

***Régularisation des crues du
bassin versant du lac Kénogami***

**Étude de rupture des digues et des barrages du
réservoir Pikauba et du lac Kénogami**

RA-0610-03

Étude réalisée pour :
Direction principale – Projets et construction
Par :
Hydro-Québec Production
Direction – Expertise et support technique de production
Unité Hydraulique et environnement

Mars 2002

Préparé par :

Sonia Colameo, ing.
Ingénieure
Unité Hydraulique et environnement

Sommaire

Dans le cadre des études sur la régularisation des crues du bassin versant du lac Kénogami, on a mené l'étude de rupture du barrage de la Pikauba ainsi que l'étude de rupture de chacun des ouvrages suivants : digue Ouiqui, digue de Moncouche, digue de la Coulée-Gagnon et digue de la Baie-Cascouia. On a également étudié l'effet de ces ruptures sur les aménagements situés en aval. L'objectif visé était de délimiter, pour les besoins de la protection civile, la zone maximale d'inondation sur la base de différents scénarios de rupture en temps sec.

Toutes les études sont donc basées sur des scénarios de rupture en temps sec. Par ailleurs, les niveaux d'eau atteints au lac Kénogami lors d'une crue extrême (CMP) ont été calculés au moyen d'une analyse hydrodynamique.

Le logiciel de modélisation DAMBRK a été utilisé pour établir la propagation de l'onde de submersion dans les vallées en aval du barrage de la Pikauba et des digues Ouiqui, de Moncouche, de la Coulée-Gagnon et de la Baie-Cascouia. Plusieurs scénarios ont été étudiés : brèche standard sur fond fixe, brèche standard sur fond mobile et effacement total sur fond mobile.

Des cartes représentant l'extension maximale des zones d'inondation ont été réalisées pour chaque ouvrage étudié. Dans le cas du barrage de la Pikauba, les cartes présentent les zones d'inondation comprises entre le futur barrage et le lac Kénogami. La rupture en temps sec du barrage de la Pikauba ne provoquera pas la rupture des ouvrages situés sur le pourtour du lac Kénogami, puisque le niveau d'eau maximal dans ce dernier ne dépassera pas 165,7 m, soit 1 m de moins que le niveau maximal critique de 166,67 m. Il faudra toutefois renforcer les poutrelles et les vannes des ouvrages situés sur le pourtour du lac, car il y aura un léger débordement si les vannes demeurent fermées. Ces travaux font l'objet des études en cours sur l'amélioration des évacuateurs de crues.

En ce qui concerne la digue Ouiqui, les études démontrent qu'une rupture provoquera des inondations dans l'ensemble de la vallée en aval ; il faudra porter une attention particulière à la municipalité d'Hébertville situé à 11 km de la digue. On peut tirer les mêmes conclusions pour la rupture de la digue de la Baie-Cascouia.

Pour ce qui est des digues de Moncouche et de la Coulée-Gagnon, leur rupture provoquera de légères inondations dans la vallée, entre la digue et la rivière toute proche (rivière Chicoutimi et rivière aux Sables, respectivement). Toutefois, ces inondations sont minimales comparativement à celles que provoquerait la rupture des barrages de Portage-des-Roches et Pibrac-Est.

Les cartes en annexe présentent, entre autres, les zones d'inondation délimitées dans le cadre d'études de rupture antérieures portant sur le barrage Pibrac-Est et la digue de Creek Outlet-1, et sur le barrage de Portage-des-Roches. On a également fait l'évaluation sommaire de la rupture des autres ouvrages.

Contributions

Une équipe de spécialistes en hydraulique a été formée pour la réalisation des études de rupture des ouvrages du bassin versant du lac Kénogami. Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur collaboration :

- Madame Annie Rochette, qui a effectué les études de rupture de la digue Ouiqui ;
- Madame Peggy Trousseau, qui a effectué les études de rupture des digues de Moncouche et de la Coulée-Gagnon ;
- Monsieur Andres Mellados, qui a simulé à l'aide du modèle SERUM les niveaux d'eau atteints dans le lac Kénogami ;
- Monsieur Claude Marche, de l'école Polytechnique, qui a effectué les études de rupture de barrage sur fond mobile ;
- Messieurs Marc Fortin et Gilles Thériault, de l'unité Hydraulique et environnement, pour leur aide et leur collaboration habituelle.

Nous tenons aussi à remercier le Centre d'expertise hydrique du Québec du ministère de l'Environnement pour les commentaires formulés sur la version préliminaire du rapport.

Table des matières

Sommaire	i	
Contributions	iii	
Chapitre 1 Introduction	1	
1.1	Objectif de l'étude	1
1.2	Description de la rivière Pikauba	1
1.3	Description du lac Kénogami	2
Chapitre 2 Données de base	3	
2.1	Études antérieures	3
2.2	Cartes topographiques et données géologiques	3
2.3	Relevés bathymétriques	3
2.4	Lignes d'eau et courbes de tarage	4
2.5	Schéma du système hydrique du lac Kénogami	4
2.6	Description des aménagements et caractéristiques des ouvrages	4
2.6.1	Réservoir Pikauba	4
2.6.2	Lac Kénogami	5
2.6.2.1	Digue Ouiqui	5
2.6.2.2	Digue de Moncouche	5
2.6.2.3	Digue de la Coulée-Gagnon	6
2.6.2.4	Digue de la Baie-Cascouia	6
2.7	Caractéristiques d'exploitation	6
2.7.1	Niveaux d'exploitation	6
2.7.2	Courbes d'emmagasinement	6
2.7.3	Modules	7
Chapitre 3 Méthodologie, hypothèses et scénarios de rupture	9	
3.1	Outils de modélisation	9
3.1.1	Modèle DAMBRK	9
3.1.2	Modèle SERUM	9
3.1.3	Modèle GSTARS 2	10
3.2	Définition des hypothèses et des scénarios de rupture	11
3.2.1	Scénarios de rupture en temps sec	11
3.2.1.1	Scénario TS1 – Rupture du barrage de la Pikauba et ses effets à l'aval	12
3.2.1.2	Scénario TS2 – Rupture de la digue Ouiqui et ses effets à l'aval	12

3.2.1.3	Scénario TS3 – Rupture de la digue de Moncouche et ses effets à l'aval.....	12
3.2.1.4	Scénario TS4 – Rupture de la digue de la Coulée-Gagnon et ses effets à l'aval.....	13
3.2.1.5	Scénario TS5 – Rupture de la digue de la Baie-Cascouia et ses effets à l'aval.....	13
3.2.2	Étude sédimentologique en aval des digues Ouiqui, de Moncouche et de la Coulée-Gagnon.....	13
3.2.3	Scénario de rupture en conditions de crue extrême.....	14
3.2.3.1	Analyse statique.....	14
3.2.3.2	Analyse hydrodynamique.....	14
3.3	Description des brèches dans les digues ou les barrages.....	15
3.3.1	En temps sec.....	15
3.3.1.1	Barrage de la Pikauba.....	15
3.3.1.2	Digue Ouiqui.....	15
3.3.1.3	Digue de Moncouche.....	15
3.3.1.4	Digue de la Coulée-Gagnon.....	16
3.3.1.5	Digue de la Baie-Cascouia.....	16
3.3.2	En temps de crue extrême.....	16
3.3.2.1	Barrage de la Pikauba.....	16
3.3.2.2	Ouvrages de retenue du lac Kénogami.....	16
Chapitre 4	Résultats des simulations en temps sec.....	19
4.1	Scénario TS1 – Rupture du barrage de la Pikauba et ses effets en aval.....	19
4.2	Scénario TS2 – Rupture de la digue Ouiqui et ses effets en aval.....	20
4.2.1	Scénario TS2-A – Brèche standard sur fond fixe.....	20
4.2.2	Scénario TS2-B – Effacement local sur fond mobile.....	21
4.2.3	Scénario TS2-C – Effacement total sur fond mobile.....	22
4.2.4	Scénario TS2-D – Brèche standard sur fond mobile.....	23
4.3	Scénario TS3 – Rupture de la digue de Moncouche et ses effets en aval.....	23
4.3.1	Scénario TS3-A – Brèche standard sur fond fixe.....	23
4.3.2	Scénario TS3-B – Brèche standard sur fond mobile.....	24
4.3.3	Scénario TS3-C – Effacement total sur fond mobile.....	25
4.4	Scénario TS4 – Rupture de la digue de la Coulée-Gagnon et ses effets en aval.....	26
4.4.1	Scénario TS4-A – Brèche standard sur fond fixe.....	26
4.4.2	Scénario TS4-B – Brèche standard sur fond mobile.....	27
4.4.3	Scénario TS4-C – Effacement total sur fond mobile.....	28
4.5	Scénario TS5 – Rupture de la digue de la Baie-Cascouia et ses effets en aval.....	28
4.5.1	Scénario TS5-A – Brèche standard sur fond fixe.....	28
4.6	Évaluation sommaire d'une rupture des autres ouvrages.....	29
4.6.1	Barrage Pibrac-Ouest, et digues Pibrac-Est et Pibrac-Ouest.....	29

4.6.2	Digues de Creek Outlet-2 et de Creek Outlet-3.....	30
4.6.3	La digue B de l'aménagement de la Pikauba	30
Chapitre 5	Résultats des études en conditions de crue extrême	31
5.1	Analyse statique du réservoir Pikauba sans rupture d'ouvrage	31
5.2	Analyse statique du lac Kénogami sans rupture d'ouvrage.....	31
5.3	Analyse hydrodynamique du lac Kénogami	31
Chapitre 6	Études antérieures	33
6.1	Étude de rupture du barrage de Portage-des-Roches	33
6.2	Étude de rupture du barrage Pibrac-Est et de la digue de Creek Outlet-1	33
6.2.1	Rupture du barrage Pibrac-Est.....	34
6.2.2	Rupture de la digue de Creek Outlet-1.....	34
6.3	Conclusion concernant les hypothèses des études antérieures	35
6.4	Comparaisons	35
6.4.1	Comparaison entre la rupture de la digue de Moncouche et la rupture du barrage de Portage-des-Roches	35
6.4.2	Comparaison entre la rupture de la digue de la Coulée-Gagnon et la rupture du barrage Pibrac-Est.....	35
Chapitre 7	Cartes et zones d'inondation	37
7.1	Étude de rupture du barrage de la Pikauba.....	37
7.2	Étude de rupture de la digue Ouiqui.....	38
7.3	Étude de rupture de la digue de Moncouche.....	38
7.4	Étude de rupture de la digue de la Coulée-Gagnon	39
7.5	Étude de rupture de la digue de la Baie-Cascouia	39
Références	41
Annexe A	Zones d'inondation en aval du barrage de la Pikauba	
Annexe B	Zones d'inondation en aval de la digue Ouiqui	
Annexe C	Zones d'inondation en aval de la digue de Moncouche	
Annexe D	Zones d'inondation en aval de la digue de la Coulée-Gagnon	
Annexe E	Zones d'inondation en aval de la digue de la Baie-Cascouia	
Annexe F	Zones d'inondation en aval du barrage Pibrac-Est et de la digue de Creek Outlet-1	
Annexe G	Zones d'inondation en aval du barrage de Portage-des-Roches	

Liste des cartes

- Carte 1 Étude de rupture en temps sec – Zones d'inondation et caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion – Barrage de la Pikauba
- Carte 2 Étude de rupture en temps sec – Zones d'inondation et caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion – Digue Ouiqui
- Carte 3 Étude de rupture en temps sec – Zones d'inondation et caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion – Digue de Moncouche
- Carte 4 Étude de rupture en temps sec – Zones d'inondation et caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion – Digue de la Coulée-Gagnon
- Carte 5 Étude de rupture en temps sec – Zones d'inondation et caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion – Digue de la Baie-Cascouia
- Carte 6 Étude de rupture en temps sec – Zones d'inondation et caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion – Barrage Pibrac-Est et digue de Creek Outlet-1
- Carte 7 Étude de rupture en temps sec – Zones d'inondation et caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion – Barrage de Portage-des-Roches

Liste des figures

- Figure 2.1 Emplacement des ouvrages
- Figure 2.2 Digue Ouiqui
- Figure 2.3 Digue de Moncouche
- Figure 2.4 Digue de la Coulée-Gagnon
- Figure 2.5 Emplacement du futur barrage de la Pikauba
- Figure 2.6 Réservoir Pikauba – Courbe d’emmagasinement
- Figure 2.7 Lac Kénogami – Courbe d’emmagasinement
- Figure 3.1 Rupture du barrage de la Pikauba – Détail de la brèche
- Figure 3.2 Rupture de la digue Ouiqui – Détail de la brèche
- Figure 3.3 Rupture de la digue de Moncouche – Détail de la brèche
- Figure 3.4 Rupture de la digue de la Baie-Cascouia – Détail de la brèche
- Figure 4.1 Rupture de la digue de la Coulée-Gagnon – Détail de la brèche
- Figure 4.2 Scénario TS1 : Rupture en temps sec du barrage de la Pikauba – Profils longitudinaux des niveaux d’eau initial et maximal dans le tronçon aval de la rivière Pikauba
- Figure 4.3 Scénario TS1 : Rupture en temps sec du barrage de la Pikauba – Hydrogrammes en divers points d’intérêt du tronçon aval de la rivière Pikauba
- Figure 4.4 Scénario TS1 : Rupture en temps sec du barrage de la Pikauba – Limnigrammes en divers points d’intérêt du tronçon aval de la rivière Pikauba
- Figure 4.5 Scénario TS2-A : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Profil longitudinal des niveaux d’eau initial et maximal en aval
- Figure 4.6 Scénario TS2-A : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Hydrogrammes en divers points d’intérêt en aval
- Figure 4.7 Scénario TS2-A : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Limnigrammes en divers points d’intérêt en aval
- Figure 4.8 Scénario TS2-B : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Hydrogrammes en divers points d’intérêt en aval
- Figure 4.9 Scénario TS2-B : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Limnigrammes en divers points d’intérêt en aval
- Figure 4.10 Scénario TS2-C : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Hydrogrammes en divers points d’intérêt en aval
- Figure 4.11 Scénario TS2-C : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Limnigrammes en divers points d’intérêt en aval
- Figure 4.12 Scénario TS3-A : Rupture en temps sec de la digue de Moncouche – Profils longitudinaux des niveaux d’eau initial et maximal en aval
- Figure 4.13 Scénario TS3-A : Rupture en temps sec de la digue de Moncouche – Hydrogrammes en divers points d’intérêt entre la digue et la rivière Chicoutimi

- Figure 4.14 Scénario TS3-A : Rupture en temps sec de la digue de Moncouche – Limnigrammes en divers points d'intérêt entre la digue et la rivière Chicoutimi
- Figure 4.15 Scénario TS3-B : Rupture en temps sec de la digue de Moncouche – Comparaison, hydrogrammes et limnigrammes en cas de brèche standard sur fond fixe et de brèche standard sur fond mobile
- Figure 4.16 Scénario TS3-C : Rupture en temps sec de la digue de Moncouche – Comparaison, hydrogrammes et limnigrammes en cas d'effacement total sur fond fixe et d'effacement total sur fond mobile
- Figure 4.17 Scénario TS4-A : Rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon – Profil longitudinal des niveaux d'eau initial et maximal dans la vallée en aval
- Figure 4.18 Scénario TS4-A : Rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon – Hydrogramme à la digue
- Figure 4.19 Scénario TS4-A : Rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon – Limnigrammes en divers points d'intérêt entre la digue et la rivière aux Sables
- Figure 4.20 Scénario TS4-B : Rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon – Hydrogramme à la digue
- Figure 4.21 Scénario TS4-C : Rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon – Hydrogramme à la digue
- Figure 4.22 Scénario TS5-A : Rupture en temps sec de la digue de la Baie-Cascouia – Profil longitudinal des niveaux d'eau initial et maximal entre la digue et le lac Kénogamichiche
- Figure 4.23 Scénario TS5-A : Rupture en temps sec de la digue de la Baie-Cascouia – Hydrogrammes en divers points d'intérêt en aval
- Figure 4.24 Scénario TS5-A : Rupture en temps sec de la digue de la Baie-Cascouia – Limnigrammes en divers points d'intérêt en aval
- Figure 5.1 Hydrogramme de CMP d'été-automne dans le réservoir Pikauba – Laminage statique – Sans rupture
- Figure 5.2 Hydrogramme de CMP de printemps dans le réservoir Pikauba – Laminage statique – Sans rupture
- Figure 5.3 Hydrogramme de CMP d'été-automne dans le lac Kénogami – Laminage statique – Sans rupture
- Figure 5.4 Hydrogramme de CMP de printemps dans le lac Kénogami – Laminage statique – Sans rupture
- Figure 5.5 Points de calcul du niveau d'eau maximal dans le lac Kénogami
- Figure 5.6 Rupture en temps sec du barrage de la Pikauba – Simulation hydrodynamique du niveau d'eau dans le lac Kénogami à l'aide du modèle SERUM

Liste des tableaux

- Tableau 2.1 Principales caractéristiques des ouvrages
- Tableau 2.2 Caractéristiques d'exploitation des aménagements
- Tableau 3.1 Description des brèches dans les ouvrages
- Tableau 4.1 Scénario TS1 : Rupture en temps sec du barrage de la Pikauba – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion dans le tronçon aval
- Tableau 4.2 Scénario TS1 : Rupture en temps sec du barrage de la Pikauba – Niveau d'eau maximal atteint dans le lac Kénogami – Analyse hydrodynamique
- Tableau 4.3 Scénario TS2-A : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion en aval
- Tableau 4.4 Scénario TS2-B : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion en aval
- Tableau 4.5 Scénario TS2-C : Rupture en temps sec de la digue Ouiqui – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion en aval
- Tableau 4.6 Scénario TS3-A : Rupture en temps sec de la digue de Moncouche – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion en aval
- Tableau 4.7 Scénario TS3-B : Rupture en temps sec de la digue de Moncouche – Hydrogramme et limnigramme à la digue
- Tableau 4.8 Scénario TS4-A : Rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion en aval
- Tableau 4.9 Scénario TS4-B : Rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon – Hydrogramme à la digue
- Tableau 4.10 Scénario TS5-A : Rupture en temps sec de la digue de la Baie-Cascouia – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion entre la digue et le lac Kénogamichiche
- Tableau 4.11 Scénario TS5-A : Rupture en temps sec de la digue de la Baie-Cascouia – Caractéristiques hydrauliques de l'onde de submersion entre le lac Kénogamichiche et le lac Saint-Jean
- Tableau 4-12 Comparaison des valeurs maximales obtenues par suite de la rupture des digues Ouiqui et de la Baie-Cascouia
- Tableau 5.1 Niveau d'eau maximal dans le lac Kénogami en condition de CMP de printemps – Analyse hydrodynamique

Chapitre 1 Introduction

1.1 Objectif de l'étude

Le présent rapport présente les résultats des études de rupture concernant l'aménagement de la Pikauba et les ouvrages situés sur le pourtour du lac Kénogami. Le mandat confié à l'unité Hydraulique et environnement de la direction – Expertise et support technique de production comprend :

- l'analyse de la rupture en temps sec du barrage de la Pikauba et de ses conséquences en aval ;
- l'analyse de la rupture en temps sec des digues Ouiqui, de Moncouche, de la Coulée-Gagnon et de la Baie-Cascouia, situées sur le pourtour du lac Kénogami, et des conséquences en aval ;
- l'évaluation sommaire de la rupture de divers ouvrages situés sur le pourtour du lac Kénogami — digues de Creek Outlet-2 et de Creek Outlet-3, digues Pibrac-Est et Pibrac-Ouest, barrage Pibrac-Ouest —, et de la digue B de l'aménagement de la Pikauba ;
- l'analyse des débits de crue extrême et de leurs effets dans le réservoir Pikauba et le lac Kénogami.

1.2 Description de la rivière Pikauba

La rivière Pikauba, au même titre que la rivière Cyriac, alimente le lac Kénogami. Le futur barrage de la Pikauba sera situé à environ 30 km en amont du lac Kénogami, et sa superficie au niveau maximal normal d'exploitation sera d'environ 20 km².

La rivière Pikauba est parsemée de rapides, son niveau passant de 380 à 164 m sur une trentaine de kilomètres. La Petite rivière Pikauba, la rivière aux Écorces ainsi que le ruisseau L'Abbé sont des tributaires de la rivière Pikauba, dont les points de confluence se situent respectivement à 4, à 20 et à 22 km en aval du futur barrage. Le module de la rivière Pikauba est d'environ 20 m³/s au barrage, tandis que le module de la rivière aux Écorces est d'environ 34 m³/s à son embouchure dans la rivière Pikauba.

1.3 Description du lac Kénogami

Situé à l'intérieur de la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean, le lac Kénogami est alimenté par des tributaires qui prennent leur source dans la réserve faunique des Laurentides. Ce réservoir a été créé par la construction de trois barrages et de neuf digues : le barrage de Portage-des-Roches est aménagé sur la rivière Chicoutimi, les barrages Pibrac-Est et Pibrac-Ouest s'élèvent sur la rivière aux Sables, enfin, les digues Ouiqui, de la Baie-Cascouia, de la Coulée-Gagnon, Pibrac-Est, Pibrac-Ouest, de Creek Outlet-1, de Creek Outlet-2, de Creek Outlet-3 et de Moncouche sont situées sur le pourtour du lac Kénogami. Le bassin versant du lac Kénogami a une superficie d'environ 3 409 km². En aval, les rivières Chicoutimi et aux Sables en constituent les exutoires. Les débits de la rivière aux Sables, qui traverse la ville de Jonquière, sont régularisés par les deux barrages Pibrac, et ceux de la rivière Chicoutimi, qui traverse la ville du même nom, sont régularisés par le barrage de Portage-des-Roches.

Chapitre 2 Données de base

2.1 Études antérieures

Une étude de rupture du barrage de Portage-des-Roches a été menée par le ministère de l'Environnement du Québec (Québec, 1990), une étude de rupture du barrage Pibrac-Est et de la digue de Creek Outlet-1 a été réalisée par la firme Tecsumt et le Groupe Conseil Saguenay (Tecsumt et GCS, 1994), enfin, une autre étude de rupture du barrage de Portage-des-Roches a été effectuée par le service Hydraulique d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 1992).

2.2 Cartes topographiques et données géologiques

Des cartes topographiques à échelle de 1:50 000 et de 1:20 000 ont été utilisées.

Pour les études de la rivière Pikauba, les feuillets à échelle de 1:20 000 qui ont été utilisés sont les suivants : 22D06 200 0101, 22D03 200 0101, 22D03 200 0201 et 22D03 200 0202.

Pour les études de rupture des digues Ouiqui et de la Baie-Cascouia, les feuillets 22D05 200 0102, 22D05 200 0202 et 22D05 200 0201 ont été utilisés.

Finalement, pour les études de rupture des digues de Moncouche et de la Coulée-Gagnon, les feuillets 22D06 200 0101 et 22D06 200 0102 ont été utilisés.

Les relevés géologiques proviennent des études géologiques et géotechniques effectuées par les Laboratoires S.L. Inc. en 2000. Les tomes 1, 3, 4 et 5 ont été consultés (Laboratoires SL, 2000a, 2000b, 2000c et 2000d).

2.3 Relevés bathymétriques

Les cartes bathymétriques du lac Kénogami avec isocontours à intervalles de 1 m et de 5 m qui ont servi pour les études hydrodynamiques proviennent de l'unité Géomatique, relevés techniques et gestion des données (Hydrométrie). Cette carte à échelle de 1:25 000 date d'octobre 2000.

De plus, les sections bathymétriques relevées en septembre 2000 entre le PK 0 et le PK 29 de la rivière Pikauba ont été utilisées pour les calculs de l'onde de submersion.

2.4 Lignes d'eau et courbes de tarage

Deux lignes d'eau ont été utilisées pour les études de rupture du barrage de la Pikauba. Il s'agit des lignes d'eau LDO-01 et LDO-02 relevées par Hydrométrie en août 2000.

2.5 Schéma du système hydrique du lac Kénogami

L'emplacement des ouvrages situés sur le pourtour du lac Kénogami est présenté à la figure 2.1. Il est à noter que le lac Kénogami alimente les rivières Chicoutimi et aux Sables, où se situent des centrales des sociétés Abitibi Consolidated et Alcan ainsi que des centrales d'Hydro-Québec.

Sur la rivière Chicoutimi, les barrages de Pont-Arnaud et de la Chute-Garneau, dont les centrales sont désaffectées, appartiennent à Hydro-Québec. Pour leur part, les centrales de la Chute-Blanchette et de Chicoutimi appartiennent respectivement aux sociétés Elkem Métal Canada et Abitibi Consolidated.

Sur la rivière aux Sables, la centrale de Jonquière ainsi que la centrale de la Chute-Besy (actuellement désaffectée) située au nord-est de l'usine Kénogami appartiennent à la société Abitibi Consolidated. La Ville de Jonquière est propriétaire de la centrale de Jonquière n° 1.

2.6 Description des aménagements et caractéristiques des ouvrages

2.6.1 Réservoir Pikauba

La création d'un réservoir sur la rivière Pikauba, en amont du lac Kénogami, comprend la construction d'un barrage d'environ 45 m de hauteur et de deux digues. Le réservoir aura, au niveau maximal normal d'exploitation de 418,5 m, une superficie de 20 km². Toutefois, en crue extrême, le réservoir pourra atteindre la cote 425,5.

L'aménagement de la Pikauba comprend un barrage en enrochement zoné avec noyau central en moraine. Ce barrage de 300 m de longueur est prolongé en rive gauche par la digue A, d'une longueur de 362 m. La crête de l'ouvrage est à la cote 427,5 (voir la figure 2.5). Les dimensions du barrage proviennent du dessin numéro 6543-70040-003-010-HQ0.

L'ouvrage de régulation est muni de deux pertuis de fond présentant chacun une ouverture de 8 m². Le seuil des vannes est à la cote 383.

La digue B est un ouvrage en remblai qui mesure 610 m de longueur, et dont la crête est à la cote 427,5. Cette digue, qui est située au sud-est du barrage, fait l'objet du dessin numéro 6543-70040-004-010-HQ0.

2.6.2 Lac Kénogami

2.6.2.1 Digue Ouiqui

La digue Ouiqui ferme l'extrémité ouest du lac Kénogami. Elle sépare le bassin versant du lac Kénogami du bassin versant de la Belle Rivière, qui se jette dans le lac Saint-Jean. Une série de lacs situés en aval de la digue — lac Ouiqui, lac à Louis, lac Kénogamichiche et lac Vert — se déversent dans la Belle Rivière (voir la figure 2.2).

À l'origine, on n'avait pas prévu d'ouvrage de fermeture dans ce secteur puisque le terrain composé de sable et de gravier avait été jugé suffisamment haut. Lors du remplissage du réservoir, en 1924, de nombreuses résurgences et des rehaussements de lacs se sont produits du côté aval de la fermeture naturelle, dans le secteur du lac à Louis. Un glissement de terrain s'est produit sur la rive nord du lac à Louis. Le niveau du lac Kénogami avait été maintenu à la cote 160,2 à l'aide du barrage temporaire à Pibrac-Est. En 1924, des forages ont démontré que les 18 premiers mètres de mort-terrain sous le niveau du lac à Louis sont constitués de sable. Les sondages n'ont pas permis d'atteindre le socle rocheux (Hydro-Québec, 2001).

En 1925, l'extrémité ouest de la baie du lac Kénogami a été remplie de terre. La digue actuelle fait 360 m de longueur et 18 m de hauteur. La crête est actuellement à la cote 166,9. Cette digue permet d'accéder à une rampe de mise à l'eau et à la route de terre qui longe le lac Kénogami au sud.

La réfection de la digue Ouiqui se fera comme suit. Dans un premier temps, on décavera la crête jusqu'à la cote 165,9, et le parement amont sur une épaisseur de 1,5 m, jusqu'à la cote 162. On élèvera ensuite la crête jusqu'à la cote 168,67, puis on compactera la partie amont de la digue et on ajoutera de l'enrochement de protection. De plus, on améliorera le drainage par l'installation de puits de décharge dans la région du lac à Louis. Les dimensions de la digue Ouiqui proviennent du dessin numéro 6447-70040-010-010-HQ0.

2.6.2.2 Digue de Moncouche

La digue de Moncouche a été construite en 1924 à l'extrémité est du lac Kénogami afin d'assurer la fermeture d'une vallée à cet endroit. D'une hauteur maximale de 7,6 m, c'est un ouvrage en remblai comportant comme écran d'étanchéité partiel un mur central en béton prolongé, en profondeur, par un rideau de palplanches. Les fondations seraient principalement constituées de matériaux granulaires perméables. La longueur de la digue est 181 m, et sa crête est actuellement à la cote 166,95. Cette dernière sera toutefois rehaussée jusqu'à la cote 168,67 et le drainage, amélioré par l'ajout de puits de décharge au pied de la digue. Les dimensions de la digue proviennent du dessin numéro 6447-70040-007-010-HQ0 (voir la figure 2.3).

2.6.2.3 Digue de la Coulée-Gagnon

La digue de la Coulée-Gagnon a été construite en 1924 à l'ouest du barrage Pibrac-Ouest. D'une hauteur maximale de 7,9 m c'est un ouvrage en remblai comportant comme écran d'étanchéité partiel un mur central en béton prolongé en profondeur par un rideau de palplanches. Les fondations seraient principalement constituées de roc, de matériaux granulaires ou d'argile avec blocs (voir la figure 2.4). La longueur de la digue est de 153 m, et sa crête est actuellement à la cote 166,61. Cette dernière sera toutefois rehaussée jusqu'à la cote 168,17. Les dimensions de la digue proviennent du dessin numéro 6447-70040-004-010-HQ0.

Le chemin du Quai passe directement sur la crête de l'ouvrage.

2.6.2.4 Digue de la Baie-Cascouia

La digue de la Baie-Cascouia est un ouvrage en béton de type poids d'une hauteur maximale d'environ 14,9 m par rapport à sa fondation rocheuse décapée. Sa longueur en crête est de 80,2 m. La crête de l'ouvrage, qui est maintenant à la cote 167,41, sera rehaussée jusqu'à la cote 168,17. Les dimensions de la digue proviennent du dessin numéro 6447-70040-003-010-HQ0.

2.7 Caractéristiques d'exploitation

2.7.1 Niveaux d'exploitation

Les niveaux d'exploitation du réservoir Pikauba et du lac Kénogami ont été fournis par l'unité Conception des aménagements de production hydraulique et géotechnique d'Hydro-Québec Ingénierie, approvisionnement et construction. Les niveaux d'exploitation maximal normal et maximal critique sont présentés au tableau 2.2.

2.7.2 Courbes d'emmagasinement

Les courbes d'emmagasinement du réservoir Pikauba et du lac Kénogami ont été fournies par l'unité Conception des aménagements de production hydraulique et géotechnique d'Hydro-Québec Ingénierie, approvisionnement et construction et sont présentées aux figures 2.6 et 2.7.

2.7.3 Modules

Les modules utilisés pour cette étude proviennent de l'unité Conception des aménagements de production hydraulique et géotechnique d'Hydro-Québec Ingénierie, approvisionnement et construction. Le module de la rivière Pikauba à la hauteur du futur barrage est de 19,6 m³/s, le module de la rivière Chicoutimi à la sortie de l'ouvrage de Portage-des-Roches est de 49,8 m³/s, enfin, le module de la rivière aux Sables à la sortie des ouvrages Pibrac-Est et Pibrac-Ouest est de 26,1 m³/s. En ce qui concerne le débit de la rivière aux Écorces à son embouchure dans la rivière Pikauba, il est de 33,7 m³/s.

Chacun des débits intermédiaires provenant des petits lacs en aval des digues Ouiqui, de Moncouche, de la Coulée-Gagnon et de la Baie-Cascouia est estimé à moins de 10 m³/s.

Chapitre 3 Méthodologie, hypothèses et scénarios de rupture

3.1 Outils de modélisation

3.1.1 Modèle DAMBRK

Le modèle DAMBRK est actuellement l'outil le plus utilisé pour effectuer le calcul de l'hydrogramme de rupture à une brèche et de la propagation de l'onde de submersion dans la vallée en aval. Ce modèle a été développé par D.L. Fread en 1984 pour le National Weather Service des États-Unis. Il permet de simuler une rivière comportant plusieurs barrages et de faire le calcul en cascade de l'onde de submersion. La notion de temps de propagation est prise en compte dans tous les calculs. Cet outil permet de modéliser la formation de la brèche et d'évaluer le débit maximal de rupture, d'ajuster le niveau du réservoir, enfin, de simuler la propagation, en fonction du temps, du débit de rupture dans la vallée. Il tient compte des conditions limites à l'aval du tronçon à l'étude.

Pour réaliser les simulations de rupture, le spécialiste doit définir différents paramètres du tronçon étudié : courbe d'emmagasinement, hydrogramme des apports dans le réservoir, barrages sur la rivière de l'amont vers l'aval, etc. Tous ces paramètres sont incorporés à la modélisation unidimensionnelle de la rivière et de la vallée par l'intermédiaire de sections transversales généralement déterminées à partir de cartes topographiques et bathymétriques.

Les résultats sont fournis en trois volets. Le premier volet présente la formation de la brèche et la vidange du réservoir. Le deuxième volet résume les valeurs maximales atteintes pour les variables de débit, de niveau d'eau et de vitesse d'écoulement en fonction du temps de propagation de l'onde de submersion. Pour des sections prédéterminées, le troisième et dernier volet fournit le niveau d'eau et le débit atteints à chaque instant durant toute la période de la simulation et les représente graphiquement.

3.1.2 Modèle SERUM

Le modèle SERUM (Système d'évaluation des ruptures multiples) a été développé durant les années 1993 et 1994 par le professeur Claude Marche de l'École Polytechnique de Montréal, en collaboration avec des ingénieurs d'Hydro-Québec. Le but visé était de répondre le plus fidèlement possible aux besoins spécifiques des études de sécurité des aménagements hydroélectriques avec des réservoirs et plusieurs digues, notamment pour l'étude des aménagements du complexe La Grande. Il complète le modèle DAMBRK, notamment lorsqu'il est nécessaire de faire une simulation bidimensionnelle. La fiabilité des prévisions de rupture des cas plus complexes est alors augmentée.

Le modèle SERUM comporte trois fonctions principales utilisables simultanément ou indépendamment l'une de l'autre :

- SERUM 0 : modèle de calcul des séquences de rupture des digues et des barrages par la technique des bilans appliqués au réservoir ;
- SERUM 1 : modèle de calcul des séquences de rupture des digues et des barrages par une simulation unidimensionnelle dynamique des écoulements dans le réservoir ;
- SERUM 2 : modèle dynamique de calcul complet des écoulements et des ruptures dans un réservoir, fondé sur une approche bidimensionnelle horizontale.

Dans le cadre d'une étude de rupture spécifique, le spécialiste peut recourir aux trois fonctions de SERUM ou ne retenir que celles qui nécessitent les hypothèses les mieux adaptées à l'application. Plusieurs critères ont été identifiés, lors d'études antérieures, comme étant les facteurs importants à considérer dans le choix de la fonction à utiliser : les dimensions du réservoir, la forme du réservoir, la présence d'îles, le positionnement des digues sur le pourtour du réservoir, etc. Dans la simulation des lacs et des réservoirs, le modèle SERUM 2 montre une meilleure précision que le modèle DAMBRK pour évaluer le laminage réel, puisqu'il tient compte des îles et des conditions de déversement aux exutoires.

Le système SERUM requiert plusieurs données concernant le réservoir étudié :

- la bathymétrie du réservoir ou sa courbe d'emmagasinement ;
- les caractéristiques du barrage et des digues sur le pourtour du réservoir ;
- l'hydrogramme d'entrée dans le réservoir pour toute la durée de la simulation.

Les résultats des simulations permettent de connaître :

- l'évolution des niveaux d'eau dans le réservoir en fonction du temps ;
- l'évolution des vitesses d'écoulement dans le réservoir en fonction du temps ;
- le temps de rupture des digues et du barrage où une rupture est admise ;
- l'hydrogramme de rupture à chaque digue et au barrage où une rupture est admise

3.1.3 Modèle GSTARS 2

Le modèle GSTARS 2, qui signifie *Generalized Stream Tube model for Alluvial River Simulation*, est un modèle unidimensionnel qui a été développé par Molinas et Yang pour le USBR (United States Bureau of Reclamation) afin de simuler les conditions d'écoulement d'une rivière alluviale en y intégrant les calculs de transport de sédiments. Dans un premier temps, il effectue le calcul de courbe de remous en utilisant les équations d'énergie et de mouvement. Ensuite il effectue le calcul de transport de sédiments en utilisant la méthode dite de *Stream tubes*. (c.-à-d. lorsque la courbe de remous est calculée, le périmètre mouillé est divisé en sections de débitance égale.)

Le modèle GSTARS 2 présente les capacités suivantes :

- il effectue le calcul de courbes de remous en conditions torrentielles, fluviales et mixtes ;
- il calcule les paramètres hydrauliques en considérant des conditions frontières fixes ou en mouvement ;
- il peut simuler les variations hydrauliques et sédimentaires dans les directions longitudinale et transversale ;
- il peut simuler les changements du profil de terrain, même lorsque la largeur du chenal varie d'un endroit à l'autre.

Dans un premier temps, le modèle GSTAR a été développé comme modèle hydraulique de transport de sédiments pour simuler les changements morphologiques d'une rivière. Le modèle GSTAR 2 constitue une amélioration par rapport au premier modèle. GSTARS 2 est un modèle qui tient compte des conditions d'écoulement dans un chenal à fond fixe ou à fond mobile. Il simule le transport de sédiments. Il peut simuler des régimes d'écoulement mixte, des transports de sédiments avec et sans cohésion, et tenir compte des changements de profondeur et de largeur du terrain.

3.2 Définition des hypothèses et des scénarios de rupture

Les ouvrages pour lesquels une analyse détaillée de rupture a été effectuée sont le barrage de la Pikauba et les digues Ouiqui, de Moncouche, de la Coulée-Gagnon et de la Baie-Cascauia. Pour ces ouvrages, les scénarios décrits ci-dessous ont été retenus.

Une évaluation sommaire de rupture a été effectuée pour le barrage Pibrac-Ouest, pour les digues Pibrac-Est et Pibrac-Ouest, pour les digues de Creek Outlet-2 et de Creek Outlet-3 et pour la digue B de l'aménagement de la Pikauba. Les résultats sont présentés à la section 4.6 du présent rapport.

3.2.1 Scénarios de rupture en temps sec

Dans ce type d'étude, il faut considérer la rupture individuelle de chacun des ouvrages et évaluer les effets d'une rupture hypothétique dans la partie de hauteur maximale de la digue ou du barrage. Toutes les vannes doivent être considérées comme fermées au moment de la rupture. Le débit de base de la rivière à prendre en compte dans les calculs est le débit moyen annuel. Cette rupture se fait dans des conditions normales d'exploitation. Ces hypothèses conduisent à la définition des scénarios qui suivent.

3.2.1.1 Scénario TS1 – Rupture du barrage de la Pikauba et ses effets à l’aval

Le scénario TS1 porte sur la rupture instantanée du barrage de la Pikauba dans la partie de hauteur maximale avec évaluation des effets en aval dans la vallée de la rivière Pikauba.

3.2.1.2 Scénario TS2 – Rupture de la digue Ouiqui et ses effets à l’aval

Scénario TS2-A – Brèche standard sur fond fixe : Le scénario TS2-A porte sur la rupture instantanée de la digue Ouiqui avec évaluation des effets en aval dans la vallée de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. La largeur de la brèche est égale à quatre fois sa hauteur. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche ne s’érode pas est retenue.

Scénario TS2-B – Effacement local sur fond mobile : Le scénario TS2-B porte sur la rupture instantanée de la digue Ouiqui avec évaluation des effets en aval dans la vallée de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. Il y a un affaissement de 1 m au centre de la digue. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche s’érode est retenue.

Scénario TS2-C – Effacement total sur fond mobile : Le scénario TS2-C porte sur la rupture instantanée de la digue Ouiqui, soit l’effacement total de la digue jusqu’au terrain naturel, avec évaluation des effets en aval dans la vallée de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche s’érode est retenue.

Scénario TS2-D – Brèche standard sur fond mobile : Le scénario TS2-D porte sur la rupture instantanée de la digue Ouiqui avec évaluation des effets en aval dans la vallée de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. La largeur de la brèche est égale à quatre fois sa hauteur. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche s’érode est retenue.

3.2.1.3 Scénario TS3 – Rupture de la digue de Moncouche et ses effets à l’aval

Scénario TS3-A – Brèche standard sur fond fixe : Le scénario TS3-A porte sur la rupture instantanée de la digue de Moncouche avec évaluation des effets en aval entre la digue et la rivière Chicoutimi. La largeur de la brèche est égale à quatre fois sa hauteur. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et la rivière Chicoutimi ne s’érode pas est retenue.

Scénario TS3-B – Brèche standard sur fond mobile : Le scénario TS3-B porte sur la rupture instantanée de la digue de Moncouche avec évaluation des effets en aval entre la digue et la rivière Chicoutimi. La largeur de la brèche est égale à quatre fois sa hauteur. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et la rivière Chicoutimi s’érode est retenue.

Scénario TS3-C – Effacement total sur fond mobile : Le scénario TS3-C porte sur la rupture instantanée de la digue de Moncouche, soit l’effacement total de la digue jusqu’au terrain naturel, avec évaluation des effets en aval. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et la rivière Chicoutimi s’érode est retenue.

3.2.1.4 Scénario TS4 – Rupture de la digue de la Coulée-Gagnon et ses effets à l’aval

Scénario TS4-A – Brèche standard sur fond fixe : Le scénario TS4-A porte sur la rupture instantanée de la digue de la Coulée-Gagnon avec évaluation des effets en aval entre la digue et la rivière aux Sables. La largeur de la brèche est égale à quatre fois sa hauteur. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et la rivière aux Sables ne s’érode pas est retenue.

Scénario TS4-B – Brèche standard sur fond mobile : Le scénario TS4-B porte sur la rupture instantanée de la digue de la Coulée-Gagnon avec évaluation des effets en aval entre la digue et la rivière aux Sables. La largeur de la brèche est égal à quatre fois sa hauteur. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et la rivière aux Sables s’érode est retenue.

Scénario TS4-C – Effacement total sur fond mobile : Le scénario TS4-C porte sur la rupture instantanée de la digue de la Coulée-Gagnon, soit l’effacement total de la digue jusqu’au terrain naturel, avec évaluation des effets en aval. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le la rivière aux Sables s’érode est retenue.

3.2.1.5 Scénario TS5 – Rupture de la digue de la Baie-Cascouia et ses effets à l’aval

Scénario TS5-A – Brèche standard sur fond fixe : Le scénario TS5-A porte sur la rupture instantanée de la digue de la Baie-Cascouia avec évaluation des effets en aval dans la vallée de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. La largeur de la brèche est égale à quatre fois sa hauteur. L’hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche ne s’érode pas est retenue.

Les scénarios de rupture sur fond mobile n’ont pas été étudiés, car la cartographie géologique réalisée à la digue a montré que les deux appuis de la digue sont constitués de roc recouvert d’une mince couche de till.

3.2.2 Étude sédimentologique en aval des digues Ouiqui, de Moncouche et de la Coulée-Gagnon

Le terrain naturel en aval des digues Ouiqui, de Moncouche et de la Coulée-Gagon est composé de sable, de matériaux granulaires ou d’argile. Dans tous les cas, le sol est donc érodable. Il est donc nécessaire de vérifier la brèche que l’érosion pourrait ouvrir dans la digue et de tenir compte de l’influence de la vallée en aval.

On a traité ce problème en couplant un modèle hydraulique d’écoulement avec un modèle d’évolution sédimentologique, puis en utilisant ce nouvel outil dans une procédure itérative de résolution. Le résultat de la simulation comporte l’hydrogramme de rupture à l’ouvrage et l’évolution, en fonction du temps, de la géométrie de la brèche et de la vallée.

3.2.3 Scénario de rupture en conditions de crue extrême

Il s'agit de déterminer s'il y a possibilité de rupture d'un ouvrage en présence de la crue de sécurité, en l'occurrence, la crue maximale probable (CMP). Compte tenu que les ouvrages de l'aménagement de la Pikauba sont tous conçus pour résister à la CMP, aucun scénario de rupture n'est prévu. Pour l'évaluation des conséquences à l'aval, on suppose qu'en période de forte crue les vannes d'évacuation de ce réservoir sont grandes ouvertes, tandis que pour les ouvrages en aval (les ouvrages du lac Kénogami) il faut respecter les règles de gestion de l'aménagement. Entre autres, le niveau d'eau maximal permis au lac Kénogami au moment du passage d'une CMP est de 166,67 m, tandis que le débit maximal déversé aux ouvrages d'évacuation est limité à 2 400 m³/s.

Pour ce type d'étude, puisque plusieurs d'hydrogramme de CMP sont disponibles, nous considérons le pire cas de CMP pour le réservoir Pikauba et le lac Kénogami. Dans un premier temps, il faut donc analyser le pire cas de CMP dans le réservoir Pikauba et évaluer les effets en aval. Dans un deuxième temps, il faut analyser le pire cas de CMP dans le lac Kénogami et évaluer les effets en aval, tout en y incluant les débits provenant du réservoir Pikauba.

Le scénario considéré porte sur le laminage de la CMP dans le réservoir Pikauba avec utilisation des ouvrages d'évacuation à 100 % de leur capacité. On étudiera les ouvrages du lac Kénogami en respectant les règles de gestion. Les étapes à suivre pour ce scénario sont les suivantes :

- analyse statique dans le réservoir Pikauba pour déterminer l'hydrogramme sortant ;
- laminage de l'hydrogramme entre le réservoir Pikauba et le lac Kénogami ;
- analyse statique du lac Kénogami pour déterminer s'il y a rupture de digue ou de barrage ;
- analyse hydrodynamique 2-D du lac Kénogami pour déterminer s'il y a rupture ainsi que la séquence de rupture.

3.2.3.1 Analyse statique

Dans un premier temps, une analyse statique du lac Kénogami est nécessaire pour déterminer s'il y a rupture des digues ou des barrages situés sur le pourtour. Il s'agit d'évaluer, en fonction du temps, les niveaux d'eau qui correspondent au débit de CMP parvenant au lac. On peut, en tenant compte de la capacité d'évacuation des ouvrages et du volume d'emmagasinement, calculer l'hydrogramme sortant, soit à l'aide d'un chiffrier tel que MicroSoft Excel ou d'un logiciel de modélisation du laminage comme, par exemple, SSARR.

3.2.3.2 Analyse hydrodynamique

À l'aide d'un modèle 2-D (modèle SERUM), on peut calculer la séquence de rupture et les hydrogrammes de chaque rupture. Ce modèle tient compte non seulement des niveaux d'eau permis dans le réservoir et du volume d'emmagasinement, mais aussi de la bathymétrie dans le réservoir et de la distance entre chaque ouvrage.

3.3 Description des brèches dans les digues ou les barrages

3.3.1 En temps sec

On pose l'hypothèse que le réservoir est au niveau maximal d'exploitation et que la rupture a lieu à l'ouvrage de tête du tronçon modélisé. On suppose également qu'une brèche standard se forme dans la partie de hauteur maximale de l'ouvrage, que la profondeur de la brèche est égale à cette hauteur et que sa largeur est égale à quatre fois sa profondeur. On suppose enfin que l'ouverture complète d'une brèche se fait beaucoup plus rapidement dans un ouvrage en béton (0,1 h) que dans un ouvrage en remblai (0,5 h).

3.3.1.1 Barrage de la Pikauba

La brèche se forme dans la partie de hauteur maximale du barrage. La hauteur maximale du barrage est de 42 m. La section équivalente qui a été utilisée se présente comme suit :

- entre les cotes 395 et 410, la pente des parois de la brèche suit le terrain naturel et la largeur à la base est de 88,1 m ;
- entre les cotes 410 et 427,5, la pente des parois est de 1 H : 1 V. La largeur de la brèche à la crête est de 250 m (voir la figure 3.1).

3.3.1.2 Digue Ouiqui

La brèche se forme dans la partie de hauteur maximale de la digue. Sa profondeur, qui va jusqu'à la cote 160, est de 8,67 m, et sa largeur à la base, de 35 m. Compte tenu qu'il s'agit d'une digue composée de matériaux fins, la pente des parois est fixée à 1,6 H : 1 V (voir la figure 3.2).

3.3.1.3 Digue de Moncouche

La brèche se forme dans la partie de hauteur maximale de la digue. La profondeur de la brèche est de 9,3 m, et sa largeur à la base, de 37,3 m. La pente des parois est fixée à 1 H : 1 V (voir la figure 3.3).

3.3.1.4 Digue de la Coulée-Gagnon

La brèche se forme dans la partie de hauteur maximale de la digue. Sa profondeur est de 9,5 m, et sa largeur à la base, de 38,3 m. La pente des parois est fixée à 1 H : 1 V (voir la figure 4.1).

3.3.1.5 Digue de la Baie-Cascouia

La brèche se forme dans la partie de hauteur maximale de la digue. Sa profondeur est de 9,6 m, et sa largeur à la base, de 38,3 m. Les parois sont verticales (voir la figure 3.4).

3.3.2 En temps de crue extrême

3.3.2.1 Barrage de la Pikauba

Le barrage de la Pikauba est un nouvel ouvrage. Il est muni de deux pertuis mais seulement un sera utilisé lors d'une crue maximale probable. L'ouvrage étant conçu pour la CMP, on présume qu'il résistera à une crue extrême.

3.3.2.2 Ouvrages de retenue du lac Kénogami

Deux possibilités doivent être envisagées :

- On considère qu'il y aura rupture progressive, en 0,5 h généralement, d'un ouvrage en remblai ou en enrochement si le niveau d'eau atteint sa crête.
- On considère qu'il y aura rupture instantanée, en 0,1 h généralement, d'un ouvrage en béton (barrage-poids, cloison, prise d'eau) si le niveau d'eau dépasse sa crête de 1,5 m.

Dans les conditions actuelles, la crête du barrage Pibrac-Ouest est à la cote 165,9. La crête de la digue Pibrac-Est est à la cote 165,8. La crête des barrages de Portage-des-Roches et Pibrac-Est ainsi que des digues de Creek Outlet-1, de Creek Outlet-2 et de Creek Outlet-3 est à la cote $165,7 \pm 0,1$. Le projet de régularisation des crues du lac Kénogami prévoit le rehaussement jusqu'à la cote 167,17 de la crête de tous les ouvrages en béton au moyen d'un muret construit en amont des tabliers. Une étude de stabilité a démontré que les ouvrages sont stables jusqu'au niveau maximal critique du lac Kénogami, qui est de 166,67 m (Hydro-Québec, 2000). Compte tenu que la crête de ces ouvrages sera rehaussée par un muret, l'hypothèse de rupture retenue est la suivante : il y aura rupture si le niveau d'eau atteint la cote 167,2, soit 1,5 m au-dessus de la crête actuelle des ouvrages et non pas 1,5 m au-dessus de la crête du muret. Cette hypothèse est prudente.

La crête des digues autour du lac Kénogami sera également rehaussée jusqu'à un niveau variant entre 168,17 et 168,67 m. Pour sa part, le niveau de la crête des digues de revanche situées aux points bas variera entre 169,2 et 168,17 m.

En ce qui concerne, la digue de la Baie-Cascouia, il s'agit d'un barrage poids recouvert de gravier. Sa crête actuelle est à la cote 167,41. L'écran de béton sera rehaussé jusqu'à la cote 167,17, et le remblai granulaire, jusqu'à la cote 168,17. En conditions de crues exceptionnelles, il y aura rupture lorsque le niveau d'eau atteindra 168,67 m, soit 1,5 m au-dessus de la crête bétonnée.

Pour les digues Ouiqui et de Moncouche la rupture se produira lorsque le niveau du lac Kénogami atteindra 168,67 m. Pour les digues de revanche des points bas n° 1 et n° 2, la rupture se produira lorsque le niveau atteindra 168,17 m. Il faut signaler que pour les études de rupture de barrage, le niveau de crête de la digue de la Coulée-Gagnon a été fixé à 168,17 m. Toutefois, lors des études de conception des aménagements, cette crête a été abaissée à 167,67 m.

Les résultats des simulations en temps sec sont présentés au chapitre 4, et les résultats des simulations en conditions de crue extrême, au chapitre 5.

Chapitre 4 Résultats des simulations en temps sec

4.1 Scénario TS1 – Rupture du barrage de la Pikauba et ses effets en aval

Les simulations ont porté sur le tronçon compris entre le PK 0 et le PK 29,88 de la rivière Pikauba. La figure 4.2 présente le profil en long de cette dernière. Le tableau 4.1 présente le niveau d'eau maximal, le débit maximal, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal ainsi que la vitesse d'écoulement maximale en fonction de la distance du barrage. La figure 4.3 présente les hydrogrammes après rupture de la digue en six points du tronçon aval. La figure 4.4 présente les limnigrammes après rupture de la digue aux mêmes endroits.

Selon la figure 4.3, le débit maximal de 27 927 m³/s est atteint au barrage après formation complète de la brèche, c'est-à-dire à 0,5 h. Ce débit diminue à environ 70 m³/s après 8 h. Au PK 13,69, le débit maximal de 18 607 m³/s est atteint à 1,6 h, soit 1,1 h après formation complète de la brèche. Enfin, à 1 km en amont du lac Kénogami, au PK 29,1, le débit maximal de 17 769 m³/s est atteint à 2,15 h.

Selon la figure 4.4, le niveau maximal de 418,5 m est enregistré au barrage. Ce niveau diminue à 395,6 m après 8 h. Au PK 13,69 le niveau maximal de 307,08 m est atteint à 1,65 h, soit 1,15 h après formation complète de la brèche. Enfin, à 1 km en amont du lac Kénogami, au PK 29,1, le niveau maximal de 165,6 m est atteint à 2,20 h.

Le tronçon qui mérite le plus d'attention se situe en aval, dans le lac Kénogami. Après rupture du barrage de la Pikauba, le volume d'eau qui entrera dans le lac sera d'environ 106 hm³. Une analyse statique démontre que le niveau d'eau y atteindra 165,6 m, soit une hausse de 1,7 m. Il faut signaler que le niveau d'eau maximal critique dans le lac Kénogami sera alors de 166,67 m ; le niveau d'eau atteint sera donc 1 m plus bas.

Une étude hydrodynamique a été effectuée afin de déterminer le niveau d'eau maximal atteint à chacun des ouvrages sur le pourtour du lac Kénogami après rupture du barrage de la Pikauba. Les résultats sont présentés au tableau 4.2 et aux figures 5.5 et 5.6. Le niveau d'eau maximal atteint varie entre 165,72 et 165,75 m, sauf à deux endroits : à proximité de la digue Ouiqui et à l'embouchure de la rivière Pikauba, où le niveau d'eau atteint 166,31 m.

4.2 Scénario TS2 – Rupture de la digue Ouiqui et ses effets en aval

L'étude de la digue Ouiqui a porté sur divers scénarios de rupture en temps sec. Dans un premier temps, on a calculé les débits et les niveaux d'eau maximaux atteints après la rupture en posant l'hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche ne s'érode pas. Une brèche standard dont la largeur est égale à quatre fois la hauteur a été utilisée pour ce cas. Trois autres scénarios ont été calculés, qui tiennent compte d'une érosion possible entre la digue Ouiqui et le lac Kénogamichiche. Pour chacun de ces scénarios, on a modifié les dimensions de la brèche afin de pouvoir faire des comparaisons.

4.2.1 Scénario TS2-A – Brèche standard sur fond fixe

Les simulations ont porté sur le tronçon compris entre le PK 0 et le PK 40,8 des rivières en aval de la digue Ouiqui, soit la rivière des Aulnaies et la Belle Rivière. On a effectué les simulations en posant l'hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche ne s'érode pas et que la brèche est standard, c'est-à-dire que sa largeur est égale à quatre fois sa hauteur.

La figure 4.5 présente le profil en long de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. Le tableau 4.3 présente le niveau d'eau maximal, le débit maximal, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal ainsi que la vitesse d'écoulement maximale en fonction de la distance depuis la digue Ouiqui. La figure 4.6 présente les hydrogrammes après rupture de la digue en six points du tronçon aval, notamment au lac Kénogamichiche, à Hébertville, au confluent de la Belle Rivière à proximité des deux ponts de la route 169, et au remblai ferroviaire à proximité de l'entrée du lac Saint-Jean et du pont de la route 170. La figure 4.7 présente les limnigrammes après rupture de la digue aux mêmes endroits.

Selon la figure 4.6, le débit maximal de 527 m³/s est obtenu à la digue Ouiqui après formation complète de la brèche, c'est-à-dire à 0,5 h. Ce débit diminue à environ 100 m³/s après 6 jours. Au lac Kénogamichiche, le débit maximal de 486 m³/s est atteint à 2 h, soit 1,5 h après formation complète de la brèche, tandis qu'à Hébertville, au PK 11,2, le débit maximal de 429 m³/s est atteint à 16,64 h. Au remblai ferroviaire, c'est-à-dire au PK 27,2, le débit maximal de 421 m³/s est atteint à 21,2 h soit 20,7 h après la rupture (c'est-à-dire après formation complète de la brèche).

À Hébertville, le niveau d'eau maximal est de 143,6 m, soit 3,3 m au-dessus du niveau d'eau normal. Ce niveau est atteint à 16,6 h soit 16,1 h après la rupture de la digue Ouiqui (c'est-à-dire après formation complète de la brèche), tandis qu'au remblai ferroviaire, le niveau d'eau maximal de 102,3 m est atteint à 22,65 h.

Les infrastructures qui méritent une attention particulière sont les suivantes :

	Point kilométrique	Niveau d'eau maximal	Temps d'atteinte du niveau d'eau maximal
Rang Saint-André (lac Kénogamichiche)	PK 3,2	146,8 m	16,04 h
Rang Saint-Isidore (lac Kénogamichiche)	PK 4	146,8 m	16,2 h
Pont de la municipalité d'Hébertville (rivière des Aulnaies)	PK 11,23	143,6 m	16,6 h
Pont de la route 169 (rivière des Aulnaies)	PK 11,8	139,4 m	16,9 h
Pont de la Belle Rivière (route 169)	PK 14,3	132,8 m	18,1 h
Pont de la route des Savard (Belle Rivière)	PK 18,8	123 m	18,3 h
Pont de la route 170 (Belle Rivière)	PK 26,7	102,3 m	22,5 h
Pont de la voie ferrée (Belle Rivière)	PK 26,8	102,3 m	22,6 h

Les données de rehaussement et de temps d'arrivée du front d'onde (TAFO) sont présentées au tableau 4.3.

4.2.2 Scénario TS2-B – Effacement local sur fond mobile

Le scénario TS2-B prévoit un affaissement du centre de la digue d'environ 1 m sous le niveau d'eau maximal normal avec apports équivalents aux débits moyens parvenant au lac Kénogami. Il tient compte de la vidange naturelle du lac qui s'opérerait sous l'effet de l'ouverture de la brèche.

Ce scénario prévoit qu'il y aura érosion entre la digue et le lac à Louis. On a traité ce problème en couplant un modèle hydraulique d'écoulement avec un modèle d'évolution sédimentologique, puis en utilisant ce nouvel outil dans une procédure itérative de résolution (École Polytechnique, 2001a). Les courbes granulométriques utilisées, soit les courbes F-07 et F-08, proviennent du rapport des investigations géologiques (Laboratoires SL, 2000b). Le résultat obtenu comporte l'hydrogramme de rupture à l'ouvrage et l'évolution, en fonction du temps, de la géométrie de la brèche et de la vallée en aval.

Le tableau 4.4 présente le niveau d'eau maximal, le débit maximal, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal ainsi que la vitesse d'écoulement maximale en fonction de la distance depuis la digue Ouiqui. La figure 4.8 présente les hydrogrammes après rupture de la digue en cinq points du tronçon aval, notamment au lac Kénogamichiche, à Hébertville, au confluent de la Belle Rivière et au remblai ferroviaire à proximité de l'entrée du lac Saint-Jean. La figure 4.9 présente les limnigrammes après rupture de la digue aux mêmes endroits.

Après affaissement du centre de la digue, le débit à la brèche demeure à 35 m³/s pour une durée d'environ 70 h (voir la figure 4.8). Ensuite, la digue commence à s'éroder et le débit augmente lentement pour atteindre le maximum de 485 m³/s environ 260 h après l'affaissement initial. Ce débit demeure fixe à 485 m³/s si aucune intervention ne se produit. Au lac Kénogamichiche, le débit maximal de 484 m³/s est atteint 310 h après l'affaissement initial. À Hébertville, au PK 11,2, le débit maximal est aussi de 484 m³/s et est atteint à 310 h. Au remblai ferroviaire, c'est-à-dire au PK 27,2, le débit maximal de 484 m³/s est atteint 311 h après l'affaissement de la digue.

Au lac Kénogamichiche, le niveau d'eau maximal de 147 m est atteint 302 h après l'affaissement de la digue Ouiqui. À Hébertville, le niveau d'eau maximal de 143,3 m est atteint à 304 h, tandis qu'au remblai ferroviaire, le niveau d'eau maximal de 102,4 m est atteint à 310 h.

En raison de la faiblesse relative des débits et de leur vitesse de croissance, il serait possible de réduire le débit à la digue en effectuant, aux exutoires de la rivière aux Sables et de la rivière Chicoutimi, des déversements d'urgence qui respecteraient les seuils d'inondation majeurs de ces rivières. Les calculs ont été repris en supposant des déversement de 170 m³/s dans la rivière aux Sables et de 310 m³/s dans la rivière Chicoutimi. Il faut signaler que le débit de 170 m³/s pourra être porté à 650 m³/s par suite de l'excavation d'un seuil dans la rivière aux Sables.

Les résultats montrent que la digue elle-même ne commence à s'éroder que 80 h après le début de la rupture, et que ce temps est largement suffisant pour abaisser d'urgence le niveau du lac d'environ 1 m, ce qui arrêtera le déversement et l'érosion subséquente. En fait, il faudrait 32 h pour abaisser le niveau du lac d'environ 1 m, ce qui laisse environ 48 h de temps de réaction (École Polytechnique, 2001a).

Si l'élévation finale de la crête consécutive à l'effacement de la digue baisse à plus de 1 m sous du niveau d'eau initial, le temps de réaction sera plus court.

4.2.3 Scénario TS2-C – Effacement total sur fond mobile

Le scénario TS2-C prévoit un affaissement total, c'est-à-dire sur toute la largeur de la digue, à la cote 149. Ce scénario montre que le débit de rupture maximal, même s'il dépend de l'érosion d'une partie de la vallée en aval, est déterminé par l'affaissement ou l'ouverture (*piping*) de la digue elle-même (École Polytechnique, 2001a).

Le débit de rupture maximal de 790 m³/s est atteint environ une journée après le début de la rupture. Au lac Kénogamichiche, le débit maximal de 789 m³/s est atteint 24,3 h après l'affaissement initial. À Hébertville, au PK 11,2, le débit maximal est aussi de 782 m³/s, mais il est atteint à 24,6 h. Au remblai ferroviaire, c'est-à-dire au PK 27,2, le débit maximal de 768 m³/s est atteint 26,4 h après l'effacement de la digue.

Le tableau 4.5 présente le niveau d'eau maximal, le débit maximal, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal ainsi que la vitesse d'écoulement maximale en fonction de la distance depuis la digue Ouiqui. La figure 4.10 présente les hydrogrammes après rupture de la digue en cinq points du tronçon aval, notamment au lac Kénogamichiche, à Hébertville, au confluent de la Belle Rivière et au remblai ferroviaire à proximité de l'entrée du lac Saint-Jean. La figure 4.11 présente les limnigrammes après rupture de la digue aux mêmes endroits.

Au lac Kénogamichiche, le niveau d'eau maximal de 148,2 m est atteint 24,1 h après l'affaissement de la digue Ouiqui. À Hébertville, le niveau d'eau maximal de 144,3 m est atteint à 24,3 h, tandis qu'au remblai ferroviaire, le niveau d'eau maximal de 102,7 m est atteint à 26,9 h.

Il faut ajouter que le terrain en aval de la digue Ouiqui est approximativement à la cote 160. Avant qu'il y ait effacement total de la digue, il faudra un phénomène tel qu'une venue d'eau. Le débit de la venue d'eau étant très petit, soit moins de 1 m³/s, il faudra beaucoup de temps pour qu'il y ait érosion en aval de la digue. Dans le scénario TS2-B, pour un débit de 35 m³/s, il faut plus de 70 h avant même qu'il y ait érosion de la digue. Donc pour un débit 35 fois plus petit, ce temps sera très grand.

4.2.4 Scénario TS2-D – Brèche standard sur fond mobile

Le scénario TS2-D prévoit une brèche standard (largeur égale à quatre fois la hauteur) avec laminage du lac. La profondeur maximale de la brèche est de 18 m. Ce scénario prévoit qu'il y aura érosion en aval de la digue Ouiqui, entre celle-ci et le lac à Louis.

Les résultats sont identiques à ceux du scénario d'effacement total. Il s'agit d'un débit maximal qui est atteint 24 h après le début de la rupture. Il faut ajouter que le débit atteint 660 m³/s après seulement 1 h, soit 30 minutes après la rupture (c'est-à-dire après formation complète de la brèche).

4.3 Scénario TS3 – Rupture de la digue de Moncouche et ses effets en aval

L'étude de la digue de Moncouche a porté sur divers scénarios de rupture en temps sec. Dans un premier temps, on a calculé les débits et les niveaux d'eau maximaux atteints après la rupture en posant l'hypothèse que le terrain naturel entre la digue et la rivière Chicoutimi ne s'érode pas. Une brèche standard dont la largeur est égale à quatre fois la hauteur a été utilisée pour ce cas. Deux autres scénarios, brèche standard et effacement total de la digue, ont été modélisés avec érosion possible entre la digue et la rivière Chicoutimi.

4.3.1 Scénario TS3-A – Brèche standard sur fond fixe

Le scénario TS3-A prévoit un affaissement limité à une brèche standard de 37,3 m de largeur dont le fond se situe au niveau du terrain naturel qu'on estime à 159,4 m. La crête de la digue est à la cote 168,67. Les simulations portent sur le tronçon qui va de la digue elle-même sur le lac Kénogami (PK 0) à la rivière Chicoutimi (PK 4,6). On a effectué les simulations en posant l'hypothèse que le terrain naturel en aval de la digue ne s'érode pas et que la brèche est standard, c'est-à-dire que sa largeur est égale à quatre fois sa hauteur.

La figure 4.12 présente le profil en long en aval de la digue de Moncouche. Le tableau 4.6 présente le niveau d'eau maximal, le débit maximal, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal ainsi que la vitesse d'écoulement maximale en fonction de la distance depuis la digue de Moncouche. La figure 4.13 présente les hydrogrammes après rupture de la digue en six points du tronçon aval, notamment au lac de la Cave, au lac Clairval et à l'entrée de la rivière Chicoutimi. La figure 4.14 présente les limnigrammes après rupture de la digue aux mêmes endroits.

Selon la figure 4.13, le débit maximal de 691 m³/s est obtenu à la digue de Moncouche après formation complète de la brèche (à 0,5 h). Ce débit diminue à environ 362 m³/s après 2 jours. Au Petit lac Moncouche, le débit maximal de 661 m³/s est atteint à 1,5 h, soit 1,0 h après formation complète de la brèche. Au lac Clairval (PK 2,83) le débit maximal de 657 m³/s est atteint à 2,05 h, tandis qu'à l'entrée de la rivière Chicoutimi (PK 3,45), le débit maximal de 706 m³/s est atteint à 2,35 h.

Au Petit lac Moncouche, le niveau d'eau maximal est de 162,1 m, soit 3,9 m au-dessus du niveau normal. Ce niveau est atteint à 1,7 h, soit 1,2 h après la rupture de la digue (c'est-à-dire après formation complète de la brèche). Au lac Clairval, le niveau d'eau maximal est de 158,1 m soit 3 m au-dessus du niveau d'eau normal. Enfin, à l'entrée de la rivière Chicoutimi, c'est-à-dire à environ 3 km en aval du barrage de Portage-des-Roches, le niveau d'eau maximal de 153,8 m est atteint à 2,5 h.

Il faut signaler que le niveau d'eau immédiatement en aval du barrage de Portage-des-Roches a été estimé à 153,8 m, étant donné qu'on a posé l'hypothèse que les vannes du barrage sont fermées. Toutefois, si on posait l'hypothèse que les vannes du barrage sont ouvertes pour laisser passer un débit équivalant au module de 49,8 m³/s, ce niveau serait de 30 à 40 cm plus élevé.

Le tronçon situé à proximité du lac Clairval, où il y a quelques résidences, mérite le plus d'attention, ainsi que le chemin du Portage-des-Roches-Sud, au PK 3,3. Par ailleurs, au confluent avec la rivière Chicoutimi, il y aura rehaussement de 2,5 m environ 2 h seulement après rupture de la digue (c'est-à-dire après formation complète de la brèche). Les données de rehaussement et de temps d'arrivée du front d'onde (TAFO) sont présentées au tableau 4.6.

4.3.2 Scénario TS3-B – Brèche standard sur fond mobile

Le scénario TS3-B prévoit un affaissement limité à une brèche standard de 37,3 m de largeur dont le fond se situe au niveau du terrain naturel, qu'on estime à 159,4 m. La crête de la digue est à la cote 168,67. Une étude comparative a été effectuée afin d'établir l'importance de considérer un fond mobile dans une étude de rupture de barrage.

Ce scénario tient compte du fait qu'il y aura érosion en aval de la digue de Moncouche, entre celle-ci et la rivière Chicoutimi. On a traité ce problème en couplant un modèle hydraulique d'écoulement avec un modèle d'évolution sédimentologique, puis en utilisant ce nouvel outil dans une procédure itérative de résolution (École Polytechnique, 2001b). La courbe granulométrique utilisée, soit la courbe F-05, provient du rapport des investigations géologiques (Laboratoires SL, 2000b). Le résultat obtenu comporte l'hydrogramme de rupture à l'ouvrage et l'évolution, en fonction du temps, de la géométrie de la brèche et de la vallée en aval.

Le tableau 4.7 présente l'hydrogramme et le limnigramme à la digue de Moncouche en cas de rupture. Le débit à la brèche atteint 650 m³/s en 30 minutes. Ce débit augmente graduellement sous l'effet de l'érosion de la vallée et atteint la valeur maximale de 1 160 m³/s entre 15 et 17 h après la rupture de la digue. Le niveau du lac Kénogami passe de 163,9 à 162,8 m en 20 h.

La figure 4.15 présente la comparaison entre l'hydrogramme et le limnigramme qu'on obtient en considérant une brèche standard sur fond fixe et une brèche standard sur fond mobile. En ce qui concerne les débits, la rupture sur fond mobile a les conséquences les plus marquées. En effet, le débit monte progressivement de 680 à 970 m³/s en 7 h, reste constant pendant les 7 h suivantes, puis, ayant érodé la restriction dans la vallée, croît de nouveau et se stabilise à 1 160 m³/s avant que la vidange du lac Kénogami ne soit suffisante pour le faire descendre. Les niveaux d'eau baissent plus rapidement dans un scénario de rupture sur fond fixe que dans un scénario de rupture sur fond mobile. Sur fond fixe le niveau passe de 163,9 à 162,8 m en 32 h. Les niveaux d'eau maximaux en aval de la digue de Moncouche obtenus grâce aux simulations de rupture sur fond fixe et de rupture sur fond mobile sont présentés ci-dessous :

Point kilométrique	Niveau d'eau maximal par suite d'une...		Temps d'atteinte du niveau d'eau maximal par suite d'une...	
	rupture sur fond mobile	rupture sur fond fixe	rupture sur fond mobile	rupture sur fond fixe
PK 0,1	163,3 m	162,8 m	3 h	1,55 h
PK 0,3	161,5 m	162,8 m	1 h	1,55 h
PK 0,5	161,5 m	162,7 m	1 h	1,55 h
PK 0,8	161,3 m	162,3 m	1 h	1,7 h
PK 1,2	161,1 m	162,0 m	1 h	1,7 h
PK 1,6	160,9 m	161,2 m	1 h	1,8 h
PK 1,9	160,1 m	162,8 m	1 h	1,8 h

Sauf à proximité immédiate de la digue, les niveaux d'eau obtenus sont plus élevés dans le cas d'un scénario de rupture sur fond fixe que d'un scénario de rupture sur fond mobile. Toutefois, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal est de 30 à 50 minutes plus long.

Les zones inondées présentées à l'annexe C sont établies sur la base de la formation d'une brèche standard sur fond fixe dans une digue dont la crête a été rehaussée au moyen d'un muret (scénario TS3-A).

4.3.3 Scénario TS3-C – Effacement total sur fond mobile

Ce scénario prévoit l'effacement total de la digue jusqu'au niveau de 159,4 m.

Pendant la formation de la brèche, le débit atteint rapidement 1 355 m³/s puis, en 1,0 h, se stabilise à 1 270 m³/s en raison de la présence d'un obstacle dans le lac de la Cave. L'érosion de cet obstacle se faisant lentement, le débit diminue ensuite au fur et à mesure de la baisse du niveau du lac.

La figure 4.16 permet de comparer l'hydrogramme et le limnigramme qu'on obtient en cas d'effacement total de la digue sur fond fixe et d'effacement total sur fond mobile. Dans un tel scénario, le niveau d'eau du lac Kénogami baisserait de 1,4 m en moins de 20 h.

Pendant les 30 premières minutes qui suivent le début de la formation de la brèche, les débits semblent plus élevés dans le scénario de rupture sur fond fixe que dans le scénario de rupture sur fond mobile. Toutefois, après la première heure, le débit se stabilise à 1 270 m³/s dans le scénario de rupture sur fond mobile, alors qu'il met moins de 50 h pour passer de 960 à 340 m³/s dans le scénario de rupture sur fond fixe. En ce qui concerne le niveau du lac Kénogami, il baisse plus rapidement en cas de rupture sur fond mobile (moins de 20 h pour passer de 163,9 à 162,5 m) qu'en cas de rupture sur fond fixe (moins de 50 h pour passer de 163,9 à 162 m).

4.4 Scénario TS4 – Rupture de la digue de la Coulée-Gagnon et ses effets en aval

L'étude de la digue de la Coulée-Gagnon a porté sur divers scénarios de rupture en temps sec. Dans un premier temps on a calculé les débits et les niveaux d'eau maximaux atteints après la rupture en posant l'hypothèse qu'il n'y a pas d'érosion entre la digue et la rivière aux Sables. Une brèche standard dont la largeur est égale à quatre fois la hauteur a été utilisée pour ce cas. Deux autres scénarios, brèche standard et effacement total de la digue, ont été modélisés avec érosion possible entre la digue et la rivière aux Sables.

4.4.1 Scénario TS4-A – Brèche standard sur fond fixe

Le scénario TS4-A prévoit un affaissement limité à une brèche standard de 38,3 m de largeur dont le fond se situe au niveau du terrain naturel, qu'on estime à 158,6 m. La crête de la digue est à la cote 168,17. Les simulations portent sur le tronçon qui va de la digue elle-même sur le lac Kénogami (PK 0) à la rivière aux Sables (PK 1,9). On a effectué ces simulations en posant l'hypothèse que le terrain naturel en aval de la digue ne s'érode pas et que la brèche est standard, c'est-à-dire que sa largeur est égale à quatre fois sa hauteur.

La figure 4.17 présente le profil en long en aval de la digue de la Coulée-Gagnon. Dans les conditions actuelles, l'écoulement en aval de la digue se fait, d'une part, du PK 0,65 au PK 0 et, d'autre part, du PK 0,65 au PK 1,9. Après rupture de la digue, l'écoulement se fera du PK 0 au PK 1,9, c'est donc dire qu'il sera inversé entre le PK 0 et le PK 0,65 (voir le feuillet 1 de l'annexe D).

Le tableau 4.8 présente le niveau d'eau maximal, le débit maximal, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal ainsi que la vitesse d'écoulement maximale en fonction de la distance depuis la digue de la Coulée-Gagnon. La figure 4.18 présente l'hydrogramme de rupture à la digue. La figure 4.19 présente les limnigrammes après rupture de la digue en six points du tronçon aval.

Le débit maximal de 9 m³/s est atteint à la brèche de la digue de la Coulée-Gagnon à 0,3 h. Ce débit diminue ensuite à environ 6 m³/s. À proximité de la rivière aux Sables (PK 1,9), le débit est constant à seulement 6 m³/s. Le débit maximal est petit en raison de la présence d'un seuil à 0,65 km en aval de la digue.

En aval de la digue, au PK 0,15, le niveau d'eau monte de 1,7 m en 30 minutes. Au PK 1,2 le niveau du petit lac passe de 159,1 à 161,2 m en 2,1 h. Au PK 1,9, à proximité de la rivière aux Sables, le niveau d'eau passe de 154,4 à 156,4 m en 2,2 h.

On a fait une étude de courbe de remous afin d'établir la relation niveau-débit au seuil de 163,5 m qui se trouve au PK 0,65. Lorsque le niveau d'eau en aval de la digue atteint cette valeur, le niveau du lac Kénogami est de 163,9 m, et le débit est de 6 m³/s. S'il n'y a pas d'érosion du terrain naturel en aval de la digue, le débit sera déterminé par le seuil du PK 0,65 et non par la brèche. Le débit pouvant s'écouler vers la rivière aux Sables est donc d'environ 6 m³/s lorsque le niveau du lac Kénogami est de 163,9 m, et il devient nul lorsque ce dernier diminue de 60 cm et passe sous les 163,3 m.

Les infrastructures qui méritent une attention particulière sont les suivantes :

	Point kilométrique	Niveau d'eau maximal	Temps d'atteinte du niveau d'eau maximal
Chemin du Quai	PK 0	163,9 m	0 h
Rue Saint-Dominique	PK 1,5	161,2 m	2,1 h

Les données de rehaussement et de temps d'arrivée du front d'onde (TAFO) sont présentées au tableau 4.8.

4.4.2 Scénario TS4-B – Brèche standard sur fond mobile

Le scénario TS4-B prévoit un affaissement limité à une brèche standard de 38,3 m de largeur dont le fond se situe au niveau du terrain naturel, qu'on estime à 158,6 m. La crête de la digue est à la cote 168,17. Les simulations ont été effectuées sur fond mobile.

On a traité ce problème en couplant un modèle hydraulique d'écoulement avec un modèle d'évolution sédimentologique, puis en utilisant ce nouvel outil dans une procédure itérative de résolution (École Polytechnique, 2001c). La courbe granulométrique utilisée, soit la courbe F-01, provient du rapport des investigations géologiques (Laboratoires SL, 2000b). Le résultat obtenu comporte l'hydrogramme de rupture à l'ouvrage et l'évolution, en fonction du temps, de la géométrie de la brèche et de la vallée aval.

Le tableau 4.9 et la figure 4.20 présentent l'hydrogramme à la digue de la Coulée-Gagnon en cas de rupture en temps sec. Dans un premier temps, le petit lac juste en aval de la digue se remplit. Le débit initial de 6 m³/s augmente graduellement, au fur et à mesure de l'érosion lente dans la vallée, pour atteindre une valeur comprise entre 32 et 35 m³/s après 50 h. Dans ces conditions, le niveau du lac Kénogami reste constant et toute évolution ultérieure de la situation dépend des mesures prises aux ouvrages de régulation pour abaisser le niveau du lac.

Les zones inondées présentées à l'annexe D sont établies sur la base de la formation d'une brèche standard sur fond fixe compte tenu du rehaussement prévu de la digue (scénario TS4-A).

4.4.3 Scénario TS4-C – Effacement total sur fond mobile

Ce scénario prévoit l'effacement total de la digue jusqu'au niveau de 158,6 m.

Les résultats sont identiques à ceux présentés à la sections 4.4.2, ci-dessus. L'hydrogramme est présenté au tableau 4.9 et à la figure 4.21.

4.5 Scénario TS5 – Rupture de la digue de la Baie-Cascouia et ses effets en aval

L'étude a porté sur un scénario de rupture en temps sec. On a calculé les débits et les niveaux d'eau maximaux en posant l'hypothèse que le terrain naturel entre la digue et le lac Kénogamichiche ne s'érode pas. Une brèche standard dont la largeur est égale à quatre fois la hauteur a été utilisée pour ce cas. Les résultats ont ensuite été comparés avec les résultats de l'étude de rupture de la digue Ouiqui.

4.5.1 Scénario TS5-A – Brèche standard sur fond fixe

Les simulations ont porté sur le tronçon compris entre la digue de la Baie-Cascouia (PK 0) et le lac Kénogamichiche (PK 8,2). Les résultats ont ensuite été comparés avec les résultats de l'étude de rupture de la digue Ouiqui portant sur le tronçon compris entre le PK 3,7 et le lac Saint-Jean. Il s'agit du même parcours des eaux le long de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. On a effectué les simulations en posant l'hypothèse que le terrain naturel en aval de la digue ne s'érode pas et que la brèche est standard, c'est-à-dire que sa largeur est égale à quatre fois sa hauteur.

La figure 4.22 présente le profil en long de la rivière des Aulnaies et de la Belle Rivière. Le tableau 4.10 présente le niveau d'eau maximal, le débit maximal, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal ainsi que la vitesse d'écoulement maximale en fonction de la distance depuis la digue de la Baie-Cascouia. Le tableau 4.11 présente les mêmes données pour le tronçon compris entre le lac Kénogamichiche et le lac Saint-Jean. La figure 4.23 présente les hydrogrammes après rupture de la digue en six points d'intérêt entre la digue et le lac Kénogamichiche. La figure 4.24 présente les limnigrammes après rupture de la digue aux mêmes endroits.

Selon la figure 4.23, le débit maximal de 1 008 m³/s est atteint à la digue de la Baie-Cascouia, puis il diminue à environ 600 m³/s après 35 h. Au lac Kénogamichiche, le débit maximal de 865 m³/s est atteint à 8,65 h, tandis qu'à Hébertville, le débit maximal est de 833 m³/s et il est atteint à 14,56 h. Le débit maximal au remblai ferroviaire est de 804 m³/s et est atteint à 20,4 h soit 20,3 h après formation complète de la brèche.

À Hébertville, le niveau d'eau maximal est de 144,7 m, soit 4,4 m au-dessus du niveau d'eau normal. Ce niveau est atteint à 14,6 h, soit 14,5 h après la rupture de la digue de la Baie-Cascouia (c'est-à-dire après formation complète de la brèche), tandis qu'au remblai ferroviaire, le niveau d'eau maximal de 102,8 m est atteint à 22,2 h.

Les résultats ont ensuite été comparés avec les résultats de l'étude de rupture de la digue Ouiqui (voir le tableau 4.12). La section située à 8,2 km en aval de la digue de la Baie-Cascouia correspond à la section du PK 3,7 dans le scénario de rupture de la digue Ouiqui. Le niveau d'eau maximal entre le lac Kénogamichiche et le lac Saint-Jean est, en général, de 1 à 2 m plus élevé dans le scénario de rupture de la digue de la Baie-Cascouia que dans le scénario de rupture de la digue Ouiqui. On observe une seule exception, au PK 15,84 (soit 15,8 km en aval de la digue Ouiqui), où le niveau est d'environ 4 m plus élevé. Par ailleurs, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal est plus long de 2 à 4 h dans le scénario de rupture de la digue Ouiqui.

Les infrastructures qui méritent une attention particulière sont les suivantes :

	Point kilométrique	Niveau d'eau maximal	Temps d'atteinte du niveau d'eau maximal
Route du Parc (ruisseau du Pont Flottant)	PK 3	161,3 m	2,3 h
Rang Saint-Isidore (lac Kénogamichiche)	PK 6,6	148,4 m	14 h
Rang Saint-André (lac Kénogamichiche)	PK 8	148,35 m	14,2 h

Les données de rehaussement et de temps d'arrivée du front d'onde (TAFO) sont présentées au tableau 4.10.

4.6 Évaluation sommaire d'une rupture des autres ouvrages

En ce qui concerne le barrage Pibrac-Ouest, les digues Pibrac-Est et Pibrac-Ouest, les digues de Creek Outlet-2 et de Creek Outlet-3 et la digue B de l'aménagement de la Pikauba, il n'y a pas eu d'étude de rupture détaillée pour les raisons décrites à la section 4.6.1. Toutefois, une évaluation sommaire a été effectuée et les résultats sont présentés ci-dessous.

4.6.1 Barrage Pibrac-Ouest, et digues Pibrac-Est et Pibrac-Ouest

En 1994, la firme Tecsum et le Groupe Conseil Saguenay ont effectué une étude d'onde de submersion résultant de la rupture du barrage Pibrac-Est (Tecsum et GCS, 1994). La rupture du barrage Pibrac-Est, produit des inondations dans la rivière aux Sables. Les zones inondées sont présentées à la section 6.2 et à l'annexe F du présent rapport. Le débit maximal de rupture est de 1 911 m³/s.

Les digues Pibrac-Est et Pibrac-Ouest sont des ouvrages en béton de type poids. La digue Pibrac-Est a une hauteur maximale de 7,6 m, et sa crête est à la cote 165,8, et la digue Pibrac-Ouest, une hauteur maximale de 10,1 m et sa crête est à la cote 165,7. Les barrages Pibrac-Est et Pibrac-Ouest sont aussi en béton. Le barrage Pibrac-Est a une hauteur maximale de 19 m et sa crête à la cote 165,7, et le barrage Pibrac-Ouest, une hauteur maximale de 15 m et sa crête est à la cote 165,9. Dans le cadre des travaux d'amélioration des évacuateurs du lac Kénogami, la crête de tous ces ouvrages sera rehaussée à la cote 167,17 au moyen d'un muret de béton.

La rupture en temps sec de l'un ou l'autre de ces ouvrages produira une inondation dans la rivière aux Sables, les bras est et ouest se rejoignant à environ 800 m en aval. Toutefois, la rupture du barrage Pibrac-Est aura les conséquences les plus marquées, puisque de tous ces ouvrages, c'est le plus haut. En ce qui concerne le barrage Pibrac-Ouest, on estime que le débit de rupture est approximativement de 1 600 m³/s si la brèche se forme au niveau du radier du pertuis, soit à la cote 155,04, et que sa largeur correspond à la largeur de la vallée à l'aval, soit environ 38 m. Enfin, pour ce qui est des digues Pibrac-Est et Pibrac-Ouest, les débits de rupture sont de 700 et de 1 500 m³/s, respectivement.

4.6.2 Digues de Creek Outlet-2 et de Creek Outlet-3

Selon l'étude de Tecsub et GCS (1994), la rupture en temps sec de la digue de Creek Outlet-1 provoquera des inondations le long du ruisseau Jean-Dechêne ; les zones inondées sont représentées à l'annexe F. Le débit de rupture de la digue est de 1 117 m³/s.

Les digues de Creek Outlet-1 (hauteur maximale de 13,7 m), de Creek Outlet-2 (hauteur maximale de 5,2 m) et de Creek Outlet-3 (hauteur maximale de 3,6 m) sont des ouvrages en béton de type poids, dont la crête se situe à la cote 165,7. Dans le cadre des travaux de réfection, la crête de ces trois digues sera haussée à la cote 167,17 au moyen d'un muret de béton. Conformément à la norme SB-80-01-00, les modes de rupture retenus pour l'étude sont ceux qui provoquent les pires effets tout le long du parcours de l'onde. La rupture de la digue de Creek Outlet-1 aura les conséquences les plus marquées. Un calcul sommaire démontre que le débit de rupture serait d'environ 200 m³/s pour la digue de Creek Outlet-2, et d'environ 70 m³/s, pour la digue de Creek Outlet-3. Les débits de rupture de ces trois digues s'écouleraient dans le ruisseau Jean-Dechêne à quelques centaines de mètres en aval.

4.6.3 La digue B de l'aménagement de la Pikauba

La hauteur maximale du barrage de la Pikauba est de 45 m. L'étude menée démontre que le débit de rupture de cet ouvrage serait de 27 927 m³/s. Située au sud-est du barrage, la digue B a, pour sa part, une hauteur maximale de 23,5 m. On n'a pas effectué l'étude de rupture de la digue B, étant donné que la rupture du barrage de la Pikauba inonderait de plus vastes superficies. Une analyse sommaire démontre toutefois que le débit de rupture de cet ouvrage serait d'environ 8 000 m³/s. En cas de rupture, ce débit s'écoulerait dans la Petite rivière Pikauba (où il n'y a ni infrastructure ni habitation) avant de parvenir à la rivière Pikauba à environ 4,5 km en aval du barrage.

Chapitre 5 Résultats des études en conditions de crue extrême

5.1 Analyse statique du réservoir Pikauba sans rupture d'ouvrage

L'unité Conception des aménagements de production hydraulique et géotechnique a fait des analyses statiques dans le réservoir Pikauba. Pour la crue maximale probable (CMP) d'été-automne, le niveau d'eau maximal atteint dans le réservoir est de 425,46 m, et le débit de CMP entrant dans le réservoir, de 2 810 m³/s avant laminage. La figure 5.1 présente l'hydrogramme de CMP d'été-automne produit dans le cadre d'une étude de laminage statique. Pour la CMP de printemps, le niveau d'eau maximal est de 425,41 m, et le débit maximal entrant, de 2 800 m³/s (voir la figure 5.2). Dans les deux cas, le débit maximal sortant est de 150 m³/s.

5.2 Analyse statique du lac Kénogami sans rupture d'ouvrage

L'unité Conception des aménagements de production hydraulique et géotechnique a fait des analyses statiques dans le lac Kénogami. Pour la CMP d'été-automne, le niveau d'eau maximal atteint dans le lac Kénogami est de 166,5 m et le débit de CMP entrant dans le lac, de 5 990 m³/s avant laminage. La figure 5.3 présente l'hydrogramme de CMP d'été-automne produit dans le cadre d'une étude de laminage statique. Pour la CMP de printemps, le niveau d'eau maximal est de 166,67 m, et le débit maximal entrant, de 5 660 m³/s (voir la figure 5.4). Dans les deux cas, le débit maximal sortant est de 2 400 m³/s. Le rehaussement et la consolidation des ouvrages leur permettront de résister à un niveau d'eau de 166,67 m ; il n'y aura donc pas de rupture de ces ouvrages.

5.3 Analyse hydrodynamique du lac Kénogami

À l'aide du modèle SERUM décrit à la section 3.1.2, on a été en mesure d'estimer que le niveau d'eau maximal atteint dans le lac Kénogami en conditions de crue extrême à dix endroits différents.

En conditions de CMP de printemps, le niveau d'eau maximal atteint dans le lac varie entre 166,2 et 166,4 m. Le niveau d'eau minimal est atteint au point 6, à proximité de la digue de Moncouche, tandis que le niveau d'eau maximal est atteint aux points 2 et 3, à proximité de la digue Ouiqui. Le tableau 5.1 présente les niveaux d'eau atteints aux dix différents points, dont l'emplacement est indiqué à la figure 5.5. L'analyse statique donne, pour sa part, un niveau d'eau maximal de 166,67 m. Cette différence s'explique par les données utilisées, l'analyse hydrodynamique s'appuyant non seulement sur la courbe d'emmagasinement, mais également sur la bathymétrie du lac Kénogami.

En conditions de CMP d'été-automne, le niveau d'eau maximal atteint dans le lac Kénogami varie entre 166,4 et 166,56 m. Le rehaussement et la consolidation des ouvrages leur permettront de résister à un niveau d'eau de 166,67 m ; il n'y aura donc pas de rupture de ces ouvrages.

Chapitre 6 Études antérieures

Deux études de rupture de barrage par temps sec ont été effectuées dans les années 1990. La première, *Rivière Chicoutimi – Études des conséquences d'une rupture du barrage de Portage-des-Roches sur la rivière Chicoutimi*, a été effectuée par Hydro-Québec en 1992 (Hydro-Québec, 1992). Il faut signaler que les données utilisées dans cette étude proviennent en majeure partie du rapport d'évaluation des conséquences d'une rupture du barrage de Portage-des-Roches produit par la Direction de l'hydraulique du ministère de l'Environnement du Québec en juin 1990 (Québec, 1990).

La deuxième a été préparée par la firme Tecsub et le Groupe Conseil Saguenay pour la Société Immobilière du Québec et date de novembre 1994. Le rapport s'intitule *Étude de l'onde de submersion résultant de la rupture des barrages Pibrac-Est et de Creek Outlet No. 1* (Tecsub et GCS, 1994).

6.1 Étude de rupture du barrage de Portage-des-Roches

L'étude de rupture du barrage de Portage-des-Roches présente les zones inondées le long de la rivière Chicoutimi après la rupture du barrage. On y trouve également les niveaux d'eau atteints, le débit maximal, le temps d'arrivée du front d'onde ainsi que le rehaussement atteint. Dans cette étude, la rupture hypothétique du barrage de Portage-des-Roches prévoit la formation d'une brèche de 53,95 m de largeur — soit l'équivalent de dix vannes — dont la base se situe à la cote 152,87. Selon l'étude, le temps de formation de la brèche est de 6 minutes (0,1 h), et le débit maximal après formation complète de la brèche, de 3 524 m³/s.

La zone inondée par suite de la rupture du barrage de Portage-des-Roches est présentée à l'annexe G.

6.2 Étude de rupture du barrage Pibrac-Est et de la digue de Creek Outlet-1

L'étude de rupture du barrage Pibrac-Est et de la digue de Creek Outlet-1 présente les zones inondées le long de la rivière aux Sables et du ruisseau Jean-Dechêne. On y trouve également les niveaux d'eau atteints, le débit maximal, le temps d'arrivée du front d'onde ainsi que le rehaussement atteint.

Dans cette étude, les hypothèses et les scénarios de rupture ont été établis en fonction de la norme SB-80-01-00 d'Hydro-Québec. Les résultats de cette étude, effectuée par la firme Tecsub et le Groupe Conseil Saguenay, ont permis à la Société Immobilière du Québec de préparer des plans d'urgence et de protection civile.

6.2.1 Rupture du barrage Pibrac-Est

Dans cette étude de la firme Tecsub et du Groupe Conseil Saguenay, on pose l'hypothèse que la brèche se forme au niveau du radier des pertuis, à la cote 152,9, et que sa largeur est d'environ 29 m, soit la largeur de la vallée à cet endroit. Conformément à la norme d'Hydro-Québec, la rupture, c'est-à-dire le temps de formation complète de la brèche, est de 12 minutes (0,2 h). Le débit maximal au barrage est de 1 911 m³/s. Le débit diminue à 1 272 m³/s à 8 km en aval.

Il est stipulé dans le rapport que les hypothèses sont basées sur la norme Hydro-Québec. Selon cette norme, toutes les vannes doivent être considérées comme fermées dans le cas d'une rupture en temps sec. Toutefois, ce rapport présente aussi les résultats obtenus en considérant que les pertuis du barrage de Portage-des-Roches sont ouverts.

6.2.2 Rupture de la digue de Creek Outlet-1

Un tuyau d'environ 30 cm de diamètre muni d'un clapet de non-retour est incorporé au corps de la digue. Le radier de ce tuyau est à la cote 156,3. Lorsque le niveau du lac Kénogami est bas, ce tuyau permet à l'eau accumulée dans le plan d'eau en aval de la digue de s'écouler dans le lac Kénogami.

Dans cette étude de la firme Tecsub et du Groupe Conseil Saguenay, on pose l'hypothèse que le fond de la brèche s'établit à la cote 156,56, et que sa largeur est d'environ 30 m, soit quatre fois sa hauteur. Le niveau de 156,56 m correspond à l'élévation naturelle du terrain dans la partie de hauteur maximale de la digue.

Le débit maximal au barrage est de 1 117 m³/s. Toutefois, lorsque le remblai de la route 170 situé à 9,6 km en aval est emporté, le débit maximal à cet endroit atteint 1 543 m³/s. Par ailleurs, la rupture du remblai du chemin de fer situé à environ 11 km en aval du barrage provoque, à son tour, une pointe subite des débits. À 13 km en aval du barrage, le débit maximal atteint 1 845 m³/s.

Dans les conclusions du rapport on note que la rupture de la digue de Creek Outlet-1 aurait des effets désastreux pour les résidents d'Arvida, les industries, les services publics et les institutions. Il est important de suivre les recommandations du rapport, notamment d'équiper la digue de Creek Outlet-1 d'un système de détection de rupture majeure et d'établir un plan d'urgence avec la Ville de Jonquière. Les zones inondées par suite d'une rupture du barrage Pibrac-Est et de la digue de Creek Outlet-1 sont présentées à l'annexe F.

6.3 Conclusion concernant les hypothèses des études antérieures

Le barrage de Portage-des-Roches, le barrage Pibrac-Est et de la digue de Creek Outlet-1 ont fait chacun l'objet d'une étude de rupture en temps sec. Pour ce genre d'étude, le débit de rupture dépend des hypothèses de formation de la brèche. Les hypothèses posées pour le barrage de Portage-des-Roches sont prudentes. En ce qui concerne le barrage Pibrac-Est et la digue de Creek Outlet-1, les hypothèses sont basées sur la norme SB-80-01-00 d'Hydro-Québec, qui date de juillet 1988. Depuis, en mai 2000, la *Loi sur la sécurité des barrages* (loi 93) a été adoptée.

6.4 Comparaisons

6.4.1 Comparaison entre la rupture de la digue de Moncouche et la rupture du barrage de Portage-des-Roches

Par suite de la rupture de la digue de Moncouche (scénario TS3-A), le niveau d'eau maximal atteint dans la rivière Chicoutimi à environ 3 km en aval du barrage de Portage-des-Roches est de 153,7 m. Le temps d'atteinte de ce niveau est de 2,5 h. Le débit maximal entrant dans la rivière est alors d'environ 700 m³/s. En cas d'effacement total de la digue sur fond mobile (scénario TS3-C), ce débit est de 1 355 m³/s.

Par suite de la rupture du barrage de Portage-des-Roches, le niveau d'eau maximal atteint au même endroit est de 155,4 m. Le temps d'atteinte de ce niveau d'eau est de 1,7 h, et le débit maximal au barrage, de 3 524 m³/s.

Le débit lié à la formation d'une brèche standard dans le barrage de Portage-des-Roches est donc cinq fois plus élevé que le débit lié à la rupture de la digue de Moncouche.

6.4.2 Comparaison entre la rupture de la digue de la Coulée-Gagnon et la rupture du barrage Pibrac-Est

Par suite de la rupture de la digue de la Coulée-Gagnon (scénario TS4-A), le niveau d'eau maximal atteint dans la rivière aux Sables à environ 600 m en aval du barrage Pibrac-Ouest est de 153 m. Le temps d'atteinte de ce niveau est de 2,2 h, et le débit entrant dans la rivière, d'environ 6 m³/s. En cas d'effacement total de la digue sur fond mobile (scénario TS4-C), le débit augmente à environ 35 m³/s après 50 h.

Par suite de la rupture du barrage Pibrac-Est, le niveau d'eau maximal calculé par le Groupe Conseil Saguenay atteint à environ 1 km en aval est de 160 m. Le temps d'atteinte de ce niveau est de 1 h. Le débit maximal au barrage est de 1 911 m³/s (voir la section 6.2.1), et de 1 320 m³/s à 1 km en aval.

Chapitre 7 Cartes et zones d'inondation

Les cartes représentant les zones maximales d'inondation ont été établies en fonction d'un scénario de rupture sur fond fixe. En règle générale, si on considère les mêmes hypothèses de rupture, le temps d'atteinte du niveau d'eau maximal est plus long dans un scénario de rupture sur fond mobile que dans un scénario de rupture sur fond fixe. C'est le cas de la digue Ouiqui. De plus, les niveaux d'eau maximaux sont différents, mais cette différence est plus petite que la précision des cartes topographiques utilisées pour présenter les zones inondées. Dans le présent document, les cartes montrant les zones d'inondation couvrent les secteurs suivants :

- la zone comprise entre le barrage de la Pikauba et le lac Kénogami ;
- la zone comprise entre la digue Ouiqui et le lac Saint-Jean ;
- la zone comprise entre la digue de Moncouche et la rivière Chicoutimi ;
- la zone comprise entre la digue de la Coulée-Gagnon et la rivière aux Sables ;
- la zone comprise entre la digue de la Baie-Cascouia et le lac Kénogamichiche.

7.1 Étude de rupture du barrage de la Pikauba

La carte relative au scénario de rupture en temps sec du barrage de la Pikauba est présentée à l'annexe A. Les feuillets 1, 2 et 3 de la carte 1 présentent des zones précises touchées par les inondations, et le feuillet 4, une vue d'ensemble.

Le feuillet 1 présente les zones d'inondation de la rivière Pikauba. À l'amont immédiat du barrage, le niveau d'eau maximal normal du réservoir sera de 418,5 m, soit 30 m de plus que le niveau naturel de la rivière Pikauba. Après rupture du barrage, le niveau d'eau augmentera de 19 m à environ sept kilomètres en aval, et de 20 m, huit kilomètres plus loin, soit au PK 15,66.

Le feuillet 2 présente les zones d'inondation à l'entrée du lac Kénogami. Le rehaussement maximal se situe au PK 23,5, soit à environ 2 km en aval du confluent du ruisseau L'Abbé. Il n'y a pas d'infrastructure majeure sur la rivière Pikauba. Par ailleurs, cette rivière, dont le fond est composé de roc, n'a pas fait l'objet d'un scénario de rupture sur fond mobile.

Le feuillet 3 présente les zones d'inondation autour du lac Kénogami. Le niveau du lac augmentera d'environ 2 m sur une période relativement courte (moins de 2,2 h). Aux endroits suivants, où on trouve de nombreuses habitations, il faudra évacuer moins de 1,2 h après la rupture du barrage : dans la région du chemin de l'Église et près du chemin de la rivière aux Sables, à proximité de la digue de la Coulée-Gagnon et à proximité de la baie Cascouia.

7.2 Étude de rupture de la digue Ouiqui

La carte relative au scénario de rupture en temps sec de la digue Ouiqui est présentée à l'annexe B. Les feuillets 1, à 5 de la carte 2 présentent des zones précises touchées par les inondations, et le feuillet 6, une vue d'ensemble.

Le feuillet 1 présente les zones d'inondation entre la digue Ouiqui et le lac Kénogamichiche. À proximité du lac Ouiqui quelques habitations seront inondées. Entre la digue et le lac à Louis, le niveau d'eau monte de 1 à 2 m. Le rang Saint-André, qui traverse la zone d'écoulement à environ 3 km en aval de la digue, sera inondé. Le niveau d'eau montera de 4 m à cet endroit. De plus, le niveau du lac Goulet et du lac Kénogamichiche montera, lui aussi, d'environ 4 m.

Le feuillet 2 présente les zones d'inondation autour lac Vert. Plusieurs résidences situées sur le pourtour du lac seront inondées. Le niveau de ce dernier montera de 4,3 m en moins de 16 h. Le rang Saint-Isidore se situe à la limite de la zone inondée.

Le feuillet 3 présente les zones d'inondation de la rivière des Aulnaies, entre Hébertville et Village-de-la-Chute. À Hébertville, la hausse maximale du niveau d'eau de 3,3 m est atteinte 16,1 h après la rupture de la digue. La rue Turgeon et la route 169 traversent la zone inondée à cet endroit et à 2 km en aval, au PK 14,3. À 13 km en aval de la digue, le niveau d'eau montera d'environ 7 m en moins de 17 h.

Le feuillet 4 présente les zones d'inondation de la Belle Rivière. Au PK 18,8, où se situe la route des Savard, la hausse du niveau d'eau sera de 5 m et surviendra moins de 18 h après la rupture de la digue. Au PK 18,95, la hausse de 4,3 m sera atteinte 17,8 h après la rupture.

Le feuillet 5 présente les zones d'inondation à l'entrée du lac Saint-Jean. Le volume d'eau étant absorbé par ce dernier, le rehaussement y est de seulement 0,3 m. Toutefois, compte tenu qu'il y a beaucoup de résidences sur le chemin De Quen, il faudra y porter une attention particulière.

7.3 Étude de rupture de la digue de Moncouche

La carte relative au scénario de rupture en temps sec de la digue de Moncouche est présentée à l'annexe C.

La carte 3 présente les zones d'inondation entre la digue de Moncouche et la rivière Chicoutimi. La hausse maximale du niveau d'eau survient à environ 1 km en aval de la digue. Le niveau atteint 162,09 m, 3,36 h après la rupture de la digue. Dans la rivière Chicoutimi, soit à 4,1 km en aval de la digue, le niveau d'eau atteint 153,23 m. Plus en aval, soit au PK 4,6 de la rivière Chicoutimi, le niveau d'eau augmente de seulement 1,6 m. À cet endroit, le seuil à l'amont des rapides Kiwanis contrôle l'écoulement à l'amont. Par ailleurs, la hausse de niveau d'eau indiquée sur le feuillet démontre qu'il y aura inondation entre le barrage de Portage-des-Roches et les rapides Kiwanis même si on pose l'hypothèse que les vannes de régulation sont fermées. Une étude de sensibilité a démontré que si celles-ci étaient ouvertes pour laisser passer un débit équivalent au module, le niveau d'eau en aval du barrage serait de 0,3 à 0,4 m plus élevé.

7.4 Étude de rupture de la digue de la Coulée-Gagnon

La carte relative au scénario de rupture en temps sec de la digue de la Coulée-Gagnon est présentée à l'annexe D.

La carte 4 présente les zones d'inondation entre la digue de la Coulée-Gagnon et la rivière aux Sables. Le rehaussement maximal se produit à environ 1 km en aval de la digue. Le niveau y atteint 161,24 m 1,62 h après la rupture de la digue. Au PK 1,5, où se situe le chemin Saint-Dominique, une hausse de 0,24 m seulement survient moins de 2 h après la rupture de la digue. Au PK 1,9, où se trouvent plusieurs résidences, le niveau d'eau augmente de 0,4 m. Dans la rivière aux Sables, c'est-à-dire 3 km en aval de la digue, à proximité de la rue Saint-Dominique, il n'y a pas de hausse notable du niveau d'eau.

7.5 Étude de rupture de la digue de la Baie-Cascouia

La carte relative au scénario de rupture en temps sec de la digue de la Baie-Cascouia est présentée à l'annexe E. Les feuillets 1 et 2 de la carte 5 présentent des zones précises touchées par les inondations.

Le feuillet 1 présente les zones d'inondation entre la digue de la Baie-Cascouia et le ruisseau du Pont Flottant, et le feuillet 2, les zones d'inondation entre le ruisseau du Pont Flottant et lac Kénogamichiche. Le rehaussement maximal se produit à environ 20,3 km en aval de la digue, et il survient 16,32 h après la rupture de cette dernière. Le niveau atteint là 134,8 m, soit une hausse de 10,5 m par rapport au niveau initial. Dans le lac Kénogamichiche, 8 km en aval de la digue, le niveau d'eau atteint 148,4 m, soit une hausse de 6 m par rapport au niveau initial.

Références

École Polytechnique de Montréal. 2001a. *Rupture de la digue Ouiqui – Prise en compte de l'érosion du remblai et de la vallée*. Rapport préparé par Claude Marche.

École Polytechnique de Montréal. 2001b. *Rupture de la digue Moncouche – Prise en compte de l'érosion du remblai et de la vallée*. Rapport préparé par Claude Marche.

École Polytechnique de Montréal. 2001c. *Rupture de la digue de Coulée Gagnon – Prise en compte de l'érosion du remblai et de la vallée*. Rapport préparé par Claude Marche.

Hydro-Québec. 2001. *Réservoir Kénogami, Historique des ouvrages*. Document de travail préparé par Pierre Vannobel.

Hydro-Québec. 2000. *Gestion des crues extrêmes du bassin versant du lac Kénogami, Étude de faisabilité*. Rapport sectoriel en génie civil, Unité mécanique, structure, architecture. DPPE.

Hydro-Québec. 1992. *Rivière Chicoutimi, Étude des conséquences d'une rupture du barrage de Portage-des-Roches sur la rivière Chicoutimi*. Service Hydraulique, Aménagements de centrales. Rapport n° 07442-Ra-92/40, préparé par Claude Robin.

Les Laboratoires SL. 2000a. *Tome 1 – Investigations géologiques et géotechniques 2000, Lac Kénogami*. SL-00G134. Rapport préliminaire préparé pour Hydro-Québec.

Les Laboratoires SL. 2000b. *Tome 3 – Essais de laboratoire*. Rapport préliminaire préparé pour Hydro-Québec.

Les Laboratoires SL. 2000c. *Tome 4 – Plans*. Rapport préliminaire préparé pour Hydro-Québec.

Les Laboratoires SL. 2000d. *Tome 5 – Rapports de sismique, réfraction et arpentage*. Rapport préliminaire préparé pour Hydro-Québec.

Québec, Ministère de l'Environnement. 1990. *Rivière Chicoutimi – Évaluation des conséquences d'une rupture du barrage de Portage-des-Roches*. 20 p., figures et cartes.

Tecsult et Groupe Conseil Saguenay (GCS). 1994. *Étude de l'onde de submersion résultant de la rupture des barrages Pibrac-Est et Creek Outlet No. 1*. Rapport final préparé pour la Société Immobilière du Québec.