plate-forme UNIX et développement d'utilitaires de visualisation ;
- b) ajout de l'impression des niveaux dans les fichiers de sortie ;
- c) validation de la fonctionnalité du modèle en tenant compte des niveaux ;
- d) mise à jour et validation des caractéristiques physiques, hydrauliques et de gestion du système de l'Outaouais ;
- e) réétalonnage du modèle MENVIQ96 modifié en tenant compte des niveaux et de la mise à jour ;
- f) extrapolation des courbes de capacité pour certains sites ;
- g) resimulation avec la suite stochastique préparée pour une période de 20 000 ans (référence chapitre 13) ;
- h) simulation sur plate-forme UNIX, des hydrogrammes de CMP et des hydrogrammes de crues statistiques ;
- i) transfert des résultats de la simulation sous la forme de 30 fichiers séquentiels ;
- j) modification du programme afin de remplacer la lecture des volumes par des niveaux ;
- k) correction de l'algorithme de calcul du bilan journalier pour rendre tous les paramètres de calculs cohérents dans le temps.

5.2 Description du modèle

Le modèle MENVIQ96 est programmé en Fortran. Il fonctionne sur une plate-forme PC dans un environnement DOS et sur station de travail dans un environnement UNIX. Il simule la gestion des aménagements de la rivière des Outaouais à l'aide de séries d'apports naturels d'une durée illimitée ; seuls l'espace disque et le temps d'exécution sont une contrainte (3 minutes par année de simulation). La période de simulation minimale est de un an. Le pas de temps de calcul est journalier pour une année de 365 jours.

La présente section contient une brève description du modèle : la référence FMA (septembre 1994) donne une description détaillée des équations régissant son fonctionnement et la référence FMA (juin 1995) indique la façon d'utiliser le modèle et la signification des variables utilisées.

Sa conception est basée sur la méthode empirique de laminage dans un réservoir et de propagation de débits dans des tronçons de rivière, empruntée au modèle SSARR (US Army Engineer Division, 1975).

Rappelons que l'algorithme du modèle est régi principalement par l'équation de continuité du volume d'écoulement.

Le modèle simule, en premier lieu, le processus de décision des lâchages aux différents réservoirs (simulation de laminage), puis reproduit le cheminement des débits dans les tronçons de rivières en utilisant la méthode de Rockwood (1958).

5.2.1 Algorithme de décision des lâchages

Pour les aménagements situés en aval des réservoirs Baskatong, Témiscamingue, Des Cèdres et Mountain Chute, aucune décision de lâchage n'est prise étant donné que les aménagements sont au fil de l'eau. Le modèle de simulation ne fait alors que propager les débits laminés provenant des sites en amont, jusqu'à Carillon (Bouchard et coll., 1986).

Pour simuler la décision des lâchages aux différents réservoirs d'un bassin versant, celui-ci est réparti en plusieurs sous-bassins versants gérés indépendamment. Dans le cas des sous-bassins versants où il y a plus d'un réservoir, le modèle décide du lâchage au réservoir situé le plus en aval en considérant un réservoir agrégé à cet endroit. Il décide, en second lieu, du lâchage pour les réservoirs situés en amont.

La décision du lâchage au réservoir agrégé est fonction du débit régularisé (garanti) variable avec le temps et, en deuxième lieu, de l'emménagement requis (cible).

S'il y a surplus ou déficit d'emménagement par rapport à l'emménagement cible, la décision du lâchage est rajustée de façon à éliminer ce surplus ou déficit durant un certain nombre de jours qui peut varier au cours de l'année.

Dans une première phase de calcul, une fois que la décision du lâchage au site du réservoir agrégé situé en aval est prise, le modèle détermine les lâchages aux réservoirs en amont. En effet, l'algorithme de calcul vise à équilibrer le contenu des réservoirs en fonction de la superficie du bassin versant que ces derniers contrôlent et du volume d'eau qu'ils contiennent.

Dans la deuxième phase de calcul, le modèle vérifie si la décision de lâchage à chaque site avec structures hydrauliques respecte les contraintes de niveaux d'exploitation et de débits de lâchage. Pour certains sites comme Témiscamingue, Baskatong, etc., le modèle vérifie également si les débits de lâchage ne dépassent pas les contraintes d'inondations. Si les contraintes d'inondations et d'exploitation ne sont pas respectées, les lâchages sont recorrectés selon les algorithmes expliqués à la référence FMA (1994).

Finalement, avant d'être utilisés, tous les lâchages recorrectés sont comparés aux débits maximaux d'évacuation de la courbe de capacité du site analysé et remplacés par ces dernières valeurs, si elles sont supérieures à la capacité d'évacuation du site.

Dans le cas du modèle MENVIQ96, on doit souligner deux particularités majeures :

- la décision du lâchage se fait sans prévision des apports ;
- le niveau ciblé d'emmagasinement de même que le facteur (nombre de jours) de répartition des surplus et des déficits, tiennent compte de la variabilité des apports, qui a été évaluée dans la période de 1969 à 1989.

5.2.2 Méthode de laminage

Pour simuler l'écoulement dans les tronçons de rivière, ceux-ci sont assimilés à des séries de petits réservoirs de même largeur et de même longueur, se déversant librement les uns dans les autres.

En effet, selon la méthode de laminage de Rockwood (1958), chaque composante de l'écoulement est restituée à l'exutoire selon le mode de propagation de débit, suivant la loi de vidange des réservoirs.

Pour l'écoulement dans les réservoirs, le niveau en fin de période est calculé directement à l'aide de l'équation de continuité en considérant la différence entre le volume qui est entré dans le réservoir et le volume qui en est sorti durant la période.

Certains réservoirs comme le lac Victoria et Lower Notch possèdent des crêtes déversantes. Lorsque le niveau dans ces réservoirs dépasse le niveau de la crête déversante, les quantités déversées viennent s'ajouter à la décision de soutirage de débit puis le niveau de fin de la période est calculé selon l'équation de continuité.

5.3 Hypothèses de modélisation et règles d'exploitation

Les hypothèses de calcul du modèle MENVIQ96, les conventions utilisées et les principales simplifications dans la reconstitution des apports journaliers stochastiques sont décrites dans cette section.

5.3.1 Zone d'étude et découpage des bassins versants

Dans le modèle MENVIQ96, le bassin versant de la rivière des Outaouais est divisé en 10 sous-bassins versants gérés indépendamment, qui contiennent 31 sites incorporés dans le schéma de laminage. Les sous-bassins versants peuvent, dans certains cas, contenir plus d'un réservoir et sont alors constitués en réservoirs agrégés.

La gestion des réserves est effectuée sur les 10 sous-bassins versants gérés indépendamment et délimités aux points suivants :

1. la rivière du Lièvre à la sortie du lac Poisson Blanc ;
2. la rivière Gatineau à la sortie du réservoir Baskatong ;
3. la rivière Madawaska à la sortie du réservoir Mountain Chute ;
4. le réservoir Kipawa à Laniel ;
5. la rivière des Outaouais à la sortie du réservoir Dozois ;
6. la rivière des Outaouais au barrage de Rapide-7 ;
7. la rivière Montréal au barrage Lower Notch ;
8. la rivière Matabitchuan à la sortie du réservoir Rabbit Lake ;
9. la rivière des Outaouais à la sortie du lac des Quinze ;
10. la rivière des Outaouais à la sortie du lac Témiscamingue.

L'agrégation des sous-bassins versants utilisée dans le modèle MENVIQ96 est différente du découpage des sous-bassins pour lesquels les données d'entrées étaient disponibles (pour l'étalonnage et la génération des apports du modèle stochastique). Pour 18 sites, les séries (déterministes ou stochastiques) ont été utilisées directement. Les apports journaliers (déterministes ou stochastiques) pour les 13 autres sites ont été reconstitués par rapport de surfaces en utilisant les superficies des bassins versants. Les équations utilisées pour cette reconstitution sont décrites à la référence FMA (1994). Notons que pour l'étalonnage, plusieurs rapports de surface ont été ajustés et remplacés par les rapports des débits modules en vue de fermer le bilan à Carillon et à la sortie de 15 réservoirs.

Notons, de plus, que par leur structure, quelques sites présentant un intérêt particulier pour Hydro-Québec ne sont pas représentés dans le découpage utilisé par le modèle MENVIQ96. Citons à titre d'exemple les sites Bryson et Rocher-Fendu, Hull 2, Rapides des Îles et Première Chute. Toutefois, les résultats de sites proches peuvent être utilisés en remplacement.

5.3.2 Courbes d'emménagement

Les courbes d'emménagement sous la forme de coefficients polynomiaux ont été validées dans une première étape selon les données des exploitants des réservoirs jusqu'au niveau d'exploitation maximal critique en vue de réaliser l'étalonnage du modèle. Dans une deuxième étape, les courbes d'emménagement ont été extrapolées jusqu'à une élévation de quatre mètres plus haut que les niveaux en crête des barrages pour les 18 sites avec structures hydrauliques afin d'évaluer les débordements dans les cas de crues extrêmes.

Les courbes d'emmagasinement des réservoirs sont exprimées sous la forme d'équation polynomiale suivante :

$$E = A + B*X + C*X^2 + D*X^3 \quad (5.1)$$

où :

A, B, C, D : sont des coefficients sans dimension ;
X : le niveau journalier du réservoir exprimé en mètre ;
E : l'emmagasinement exprimé en m³/s-jr.

Les courbes d'emmagasinement ont été extrapolées selon la tangente à la courbe d'emmagasinement originale en commençant par le point représentant le niveau maximal d'exploitation selon la forme suivante :

$$E^1 = B + 2 C*X_m + 3D*X_m^2$$

où :

X_m : représente le niveau en mètre.

De façon générale, ce niveau X_m varie pour chaque retenue entre le niveau de la crête du barrage et celle-ci plus quatre mètres.

Toutes les extrapolations ont été validées graphiquement et par simulation avec les apports journaliers historiques de 1969 à 1989. Le tableau 5.1 présente pour le réservoir des Quinze :

- le type d'aménagement ;
- les caractéristiques du tronçon de rivière situé en aval ;
- les caractéristiques principales de l'aménagement (superficie du bassin versant contrôlé, niveaux d'exploitation) ;
- l'équation polynomiale de la table d'emmagasinement et ses coefficients.

5.3.3 Courbes de capacité d'évacuation

Dans la première version du modèle, les courbes de capacité des évacuateurs provenant des bases de données d'Hydro-Québec et d'Ontario-Hydro ont été utilisées. Une première extrapolation de ces courbes a été effectuée par le consultant FMA (1994). Une validation a donc été effectuée.

Tableau 5.1

NOM DU SITE : Des Quinze

TYPE : Réservoir

CARACTÉRISTIQUE DU TRONÇON AVAL :

Longueur : 120 km
 Nbre de traitements par jour : 8
 N : 0,2
 KFS : 17,5

AUTRES DÉTAILS :

NIVEAU AMONT MINIMAL CRITIQUE : 260,50 m
 NIVEAU AMONT MINIMAL D'EXPLOITATION : 260,50 m
 NIVEAU AMONT MAXIMAL CRITIQUE : 264,20 m
 NIVEAU AMONT MAXIMAL D'EXPLOITATION : 263,59 m

Capacité évacuation		Débit minimal		Débit maximal		Niveau minimal		Niveau maximal	
Niveau (m)	Débit (m3/s)	Date	m3/s	Date	m3/s	Date	(m)	Date	(m)
257,00	52,00	1	200	1	450	1	260,50	1	263,
260,30	883,00	75	200	70	450	120	260,50	120	263,
260,70	1063,0	80	250	110	1000	135	262,68	150	263,
261,00	1206,8	110	300	120	1000	300	262,68	366	263,
262,00	1731,7	120	200	165	450	366	260,50		
263,00	2318,7	366	200	366	450				
264,00	2958,0								
265,00	3641,9								
266,00	4708,0								
267,00	7450,0								
268,00	9750,0								

Note: Selon Travaux Publiques : Q max = 900 m3/s avant le début de l'inondation

COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT $(A + BX + CX^2 - X^3) = \text{VOLUME}$

Niveau entre 259,93 et 261,00
 A = +,253926152E+08
 B = -,198541575E+06
 C = +,387994275E+03

Niveau entre 261,00 et 263,59
 A = +,110991156E+08
 B = -,888807857E+05
 C = +,177663143E+03

Niveau entre 263,59 et 268,00
 A = +,132289900E+08
 B = -,104943500E+06
 C = +,207946500E+03

Tableau 5.1 (suite)

Notes concernant le tableau 5.1 :

Règles de gestion utilisée à Rapide des Quinze dans le modèle MENVIQ96

Au haut de la page on retrouve les caractéristiques du tronçon aval soient la longueur et les coefficients de laminage en rivière p , n et KTS.

On retrouve ensuite les niveaux minimal d'exploitation et minimal critique ainsi que les niveaux maximal d'exploitation et maximal critique

Le tableau sous ces données est constitué de la façon suivante:

- Les deux premières colonnes concernent la capacité d'évacuation (débit (m^3/s) vs niveau (m)) :
- Les deux colonnes suivantes montrent les contraintes de débits minimaux imposées, débits vs date (en jour) depuis le 1^{er} janvier
- Les deux colonnes suivantes montrent les contraintes de débits maximaux imposées, débits vs date (en jour) depuis le 1^{er} janvier
- Les deux colonnes suivantes montrent les contraintes de niveaux minimaux imposés niveaux vs date (en jour) depuis le 1^{er} janvier
- Les deux colonnes suivantes montrent les contraintes de niveaux maximaux imposées niveaux vs date (en jour) depuis le 1^{er} janvier

Finalement, l'équation d'emmagasinement montre, pour différentes cotes, les équations au deuxième degré permettant de calculer le volume en $m^3/s/j$ en fonction de l'élévation.

Note: $1 m^3/s/j = 86\,400 m^3$ ou $0.0864 hm^3$.

5.3.4 Débits garantis et facteurs de répartition du surplus et du déficit

Les débits garantis sont présentés sous la forme de débits moyens périodiques corrigés pour les dix « réservoirs agrégés » en fonction des soutirages historiques observés de la période de 1969 à 1989. Ces courbes ont été modifiées lors du réétalonnage pour quelques sites, afin d'améliorer les performances du modèle (Hydro-Québec, 1996).

On considère que la demande en eau et sa variation mensuelle pour la période d'étalonnage sera représentative pour la période de la simulation de 20 000 années.

Les variations temporelles des facteurs de répartition du surplus et du déficit pour les dix bassins versants sont déterminées par étalonnage pour une période de 21 ans (de 1969 à 1989). Elles sont admises valables pour être utilisées pour la période de la simulation stochastique de 20 000 ans.

5.3.5 Emmagasinement cible

L'emmagasinement cible ou le cycle annuel de vidange et de remplissage des retenues représente la règle d'exploitation moyenne observée de l'ensemble des réservoirs appartenant au réservoir agrégé.

Pour tous les 10 sous-bassins versants gérés indépendamment de celui de la rivière des Outaouais, l'emmagasinement cible de chaque réservoir agrégé a été déterminé par agrégation (somme algébrique) des courbes d'emmagasinement de l'ensemble de réservoirs appartenant à chaque sous-bassin versant.

En vue de réaliser la simulation à long terme (avec la série des débits journaliers stochastiques), nous avons fait l'hypothèse que le cycle annuel de vidange et de remplissage des retenues du bassin versant de la rivière des Outaouais est optimal non seulement pour la période d'étalonnage de 21 ans (de 1969 à 1989) mais qu'il est aussi représentatif pour la période de simulation stochastique de 20 000 ans.

En effet, le cycle annuel de vidange et de remplissage des retenues reflète notamment le mode d'exploitation du système hydrique de l'Outaouais observé pendant les crues extrêmes de 1974 et de 1976. En plus, d'après l'examen des données d'exploitation de 1969 à 1989, aucun réservoir du système hydrique de l'Outaouais n'a été géré de façon multi-annuelle.

5.3.6 Contraintes de niveaux et de débits

Pour chacun des réservoirs, il est possible de fournir des contraintes minimales et maximales sur les débits de sortie et les niveaux en fonction du temps pour modifier l'exploitation normale. Ces contraintes sont montrées au tableau 5.1 pour les Rapides-des-Quinze.

5.4 Résultats de l'étalonnage

L'étalonnage du modèle a été effectué dans un premier temps par la firme FMA (1994). Étant donné que les facteurs journaliers d'étalonnage sont exprimés par des fonctions d'interpolation linéaire (de 10 à 20 points), les variations importantes du lâchage d'une journée à l'autre sont difficiles à modéliser avec une grande précision pour les réservoirs de tête. Ceci, combiné avec l'utilisation de règles de gestion fixes dans le temps, introduit des écarts entre les débits simulés et les lâchages historiques. L'année 1974 a été choisie comme étant l'année caractéristique pour l'étalonnage.

Les résultats de l'étalonnage présentés à la référence FMA (1994) ont montré une bonne concordance entre les dates d'apparition des pointes historiques avec celles des résultats simulés. En ce qui concerne l'écart entre les débits de pointe des crues historiques et ceux des crues simulées, on constate qu'il varie entre 0,5 % et 8,0 % pour la plupart des sites et des années. Pour certaines années, dont 1976, l'écart entre les pointes simulées et historiques dépassent 10 % à 15 %. Cette situation relève partiellement des incertitudes dans les données et, dans une certaine mesure, à des limitations du modèle MENVIQ94. La validation des données historiques a démontré que le bilan de la somme des apports versus les débits historiques à Carillon est respecté, l'écart annuel moyen étant de 6,64 m³/s/jour/an. Le bilan des données historiques à la majorité des sites de l'étude est également acceptable.

Malgré les limitations du modèle, l'étalonnage permet de reproduire les séries de débit de lâchage assez précis aux fins de prévision des pointes des crues extrêmes. Il est à noter que les effets de la politique de gestion diminuent dans le cas des crues extrêmes, puisque le volume de la crue devient alors très grand relativement aux capacités d'emménagement des réservoirs.

Des contrôles de qualité ont été effectués tout au long du projet. Compte tenu de la complexité du modèle, des améliorations ont été apportées au cours l'étude (FMA, décembre 1995). À quelques reprises, des erreurs ont été détectées et corrigées nécessitant des reprises de l'étalonnage et des simulations.

Le modèle a été modifié afin de tenir compte des niveaux des réservoirs et l'étalonnage a été repris par Hydro-Québec (FMA, décembre 1995), en tenant compte des débits et des niveaux aux sites et en se basant sur la gestion historique. L'examen de ces résultats a indiqué des améliorations au niveau de la concordance des débits et aux niveaux moyens interannuels simulés à ceux de l'historique.

5.5 Forces et faiblesses du modèle MENVIQ96

Aux imprécisions sur le bilan et sur les lâchages historiques journaliers s'ajoutent les limites et les simplifications inhérentes à la conception du modèle numérique lui-même. D'après FMA (1994), on peut mentionner :

- l'équation du lâchage global du réservoir agrégé qui détermine le lâchage en fonction du débit garanti et en fonction de la variation du surplus et du déficit. Lorsque l'emménagement du réservoir est proche du volume cible, les faibles variations des apports entraînent des fluctuations de lâchage autour de la valeur du débit garanti journalier et en fonction de l'état de surplus ou de déficit du réservoir ;
- les réserves de crues qui ne sont pas incluses dans cette variante. Les faibles crues sont transitées par le réservoir sans être atténuées si le niveau journalier est proche ou supérieur au niveau maximal d'exploitation ;
- le schéma de répartition du lâchage global aux sites en amont qui dépend de la superficie des bassins versants des sites et de l'état d'emménagement des réservoirs du bassin. En effet, elle suppose les mêmes coefficients de ruissellement pour chaque sous-bassin versant ;
- la variation annuelle de l'emménagement cible du réservoir agrégé qui est exprimée par une fonction d'interpolation linéaire de huit points seulement.

Les forces et les faiblesses du modèle MENVIQ96 de gestion des réservoirs du système hydrique de la rivière des Outaouais se reflètent dans les hypothèses et les simplifications adoptées par le concepteur (Environnement Québec) dans le développement du logiciel. Les simplifications sont basées sur les considérations suivantes :

- les tronçons de rivière sont assimilés à des séries de petits réservoirs de même dimension qui se déversent librement les uns dans les autres ;
- l'effet de remous dans les réservoirs est négligé, le plan d'eau journalier étant considéré horizontal. Dans la grande majorité des cas, cette hypothèse reflète les conditions de l'écoulement permanent et uniforme ;
- les phénomènes d'érosion des tronçons de rivière et des réservoirs ne sont pas pris en considération ;
- l'écoulement est unidimensionnel et exprimé par les valeurs du débit journalier moyennes dans les nœuds du calcul du système ;
- l'effet du gel et de la glace flottante qui diminue la valeur du débit transité pendant l'hiver n'est pas calculé explicitement.

5.6 Fiabilité du modèle MENVIQ96

La représentativité du modèle MENVIQ96 pour la période d'étalonnage de 1969 à 1989 a été jugée satisfaisante. Pour les périodes de simulations à long terme, la précision du calcul du modèle MENVIQ96 demeure la même étant donné que :

- La simulation journalière est réalisée pour une période d'une année. Les autres paramètres du modèle sont réinitialisés à zéro pour chaque nouvelle année. On considère que le débit, le volume de l'emmagasinement et le niveau dans les retenues du 1^{er} janvier de chaque année de la simulation sont respectivement égaux à ceux du 31 décembre de l'année de la simulation précédente.
- Les erreurs de troncature et d'arrondissement des résultats ne sont pas cumulatives. Elles ne se transmettent pas en valeurs absolues d'une année à l'autre pendant la simulation.
- Les éventuelles erreurs incorporées dans la valeur du débit de lâchage et dans l'état du réservoir de la première journée de janvier sont réajustées. En effet, le débit de lâchage et l'état du réservoir sont recorrectés par :
 - les règles statiques d'exploitation annuelle ;
 - la courbe de l'emmagasinement cible du réservoir agrégé ;
 - les facteurs annuels d'étalonnage de la répartition du surplus et du déficit ;
 - les contraintes de niveaux et de débits propres à chaque réservoir.

Dans les simulations à long terme, les hypothèses de la modélisation suivantes sont admises : « en moyenne » le régime hydrologique des apports naturels, les caractéristiques physiques de l'aménagement et le mode de gestion du système ne changent pas de façon significative avec l'évolution du temps ; donc, ils seront semblables à celles de la période d'étalonnage (1969-1989).

Pendant les périodes d'été-automne et d'hiver de certaines années, l'exploitant a tenu compte de la demande ponctuelle (aléatoire) en énergie électrique dans la gestion des réservoirs. On observe, pour ces périodes, des lâchages historiques assez importants et des écarts assez grands dans la simulation d'étalonnage.

Selon FMA (1994), durant la période de remplissage, les valeurs du niveau cible et le débit garanti sont fixés de façon à minimiser les risques de déversement. Il en résulte donc, un manque d'espace dans les réservoirs de tête pour laminier les grandes crues. Ceci nous place du côté sécuritaire, puisqu'il s'agit de la capacité d'évacuation.

Pendant les périodes hivernales, le modèle de gestion des réservoirs ne peut pas simuler avec grande précision, des lâchages qui sont justifiés par une demande aléatoire (ponctuelle) en énergie électrique et, dans certains cas, influencés par la formation des ponts de glace.

En outre, dans les périodes hivernales, le modèle considère que l'écoulement est toujours à surface libre. Les pertes de charges supplémentaires engendrées par les ponts de glace ou par les dépôts de glace sur les rivages ne sont pas estimées de façon explicite.

Suite à l'étalonnage des facteurs de répartition du surplus et du déficit pendant ces périodes hivernales, on peut considérer que l'effet du processus gel-dégel est reflété globalement de façon implicite dans la simulation. Il est évident que pour des phénomènes locaux spécifiques tels que les débâcles de glace ou les remous hydrauliques, etc., on doit utiliser des modèles hydrauliques appropriés pour étudier ces phénomènes.

5.7 Conclusions et recommandations

Le modèle MENVIQ96 est un modèle hydrologique unidimensionnel de gestion des réservoirs basé sur l'équation de la continuité des volumes d'eau et sur les règles de gestion moyenne de ces volumes le long d'un système hydrographique. Il peut donner des informations assez fiables sur les débits d'inondations pour des grands systèmes hydrographiques.

Dans les cas des inondations locales et pour des estimations avec grande précision des niveaux d'inondations et des plans d'inondations, il est sans doute recommandable d'utiliser des modèles numériques qui sont plus précis et mieux adaptés aux buts visés. Ces modèles basés sur l'intégration du système d'équation de Saint-Venant sont plus précis dans l'estimation des niveaux d'inondations et du champs de vitesses de l'écoulement.

Le modèle MENVIQ96 peut être utilisé dans une phase avant-projet en vue de dépister les zones d'inondations sur différents tronçons de rivières, en comparant les débits simulés avec les valeurs de débits d'inondations sur ces tronçons. Une fois que les zones d'inondations ont été identifiées, on peut utiliser des modèles plus performants avec une ou deux dimensions en fonction du besoin spécifique de l'étude.

En ce qui concerne les débits journaliers laminés des grandes crues, on a les conclusions suivantes :

- aux réservoirs de tête, en particulier Dozois et Kipawa, le modèle MENVIQ96 donne des valeurs du côté sécuritaire pour une évaluation préliminaire de la capacité d'évacuation. Ceci est dû à l'algorithme de modélisation et aux règles d'exploitation cibles mentionnées aux sections 5.5 et 5.6 ;
- aux sites aménagés au fil de l'eau, le modèle MENVIQ96 donne des résultats adéquats pour l'évaluation de la capacité d'évacuation. En effet, l'algorithme du modèle et les règles d'exploitation cibles sont appropriés pour bien gérer le cheminement des crues à travers un système hydrique aussi complexe que celui de la rivière des Outaouais, où les objectifs sont souvent conflictuels et difficilement conciliables, entre les sites situés en amont et ceux en aval.

6 Laminage des crues maximales probables avec le modèle MENVIQ

6.1 Introduction

De façon analogue aux laminages des crues statistiques et stochastiques, le laminage des crues maximales probables se fait à l'aide du modèle MENVIQ, préalablement étalonné et validé (chapitre 5).

Vingt-sept scénarios de crues sont générés par le modèle SSARR sur chacun des trente et un sites du modèle de laminage : deux scénarios printaniers, un scénario d'été-automne et neuf centres à considérer pour l'application de la pluie (chapitre 4). Pour le bassin versant de la rivière des Outaouais, ceci amène un total de 837 hydrogrammes générés par SSARR et laminés par MENVIQ ($837 = 3 \times 9 \times 31$). En général, les crues maximales probables d'un bassin versant sont toujours causées par les pluies extrêmes tombées en son centre. Cependant, le terme CMP sera utilisé ici pour désigner aussi toutes les crues simulées, car notre objectif principal est d'étudier de façon globale les crues sur la rivière des Outaouais.

Les modèles SSARR et MENVIQ ont été validés de façon individuelle, respectivement aux chapitres 4 et 5. La combinaison de ces deux modèles pour générer et laminier les crues n'a pas encore été validée. Avant d'effectuer le laminage des CMP, il faut d'abord valider les résultats des deux modèles combinés, c'est ce que nous exposons dans la section suivante.

6.2 Validation des modèles SSARR et MENVIQ combinés

Trois points de contrôle principaux sur la rivière des Outaouais ont servi à la validation des deux modèles combinés : a) DQ (Des Quinze), b) CN (Chenau) et c) CA (Carillon). La validation consiste à comparer les débits réellement mesurés aux trois sites avec ceux calculés par les modèles SSARR et MENVIQ.

Les simulations des deux modèles intégrés ont été effectuées pour la période du 1^{er} janvier 1969 au 31 décembre 1989. Les résultats du laminage au site des Quinze (DQ) sont présentés à la figure 6.1. Cette figure montre les hydrogrammes simulés et observés.

L'analyse de cette figure montrent que les modèles SSARR et MENVIQ simulent de façon acceptable et fiable pour le cas considéré. Les écarts annuels cumulés sont inférieurs à 10 %. Ceci est à l'intérieur des incertitudes relatives aux mesures hydrologiques et météorologiques.

L'adéquation entre les modèles mathématiques et la réalité est donc jugée acceptable. Les modèles SSARR et MENVIQ combinés peuvent être utilisés dans l'étude.

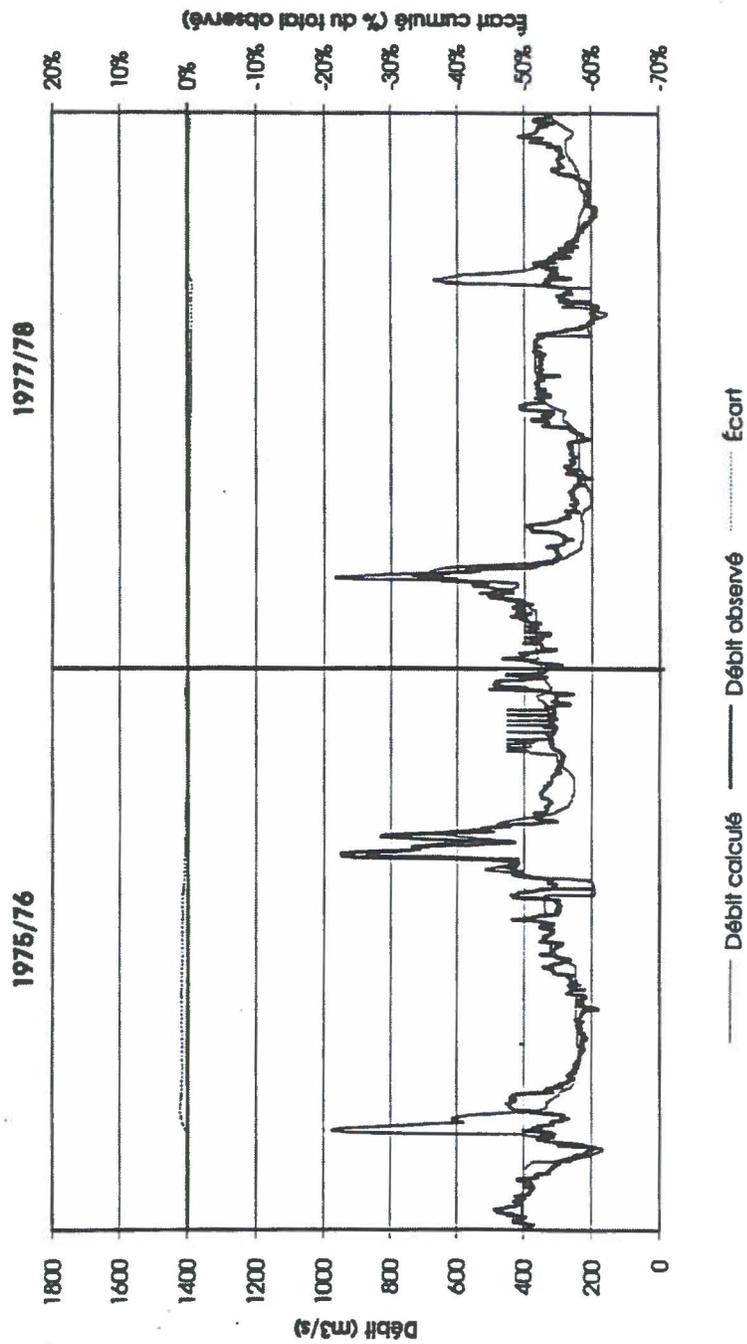


Figure 6.1 – Validation des modèles SSARR et MENVIQ combinés
Débit sortant au site Des Quinze

6.3 Conditions initiales pour le laminage

Pour le laminage des crues maximales probables, le modèle MENVIQ doit être utilisé sur une période d'une année du 1^{er} janvier au 31 décembre. Les données de débits utilisées sont générées par SSARR sur la même période pour tous les scénarios. Ceci permet au modèle de simuler ces propres conditions initiales à la crue de printemps et à la crue d'été-automne.

Pour les conditions au début de la simulation, les débits initiaux sont ceux du 1^{er} janvier 1969. Ces conditions initiales sont typiques pour un 1^{er} janvier et sont les mêmes que celles utilisées pour l'étalonnage de MENVIQ (chapitre 10).

Selon les critères d'Hydro-Québec (1994) pour le laminage de la CMP d'été-automne, le niveau de retenue du réservoir est à son maximum d'exploitation au début de la crue. Cette condition n'est pas toujours satisfaite en appliquant la méthode décrite plus haut. Ainsi, un ajustement des paramètres du modèle MENVIQ a été nécessaire pour respecter les critères ci-dessus mentionnés.

6.4 Résultats du laminage des CMP

6.4.1 Laminage des CMP de printemps

Les laminages des deux scénarios de crue printanière sont effectués à chacun des sites du système hydrique de l'Outaouais et pour les neuf centres dépressionnaires de PMP.

On présente à la figure 6.2 les hydrogrammes entrant, intermédiaire et sortant, ainsi que les niveaux au site des Quinze (on applique ensuite la pointe sortante au site aval des Rapides-des-Quinze, voir chapitre 7) pour le cas le plus critique, soit accumulation nivale 1/100 et PMP centrée à C2. La pointe de débit sortant laminé ainsi obtenue est de 4 460 m³/s pour un débit entrant total de 6 929 m³/s.

6.4.2 Laminage des CMP d'été-automne

De façon analogue au laminage printanier, le laminage de la crue d'été-automne est effectué à chacun des sites du système hydrique de l'Outaouais, pour les neuf centres de PMP.

La figure 6.3 montre les hydrogrammes entrant, intermédiaire et sortant, ainsi que les niveaux au site des Quinze pour le cas le plus critique de CMP d'été-automne (centré à C2). La pointe de débit sortant est de 3 422 m³/s, pour un débit entrant de 5 539 m³/s.

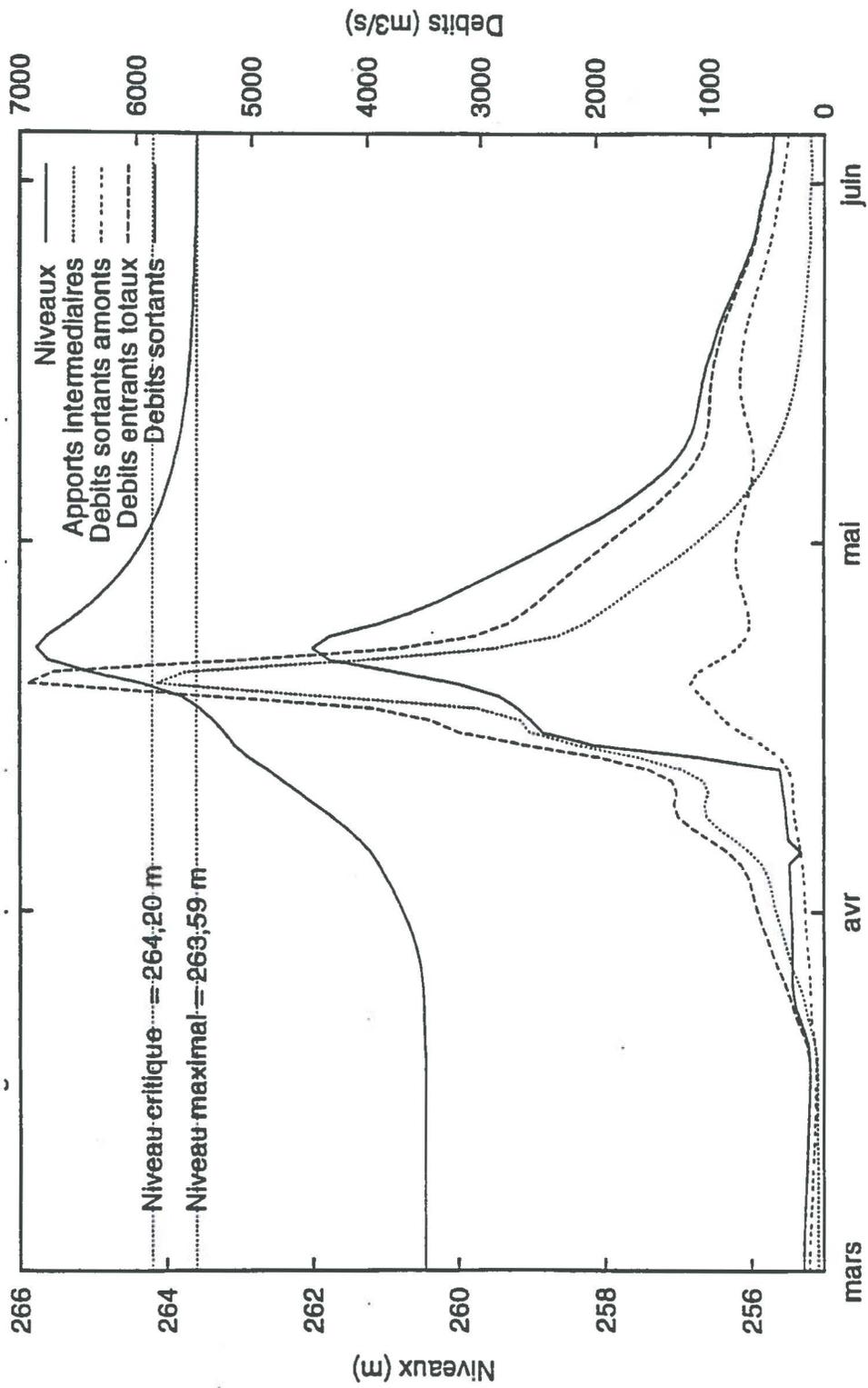


Figure 6.2 – Laminage de la CMP printanière (AN100 + PMP C2) au site des Rapides-des-Quinze

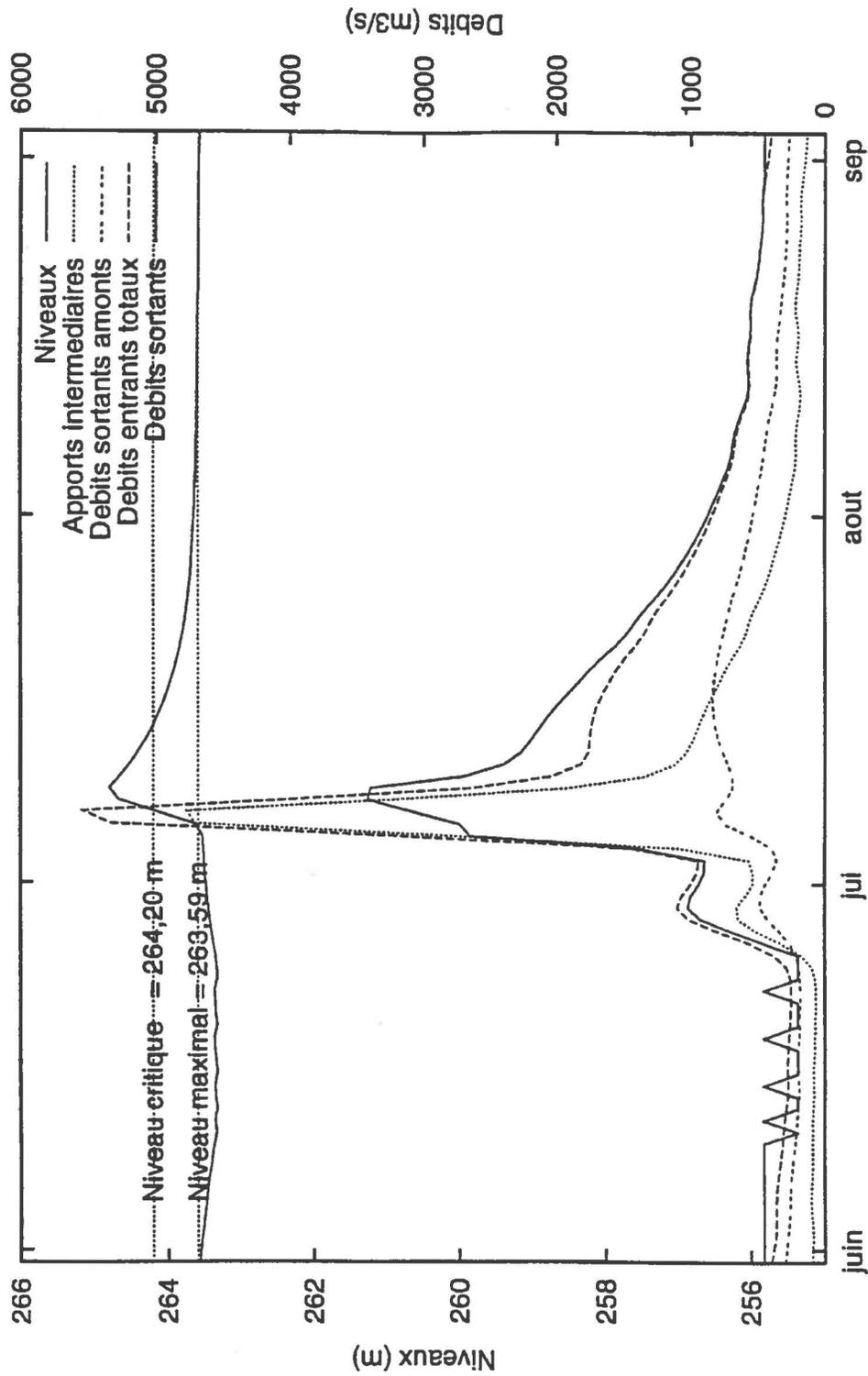


Figure 6.3 – Laminage de la CMP estivale (PMP C2) au site des Rapides-des-Quinze

6.4.3 Analyse des résultats

On a remarqué que, dans la plupart des cas (26 sur 31), le scénario printanier le plus critique est celui qui combine la neige centennale (AN100) à la PMP. Pour l'été, l'influence de l'endroit, où la PMP est centrée, est majeure sur le laminage aux différents sites. Les réservoirs de tête sont ceux qui sont souvent les plus surchargés (selon le centre d'application de la PMP de printemps ou d'été). Ces réservoirs atténuent considérablement la crue aux sites en aval.

Dans le cas qui nous intéresse, on doit signaler le dépassement de la cote maximale critique aux sites de Dozois, Lac Victoria et Des Quinze (Angliers et non Rapides-des-Quinze).

Le passage des CMP de printemps est plus critique que celui des CMP d'été-automne, dans la plupart des cas. Le site de Dozois a cependant une capacité insuffisante au passage de la CMP d'été-automne. Par contre, il ne présente pas de problème pour le passage de la CMP de printemps.

6.5 Conclusions et recommandations

Pour les sites qui nous intéressent, à savoir Dozois, Lac Victoria, Des Quinze (évacuateur Angliers, et non Rapides-des-Quinze), les capacités sont insuffisantes au passage de la CMP. En outre, le niveau d'eau atteint celui de la crête du barrage à Dozois. À Rapide-7 et Rapide-2, les capacités des évacuateurs de crues sont suffisantes pour laisser passer la CMP.

7 Établissement du niveau maximal en CMP au barrage des Rapides-des-Quinze

7.1 Données et hypothèses de base

L'aménagement des Rapides-des-Quinze fait partie du système hydrique de l'Outaouais supérieur. Rapides-des-Quinze est dépourvu de réserve utile, mais il existe plusieurs réservoirs — Cabonga, Dozois, Victoria, Rapide-7 et Angliers — qui permettent de régulariser le débit de l'Outaouais supérieur.

Le barrage des Quinze, située à 4 km en amont des Rapides-des-Quinze dont il régularise les apports, est la propriété de Travaux publics Canada. L'aménagement ne comporte pas de centrale. Le barrage contrôle les apports du lac des Quinze, d'une capacité de 1 130 hm³. Le bassin versant qui s'y draine couvre 22 268 km².

Le bassin intermédiaire de la centrale des Rapides-des-Quinze n'est que de 24 km². Le débit module de la centrale est de 351 m³/s.

Les débits de crues utilisés dans cette étude sont présentés au tableau 7.1.

Toutes les caractéristiques hydrauliques présentées dans ce chapitre sont tirées de la référence 7.1 (études de faisabilité 2000).

Tableau 7.1 – Rapides-des-Quinze - Débits de crue et niveaux aval

Réurrence (ans)	Printemps (m ³ /s)	Niveau aval (m)	Été-Automne (m ³ /s)	Niveau aval (m)
2	677	241,79	538	241,20
3	737	242,03	688	241,84
5	942	242,80	804	242,29
20	1350	244,13	888	242,60
50	1580	244,80	1009	243,03
100	1758	245,30	1075	243,25
1 000	2269	246,61	1362	244,17
10 000	2760	247,76	1670	245,06
CMP	4460	251,18	3422	249,70

7.2 Caractéristiques des ouvrages d'évacuation actuels

Le barrage des Rapides-des-Quinze est composé d'un ouvrage en béton, d'une longueur de 410 m, appuyé en rive droite sur un barrage en enrochement de 220 m de longueur. Le dessus du tablier de l'ouvrage en béton est à la cote 258,47, alors que la crête de l'ouvrage en enrochement atteint 258,3 m, en moyenne, pour une hauteur maximale de 21,8 m.

L'ouvrage en béton comporte 37 passes fermées par des poutrelles de bois. La largeur de 34 de ces passes est 6,1 m, alors que 2 passes ont une largeur de 5,4 m et 2 autres une largeur de 4,7 m. Toutes les passes rencontrent donc la recommandation de la Commission Nicolet qui demande que les passes aient une largeur minimale de 4 m pour l'évacuation des débris.

Les seuils d'évacuation sont de forme et de niveau en crête très variés. Certains des seuils ont des formes profilées en béton (ceux qui étaient prévus à l'origine pour l'évacuation des crues), alors que d'autres sont presque plats et ont simplement été bétonnés en suivant la forme du socle rocheux. Il n'y a pas de submergence aval (sauf une légère submergence estimée pour une ou deux passes, à seuil plat, qui font face à un relèvement du socle rocheux).

Dans la capacité d'évacuation de l'ouvrage, l'évaluation des coefficients de débitance des seuils a été réalisée au moyen d'une méthode graphique reconnue pour des seuils de forme non standard. Les dessins utilisés pour la forme des seuils proviennent des fiches d'inspection réalisées en 1993, par la firme Monterval, pour la division Réfections.

La figure 7.1 montre la courbe de capacité d'évacuation globale de l'ouvrage en supposant toutes les poutrelles manœuvrables. La capacité totale proposée pour l'ouvrage réfectionné est identique. Seules la rapidité et la sécurité des manœuvres seront améliorées.

7.3 Contraintes d'exploitation

Les contraintes d'exploitation dont on doit tenir compte, pour la variante de réfection proposée, sont les suivantes :

- Débits d'équipement : 408 m³/s à Rapides-des-Quinze
620 m³/s à Rapides-des-Îles
- Niveaux d'opération : Niveau du dessus du tablier de béton : 258,5 m
(ne doit pas être dépassé, même en CMP).

Niveau maximal critique pour l'ouvrage réfectionné :	257,5 m
Niveau maximal critique légal actuel :	257,0 m
Niveau maximal critique utilisé par Hydro-Québec :	256,34 m
Niveau maximal d'exploitation :	256,03 m
Niveau minimal d'exploitation :	255,42 m
Niveau minimal critique :	255,36 m
- Crue de vérification : CMP de printemps (4 460 m³/s)

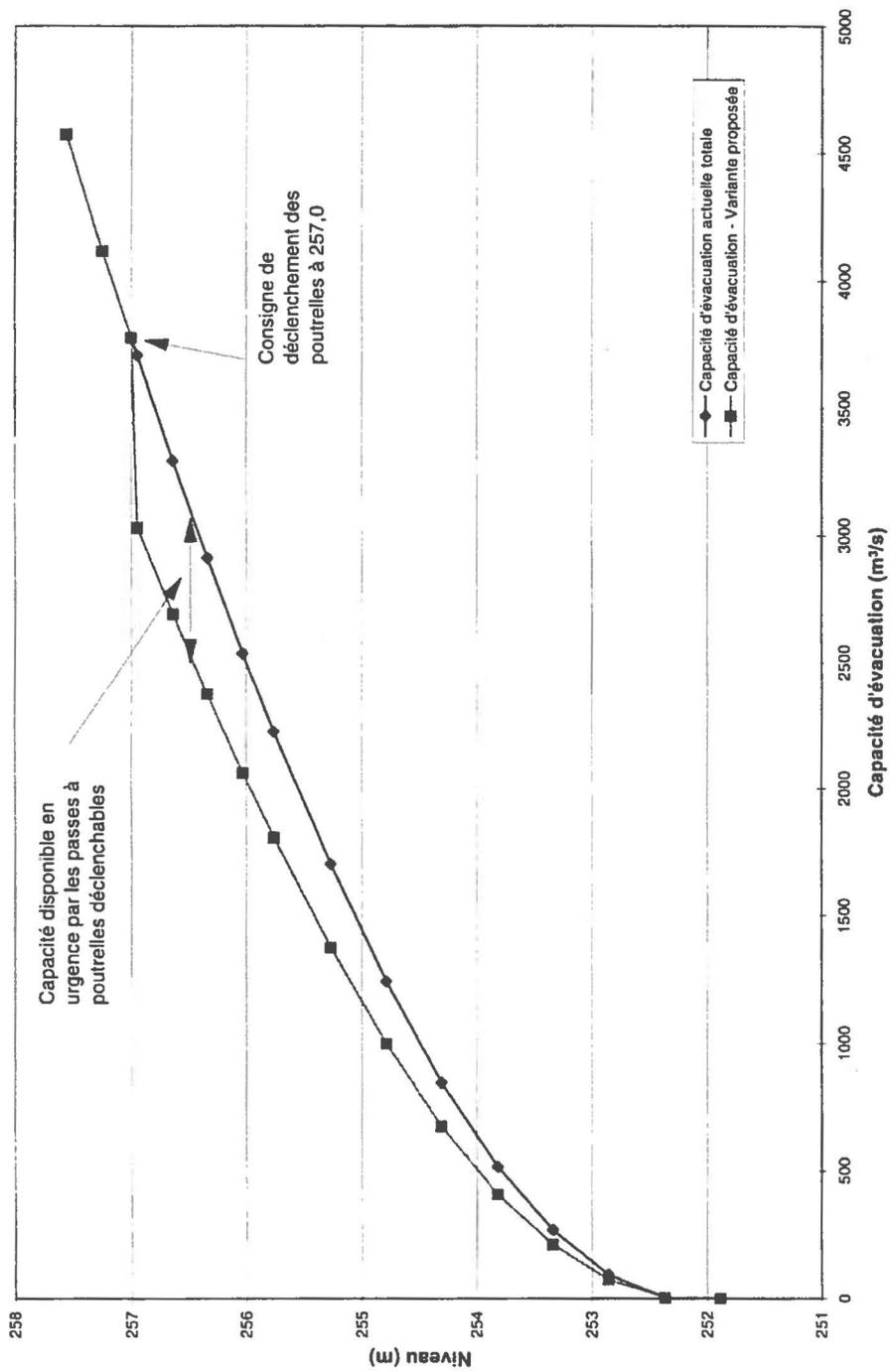


Figure 7.1 – Rapides-des-Quinze. Réfection de l'évacuateur. Capacité d'évacuation

7.4 Niveau maximal atteint en CMP

Le débit de CMP entrant au barrage des Rapides-des-Quinze a été pris égal au débit laminé sortant de l'évacuateur des Quinze (évacuateur d'Angliers), qui contrôle le réservoir des Quinze. En effet, le bief amont des Rapides-des-Quinze est pratiquement exploité au fil de l'eau et son emmagasinement est faible. On a également négligé le laminage entre le niveau maximal d'exploitation de 256,03 m et le niveau maximal en CMP de 257,5 m. Ce niveau correspond au cas le plus critique de CMP à Angliers, soit la CMP de printemps causée par la précipitation nivale centennale et la PMP centrée en C2 (voir section 6.4.1)

Le niveau de 257,5 m est calculé avec toutes les passes de l'évacuateur ouvertes.

La capacité d'évacuation totale proposée pour l'ouvrage réfectionné demeurera identique (figure 7.1). Seule la rapidité de mobilisation de la capacité d'évacuation se trouvera améliorée par l'ajout de passes à poutrelles déclenchables, chariot-treuil supplémentaire et trois vannes d'exploitation.

Références bibliographique

- ASCE (American Society of Civil Engineers). 1993. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Criteria for Evaluation of Watershed Models*. 119 (3), 429-442.
- BOSS CORPORATION. 1988. *Boss HMR52. Proprietary Software*. Version 1.10, 136 p.
- BOSS LTD. 1988. *HMR-52 Boss Manual*. Madison, Wisconsin.
- BOUCHARD B. et coll. 1986. *Groupe de travail sur les réserves de crue*. Rapport de la Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais.
- C.D.Z. ENVIRONNEMENT INC. Février 1994. *Analyse de fréquence du couvert de neige pour les bassins versants de la rivière des Outaouais et calcul de la neige maximale probable pour les bassins versants de la rivière Gatineau*. Rapport préparé pour Hydro-Québec.
- C.D.Z. ENVIRONNEMENT INC. Octobre 1994. *Interpolation du couvert de neige avec une période de retour de 100 ans et évaluation de la neige maximale probable aux bassins versants de la rivière des Outaouais*. Rapport préparé pour Hydro-Québec.
- CHOW, K.C.A et S.B. JONES. 1994. *Probable Maximum Flood in Boreal regions*. Atria Engineering Hydraulics for Canadian Electricity Association.
- CHOW, K.C.A. et S.B. JONES. Avril 1994. *Probable Maximum Floods in Boreal Regions*. Rapport préparé pour l'Association canadienne d'électricité.
- DEBS, I. 1995. *Évaluation des méthodes utilisées pour l'estimation de la crue maximale probable en régions nordiques*. Mémoire de maîtrise ès Sciences Appliquées.
- DEBS, I. 1995. *Évaluation des méthodes utilisées pour l'estimation de la crue maximale probable en régions nordiques*. Mémoire de maîtrise ès Sciences Appliquées, École Polytechnique de Montréal.
- DILLON, M.M. Août 1988. *Maximum Persisting Dew Points - Generalized Maps, Eastern Ontario*. Ontario Hydro Report No : DSP-410.1-00.01221--1.
- DILLON, M.M. Avril 1989. *Probable Maximum Precipitation Study, Mississippi River Basin*. Ontario Hydro Report No : DSP-410.1-39--5.
- DILLON, M.M. Mars 1990. *Probable Maximum Precipitation Study, Ottawa River Basin*. Ontario Hydro Report No : DSP-410.1-51--19.
- DILLON, M.M. Septembre 1987. *Probable Maximum Precipitation Study, Mississagi Basin*. Ontario-Hydro Report No : DSP-410.1-38--24.
- DORAY, M.J. Août 1994. *Étude des paramètres météorologiques nécessaires au calcul des crues maximales probables de printemps et d'été-automne pour les bassins versants de la rivière Gatineau*. Rapport préparé pour Hydro-Québec.
- DORAY, M.J., Août 1996. *Étude des paramètres météorologiques nécessaires au calcul des crues maximales probables de printemps et d'été-automne pour les bassins versants de la rivière des Outaouais*. Rapport préparé pour Hydro-Québec.

- ENVIRONNEMENT CANADA. 1971. *Le climat du Québec*. Par C. K. Wilson, Atlas climatique, 1^{ère} partie.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1981. *Catalogue de données des stations climatologiques, Ontario*. UDC 551.5 :06 (713), Ontario. 113 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1981. *Catalogue de données des stations climatologiques, Québec*. UDC 551.5 :06 (714), Ontario. 90 p.
- FILIATRAULT, MCNEIL & ASS. (FMA). Décembre 1995. *Modèle MENVIQ (variante stochastique)*. Compte rendu de réunion.
- FILIATRAULT, MCNEIL & ASS. (FMA). Décembre 1995. *Modèle MENVIQ (variante stochastique), commentaires suite à la réunion du 20 décembre 1995*. Lettre de Normand Filiatrault à Luis Carballada.
- FILIATRAULT, MCNEIL & ASS. (FMA). Juin 1995. *Modèle MENVIQ 94 (variante stochastique), partie 2*.
- FILIATRAULT, MCNEIL & ASS. (FMA). Septembre 1994. *Rapport final - Étalonnage et validation*. Modèle MENVIQ94 - variante PC, partie 1.
- HOGG, W.D. et coll. 1987. *Meteorological Conditions Leading to the Probable Maximum Flood on the Madawaska River*. Canadian Climate Centre, Report No : 87-6.
- HYDRO-QUÉBEC. 1994. *Critère de conception*. Groupe Équipement, V.-P. Équipements de production et Édifices - Direction Aménagement de centrales.
- HYDRO-QUÉBEC. 1995. *Avant-projet phase 2, Mercier-Bitobi, système hydrique Gatineau*. Par Narut Kang et Alejandro Guerrero. Rapport de synthèse des études hydrologiques, volume 1, 14320-RA-95-11.
- HYDRO-QUÉBEC. 1995. *Crue maximale probable de la rivière Gatineau - Calibration du modèle HSAMI - Détermination de la crue maximale probable de printemps et d'été-automne*. Par Jean-Louis Bisson, Service prévisions.
- HYDRO-QUÉBEC. 1996. *Débits intermédiaires pour cinq bassins de la rivière des Outaouais*. Par Douglas Sparks, Service hydraulique, correspondance interne.
- HYDRO-QUÉBEC. 1996. *Paramètres météorologiques nécessaires au calcul de la crue maximale probable - Rivière des Outaouais*. Par Marie-Josée Doray, Coord. planification-production, Service prévisions.
- HYDRO-QUÉBEC. Août 1994. *Étude des paramètres météorologiques nécessaires au calcul des crues maximales probables de printemps et d'été-automne pour les bassins versants de la rivière Gatineau*. Par Marie-Josée Doray, Service prévisions.
- HYDRO-QUÉBEC. Juillet 1995. *Avant-projet phase 2, Mercier-Bitobi, système hydrique Gatineau*. Par Narut Kang et Alejandro Guerrero. Rapport synthèse des études hydrologiques, volume 1, 14320-RA-95-11.
- HYDRO-QUÉBEC. Juin 1996. *Étude globale de crues de la rivière des Outaouais, Résultats de la simulation d'étalonnage du modèle MENVIQ servant au laminage des crues*. Par Pierre Legendre et François Desjardins, correspondance interne SH-96-108.
- INRS-EAU et HYDRO-QUÉBEC. Janvier 1992. *Ajuste. Version PC 1.1 Guide de l'utilisateur*. 69 p.
- KANG, N. et A. GUERRERO. Juillet 1995. *Avant-projet phase 2, Mercier-Bitobi, rapport de synthèse des études hydrologiques, volume 1*. Rapport 14320-RA-95-11, révisé 95-07-25, service Hydraulique. ? ? ?

- LINSLEY, R.K., M.A. KOHLER et J.L.H PAULHUS. 1982. *Hydrology for Engineer*. New York, 3^e édition, McGraw Hill Book.
- MAPINFO. 1993. *Desktop Mapping Software Reference*. Version 2.1, Troy, NY, Mapping Information Systems Corp. 408 p.
- NASH, J.E. et J.V SUTCLIFFE. 1970. *Journal of Hydrology 10 (3/4), River Forecasting Through Conceptual Models - Part 1 - A discussion of Principle*. 282-290.
- NRC (National Research Council). 1989. *Safety of Dams : Flood and Earthquake Criteria*. Committee on Safety Criteria for Dams, Water Science and Technology Board, 2^e édition, National Academy Press, Washington, D.C.
- OMM (Organisation météorologique mondiale). 1969. *Estimation of Probable Maximum Precipitation*. Genève. Secrétariat de l'OMM, No : 233, TP 126.
- OMM (Organisation météorologique mondiale). 1986. *Manual for Estimation of Probable Maximum Précipitation*. Genève. Operational Hydrology Report No : 1, 2^e édition, Secrétariat de l'OMM, No : 332.
- ONTARIO-HYDRO. 1987. *Dam Safety Assessment Program, Probable Maximum Flood, Madawaska River*. Toronto. DSP No : 410.1-27-18.
- ONTARIO-HYDRO. 1991. *Dam Safety Assessment Program, Probable Maximum Flood, Montreal River*. Toronto. DSP No : 410.1-41-6.
- ONTARIO-HYDRO. 1993a. *Dam Safety Assessment Program, Probable Maximum Flood, Matabichuan River*. Toronto. DSP No : 410.1-32-6.
- ONTARIO-HYDRO. 1993b. *Mississippi River Bassin, Crotch Lake Dam*. Toronto. DSP No : 410.1-39.031-1.
- ONTARIO-HYDRO. 1993c. *Mississippi River Bassin, High Falls Dam and Generating Station*. Toronto. DSP No : 410.1-39.034-2.
- PÊCHES et ENVIRONNEMENT CANADA. 1978. *Atlas hydrologique du Canada*. Comité national de la décennie hydrologique.
- ROCKWOOD, D. Décembre 1958. *Columbia stream-flow routing by computer*. Journal of the Waterways and Harbours division, Proceeding of the ASCE, paper 1984.
- ROCKWOOD, D.M. et D.W. KUEHL. 1993. *Interactive Calibration for SSARR Watershed Model*. Présenté à 1993 Western and Eastern Snow Conference. Québec.
- ROUTLEDGE, B. et coll. 1988. *Index des précipitations orageuses au Canada*. Service de l'environnement atmosphérique, Downsview, Ontario, 47 p.
- SAR CONSULTANTS. 1996. *Validation of SSARR Calibration to Five Typical Bassins of the Outaouais River Typical Bassins of the Outaouais River*. Par D.M. Rockwood et D. Kuehl. Vancouver.
- SNC SHAWINIGAN. 1995. *Calibration de bassins types avec le modèle SSARR - Rivière des Outaouais*. Rapport technique. Montréal.
- SNC SHAWINIGAN. Mars 1992. *Étude de crue extrême - Étude statistique des accumulations de neige : Beauharnois-Les Cèdres*. Rapport préparé pour Hydro-Québec.

- SNC SHAWINIGAN. Novembre 1992. *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 Hydro-Québec.
- SNC-SHAWINIGAN. 1992. *Recommendations of the Expert Committee on the Determination of a Realistic Scenario for Probable Maximum Flood on the St.Maurice River Bassin*. Compte rendu préparé pour Hydro-Québec.
- SNC-SHAWINIGAN. 1996. *Calibration du modèle SSARR (Phase 2) - Rivière des Outaouais*. Rapport technique. Montréal.
- THORNTHWAITE, C.W. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geographical review 38, 55-94.
- TREMBLAY, D. Octobre 2000. *Rapides-des-Quinze - Étude de faisabilité - Réfection de l'évacuateur- Études hydrauliques*. Hydro-Québec, Unité Hydraulique et Géotechnique (RA-2000-0043-001).
- US ARMY ENGINEER DIVISION. September 1975. *SSARR Model (Program Description and User Manual)*, North Pacific, Oregon.
- USACE (US Army Corps of Engineers). 1989. *SSARR model, Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation, User Manual (draft)*. New York. USACE, North Pacific Division.
- USACE (US Army Corps of Engineers). 1991. *SSARR model, Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation, User Manual*. New York. USACE, North Pacific Division.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1986. *Manual of Estimation of Probable Maximum Precipitations*. Operational Hydrology Report No : 1, 269 p.

Annexe C

Schéma logique et processus d'urgence-barrage



Schéma logique des actions urgence-barrage

Préparé par :

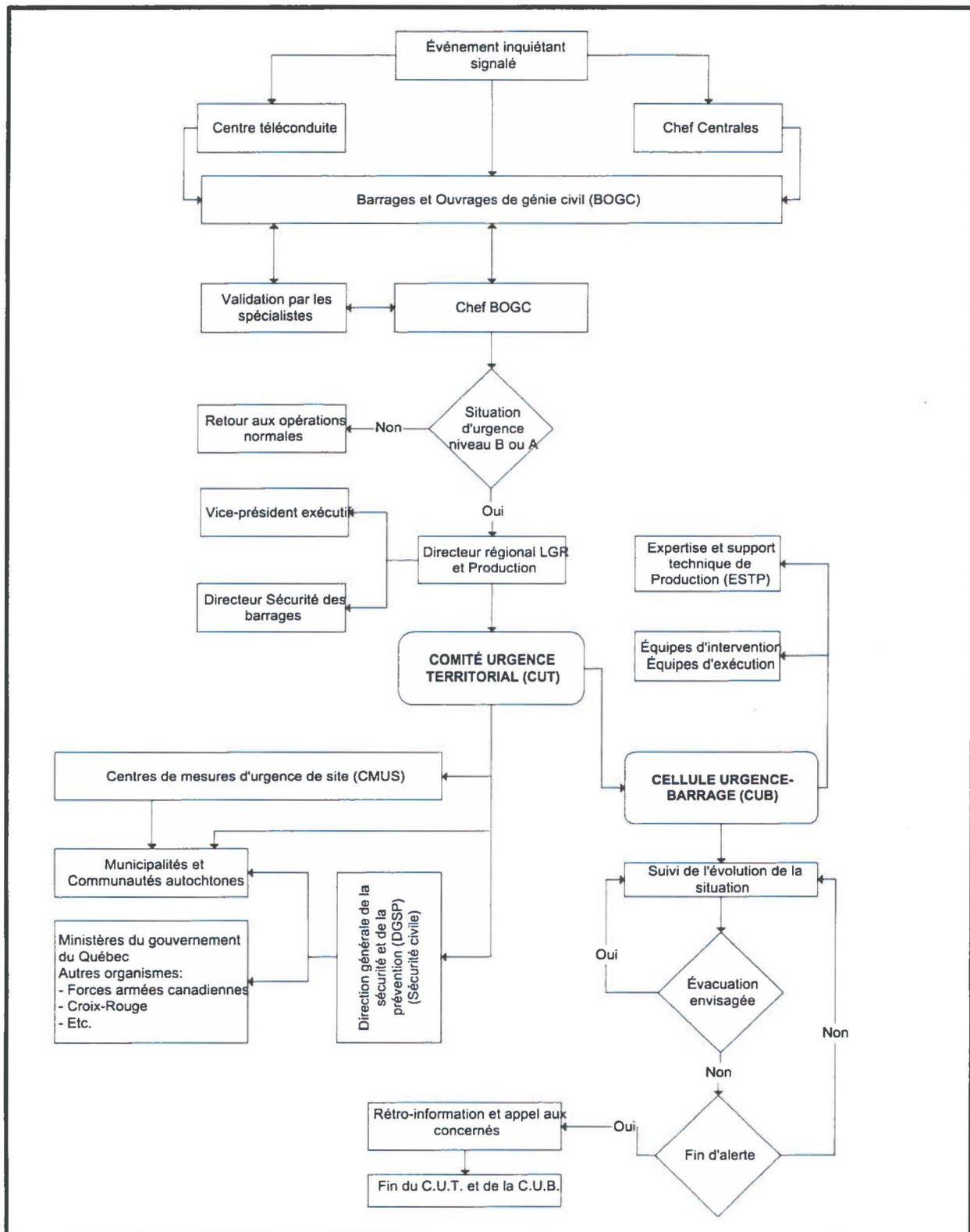
Maxime Aubé, ing. M.Sc.A.

Approuvé par :

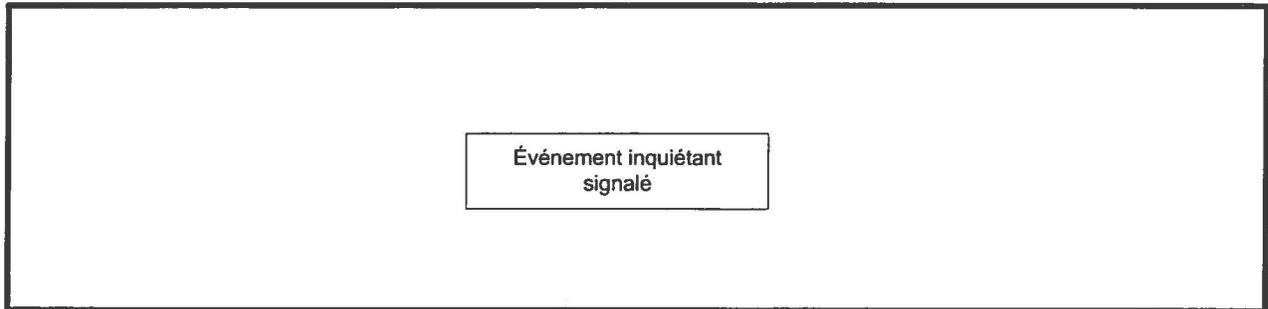
Pedro Hernandez, ing. M.Sc.A
Chef

Daniel Rivard, directeur régional
La Grande Rivière et Production

Support technique et suivi du comportement
Barrages et Ouvrages de génie civil
Direction régionale La Grande Rivière et Direction Production
Décembre 1999

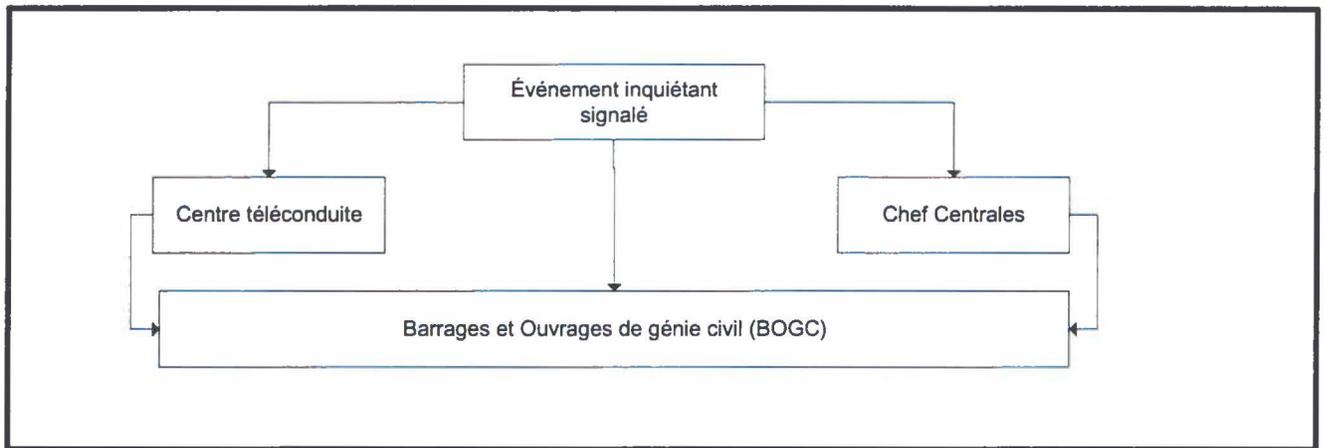


1.0 Détection



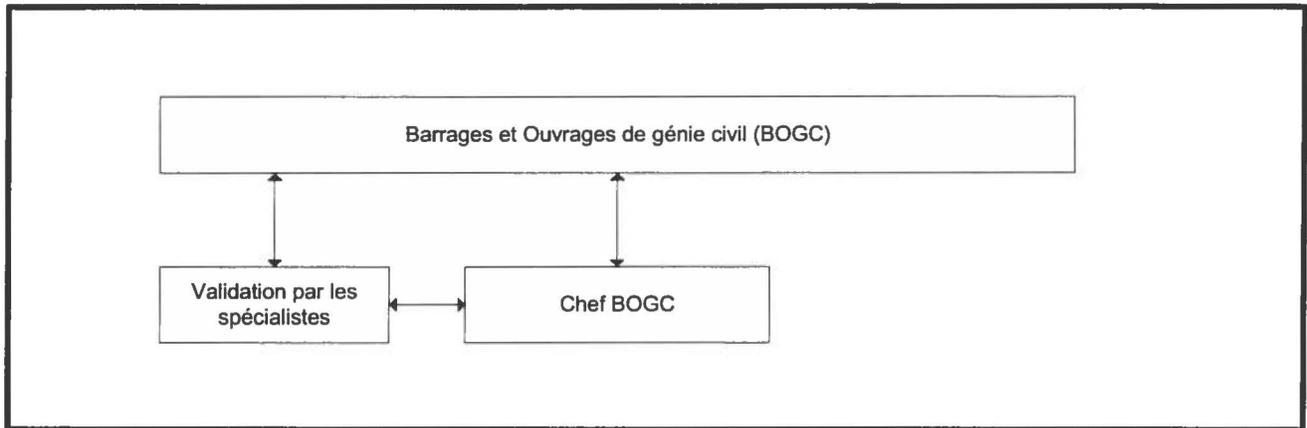
L'existence d'un problème relié au comportement sécuritaire d'un ouvrage hydroélectrique peut être détecté par des actions de support technique et de suivi de comportement, par des actions de surveillance ou par des actions d'exploitation courante. Ce peut aussi être des témoins, internes ou externes à l'entreprise, qui constatent un événement inquiétant à un barrage.

2.0 Transmission



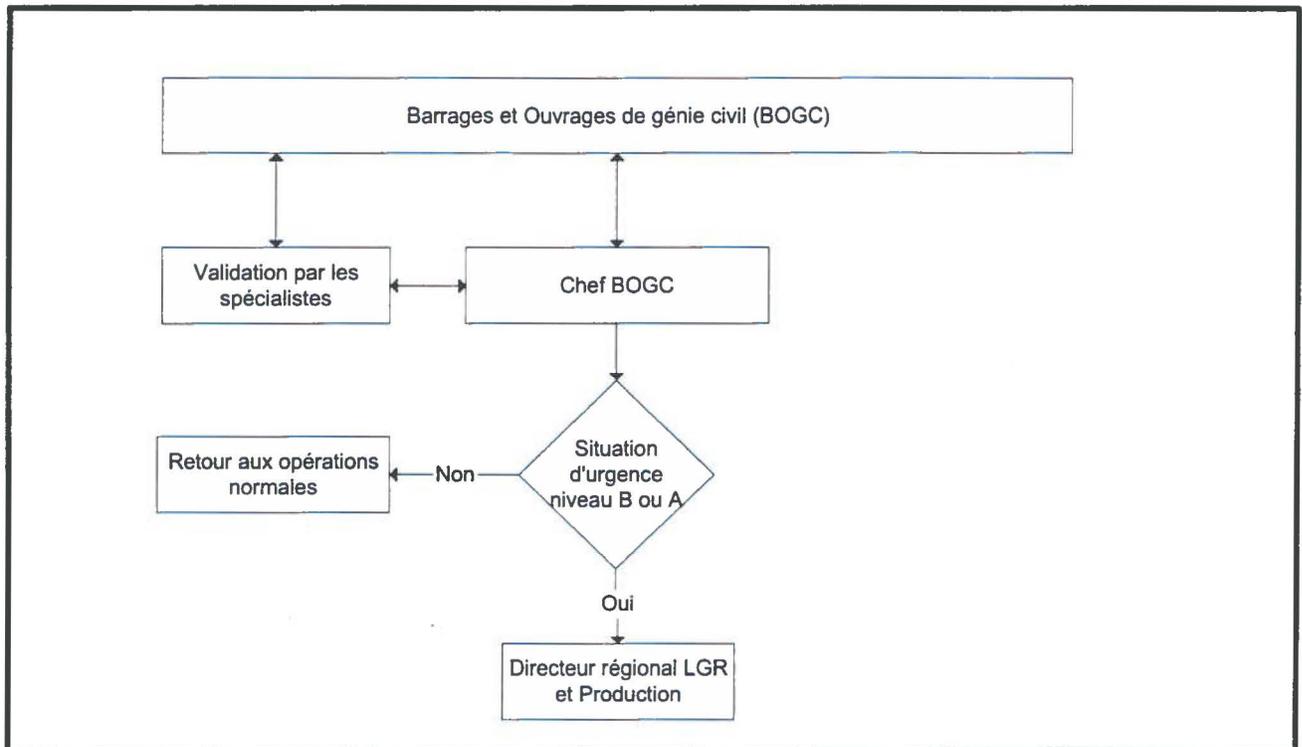
Essentiellement, un événement inquiétant signalé parviendra au Centre téléconduite du réseau, au chef Centrales concerné ou directement à l'unité Barrages et Ouvrages de génie civil. Dans tous les cas, l'information doit être transmise directement à l'unité Barrages et Ouvrages de génie civil pour fins de validation spécialisée.

3.0 Validation



Une fois les informations concernant l'anomalie détectée transmises à l'unité Barrages et Ouvrages de génie civil, celle-ci déploie des équipes de spécialistes sur les lieux pour évaluer la pertinence de l'information et l'état de la situation. Le chef BOGC caractérise les événements conjointement avec les spécialistes.

4.0 Analyse



À ce stade, le chef BOGC doit statuer si l'événement signalé représente un risque pour la sécurité du barrage concerné, ou de l'ouvrage connexe, et par conséquent pour les employés de l'entreprise et de la population.

Dans l'éventualité où l'événement représente un risque réel, le directeur régional La Grande Rivière et Production est notifié. Ce dernier aura à convoquer la formation du comité d'urgence territorial (CUT) ainsi que les différentes cellules d'urgence impliquées, dont la cellule d'urgence-barrage (CUB). Cet état d'urgence existe si la situation est suffisamment sérieuse pour décréter une alerte de niveau B ou A.

Une alerte de niveau B est caractérisée comme une situation contrôlable où un événement hasardeux potentiellement dangereux est en développement et peut mener éventuellement à une avarie de barrage ou d'un ouvrage connexe, mais des actions

entreprises au bon moment peuvent prévenir ou atténuer les avaries¹. Une évacuation préventive des employés non requis pour les opérations peut être envisagée ainsi qu'une évacuation des secteurs de la population les plus vulnérables². Une alerte de niveau A est définie lorsque la situation d'urgence est devenue hors contrôle ou en voie de le devenir. Un bris est alors imminent ou s'est déjà produit; le délais ne permet plus d'entreprendre des mesures correctives pour prévenir ou atténuer les avaries³. La décision d'évacuer tous les employés et toute la population concernée est prise⁴.

S'il n'y a pas de risque envisageable, l'événement n'est pas défini comme une urgence de niveau B ou A et il y a retour à la situation normale. Toutefois, la situation continue d'être suivie et l'état de vigie demeure.

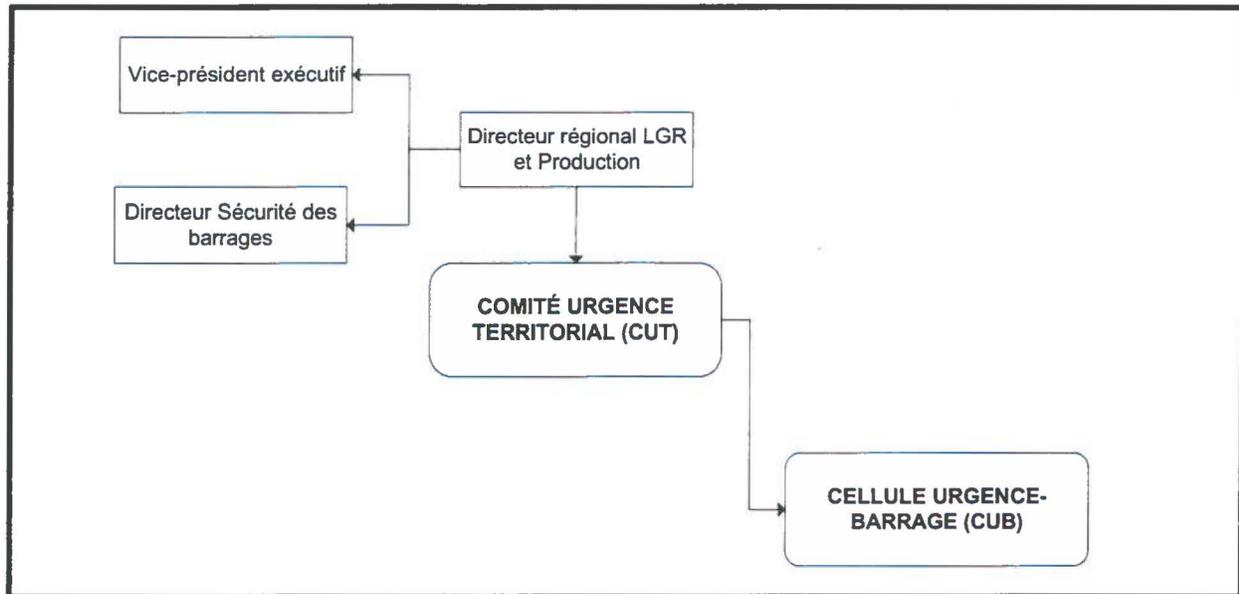
¹ Tiré de: Federal Energy Regulatory Commission, Office of Hydropower Licensing (Avril 1991). Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects, p.6-9.

² Tiré de: Hydro-Québec, Groupe Production (1998). Guide pour l'organisation des mesures d'urgence, encadrement SB-80-00-01, p.12.

³ Tiré de: Federal Energy Regulatory Commission, Office of Hydropower Licensing (Avril 1991). Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects, p.6-8.

⁴ Tiré de: Hydro-Québec, Groupe Production (1998). Guide pour l'organisation des mesures d'urgence, encadrement SB-80-00-01, p.12.

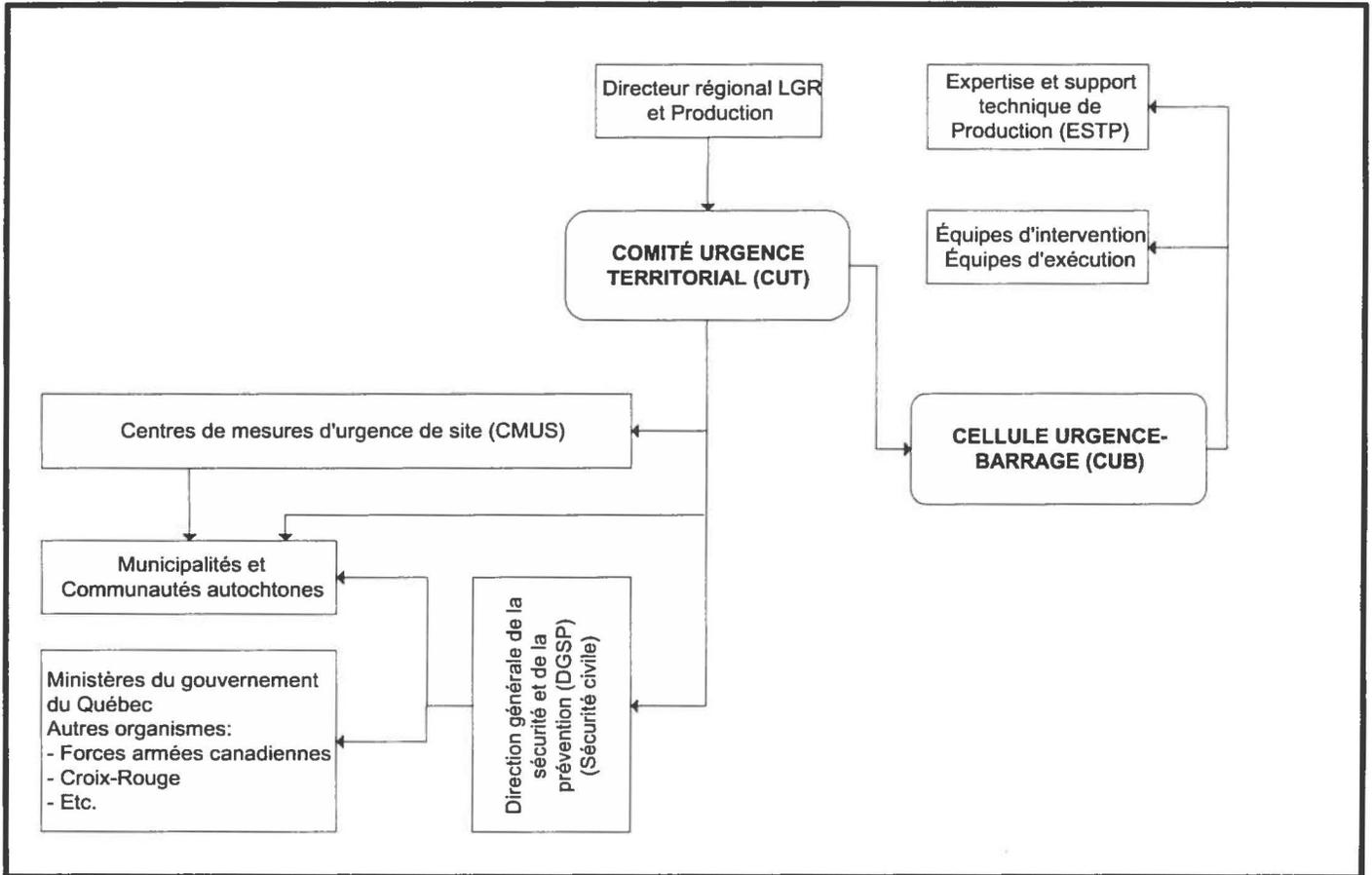
5.0 Notification



L'alerte de niveau B ou A est décrétée. La structure territoriale urgence-barrage est déployée par le directeur régional La Grande Rivière et Production par la convocation du CUT et des différentes cellules d'urgence impliquées dans l'urgence, dont la CUB. De plus, le vice-président exécutif Production et le directeur Sécurité des barrages sont notifiés par le directeur régional La Grande Rivière et Production. Par cet avis de notification, le plan d'urgence corporatif est aussitôt déployé.

Par la formation du CUT, tous les autres groupes et intervenants de l'entreprise impliqués dans l'urgence sont notifiés et ceux-ci s'arriment au CUT en déployant leur propre structure et mécanismes d'urgence.

6.0 Actions

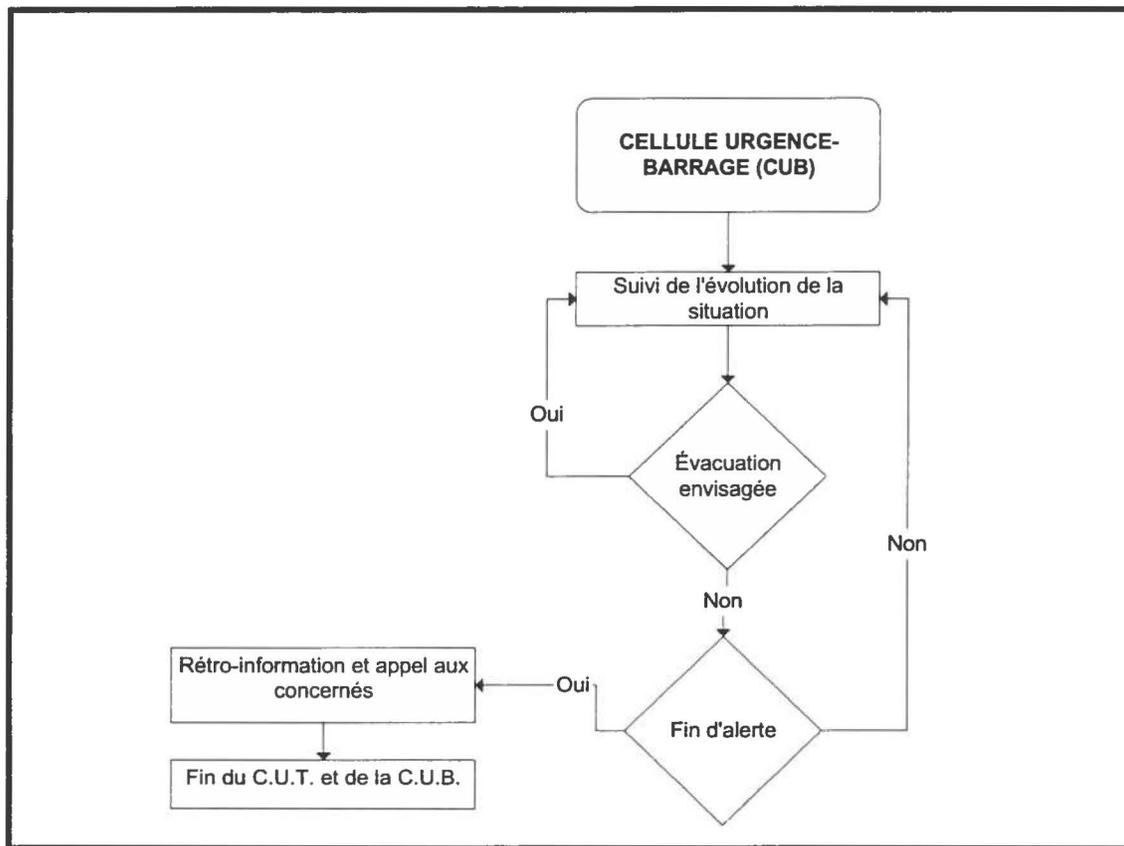


Toutes les actions reliées à l'urgence-barrage sont analysées et expertisées par la cellule urgence-barrage, appuyée par les équipes d'intervention et, au besoin, par l'unité Expertise et Support technique de Production (ESTP). Toutes les actions sont gérées et coordonnées par le CUT qui chapeaute les différents centres de mesures d'urgence de site (CMUS) ainsi que tous les différents groupes de l'entreprise (Distribution, SALC, TransÉnergie, DPAS, etc.) impliqués dans l'urgence, suivant les processus territoriaux de structures organisationnelles.

Les actions opérationnelles reviennent aux CMUS et aux différents groupes et intervenants, selon leur mission respective. Les actions de support aux tiers externes reviennent à la Sécurité civile (DGSP) mais les liens de notification aux municipalités et

aux communautés autochtones sont prévus au plan de communication de l'unité Administrations et Relations avec le milieu. Les avis aux populations avoisinantes des aménagements hydroélectriques (pêcheurs, chasseurs, campeurs, etc.) sont donnés par les CMUS à partir de moyens appropriés.

7.0 Fin d'alerte et période de rétablissement



La cellule urgence-barrage suit l'évolution de la situation et détermine la fin des événements de nature urgence-barrage et le début des actions de rétablissement pour reprendre les activités courantes de production hydroélectrique. Le processus est terminé lorsque l'alerte urgence-barrage est levée et que tous les concernés sont informés de la fin des activités urgence-barrage. Officiellement, la fin de l'alerte est décrétée par le CUT ainsi que le retour à la situation normale.

Annexe D

Certificats d'analyse bactériologique

**Laboratoire d'environnement S.M. inc.**

2111, boul. Fernand-Lafontaine, Longueuil (Québec) J4G 2J4

Téléphone: (450) 651-4855 - Télécopieur: (450) 651-9542

JUL 8 0 1999

RAPPORT D'ANALYSE

Numéro de rapport : 24927

99-07-26

Bon de commande : QS-4015

Client : PHILIP (Corporation des Services Analytiques)

Numéro de client : 268

Adresse : MADAME ANNICK TREMBLAY

Numéro de projet : 473

10390 LOUIS H. LAFONTAINE

ANJOU

QUÉBEC

H1J 2T3

Téléphone : ,(514) 493-4733

Télécopieur : ,(514) 493-4725

Numéro d'échantillon : ME 98059

Date de prélèvement : 99-07-21

Date de réception : 99-07-22

Date d'analyse : 99-07-22

Prélevé par : NON DISPONIBLE

Identification de l'échantillon : 014670

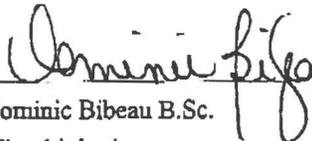
Nature : Eau de surface

Analyses	Résultats	Unité	Recommandations	# Méthode	Méthode analytique
Bactéries hétérotrophes aérobies	1 078	UFC/100 ml		ILME-9	Gelose incorporée
Coliformes fécaux	10	UFC/100 ml		ILME-2	Membrane filtrante
Coliformes totaux	90	UFC/100 ml		ILME-1	Membrane filtrante
Streptocoques fécaux	<10	UFC/100 ml		ILME-12	Membrane filtrante

Remarques :

Notes :

Ce rapport ne doit être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du Laboratoire d'environnement SM Inc.



 Dominic Bibeau B.Sc.
 Microbiologiste

**Laboratoire d'environnement S.M. inc.**

2111, boul. Fernand-Lafontaine, Longueuil (Québec) J4G 2J4

Téléphone: (450) 651-4855 - Télécopieur: (450) 651-9542

JUL 30 1999

RAPPORT D'ANALYSE

Numéro de rapport : 24928

99-07-26

Bon de commande : QS-4015

Client : PHILIP (Corporation des Services Analytiques)

Numéro de client : 268

Adresse : MADAME ANNICK TREMBLAY

Numéro de projet : 473

10390 LOUIS H. LAFONTAINE

ANJOU

QUÉBEC

H1J 2T3

Téléphone : ,(514) 493-4733

Télécopieur : ,(514) 493-4725

Numéro d'échantillon : ME 98060

Date de prélèvement : 99-07-21

Date de réception : 99-07-22

Date d'analyse : 99-07-22

Prélevé par : NON DISPONIBLE

Identification de l'échantillon : 014672

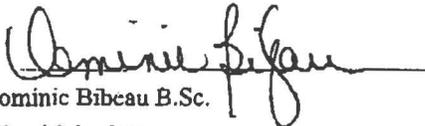
Nature : Eau de surface

Analyses	Résultats	Unité	Recommandations	# Méthode	Méthode analytique
Bactéries hétérotrophes aérobies	1 596	UFC/100 ml		ILME-9	Gelose incorporée
Coliformes fécaux	<10	UFC/100 ml		ILME-2	Membrane filtrante
Coliformes totaux	10	UFC/100 ml		ILME-1	Membrane filtrante
Streptocoques fécaux	<10	UFC/100 ml		ILME-12	Membrane filtrante

Remarques :

Notes :

Ce rapport ne doit être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite du Laboratoire d'environnement SM Inc.



Dominic Bibeau B.Sc.
Microbiologiste

Page 1 de 1