Rapport final du

Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge

de la Commission mixte internationale

Soyons prêts pour la prochaine inondation

AVRIL 2000

Commission mixte internationale

International Joint Commission

Rapport final du

Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge

de la Commission mixte internationale

Soyons prêts pour la prochaine inondation

AVRIL 2000

Commission mixte internationale
International Joint Commission

Table des matières

Sommaire 1

Préface 9

1. Introduction 13

2. Crues de la rivière Rouge dans l'histoire 17

3. Gestion des débits 21

4. Collectivités exposées 37

5. Winnipeg exposée 43

6. Préparation et résistance aux inondations 59

7. Inondations dans le bassin inférieur de la rivière Pembina 75

8. Liaison hydraulique au lac Traverse 91

9. Qualité de l'eau du lac Winnipeg 95

10. Données et aide à la décision en gestion de plaine inondable 99

11. Modélisation hydrologique et hydraulique 111

12. Dispositions institutionnelles concernant les inondations 125

13. Conclusions et recommandations 137

Annexe 1 : Sigles 145
Annexe 2 : Publications parrainées par le Groupe de travail 147
Annexe 3 : Activités et projets des collectivités en vue de la réduction des dommages des inondations dans le bassin de la rivière Rouge 149
Annexe 4 : Stockage de l'eau dans le bassin de la rivière Rouge (États-Unis) 155
Annexe 5 : Recommandations du rapport provisoire 163
Annexe 6 : Références 169

Sommaire

Les inondations sont une réalité de la vie le long de la rivière Rouge. Bien que constituant un phénomène rare, la catastrophique inondation de 1997 avait des précédents et aurait pu être prévue. Le rapport provisoire de 1997 du Groupe de travail international ayant pour titre *Crues de la rivière Rouge : Mesures à court terme* présente la conclusion suivante : «En d'autres termes, une inondation comme celle de 1997 ou pire encore peut survenir n'importe quelle année.» Le Groupe a fait une analyse historique, géologique et statistique qui étaye cette affirmation. Dans le document précité, il examine les conséquences de graves inondations-comme celle de 1997 ou de débordements plus amples encore-sur les gens, les collectivités et les administrations publiques dans le bassin de la rivière Rouge. Il répond aux soucis exprimés par la population et les spécialistes au sujet des préparatifs devant permettre de prévenir ou d'atténuer les dégâts causés par de grandes crues. Il aborde en outre des questions plus particulières que soulèvent les événements de 1997. Il a étudié certains aspects du dossier des mesures d'intervention et de rétablissement, mais dans le présent rapport il s'attache à la préparation à la lutte à de grandes crues et aux mesures d'atténuation à prendre en pareil cas.

Cherchant à déterminer ce qu'on peut faire au sujet des inondations dans le bassin de la rivière Rouge, les auteurs du document examinent la question du stockage (réservoirs, zones humides, petits bassins de retenue ou aménagements de microstockage, gestion du drainage, etc.). La population a souvent soulevé la question du stockage et du drainage dans les discussions avec la Commission mixte internationale et le Groupe de travail. Dans le bassin de la rivière Rouge, bien des gens croient qu'il est possible de prévenir les grandes inondations par un stockage en amont. Le Groupe a examiné de quelle capacité de stockage on aurait besoin pour réduire les effets d'une importante inondation comme celle de 1997 et si le potentiel qu'offre le bassin suffisait à cet égard. Voici les conclusions auxquelles il est parvenu :

> **Conclusion 2 :** ***Il serait difficile, voire impossible de créer une assez grande capacité de stockage en réservoir qui soit économiquement et écologiquement acceptable pour largement diminuer les débits de pointe des grandes crues.***

Conclusion 4 : ***Le stockage en aire humide peut tenir une place de choix dans l'écosystème des Prairies, mais son rôle hydrologique est négligeable sur le plan de l'écrêtement des grandes crues le long du cours principal de la rivière Rouge.***

Si le Groupe a reconnu l'importance aux yeux de la population des crues d'affluents ou d'inondations moindres que celle de 1997, il a étudié l'éventail des possibilités d'atténuation des conséquences fâcheuses de ces crues secondaires dans le seul contexte de l'écrêtement des grandes crues. À cause de l'orientation qu'il a adoptée, il n'a pu examiner des projets peut-être dignes d'attention par lesquels on pourrait combattre les crues d'affluents ou qui pourraient offrir des avantages d'ordre environnemental ou autres.

Comme les possibilités de stockage, selon la conclusion même du Groupe, ne viendraient que légèrement diminuer les débits de pointe de grandes crues, le Groupe a étudié une combinaison de possibilités, qu'il s'agisse ou non de mesures d'aménagement. Les villes de Grand Forks et d'East Grand Forks sont en train de construire des digues et de lancer des projets de renouvellement urbain à la suite des dégâts causés par l'inondation. D'autres localités prennent des mesures en ce sens, et le présent rapport fera état d'un certain nombre de ces projets.

La plus grande zone urbaine du bassin, celle de Winnipeg, demeure menacée. La ville s'est tirée à peu près indemne de l'inondation de 1997, mais elle ne peut pas se contenter d'attendre les événements. Si elle n'avait pas eu l'aide du beau temps vers la fin d'avril 1997, elle aurait pu connaître le sort des villes voisines au sud. Le Groupe de travail a fait diverses recommandations concernant les points faibles de la ville et les mesures à prendre pour que celle-ci soit mieux préparée à affronter de graves inondations. Il en est venu à la conclusion suivante :

Conclusion 6 : ***Avec des débits des eaux semblables à ceux de 1997, le risque est grand que l'infrastructure winnipegoise de protection contre les crues connaisse des défaillances.***

Cette ville a besoin d'un degré supérieur de protection contre les inondations. Le Groupe fait donc la recommandation suivante :

Recommandation 4 : ***L'inondation de référence pour les aménagements de protection contre les inondations à Winnipeg devrait être la crue record de 1826 ou une crue pire encore si la chose se justifie économiquement.***

On a recommandé un certain nombre de mesures immédiates visant notamment à modifier le remblai est du défluent de crue, à surélever la digue ouest et à porter le réseau d'endiguement principal - si un tel projet est économiquement faisable - à la hauteur actuellement prescrite par la loi.

Toutefois, si on veut ménager un degré de protection suffisant contre des crues de l'ampleur de celle de 1826 ou des crues pires encore, il faudra pour la ville des travaux de construction aussi importants que les travaux initiaux d'aménagement du défluent de crue. Deux possibilités sont évoquées : étendre le défluent ou construire un ouvrage de retenue des eaux près de Ste. Agathe, pour ainsi maîtriser des débits supérieurs à ceux de l'inondation de 1997. Pour de tels travaux de construction, on devra prévoir des études détaillées de faisabilité, ainsi qu'un plan de protection ayant fait l'objet d'une concertation des autorités fédérales, provinciales et municipales.

Les mesures de construction d'ouvrages de protection sont une partie seulement de ce qu'on doit faire lorsqu'on est menacé de graves inondations. Le Groupe de travail a examiné des questions fort diverses de gestion de plaine inondable. Il s'agissait de voir quelles mesures de réglementation ou autres les gouvernements et les collectivités pourraient prendre pour atténuer les effets de grandes crues et pour que ces mêmes populations se ressentent moins des répercussions de telles inondations. Dans ses recommandations, le Groupe propose de définir ce qu'est la zone inondable, d'élaborer et d'adopter des codes du bâtiment adaptés aux conditions du bassin de la rivière Rouge, de faire l'éducation de la population et de prendre des mesures d'application. Il appuie l'acquisition des terrains qui risquent le plus d'être inondés et recommande que soient modifiées les politiques au Canada et aux États-Unis pour une coordination des mesures d'acquisition et des autres mesures de protection contre les inondations.

La FEMA et Protection civile Canada devraient viser à une intégration des mesures d'atténuation par l'adoption d'une stratégie d'ensemble pour le bassin. Aux États-Unis, cette stratégie devrait s'insérer dans ce qu'on appelle le National Mitigation Strategy. Le Groupe de travail a jugé que l'absence d'une telle stratégie au Canada empêchait de rendre le bassin plus résistant aux crues. Il a ainsi fait la recommandation suivante :

> **Recommandation 23 :** ***Le gouvernement fédéral canadien devrait établir une stratégie nationale d'atténuation des inondations ou une stratégie plus générale d'atténuation des effets des catastrophes et en soutenir l'application par des programmes complets.***

Les assurances inondation font partie intégrante de l'orientation adoptée par les États-Unis en matière de préparation aux inondations et, pourtant, le programme attire trop peu de gens exposés à ce risque. Le Groupe fait la recommandation suivante :

Recommandation 24 : ***Dans la partie américaine du bassin de la rivière Rouge, la FEMA devrait redoubler d'efforts pour promouvoir l'acquisition et le maintien de polices d'assurance inondation à l'intérieur comme à l'extérieur de la zone inondable à récurrence de 100 ans. On devrait innover dans cette promotion pour attirer les gens et ensuite les garder assurés. On pourrait notamment porter de 30 à 60 jours la période d'attente imposée aux assurés avant l'entrée en vigueur du régime d'indemnisation.***

Une question qui a reçu une certaine attention en 1997 et qui a troublé les relations transfrontalières est celle des crues du cours inférieur de la rivière Pembina. Là, des groupements locaux prennent sur eux de vider de vieilles questions d'endiguement et de drainage des deux côtés de la frontière. La Commission, qui appuie vivement cette initiative, a affecté des fonds et des compétences du Groupe de travail pour faciliter une compréhension commune des questions techniques. Le Groupe a entrepris de cartographier la région à l'aide de techniques perfectionnées de cartographie numérique laser et radar et, pour le cours inférieur de la rivière Pembina, a exécuté des passages spéciaux des modèles hydrauliques qu'il a créés pour la rivière Rouge. Les groupements locaux collaborent avec les experts-conseils du Groupe à l'étude de divers scénarios qui pourraient aider à résoudre ces questions. Le Groupe se sert aussi du bassin comme prototype de démonstration d'une base d'information virtuelle transfrontalière et d'un système d'aide à la décision. Il est parvenu à la conclusion suivante :

Conclusion 7 : ***On convient généralement dans la région que la construction de digues et de routes servant de digues de part et d'autre de la frontière a profondément influé sur les crues dans le bassin inférieur de la rivière Pembina. Pour remédier aux conséquences de ces aménagements sur le plan des inondations des deux côtés de la frontière, il faudra que des mesures soient prises dans les deux pays, ce à quoi les autorités américaines et canadiennes paraissent généralement disposées.***

Le Groupe de travail fait les recommandations suivantes sur ce plan :

Recommandation 27 : ***On devrait remettre en activité le groupe technique international constitué en 1996 et le charger d'examiner les données du modèle hydrodynamique. En collaboration avec des organes locaux comme le comité consultatif du bassin de la rivière Pembina, il devrait trouver une solution à long terme et la mettre en application avec les fonds nécessaires.***

Recommandation 28 : ***Comme il s'agit d'un bassin transfrontalier et que les autorités fédérales des deux pays pourraient devoir financer et surveiller l'application de toute entente, celles-ci devraient être associées à la démarche.***

Le Groupe de travail est persuadé que l'on devrait poursuivre et continuer à exploiter les travaux de cartographie et de modélisation entrepris dans le bassin inférieur de la rivière Pembina pour s'assurer que de futurs travaux de construction n'auront pas de conséquences imprévues. Il faudrait aussi que les organismes concernés au Canada et aux États-Unis continuent les travaux de prototypage d'une base d'information virtuelle et d'un système d'aide à la décision qui ont été lancés par le Groupe.

Une autre question s'est posée en 1997 au sujet des crues d'intercirculation entre la rivière Little Minnesota dans le bassin du Mississippi près de Browns Valley (Minnesota) et le lac Traverse dans le bassin de la rivière Rouge. Des débits élevés créent parfois une liaison hydraulique entre les bassins hydrographiques du Mississippi et de la baie d'Hudson, d'où la possibilité pour des espèces aquatiques de migrer entre bassins. Ayant examiné la question, le Groupe de travail fait la recommandation suivante :

Recommandation 31 : ***On devrait immédiatement entreprendre des études techniques et examiner tous les moyens d'éliminer les risques de liaison hydraulique entre bassins à proximité de Browns Valley.***

Les gouvernements devraient appliquer la solution la plus praticable. Dans l'intervalle, si des espèces indésirables devaient faire leur apparition dans le bassin de la Little Minnesota, on devrait immédiatement veiller à empêcher leur passage au bassin de la rivière Rouge. Le Corps of Engineers de l'Armée américaine sera le principal responsable de l'application de cette recommandation, mais les États-Unis devraient négocier avec le Canada des modalités de partage des frais à cause des avantages que ces mesures présentent à l'échelle du bassin. Le Groupe recommande également de compléter les modifications apportées aux plans de fonctionnement ou aux aménagements liés au lac Traverse par des mesures destinées à empêcher que les eaux ne se déversent au sud dans la rivière Little Minnesota.

Les études de qualité de l'eau entreprises pendant les crues de 1997 de la rivière Rouge ont permis de dégager plusieurs questions auxquelles le Groupe de travail s'est attaché dans des études de suivi en 1998 et 1999. Celles-ci ont porté sur les substances toxiques persistantes qui auraient pu gagner le lac Winnipeg à la faveur de l'inondation. Le Groupe s'est en outre intéressé aux dégâts qu'auraient pu produire dans le lac des charges accrues de fertilisants et de contaminants par suite du transport de sédiments en suspension. S'il n'y a pas actuellement lieu de s'inquiéter pour la santé publique, il faut étudier les risques pour l'environnement et la santé de la population que présente l'introduction de substances nocives dans l'écosystème aquatique, et notamment dans les pêcheries du lac Winnipeg. Le Groupe de travail a fait la recommandation suivante à cet égard :

Recommandation 33 : ***Les autorités devraient prendre des mesures immédiates pour que soit retirée de ses lieux d'entreposage dans le bassin de la rivière Rouge toute substance interdite comme le toxaphène et pour que des substances peut-être dangereuses ne soient pas stockées dans la zone inondable à récurrence de 500 ans. On pourrait garder en zone inondable des quantités raisonnables de ces substances en vue d'une utilisation immédiate.***

Soucieux de mieux comprendre les questions de crues et constatant les faiblesses de l'infrastructure technologique dans le bassin, le Groupe a consacré une grande partie de son énergie et de ses ressources aux questions de données et aux tâches informatiques de modélisation. Il a fait le point sur les données actuellement disponibles pour conclure à la nécessité d'améliorer encore la base d'information sur la gestion de plaine inondable à la rivière Rouge et d'assurer une meilleure mise à jour de ces données. Les autorités fédérales et provinciales, les gouvernements des États et les administrations locales doivent continuer à prendre une part très active aux travaux de développement de cette base de données et d'amélioration de l'accessibilité de l'information.

En collaboration avec le Global Disaster Information Network (GDIN), le Groupe a jeté les bases d'un fonds de données virtuelles et d'un système d'aide à la décision. Il faudra un certain temps pour mener à bien ce projet prometteur.

Les modèles informatiques de base de données et le système d'aide à la décision qu'il lègue viendront en aide au personnel de planification et d'intervention anti-inondation. Grâce à ces modèles et à cette base d'information des plus modernes, celui-ci pourra efficacement planifier et prendre des décisions en temps réel pendant une crise. Voici les recommandations que fait le Groupe de travail sur ce plan :

Recommandation 35 : ***On devrait améliorer et garder prêts les réseaux d'information hydrométrique et météorologique nécessaires à la prévision des crues.***

Recommandation 41 : ***On devrait mener à bien les travaux d'élaboration d'un modèle altimétrique numérique (MAN) pour le bassin de la rivière Rouge par des efforts concertés des organismes compétents.***

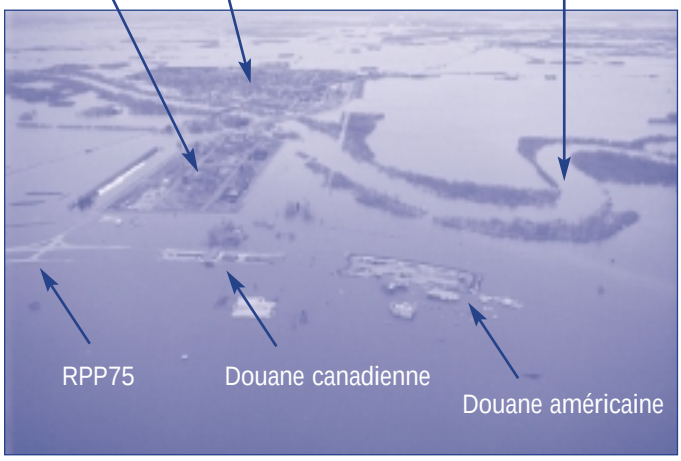
Recommandation 42 : ***Les organismes compétents des paliers fédéral et provincial et des États et les organismes transfrontaliers devraient se rencontrer pour juger de l'intérêt qu'ils ont à poursuivre les travaux de mise en place du Réseau d'information sur les catastrophes dans le bassin de la rivière Rouge (RRBDIN), ainsi que pour dresser un plan de financement et d'exécution qui assurera la continuation du projet.***

Le Groupe de travail a trouvé difficile d'obtenir des organismes canadiens un libre accès aux données et à l'information en général sur la gestion des crues. Les politiques qui restreignent l'accessibilité des renseignements sur les crues nuisent à la création d'une base d'information virtuelle pour tout le bassin, ainsi qu'à des mesures efficaces de lutte contre les inondations et à des efforts fructueux de gestion des crues. Le Groupe recommande un accès entier et gratuit aux données canadiennes pour la gestion des crues, les interventions en cas d'urgence et les activités de modélisation qui s'exercent au niveau régional ou à l'échelle du bassin.

Il a créé des modèles hydrauliques d'«écoulement transitoire» qui peuvent simuler les débits des eaux de crue. Il a aussi passé en revue les autres activités de modélisation dans le bassin, et en particulier les modèles hydrologiques américains, qui se trouveront au premier plan dans les futures activités de planification de plaine inondable et de lutte aux inondations en temps réel. Il recommande au National Weather Service des États-Unis d'appliquer comme mesure prioritaire prochaine son «Advanced Hydrologic Prediction System» (AHPS) au bassin de la rivière Rouge. Il propose également comme priorité à long terme pour la recherche publique et universitaire l'élaboration d'un modèle mixte aérologique-hydrologique à l'échelle du bassin. En ce qui concerne ses propres modèles hydrauliques, il propose l'exécution d'un relevé des routes secondaires dont les données seront intégrées aux modèles. Pour ce qui est de la mise à jour de ces modèles, il fait la recommandation suivante :

> **Recommandation 49** : ***Le Corps of Engineers de l'Armée américaine et le ministère manitobain de la Conservation, qui exploitent respectivement les modèles UNET et MIKE 11, devraient tenir ceux-ci à jour et continuer à les améliorer en collaboration avec les autres organismes concernés.***

Bien des gens dans le bassin s'intéressent au cadre institutionnel de gestion des crues. Le Groupe de travail préconise l'adoption d'un cadre à deux échelons. Ainsi, un organisme de premier échelon créé dans le bassin par les gouvernements ou peut-être par la CMI travaillerait avec des organismes de la base au second échelon. Il veillerait à ce que les questions de crues reçoivent la constante attention qu'elles exigent et se chargerait de réaliser la vision que présente le Groupe de travail pour que le bassin de la rivière Rouge soit prêt à affronter une autre grande inondation.



Gouvernement du Manitoba

Point de franchissement de la frontière à Emerson

Le Groupe pense que l'organisme de premier échelon, s'il voit le jour, pourrait se voir confier le mandat de promouvoir les travaux de lutte contre les

inondations et d'en rendre compte. Il pourrait notamment faire le point sur l'application par les gouvernements des recommandations du présent rapport, ainsi que sur la poursuite et les progrès des projets qu'il a lui-même lancés. Ce mandat pourrait plus précisément comporter les activités suivantes concernant les crues :

1. assurer un soutien institutionnel permanent et une entière participation multisectorielle aux fins des projets qu'il lègue, c'est-à-dire ceux de la base d'information répartie et des modèles informatiques;
2. surveiller l'application des recommandations destinées à garantir l'état de préparation et la résistance des collectivités aux inondations à l'échelle du bassin;
3. surveiller les conséquences de l'application des recommandations spécifiques concernant les crues et en rendre compte;
4. favoriser une culture de préparation et de résistance aux inondations dans le bassin;
5. soutenir les mesures de préalerte et d'intervention hâtive en cas de grande inondation imminente;
6. assurer la coordination de l'information de prévision des crues;
7. fournir une tribune pour la solution des problèmes multisectoriels;
8. servir de tribune à l'échange de renseignements sur les meilleures pratiques;
9. mettre des porte-parole compétents et dignes de foi en liaison avec les plus hautes instances gouvernementales pour que les décideurs soient conscients des besoins de la population du bassin dans les questions de crues et de gestion des eaux.

Compte tenu de ces fonctions, le Groupe recommande d'intégrer les éléments suivants à la structure de l'organisme et à ses responsabilités en matière de comptes à rendre :

- composition de 10 à 12 membres (représentants des États du Dakota du Nord et du Minnesota, de la province du Manitoba et des deux gouvernements fédéraux, plus des spécialistes de l'extérieur, s'il y a lieu);
- consultations régulières, tant officielles qu'officieuses, avec les autres organismes et les administrations locales du bassin;
- présentation de rapports aux deux gouvernements fédéraux et, s'il y a lieu, aux gouvernements des deux États et de la province;
- communications directes avec le public et les médias.

Bref, le Groupe recommande ce qui suit :

> **Recommandation 51 :** ***Si la Commission mixte internationale décide de réaliser le concept de conseils de bassin, elle devrait envisager de créer le premier de ces conseils dans le bassin de la rivière Rouge et de lui confier les responsabilités que nous avons énumérées en ce qui concerne les inondations.***

Préface

Après les crues dévastatrices de 1997 dans le bassin de la rivière Rouge, les gouvernements du Canada et des États-Unis ont demandé à la Commission mixte internationale (CMI) d'étudier les causes et les effets de cette inondation et de recommander des moyens d'atténuer l'incidence des grandes crues. Plus précisément, la Commission a été priée de présenter un rapport sur les aspects suivants :

1. historique, ampleur et incidence des crues dans le bassin de la rivière Rouge (avec un accent mis sur l'inondation de 1997);
2. lien entre l'inondation de 1997 et les crues passées et futures de la rivière Rouge;
3. incidence sur le régime des crues de la mise en place d'ouvrages de régulation et autres, de l'évolution des pratiques d'occupation et de gestion des sols et de tous les autres facteurs qui entrent en jeu;
4. état présent des pratiques, des capacités et des technologies de prévision des crues, ainsi que des échanges de données entre organismes;
5. politiques, programmes et mécanismes de protection civile et d'intervention en cas d'urgence, d'atténuation des risques, de gestion de plaine inondable et de réduction des dommages causés par les inondations;
6. effets possibles de la variabilité du climat sur la fréquence, les débits de pointe et la durée des crues;
7. questions de qualité de l'eau liées aux inondations;
8. autres questions que la CMI a jugé bon d'étudier.

En septembre 1997, la Commission créait le Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge avec pour mission d'effectuer des recherches et de la conseiller sur ces questions. Comme le veut sa propre tradition, les membres du Groupe ont été désignés à titre personnel et pour leurs qualités professionnelles, plutôt que comme représentants de pays ou d'organismes.

En décembre 1997, la Commission remettait aux gouvernements un rapport provisoire sur les crues où elle entérinait le rapport du Groupe de travail *Crues de la rivière Rouge : Mesures à court terme*[1]. Elle recommandait 40 mesures destinées à améliorer la protection civile et l'état de préparation (voir l'annexe 5). Dans ses recommandations aux divers paliers de gouvernement dans les deux pays, elle soulignait que les risques d'inondation seront toujours importants et commandent des mesures qui :

- amélioreront, clarifieront et coordonneront les diverses politiques anti-inondation;

- rendront plus simples et plus claires les données de prévision des crues diffusées dans la population;
- feront adopter et respecter des politiques de gestion de plaine inondable;
- amélioreront la coordination et la planification des mesures de gestion de situations d'urgence;
- assureront un soutien aux familles et aux personnes touchées;
- apporteront d'importantes améliorations techniques aux modèles prévisionnels et hydrologiques, aux réseaux et aux relevés de jaugeage et à la gestion des glaces;
- régleront les problèmes environnementaux (produits dangereux, contamination de la nappe phréatique, etc.) et établiront des critères de conception de digues.

Dans le bassin, les administrations publiques ont largement appliqué toutes les recommandations. On trouvera à l'annexe 5 la liste de ces recommandations avec une récapitulation des mesures d'application. On peut consulter le site Web CMI-Groupe de travail à l'adresse http://www.ijc.org/boards/rrbtf.html pour connaître plus en détail les mesures prises par les pouvoirs publics.

Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge

Section canadienne	Section américaine
M. Bruce Rawson Codirecteur du Groupe de travail Rawson Group Initiatives Ottawa (Ontario)	M. Charles Crist Codirecteur du Groupe de travail U.S. Army Corps of Engineers St. Paul (Minnesota)
	Codirecteur du Groupe de travail (sept. 1997 à sept. 1999) M. Donald W. Herndon U.S. Army Corps of Engineers Vicksburg (Minnesota)
M. Dwight A. Williamson Section de la gestion de la qualité de l'eau Conservation Manitoba Winnipeg (Manitoba)	M. David A. Sprynczynatyk North Dakota State Water Commission Bismarck (Dakota du Nord)
M. Slobodan P. Simonovic Natural Resources Institute et Département de génie civil Université du Manitoba Winnipeg (Manitoba)	M. Kent Lokkesmoe Division of Waters Minnesota Department of Natural Resources St. Paul (Minnesota)
M. Robert A. Halliday R. Halliday & Associates Saskatoon (Saskatchewan)	Prof. Jay A. Leitch College of Business Administration Université d'État du Dakota du Nord Fargo (Dakota du Nord)
M. Larry J. Whitney Direction générale des ressources en eau Conservation Manitoba Winnipeg (Manitoba)	M. John Gambel Mitigation Directorate Federal Emergency Management Agency Washington, D.C.
Conseiller du Groupe de travail	**Conseiller du Groupe de travail**
M. David LeMarquand Ministère de la Diversification de l'économie de l'Ouest canadien Ottawa (Ontario)	M. David Loss U.S. Army Corps of Engineers St. Paul (Minnesota)

Dans son rapport définitif, le Groupe donne suite aux plans de travail esquissés dans le rapport provisoire de décembre 1997. Il insiste sur la préparation et la lutte à des inondations aussi importantes que celle de 1997 ou pires encore. Ce ne sont pas tous les travaux envisagés dans le plan de travail qui ont pu être menés à terme, car le gouvernement américain a été incapable d'assurer sa pleine part du financement nécessaire à l'exécution des travaux prévus par le Groupe. Il reste que ce dernier a terminé de grandes études techniques qui ménageront de solides bases aux progrès de la gestion des crues dans le bassin. À son avis, ses recommandations peuvent grandement aider à préparer les gouvernants et les résidents à la prochaine inondation d'importance.

Le Groupe de travail a chargé trois sous-groupes de l'aider dans ses études. Il s'agit des sous-groupes de la base de données, des outils et des stratégies. En voici les membres : **Sous-groupe de travail sur la base de données** : Slobodan Simonovic* (codirecteur), Université du Manitoba; Terry Birkenstock (codirecteur), U.S. Army Corps of Engineers; Rick Bowering, Conservation Manitoba (Ressources en eau); Alf Warkentin, Conservation Manitoba (Ressources en eau); Glenn Radde, Minnesota Natural Resources; Randy Gjestvang, North Dakota State Water Commission; Russ Harkness, U.S. Geological Survey; Ron Wencl, U.S. Geological Survey; Mike Anderson, U.S. National Weather Service; **Sous-groupe de travail sur les outils** : Robert Halliday* (codirecteur), R. Halliday & Associates; Scott Jutila (codirecteur), U.S. Army Corps of Engineers; Rick Bowering, Conservation Manitoba (Ressources en eau); Alf Warkentin, Conservation Manitoba (Ressources en eau); Jim Solstad, Minnesota Natural Resources; Tim Faye, North Dakota State Water Commission; **Sous-groupe de travail sur les stratégies** : Bruce Rawson* (codirecteur), Rawson Group Initiatives; Lou Kowalski (codirecteur), sous-traitant du U.S. Army Corps of Engineers; Larry Whitney*, Conservation Manitoba (Ressources en eau); Dwight Williamson*, Conservation Manitoba (Qualité de l'eau); Mel Sinn, Minnesota Natural Resources; Dale Frink, North Dakota State Water Commission. Le Groupe de travail aimerait également remercier Paul Bourget, représentant du Global Disaster Information Network, de la contribution qu'il a apportée. Il reconnaît que, sans les renseignements et les idées fournis par un grand nombre de particuliers et sans les apports des fonctionnaires de tous les paliers de gouvernement et de tous les contractuels auxquels il a fait appel, il n'aurait pu mener ses travaux à bien.

** Aussi Membre du Groupe de travail.*

Nota : Dans la version anglaise, on applique l'orthographe américaine partout sauf pour les noms au Canada. Les montants sont exprimés dans la monnaie du pays en cause sauf avis contraire. Aux États-Unis, on parle de la rivière Red of the North et, au Canada, de la rivière Rouge. Le présent rapport s'en tient aux noms abrégés. Au Canada, le terme «dike» (digue) désigne habituellement les ouvrages anti-inondation en bordure d'un cours d'eau. Aux États-Unis, le terme correspondant est «levee» (levée). Dans ce rapport, les deux termes sont interchangeables.

Le document cite les unités américaines de mesure et leurs équivalents métriques sauf s'il est d'usage dans le bassin d'employer l'un ou l'autre de ces systèmes métrologiques. Ainsi, nous employons toujours «acre-pied» sans citer l'équivalent métrique (une acre-pied d'eau correspond à 1 233 mètres cubes). L'unité métrique canadienne est le décamètre par hectare.

1

Introduction

Les inondations sont une réalité de la vie le long de la rivière Rouge. Bien que constituant un phénomène rare, la catastrophique inondation de 1997 avait des précédents et aurait pu être prévue. Dans son rapport provisoire de 1997 *Crues de la rivière Rouge : Mesures à court terme*[2], le Groupe de travail présente la conclusion suivante, qu'entérine la Commission mixte internationale : «En d'autres termes, une inondation comme celle de 1997 peut survenir n'importe quelle année.» Dans le présent rapport, le Groupe examine les conséquences de grandes crues—comme celles de 1997 ou pires encore—sur les gens, les collectivités et les administrations publiques du bassin de la rivière Rouge. Il cherche à déterminer ce qu'on peut faire pour gérer les risques de crue et se préparer à de graves inondations.

La Commission mixte internationale (CMI) et le Groupe de travail ont tenu des audiences publiques où ils se sont entretenus avec des résidents et des spécialistes inquiets des débordements de la rivière Rouge. Bien des gens ont donné leurs idées sur les façons de mieux réagir à de futures inondations, ainsi que sur la prévention des débordements et l'atténuation de leurs conséquences. Dans le présent document, nous nous attachons aux préparatifs en vue de combattre une nouvelle inondation importante et répondons aux soucis exprimés par la population et les spécialistes quant aux mesures de prévention ou d'atténuation des dommages que pourraient causer des inondations comme celle de 1997 ou pires encore. Nous évoquerons enfin les questions plus particulières que soulèvent les événements de 1997.

Dans le présent document, nous nous attachons aux préparatifs en vue de combattre une nouvelle inondation importante.

Dans leur recherche de moyens à prendre contre les inondations dans le bassin de la rivière Rouge, les auteurs du présent rapport examinent la question du stockage (réservoirs, zones humides, petits bassins de retenue des eaux ou aménagements de microstockage, gestion du drainage, etc.). Les résidents ont souvent parlé de stockage et de drainage dans les discussions avec la Commission et le Groupe de travail. Dans le bassin, on semble gagné à l'idée que les grands débordements peuvent être évités par des mesures de stockage en amont. Le Groupe de travail a cherché à voir quelle capacité de stockage permettrait de réduire les effets d'une grave inondation comme celle de 1997 et si, sur ce plan, le bassin offrait un potentiel suffisant. Les problèmes et les solutions évoqués par la

population visent en partie des questions de crues d'affluents ou de crues moindres que celles de 1997. Le Groupe a examiné toutes les idées exprimées au sujet de l'atténuation des conséquences fâcheuses d'inondations d'une moindre ampleur uniquement dans la mesure où elles pouvaient permettre de diminuer les débits de pointe des grandes crues de la rivière Rouge. En raison de l'orientation qu'il a adoptée, il n'a pu étudier une foule de projets peut-être dignes d'être entrepris et qui assureraient une bonne gestion des crues d'affluents ou offriraient des avantages d'ordre écologique ou autre.

Il s'est intéressé aux capacités de stockage qui viendraient perceptiblement changer les crêtes de crue à Grand Forks et dans d'autres localités et qui réduiraient les risques auxquels Winnipeg est exposée. Il a en outre examiné le régime hydrologique du bassin afin de déterminer si les pratiques modernes d'occupation des sols (zones humides, autres éléments de drainage, etc.) peuvent jouer comme facteur dans une grande inondation. Il a enfin regardé des stratégies parallèles de stockage et de gestion des eaux (réservoirs, stockage terrestre, zones humides, etc.).

Il en a conclu que le bassin de la rivière Rouge ne disposait pas d'une assez grande capacité de stockage économiquement réalisable pour diminuer largement les débordements importants. Il n'a pas étudié les effets des capacités de stockage en place sur les petites crues. Quelques ouvrages de stockage sont de nature à réduire localement les crues d'affluents et ont aussi une incidence sur les petites crues de la rivière Rouge même. Des mesures de stockage comme les mesures de rétablissement de zones humides peuvent présenter des avantages dignes d'attention dans d'autres domaines que celui des crues.

Si les possibilités de stockage, selon la conclusion même du Groupe de travail, n'offrent aucun moyen pratique de largement réduire les risques de grands débordements de la rivière Rouge, il faut alors songer à une combinaison de mesures de construction d'ouvrages et d'autres mesures. Les villes de Grand Forks et d'East Grand Forks sont en train d'aménager des digues et de lancer des projets de renouvellement urbain à la suite des inondations dont elles ont été victimes. D'autres localités s'engagent dans cette voie et le présent rapport fera état d'un certain nombre de projets qui ont été mis en route. La plus grande zone urbaine du bassin, la ville de Winnipeg, demeure exposée. Elle s'est tirée relativement indemne de l'inondation de 1997, mais ne peut se contenter d'attendre les événements. Si elle n'avait pas été aidée par le beau temps vers la fin d'avril 1997, elle aurait pu connaître le sort des villes voisines au sud. Les auteurs du rapport jugent vulnérable la ville de Winnipeg dans ses défenses contre les inondations et recommandent des mesures correctives.

Les ouvrages de protection contre les inondations ne sont qu'une partie de la solution du problème des grandes crues. Le Groupe de travail a examiné des questions fort diverses de gestion de plaine inondable pour voir comment les gouvernants et les résidents pourraient prendre des mesures de réglementation ou autres pour ainsi atténuer les effets de grandes inondations et éviter davantage ces conséquences aux collectivités.

Une question qui a reçu une certaine attention en 1997 et troublé les relations transfrontalières est celle de la gestion des crues dans le cours inférieur de la rivière Pembina, où des groupements locaux ont pris sur eux de régler de vieilles questions d'endiguement et de drainage des deux côtés de la frontière. La Commission appuie vivement cette initiative et a mis les compétences du Groupe de travail au service d'une compréhension commune des questions techniques. Le Groupe de travail a entrepris des travaux de cartographie de la région par des techniques avancées laser et radar de cartographie numérique. Il a en outre exécuté des passages spéciaux d'application des modèles hydrauliques qu'il a créés pour le bassin de la rivière Rouge en vue de simuler les crues du cours inférieur de la rivière Pembina dans diverses conditions d'écoulement et de protection. Des groupements locaux examinent avec les experts-conseils du Groupe de travail un certain nombre de scénarios qui pourraient aider à résoudre les problèmes. Cet exercice et d'autres travaux de constatation des faits et de recherche de solutions au problème des crues de la rivière Pembina sont décrits dans le présent rapport. Le Groupe s'est enfin servi du bassin comme prototype de démonstration d'une base d'information virtuelle transfrontalière et d'un système d'aide à la décision.

Eugene Kozera

Digue primaire

Une autre question soulevée par les événements de 1997 est celle des hauts niveaux de réservoir au lac Traverse et des débits d'intercirculation avec la rivière Little Minnesota près de Browns Valley (Minnesota). Une liaison hydraulique pourrait s'établir entre les bassins hydrographiques du Mississippi et de la baie d'Hudson, d'où la possibilité pour des espèces aquatiques exotiques de migrer et d'envahir un autre bassin. Le Groupe a examiné la fréquence probable de cette intercirculation, s'est demandé si l'infrastructure de régulation des crues du lac Traverse influait sur cette fréquence et a voulu voir ce qu'on pourrait faire pour désormais prévenir les dangers de liaison à cet endroit.

Soucieux de mieux comprendre la question des crues et constatant les faiblesses de l'infrastructure technologique du bassin, il a consacré une grande partie de son énergie et de ses ressources aux questions de données et aux tâches de modélisation informatique. Il a créé des modèles hydrauliques d'«écoulement transitoire» qui peuvent simuler les débits de crue. Ces modèles seront au premier plan des futures activités de prévision de crues, de planification de plaine inondable et d'intervention en temps réel contre les inondations. En collaboration avec le Global Disaster Information Network*, le Groupe a jeté les bases d'un fonds de données virtuelles et d'un système d'aide à la décision.

---

* *Le Global Disaster Information Network est une initiative multiorganismes au gouvernement des États-Unis qui vise à intégrer toute l'information sur les catastrophes, quelle qu'en soit la provenance, et à mettre celle-ci, en toute sûreté et rapidité, à la disposition de quiconque peut l'exploiter pour réduire les pertes de vies et les dommages.*

Il faudra un certain temps pour mener ce projet prometteur à bien. Ce sera pour le personnel d'intervention et de planification anti-inondation un legs qui le soutiendra en mettant à sa disposition des modèles informatiques et une base d'information des plus modernes de sorte qu'il puisse efficacement planifier et prendre des décisions en temps réel pendant une crise.

Étant à court de fonds, le Groupe a dû mettre fin à ses travaux avant d'avoir pu examiner en détail toutes les questions et mener son projet à terme. Le présent rapport fera état du travail qui s'est accompli et de ce qu'il reste à faire pour les modèles et les réseaux.

Bien des gens dans le bassin sont en quête de changements d'ordre institutionnel pour la gestion du dossier des crues et des eaux en général. Le Groupe de travail propose un cadre institutionnel à deux échelons où des organismes constitués dans le bassin par les gouvernements ou peut-être même par la CMI travailleraient avec les organismes de la base pour ainsi veiller à ce que les questions de crues reçoivent la constante attention qu'elles exigent et se charger de réaliser la vision du Groupe pour ce qui est de la préparation du bassin à la prochaine grande inondation.

Crues de la rivière Rouge dans l'histoire

Dans son rapport de 1997, *Crues de la rivière Rouge : Mesures à court terme*[3], le Groupe de travail prévient qu'une inondation aussi importante que celle de 1997 peut se produire n'importe quelle année. Il en conclut : «La préparation à la lutte contre l'inondation doit faire partie intégrante de la vie des habitants de la vallée de la rivière Rouge.» Depuis, il a fait des recherches pour mieux juger de la fréquence et de l'ampleur des grandes crues. La préparation aux inondations commence par une bonne compréhension de l'ordre de grandeur et de fréquence des crues susceptibles de se produire.

Par plusieurs méthodes, on peut mieux extrapoler la première histoire des crues de la rivière Rouge. Les archives historiques sont le premier moyen à notre disposition. Le débit naturel* de pointe calculé pour The Forks, c'est-à-dire pour le confluent des rivières Rouge et Assiniboine à Winnipeg, était de 163 000 pieds cubes seconde (pcs) dans l'inondation de 1997, soit de 4 616 mètres cubes seconde (mcs). La rivière Assiniboine avait contribué à la crue pour 16 000 pcs [453 mcs]. Pendant la crue de 1826, la pire dont fassent état les archives, ce même débit naturel de pointe s'établissait à 225 000 pcs [6 371 mcs] et, dans celle de 1852, à 165 000 pcs [4 672 mcs]. À l'aide des archives de la Compagnie de la Baie d'Hudson et d'autres sources de renseignements, Rannie a pu documenter la question des crues de la rivière Rouge et de la rivière Assiniboine[4]. Il est parvenu à la conclusion que l'Assiniboine avait contribué pour 30 000 pcs [850 mcs] et plus aux crêtes de crue de la rivière Rouge en 1826 et 1852. Sans les apports de l'Assiniboine, les débits approximatifs auraient respectivement été de 195 000 pcs [5 522 mcs] en 1826 et de 135 000 pcs [3 823 mcs] en 1852. Il est donc possible de conclure que les crues de 1997 de la rivière Rouge près de Winnipeg ont été supérieures à celles de 1852, mais bien moindres que celles de 1826.

Outre les archives historiques, on peut examiner les sédiments de The Forks à Winnipeg et les vestiges des établissements européens et les mettre en corrélation avec les crues du XIXe siècle[5]. Il s'agit de corrélations ténues qui demeurent instructives, bien que n'indiquant pas avec précision l'ampleur des crues. Si on sait comment mettre en parallèle

* *Dans le présent rapport, on entend par débit naturel le débit que l'on aurait observé s'il n'y avait pas eu les ouvrages de régulation des crues de Winnipeg (réservoir Shellmouth, Dérivation Portage et défluent de crue). C'est cependant le débit propre au territoire actuel, et non pas celui qui aurait été constaté avant que les colons ne viennent transformer le territoire primitif.*

Le passage de l'épisode climatique subboréal plus sec à l'épisode subatlantique plus humide il y a environ 2 900 ans s'est accompagné d'importantes crues à The Forks. L'épisode néoatlantique (qui s'est terminé vers l'an 1200 de notre ère) s'est caractérisé par un climat plus chaud et plus sec. On ne relève que deux crues pour cette partie du profil stratigraphique qui embrasse plus de 200 ans. Avec l'avènement de l'épisode pacifique (de l'an 1200 à l'an 1550 de notre ère), un régime plus frais et plus humide s'installe dans la région de la rivière Rouge, et on peut alors relever cinq crues à The Forks en 70 ans (de l'an 1270 à l'an 1340 de notre ère).
S. Kroker, 1999, Flood sediments and archaeological strata

les grandes charges de sédiments et les inondations, on peut par déduction remonter plus loin le cours de l'histoire des crues. En employant les techniques de datation au radiocarbone des os de bison et d'autres matières organiques que recèlent les couches de sédiments, on peut relever des indices franchement révélateurs d'épisodes de crues sur plus d'un millier d'années, en particulier au XIVe siècle.

Les scientifiques canadiens et américains sont toujours en quête de nouveaux indices géologiques des crues du bassin de la rivière Rouge. On devrait ainsi en venir à une meilleure compréhension de l'ampleur et de la fréquence des crues, ainsi que des processus géologiques qui influent sur les inondations et les risques de débordement. On a repéré dans la vallée 30 lieux où les sédiments peuvent nous raconter l'histoire des crues. La datation au radiocarbone de charbon de bois découvert dans les sédiments dégage 1 200 ans d'histoire des dépôts consécutifs aux crues[6]. Les scientifiques analysent des carottes prélevées dans trois de ces lieux, d'abord pour caractériser des événements connus de l'histoire comme les inondations de 1997, 1852 et 1826, puis pour établir l'histoire antérieure des crues.

L'analyse des cernes d'aubier d'échantillons datant du milieu du XVIIe siècle peut aussi révéler l'existence de crues avant la colonisation européenne[7]. Voilà pourquoi des chercheurs ont mis en place un réseau de stations d'analyse d'aubier à la rivière Rouge, depuis Emerson jusqu'à Winnipeg, avec 160 prélèvements sur des chênes vivants à gros fruits, des bâtiments historiques et des bûches découvertes dans les sédiments. Les anomalies des cernes ont déjà permis de reconnaître l'inondation de 1826, et on s'attend à pouvoir ainsi reconstituer un passé climatologique et hydrologique plus lointain.

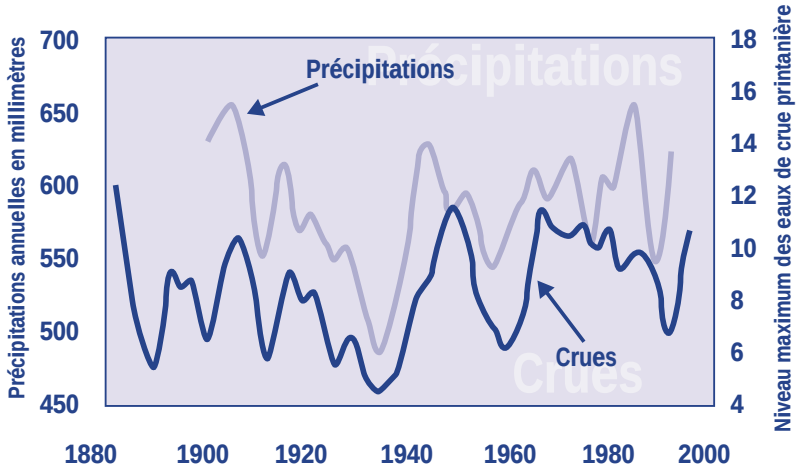
Dans d'autres recherches en cours que parraine le Groupe de travail, on analyse des sédiments pour y relever des indices biologiques de crues passées[8]. Les chercheurs étudient en outre deux lacs excentriques qui ont mêlé leurs eaux à celles de la rivière Rouge pendant l'inondation de 1997. Ils y recherchent des «signatures de diatomées», ces dernières étant de microscopiques algues caractéristiques que recèlent les sédiments. Les diatomées de sédiments fluviatiles qui se déposent dans des lacs diffèrent de celles des sédiments lacustres ordinaires. Ces signatures pourraient être révélatrices des crues des temps géologiques.

Les périodes de crue sont souvent liées aux changements climatiques. Plusieurs chercheurs qui s'intéressent au régime climatique postglaciaire des Grandes Plaines s'entendent sur les épisodes climatiques des 2 500 dernières années. La rivière Rouge semble déborder davantage lorsqu'une circulation accrue d'air du secteur ouest apporte un surcroît de précipitations. Les changements climatiques consécutifs à l'activité humaine

viennent compliquer l'étude des régimes climatiques. Dans les milieux scientifiques, on convient de plus en plus que l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère au XXe siècle a contribué à une hausse de 0,5 °C [0,9 °F] de la température planétaire moyenne. Si le réchauffement peut avoir un effet d'accentuation des précipitations, il est impossible d'affirmer si ces variations augmenteront ou diminueront le nombre de grandes crues dans le bassin de la rivière Rouge.

Figure 1

Précipitations et crues à la rivière Rouge : 1880 à 1998



Les changements climatiques mis à part, le Groupe de travail demeure persuadé que les résidents du bassin de la rivière Rouge doivent se préparer à des crues pires que celles de 1997. On peut se demander combien pires elles seront.

Les résidents du bassin de la rivière Rouge doivent se préparer à des crues pires que celles de 1997. On peut se demander combien pires elles seront.

Les hydrométéorologues du Manitoba ont essayé de répondre en analysant les conditions préalables aux grandes crues, en examinant les archives, en simulant une suite de graves inondations et en dégageant les conditions météorologiques susceptibles d'engendrer de telles crues.

Il y a cinq facteurs qui déterminent l'ampleur des crues printanières de la rivière Rouge : humidité du sol à l'automne, précipitations hivernales, rythme de fonte de la neige au printemps, pluies printanières, période de progression de la fonte et de la pluie du sud au nord. Warkentin s'est reporté à ces paramètres pour créer en simulation à l'intention du Groupe de travail une suite de 2 000 crues à Winnipeg[9]. Sur ce nombre, 34 crues naturelles environ étaient plus amples que celle de 1997, chiffre qui s'accorde bien avec ce que nous disent les données historiques; six débordements étaient supérieurs à celui de 1826 et le plus important se caractérisait par un débit approximatif de 300 000 pieds cubes seconde [8 495 mcs]. L'analyse statistique des crêtes de crue simulées indique que la crue de 1997 était environ à récurrence de 90 ans à Winnipeg, celle de 1826, à récurrence de 300 ans et la très grande, à récurrence de 1 000 ans. Il n'y a pas de documentation historique de la crue de 1826 dans la partie américaine du bassin, et ce n'est donc pas là la crue record de référence chez notre voisin du sud*.

* *Ce travail vient corroborer une étude* (The Risk of Going Under, 1998) *réalisée par le professeur Cas Booy, de l'Université du Manitoba, après l'inondation de 1997. De son analyse statistique des crêtes de crue de la rivière Rouge avec le phénomène d'accumulation de pointes, il conclut à la forte probabilité qu'une inondation pire que celle de 1997 se produise d'ici 50 ans.*

Les éléments d'analyse livrés dans cette section sont imprécis et conjecturaux. Les preuves sont cependant là qu'une inondation aussi importante que celle de 1997 pourrait se reproduire. On est aussi autorisé à penser qu'une crue égale ou supérieure à celle de 1826, la pire de l'histoire canadienne, pourrait à nouveau se présenter.

Conclusion 1 : ***L'analyse des indices géologiques, des crues du XIXe siècle, des statistiques et des facteurs hydrométéorologiques à l'origine des crues du bassin de la rivière Rouge nous indiquent que des inondations de l'ampleur de celle de 1997 ou pires encore sont à prévoir.***

Gestion des débits

L'inondation de 1997 demeure un phénomène rare, mais il est sûr que des crues d'une même ampleur ou supérieures encore se produiront un jour. Pour atténuer les dégâts causés par des inondations aussi graves, il faudra de meilleures mesures anti-inondation dans le bassin et (ou) une modification du régime d'écoulement propre à réduire les débits de pointe.

La Commission et le Groupe de travail ont écouté un certain nombre de résidents et de spécialistes leur exprimer la ferme conviction que les crêtes de crue de 1997 auraient pu être moindres si on avait su stocker une partie appréciable des eaux de ruissellement ou en retarder l'écoulement. S'il s'agit là d'idées réalisables, les efforts consacrés à des projets de stockage ou de décalage des débits de pointe devraient permettre de diminuer l'incidence de futures crues. On a fait diverses propositions visant à multiplier les réservoirs, à rétablir les zones humides et à recourir à des ouvrages de microstockage. Dans d'autres propositions, on voit le drainage par ruissellement comme un facteur qui joue dans l'importance des crues et cherche à restreindre le ruissellement.

Le Groupe de travail s'est attaché à ces questions de gestion des débits dans la perspective d'inondations au moins aussi importantes que celle de 1997. Il n'a pas étudié les effets de cette gestion sur les petites crues de la rivière Rouge ni les crues d'affluents, qui ont généralement un effet sur les terres agricoles au printemps et à l'été.

Stockage des eaux de crue

Des précipitations de neige records pendant l'hiver 1996-1997 et la culmination de ces intempéries en une grande tempête de neige qui s'est abattue tôt en avril 1997 ont apporté huit à dix pouces (20 à 25 cm) d'équivalent-eau au bassin de la rivière Rouge à l'époque des crues cette année-là. Cela correspond à 21 millions d'acres-pieds d'eau dans le bassin en amont du confluent des rivières Rouge et Assiniboine à The Forks à Winnipeg (si on fait abstraction du bassin du lac Devils qui ne contribue rien aux débits); sur cette masse d'eau, neuf millions d'acres-pieds ont ruisselé au printemps et 12 millions sont restés en place, se dissipant lentement par évapotranspiration, infiltration et déversement dans les cours d'eau après les crues. Le tableau 1 indique les volumes d'eaux de crue de 1997 en plusieurs lieux du cours principal de la rivière Rouge d'après les chiffres de la U.S. Geological Survey, d'Environnement Canada et de Conservation Manitoba.

Tableau 1

Volumes d'eaux de crue à Wahpeton, Fargo, Halstad, Grand Forks, Drayton, Emerson et Winnipeg

Station de jaugeage	Volume d'eaux de crue en 1997 (acres-pieds)	Aire de drainage (milles carrés)	Débit de pointe (pcs)*
Wahpeton	780 000	4 000	12 700
Fargo	1 450 000	6 800	27 800
Halstad	3 400 000	18 000	69 900
Grand Forks	4 900 000	26 000	111 000
Drayton	5 700 000	31 000	124 000
Emerson	6 300 000	36 000	129 000
Winnipeg	9 000 000	45 000	163 000**

* Un pied cube seconde (pcs) équivaut à 0,028 mètre cube seconde (mcs).
** Débit naturel calculé à The Forks (voir la note de la page 11).

Tableau 2

Lieux où de nouveaux ouvrages de stockage d'eaux de crue sont peut-être techniquement réalisables

Lieu du réservoir	Acres-pieds
Wild Rice, Minnesota	44 000
Secteur Huot de la rivière Red Lake, Minnesota	240 000
Bald Hill à la rivière Sheyenne, Dakota du Nord	100 000
Rivière Maple, Dakota du Nord	60 000
Zone en amont du lac Traverse, Minnesota et Dakota du Sud	75 000
Zone en aval du lac Traverse	65 000
Rivière Pembina, Dakota du Nord	110 000
Total	**694 000**

Cinq barrages, à savoir ceux de Baldhill, Homme, White Rock, Red Lake et Orwell, rendent compte de plus de 1,0 million d'acres-pieds de stockage anti-inondation. (Se trouvant en cours supérieur, tout le potentiel de stockage de régulation du réservoir du lac Red est rarement réalisé.) D'après le Corps of Engineers de l'Armée américaine, ces cinq réservoirs ont prévenu en 1997 pour plus de 61 millions de dollars de dégâts. On dénombre 280 autres ouvrages de retenue d'une capacité totale de stockage de presque 0,7 million d'acres-pieds (voir l'annexe 4).

Les barrages de stockage temporaire d'eaux de crue abondent, mais la plupart desservent les zones agricoles en aval, et non pas les localités en bordure. Les territoires en aval de ces ouvrages sont généralement des terres agricoles ou des zones fauniques non aménagées.

Il est évident que, en retenant en partie les eaux de crue, on peut limiter les dégâts d'une inondation de sorte que les ouvrages de régulation en place ne connaissent aucune défaillance, mais on peut aussi se demander si on dispose d'une capacité suffisante de stockage à un coût économiquement justifiable pour grandement atténuer les dommages causés par des inondations quand même éparses. Dans les études passées, on a relevé plusieurs nouveaux lieux possibles de stockage (tableau 2). Dans certains cas, on n'a pas construit de réservoirs pour des raisons d'ordre économique, social, écologique ou autre. Les problèmes subsistent aujourd'hui.

Il n'y a qu'une faible partie de cette nouvelle capacité de stockage qui soit en voie d'aménagement dans le bassin. Les chiffres du tableau 2 demeurent donc hypothétiques en majeure partie.

Écrêtement des crues

Les modèles hydrauliques d'«écoulement transitoire» UNET et MIKE 11, qui ont été mis au point par le Groupe de travail, ont servi à évaluer une nouvelle capacité de stockage hautement hypothétique (il sera question de ces modèles au chapitre 11). Il s'agissait en partie des éventuels réservoirs du tableau 2. Dans d'autres cas, des quantités d'eau ont simplement été retranchées des débits à certains endroits clés. Dans un scénario UNET, on a modifié les hydrogrammes des crues d'affluents de 1997 pour ainsi tenir compte d'une exploitation optimale de ces réservoirs, et on a alors calculé des valeurs d'écrêtement pour Wahpeton, Fargo, Grand Forks et Drayton (tableau 3). Dans ces conditions hypothétiques d'optimalité, les niveaux baissent d'un pied environ à tous les endroits, mais de plus de deux pieds à Grand Forks [0,61 mètre].

Tableau 3

Incidence des projets de stockage sur les niveaux d'eaux de crue en 1997 aux États-Unis

	Capacité supplémentaire de stockage (acres-pieds)	Niveaux d'eau (au-dessus du niveau de la mer)		Différence d'avec les niveaux de 1997
		1997	*Valeur modélisée*	
Wahpeton	140 000	962,1	961,0	-1,1
Fargo	300 000	901,0	900,1	-0,9
Grand Forks	584 000	833,7	831,3	-2,4
Drayton	584 000	800,6	799,6	-1,0

De même, dans un projet réalisé par le Minnesota Department of Natural Resources[10], on a employé un modèle hydrologique afin de calculer la capacité de stockage nécessaire pour ramener les débits de pointe de 1997 à Grand Forks à ceux de l'inondation de 1979, c'est-à-dire de 111 000 pcs (3 143 mcs) à 89 000 pcs [2 520 mcs]. On s'est reporté à cette fin aux données quotidiennes sur les débits en avril et mai 1997. On a rapporté les eaux par tâtonnement à un réseau de réservoirs simulés de taille diverse jusqu'à ce qu'on puisse abaisser le débit de pointe à prévoir des 54,2 pieds observés [16,5 mètres] à 49,0 [14,9]. Pour un tel écrêtement, il fallait une capacité approximative de stockage de 1,3 million d'acres-pieds.

Avec le modèle MIKE 11, on a aussi examiné des scénarios d'écrêtement des crues de pointe pour la partie canadienne du bassin[11]. Dans les simulations effectuées, on a retranché 100 000, 200 000 et 400 000 acres-pieds de l'hydrogramme de venue d'eau à Grand Forks pour vérifier l'effet hypothétique sur les niveaux d'eau en aval. Dans une autre simulation de stockage, on a enlevé 800 000 acres-pieds aux valeurs de l'hydrogramme de 1997 entre Grand Forks et Emerson, dont 75 000 acres-pieds pour la rivière Pembina. On se trouvait à écrêter à des moments optimaux sans tenir compte des éventuels lieux de stockage. Il est improbable dans la pratique qu'on dispose d'un réservoir qui retiendrait les eaux à des moments optimaux en période de grande crue.

Tableau 4

Incidence des projets de stockage sur les niveaux d'eaux de crue au Canada

	1997	Stockage (acres-pieds)				Stockage (acres-pieds)			
		100 000	200 000	400 000	800 000*	100 000	200 000	400 000	800 000*
		Valeurs modélisées				*Différence d'avec les niveaux de 1997*			
Lieu	**Niveaux d'eau (nombre de pieds au-dessus du niveau de la mer)**								
Emerson	792,8	792,7	792,6	792,3	791,6	-0,1	-0,2	-0,5	-1,2
Morris	783,2	783,1	783,0	782,7	782,1	-0,1	-0,2	-0,5	-1,1
Ste. Agathe	776,2	775,9	775,8	775,5	774,8	-0,3	-0,4	-0,7	-1,4
Bras du défluent de crue	771,5	770,1	769,0	767,7	766,7	-1,4	-2,5	-3,8	-4,8

* Dans la simulation de 800 000 acres-pieds, on a retranché le volume entre Grand Forks et Emerson et, dans les autres, à Grand Forks même.

Dans le scénario de mise en stockage de 400 000 acres-pieds d'eau, les niveaux de pointe sont tombés à Emerson à 792,3 pieds [241,5 mètres] au-dessus du niveau moyen de la mer. C'est 0,5 pied [0,15 mètre] de moins que les niveaux modélisés de 1997. Le tableau 4 récapitule les résultats de l'emploi de tous ces scénarios.

D'après le tableau 4, si on dispose d'une capacité de stockage de jusqu'à 800 000 acres-pieds en amont, on se trouve à réduire d'un peu plus d'un pied [0,305 mètre] les niveaux d'eaux de crue de 1997 sur la majeure partie du cours principal de la rivière Rouge au Canada. La simulation confirme en outre que, dans une inondation de l'importance de celle de 1997, le réservoir Pembina n'influe nullement sur le niveau des eaux de la rivière Rouge à Emerson. Il reste qu'une capacité de stockage en amont a un effet bien plus marqué à l'entrée du défluent de crue de la rivière Rouge à Winnipeg, où une «mer Rouge» de 25 milles (40 km) de large s'étrangle pour n'être plus que de moins d'un mille de large (1,6 km). À cet endroit, les niveaux d'eau sont sensibles à des diminutions de débit et une capacité de stockage de 800 000 acres-pieds dans le bassin supérieur pourrait écrêter les crues de presque cinq pieds [1,52 mètre]. Si les niveaux d'eau étaient moindres au bras du défluent de crue, les risques seraient également moindres pour Winnipeg même. Nous évoquerons au chapitre 5 un éventuel lieu de stockage en amont de Winnipeg.

Conclusion 2 : ***Il serait difficile, voire impossible de créer une assez grande capacité de stockage en réservoir qui soit économiquement et écologiquement acceptable pour largement diminuer les débits de pointe des grandes crues.***

Microstockage

Des airs, le réseau des chaussées en représentation hachurée dans le bassin de la rivière Rouge ressemble à une surface gaufrée ou offre l'aspect d'un bac à glaçons. Les lignes observables qui en représentent les surfaces sont généralement surélevées par rapport aux terres adjacentes. Des ponceaux assurent un écoulement restreint des eaux locales, d'où un certain stockage temporaire non aménagé (voir la figure 2). On a proposé d'accroître ce stockage en se servant des chaussées et des terrains qui les bordent pour créer de petits réservoirs peu profonds dont on pourrait ensuite régler l'écoulement par des vannes de ponceau[12].

On a aussi proposé un réseau passif où les ponceaux ne seraient pas dotés de vannes, mais seraient sous-dimensionnés en vue de retarder le ruissellement. Ces stratégies tant actives que passives prévoient des milliers de lieux de microstockage disséminés dans le bassin plutôt que les grands réservoirs dont nous avons déjà parlé pour la retenue des eaux de crue.

Le principe du microstockage est que les eaux de crue peuvent être retenues en période de pointe, puis libérées. Aspect primordial, le stockage doit diminuer les débits de pointe de la rivière Rouge, et non pas nécessairement écrêter les crues dans l'affluent où se situent les aménagements de microstockage. Tout ouvrage de retenue réduira les volumes d'écoulement, mais pour vraiment abaisser les débits de pointe, il faut des prévisions précises et détaillées et un système perfectionné de régulation.

Un inconvénient avec le microstockage est que la régulation locale de l'écoulement retarde le ruissellement, prolongeant ainsi l'inondation de certains territoires. On pourrait réduire les inondations locales si on disposait d'un plan détaillé pour actionner séparément les vannes qui règlent les niveaux d'eau de chaque aire de retenue.

On devrait réserver plus de 700 milles carrés [1 800 kilomètres carrés] au microstockage pour obtenir l'effet désiré de régulation des crues.

Pour ramener les pointes des crues de 1997 du niveau observé de 54,2 pieds [16,5 mètres] à 49,0 [14,9 mètres] à Grand Forks, il aurait fallu environ 1,3 million d'acres-pieds de capacité supplémentaire de stockage d'après l'étude déjà mentionnée du Minnesota. S'il était possible de stocker les eaux à une profondeur moyenne de trois pieds [1 mètre], on pourrait retenir 1,3 million d'acres-pieds sur une superficie terrestre approximative de 400 000 acres [160 000 hectares], ce qui représente environ 700 milles carrés [1 800 kilomètres carrés], entièrement en amont du point où on désire écrêter. Plus cette capacité répartie de stockage est éloignée du point de protection, plus son rendement diminue. De ce fait et comme les conditions locales de ruissellement varient d'année en année, on devrait réserver plus de 700 milles carrés [1 800 kilomètres carrés] au microstockage pour obtenir l'effet désiré de régulation des crues.

Figure 2 (a)

Image RADARSAT du 19 avril 1997

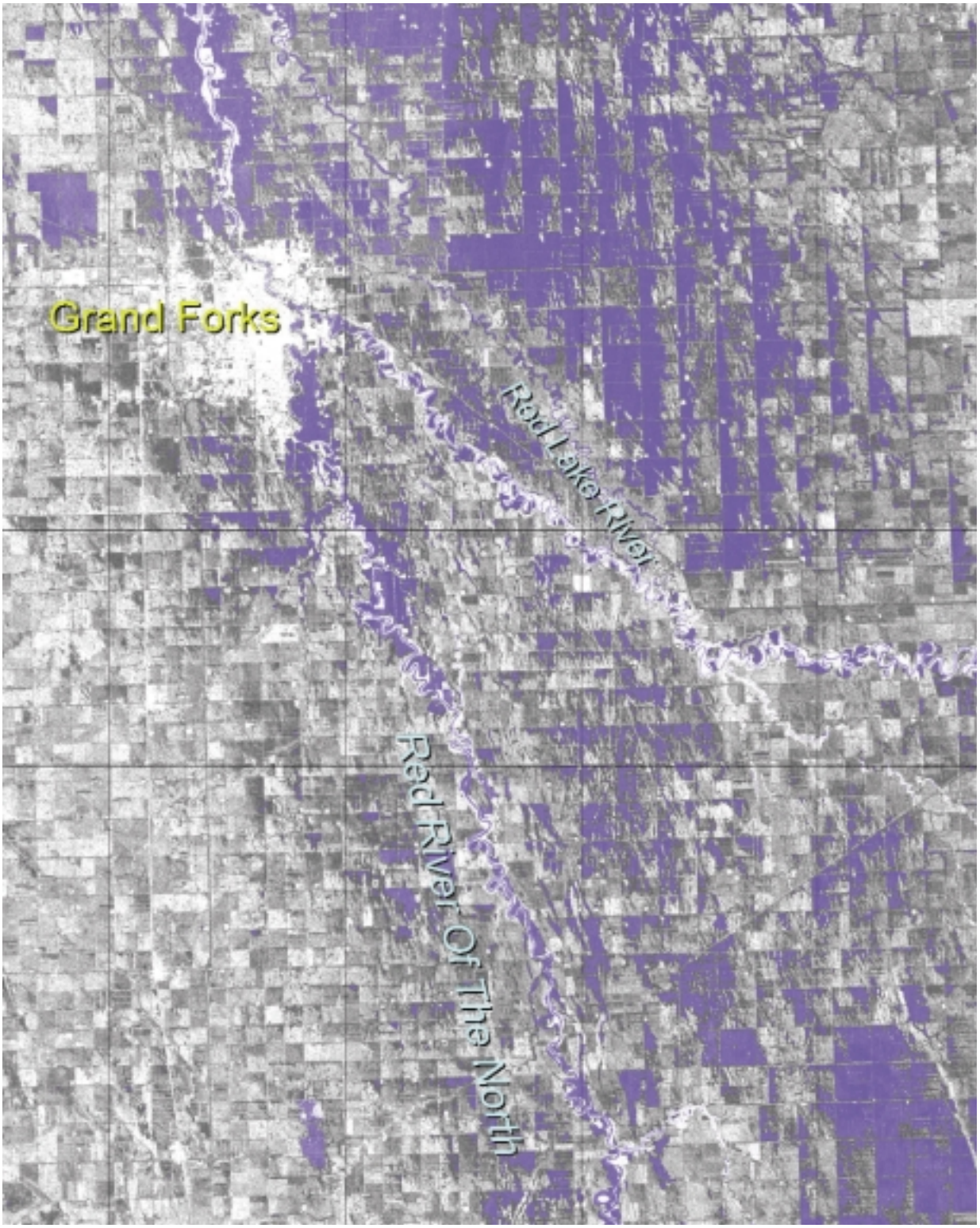
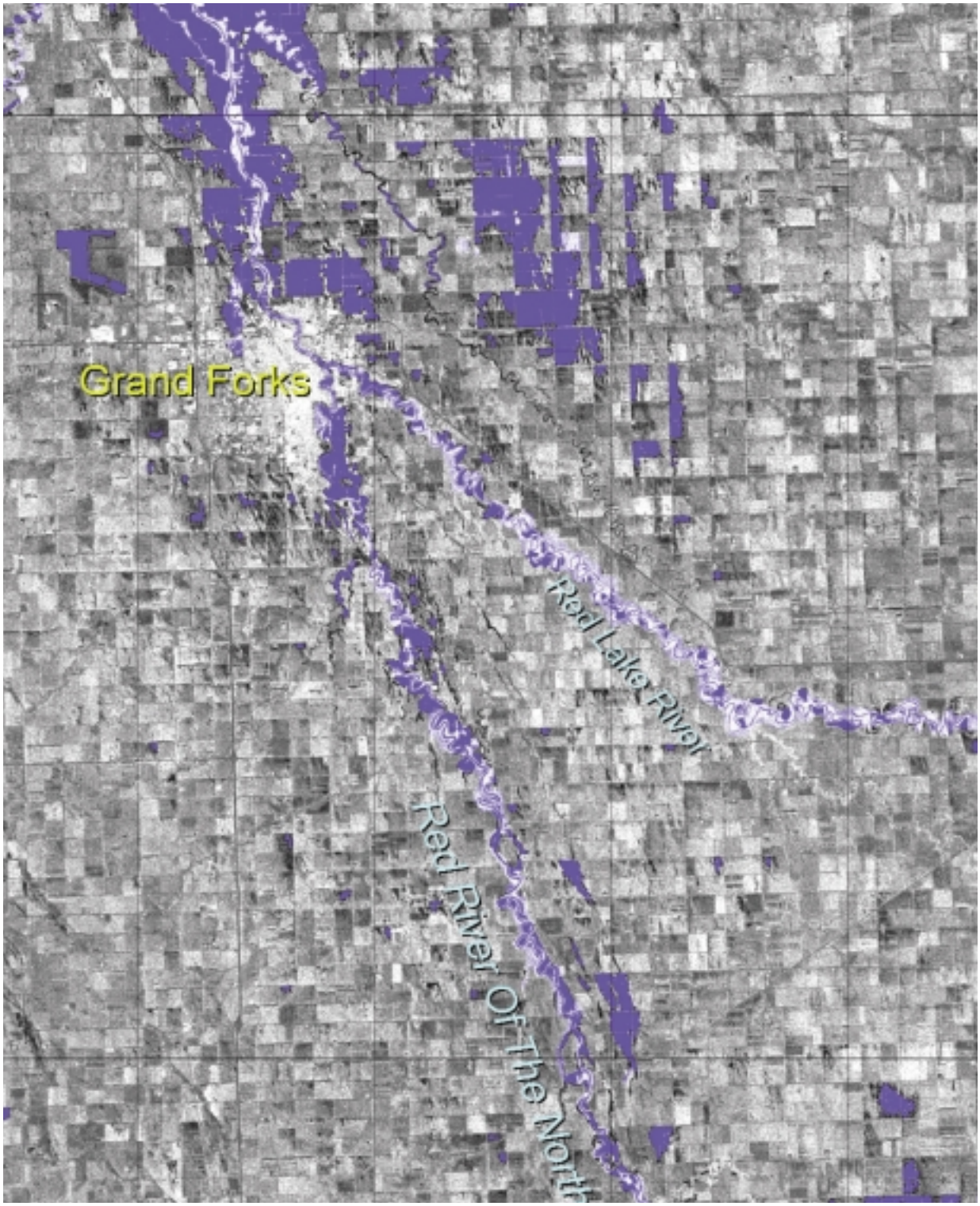


Figure 2 (b)

Image RADARSAT du 24 avril 1997



En période de grandes crues, les petites aires de retenue ont tendance à se saturer et à déborder, ce qui vient retarder l'écoulement des eaux en aval. Ce décalage d'écoulement influe sur les moments de culmination des crues d'affluents avec des effets, favorables ou non, sur les débits de pointe de la rivière Rouge une année quelconque. Pour qu'on soit absolument sûr que le microstockage n'aura pas d'effet négatif sur les crêtes de crue de la rivière Rouge, il faudrait retenir les eaux en milieu terrestre jusqu'à ce qu'on puisse nettement déterminer que les eaux de crue sont en train de se résorber, c'est-à-dire pendant une période de deux ou trois semaines.

Pour un tel microstockage, il faudrait donc largement modifier l'infrastructure, c'est-à-dire surélever et niveler les chaussées, remplacer des ponceaux ou les munir de vannes, etc. Pour qu'il n'y ait pas trop d'érosion des chaussées, on devrait construire des tronçons de débordement en durcissant les revêtements par endroits. Il faudrait également concevoir des vannes commandées à distance qui seraient à l'épreuve des glaces, des rongeurs, des balles et des déchets. Il faudrait enfin protéger contre les inondations les bâtiments des aires affectées au microstockage.

Pour une surélévation des chaussées d'environ 1,5 pied [0,5 mètre] et compte tenu des coûts actuels de construction de routes (et abstraction faite des travaux de renforcement des revêtements), il faudrait prévoir au moins 250 000 $ au mille carré [96 500 $ au kilomètre carré] dans la mise en place de cette infrastructure de microstockage, et ce, à condition de pouvoir éviter les grands travaux de transformation. Des frais annuels d'exploitation et d'entretien s'ajouteraient à ce budget d'investissement. Il faut donc dire que le microstockage n'est pas nécessairement économique.

On devrait sans doute aussi songer à indemniser les propriétaires fonciers à l'égard des ensemencements retardés ou perdus. À en juger par l'expérience récente, il faudrait verser en indemnisation de microstockage—selon la valeur des cultures—de 20 $ à 80 $ l'acre chaque année, ce qui correspond à 12 000 $ à 50 000 $ au mille carré, à 50 $ à 200 $ l'hectare ou à 5 000 $ à 20 000 $ le kilomètre carré. Il s'agirait là d'un paiement annuel, que les terres visées soient inondées ou non. On pourrait peut-être songer à un paiement forfaitaire de servitude inondation. Pour juger de la faisabilité de tout projet de microstockage, il est essentiel d'établir les paiements à effectuer en pareil cas.

Si on disposait d'un plan détaillé pour actionner séparément les vannes qui règlent les niveaux d'eau de chaque aire de retenue, on pourrait réduire les inondations locales de terres agricoles par suite du microstockage. En se dotant d'une telle capacité de réglage, on risquerait moins que de pires débordements de cours principal se produisent en aval à cause d'une mauvaise utilisation des vannes. Une exploitation active des aménagements de microstockage exigerait un système perfectionné d'acquisition et de contrôle de données (SCADA) appliqué en relation avec un modèle hydrologique réparti à résolution fine.

On se servirait du modèle réparti, qui décrirait en détail la topographie des parties plus planes du bassin, pour prévoir les apports des divers sous-bassins et donc les besoins de microstockage. Le système de commande ouvrirait et fermerait individuellement les vannes de ponceau pour écrêter la crue de la rivière Rouge, tout en atténuant le plus possible les inondations locales. Si le nombre de lieux de stockage augmente, il est plus difficile de modéliser le réseau et de ménager un fonctionnement optimal. Le système de régulation devrait relever d'une même autorité à l'abri des ingérences locales pour que ses avantages ne soient pas effacés par des interventions fâcheuses.

Dans les règles de fonctionnement du système de microstockage, on devrait aussi tenir compte de son utilisation les années sèches, laquelle pourrait profiter à la production agricole avec des risques cependant pour l'approvisionnement en eau en aval.

> **Conclusion 3 :** ***Un microstockage à grande échelle offre une certaine possibilité d'écrêter les crues de la rivière Rouge, mais devrait sans doute se révéler impraticable et coûteux. Il existe de nombreuses entraves à une implantation efficace et efficiente d'un tel système.***

Zones humides

Le rôle des zones humides dans l'écosystème des Prairies est une question de grande importance.

Les zones humides ont une incidence à la fois quantitative et qualitative sur l'eau puisqu'elles contribuent à modifier le régime d'écoulement et la chimie des eaux. Elles alimentent la nappe phréatique et peuvent venir changer les effets des crues et des sécheresses locales. Elles sont aussi un bienfait pour la faune, étant pour elle un précieux habitat dans les écosystèmes régionaux, voire continentaux. Elles sont, par exemple, des aires de repos de la sauvagine migratrice. Le rôle des zones humides dans l'écosystème des Prairies est une question de grande importance que le Groupe de travail n'a pas pu étudier. Son orientation était plus étroite, car il s'est attaché à la capacité des zones humides à abaisser les pointes des grandes crues de la rivière Rouge.

Le Groupe de travail s'est intéressé aux zones humides pour leur action modératrice sur le développement des grandes crues dans le bassin de la rivière Rouge.

Pour notre propos, nous définirons les zones humides comme de faibles dépressions en milieu terrestre qui retiennent l'eau en surface plus que quelques jours. Le Groupe de travail s'est intéressé à elles pour leur action modératrice sur le développement des grandes crues dans le bassin de la rivière Rouge.

Les premiers colons de ce bassin considéraient les zones humides comme un inconvénient et un obstacle à la productivité agricole. Pour leur venir en aide, le gouvernement a financé des travaux de drainage. Lorsqu'on construisait des routes, on aménageait des fossés qui drainaient les champs, voire des zones humides tout entières. Par les programmes publics, on a aussi financé l'aménagement d'étangs de ferme, de barrages de conservation et d'ouvrages de stockage en régulation de crues.

Dans une étude réalisée pour le Groupe de travail, on a reconstitué un territoire préagricole de la partie canadienne du bassin. D'après des relevés effectués dans les années 1870, on a caractérisé ce territoire comme se composant de prairies, de terres forestières, d'aires de brousse et de zones humides et on l'a représenté dans un système d'information géographique[13]. Les zones humides formaient 12 % de ce territoire comparativement à 3 % en 1995. Nous ne disposons pas de données sûres sur le drainage des aires humides du bassin, mais on peut penser que, au XXe siècle, l'activité humaine est venue transformer le plus clair du territoire humide de la rivière Rouge.

Les zones humides peuvent retenir les eaux de crue et ainsi réduire les débits et (ou) les volumes totaux de crue, mais on ne sait au juste dans quelle mesure leur rétablissement aiderait à atténuer les crues. Comme on n'a guère étudié la question dans le bassin de la rivière Rouge, le Groupe de travail a mené deux études sur le stockage en aire humide pour ainsi chiffrer l'effet possible d'écrêtement des crues d'affluents pendant une grande inondation comme celle de 1997. Ces travaux ont eu lieu dans les bassins de la rivière Wild Rice au Minnesota, de la rivière Maple au Dakota du Nord et de la rivière Rat au Manitoba[14].

On s'est servi d'un modèle altimétrique numérique des trois bassins pour décrire en volume le potentiel exploitable de stockage en aire humide. On a étalonné un modèle hydrologique en fonction des conditions actuelles dans les bassins. On a appliqué au modèle des valeurs possibles d'augmentation de stockage dans divers scénarios (prévoyant jusqu'à une capacité quadruplée) et comparé le régime d'écoulement résultant à la situation actuelle. Dans les trois cas, l'effet calculé d'un surcroît de stockage en aire humide sur les pointes de 1997 des crues d'affluents était négligeable.

On ne doit pas s'étonner de ces résultats. En 1997, le territoire portait une quantité exceptionnelle de neige et d'eau avant le ruissellement. C'était là la charge aquinivale la plus lourde du siècle. Presque toutes les parties du bassin de la rivière Rouge ont contribué aux débits, et il n'y avait guère de capacité de stockage à mobiliser en plus.

Ces études hydrologiques sont entachées de diverses incertitudes, et notamment d'imprécisions du modèle altimétrique numérique. Un modèle plus détaillé pourrait livrer de meilleures estimations du stockage possible en aire humide. On pourrait également recourir à des scénarios de stockage différents, mais les scénarios essayés comportaient tous une importante augmentation du territoire humide. D'après les résultats actuels, le Groupe de travail juge improbable qu'une modélisation hydrologique plus poussée vienne changer les constatations générales au sujet de l'incidence du stockage en aire humide sur les grandes crues.

Autre question : dans quelle mesure les zones humides peuvent-elles écrêter les crues moindres ou les crues locales? Des analyses hydrologiques comme celles de notre étude pourraient démontrer qu'un surcroît de capacité de stockage en aire humide serait de

nature à abaisser les pointes des petites crues et des crues locales, constatation particulièrement importante pour qui veut combattre les inondations de terres agricoles causées par les pluies estivales.

Dans les études qu'il a réalisées, le Groupe de travail s'est attaché aux aspects économiques d'une augmentation de cette capacité de stockage[15]. On peut acheter des terres par acquisition directe ou par obtention d'une servitude de stockage. Une analyse avantages-coûts du stockage en aire humide prouve que les coûts l'emportent sur les avantages s'il s'agit de gérer les crues. Dans ces analyses, on n'a pas tenu compte des avantages ni des coûts environnementaux et autres.

D'après les conclusions générales de l'étude des trois bassins, on peut voir la nécessité d'évaluer les avantages et les coûts locaux du rétablissement de zones humides quant à leurs effets régulateurs de crues plutôt que de s'attarder aux avantages d'écrêtement de grandes crues à l'échelle du bassin. Somme toute, les avantages se présenteront plus probablement sur le plan du rétablissement des écosystèmes et des habitats fauniques que sur celui de la régulation des grandes crues.

On peut voir la nécessité d'évaluer les avantages et les coûts locaux du rétablissement de zones humides … plutôt que de s'attarder aux avantages d'écrêtement de grandes crues à l'échelle du bassin.

Conclusion 4 : ***Le stockage en aire humide peut tenir une place de choix dans l'écosystème des prairies, mais son rôle hydrologique est négligeable sur le plan de l'écrêtement des grandes crues le long du cours principal de la rivière Rouge.***

Conclusion 5 : ***On a peut-être de bonnes raisons écologiques ou autres de rétablir les zones humides, mais ce rétablissement demeure un moyen économiquement peu efficient d'atténuer les dommages causés par de grandes crues peu fréquentes comme celles de la rivière Rouge en 1997.***

Recommandation 1 : ***On devrait évaluer les projets de rétablissement de zones humides à des fins de régulation des crues en s'attachant aux avantages et aux coûts locaux plutôt qu'en voulant en dégager les avantages à l'échelle du bassin.***

Drainage

On évoque souvent le drainage des zones humides et les utilisations agricoles et urbaines du sol comme des facteurs ayant contribué aux crues records de 1997. Le territoire humide et l'occupation des sols peuvent avoir un effet appréciable sur l'abondance des eaux de ruissellement qui s'écoulent vers les cours d'eau et la rapidité de cet écoulement, particulièrement lorsque les conditions climatiques approchent de la moyenne ou de la «normale». Il faut cependant dire que des précipitations hivernales records ou presque

sur un territoire de milliers de milles carrés et l'abondance consécutive des eaux de ruissellement en 1997 ont causé la saturation et le débordement des dépressions du territoire. Le drainage des zones humides et les pratiques d'occupation des sols n'ont guère joué dans les très amples crues observées.

Si le drainage vient diminuer la capacité naturelle de stockage dans le bassin, d'autres facteurs font contrepoids et augmentent cette capacité, qui comprend les 1,7 million d'acres-pieds de retenue en réservoir et dans d'autres ouvrages, ainsi que l'effet de retenue des eaux de grande crue par le quadrillage routier.

Il y a quatre catégories de drainage artificiel qui, parfois, se combinent :

- **Drainage des zones humides :** les étangs sont drainés par des fossés d'écoulement (il n'y a presque pas de tuyaux de drainage dans le bassin);
- **Drainage par fossé de route :** les eaux s'écoulent à travers le réseau routier et les terres en bordure par fossé de route;
- **Drainage général de champ ou de nappe d'eau :** les eaux de surface (et non pas les eaux des aires humides) sont retirées des champs par aménagement de fossés ou nivellement des terres (on n'utilise pas de tuyaux de drainage de champs en général dans le bassin);
- **Drainage de nappe phréatique :** la surface draine les eaux souterraines suffisamment pour faciliter l'exploitation agricole ou les autres utilisations du sol si ces eaux sont naturellement affleurantes.

Dans son effet sur les débits de pointe, le drainage artificiel dépend avant tout de l'hydrologie du bassin. Cette incidence ne peut faire l'objet d'une généralisation.

Le drainage des zones humides et le drainage par fossés de route sont responsables d'environ 90 % des volumes de drainage. Le drainage s'amorce dans les aménagements privés (fossés creusés et terres nivelées) et aboutit dans les ouvrages publics (financés en grande partie par les impôts perçus auprès des propriétaires fonciers bénéficiaires) ou dans les fossés de route et finalement dans les cours d'eau naturels.

Le drainage influe sur le ruissellement en changeant les volumes ou les périodes d'écoulement. Le drainage artificiel peut accroître le volume absolu d'eau qui entre dans les cours d'eau naturels en ajoutant au réseau de drainage des territoires auparavant non drainés. L'effet en aval d'un changement d'abondance des eaux de ruissellement dépend cependant des périodes de pointe de crue.

Le drainage artificiel fait plus rapidement passer les eaux des aires d'accumulation (par précipitations de pluie ou fonte des neiges) aux cours d'eau naturels. Si le moment change où les eaux de ruissellement gagnent un cours d'eau naturel, les débits de pointe peuvent augmenter, diminuer ou rester les mêmes. Pendant l'inondation de 1997, les pointes des affluents ont généralement coïncidé avec celles du cours principal, d'où un effet d'aggravation d'une situation déjà alarmante. À Winnipeg, les crues de 1997 ont correspondu en volume à celles de 1950, mais les pointes ont été bien plus élevées.

Dans son effet sur les débits de pointe, le drainage artificiel dépend avant tout de l'hydrologie du bassin. Cette incidence ne peut faire l'objet d'une généralisation. Les études de drainage dans de petits bassins montrent les effets sur les débits et les volumes de pointe. Il est difficile d'extrapoler ceux-ci à l'échelle du bassin de la rivière Rouge, aussi les périodes de culmination de crues sont-elles une considération importante. Si l'eau est rapidement drainée, cela peut parfois représenter un avantage, mais dans d'autres cas il se pourrait que les pointes locales coïncident avec les pointes centrales (cours principal de la rivière Rouge). Le phénomène du drainage est une question dont on devra pousser l'étude.

Effets du stockage réparti et du drainage sur les niveaux d'eau de pointe

Bref, avec une plus grande capacité de stockage dans les affluents, on ménagerait généralement une modeste réduction des niveaux d'eau pour la quantité d'eau stockée en réservoir, dans les champs ou dans des zones humides rétablies. L'efficacité dépendrait en outre des périodes de libération des eaux. Ajoutons que les projets de drainage peuvent avoir ou non pour effet d'abaisser le niveau d'eau du cours principal de la rivière Rouge selon la nature des crues.

Avec une plus grande capacité de stockage dans les affluents, on ménagerait généralement une modeste réduction des niveaux d'eau pour la quantité d'eau stockée en réservoir.

Le défi pour l'analyste est de voir comment une suite de projets distribués à l'échelle du bassin pourrait influer sur les niveaux d'eau en aval dans la rivière Rouge même. On peut procéder à une telle analyse à l'aide des modèles hydrologiques répartis dont traite le chapitre 11, que l'on joindrait aux modèles hydrauliques UNET et MIKE 11 du Groupe de travail. On a entrepris d'appliquer des modèles hydrologiques partiellement répartis à certains affluents. D'autres travaux se feront sans doute au gré des besoins constatés en données et des fonds disponibles.

Grâce à ces modèles, nous pourrons mieux comprendre comment fonctionne le bassin, et il s'en dégagera de nouvelles idées en matière de régulation des crues. L'utilisation des modèles ne nous donnera cependant pas de solution de stockage bien précise au problème des grandes crues de la rivière Rouge. Il vaut mieux s'attendre à ce qu'ils nous aident à trouver des mesures d'atténuation des effets des crues secondaires d'affluents, qu'il s'agisse d'aménager de petites aires de retenue des eaux, de modifier les pratiques agricoles de travail du sol ou de rétablir en permanence le couvert végétal du territoire.

Un autre facteur qui rend difficile le recours au stockage réparti pour l'écrêtement des crues du cours principal de la rivière Rouge est la difficulté de gérer une telle infrastructure de stockage. Il existe des outils d'aide à la décision qui permettent de gérer un fonctionnement à réservoirs multiples et d'en prévoir les effets en aval, mais plus le nombre d'aires de retenue augmente, plus le système gagne rapidement en complexité. La gestion active d'un réseau distribué de centaines de petits réservoirs abonde en problèmes et les résultats sont incertains.

Les résultats de l'exploitation d'un réseau distribué de réservoirs seraient sans doute trop incertains pour les centres urbains exposés aux grandes crues de la rivière Rouge. On a le choix de gérer les crues à leur point d'origine ou de se rabattre avec relativement plus d'assurance sur des mesures locales d'aménagement ou autres.

Incidence des digues urbaines sur les crues

On a soulevé des questions au sujet de l'incidence sur les niveaux d'eau en aval de la construction de nouvelles digues à Grand Forks et à East Grand Forks. Les risques pour les localités en aval seraient-ils plus grands du fait que l'on réduise le stockage hors chenal?

Le modèle hydraulique UNET qui a servi à examiner les effets du stockage en amont a été adapté à l'analyse de cette question. Dans cette application, on gardait sèches les zones urbaines jusqu'au débordement des digues au niveau de montée des eaux de crue de 1997. On a simulé le stockage représenté par les villes inondées au moment de culmination de la crue ou un peu avant pour dégager l'effet paramaximal d'écrêtement des débits et des hauteurs d'eau en aval. Des crues moindres ne débordent pas les digues. Des crues plus importantes que celles de 1997 les déborderaient plus tôt et occuperaient la capacité de stockage disponible bien avant leur culmination. Il n'y a que dans le cas d'un débordement des digues quelques jours après le jour de débordement effectif que le modèle montre une plus grande élévation des niveaux en aval.

Les aires de stockage de Grand Forks et d'East Grand Forks étaient remplies dans la modélisation étalonnée en fonction des crues de 1997. Le volume maximum d'eau stockée dans ces aires en période de culmination de crue était de 15 000 acres-pieds, quantité qui ne se compare guère à l'abondance des eaux de la rivière Rouge dans l'inondation de 1997. Le tableau 5 présente les conséquences sur les niveaux d'eau en aval.

Tableau 5

Modélisation de la montée des eaux sans débordement de digues

Lieu	Milles de cours	Élévation des niveaux au-dessus de la hauteur de crue en 1997 (pieds)
Letellier, Manitoba	141,17	0,00
Pembina, Dakota du Nord	158,00	0,02
Station de jaugeage de la USGS à Drayton, Dakota du Nord	206,70	0,04
Autoroute 1 du Minnesota à Oslo	271,20	0,04

Embâcles

Les glaces des cours d'eau peuvent abîmer les terres, éroder les rives, dérégler les transports et l'approvisionnement hydroélectrique et rendre difficile toute prévision des crues. Le Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL) de l'Armée américaine exploite une base nationale de données sur les embâcles qui, en 1999, avait recensé 397 faits au Dakota du Nord où les glaces, et notamment les embâcles, avaient influé sur les niveaux des cours d'eau, ainsi que 488 autres faits du genre au Minnesota. Rannie[16] a réuni des données semblables pour la partie canadienne du bassin. On n'a pas cherché à dresser la liste des embâcles à l'échelle du bassin.

Mettre plus vite les rivières en marche

Le Groupe de travail a entendu des gens dire que les débits de pointe pourraient diminuer si on déglaçait les cours d'eau avant le ruissellement. Ils voudraient donc que les rivières se remettent en marche plus vite. L'adoption d'une telle stratégie risque non seulement de provoquer des embâcles en créant une énorme quantité de fragments de glace dans les cours d'eau, mais se révélerait aussi inefficace. L'abondance des eaux qui s'écoulent dans une rivière en un jour à l'approche de la période de culmination des crues peut correspondre au débit d'un mois avant le déglacement.

Les affluents dont le lit est confiné et à gradient appréciable s'exposent tout particulièrement aux embâcles. Comme exemples, on peut citer la rivière Sheyenne de Valley City à l'amont de Kindred (Dakota du Nord), la rivière Pembina en amont de Walhalla (Dakota du Nord) et la rivière Red Lake de Thief River Falls à Crookston (Minnesota). Les embâcles qui se forment à ces endroits peuvent faire varier les niveaux d'eau rapidement et parfois amplement. Dans la rivière Assiniboine, ils peuvent nuire au fonctionnement de la Dérivation Portage, qui fait partie du système anti-inondation de Winnipeg. Dans notre examen de la protection de Winnipeg contre les inondations (voir le chapitre 5), nous allons traiter de ce problème.

Les conditions qui règnent le long du cours principal de la rivière Rouge diffèrent de celles des affluents en ce que la zone inondable est habituellement étendue et que le gradient du lit principal est peu accentué. En période initiale de déglacement, les niveaux des cours d'eau peuvent grandement fluctuer au gré de la formation, de la rupture et de la réapparition plus en aval d'embâcles. Une fois que la rivière Rouge se met à déborder, la largeur du territoire que peuvent occuper les eaux de crue augmente considérablement et les risques d'embâcle sont moindres. En général, le déglacement s'opère avant que les crues ne culminent.

En 1996, un important embâcle a fait s'inonder par endroits la région de Selkirk, au Manitoba. À l'approche des crues en 1997, on a pratiqué des milliers de trous dans les glaces près de Selkirk pour affaiblir le couvert. Il n'y a pas eu d'inondation par embâcle, mais on ne sait au juste si on doit ce bienfait à l'opération de forage des glaces.

On peut recourir à un certain nombre de techniques de gestion des glaces (qu'il s'agisse ou non de mesures d'aménagement) pour prévenir les embâcles ou les rendre moins fréquents. Les mesures d'aménagement sont coûteuses et donc peu rentables compte tenu des conditions dans le bassin de la rivière Rouge. L'exception pourrait être les modifications de chenal au bénéfice des collectivités ayant des problèmes persistants d'embâcles en un lieu déterminé. De même, on ne pourrait généralement maîtriser les

Véhicules sur coussin d'air servant à la gestion des glaces

Dans certaines conditions, des véhicules sur coussin d'air comme les aéroglisseurs peuvent créer une onde stationnaire capable de briser des glaces de 3 pieds d'épais. La surface glacée doit généralement être sans crêtes et le véhicule doit pouvoir évoluer à partir d'une zone d'eaux libres. Ces véhicules ne sont toutefois pas efficaces au moment de dégager les fragments de glace. Dans le fleuve Saint-Laurent, les brise-glace évacuent les glaces rompues par les véhicules sur coussin d'air. Les véhicules utilisés pour le déglacement du Saint-Laurent pèsent 120 tonnes.

conditions d'englacement du bassin de la rivière Rouge à l'aide de techniques de déglacement comme celles du bullage ou du réglage de régime thermique ou hydrologique.

Dans le bassin, on a employé deux méthodes sans doute praticables de gestion des glaces. Il s'agit de traiter le couvert pour hâter la fonte ou de découper les glaces pour régler le déglacement. En appliquant des substances foncées au couvert, celui-ci absorbera le rayonnement solaire, d'où un effet d'accélération de la fonte. Pour obtenir tout l'effet recherché, on doit procéder à l'application de ces substances bien avant la rupture du couvert, mais on risque de la sorte que le produit de saupoudrage se recouvre de nouvelle neige. Les substances répandues doivent être exemptes de nocivité chimique. Dans une autre technique destinée à hâter la fonte des glaces, on retire la neige du couvert, car la glace absorbe plus le rayonnement solaire que la neige.

On considère généralement le découpage des glaces comme une méthode techniquement et économiquement praticable de gestion des glaces, surtout dans des conditions relativement peu sévères de formation d'embâcles. On peut affaiblir le couvert en des lieux de formation fréquente d'embâcles par des opérations de forage, de sciage ou de débitage. Il faut toutefois user de prudence en pareil cas, car des problèmes d'évacuation des fragments de glace risquent de se poser. Si les fragments vont en aval et se prennent les uns aux autres, d'autres difficultés naîtront.

L'application au couvert de substances sans nocivité chimique et les opérations de découpage de glaces paraissent prometteuses comme éventuelle stratégie de gestion des glaces hors aménagement dans le bassin de la rivière Rouge. Des mesures d'aménagement pourraient se justifier en des lieux où les embâcles détériorent fréquemment et gravement les terrains et les infrastructures. Il faut dans tous les cas adopter une stratégie d'atténuation seulement après une étude approfondie des conditions locales, et on se doit de protéger les intérêts en aval.

Recommandation 2 : ***On devrait intégrer à la base de données sur les embâcles du CRREL l'information future sur les embâcles à l'échelle du bassin pour pouvoir soumettre à une analyse plus approfondie les problèmes que posent les glaces dans le bassin. Dans la mesure du possible, on devrait y verser des données chronologiques sur les embâcles dans la partie canadienne du bassin.***

Collectivités exposées

Généralités

Dans le bassin de la rivière Rouge, la population et les administrations publiques de tous les paliers conviennent de la nécessité d'une protection contre les inondations et se sont employées à appliquer des mesures qui protègent les entreprises, les habitations, les terrains et les localités. Ainsi, on peut trouver à l'annexe 4 une liste de 280 projets d'aménagement de réservoirs et à l'annexe 3 une liste de mesures locales de protection. Si tous ces projets énumérés montrent bien la ferme volonté de mettre les habitations, les investissements et les collectivités à l'abri, les activités d'atténuation des dommages des crues qui s'exercent dans le bassin vont bien au-delà, qu'il s'agisse de déplacer maisons et entreprises hors de la zone inondable, d'aménager des remblais en zone de culture ou des digues circulaires autour de maisons rurales, d'adopter des pratiques agricoles qui empêcheront un ruissellement trop rapide, de rétablir les zones humides, d'élaborer et mettre à jour des plans d'évacuation ou de réaliser d'autres projets de réduction des dégâts des crues hors mesures d'aménagement. (Le chapitre 6 examine plus généralement la réglementation et les autres politiques relatives aux zones inondables qui favorisent l'atténuation des effets des crues et la résistance locale aux inondations.)

United States Army Corps of Engineers

Pembina
(Dakota du Nord)

On devrait faire bien plus pour se préparer à des inondations comme celle de 1997 ou pires encore. On ne saurait entièrement prévenir les dommages des crues dans le bassin, mais on se doit d'évaluer les interventions possibles et d'y affecter des ressources appropriées lorsque les améliorations proposées se révèlent rentables.

Projets locaux de protection

Nombreuses sont les collectivités qui se protègent elles-mêmes contre les inondations en retenant les eaux de ruissellement avant qu'elles ne gagnent la zone inondable ou en mettant tout simplement leurs bâtiments à l'abri de la propagation des crues. Ces mesures sont courantes et efficaces, mais bien des localités voient dans la construction de digues la seule mesure de protection qui soit économiquement justifiable et socialement acceptable.

Bien des localités voient dans la construction de digues la seule mesure de protection qui soit économiquement justifiable et socialement acceptable.

Les digues en milieu urbain sont un bon moyen de protection à condition d'en faire une évaluation systématique, de les ériger à une distance raisonnable du cours d'eau et de tenir compte des fonctions naturelles de la zone inondable. Si les mesures d'aménagement ne sont pas conçues pour créer une véritable résistance à la force de l'inondation, que les digues ne sont pas assez hautes ou qu'elles ne peuvent être surélevées en cas d'urgence, les populations locales pourraient nourrir de faux sentiments de sécurité devant leurs systèmes locaux de protection. Il se pourrait, par exemple, que l'on n'ait pas pensé à toutes les sources d'inondation : inondation «par la porte arrière», égouts infiltrables, voies inconnues de pénétration sous les digues, dispositifs d'interdiction insuffisants dans les rues et les voies de chemin de fer, drainage intérieur, etc. On se doit en outre d'évaluer systématiquement les divers projets locaux pour en cerner les éventuelles conséquences fâcheuses sur le plan extralocal.

Il y a encore des risques même si des digues permanentes assurent un haut degré de protection contre les inondations. On conçoit la hauteur de ces ouvrages en fonction d'inondations d'une certaine ampleur ou fréquence. On soupèse d'habitude les coûts à acquitter par rapport aux dommages à prévenir afin d'établir la fréquence des inondations contre lesquelles on doit se défendre. Ainsi, les nouvelles digues érigées à Grand Forks sont conçues pour des crues à récurrence de 210 ans. Si une crue plus ample débordait la digue, tous les gens et les biens de cette localité seraient menacés, surtout si la population n'était pas préparée. Moins les ouvrages de protection sont hauts, plus une localité s'expose fréquemment à des risques. Pour une bonne protection civile contre les inondations, les collectivités ont besoin de plans d'urgence qui les prépareront à d'éventuels débordements de leurs digues.

La liste de projets que présente l'annexe 3 indique qu'un grand nombre de localités disposaient de digues temporaires aux États-Unis en 1997. Depuis, beaucoup de localités ont renforcé les digues en place, quelques-unes pour se conformer aux normes fédérales de conception de ces ouvrages. Elles sont admissibles au programme américain FCWIP (Non-Federal Flood Control Works Inspection Program), qui encourage la construction de digues «non fédérales» selon des normes minimales. Dans le régime FCWIP, les autorités fédérales indemnisent les collectivités participantes à hauteur de 80 % du coût de remise à niveau de leurs ouvrages anti-inondation dans l'éventualité de sérieux dommages causés par les crues. Les 20 % qui restent sont couverts par les programmes d'indemnisation des États et des administrations locales.

Les localités dont les digues sont conformes aux normes fédérales et conçues pour les protéger contre des inondations à récurrence de 100 ans (avec une hauteur libre comme marge de protection) peuvent solliciter une homologation de la FEMA (il y a alors retrait du secteur protégé de la zone inondable à récurrence de 100 ans). Toutefois, dans environ 70 % des localités de la partie américaine du bassin (voir la liste de l'annexe 3), les digues ne satisfont pas aux normes minimales des autorités fédérales et ne sont pas homologuées aux fins du FCWIP. Ce n'est pas nécessairement que ces digues laissent à désirer, mais elles peuvent avoir été

Dans environ 70 % des localités de la partie américaine du bassin, les digues ne satisfont pas aux normes minimales des autorités fédérales et ne sont pas homologuées aux fins du FCWIP.

construites en situation d'urgence, souvent dans des conditions météorologiques moins qu'idéales, à la va-vite ou sans le concours d'ingénieurs. Elles peuvent suffire ou non, mais il reste qu'on s'en remet à elles comme seul dispositif de protection contre les inondations.

La participation au FCWIP garantit que des ingénieurs qualifiés inspecteront les digues tous les deux ans et aideront les localités à remettre en état les ouvrages anti-inondation abîmés par les crues. Les travaux d'inspection sont gratuits pour les localités.

> **Recommandation 3 :** ***Les localités de la partie américaine du bassin de la rivière Rouge devraient faire en sorte que les ouvrages qu'elles construisent en vue de réduire les dommages causés par les crues soient homologués par la FEMA pour au moins une protection contre les inondations à récurrence de 100 ans ou elles devraient participer au Non-Federal Flood Control Works Inspection Program.***

Au Manitoba, les autorités fédérales et provinciales ont, après l'inondation de 1997, affecté 130 millions à la protection contre les inondations. Elles financent ainsi l'aménagement de digues circulaires locales qui protègent contre des crues de l'importance de celles de 1997. Des projets en ce sens ont été entrepris à Ste. Agathe. Les études de faisabilité et de conception sont pour ainsi dire terminées dans le cas des 17 autres projets locaux d'endiguement pour une valeur totale estimative de 40 millions. Les travaux d'aménagement devraient commencer à l'été de l'an 2000 et se terminer d'ici le 31 mars 2003. On relève de tels projets à Rosenort, Niverville, Gretna, Aubigny, St. Pierre-Joly, Lowe Farm, Riverside, Emerson, Rosenfeld et Dominion City.

Grands centres urbains

Winnipeg (670 000 habitants) a traversé l'inondation de 1997 en subissant relativement moins de dégâts que la plupart des autres villes du bassin, mais ses défenses contre les inondations ont été sollicitées à l'extrême et pourraient se révéler insuffisantes à de prochaines crues d'une même ampleur ou pires encore. Au prochain chapitre, nous détaillerons les risques auxquels Winnipeg est exposée, ainsi que de nouvelles mesures d'atténuation de ces risques. Nous évoquerons ici la situation d'autres villes du bassin.

Fargo/Moorhead (plus de 100 000 habitants) - Il y a eu culmination record des débits de crue en 1997 avec une valeur de 39,62 pieds [12 m] (soit 901,42 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer ou 274,75 m). Un projet de protection permanente contre les inondations qui a pris fin à Fargo en 1961 prévoyait l'aménagement de quatre rideaux d'étanchéité et d'une digue de 3 500 pieds [1 067 m]. La hauteur nominale des digues permanentes de Fargo correspondait à un niveau d'eau de 41,3 pieds [12,6 m], mais le tassement a ramené le degré réel de protection à 40,0 pieds [12,2 m] d'eau. Le canal de dérivation de West Fargo dans le cadre du projet de régulation des crues de la rivière Sheyenne (les travaux se sont terminés en 1993) a empêché les eaux d'intercirculation en provenance de la rivière Sheyenne d'inonder Fargo et West Fargo. Quant à Moorhead, elle n'a pas de projet fédéral de protection permanente contre les inondations. Les deux localités ont évité de graves inondations en 1997 en surélevant les digues en place ou en construisant des digues temporaires. Depuis les crues de 1997, elles ont pris des mesures d'atténuation :

acquisition de presque 100 habitations de la zone inondable, élévation et stabilisation des digues existantes, installation de stations permanentes de pompage, amélioration des stations de relèvement des eaux d'égout pluvial et du réseau d'égouts séparatifs, etc.

Fargo étudie aussi la faisabilité d'un système de protection permanente pour les secteurs situés du côté sud de la ville. Les crues de 1997 ont dépassé la hauteur d'endiguement permanent et les ouvrages de protection construits depuis n'ont pas été homologués. À la suite de l'examen que font actuellement le Corps of Engineers de l'Armée américaine et la FEMA de l'hydrologie de la rivière Rouge, on pourrait modifier le niveau de référence des crues à récurrence de 100 ans et exiger une révision des cartes d'assurance inondation de la FEMA pour Fargo et Moorhead. Le diagramme d'écoulement des eaux d'une crue comme celle de 1826 indique que, à Fargo et à Moorhead, le niveau d'eau aurait été supérieur de 4,6 pieds [1,4 m] à celui qui a été observé pendant l'inondation de 1997*.

Grand Forks-East Grand Forks (60 000 habitants). Le niveau d'eau maximum observé en 1997 a été de 54,35 pieds [16,56 m] (833,35 pieds [254 m] au-dessus du niveau moyen de la mer). Les digues temporaires aménagées en fonction de niveaux d'eau de 52,0–52,5 pieds [15,8-16 m] ont été débordées. On estime à 3,6 milliards les dégâts causés par l'inondation aux villes de Grand Forks et d'East Grand Forks[17]. Depuis, ces localités ont collaboré avec le Corps of Engineers de l'Armée américaine à l'élaboration d'un plan d'aménagement de digues décalées et de murs de protection. Réalisé entre 2000 et 2006, ce projet de 350,3 millions protégera en permanence contre des crues à récurrence de 210 ans. La barrière opposée aux flots serait d'une hauteur de 838,5 pieds [255,6 m] au-dessus du niveau moyen de la mer en jauge primaire et protégerait donc contre des crues de 5,15 pieds [1,57 m] supérieures à celles de 1997. Depuis l'inondation de 1997, on a fait l'acquisition de 571 maisons à Grand Forks et d'environ 520 établissements commerciaux et habitations à East Grand Forks. En attendant que le réseau permanent de protection soit en place, les deux localités ont pris des mesures provisoires consistant à surélever et à stabiliser les digues temporaires et à améliorer les réseaux d'égouts pluviaux et séparatifs. Aidée du HUD (U.S. Department of Housing and Urban Development), la municipalité d'East Grand Forks a aussi achevé une partie du mur de protection amovible au centre-ville. Les crues de 1826 atteindraient à Grand Forks et à East Grand Forks un niveau de 3,6 pieds [1,1 m] supérieur à celui des crues de 1997, ce qui est 1,5 pied [0,46 m] de moins que le sommet de la digue permanente projetée.

Wahpeton/Breckenridge (12 000 habitants)—À Wahpeton, des efforts héroïques et la bonne fortune ont permis en 1997 de contenir des eaux de crue qui, à quelques pouces près, auraient pu déborder les digues de secours. À l'été et à l'automne de 1997, la ville a entrepris de se doter de digues permanentes, mais le manque de fonds et le désir de disposer d'un système anti-inondation homologué par les autorités fédérales ont laissé le projet inachevé. Celui-ci était conçu en fonction des débits de pointe de 1997 et d'une hauteur libre de trois pieds. À Breckenridge, même de tels efforts exceptionnels n'ont pu prévenir de

* *Les données relatives aux crues de 1826 se limitent largement à des sources canadiennes, mais le modèle UNET du Corps of Engineers de l'Armée américaine s'est servi des renseignements disponibles pour simuler une inondation de l'ampleur estimative de celle de 1826 dans ses éventuels effets sur les zones urbaines Fargo-Moorhead, Grand Forks-East Grand Forks et Wahpeton-Breckenridge.*

20 à 25 millions de dommages causés par les crues de 1997. Dans cette ville, le phénomène des inondations se complique du fait que le dommage peut être infligé tant par la rivière Rouge que par la rivière Otter Tail. À la demande des villes de Wahpeton et de Breckenridge, le Corps of Engineers de l'Armée américaine a mis en route une étude de faisabilité d'un système d'atténuation en partage des frais en juin 1999. L'étude préalable des possibilités de protection a été menée à terme pour les deux villes, et on a dégagé des projets polyvalents réalisables pour la lutte aux inondations. Les études détaillées d'optimisation et de conception s'achèveront en juillet 2000. On estime à 7 millions les coûts estimatifs respectifs du projet fédéral à Wahpeton et à Breckenridge. Dans cette zone urbaine, le diagramme d'écoulement des crues de 1826 donne un niveau d'eau supérieur de 1,9 pied [0,58 m] à celui des crues de 1997.

Selkirk (10 000 habitants)—Selkirk est la ville la plus septentrionale du bassin de la rivière Rouge. Le Golf and Country Club, le secteur en bordure de l'eau et un certain nombre d'exutoires d'égout pluvial de cette ville s'exposent aux effets de grandes inondations ou d'inondations de refoulement causées par d'importants embâcles. Ces secteurs ont été inondés en 1995, 1996 et 1997. Le Golf and Country Club est aujourd'hui protégé par une digue permanente contre des inondations à récurrence de 160 ans. On y a prévu une hauteur libre de deux pieds. Le Marine Museum, situé à proximité de la rivière, est aussi endigué contre des inondations à récurrence de 160 ans avec hauteur libre, tout comme le Selkirk Park voisin. La ville et la province du Manitoba discutent actuellement de la conception et du partage des frais de mesures de protection des exutoires d'égout pluvial.

Petites localités où la construction de digues ne peut se justifier

Aux États-Unis, là où les projets anti-inondation ne relèvent pas des mesures d'urgence, les travaux de petites localités ne satisfont pas dans bien des cas aux critères de financement fédéral. Ainsi, le Corps of Engineers de l'Armée américaine a fait une étude exploratoire visant à établir l'intérêt des autorités fédérales pour un système permanent de protection contre les inondations à Minto, au Dakota du Nord, ville de 600 habitants en bordure de la rivière Forest à environ 30 milles au nord-nord-ouest de Grand Forks où 12 habitations ont été inondées en 1997. Les dégâts auraient pu être plus vastes si cette collectivité n'avait pas érigé de murs de sacs de sable ni construit des digues de toute urgence. Le Corps of Engineers est toutefois parvenu à la conclusion que le rapport avantages-coûts d'une protection permanente n'était que de 0,43, ce qui est beaucoup moins que le rapport 1,0 normalement requis. Sans cet intérêt fédéral, les mesures d'atténuation des dommages des inondations se prendront au niveau de l'État du Dakota du Nord ou sur le plan local.

Les travaux de petites localités ne satisfont pas dans bien des cas aux critères de financement fédéral.

Habitations rurales et maisons de ferme

À l'instar des localités américaines qui ne peuvent répondre aux critères économiques des autorités fédérales en matière d'aide à la protection contre les inondations, les habitations rurales et les maisons de ferme sont souvent inadmissibles aux régimes fédéraux de financement. Pour se protéger contre les crues, on se contente habituellement d'aménager des digues circulaires individuelles, de surélever les bâtiments ou de se réinstaller hors de

la zone inondable. Certains propriétaires ont pris l'initiative de se protéger eux-mêmes et ceux qui ne l'ont pas fait demeurent exposés aux inondations.

Au Manitoba, les programmes fédéraux-provinciaux aident les habitants des régions rurales à surélever leurs habitations ou à les mettre à l'épreuve des inondations. Ce sont des fonds de 44,3 millions que l'on affecte ainsi au déplacement, à la surélévation ou à l'endiguement de maisons et de terrains de particuliers. En 1998, les pouvoirs publics ont porté de 30 000 $ à 60 000 $ leur contribution maximale aux fins du régime fédéral-provincial. On s'attend à ce que plus de 2 500 propriétaires de maisons, de fermes et d'entreprises bénéficient de ce financement accru.

Terres agricoles

S'il est impossible de cultiver des terres inondées, il est généralement peu économique (du moins si on se reporte aux critères de financement fédéral aux États-Unis) de protéger les terres agricoles contre les crues printanières dans le bassin de la rivière Rouge. La fonte des neiges au printemps (comme en 1997) est à l'origine de la plupart des grandes crues dans ce bassin. Les inondations causent moins de dommages économiques que les inondations d'origine pluviale en cours de campagne agricole, qui peuvent détruire les récoltes. Comme on a reconnu la dépendance de la région à l'égard de l'économie agricole, on a construit un grand nombre de digues de protection des cultures avec des fonds locaux. Ces ouvrages assurent habituellement un degré relativement bas de protection (fréquence de crues de deux à dix ans).

On n'a guère surveillé les effets de la construction de ces digues agricoles. Pour décider à l'avenir de l'utilisation de la zone inondable, on pourra se reporter aux valeurs de délimitation du lit d'inondation que l'on est en train de fixer dans le cadre de la mise à jour du profil de la rivière Rouge aux États-Unis*.

Corridors de transport (routes, chemins de fer et ponts)

Les emprises routières et ferroviaires … peuvent avoir des effets imprévus en retenant ou redirigeant les eaux de crue.

Les grandes crues peuvent dérégler les transports. En 1997, le principal corridor autoroutier nord-sud («Interstate» 29 et route principale provinciale 75) a été fermé, tout comme le grand couloir est-ouest (autoroute 2 aux États-Unis). Il n'y avait pas de ponts ouverts sur la rivière Rouge entre Fargo et Winnipeg, donc sur une distance de plus de 200 milles. Les principales voies de chemin de fer étaient inondées, d'où la nécessité de réacheminer tout le trafic ferroviaire. Routes et chemins de fer seront encore sous l'eau s'il se produit des crues comme celle de 1997. On surélève souvent les emprises routières et ferroviaires pour réduire les risques d'inondation. Dans le terrain plat du bassin de la rivière Rouge, de tels aménagements peuvent avoir des effets imprévus en retenant ou redirigeant les eaux de crue. En voulant surélever les emprises ferroviaires et routières, on se doit de prévoir les éventuels effets hydrauliques.

** Aux États-Unis, on définit le «chenal de crue» comme le lit d'un cours d'eau et les terrains qui le bordent. On doit «réserver» cette aire si on veut qu'elle reçoive une crue à récurrence de 100 ans sans élever de plus d'un pied le niveau des eaux en valeur cumulée.*

Winnipeg exposée

En 1997, les habitants de Winnipeg avaient très présent à l'esprit le sort de Grand Forks lorsque, avec des équipes de secours et notamment un détachement de militaires, ils se sont défendus contre une «mer Rouge» qui montait au sud. Ils ont réussi l'incroyable exploit d'étendre la digue ouest de 24 kilomètres (14,9 milles) et de la surélever en l'espace de six jours.

Winnipeg, qui est la principale ville du bassin de la rivière Rouge, disposait d'une importante infrastructure anti-inondation mise en place par les autorités fédérales et provinciales de 1962 à 1972. Au nombre des ouvrages permanents construits pendant cette période, on compte le réservoir Shellmouth, la Dérivation Portage et le défluent de crue de la rivière Rouge. Le grand réseau de digues qui se dresse à l'intérieur de la ville a vu le jour après les désastreuses crues de 1950. En 1997, toutes ces mesures, jointes à la bonne fortune et à d'inlassables efforts humains, ont évité à Winnipeg le sort de Grand Forks. Winnipeg l'a échappé belle. Dans toute future inondation de l'ampleur de celle de 1997 ou pire encore, elle pourrait ne pas avoir la même chance. Une inondation record comme celle de 1826 pourrait causer l'évacuation d'au moins 300 000 personnes et causer des dommages susceptibles d'atteindre les 5,8 milliards de dollars.

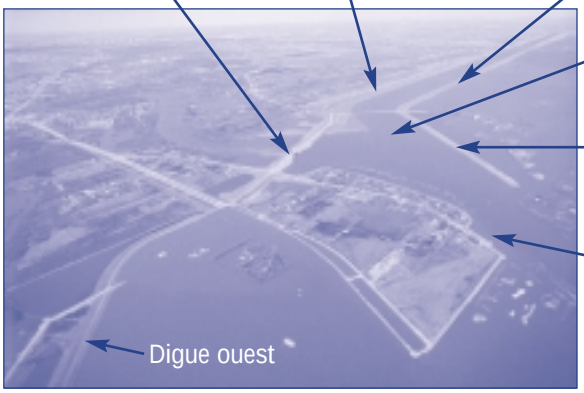
Winnipeg l'a échappé belle. Dans toute future inondation de l'ampleur de celle de 1997 ou pire encore, elle pourrait ne pas avoir la même chance.

Winnipeg est diversement menacée par les grandes crues. Voici des sujets particuliers d'inquiétude :

- risque de dépassement des valeurs nominales de capacité de tout le système de protection contre les inondations;
- limitations de capacité de l'infrastructure anti-inondation quand les niveaux des eaux de crue approcheraient des valeurs de 1997 ou les dépasseraient;
- état des vents et des vagues à la digue ouest du défluent de crue de la rivière Rouge;
- absence de plans d'urgence complets en cas de crues extrêmes.

Pour juger de la vulnérabilité de Winnipeg, le Groupe de travail a étudié les risques d'inondation de concert avec la province du Manitoba et la municipalité winnipegoise. Un bureau d'ingénieurs de Winnipeg a réalisé cette étude à contrat[18]. Il s'est notamment intéressé aux aspects suivants :

- constatation des capacités et des éléments de vulnérabilité du système winnipegois de protection contre les inondations,
- examen de nouvelles mesures d'aménagement et de modifications de fonctionnement qui accroîtront la protection de la ville;
- réalisation d'études techniques préalables de faisabilité des mesures choisies.



Gouvernement du Manitoba

Vulnérabilité

L'étude a dégagé 57 éléments de vulnérabilité de Winnipeg devant de grandes crues. Comme un grand nombre de ces éléments sont généraux, on pourrait dresser une liste bien plus longue d'éléments particuliers de vulnérabilité. Ainsi, on parle de vulnérabilité à propos des ponts qui enjambent le défluent de crue, mais il s'agit en réalité de 13 ponts. Les conséquences des défaillances varient aussi : une panne de station de pompage est nettement moins importante qu'une rupture de la digue ouest.

On compte huit catégories d'éléments de vulnérabilité. L'étude relève et décrit les insuffisances de chacune de ces catégories avec les conséquences d'une défaillance, le degré d'inquiétude, le complément de recherche nécessaire à une meilleure définition des éléments de vulnérabilité et la priorité à accorder à de futures études. On a ainsi examiné à fond huit secteurs prioritaires où les défaillances ont des conséquences graves, tout en se contentant de prendre acte d'un certain nombre de secteurs moins prioritaires. Un groupe d'experts a donné des conseils sur la constatation des éléments de vulnérabilité et les mesures correctives susceptibles d'être adoptées.

1. **Ensemble du système de protection contre les inondations.** Parmi les éléments de vulnérabilité dégagés, mentionnons les limites des capacités générales du système anti-inondation, des plans de protection civile et d'intervention en cas d'urgence qui ne sont pas suffisamment détaillés, une conception de la zone inondable qui donne peu de souplesse et peut nuire à la sécurité publique, et les préoccupations en matière d'observation des crues.

2. **Structure d'entrée du défluent de crue de la rivière Rouge.** Si les remblais qui bordent le bras du défluent s'érodent ou se rompent, les eaux de crue pourraient contourner le goulet. Les défaillances du système de commande pourraient empêcher d'actionner les vannes (si, par exemple, il y a un incendie dans la structure du bras du défluent). On peut aussi songer aux dommages causés par les glaces, les débris ou des actes de sabotage. Il y a enfin le besoin de rendre les règles de fonctionnement bien claires et intelligibles.

3. **Défluent de crue de la rivière Rouge.** En cas de défaillance des ponts, la capacité du défluent de crue serait altérée. Autre possibilité : les remblais pourraient être en rupture. Une défaillance du siphon de la rivière Seine pourrait causer une rupture du remblai ouest du défluent de crue qui laisserait jusqu'à 15 000 pcs [425 mcs] d'eaux libres pénétrer dans la ville depuis cette rivière. De nombreux services comme les services des eaux et d'électricité sont vulnérables dans certaines circonstances, car les canalisations traversent le défluent de crue, quoique ce risque nous paraisse faible.

4. **Remblai ouest du défluent de crue.** Si en un point quelconque les trois premiers milles [4,8 km] du remblai ouest (entre le défluent même et la ville) se trouvaient en rupture, il y aurait pénétration d'eaux libres du côté sud ou est de Winnipeg.

5. **Digue ouest.** Toute rupture de la digue ouest (longue digue qui s'étend vers la ville de Brunkild depuis la structure d'entrée du défluent de crue) par action éolienne, débordement ou autre facteur ferait pénétrer les eaux libres dans la partie méridionale de Winnipeg par la rivière LaSalle.

6. **Infrastructure anti-inondation de Winnipeg.** La ville elle-même présente divers éléments internes de vulnérabilité ayant à voir avec les réseaux primaire et secondaire d'endiguement, ainsi qu'avec les stations de pompage d'eaux de crue et les chambres des vannes de protection. Lorsque les niveaux d'eau sont élevés dans la rivière Rouge, les eaux de crue peuvent pénétrer dans la ville par le réseau d'égouts pluviaux ou séparatifs. Rien ne garantit que les nombreuses mesures temporaires prises pendant les crues de 1997 auront le même succès à l'avenir, même si l'inondation ne devait pas être plus importante que celle de 1997.

7. **Dérivation Portage.** Le grand danger est que la rupture d'embâcles en amont du réservoir de dérivation ne cause une montée des glaces et des eaux et ne vienne endommager le système. Si ce dernier devait être en rupture pour une raison quelconque, le débit de détournement vers le lac Manitoba pourrait diminuer et l'écoulement vers Winnipeg s'en trouverait alors augmenté.

8. **Barrage Shellmouth.** Les vannes pourraient connaître des défaillances ou le barrage pourrait se rompre ou s'accidenter par érosion. Une défaillance du barrage Shellmouth aurait de graves conséquences immédiates en aval, mais l'incidence sur les niveaux de protection contre les inondations à Winnipeg serait relativement ténue.

Capacité ultime du système

L'étude a permis de constater que, à l'échelle de Winnipeg, le système de protection contre les inondations offre une capacité sûre de 71 000 pcs [2 010 mcs]. En 1997, le débit a été de 80 000 pcs [2 265 mcs]. Ce jugement est fonction d'un certain niveau de sécurité des eaux dans la ville. Au déficit calculé de capacité sûre du chenal à travers Winnipeg, on peut mettre en contrepoids les relèvements de capacité dans le défluent de crue. Celui-ci

pourrait être d'un fonctionnement sûr au-delà de sa capacité nominale de réception de 60 000 pcs [1 700 mcs]. Il pourrait recevoir 73 000 pcs [2 067 mcs]. Dans ce cas, l'eau monterait en amont du bras du défluent au-dessus des niveaux naturels. Signalons enfin que la Dérivation Portage et le barrage Shellmouth peuvent exploiter en toute sûreté leurs capacités nominales respectives de 25 000 pcs [708 mcs] et de 7 000 pcs [198 mcs].

En théorie, l'ultime capacité sûre du système serait de 176 000 pcs [4 984 mcs], un peu plus que la capacité nominale de 169 000 pcs [4 785 mcs] ou le débit de crue de 163 000 pcs [4 616 mcs] de 1997. Une analyse plus fine des effets éoliens complexes sur la rivière Rouge pourrait obliger à réviser ce chiffre. En assurant un tel degré de protection, on se trouverait à hausser les niveaux d'eau de la structure d'entrée du défluent au-dessus des niveaux naturels. Ajoutons que les crues extrêmes de la rivière Rouge coïncident rarement avec des montées extrêmes des eaux de la rivière Assiniboine. Ainsi, en 1997, on n'a pas eu besoin de toute la capacité de réception d'eaux de crue de la Dérivation Portage.

En 1997, l'écoulement à travers Winnipeg a dépassé la capacité sûre du système.

Cette même année, l'écoulement à travers Winnipeg a dépassé la capacité sûre du système (voir le tableau 6). La ville a eu de la chance, mais elle ne peut s'attendre en tout réalisme à toujours jouir de la même fortune. Dans son examen des éléments de vulnérabilité du système anti-inondation et de sa capacité sûre à Winnipeg, le Groupe de travail est parvenu à la conclusion suivante :

Conclusion 6 : ***Dans des conditions d'écoulement comme celles de 1997, il y a de grands risques que l'infrastructure de protection contre les inondations à Winnipeg connaisse des défaillances.***

Estimation des dommages causés par les crues

Les experts-conseils ont employé la méthodologie des systèmes d'information géographique avec les lignes directrices émanant du Corps of Engineers de l'Armée américaine et des services canadiens pour estimer les dommages causés par diverses inondations (jusqu'au degré de gravité d'une crue à récurrence de 1 000 ans)[19].

Tableau 6

Capacités du système de protection contre les inondations à Winnipeg (pcs)*

Élément	Capacité monimale	1997	Capacité sûre
Réservoir Shellmouth	7 000	4 000	7 000
Dérivation Portage	25 000	11 900	25 000
Défluent de crue	60 000	67 100	73 000
Lit de la rivière Rouge	77 000	80 000	71 000
Total	**169 000**	**163 000**	**Jusqu'à 176 000**

* Un pied cube seconde équivaut à 0,0283 mètre cube seconde.

Ils se sont attachés à plusieurs catégories de dégâts, directs ou indirects, mais surtout aux dommages causés aux habitations et aux autres bâtiments ainsi qu'à l'infrastructure, aux frais de réinstallation temporaire et aux frais de lutte contre l'inondation et d'intervention en cas d'urgence. La facture de 67 millions de l'inondation de 1997 à Winnipeg a servi de scénario de référence.

ARAP

Les estimations de dommages reposent sur un modèle altimétrique numérique (MAN) qui dresse le profil du modelé terrestre et des hauteurs des eaux de diverses crues et présente des courbes profondeur-dommages pour diverses catégories de constructions. On a appliqué les valeurs de profondeur d'inondation—c'est-à-dire de différence entre la surface eau et la surface terre—pour tracer des courbes profondeur-dommages et ainsi dégager une estimation des dégâts subis par les bâtiments. On a calculé d'autres valeurs de dommages en se reportant aux dégâts subis par Grand Forks en 1997 et en les extrapolant en fonction de la situation de Winnipeg. Le tableau 7 récapitule les résultats.

Niveaux de protection contre les inondations

À quelle ampleur des crues doit-on s'attendre, à des inondations comme celles de 1997 et de 1826 (la pire qui ait été observée) ou à des inondations hypothétiques à récurrence de 500 ou de 1 000 ans? L'inondation de 1997 aurait produit un débit naturel de 163 000 pcs [4 616 mcs] à travers Winnipeg. Quant à l'inondation de 1826, elle aurait eu un débit de

Tableau 7

Estimation des dommages causés par les inondations à la ville de Winnipeg (millions de dollars)*

Catégorie de dommages	Inondation à récurrence de 90 ans (1997) (163 000 pcs)		Inondation à récurrence de 290 ans (1826) (225 000 pcs)	Inondation à récurrence de 500 ans (250 000 pcs)	Inondation à récurrence de 1 000 ans (295 000 pcs)
	Sans débordement	*Avec débordement*			
Habitations (charpente et effets)	9	200	2 200	4 070	8 280
Bâtiments commerciaux (charpente et effets)	0	110	700	2 360	4 560
Frais de réinstallation temporaire	-	250	820	950	1 080
Incidence sur l'infrastructure de la ville	17	160	1 460	2 200	2 710
Frais d'intervention d'urgence et de lutte à l'inondation	41	41	490	730	900
Frais supplémentaires de transport	0	0	100	150	200
Total	**67**	**761**	**5 770**	**10 460**	**17 730**

* Un pied cube seconde équivaut à 0,0283 mètre cube seconde.

pointe de 225 000 pcs [6 371 mcs], l'équivalent approximatif d'un débit de crue à récurrence de 300 ans. On a fait une prévision réaliste de grandes crues d'environ 300 000 pcs [8 495 mcs] de débit en combinant des variables hydrométéorologiques certes extrêmes, mais qui, prises isolément, ne sont pas sans précédent[20]. On se retrouve ainsi avec des valeurs qui approchent de celles d'une inondation à récurrence de 1 000 ans.

Aux Pays-Bas, la protection anti-inondation le long des grandes artères fluviales est conçue pour des crues à récurrence de 1 250 ans.

Il y a des secteurs de compétence qui fondent leurs mesures de base anti-inondation sur des événements aussi rares qui risquent d'avoir d'immenses conséquences. Ainsi, aux Pays-Bas, la protection anti-inondation le long des grandes artères fluviales est conçue pour des crues à récurrence de 1 250 ans et pour des marées de tempête en zone littorale à récurrence de 10 000 ans. La fréquence des crues de référence dépend des lieux, mais dans la plupart des territoires la norme est un événement rare à récurrence de plusieurs centaines d'années au plus. Au Canada par exemple, la Colombie-Britannique se reporte à une valeur de récurrence de 200 ans et la Saskatchewan, à une valeur de 500 ans.

Les probabilités qu'une inondation à récurrence de 100 ans se produise chaque année sont de 1 %. On peut transformer mathématiquement ces probabilités annuelles pour calculer les risques de récurrence sur des périodes déterminées. Ainsi, les probabilités sont de 22 % qu'une inondation à récurrence de 100 ans se produise en 25 ans, c'est-à-dire pendant la durée normale d'une hypothèque résidentielle. De même, les chances sont de 39 % qu'une inondation semblable se produise en l'espace de 50 ans. En ce sens, on peut établir que les probabilités sont de 37 % que la capacité sûre actuelle des ouvrages anti-inondation de Winnipeg soit dépassée au moins une fois dans les 50 prochaines années.

Vu la concentration de la population manitobaine à Winnipeg et l'importance de cette ville pour l'économie de la province, des degrés supérieurs de protection contre les inondations sont souhaitables. Il est à tout le moins raisonnable de prévoir une protection contre un événement connu comme l'inondation de 1826.

Recommandation 4 : ***La valeur nominale devant servir de référence de crue pour les ouvrages de protection contre les inondations à Winnipeg devrait être la plus élevée qui puisse économiquement se justifier ou au moins celle de la pire inondation jamais observée, celle de 1826.***

Mesures correctives d'aménagement

Pour remédier aux éléments de vulnérabilité, on a relevé plus d'une centaine de mesures correctives possibles. Elles visent un grand nombre d'éléments de vulnérabilité en dehors des déficits de capacité hydraulique[21]. Voici des mesures d'aménagement destinées à relever les capacités hydrauliques :

- extension du défluent de crue de la rivière Rouge;
- aménagement d'un défluent jumeau;

- surélévation des ponts du défluent de crue;
- modification du remblai est du défluent;
- surélévation des digues du réseau primaire;
- surélévation de la digue ouest et du remblai ouest du défluent;
- construction d'un ouvrage de retenue à Ste. Agathe;
- amélioration du lit de la rivière Rouge en aval de Winnipeg;
- implantation d'une station de pompage au bras du défluent de crue;
- détournement des affluents est de la rivière Rouge.

Pour évaluer ces projets, on s'est demandé dans quelle mesure ils allaient accroître la capacité ultime du système de protection contre les inondations et on s'est interrogé sur les coûts approximatifs et les avantages possibles. Tout projet proposé doit être socialement et écologiquement acceptable aussi bien que techniquement faisable et rentable. On n'a pas voulu soumettre à un examen détaillé les trois derniers projets, les jugeant économiquement peu attrayants et limités sur le plan technique. Quant au projet d'amélioration du lit de la rivière Rouge et au projet de détournement des affluents est, ils étaient écologiquement inacceptables. Les études techniques préalables de faisabilité ont donc porté sur le reste de la liste de projets[22]. On rajustera les conclusions de ces études quand les projets considérés comme acceptables passeront à l'étape des études de conception.

Autres idées

Dans l'étude, on a regardé deux propositions publiques visant à accroître la capacité d'écoulement du défluent de crue. Il s'agissait de démanteler la structure de sortie et d'abaisser le niveau limite du déversoir d'entrée.

L'analyse a montré que, dans le premier cas, on se trouverait à légèrement relever la capacité d'écoulement de 2 000 pcs [**mcs**], mais en encourant le risque d'une érosion importante. Un tel démantèlement ne saurait se justifier.

Dans le second cas, un abaissement de niveau de 7 pieds [**mcs**] jusqu'à celui du défluent augmenterait la capacité d'écoulement de 50 pcs [**mcs**]. L'avantage obtenu est négligeable et ne compense pas les complications que créerait une pénétration hâtive des glaces dans le défluent.

Extension du défluent de crue de la rivière Rouge.
Le défluent de crue de la rivière Rouge a une capacité nominale de 60 000 pcs [1 700 mcs] à son entrée et la hauteur des eaux est de 770,25 pieds [234,7 m]. Compte tenu des ponts en place, le défluent peut recevoir un débit de jusqu'à 92 000 pcs [2 605 mcs] à une hauteur de 778 pieds [237,1 m]. Toutefois, ce niveau n'est pas indiqué si on considère les effets des vents sur la rivière Rouge et il ne peut non plus réduire au minimum les risques de débordement de la digue ouest. Comme nous l'avons indiqué, la capacité ultime s'établit actuellement à 73 000 pcs [2 067 mcs] à une hauteur de 774 pieds [235,9 m]. On pourrait élever la capacité d'écoulement au-dessus des 73 000 pcs en accroissant la capacité réceptrice du défluent de crue. On a étudié 14 scénarios avec des combinaisons diverses d'augmentation des largeurs et des profondeurs. Aux fins des études préalables de faisabilité, il n'est ni nécessaire ni approprié d'optimiser l'aménagement du défluent. On a cependant étudié l'éventail des possibilités en vue de comparaisons économiques. Il s'agissait de trouver une configuration de défluent approchant raisonnablement de l'optimalité.

Pour recevoir les débits accrus d'un défluent agrandi, la structure de sortie devrait être modifiée. La structure d'entrée ne changerait pas, mais ses règles de fonctionnement devraient être révisées. Il faudrait aussi modifier un grand nombre des aménagements qui traversent le défluent : liaisons routières et ferroviaires, lignes de transport d'électricité, gazoducs, ouvrages hydrauliques voisins du défluent.

Ainsi, la protection de Winnipeg contre les inondations passe approximativement d'un niveau «crues à récurrence de 100 ans», à un niveau «crues à récurrence de 500 ans».

L'analyse économique à laquelle se sont livrés les experts-conseils indique que l'avantage net devient optimal lorsqu'on accroît la capacité du défluent d'environ 75 000 pcs [1 840 mcs]. On se trouve ainsi à relever la capacité sûre ultime de 176 000 pcs [4 984 mcs] à environ 250 000 pcs [7 079 mcs] pour la protection de Winnipeg. Dans une configuration optimale, le défluent gagne tant en profondeur qu'en largeur. Ainsi, la protection de Winnipeg contre les inondations passe approximativement d'un niveau «crues à récurrence de 100 ans», à un niveau «crues à récurrence de 500 ans». Des relèvements plus importants de la capacité du défluent sont probablement impraticables, puisque les eaux de refoulement par le nord pénétreraient dans la ville largement au-dessus de la hauteur critique des digues primaires. Même cette extension obligerait à hausser en permanence d'environ 3,5 pieds [1,07 m] les digues primaires du côté nord de la ville. On surélèverait également la digue ouest dans le cadre du projet.

L'extension du défluent de crue représente un projet aussi important que les travaux initiaux d'aménagement et le chantier durerait plusieurs années.

Aménagement d'un défluent jumeau dans le bassin de la rivière Rouge. On a procédé à une analyse semblable à celle du projet d'extension du défluent pour juger des possibilités de jumelage. L'analyse indique que, si la chose est techniquement faisable, le coût des travaux aurait dépassé de jusqu'à 30 % celui des travaux d'extension.

Surélévation des ponts du défluent. Les 13 ponts qui enjambent le défluent de crue de la rivière Rouge ont été conçus au milieu des années 1960 en fonction du débit nominal de 60 000 pcs [1 700 mcs] de ce canal de dérivation. La hauteur des débouchés routiers et ferroviaires de l'époque a largement déterminé la hauteur variable des poutres des ponts. Si les débits du défluent devaient approcher des 70 000 pcs [1 982 mcs], ce qui correspond à un niveau d'eau de 772 pieds [235 m] au bras du défluent, il y a des poutres de ponts qui commenceraient à faire obstacle à l'écoulement.

Huit des ponts gêneraient un écoulement supérieur à l'écoulement nominal. À un niveau d'eau correspondant à 778 pieds [237 m] au bras du défluent, le tablier des ponts fait obstacle à l'écoulement et vient réduire la capacité de jusqu'à 11 000 pcs [311 mcs]. On ne tient pas compte ici d'autres effets possibles : déplacement des tabliers, amoncellements de glaces ou de débris contre les ponts, eaux de refoulement, etc.

On a étudié trois scénarios de surélévation des ponts :

- surélévation de tous les ponts qui font obstacle à des débits majorés;
- surélévation des six ponts à l'extrémité amont du défluent de crue;
- surélévation des seuls ponts routiers St. Mary's et RPP 59 sud avec le pont ferroviaire Emerson du Canadien Pacifique.

Les deux premiers scénarios donnent, à un niveau d'eau de 774 pieds [236 m], un relèvement de capacité d'écoulement de 4 000 pcs [113 mcs] et le dernier, une hausse de 3 000 pcs [85 mcs]. Avec une surélévation de la digue ouest et un relèvement de niveau d'eau à 778 pieds [237 m], on obtiendrait jusqu'à 11 000 pcs [311 mcs] dans le premier scénario et de 6 000 à 8 000 pcs [170 à 226,5 mcs] dans les deux autres.

Une situation de débits majorés appelle des mesures d'urgence visant à protéger les ponts exposés à la submersion. Les charges hydrauliques causées par la submersion peuvent déplacer, voire pousser les tabliers hors des piles, d'où des effets imprévisibles de refoulement. On propose de lester les ponts ou d'assujettir les tabliers pour prévenir tout déplacement.

Les modifications à apporter aux ponts entreraient dans tout projet d'extension du défluent de crue.

Modification du remblai est du défluent. Le remblai est du défluent et la digue de Turnbull Drive restreignent l'écoulement aux abords du bras du canal de dérivation. Si on réduisait la longueur du remblai en saillie dans les eaux ou excavait en partie l'ouvrage pour que les eaux entrent directement dans le défluent en aval du chemin St. Mary's, on pourrait abaisser les niveaux d'eau de jusqu'à un demi-pied [0,15 m] en amont de l'étranglement. Les frais à prévoir seraient modestes. Une première analyse économique dégage un rapport avantages-coûts relativement élevé, mais une amélioration relativement faible de la capacité hydraulique de l'ordre de 2 000 pcs [56,6 mcs]. C'est par l'analyse détaillée en cours que l'on pourra déterminer si le projet fait courir d'autres risques au système de protection contre les inondations. Si l'entreprise se révèle techniquement réalisable, il pourrait s'agir là d'une mesure économique à court terme qui améliorerait le rendement du défluent ou qui s'intégrerait aux futurs travaux d'extension du canal de dérivation.

Amélioration de l'infrastructure à Winnipeg. Un réseau d'environ 75 milles [120 km] de digues primaires, complété par un réseau de digues secondaires largement temporaires, tient la rivière Rouge en laisse sur le territoire winnipegois. Le réseau primaire d'endiguement n'atteint cependant pas en partie le niveau de protection contre les inondations que prévoient les mesures législatives adoptées en 1980, c'est-à-dire le niveau de 27,8 pieds [8,47 m] à l'avenue James. La hauteur maximale sûre est en réalité de 26,5 pieds [8,08 m], soit le niveau de l'aménagement initial dans les années 1950. Une étude de faisabilité d'un projet qui hausserait les digues de six pieds [1,8 m] au-dessus du niveau de protection pour permettre à la ville de recevoir des débits accrus a montré que cette proposition n'était

guère fondée. Le coût d'une surélévation des digues primaires est élevé au regard des avantages ainsi obtenus. Ajoutons que, le plus souvent, les digues font partie du réseau de chaussées de la ville. On devrait aussi songer à modifier les ponts, les viaducs et le réseau de drainage intérieur.

Ces complications pourraient signifier qu'un relèvement plus modeste de la hauteur des digues pourrait être praticable à certains endroits. Une fois qu'on aura établi les mesures à prendre pour protéger Winnipeg contre de futures inondations, on pourra examiner la question plus en détail.

Le réseau primaire d'endiguement a des pénétrations à maints endroits qui assurent le drainage des eaux usées et des eaux de ruissellement des secteurs protégés par des digues secondaires relativement peu sûres ou entièrement dépourvus de digues. Mentionnons en outre l'abondance d'égouts, de canalisations et de ruisseaux sans vannes dont les eaux s'écoulent par gravité vers la rivière Rouge. Ils sont temporairement bouchés en période de crues, mais certains bouchons sont fragiles. Il faut aussi dire que, pendant une inondation, les pluies pourraient créer des poches d'eau derrière les digues. Pour résoudre ces problèmes et réduire les risques pour la ville, il faudra largement modifier les systèmes de drainage d'eaux usées et d'eaux de ruissellement. Il s'agit là de modifications coûteuses que l'on devra optimiser et mettre en route une fois que l'on aura dressé un plan d'ensemble pour la protection de Winnipeg contre les inondations.

On a réuni les projets avantageux dans une situation de niveaux élevés de la rivière Rouge en une même mesure de protection où l'avantage procuré à la ville dans la lutte contre les inondations est un relèvement à 25,8 pieds [7,86 m] du niveau de 20,5 pieds [6,25 m] à l'avenue James. On atténue ainsi les risques de défaillance des éléments du système de protection. L'avantage pourrait correspondre à un accroissement de jusqu'à 20 000 pcs [566 mcs] de la capacité sûre à Winnipeg. Aux fins des analyses avantages-coûts, on a divisé ces mesures en deux catégories de niveau de protection :

- projets assurant un niveau de protection de jusqu'à 23,0 pieds [7,01 m];
- projets assurant un niveau de protection de 23,0 à 25,8 pieds [7,01 à 7,86 m].

Il est ainsi possible d'évaluer les avantages d'une hausse de la capacité sûre à 25,8 pieds [7,86 m] selon deux relèvements distincts avec les coûts applicables à chacun. Une fois qu'on se sera entendu sur le niveau de protection contre les inondations qui convient à Winnipeg, on pourra déterminer la protection à mettre en œuvre contre la montée des eaux de la rivière Rouge, ainsi que les modifications à apporter au système de drainage intérieur.

Surélévation de la digue ouest et du remblai ouest du défluent. L'analyse de vulnérabilité a permis de conclure qu'une hauteur libre de deux pieds [0,6 m] à la digue ouest représentait une marge de sûreté trop faible. Il vaudrait mieux songer à six pieds [1,8 m] lorsque la rivière Rouge a un niveau de 774 pieds [236 m] au bras du défluent. Pour un niveau des eaux de crue de 778 pieds [237 m], l'étude estime à huit pieds [2,4 m] la

hauteur libre nécessaire. Ces estimations de «revanche» pourraient changer à l'issue de nouvelles études. En se fondant sur les connaissances actuelles, on a conçu un projet de relèvement de trois à six pieds [0,91 à 1,8 m] de la digue ouest et du remblai ouest du défluent.

L'ouvrage de retenue de Ste. Agathe protégerait Winnipeg même contre une inondation à récurrence de 1 000 ans.

Dans l'étude préalable de faisabilité, on a prévu six pieds [1,8 m] de plus pour la hauteur des digues, car des niveaux d'eau de plus de 778 pieds [237 m] au bras du défluent exigeraient de coûteuses modifications de la structure d'entrée. Une surélévation de la digue ouest tient une place essentielle dans tout programme d'amélioration de la protection contre les inondations. L'entreprise pourrait avoir pour effet d'élever les niveaux d'eau en amont du bras au-dessus des niveaux naturels et, par conséquent, toucherait les résidents en amont. On analyse actuellement le régime des vents sur la rivière Rouge. Cette étude nous indiquera la hauteur libre et la valeur de relèvement de la digue à prévoir. Si on surélevait la digue ouest, il y aurait aussi des avantages à court terme pour Winnipeg dans sa protection contre les inondations. On devrait enfin envisager de réviser les règles de fonctionnement du défluent.

Ouvrage de retenue de Ste. Agathe. C'est là une digue de terre de 25 milles (40 km) de long qui traverse la vallée au sud de Ste. Agathe. L'ouvrage se raccorde à une digue ouest surélevée et à une structure de régulation sur la rivière Rouge qui est capable de recevoir des débits comme les débits de crue de 1997 sans restreindre indûment l'écoulement. Si les débits devaient excéder la capacité actuelle du système anti-inondation de Winnipeg (débits approchant de ceux de l'inondation de 1997), des vannes actionnées dans le cours d'eau pourraient retenir temporairement les eaux sur les terres en amont.

L'ouvrage de retenue de Ste. Agathe protégerait Winnipeg même contre une inondation à récurrence de 1 000 ans, tout en réduisant les dommages que subirait la population entre l'ouvrage et le bras du défluent de la rivière Rouge. L'ouvrage de retenue ne serait exploité que dans le cas de crues supérieures à celles de 1997. La retenue des eaux de crue hausserait les niveaux d'eau au sud de Ste. Agathe. À Morris, les niveaux pourraient respectivement augmenter en gros d'un pied et demi [0,15 m] et de six [1,8 m] dans le cas d'une crue comme celle de 1826 et d'une crue à récurrence de 1 000 ans. Les élévations diminueraient en amont et s'effaceraient probablement à la frontière canado-américaine.

Un critère de mise en route du projet devrait être un relèvement du niveau de protection contre les inondations des localités et des populations en amont de Ste. Agathe et l'indemnisation des collectivités touchées. Il faudrait sans doute songer à un dosage de mesures.

La mise en place de cet ouvrage de retenue aurait des conséquences d'ordre environnemental. Celui-ci ferait notamment obstacle à la navigation et au passage des poissons. Pour atténuer ces effets, il faudrait prévoir un ascenseur à bateaux et une échelle à poisson pour cette structure de régulation des eaux. On pourrait en outre installer des

ponceaux dans la digue pour que, en temps normal, les rivières Rat et Marsh puissent garder leur cours habituel. En période d'inondation, on détournerait les crêtes de crue à l'aide d'un canal de dérivation aménagé en direction de la rivière Rouge.

L'ouvrage de retenue de Ste. Agathe représenterait un important projet. La mise en chantier exigerait un certain nombre d'années. On assurerait ainsi à Winnipeg et à son secteur sud vers Ste. Agathe une protection supérieure à celle que donnerait le projet d'extension du défluent de crue, et ce, à moindres frais.

Choix des meilleurs scénarios. L'analyse du Groupe de travail indique que les projets à privilégier pour la protection de Winnipeg contre les grandes inondations sont les suivants :

- extension du défluent de crue de la rivière Rouge ou
- construction de l'ouvrage de retenue de Ste. Agathe.

Le projet d'aménagement de Ste. Agathe est bien moins coûteux, mais avec des conséquences socio-écologiques plus vastes. Le tableau 8 compare ces deux projets d'envergure.

Si on devait étendre le défluent de crue, il faudrait apporter plus d'améliorations au système de drainage intérieur que si on devait construire l'ouvrage de retenue de Ste. Agathe. Ce surcroît de frais ne se retrouve pas dans les chiffres présentés. La facture du projet de Ste. Agathe comprend la valeur actualisée de la moyenne estimative de dommages futurs dans les secteurs en amont, mais ne tient pas compte du coût des servitudes d'inondation.

Individuellement ou collectivement, des projets plus modestes hausseraient le niveau actuel de protection, mais n'assureraient pas une protection économiquement justifiable contre une crue comme celle de 1826. Ces projets pourraient consister à surélever la digue ouest et le remblai ouest du défluent, à modifier le remblai est et à surélever un certain nombre de ponts qui enjambent le canal de dérivation. Une fois les projets choisis,

Tableau 8

Comparaison des projets de construction d'un ouvrage de retenue à Ste. Agathe et d'extension du défluent de crue

Projet	Niveau de protection [pcs]*	Valeurs actualisées (millions de dollars)			Risque de dépassement de capacité dans les 50 prochaines années (%)
		Coûts	*Avantages*	*Avantages nets*	
Surélévation des digues ouest et est + modification des ponts + extension du défluent	250 000	770	1 500	730	10
Ouvrage de retenue de Ste. Agathe + amélioration de l'infrastructure de Winnipeg contre les inondations	300 000 +	475	1 900	1 425	5 (pour une capacité de jusqu'à 300 000 pcs)

* Un pied cube seconde équivaut à 0,0283 mètre cube seconde.

Tableau 9

Résumé des possibilités privilégiées de relèvement du niveau de protection contre les inondations

Mesures de protection	Efficacité de la protection contre les inondations (pcs)*	Valeurs actualisées (millions de dollars)			Risque qu'une crue dépasse la capacité dans les 50 prochaines années (%)
		Coûts	*Avantages*	*Avantages nets*	
0 Système en place	176,000	-	-	-	37
1 Modification du remblai est au bras du défluent	à 178,000	2,5	68	65	34
2 1 + surélévation de la digue ouest et du remblai ouest	à 194,000	50	475	425	24
3 2 + modification de six ponts qui enjambent le défluent	à 200,000	165	590	425	22
4 3 + amélioration de l'infrastructure anti-inondation à Winnipeg	à 209,000	240	640	400	20

* Un pied cube seconde équivaut à 0,0283 mètre cube seconde.

on aurait l'obligation de modifier l'infrastructure de la ville. Le tableau 9 récapitule les possibilités privilégiées, leurs effets de réduction des risques, ainsi que leurs coûts et leurs avantages.

Comme le projet de Ste. Agathe hausserait les niveaux d'eau en amont, il faudrait en démontrer les effets éventuels sur le niveau des eaux à la frontière canado-américaine.

De tels projets ont indubitablement des conséquences sur l'environnement et devraient être réalisés selon les dispositions et en tout respect des lois canadiennes et manitobaines de l'environnement. Si on devait songer à étendre le défluent, à construire l'ouvrage de retenue de Ste. Agathe et à surélever la digue ouest, on aurait besoin d'une étude détaillée, exercice qu'une collaboration fédérale-provinciale permettrait d'optimiser.

Comme le projet de Ste. Agathe hausserait les niveaux d'eau en amont, il faudrait en démontrer les effets éventuels sur le niveau des eaux à la frontière canado-américaine. Pour construire et exploiter des ouvrages qui font monter les eaux à la frontière, il faut une entente internationale ou une ordonnance d'approbation émanant de la CMI. Pour qu'un tel projet soit choisi, on a besoin en tout cas d'aviser et de consulter dans les règles le gouvernement fédéral et les gouvernements des États américains.

Coordination des mesures

La sécurité publique exige des mesures propres à réduire les risques le plus rapidement possible. Ainsi, la municipalité, la province et le gouvernement fédéral devront prêter une attention immédiate à l'élaboration et à l'exécution de mesures destinées à protéger Winnipeg davantage.

Pour la sécurité publique la municipalité, la province et le gouvernement fédéral devront prêter une attention immédiate à l'élaboration et à l'exécution de mesures destinées à protéger Winnipeg davantage.

Le Groupe de travail recommande une démarche en deux étapes. Il s'agirait d'abord de mettre Winnipeg à l'abri d'une inondation de l'importance de celle de 1997, mais en supposant aussi qu'il y aura des intempéries et des défaillances. En 1997, après la tempête de neige du début d'avril, Winnipeg a joui de conditions météorologiques singulièrement favorables avec des vents légers et une absence de pluie. Des mesures provisoires prises en toute précipitation ont donné les résultats escomptés. La ville ne peut pas s'attendre à toujours être aussi chanceuse.

Recommandation 5 : ***D'après les résultats des études reposant sur des modèles hydrauliques, on devrait modifier le remblai est du défluent de crue pour améliorer le rendement du bras du défluent, abaisser les niveaux d'eau en amont et accroître la capacité.***

Recommandation 6 : ***On devrait surélever la digue ouest pour permettre une hauteur des eaux de 778 pieds à la structure d'entrée du défluent; on devait prévoir une hauteur libre appropriée.***

Recommandation 7 : ***On devrait surélever le réseau primaire d'endiguement, si la chose est économiquement faisable, pour en porter la hauteur à la valeur prévue par la loi.***

Outre ces mesures, il faut un grand projet d'augmentation de la protection de Winnipeg contre les inondations. Avec la construction d'un ouvrage de retenue à Ste. Agathe ou l'extension du défluent de crue, il est possible de ménager un haut niveau de protection à un coût acceptable. Il reste que le premier projet à Ste. Agathe coûterait bien moins cher et assurerait un degré supérieur de protection. Dans une certaine mesure, l'un et l'autre de ces projets élèveraient le niveau des eaux en amont au-dessus des niveaux naturels dans le cas d'inondations pires que celle de 1997. Pour de tels grands projets, on devrait prévoir un vaste examen public et environnemental qui en établirait l'acceptabilité.

Recommandation 8 : ***La municipalité de Winnipeg, les autorités provinciales et le gouvernement fédéral devraient cofinancer des études détaillées de faisabilité des deux grands projets qui protégeraient Winnipeg contre de très grandes crues.***

Recommandation 9 : ***Les trois secteurs de compétence devraient travailler à une entente de protection de Winnipeg par laquelle on financerait l'élaboration d'un plan de protection à long terme devant comprendre la construction d'un ouvrage de retenue à Ste. Agathe ou l'extension du défluent de crue.***

Recommandation 10 : ***On devrait optimiser les modifications à apporter au système de drainage des eaux usées et des eaux de ruissellement et les exécuter une fois qu'on aura dressé un plan d'ensemble pour la protection de Winnipeg contre les inondations.***

Mesures correctives hors aménagement

Un certain nombre de mesures importantes de protection ne sont pas des mesures d'aménagement. Le souci immédiat est celui de la protection civile à Winnipeg. En 1997, on a consenti d'héroïques efforts, mais il faudra mieux planifier pour se préparer à des événements extrêmes. Au Manitoba, les autorités doivent produire des plans détaillés de protection civile et d'intervention (PPCI). Les PPCI exposent en détail les meilleures interventions à opposer à tous les accidents prévisibles. Ils comprennent des tableaux de notification, des cartes d'inondation pour les évacuations et d'autres renseignements propres à améliorer les réactions à une situation d'urgence. Pour Winnipeg, le volet «inondations» du plan devrait comporter les éléments suivants :

- évacuation d'urgence de grands secteurs de Winnipeg;
- intervention en cas de rupture des ouvrages de retenue d'eaux de crue;
- construction de digues temporaires sur environ 50 milles (80 km) à des fins de protection civile;
- exploitation d'ouvrages de régulation de crues lorsqu'une situation sans précédent appelle des décisions techniques difficiles à prendre sans des activités préalables de planification méthodique.

Il faudra accroître les efforts déjà déployés par la ville pour codifier et documenter des mesures d'urgence et assurer une coordination avec les autorités manitobaines et le gouvernement fédéral.

Recommandation 11 : ***La ville de Winnipeg devrait immédiatement accorder une grande priorité à l'élaboration d'un guide détaillé de protection civile et d'intervention.***

Entre autres mesures de prudence, on devrait prévoir une correction des jonctions fautives de canalisations d'eaux usées et une amélioration du système de drainage des terres, de l'acquisition de données et de la modélisation, ainsi que du fonctionnement des égouts unitaires et séparatifs.

Si on entend améliorer le système de protection contre les inondations, il faudra pousser l'examen des règles de fonctionnement des ouvrages de régulation de crues. Si on prévoit étendre le défluent de crue, il serait faisable et peut-être nécessaire de maintenir le niveau des eaux au-dessous des niveaux naturels pendant des crues moyennes comme en 1979 ou 1996 et au-dessus de ces niveaux pendant de grandes crues. En cas de construction de l'ouvrage de retenue à Ste. Agathe, il faudrait pour celui-ci et le défluent un ensemble entièrement nouveau de règles de fonctionnement, qui seraient à la base de la protection ou de l'indemnisation des résidents en amont.

Recommandation 12 : ***Les règles de fonctionnement aux fins des nouvelles mesures de régulation des crues devraient être conçues en fonction de tous les régimes d'écoulement et même de débits supérieurs à la capacité nominale. On devrait consulter la population sur tout projet d'adoption de nouvelles règles de fonctionnement.***

Préparation et résistance aux inondations

Les populations du bassin de la rivière Rouge doivent se préparer à affronter l'inondation. Elles doivent se défendre contre les crues autant que possible et apprendre à résister à leurs effets si elles ne peuvent éviter l'inondation. Par résistance, on doit entendre la capacité de revenir en force et de s'adapter rapidement aux conséquences d'un événement naturel extrême comme une inondation. Nombreuses sont les activités, les techniques et les mesures qui atténuent les effets de futures inondations et favorisent la résistance : avertissements précis diffusés en temps utile, mesures de régulation de crues, désignation de secteurs exposés à l'inondation comme espaces inoccupés, assurances inondation, constructions à l'épreuve des inondations, gestion des eaux pluviales, etc.

Dans les chapitres qui précèdent, nous avons passé en revue diverses mesures d'aménagement qui sont prises dans le bassin de la rivière Rouge ou qui pourraient être prises comme moyen de défense contre les inondations, mais il reste un grand nombre de localités et de résidents qui demeurent sérieusement exposés aux dommages de grandes crues. Comme complément aux mesures d'aménagement, les collectivités devront prendre d'autres mesures qui atténueront les effets des inondations et rendront leurs membres capables de rapidement s'adapter à leurs conséquences. La figure 3 met en lumière maints éléments de résistance du bassin. Ainsi, dans un bassin qui sait résister aux inondations, les secteurs en bordure de l'eau se trouvent dans leur état naturel (état primitif ou rétabli), et on n'y trouve pas de voies aménagées que risquent d'emprunter les eaux qui s'écoulent. Il n'y a guère de danger non plus de pollution imputable aux crues.

Figure 3

Éléments de résistance d'un bassin fluvial

Si l'infrastructure et les habitations sont résistantes aux inondations, les risques sont moindres pour les bâtiments. Le résidents comprennent les risques, disposent d'assurances suffisantes et savent que faire devant la menace d'une inondation. L'activité économique locale est assez diversifiée pour ne pas être déréglée ni détruite.

Dans le présent chapitre, nous examinerons un certain nombre de mesures éventuelles de promotion d'une meilleure gestion de plaine inondable et d'amélioration de la résistance des collectivités, qu'il s'agisse de définition de la zone inondable, de normes du bâtiment, d'éducation populaire, d'assurances inondation, d'exploitation des compétences, de surveillance ou d'assistance. Nous conclurons par un examen succinct de recherches consacrées aux conséquences sociales des inondations et ferons voir dans quels domaines un complément de recherche s'impose.

Définitions

ZONE (PLAINE) INONDABLE - Toute zone terrestre pouvant être inondée par des eaux de crue de toute provenance.

CRUE À RÉCURRENCE DE 100 ANS - Crue qui a 1 % de chances de se produire une année quelconque avec une puissance égale ou supérieure; ce n'est donc pas à proprement parler une crue qui se produit une fois tous les 100 ans.

ZONE INONDABLE À RÉCURRENCE DE 100 ANS - Zone en bordure d'un cours d'eau que recouvrent les eaux d'une crue à récurrence de 100 ans.

CHENAL DE CRUE - Chenal d'un cours d'eau et zone en bordure; aux États-Unis, il s'agit d'un territoire réservé qui permet l'écoulement d'une crue à récurrence de 100 ans sans que, en valeur cumulée, le niveau des eaux s'élève de plus d'un pied.

ZONE PÉRIPHÉRIQUE - Partie de la zone inondable en bordure du chenal de crue qui est envahie par les eaux de débordement et où des empiètements sont admissibles.

EMPIÈTEMENT - Tout obstacle au passage naturel des eaux de crue dans la zone inondable.

SURCHARGE - Excès de hauteur des eaux de crue imputable à des obstacles de la zone inondable qui en réduisent la capacité d'écoulement.

Le Canada et les États-Unis ont des orientations différentes en matière de préparation et de résistance des collectivités aux inondations. Les Américains disposent d'un cadre pour s'attaquer à ces questions grâce au National Flood Insurance Program (NFIP) et à la National Mitigation Strategy (NMS). Si un événement comme l'inondation de 1997 révèle que cette orientation accuse toujours des lacunes, celle-ci se trouve néanmoins à faire le lien entre les assurances inondation, d'une part, et les cartes d'inondation, les normes du bâtiment, l'action communautaire et les encouragements financiers à l'adoption de bonnes mesures d'atténuation, d'autre part. La démarche est moins intégrée au Canada. Les efforts canadiens de préparation et de résistance collective aux inondations visent un grand nombre de ces éléments, mais il n'y a toujours pas de programme ou cadre d'ensemble pour les réunir tous. Les résultats sont généralement fragmentaires et dictés par les événements qui se présentent sans que, dans les programmes, on mette l'accent outre mesure sur les responsabilités individuelles à l'égard des mesures d'atténuation.

Gestion de plaine inondable

Pour que les collectivités et leurs membres prennent sur eux de se préparer aux inondations, ils doivent bien voir où les eaux s'écouleront dans des crues d'ampleur diverse et à quelle fréquence ils seront exposés à leurs conséquences. À la base de cette compréhension, il y a la cartographie des zones inondables. Règle générale, la zone inondable est la partie d'un bassin fluvial que recouvrent les eaux de crue. Pour des mesures de réglementation, on a toutefois besoin d'une norme plus précise. Dans le cadre de l'administration du National Flood Insurance Program (NFIP), la Federal Emergency Management Agency

(FEMA) aux États-Unis adopte comme repère une crue à récurrence de 100 ans, c'est-à-dire une inondation qu'on a 1 % de probabilités de subir une année quelconque avec une puissance égale ou supérieure. Au Manitoba, on a choisi la zone inondable des crues de 1997.

Le choix d'une inondation de référence—à récurrence de 100 ans au lieu de 150, 250 ou 500—est arbitraire. Les gens qui habitent un peu à l'extérieur d'une zone désignée de crue à récurrence de 100 ans ne sont pas beaucoup plus en sécurité que ceux qui se trouvent à l'intérieur de cette zone inondable.

On devra redélimiter la zone que détermine une norme lorsque de nouvelles données statistiques, hydrologiques, hydrauliques ou historiques permettront de dresser des cartes plus précises. Le Groupe de travail et d'autres ont conçu des données, des outils et des techniques nouveaux pour que l'on définisse mieux la zone inondable dans le bassin de la rivière Rouge.

Un public bien informé devrait savoir qu'il existe trois zones liées de risque d'inondation :

- chenal de crue, où les risques sont grands et où on doit sévèrement restreindre l'occupation et l'utilisation du territoire;
- zone inondable réglementée, où l'occupation et l'utilisation du territoire sont permis sous réserve de certaines exigences de gestion de plaine inondable;
- zone périphérique, qu'il n'y a peut-être pas lieu de réglementer, mais où certaines restrictions sont recommandées en matière d'occupation et d'utilisation du territoire

Chenal de crue : En général, le chenal de crue* est la zone où les eaux de crue s'écoulent plus rapidement ou profondément et viennent menacer les vies et les biens. C'est normalement le lit du cours d'eau et de ses affluents et les principales zones terrestres d'écoulement des eaux de crue. La présence d'obstacles dans le chenal de crue ne devrait pas affecter outre mesure les zones bâties en amont. Le législateur américain a décrété que cette incidence devrait être nulle. La FEMA définit le chenal de crue réglementé comme le lit d'un cours d'eau et les terres «réservées » en bordure qui doivent permettre l'écoulement d'une crue à récurrence de 100 ans sans que, en valeur cumulée, la surface des eaux s'élève de plus d'un pied. On a circonscrit pour les centres urbains les chenaux de crue de la partie américaine du bassin de la rivière Rouge. Au Manitoba, les localités les plus exposées aux inondations disposent déjà de digues circulaires ou sont en train d'en construire. Ni le Canada ni les États-Unis n'ont désigné de chenaux de crue dans les régions rurales ou dans les secteurs d'urbanisation. En général, on devrait délimiter hydrauliquement les chenaux de crue du bassin de la rivière Rouge et hautement réglementer les constructions ou les empiétements en chenal de crue.

---

* *Il ne faut pas confondre «chenal de crue» et «défluent de crue» de la rivière Rouge, ce dernier étant le canal aménagé sur 47,3 kilomètres (29 milles) en vue du détournement des eaux de crue de la rivière Rouge autour de Winnipeg.*

Zone inondable réglementée : Les constructions d'une zone inondable réglementée risquent l'inondation, mais sont généralement exposées à des rapidités d'écoulement et des profondeurs moindres d'eaux de crue que dans un chenal de crue où les vies et les biens peuvent être menacés. Les constructions en surélévation et à l'épreuve des inondations en zone inondable réglementée[23] sont sans doute capables de survivre à de grandes crues. On évacue souvent en partie la zone inondable en cas d'inondation. À des fins de réglementation, on a pour règle dans la partie américaine du bassin de définir les zones inondables en fonction d'une crue à récurrence de 100 ans (probabilités de 1 %).

La superficie définie des zones inondables peut changer au gré de l'obtention de nouvelles données, plus particulièrement à la suite de grandes crues et de la mise au point de nouveaux moyens de régulation des crues (structures, digues et autres éléments d'infrastructure). Il est essentiel de disposer de programmes systématiques d'application de nouvelles données à la délimitation des zones inondables. Aux États-Unis, la FEMA est tenue d'évaluer tous les cinq ans la nécessité de réviser et d'actualiser toutes les délimitations de zones inondables dans le cadre du NFIP.

Au Manitoba, le ministère de la Conservation définit sa zone inondable désignée (ZID) comme le territoire envahi par une crue à récurrence de 100 ans ou une crue particulière selon la plus importante des deux. Comme la référence de réglementation dans d'autres ministères provinciaux est une crue à récurrence de 100 ans, ce manque d'uniformité peut créer de la confusion. L'analyse de l'inondation de 1997 indique qu'il s'agit là d'une crue à récurrence de 90 ans à Winnipeg, mais d'une crue supérieure à une inondation à récurrence de 100 ans depuis Ste. Agathe jusqu'à la frontière canado-américaine.

> **Recommandation 13 :** ***Dans la partie américaine du bassin de la rivière Rouge, on devrait continuer à délimiter la zone inondable à récurrence de 100 ans à l'aide des meilleurs renseignements disponibles et on devrait se reporter aux valeurs révisées de hauteur des eaux de crue aux fins de la réglementation des zones inondables.***

> **Recommandation 14 :** ***Au Manitoba, la crue la plus élevée jamais observée ou une crue à récurrence de 100 ans (probabilités de 1 %) devrait servir de référence dans la réglementation du bassin de la rivière Rouge.***

Zone inondable de moindre risque : Les secteurs qui se trouvent hors de la zone inondable réglementée s'inondent bien moins fréquemment. Si les inondations y sont moins fréquentes, il faut quand même protéger les hôpitaux, les services des incendies, les postes de police, les stations d'épuration des eaux et les autres installations de première importance si la chose est économiquement faisable et qu'il est essentiel d'agir ainsi dans une situation d'urgence créée par la menace d'inondations. Aux États-Unis, les autorités fédérales se reportent à la norme de protection «récurrence de 500 ans» pour déterminer

toute «mesure critique» faisant appel aux fonds fédéraux[24]. Une «mesure critique» est une mesure à l'égard d'une situation où même de légers risques d'inondation ne sauraient être tolérés. La rivière Rouge s'étend si largement dans de grandes crues que, le plus souvent, une grande augmentation de volume se traduit par une élévation relativement négligeable des niveaux d'eau. Sauf dans la région immédiatement au sud de Winnipeg, la différence de montée des eaux de crue entre une inondation à récurrence de 100 ans et une inondation bien plus importante et bien plus rare demeure modeste. Dans certaines circonstances, l'endiguement ne coûte guère plus pour une crue à récurrence de 100 ans que pour des inondations plus importantes. La zone inondable à récurrence de 500 ans est délimitée (zone B) sur les cartes de tarification de l'assurance inondation (FIRM) du NFIP.

Recommandation 15 : ***On devrait se reporter à une crue à récurrence de 500 ans (probabilités de 0,2 %) comme définition de référence dans tout le bassin de la rivière Rouge et se servir de cette référence pour informer le public des risques d'inondation par des événements rares de crue (sans oublier la nécessité pour la population de prendre des assurances inondation aux États-Unis), ainsi que pour adopter des règlements quant aux lieux d'implantation et aux mesures de protection contre l'inondation des installations essentielles.***

Installations essentielles aux États-Unis

Installations de production, d'entreposage et de traitement de produits dangereux
- Centres «Superfund»
- Centres d'enfouissement
- Centres de déchets dangereux
- Centres pétrochimiques et grands pipelines

Services publics essentiels
- Centres du «Municipal and Industrial National
- Pollutant Discharge Elimination System»
- Stations d'épuration de l'eau
- Prises d'eau principales
- Champs artésiens
- Stations d'épuration des eaux usées
- Centrales (électricité)
- Sous-stations ou postes principaux du réseau de transport d'électricité
- Appareillage de télécommunication et antennes

Services essentiels
- Hôpitaux
- Foyers collectifs pour les gens à mobilité réduite
- Établissements scolaires
- Grands aéroports
- Bureaux de poste
- Ponts fédéraux ou des États
- Prisons

Services d'urgence
- Services des incendies
- Postes de police
- Bases militaires
- Centrales d'ordinateurs

Aux États-Unis, les secteurs protégés par des digues conformes aux critères du NFIP sont considérés comme ne faisant pas partie de la zone inondable à récurrence de 100 ans. Entre autres critères, le NFIP prescrit une hauteur libre de trois pieds au-dessus du niveau de crue à récurrence de 100 ans. Les secteurs endigués sont habituellement assimilés à des secteurs de moindre risque (zone B ou X des cartes de tarification d'assurance inondation). Du côté fluvial d'une digue, il y a généralement un canal de dérivation, et cet élément est marqué par des contre-hachures. Des moyens de protection contre une crue à récurrence de 100 ans comme les digues et les canaux de dérivation ne peuvent en réalité que retarder les dommages jusqu'à ce qu'une pire crue se produise. Les défenses contre l'inondation permettent un meilleur développement que si un secteur était resté sans protection. Voilà pourquoi le dommage causé à la propriété sera plus grand si les ouvrages succombent à des crues plus importantes. La protection comporte ses limites et les gens demeurent menacés : les risques sont peut-être moindres, mais les dommages pourraient

être catastrophiques. On devrait songer à mettre les bâtiments à l'épreuve des inondations derrière les digues pour les protéger contre les débordements ou les ruptures.

Codes du bâtiment

Le gros des dommages causés par l'inondation de 1997 tient au style dominant des habitations. Le bassin de la rivière Rouge comprenait des habitations à pleines fondations où le sous-sol était aussi un lieu d'habitation. Si les habitations convenaient à une zone inondable, la résistance s'en trouverait améliorée à long terme. Mais quelles habitations pourraient-elles convenir? Le NFIP interdit de construire des maisons à sous-sol dans la zone inondable à récurrence de 100 ans. Tous les bâtiments neufs ou ayant fait l'objet d'améliorations importantes doivent avoir un rez-de-chaussée et un sous-sol en surélévation qui leur donne une hauteur égale ou supérieure à celle des eaux d'une crue à récurrence de 100 ans. Il est défendu de «protéger à sec» les maisons. Quant aux bâtiments commerciaux ou utilitaires, leur rez-de-chaussée et leur sous-sol doivent être surélevés ou «protégés à sec» et se trouver à une hauteur égale ou supérieure au niveau d'une crue à récurrence de 100 ans. Toutefois, les règles d'exception du NFIP à l'égard des localités autorisent dans certains secteurs les sous-sols protégés de maison. On prévoit ainsi des exceptions pour les localités qui s'exposent à des risques déterminés d'inondation (valeurs de profondeur et de rapidité d'écoulement des eaux de crue) si celles-ci adoptent des critères précis de conception et de construction pour la protection anti-inondation des sous-sols résidentiels. Plusieurs localités du bassin ont eu droit à ce traitement d'exception de la FEMA.

Et le Minnesota et le Dakota du Nord fondent leurs codes du bâtiment sur l'Uniform Building Code, qui fera partie d'un nouveau modèle d'application nationale aux États-Unis, à savoir l'International Building Code (Code international du bâtiment). Contrairement au Dakota du Nord, le Minnesota a inclus dans son code des normes de protection des bâtiments contre les inondations. Dans l'un et l'autre de ces États, les villes et les comtés doivent adopter le code du bâtiment de l'État et assumer la responsabilité de le faire respecter. Dans le bassin de la rivière Rouge, peu de secteurs de compétence ont adopté le code d'État.

> **Recommandation 16 :** ***Et le Dakota du Nord et le Minnesota devraient songer à adopter le nouvel International Building Code (Code international du bâtiment), qui prévoit des critères de conception et de construction à l'intention des secteurs exposés aux inondations.***

Au Canada, il existe un code national du bâtiment que les provinces peuvent faire leur en tout ou en partie, mais il n'y a pas dans ce code d'exigences relatives aux constructions en zone inondable. On semble justifier cette absence en disant que les gens ne devraient pas construire dans des zones inondables. Une telle opinion ne vaut guère pour le Manitoba, province dont environ 70 % de la population habite en zone inondable. Aux États-Unis, la FEMA a travaillé avec l'American Society of Civil Engineers à une norme nationale (ASCE 24) de conception de bâtiments dans des secteurs exposés aux inondations.

Recommandation 17 : ***Le Code national du bâtiment du Canada devrait énoncer des normes de conception et de construction des bâtiments dans des secteurs exposés aux inondations comme le bassin de la rivière Rouge. On devrait intégrer au code manitobain des critères de construction en zone inondable quand ceux-ci auront été définis.***

Éducation

Les normes et les ouvrages de protection contre les inondations peuvent inspirer de faux sentiments de sécurité. Bien des gens semblent croire que les éléments de protection en place—normes, mesures anti-inondation, bâtiments construits en surélévation par rapport à des niveaux de crue de référence ou à l'extérieur des zones désignées par les cartes, etc.—les mettent sinon entièrement, du moins suffisamment à l'abri des inondations. Dans les activités de sensibilisation populaire, on devrait insister sur les risques d'inondation dans toute zone inondable ou tout lieu protégé par des ouvrages contre les crues.

Dans les activités de sensibilisation populaire, on devrait insister sur les risques d'inondation dans toute zone inondable ou tout lieu protégé par des ouvrages contre les crues.

Les normes de protection contre les inondations protègent contre un degré constatable de risque (crues à récurrence de 100 ans, par exemple), mais il subsiste un risque «résiduel» pour les personnes et les localités. Près de 25 % des demandes d'indemnités d'assurance inondation aux États-Unis viennent de secteurs extérieurs aux zones inondables à récurrence de 100 ans. Les gens et les localités doivent tenir compte de ce risque résiduel en construisant en toute résistance aux inondations.

Aux États-Unis, le «Project Impact» de la FEMA est une grande initiative qui encourage les collectivités à se prémunir contre les effets de catastrophes naturelles en prenant des mesures propres à réduire les perturbations et les coûts. Les trois principes appliqués sont les suivants : adoption de mesures de prévention au niveau local; participation du secteur privé; investissement à long terme en mesures de prévention. Dans le bassin de la rivière Rouge, la FEMA a lancé un projet pilote avec un nouveau concept pour «Project Impact», à savoir l'International Flood Mitigation Initiative (IFMI), laquelle vise une concertation des deux côtés de la frontière sur les mesures d'amélioration de la résistance aux catastrophes. Le Manitoba collabore aussi à l'IFMI. Dans cette démarche, on a tenu un certain nombre de réunions publiques et de séances de travail auxquelles ont participé un large éventail de représentants et du secteur public et du secteur privé.

L'IFMI vise une concertation des deux côtés de la frontière sur les mesures d'amélioration de la résistance aux catastrophes.

Recommandation 18 : ***Dans le bassin de la rivière Rouge, les autorités fédérales, provinciales et locales et les gouvernements des États devraient continuer, de concert avec le secteur privé, à développer, à affiner et à mettre en application des stratégies efficaces d'amélioration de la résistance aux catastrophes dans les collectivités de la région. On devrait s'efforcer de mieux sensibiliser la population aux risques d'inondation dans tout le bassin.***

Mesures d'application

Les codes du bâtiment, les règlements de zonage et les autres mesures de réglementation ne sont efficaces que si on les fait respecter. L'efficacité de l'application est habituellement fonction des ressources, de la formation, de la compréhension et de l'engagement du public et des volontés politiques. Parfois, ces éléments feront défaut en tout ou en partie.

Recommandation 19 : ***Les autorités des États et de la province et les autres instances appropriées devraient examiner l'efficacité et le respect des règlements de gestion de plaine inondable dans le bassin et prendre au besoin des mesures qui en amélioreront l'application.***

Acquisitions en zone inondable

Les rachats de bâtiments endommagés par les crues permettent de réduire les dommages futurs causés par l'inondation et aident à créer une résistance, mais seulement si les terres demeurent inoccupées en permanence. Aux États-Unis, on devrait conserver les programmes et les fonds de rachat volontaire de constructions endommagées à plusieurs reprises par les crues ou grandement exposées à l'inondation. Cette politique s'est révélée efficace et de nombreux observateurs en recommandent l'élargissement.

Dans sa politique actuelle, la FEMA interdit de construire des digues, des murs de protection et autres ouvrages anti-inondation sur des terrains acquis dans le cadre du Hazard Mitigation Grant Program (HMGP)[25]. Elle est en train d'élaborer un protocole d'entente avec le Corps of Engineers de l'Armée américaine sur la construction d'ouvrages de protection sur des terrains rachetés. Dans les discussions en cours, il est question de mécanismes de coordination et de consultation et d'exceptions restreintes à l'application de cette politique. On exclut cependant les ouvrages des États et les autres ouvrages non fédéraux. On devrait étendre les discussions aux organismes et aux ouvrages non fédéraux.

À East Grand Forks au Minnesota, la digue de secours en place se situe près du sommet de la berge de la rivière Rouge. Dans le projet que propose le Corps of Engineers pour cette ville, on décalerait la digue jusqu'à 1 000 pieds [304 mètre] à l'intérieur des terres, c'est-à-dire aux lisières de la zone inondable existante à récurrence de 100 ans. On éliminerait les constructions (on en compte quelque 700) dans le secteur compris entre la berge et la nouvelle digue et cet espace demeurerait inoccupé. Pour le réseau aligné d'endiguement

en retrait, on pourrait se servir de certains des terrains acquis dans le cadre du HMGP. La FEMA et l'USACE sont à revoir ce projet pour juger des mesures à prendre compte tenu de la politique appliquée par la FEMA en matière d'utilisation de terrains en acquisition HMGP.

Recommandation 20 : ***Bien que les restrictions de réaffectation de terrains acquis soient des mesures de prudence dans leur application à des fins d'atténuation des dommages résidentiels, commerciaux ou autres causés par des facteurs autres que les inondations, la FEMA devrait revoir son interprétation du terme «constructions» dans la réglementation du Hazard Mitigation Grant Program pour exempter de ces dispositions les ouvrages, digues, murs de protection et autres dispositifs de régulation des crues qui permettraient de réduire les pertes futures par inondation.***

Recommandation 21 : ***Dans ses Accords d'aide financière en cas de catastrophe, le gouvernement fédéral du Canada devrait prévoir de dispositions permettant de retirer des constructions en permanence de secteurs exposés à des inondations répétées.***

Orientation des mesures d'atténuation

À la suite d'une grave inondation, on affecte souvent des fonds à des mesures de réparation et d'atténuation des dommages subis. Ces temps de crise sont l'occasion de mettre les volontés et les ressources collectives au service de l'adoption de mesures d'atténuation utiles. Toutefois, les pouvoirs publics se doivent d'agir vite après une grande inondation, et il n'y a guère de temps pour coordonner les projets. S'ils entendent éviter toute confusion et des interventions à la pièce, les responsables de la gestion des mesures d'urgence et des zones inondables doivent déterminer d'avance ce qui devrait se faire après la catastrophe. Les mesures prises en un lieu donné ou à des fins déterminées ne devraient pas nuire à ce qui se fait ailleurs. Il est bon de dresser des plans d'atténuation à l'échelon local ou à l'échelle du bassin qui expliciteront la stratégie d'ensemble adoptée. Il faut qu'il y ait coordination des mesures d'atténuation entre les organismes qui les financent, ainsi qu'entre les autorités fédérales, provinciales et locales et les autorités des États.

Recommandation 22 : ***La FEMA et Protection civile Canada devraient, à tous les paliers politiques, concevoir une démarche intégrée d'atténuation qui repose sur une stratégie d'ensemble pour le bassin de la rivière Rouge. Aux États-Unis, la stratégie devrait s'intégrer à la National Mitigation Strategy.***

Malgré les problèmes d'application qui se posent dans le bassin de la rivière Rouge, les États-Unis disposent d'une National Mitigation Strategy (voir l'encadré) et d'orientations pour l'atténuation des dommages causés par les inondations. Par une combinaison d'assurances, d'encouragements, de codes du bâtiment et de normes d'occupation des sols, le National Flood Insurance Program cultive un grand nombre de mesures d'atténuation. Pour sa part, le Canada n'a pas de stratégie pour orienter ou financer les mesures d'atténuation soutenues par le gouvernement fédéral, ni les mécanismes de collaboration avec les provinces.

Stratégie nationale d'atténuation aux États-Unis

La National Mitigation Strategy vise tous les organismes du palier fédéral et des États, ainsi que les milieux de gestion en protection civile et la population. Elle comprend deux volets. D'ici l'an 2010, elle prévoit :

(1) accroître nettement la conscience populaire des dangers naturels de sorte que le public demande à ce qu'on rende plus sécuritaires les milieux de vie et de travail;

(2) réduire nettement les risques de mort et de blessures et de pertes de ressources économiques, naturelles et culturelles imputables aux dangers naturels.

Dans son orientation fondamentale, elle entend renforcer les partenariats qui existent ou en créer là où il n'y en a pas pour que tous les Américains puissent mieux s'acquitter de la responsabilité qu'ils ont de rendre la vie collective plus sécuritaire. De tels partenariats tiennent une place essentielle dans les cinq grands éléments de la stratégie :

1. constatation des dangers et évaluation des risques;
2. recherche appliquée et transfert de technologies;
3. sensibilisation, formation et éducation du public;
4. encouragements et ressources;
5. leadership et coordination.

La stratégie d'attenuation énonce divers objectifs par lesquels on mesurera le degré de réalisation du but national d'atténuation. Elle peut servir de base à l'établissement de priorités de ressources limitées d'exécution de ses grands éléments. Le plus important à cet égard est le Mitigation Action Plan (MAP), qui énonce les mesures que doivent prendre les Américains et les pouvoirs publics pour bien lancer la National Mitigation Strategy.

Au Canada, on met l'accent sur la préparation à la lutte contre les inondations, les interventions et le rétablissement après une catastrophe. Ainsi, les 130 millions de fonds fédéraux-provinciaux disponibles pour la protection contre les inondations (ouvrages anti-inondation, protection des bâtiments contre les crues, etc.) viennent appuyer la construction et la surélévation de digues circulaires dans les localités du bassin jusqu'en l'an 2002. Ils aident les propriétaires de maison, les agriculteurs et les entrepreneurs à financer les travaux de protection de leurs bâtiments contre les inondations. Quelque importante que soit la question de l'atténuation des dommages, il n'y a pas encore de démarche coordonnée en vue d'intégrer les mesures correctives d'aménagement ou autres.

La situation pourrait changer. En collaboration avec l'Institut pour la réduction de pertes catastrophiques du Bureau des assurances du Canada, Protection civile Canada a proposé une politique nationale d'atténuation. On devrait étudier davantage cette proposition et songer plus sérieusement à mettre en place divers mécanismes (programmes de financement, services d'aide technique, etc.) qui appuieront les programmes d'atténuation au niveau local. Le gouvernement fédéral devrait adopter des politiques qui encouragent l'élaboration et le financement de stratégies d'atténuation avec les partenaires provinciaux et locaux.

Recommandation 23 : ***Le gouvernement fédéral du Canada devrait établir une stratégie nationale d'atténuation des dommages des inondations ou une stratégie plus générale d'atténuation des effets des catastrophes et en soutenir l'application par des programmes complets.***

Dans sa proposition ayant pour titre *Stratégie nationale d'atténuation des pertes*, le Bureau des assurances du Canada recommande :

- de constituer un fonds de protection contre les catastrophes naturelles où les gouvernements investiraient 100 à 150 millions par an pour réduire le coût des dommages futurs et des mesures de rétablissement après une catastrophe;
- de relever de 15 % le programme gouvernemental d'intervention et de rétablissement en vue d'investissements dans des mécanismes qui empêcheront des événements extrêmes de se reproduire;
- de créer, par les soins des assureurs, des gouvernements et d'autres, un organisme de promotion des mesures de prévention, d'atténuation et de préparation.

Assurances inondation

Les assurances inondation peuvent représenter un élément public positif de promotion de la préparation et de la résistance aux inondations. Elles aident les gens à assumer la responsabilité qui est la leur lorsqu'ils habitent des secteurs exposés aux inondations. Elles permettent d'affecter les fonds gouvernementaux à des mesures d'atténuation et autres dont les effets sont plus durables que les mesures d'aide au rétablissement. Aux États-Unis, les localités et les États jouent un rôle important. Pour participer au National Flood Insurance Program, une localité doit adhérer aux critères de gestion de plaine inondable et les faire respecter. Si ces critères ne sont pas respectés, il est impossible de prendre des assurances inondation soutenues par les autorités fédérales. Toutes les constructions neuves ou ayant fait l'objet d'importantes améliorations font alors l'objet d'une évaluation actuarielle.

Au Canada où les assurances types de biens résidentiels ne protègent pas contre les dommages causés par les inondations, la question des assurances inondation doit être étudiée. Comme l'assiette de souscription est moindre qu'aux États-Unis, les conditions peuvent être différentes au Canada. Les 1 300 localités canadiennes exposées aux inondations sont concentrées dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, alors que, aux États-Unis, on peut constater que les «localités inondables»—dont on estime le nombre à 19 000—sont plus

Programme national d'assurance inondation aux États-Unis

Le National Flood Insurance Program (NFIP), qui a été institué par la National Flood Insurance Act de 1968, procure une assurance inondation à financement fédéral aux États et aux localités qui consentent à adopter et à faire respecter des mesures de gestion de plaine inondable qui respectent au départ les critères minimaux des autorités fédérales. En 1973, on a élargi la loi précitée pour que l'acquisition d'une police d'assurance inondation soit un préalable de l'obtention d'une aide financière quelconque d'origine fédérale ou assimilée, sous forme de prêts hypothécaires, par exemple, des institutions de prêt à garantie fédérale. Plus de 18 400 localités participent aujourd'hui au NFIP, qui a cartographié les zones inondables de plus de 20 000 localités. La National Flood Insurance Reform Act de 1994 a renforcé ce programme en prévoyant une assurance d'atténuation de dommages, ainsi que des subventions à la planification et aux projets d'atténuation des États et des localités.

La loi de 1968 demande aussi au président du pays d'élaborer un programme national unifié de gestion de plaine inondable. Les dispositions de mise à jour de 1994 énoncent divers objectifs nationaux de gestion des zones inondables. Le décret 11988 (Guidelines for Floodplain Management), qui a été pris en 1977, exige des organismes fédéraux qu'ils prennent des mesures de planification avant toute intervention susceptible d'influer sur les zones inondables. Les inondations de 1983 dans le Midwest ont encore fait évoluer la politique fédérale en matière d'inondations. C'est ainsi qu'on met un nouvel accent sur l'acquisition ou le déplacement des bâtiments endommagés par les crues à l'aide de fonds venant d'un certain nombre de programmes fédéraux, des gouvernements des États, des administrations locales et du secteur privé. Ces crues ont aussi fait réexaminer par les autorités américaines les politiques et les programmes fédéraux de gestion de plaine inondable.

dispersées. Depuis que le Programme national de réduction des dommages causés par les inondations (programme fédéral-provincial au Canada) a pris fin en 1993, on a manqué de données à jour sur les zones inondables, ainsi que des moyens d'en produire. Toutefois, on pourrait examiner l'éventail des possibilités pour voir si un programme viable d'assurance inondation—qui s'inspirerait de l'expérience américaine—est possible au Canada.

Aux États-Unis, les tarifs d'acquisition et de reconduction sont bas lorsque les propriétaires fonciers ne sont pas tenus de prendre des assurances inondation. Les taux d'acquisition sont bien plus élevés dans la zone inondable réglementée à récurrence de 100 ans, où la National Flood Insurance Reform Act de 1994 exige des propriétaires qu'ils prennent de l'assurance inondation avant d'obtenir des prêts de programmes fédéraux de financement ou de régimes hypothécaires à garantie fédérale. Les institutions de prêt s'exposent à des amendes si elles n'exigent pas que les emprunteurs prennent de telles assurances. Un grand nombre d'habitations inondées dans le bassin de la rivière Rouge en 1997 se situaient en dehors de la zone inondable à récurrence de 100 ans et n'étaient donc pas tenus de s'assurer.

Sur l'échantillon de propriétaires de maison à Grand Forks, 94 % avaient entendu parler de l'assurance inondation, mais 20 % seulement en avaient au moment où l'inondation s'est produite; 40 % des non-assurés avaient pris des renseignements au sujet de l'assurance inondation, mais avaient décidé de ne pas s'en procurer. Ceux qui s'étaient abstenus ont dit s'en être remis aux prévisions de débits de pointe du National Weather Service, pensant que les digues et autres ouvrages de régulation des crues leur assureraient une protection suffisante ou qu'une inondation ne causerait pas de dommages à leur habitation[26].

L'incitation à participer au NFIP est moindre si, dans une situation d'urgence, on indemnise indifféremment assurés et non-assurés.

On devrait réexaminer les facteurs qui dissuadent les gens d'acquérir ou de renouveler des polices d'assurance inondation dans le bassin de la rivière Rouge. Ainsi, le bref délai d'attente de 30 jours avant l'entrée en vigueur du régime d'indemnisation donne la possibilité aux résidents de prévoir les risques de crues printanières et de ne prendre de l'assurance que lorsque ces risques sont élevés. Qui plus est, après de grandes crues comme celles de 1997, le président des États-Unis peut déclarer l'état d'urgence et offrir un régime d'indemnisation aux assurés comme aux non-assurés. L'incitation à participer au NFIP est moindre si, dans une situation d'urgence, on indemnise indifféremment assurés et non-assurés.

Il convient de noter que l'assurance inondation peut aider les populations à se remettre d'inondations pour lesquelles on n'a pas déclaré l'état d'urgence et que les seuls fonds d'aide en cas de catastrophe ne couvrent pas entièrement les pertes. Cette aide prend la forme soit de subventions individuelles aux familles jusqu'à concurrence de 13 000 $, soit de prêts remboursables à faible intérêt de la Small Business Administration. Rien ne garantit que les biens-fonds seront rachetés. Le financement d'un projet de rachat s'amorce au niveau local et exige des fonds de contrepartie de l'État ou des autorités locales.

Dans le cadre du NFIP, il y a une incitation à la bonne gestion des zones inondables grâce au Community Rating System. Plus une localité gère bien la zone inondable, plus les gens ont droit à des primes favorables d'assurance NFIP. Mentionnons en outre que la FEMA cherche actuellement à établir une meilleure correspondance entre son régime d'aide en cas de catastrophe et les programmes d'assurance inondation.

On devra s'efforcer davantage de mettre en place des mécanismes qui accroîtront les taux de participation et de maintien de l'adhésion au programme et au régime FEMA, ce qui rendra toute cette activité plus solide d'un point de vue actuariel.

> **Recommandation 24 :** ***Dans la partie américaine du bassin de la rivière Rouge, la FEMA devrait redoubler d'efforts pour promouvoir l'acquisition et le maintien de polices d'assurance inondation à l'intérieur comme à l'extérieur de la zone inondable à récurrence de 100 ans. On devrait innover dans cette promotion pour attirer les gens et ensuite les garder assurés. On pourrait notamment porter de 30 à 60 jours la période d'attente imposée aux assurés avant l'entrée en vigueur du régime d'indemnisation.***

Échanges de compétences et de renseignements

Les États-Unis et le Canada devraient couramment échanger des renseignements sur les techniques de rétablissement et de reconstruction qui sont particulières au bassin de la rivière Rouge. Ainsi, ils pourraient constituer des équipes d'assistance technique formées de spécialistes des techniques de nettoyage, des phénomènes de moisissure, de l'assèchement et de la réfection de sous-sols, et de la conception et de la construction de digues circulaires. Ces équipes pourraient conseiller les localités, tenir des ateliers à l'intention des propriétaires de maison et fournir d'autres services semblables après une inondation. Comme mécanisme utile que mettent actuellement au point le Groupe de travail et le Global Disaster Information Network, il y a une base de renseignements techniques et autres à l'échelle du bassin sur tout ce qui est rétablissement, atténuation et résistance aux inondations, information assortie de listes de sources où obtenir des données complémentaires. On pourrait rendre cette base d'information largement accessible par les bibliothèques publiques ou le réseau Internet.

> **Recommandation 25 :** ***Avant toute inondation, les États-Unis et le Canada pourraient procéder à de vastes échanges de compétences et de renseignements sur les mesures de rétablissement, de reconstruction et d'atténuation.***

Contrôles de résistance

On mesure couramment dans le bassin la neige au sol, les niveaux d'eau, l'humidité des sols et d'autres indicateurs de risques d'inondation, mais non pas des facteurs de résistance comme le degré d'occupation de la zone inondable, le nombre de ménages assurés, les rentrées de taxe de vente ou la santé des écosystèmes riverains. Ce manque d'information nuit aux efforts de création de collectivités sachant résister aux inondations. Si on surveillait de tels facteurs, on pourrait non seulement constater les problèmes et les lacunes de la résistance individuelle et collective, mais aussi établir des valeurs de référence par lesquelles mesurer les progrès accomplis. La résistance n'est pas un phénomène statique, et il faudrait une observation courante des hauts et des bas de l'état de résistance dans le bassin.

Recommandation 26 : ***On devrait concevoir des mesures de résistance aux inondations et mettre en place un système d'observation de cette résistance dans le bassin de la rivière Rouge.***

L'inondation de 1997 a inspiré des recherches considérables qui pourraient se traduire par une atténuation de l'incidence des inondations sur les humains et par une meilleure résistance des populations au phénomène de l'inondation.

Effets des inondations sur les humains

Les effets des inondations sur les populations humaines sont révélateurs de la résistance offerte. Le Groupe de travail n'a pu examiner ces questions à fond, mais il reconnaît que l'inondation de 1997 a inspiré des recherches considérables qui pourraient se traduire par une atténuation de l'incidence des inondations sur les humains et par une meilleure résistance des populations au phénomène de l'inondation. On a commandé un bilan des données de recherche disponibles[27], d'où se dégagent les conclusions provisoires suivantes :

- Le grand dérangement que cause une inondation aux ménages pourrait avoir affecté plus les femmes que les hommes. Les femmes assument généralement une plus grande partie de la responsabilité de la vie et des tâches du ménage, lesquelles sont bien plus difficiles si elles ont pour cadre un hébergement temporaire et souvent peu approprié.

- Les femmes qui exploitent une entreprise à domicile, et plus particulièrement une garderie, ont souffert du dérangement causé à leur entreprise ainsi qu'à leur foyer, d'abord à cause de l'évacuation et ensuite du fait des dégâts subis par leur habitation.

- Il y avait deux fois plus de chances que, les premiers mois qui ont suivi l'inondation, les entreprises qui, à Grand Forks, avaient une femme pour propriétaire ou responsable demeurent fermées.

- Aux États-Unis, les femmes s'exposaient davantage à la violence familiale après l'inondation. Les ordonnances de protection se sont multipliées, tout comme les appels aux centres d'aide et d'écoute. Le refuge de Grand Forks a fermé ses portes, laissant un trou dans le parc de logements sûrs disponibles. Des refuges ont fermé ou se sont déplacés et des femmes ont été contraintes par l'inondation à reprendre le contact avec des partenaires violents, voire à retourner auprès d'eux.

United States Army Corps of Engineers

- Les attitudes stéréotypées à l'égard des femmes ont gagné en importance après l'inondation au détriment de ces dernières. Les tâches domestiques et les soins aux proches se sont alourdis pour les femmes lorsque les conditions de vie se sont déréglées. Hommes et femmes ont eu généralement tendance à sous-estimer les tâches supplémentaires cachées de la femme avant, pendant et après l'évacuation.

- À Grand Forks, la plupart des femmes qui ont été interrogées ont dit avoir retiré un sentiment d'épanouissement, d'assurance et de compétence de la prise en charge de rôles multiples (surcroît de tâches domestiques à cause de l'inondation et de l'évacuation, activité professionnelle ou emploi rémunéré ou secours bénévoles, participation aux interventions et autres activités).

- Il y a eu plus de stress pour les habitants des secteurs inondés et évacués au Manitoba, ceux-ci se trouvant dans l'incapacité d'obtenir des pouvoirs publics des renseignements utiles et à jour sur les prévisions d'inondation et les mesures d'évacuation et de rétablissement.

- L'inondation a éprouvé l'étroitesse des liens conjugaux. Chez les couples de Greater Grand Forks par exemple, les mariages solides avant l'inondation l'étaient encore plus après et les liens déjà affaiblis l'étaient davantage. Les relations des couples ayant subi seulement des conséquences modérées de la catastrophe ont été quelque peu plus malmenées que celles des couples victimes de dommages négligeables ou extrêmes.

- À Grand Forks, il y a eu aggravation de la violence familiale après l'inondation. Les gens ayant moins de soutien social, les personnes âgées et celles qui avaient subi des actes de violence par le passé ont été les plus touchés.

- L'inondation a sérieusement nui aux programmes de lutte contre la violence domestique dans la vallée de la rivière Rouge. Même un an après la catastrophe, les responsables des programmes signalaient que la demande de services avait augmenté, mais que les ressources (humaines, matérielles et financières) étaient moindres

qu'avant l'inondation. On peut ajouter qu'ils étaient nettement mal préparés à protéger les femmes battues et leurs enfants pendant l'inondation et immédiatement après, c'est-à-dire pendant la période où les conditions de logement s'étaient détériorées.

- Des déviations raciales et culturelles sont clairement apparues dans certains aspects du rétablissement aux États-Unis. Les familles migrantes ont perdu leur accès à des logements à prix modique et à d'autres services et n'ont guère reçu d'aide en matière de rétablissement. Il y a des femmes hispanophones qui ont dit que, dans certains projets d'aide aux victimes, les bénévoles limitaient en réalité l'aide apportée à la population non hispanophone.

- La majorité (65 %) de praticiens sociaux s'occupant de jeunes, de familles, de santé mentale ou de gérontologie à Greater Grand Forks ont révélé que leurs clients avaient été déstabilisés par l'inondation. La clientèle la plus dépourvue de ressources économiques et personnelles avant la catastrophe était la plus troublée. Les problèmes d'argent et d'hébergement ont avivé les sentiments d'anxiété et de dépression, et on a pu observer une recrudescence de la violence familiale, de l'alcoolisme et des passages à l'acte chez les jeunes.

- À Grand Forks, la clientèle des organismes de services sociaux a généralement dit recevoir plus d'attention—et d'une meilleure qualité—après l'inondation des professionnels et des organismes privés. Elle signalait le redoublement d'efforts de certains organismes (Armée du Salut, Églises et groupements religieux) et l'apparition de nouvelles sources d'aide (Federal Emergency Management Agency, Croix-Rouge, etc.).

Un complément de recherche s'impose si on entend bien comprendre les effets sociaux immédiats des crues de la rivière Rouge.

Bien des questions n'ont pas encore été étudiées et un complément de recherche s'impose si on entend bien comprendre les effets sociaux immédiats des crues de la rivière Rouge. Il serait peut-être bon de s'attacher à des domaines comme les suivants : carte générale de la résistance du bassin à l'inondation, répercussions des réinstallations temporaires ou permanentes, incidence de l'inondation sur la qualité de vie, effets sur les enfants et les minorités, conséquences sur le plan de l'identité collective et sociale, effets sur les agriculteurs, les localités agricoles, les écoles et le système éducatif, habitations et autres bâtiments qui se sont bien ou mal tirés de la catastrophe, pertes commerciales et autres, résultats positifs de l'inondation.

Il serait utile et relativement simple de faire des études de suivi de certaines des observations faites. On aurait intérêt à savoir, par exemple, combien de gens ont de l'assurance inondation un certain nombre d'années après la catastrophe? Quelles en sont les raisons? Celles-ci sont-elles différentes de celles qu'ont exposées Pynn et Ljung[28]?

Inondations dans le bassin inférieur de la rivière Pembina

Les crues du cours inférieur de la rivière Pembina ont suscité des mesures de protection prises unilatéralement et sans coordination et qui ont causé du tort à la population des deux côtés de la frontière. Pendant plus de 50 ans, des mesures unilatérales de construction de digues et de routes ont été source de tensions et de conflits transfrontaliers dans le bassin de la Pembina. Les autorités fédérales, provinciales et locales et les gouvernements des États ont consacré des efforts et des études à la recherche de solutions au problème de gestion transfrontalière des crues, mais rien n'a abouti. À la suite de l'inondation de 1997, les habitants du bassin ont décidé de redoubler d'efforts pour trouver des remèdes et ont demandé à la Commission mixte internationale de les aider.

Pendant plus de 50 ans, des mesures unilatérales de construction de digues … ont été source de tensions et de conflits transfrontaliers dans le bassin de la Pembina.

La Commission et le Groupe de travail y voient l'occasion de contribuer à l'aplanissement de ces difficultés en travaillant à une compréhension commune des facteurs matériels qui entrent en jeu. Le Groupe a entrepris de cartographier en détail le bassin inférieur et conçu un modèle informatique qui, dans les consultations engagées avec les groupements locaux, pourra servir à éprouver les idées nouvelles au sujet des crues et de la protection contre les inondations. Il est en train d'établir des liaisons d'information et d'analyse par Internet afin de faciliter la collaboration entre les deux côtés de la frontière et une solution transfrontalière des problèmes. On n'en est pas encore à une entente sur des mesures précises de réparation transfrontalière des dommages, mais un certain nombre d'instruments essentiels d'information et d'analyse sont déjà en place.

Bassin de la Pembina

Le bassin de la rivière Pembina chevauche la frontière canado-américaine sur 130 milles, depuis le mont Turtle près de Boissevain au Manitoba jusqu'à la rivière Rouge à Pembina, Dakota du Nord. Il est d'une superficie approximative de 3 950 milles carrés [10 230 kilomètres carrés], et le Manitoba et le Dakota du Nord se le partagent presque également. La rivière court généralement vers l'est à travers le Manitoba avant de tourner au sud-est et de traverser la frontière à environ 15 milles [24 km] au nord-ouest de Walhalla, Dakota du Nord, entre les localités de Maida, de ce même État, et de Kaleida, au Manitoba. De là, elle va à la rivière Rouge à travers le territoire nord-dakotain.

À l'heure actuelle, le bassin compte quelque 65 000 habitants, en gros 40 000 au Manitoba et 25 000 au Dakota du Nord. Son économie est dominée par l'agriculture et les industries liées de transformation et de services.

L'«Escarpement Pembina» est la ligne de partage du bassin. À l'ouest de cet escarpement, on trouve des élévations morainiques vallonnées toutes en marmites, en crêtes et en éminences où la rivière Pembina s'écoule dans une vallée profonde et encaissée. Toute la partie manitobaine du bassin surmonte l'escarpement.

Près de Walhalla, le cours d'eau émerge des hauteurs et se fraie un chemin dans la vaste plaine non accidentée de la vallée de la rivière Rouge. Le long de l'escarpement dans le secteur de Walhalla, le modelé chute de 500 à 600 pieds et, depuis une hauteur approximative de 1 500 pieds [457 m] au-dessus du niveau de la mer, s'aplatit en plaine. Sur les 15 milles [24 km] suivants en aval de l'escarpement, la vallée où coule la Pembina s'efface peu à peu. Des alentours de Leroy, au Dakota du Nord, au confluent de la Pembina et de la rivière Rouge (à la ville de Pembina même) en passant par la ville de Neche, la rivière est à la hauteur ou un peu au-dessus de la plaine environnante sur une distance d'environ 20 milles [32 km], bordée de remblais naturels qui se sont édifiés en des siècles d'inondations ou encore de digues construites par l'homme dans sa lutte contre les inondations[29].

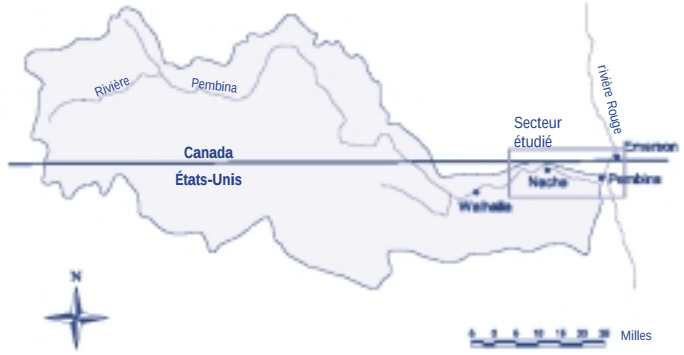
Le problème

Les crues printanières sont un phénomène naturel et courant sur tout le cours de la rivière Pembina, mais les crues les plus importantes et les plus dévastatrices se produisent sur le tronçon de 35 milles [56,4 km] entre l'Escarpement Pembina à Walhalla et la rivière Rouge.

Comme la Pembina se trouve aux alentours de Neche à la hauteur ou un peu au-dessus des terres environnantes, les crues qui débordent le cours principal de la Pembina dans des conditions naturelles ruissellent au loin vers le bassin de la rivière Tongue au sud ou vers le Canada au nord et la rivière Rouge à l'est. Les remblais naturels qui bordent le cours d'eau empêchent les eaux de crue de revenir au lit de la Pembina sauf si des obstacles comme les chaussées les y forcent[30].

Figure 4

Bassin de la rivière Pembina



Les annales font état de grandes crues en 1882, 1897, 1904 et 1916. Depuis 1940, la rivière a connu plusieurs autres crues d'importance en aval de l'escarpement, et notamment en 1950, 1974, 1979, 1996 et 1997. Avant l'inondation du siècle (14 300 pcs [405 mcs] en 1997), la crue de 1950 avait été la plus ample qui ait été observée avec 10 700 pcs [303 mcs].

D'après l'analyse statistique des crêtes de crue, une crue à récurrence de 100 ans serait de 18 000 pcs [510 mcs].

Une perspective historique

Depuis plus de 50 ans, les efforts consentis en vue de résoudre le problème des crues de la rivière Pembina sont allés d'efforts locaux déployés unilatéralement à diverses tentatives de collaboration internationale à la solution d'un problème commun. Souvent, des groupements locaux ont pris leur sort en main. Ces actions unilatérales menées des deux côtés de la frontière ont suscité des tensions entre propriétaires et gouvernements de part et d'autre.

Tableau 10

Grandes crues de la rivière Pembina depuis 1950

Date	Débit de pointe à Neche
27 avril 1997	14 300 pcs*
20 avril 1950	10 700
28 avril 1974	10 300
20 avril 1970	9 600
20 avril 1979	9 500
23 avril 1995	8 500
16 avril 1998	7 620
18 avril 1996	7 500
21 avril 1969	7 360
12 avril 1971	7 350
27 avril 1970	7 070

Nota : La capacité du chenal à Neche est d'environ 6 000 pcs.
* Un pied cube seconde équivaut à 0,0283 mètre cube seconde.

Dès les années 1940, on a signalé que des agriculteurs et des municipalités du Manitoba aménageaient une chaussée-digue le long de la frontière internationale, créant ainsi un obstacle à l'écoulement transfrontalier. Cette chaussée avait des ponceaux, mais ceux-ci n'étaient ni assez grands ni assez nombreux pour recevoir plus qu'un minimum d'écoulement. Lorsque les agriculteurs du comté de Pembina au Dakota du Nord ont subi des dommages et essuyé des pertes culturales en 1944 à cause d'une inondation des terres, ils ont pensé que le grand responsable était ce qui faisait obstacle à l'écoulement des eaux de crue à l'intérieur du territoire canadien.

Dès les années 1940, on a signalé que des agriculteurs et des municipalités du Manitoba aménageaient une chaussée-digue le long de la frontière internationale, créant ainsi un obstacle à l'écoulement transfrontalier.

De leur côté, les agriculteurs canadiens se sont dits inquiets des préparatifs d'un grand projet de drainage des terres au Dakota du Nord. Ils ont demandé une étude complète de ce projet et une estimation précise du surcroît d'eaux de drainage que recevrait le Manitoba.

Après l'inondation de 1950, les agriculteurs américains du secteur de Neche se sont mis à construire des digues le long du cours d'eau pour protéger leurs terres. Ils ont étendu ou haussé ces ouvrages après chaque grande crue (en 1966 et 1969, par exemple) en prévision de l'inondation suivante. Dans les années 1950 et 1960, l'action menée par les Canadiens le long de la frontière a été dirigée contre l'accroissement des eaux de ruissellement en provenance du sud, phénomène qui, à leurs yeux, avait été largement aggravé par l'aménagement de ces digues.

Pour gérer les eaux de ruissellement qui atteignaient la frontière canado-américaine depuis un certain nombre de voies de drainage au Dakota du Nord, le Manitoba et cet État se sont provisoirement entendus en 1956 sur le projet de construction de ce qui a été appelé le «drain de la frontière internationale», c'est-à-dire le canal Rhineland. Celui-ci court parallèlement à la frontière canado-américaine un peu à l'intérieur du territoire canadien. Il chemine sur 8 milles environ [12,9 km] depuis un point situé à un mille [1,6 km] à l'ouest de Gretna (Manitoba) jusqu'à la voie de franchissement de la rivière Aux Marais. Le bassin de la Aux Marais s'étend à peu de distance à l'intérieur du territoire nord-dakotain dans le secteur à l'est de Gretna (Manitoba) et, de là, il gagne le nord-est par le Manitoba pour rejoindre la rivière Rouge près de Letellier.

Pendant les trois ans qui ont suivi l'achèvement du canal au printemps de 1959, on a continué à mener des négociations sur l'installation de ponceaux et d'entrées d'eaux des champs dans le canal. En 1964, préoccupées du risque d'un accroissement des eaux de crue au sud de la frontière, la North Dakota State Water Commission et les commissions de comté du Dakota du Nord se sont dites intéressées par une extension du Rhineland à l'est le long de la frontière vers la rivière Rouge. Le projet s'est toutefois révélé irréalisable à cause de la profondeur de l'entaillement du terrain à prévoir. Dans un autre projet, on a voulu rediriger les eaux à l'est vers la rivière Rouge en se servant autant que possible des voies naturelles d'écoulement. Ce projet a échoué lui aussi lorsque le State Highway Department du Dakota du Nord a déclaré ne pas avoir l'obligation de construire ni d'entretenir un ouvrage à la jonction de l'Interstate 29. Les intérêts locaux en aval du chantier projeté ont manifesté une vive opposition au projet, qui a dû être abandonné.

En octobre 1968, le Dakota du Nord s'est à nouveau dit désireux d'améliorer le drainage aux États-Unis dans l'espoir de voir s'accroître la capacité d'écoulement du chenal Aux Marais. Le Manitoba a dit pour sa part vouloir augmenter la capacité de la rivière, mais seulement s'il pouvait gérer la quantité d'eaux de crue qui passaient du Dakota du Nord à son territoire.

C'est la période où le conflit à la frontière a commencé à prendre de l'ampleur.

La décennie 1970 a connu des crues importantes en 1970, 1971, 1974 et 1979. C'est la période où le conflit à la frontière a commencé à prendre de l'ampleur. Persuadés que les activités de construction le long de la frontière canado-américaine violaient le Traité des eaux limitrophes de 1909, les Nord-Dakotains ont saisi de la question la Commission mixte internationale, qui a proposé de renvoyer le dossier au Souris-Red River Engineering Board. En mars 1970, le gouverneur du Dakota du Nord demandait au secrétaire d'État américain de faire intervenir la CMI.

Le 4 mai 1970, le Département d'État priait les Canadiens de démanteler ou de réaménager la digue à la frontière pour y rétablir l'écoulement normal des eaux de crue en tout respect du traité de 1909.

Pendant l'inondation d'avril 1971, il y a eu des rumeurs non confirmées que les agriculteurs canadiens patrouillaient le long de la chaussée-digue pour prévenir les actes de sabotage. Une fois de plus, le gouverneur du Dakota du Nord a demandé à la CMI d'intervenir et de résoudre le problème. La CMI a répondu que, sans requête des gouvernements, elle n'était pas habilitée à prévenir ni à arrêter toute violation du Traité des eaux limitrophes.

Après chaque grande crue dans les années 1970, les travaux d'endiguement ont battu leur plein des deux côtés de la frontière. On a ainsi étendu et haussé les digues le long de la rivière Pembina au Dakota du Nord. Pour leur part, les agriculteurs canadiens ont continué à prolonger et à élever la chaussée-digue le long de la frontière internationale. Comme le réseau routier du secteur s'est développé et amélioré au fil des ans, les chaussées sont aussi devenues un facteur de taille dans la transformation du régime d'écoulement naturel des eaux de ruissellement.

Après chaque grande crue dans les années 1970, les travaux d'endiguement ont battu leur plein des deux côtés de la frontière.

De 1979 à 1990, une longue période de conditions de sécheresse et de faibles débits d'écoulement a contribué à mettre une sourdine à la controverse de l'eau, mais la vallée de la rivière Rouge devrait subir les affres d'une autre grande crue au printemps de 1996, laquelle a fait une brèche dans la chaussée-digue. Les Nord-Dakotains ont protesté lorsque les Manitobains du coin se sont efforcés de réparer la brèche, et le gouvernement du Manitoba a ordonné la cessation des travaux.

En avril et mai 1997, il y a eu des crues records de la rivière Pembina et de la rivière Rouge.

L'inondation de 1997 est la pire jamais observée le long du cours inférieur de la rivière Pembina.

Crues de 1997

L'inondation de 1997 est la pire jamais observée le long du cours inférieur de la rivière Pembina. La Pembina a connu une double crête de crue, phénomène à la fois anormal et courant. Le 22 avril, on relevait à Neche un débit de 12 800 pcs [362 mcs] au passage des eaux de ruissellement en provenance de la partie inférieure du bassin. Après avoir fléchi à 10 000 pcs [283 mcs], la crue a encore culminé trois jours plus tard pour atteindre cette fois le débit record de 14 300 pcs [405 mcs], grossie par les eaux de ruissellement d'amont.

Phénomène inhabituel (s'ajoutant à l'ampleur de la crue), les crêtes de crue de la Pembina et de la Rouge ont coïncidé à leur confluent. Les eaux de ruissellement en provenance de cours d'eau locaux comme la Pembina ont normalement fini de culminer lorsque le crête de crue de la rivière Rouge atteint la frontière canado-américaine. Les débits de la Rouge étaient décuples de ceux de la Pembina. Voilà pourquoi la Pembina, à peu de distance de son point de jonction avec la Rouge, a renversé le mouvement de ses eaux jusqu'à ce que celles-ci se joignent aux eaux de ruissellement de la Rouge et gagnent le nord à l'ouest de l'Interstate 29 et entrent au Manitoba en franchissant la frontière internationale.

En amont de Neche, le gros de l'écoulement a été contenu dans le lit de la rivière avec les digues en bordure et les tronçons du réseau routier faisant obstacle. En aval, le cours d'eau a débordé vers le sud et le nord. Au sud, la route de comté 55 a contenu l'écoulement et redirigé les eaux de crue vers la rivière plus loin en aval. De là, les eaux ont ruisselé jusqu'à ce qu'elles rejoignent celles de la rivière Rouge en débordement.

Au nord, les eaux de crue ont traversé les terres pour se heurter à la chaussée-digue à la frontière canado-américaine. Elles s'y sont accumulées et ont ensuite débordé une petite éminence—appelée localement Switzer Ridge—, allant vers l'est pour se mêler aux eaux de ruissellement de la rivière Rouge.

La partie orientale de la chaussée-digue un peu à l'ouest de la rivière Rouge a été débordée et rompue à deux endroits. Cette rupture s'explique cependant bien plus par les effets combinés des eaux de ruissellement de la Rouge et de la Pembina que par les seuls débordements de cette dernière. Après l'inondation, les Canadiens ont réparé la chaussée-digue.

Le long de la frontière internationale depuis le secteur de Walhalla jusqu'à la rivière Aux Marais, six voies importantes de drainage vont du Dakota du Nord au Manitoba.

Projets de réservoir et de défluent de crue

Le long de la frontière internationale depuis le secteur de Walhalla jusqu'à la rivière Aux Marais, six voies importantes de drainage vont du Dakota du Nord au Manitoba. Elles sont numérotées de 1 à 6 : la voie 1 est celle du ravin Hyde Park et la voie 6, la rivière Aux Marais même.

En 1973, cela faisait déjà près de 20 ans que l'on discutait de la quantité d'eau que l'on devrait laisser passer en territoire canadien par ces voies de drainage, et notamment par la rivière Aux Marais. Cette année-là, le comité spécial canado-américain des ressources en eau a présenté un rapport renfermant un certain nombre de recommandations, ainsi que des propositions d'installation de ponceaux supplémentaires à la rivière Aux Marais à la frontière internationale et aux cinq voies de franchissement des bassins de la Walhalla et du lac South Buffalo. Cet organe a également recommandé d'améliorer les voies Aux Marais et Walhalla-South Branch du réseau du lac Buffalo pour qu'elles puissent recevoir des débits à récurrence de huit ans en importance égale ou supérieure.

On a en outre conçu une méthode de partage des frais des travaux d'amélioration et d'entretien par le Canada et les États-Unis en fonction de l'aire de drainage alimentant chaque voie dans chaque pays.

En octobre 1974, le comité canado-américain d'examen de la lutte contre les inondations a été chargé de réexaminer les recommandations et les conclusions du comité spécial. Selon son mandat, il devait supposer, dans les recommandations qu'il élaborerait concernant la conception ou les normes hydrologiques des ouvrages de drainage, que le barrage Pembilier serait construit et donc exclure la présence d'eaux de débordement de la rivière Pembina.

Dans son rapport de 1976, le comité d'examen a généralement acquiescé aux recommandations du premier comité. Il a seulement révisé les recommandations décrivant la quantité d'eaux de ruissellement qui traverseraient la frontière en précisant le nombre et la taille des ponceaux à installer.

Dans une inspection de la région au printemps de 1991, un comité technique formé de fonctionnaires nord-dakotains et de représentants de la Direction générale des ressources en eau du Manitoba a constaté que, règle générale, les mesures recommandées par le rapport de 1976 (principalement au sujet de la taille et du nombre d'ouvertures à la frontière) n'avaient pas été appliquées. Toutefois, le Manitoba était en train d'améliorer la voie Aux Marais comme on l'avait recommandé.

En 1996, un nouveau groupe technique international a examiné les progrès dans l'application des recommandations de 1976. Il a pris acte que l'aménagement de la voie Aux Marais était achevé selon les recommandations à l'exception du déversoir de secours. Ses membres sont aussi parvenus à la conclusion que les eaux qui atteignaient les voies de franchissement 1 à 5 plus à l'ouest n'étaient pas touchées par les eaux de ruissellement de la Pembina, parce qu'elles faisaient partie de la Walhalla-South Branch dans le réseau de drainage du lac Buffalo. Le groupe technique a accepté en conséquence que l'on pratique les ouvertures recommandées à ces points de franchissement à condition de mettre en application l'entente de partage des frais indiquée dans le rapport de 1976.

La grande entrave à l'adoption d'une solution globale semble avoir été le défaut de construire un ouvrage de régulation des crues à la rivière Pembina.

La grande entrave à l'adoption d'une solution globale semble avoir été le défaut de construire un ouvrage de régulation des crues à la rivière Pembina. Les représentants canadiens ont insisté pour que la voie Aux Marais ne subisse pas d'autres changements jusqu'à ce qu'on prenne des mesures pour recevoir un surcroît d'eaux de ruissellement de la rivière Pembina.

On n'a néanmoins toujours pu justifier économiquement la construction du barrage Pembilier. Le groupe technique a alors envisagé d'aménager un canal de drainage plus petit que celui qui avait déjà été recommandé par le Corps of Engineers, et ce, depuis la voie Aux Marais jusqu'à une voie naturelle d'écoulement vers la rivière Rouge, soit sur une distance approximative de 5 milles [8 km] vers l'est. Le canal de dérivation intercepterait l'excès d'eaux de ruissellement par le canal Rhineland à la voie de franchissement Aux Marais et les détournerait le long du côté sud de la frontière vers la rivière Rouge. On ne savait au juste si les propriétaires et les milieux politiques locaux accepteraient la proposition, et le projet s'est arrêté là.

Premières études

Avant 1960, chaque pays a mené unilatéralement plusieurs études en vue d'assurer la gestion des eaux du bassin inférieur de la rivière Pembina. Ces études ont révélé qu'aucun projet polyvalent de gestion des eaux ne saurait se justifier économiquement si les deux pays n'y participaient pas.

En 1967, la Commission a proposé … de construire deux réservoirs pour la régulation des crues, l'irrigation et l'alimentation en eau des parties manitobaine et nord-dakotaine du bassin inférieur de la Pembina.

En 1962, les gouvernements canadien et américain ont demandé à la Commission mixte internationale d'étudier et de faire connaître des mesures qui permettraient de mettre en valeur les ressources en eau du bassin de la rivière Pembina. En 1967, la Commission a proposé, ayant examiné les recommandations que lui avait faites l'International Pembina River Engineering Board, de construire deux réservoirs pour la régulation des crues, l'irrigation et l'alimentation en eau des parties manitobaine et nord-dakotaine du bassin inférieur de la Pembina[31]. Le barrage Pembilier se situerait immédiatement en amont de Walhalla et permettrait de stocker 110 000 acres-pieds d'eaux de crue. Quant au barrage Pembina, il se dresserait près de Kaleida, au Manitoba, et servirait entièrement à l'irrigation et à l'approvisionnement en eau.

Dans son rapport de 1976, le Corps of Engineers a recommandé de construire en version agrandie le barrage Pembilier.

Comme l'application de la proposition de 1967 de la CMI avait été retardée, le Corps of Engineers de l'Armée américaine a entrepris une étude des possibilités de régulation et d'approvisionnement par la construction d'un barrage dans la seule partie américaine du bassin.

Dans son rapport de 1976[32], il a recommandé de construire en version agrandie le barrage Pembilier proposé dans les études antérieures. Sur une capacité totale de stockage de 147 000 acres-pieds, le réservoir en aurait 128 000 exclusivement en régulation des crues. Le rapport du Corps of Engineers précisait que le projet atténuerait les tensions sociales que créent les problèmes d'endiguement le long de la frontière internationale, les digues en question ayant été construites pour réduire l'écoulement des eaux de crue de la Pembina vers le bassin de la Aux Marais au Manitoba.

Vers la fin des années 1970 et au début des années 1980, le Corps of Engineers a aussi étudié la faisabilité d'un défluent de crue.

À l'occasion de nouvelles études vers la fin des années 1970 et au début des années 1980, le Corps a aussi examiné la faisabilité d'un défluent de crue qui assurerait un certain degré de protection contre les inondations au secteur en aval de Walhalla. Une possibilité d'aménagement—canal de dérivation d'une capacité de 3 500 pcs [99 mcs] qui s'étendrait depuis un point à trois milles [4,8 km] à l'est de Walhalla en direction nord vers la frontière internationale, puis en direction est jusqu'à la rivière Rouge—a été jugée économiquement réalisable et susceptible de ménager un degré appréciable de protection contre les eaux de crue. Pour diverses raisons, le projet n'a toutefois pas été accepté de la population locale et, à la fin, le Corps a choisi dans son rapport le chantier du barrage-réservoir Pembilier comme solution la plus acceptable aux problèmes de protection du secteur. L'étude a donné lieu à une autorisation du Congrès pour une étude de phase 1 où on examinerait plus avant la faisabilité du réservoir Pembilier. Tenu pour réalisable au moment de l'autorisation, celui-ci a ensuite été considéré comme infaisable par les études de phase 1, principalement à cause de la baisse des prix culturaux.

À la suite d'une grande crue en 1979, l'intérêt s'est avivé pour les mesures anti-inondation dans la vallée. En 1983, le Corps of Engineers revoyait ses conclusions de 1976 pour constater que l'aire de drainage du futur réservoir et les crêtes probables de crue excédaient les chiffres de 1976. Les coûts étaient supérieurs et les avantages, inférieurs. Dans cette étude, on s'est attaché à diverses autres possibilités de régulation des crues et on a finalement retenu comme projet le plus réalisable le chantier d'un canal de dérivation d'une longueur de 21 milles [33,8 km] entre un point situé à 6 milles [9,7 km] à l'ouest de Neche et la rivière Rouge. Dans ce cas, le rapport avantages-coûts était positif. Dans cette nouvelle proposition, on suggérait de créer le point de détournement immédiatement en amont de Neche et de le doter d'une capacité de 2 000 pcs [57 mcs].

L'opposition locale au projet rappelait celle de 1976. On a notamment invoqué les pertes de terres agricoles, le degré relativement bas de protection assuré contre les inondations, les inconvénients pour les agriculteurs ayant des terres de part et d'autre du canal et l'absence de moyens d'approvisionnement en eau et de moyens récréatifs. Sur les 31 réponses officielles au rapport, 8 seulement appuyaient le projet de défluent de crue et 19 voyaient dans la construction du barrage Pembilier la seule solution acceptable au problème des crues dans le secteur.

En vertu de l'entente canado-manitobaine d'expansion économique et de protection contre la sécheresse de 1980, l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP) a procédé à un vaste examen des possibilités d'approvisionnement en eau du secteur compris entre l'Escarpement Pembina et la rivière Rouge au Manitoba, ce que l'on appelle le secteur Assiniboine Sud-Hespeler. Dans le cadre de cette étude, on a examiné la faisabilité d'un barrage sur la rivière Pembina près de Kaleida. Comme le coût relativement élevé de ce projet représentait un grand inconvénient, l'ARAP a mis celui-ci de côté.

La dernière évaluation des possibilités de construction d'un réservoir sur la Pembina à des fins d'approvisionnement en eau et de protection contre les inondations a eu lieu en 1999. La commission des eaux de la vallée inférieure de la rivière Rouge (Manitoba) a chargé à contrat un bureau d'experts-conseils en génie, Acres International, de réexaminer la question de la mise en valeur de sources durables d'approvisionnement en eau et l'incidence de cette mise en valeur sur les crues dans le bassin de la rivière Rouge. Le Groupe de travail fournit la moitié des fonds affectés à cette étude.

Acres International a soumis à un nouvel examen trois projets présentés dans des rapports antérieurs, à savoir ceux du barrage-réservoir Pembilier; du barrage Pembina-canal de dérivation à la frontière; et du barrage Pembilier (en version réduite)-canal de dérivation. Il a produit un projet de rapport qui indique que les coûts ne sont pas en rapport avec les avantages.

Des données techniques peuvent aider les groupements locaux et les gouvernements à s'entendre sur des solutions au problème de l'écoulement transfrontalier des eaux de crue.

Activités en cours

Le Groupe de travail est d'avis que, pour trouver une solution au problème des crues de la Pembina, il faut d'abord une compréhension commune des faits. Des données techniques peuvent aider les groupements locaux et les gouvernements à s'entendre sur des solutions au problème de l'écoulement transfrontalier des eaux de crue. Le Groupe de travail a lancé diverses études techniques à cette fin. La démarche comporte trois grandes initiatives : acquisition et interprétation des données, élaboration de modèles et aide à la décision.

Acquisition et interprétation des données. Des données topographiques précises sont à la base même de la définition et de la gestion de zone inondable. Pour améliorer cette information en ce qui concerne la vallée de la rivière Rouge, le Groupe de travail a choisi comme banc d'essai une partie du bassin inférieur de la Pembina en vue de l'élaboration d'un modèle altimétrique numérique (MAN) intégré qui soit le meilleur disponible.

Trois technologies distinctes ont permis de recueillir des données topographiques à réunir en un même MAN, à savoir le système DGPS (Differential Global Positioning System) ou GPS différentiel, la technique Lidar («Light Detection and Ranging» ou radar optique) et une technique d'observation aérienne plus expérimentale, la technique IFSAR («Interferometric Synthetic Aperture Radar» ou radar interférométrique à synthèse d'ouverture). C'est le Topographic Engineering Center de l'Armée des États-Unis qui a géré l'entreprise.

À l'automne de 1998, on a effectué un levé axial des routes d'asphalte et de gravier et des digues principales. Par le traitement des données ainsi recueillies, on a obtenu un jeu complet de valeurs altimétriques de ces aménagements selon une marge de précision de 2 à 4 pouces [5 à 10 cm].

On a survolé en octobre 1998 avec radar optique Lidar une portion de 50 000 acres [20 234 hectares] de la zone étudiée le long de la rivière Pembina, de Neche à la rivière Rouge. Il s'agissait de relever les hauteurs avec marge de précision de 6 pouces [15 cm]. Il est possible de traiter ces données pour produire un MAN «terre nue» de haute précision, c'est-à-dire un modèle où le traitement a supprimé les bâtiments et les arbres.

La technique IFSAR a aussi servi à cartographier la zone étudiée en octobre 1998. On voulait ainsi recueillir des données à traiter dans un MAN à une échelle de 40 milles carrés [104 kilomètres carrés] la minute selon une marge de précision verticale de 10 pieds [3,05 mètres]. Par une fusion des données DGPS, Lidar et IFSAR, le produit IFSAR gagne en précision. Cette analyse n'est pas encore terminée.

On a fait l'acquisition d'images RADARSAT de la zone étudiée pendant 12 jours à l'occasion de l'inondation de 1997 et pendant quatre jours lors des crues de 1996. Pour faciliter la gestion de plaine inondable et l'étalonnage de modèles, on a produit quatre images RADARSAT du bassin inférieur de la Pembina. On les a codées à des fins d'entrée dans un SIG et caractérisé les éléments hydriques. Le satellite employé peut obtenir des images par tout temps jour et nuit à une échelle de résolution horizontale d'environ 80 pieds [24,4 mètres]. Il était possible de coder et de caractériser d'autres données non traitées le cas échéant.

Le Corps of Engineers de l'Armée américaine a récemment analysé les fréquences des crues de la rivière Pembina pour constater que, avec l'obtention des données de 1997, il n'y avait pas de grands changements à apporter à la définition de la crue à récurrence de 100 ans, ni à celle de la crue maximale probable[33].

Élaboration de modèles. Lors de l'inondation de 1997 à la rivière Rouge, les modèles hydrauliques ne pouvaient traiter le régime complexe d'écoulement des eaux de ruissellement qui est caractéristique des grandes crues de la vallée. Le Groupe de travail cherchait un modèle informatique capable de définir les débits de ruissellement en période de crue, ainsi que de servir à une planification où seraient cernés les effets de l'adjonction de digues ou de réservoirs.

Il a commandé des travaux d'élaboration de deux modèles unidimensionnels d'«écoulement transitoire» visant à une marge de précision de 6 pouces [15 cm] de la description des niveaux d'eau. On a appliqué un modèle UNET au bassin supérieur du lac Traverse à Letellier, au Manitoba, et un modèle MIKE 11 au bassin inférieur entre Grand Forks et Selkirk. Le bassin inférieur de la rivière Pembina se trouve dans le chevauchement des deux modèles.

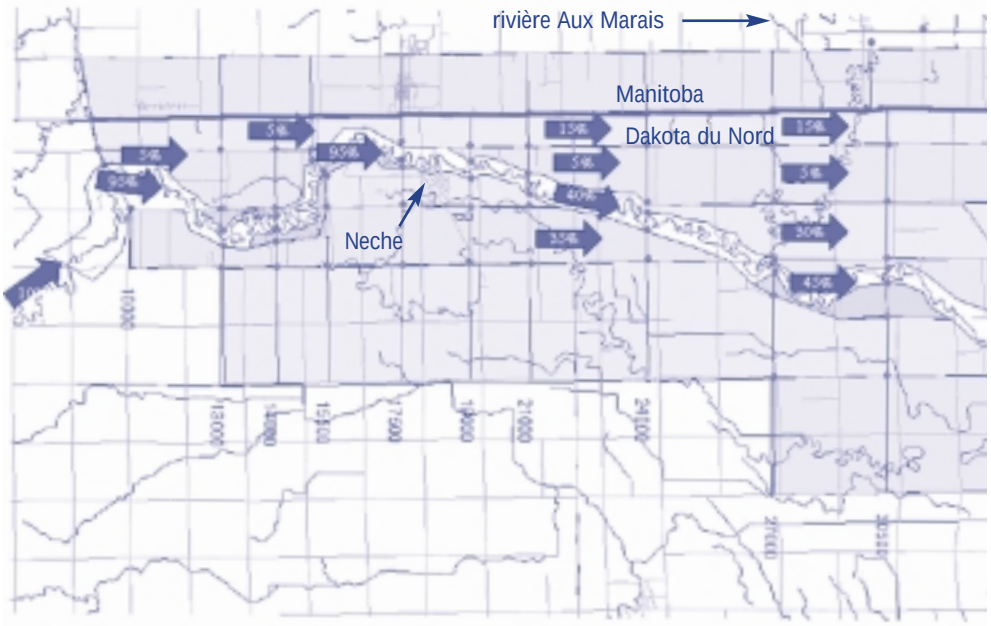
On a constaté qu'un tel stockage n'aurait pas influé sur les niveaux d'eau de la rivière Rouge à Emerson dans les conditions de 1997.

Ces modèles ont permis d'examiner les effets d'un hypothétique stockage en amont sur les niveaux d'eau dans le bassin inférieur. Entre autres scénarios essayés, on a voulu calculer l'incidence du stockage de 75 000 acres-pieds d'eau au moment optimal dans le bassin de la Pembina. On a constaté qu'un tel stockage n'aurait pas influé sur les niveaux d'eau de la rivière Rouge à Emerson dans les conditions de 1997.

Le Groupe de travail a ajouté au modèle MIKE 11 un sous-modèle détaillé du bassin inférieur de la Pembina, ce qui a permis d'étudier un éventail de scénarios. On a appliqué le modèle au bassin inférieur pour 1996 et 1997 et pour un secteur qui s'étendait depuis un point situé à environ 6 milles [9,7 km] à l'ouest de Neche jusqu'au confluent de la Pembina et de la Rouge. Un examen détaillé des résultats de cette modélisation est présenté dans un rapport distinct au Groupe de travail[34]. On peut ainsi en résumer les conclusions :

Figure 5

Répartition de l'écoulement en 1997 dans les conditions existantes



Dans les conditions de 1997, le débit de crue de la Pembina à Neche s'établissait à 14 300 pcs [405 mcs]. L'écoulement a été contenu dans le lit du cours d'eau avec ses digues et le réseau routier adjacent, mais il a débordé du lit un peu à l'est de Neche. Environ 15 % du débordement (2 100 pcs) [59,5 mcs] a gagné le nord-est depuis le point de débordement jusqu'à la frontière internationale, où il a été contenu par la chaussée-digue et la crête Switzer Ridge. Une quantité d'eau relativement petite a traversé les ponceaux de la chaussée-digue pour se déverser dans la rivière Aux Marais. Le gros des eaux de ruissellement a fini par déborder à Switzer Ridge, poursuivant sa route le long du côté américain de la frontière jusqu'à la rivière Rouge.

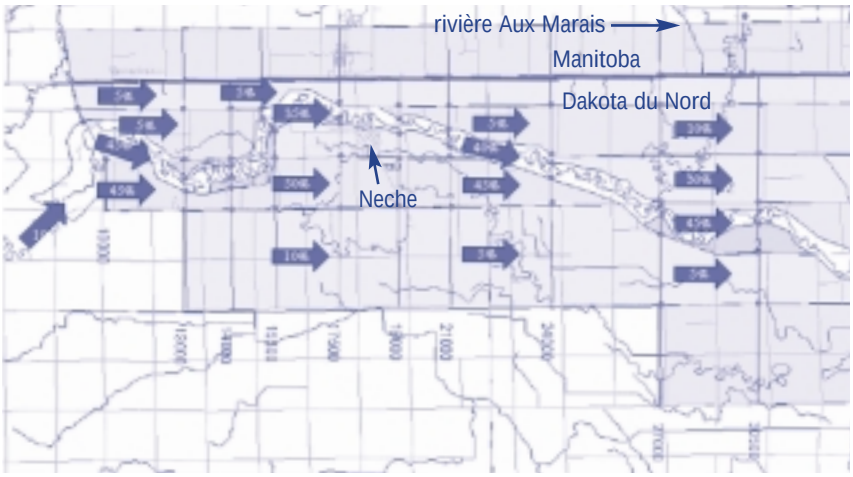
Environ 40 % (5 700 pcs) [161 mcs] des eaux de ruissellement se sont écoulées au sud et à l'est hors du lit. Elles ont été contenues par la route de comté 55 et refoulées à l'est. Elles ont fini par retraverser la rivière vers la rive nord et continué à s'écouler vers la rivière Rouge. En réalité, la chaussée-digue le long de la frontière internationale au nord et la route de comté 55 au sud ont fait figure de digues décalées, retenant les eaux entre elles.

La modélisation indique que la capacité du chenal de la rivière Pembina en aval de Neche avec les digues en place est de l'ordre de 5 100 à 6 400 pcs [144 à 181 mcs].

Si on enlève le réseau d'endiguement le long du cours inférieur de la rivière Pembina, on obtient un régime entièrement différent d'écoulement des eaux de ruissellement. Sans les digues aménagées et avec les débits de crue de 1997 (14 300 pcs) [405 mcs], la simulation révèle que le débordement aurait eu lieu à l'ouest de Neche plutôt qu'à l'est. Dans ce cas, les chaussées établies du côté nord de la rivière serviraient localement de digues et empêcheraient les eaux de débordement de la rivière d'atteindre la frontière canado-américaine. Environ 40 % des eaux de crue (5 700 pcs) [161 mcs] demeureraient dans le lit et le reste se déverserait du côté sud du cours d'eau, courant au sud et à l'est pour finalement rejoindre la rivière en aval et la traverser en direction de la rivière Rouge par les terres. Là encore, la route de comté 55 sert de digue décalée du côté sud du cours d'eau.

Figure 6

Répartition de l'écoulement en 1997 sans réseau d'endiguement



Dans des conditions naturelles, c'est-à-dire sans réseau d'endiguement le long de la rivière ni réseau routier établi, les eaux de crue auraient débordé à l'ouest de Neche et environ 30 % du débordement (4 300 pcs) [122 mcs] se serait frayé un chemin au nord. La moitié de ces eaux aurait rencontré le canal South Buffalo au Manitoba par le ravin de Hyde Park au Dakota du Nord et l'autre moitié serait allée plus à l'est. Il n'y aurait toutefois pas eu d'eaux de crue qui auraient ruisselé le long de la frontière canado-américaine à l'est de Neche et qui seraient entrées dans le réseau de la Aux Marais.

Ajoutons que 30 % des eaux de débordement se seraient échappées vers le sud, franchissant le tracé actuel de la route de comté 55. Il n'y a que 30 % à 40 % de tout l'écoulement (4 300 à 5 700 pcs) [122 à 161 mcs] qui serait resté dans le lit en traversant Neche. Ce serait là la capacité naturelle du cours inférieur de la rivière Pembina.

Figure 7

Répartition de l'écoulement en 1997 dans des conditions naturelles

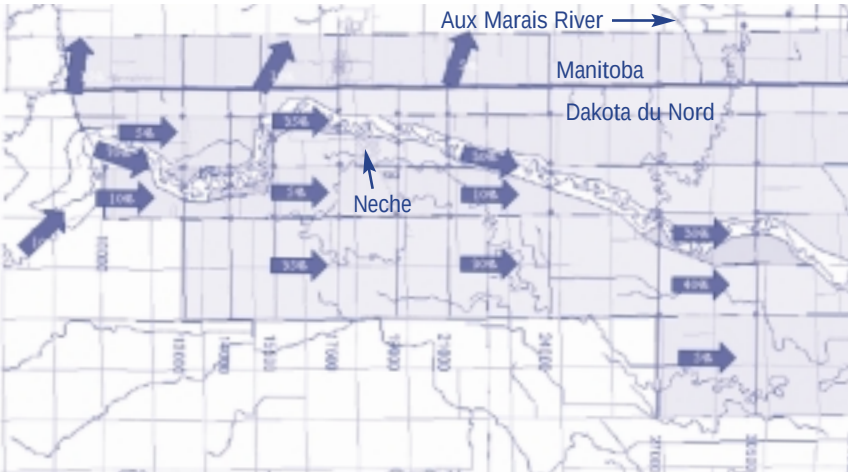


Figure 8

Répartition de l'écoulement en 1997 avec un défluent de crue à la frontière

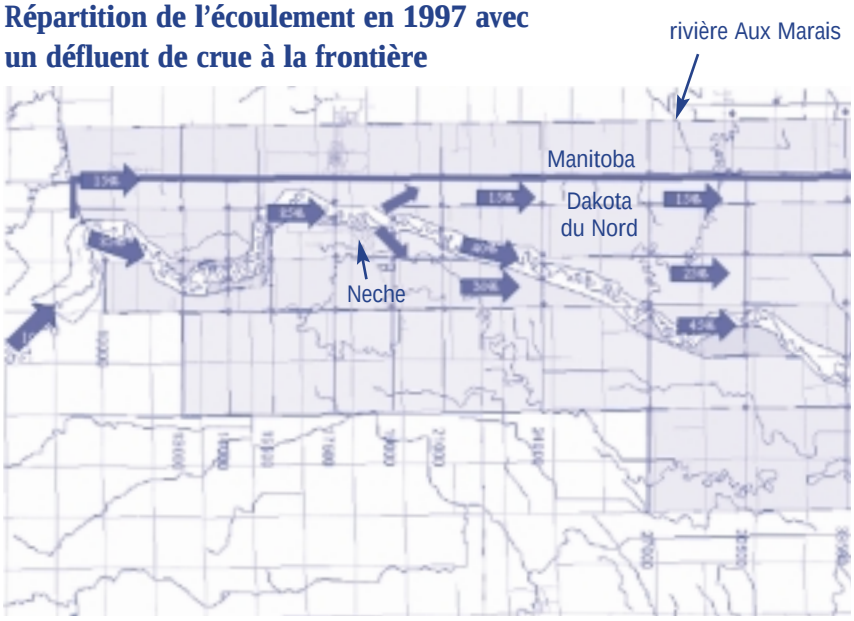
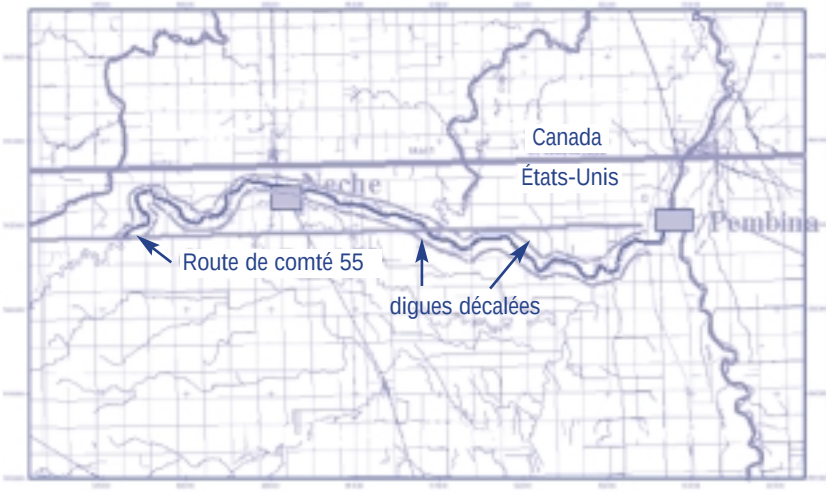


Figure 9

Répartition de l'écoulement en 1997 avec des digues décalées



L'aménagement d'un défluent de crue d'une capacité de 2 000 pcs [56,6 mcs] le long de la frontière internationale, comme l'a proposé le Corps of Engineers de l'Armée américaine en 1983, aurait une incidence infime sur l'inondation dans des conditions comme celles de 1997. Sa présence offrirait des avantages les années de crues moindres comme en 1996.

Avec le modèle, on a examiné la faisabilité d'un réseau d'endiguement en retrait de la rivière de l'amont de Neche à l'est vers la rivière Rouge. Les digues seraient décalées de 2 700 pieds [823 m]. En enlevant arbres et broussailles du chenal entre les digues, on se trouverait à accroître le rendement hydraulique, mais la chose pourrait être écologiquement inacceptable. Si on laisse la végétation naturelle dans le chenal, le rendement hydraulique décroît et les digues doivent avoir deux pieds [0,61 m] de plus en hauteur que dans le cas d'un chenal dévégété.

Idéalement, les digues devraient se raccorder à une élévation à l'extrémité amont et à un réseau d'endiguement en place à l'extrémité aval. S'il est possible d'ancrer le réseau sur le terrain en pente de l'extrémité amont, il n'y a pas de point logique de raccordement possible à l'extrémité aval, aussi le nouveau réseau se terminerait-il près de la jonction des rivières Tongue et Pembina. Les terres qui jouxtent les digues près de la rivière Rouge pourraient encore être envahies par les eaux de crue en ruissellement de la rivière Rouge ou de la rivière Tongue.

Le pont routier qui enjambe la rivière Rouge à Pembina et le pont ferroviaire d'Emerson n'influent pas en soi sur les niveaux d'eau dans le secteur, mais les restrictions d'écoulement dans le chenal que créent en partie les réseaux d'endiguement autour de ces deux localités pourraient avoir un peu d'influence sur les profils hydrologiques (niveaux d'eau) locaux.

Aide à la décision. Une des tâches auxquelles s'est attelé le Groupe de travail en collaboration avec le Global Disaster Information Network est d'élaborer pour le bassin de la rivière Rouge une base d'information virtuelle par laquelle on pourrait mettre à la disposition des gouvernements, des organismes non gouvernementaux et de la population des données et autres renseignements sur les mesures d'atténuation, les interventions en cas d'urgence et les mesures de rétablissement après des inondations.

C'est une base d'information répartie consultable par Internet. Chaque organisme collaborateur demeurera responsable de la tenue et de la mise à jour de ses propres données et de la documentation qui s'y rapporte. On a répertorié des centaines d'ensembles de données d'intérêt appartenant à des douzaines d'organismes. Utilisés avec une série de modèles (ou de produits de modélisation) et d'outils interactifs, ces ensembles formeraient un système d'aide à la décision. En réalité, le système rechercherait, présenterait ou communiquerait et exporterait vers des modèles les données utiles. Il exécuterait un certain nombre de modèles pour en importer et en présenter les résultats. Il s'agit d'élaborer un tel système par étapes de manière à pouvoir le mettre à l'essai et le soumettre à des évaluations.

Un prototype pour le bassin de la Pembina en est aux premiers stades. Pour traiter les questions précises de gestion des eaux de crue qui se posent au bassin de la rivière Pembina, il faudra que le système s'appuie sur les quatre applications suivantes :

- outils de prévision de crues avec interprétation des prévisions officielles tant pour le Canada que pour les États-Unis;
- outils de préparation aux inondations permettant de choisir des mesures d'aménagement ou autres qui réduiront les risques d'inondation et les dommages causés par les crues, ce qui comprend des modèles hydrologiques d'estimation des régimes de ruissellement et des modèles hydrauliques (ou hydrodynamiques) qui produiront des cartes de hauteur et d'étendue des eaux de crue;
- outils d'optimisation, dont des modèles économiques d'étude des modifications à apporter au système de protection contre les inondations à des fins de minimisation des pertes économiques;
- outils de gestion de situations d'urgence, dont des modèles de simulation, d'essai et d'actualisation de plans d'urgence.

Participation de la base

Au fil des décennies, divers groupes d'intérêt locaux se sont formés pour ensuite disparaître au gré des fluctuations de l'intérêt pour la question des inondations dans le «cycle des crues». Aujourd'hui, on compte un certain nombre d'organismes de la base, et notamment le Red River Basin Board (RRBB) et le nouveau comité consultatif du bassin de la rivière Pembina (PRBAB).

Aujourd'hui, on compte un certain nombre d'organismes de la base, et notamment le Red River Basin Board (RRBB) et le nouveau comité consultatif du bassin de la rivière Pembina (PRBAB).

Le RRBB dispose de trois groupes de travail spéciaux, dont le groupe de travail sur le bassin de la rivière Pembina qui est chargé de vérifier si les travaux qui se sont dans ce bassin sont compatibles avec les objectifs du RRBB. On a mis les activités de ce groupe en veilleuse, car on attend les résultats des travaux du Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge, du PRBAB et d'autres organes.

Le PRBAB a vu le jour en 1997 comme le RRBB, mais il a pour orientation plus étroite de s'attaquer aux problèmes d'inondation et autres problèmes liés le long de la rivière Pembina. Les comtés et les municipalités, les gouvernements des États, les autorités provinciales, les secteurs de conservation et les organismes de gestion des eaux de tout le bassin y ont des représentants.

Le PRBAB travaille actuellement à un plan de gestion des eaux du bassin. C'est là une précieuse tribune de communication et de discussion populaires des nouvelles données de gestion de eaux à mesure que celles-ci deviennent disponibles. Ainsi, le Groupe de travail a communiqué à ce comité dans des réunions publiques les résultats de sa modélisation informatique du régime d'écoulement des eaux de crue. Les scénarios proposés à l'occasion de ces rencontres ont été intégrés au modèle exploité.

Conclusion 7 : ***On convient généralement dans la région que la construction de digues et de routes servant de digues de part et d'autre de la frontière a profondément influé sur les crues dans le bassin inférieur de la rivière Pembina. Pour remédier aux conséquences de ces aménagements sur le plan des inondations des deux côtés de la frontière, il faudra que des mesures soient prises dans les deux pays, ce à quoi les autorités américaines et canadiennes paraissent généralement disposées.***

Recommandation 27 : ***On devrait remettre en activité le groupe technique international constitué en 1996 et le charger d'examiner les données du modèle hydrodynamique. En collaboration avec des organes locaux comme le comité consultatif du bassin de la rivière Pembina (PRBAB), il devrait trouver une solution à long terme et la mettre en application avec les fonds nécessaires.***

Recommandation 28 : ***Comme il s'agit d'un bassin transfrontalier et que les autorités fédérales des deux pays pourraient devoir financer et surveiller l'application de toute entente, celles-ci devraient être associées à la démarche.***

Recommandation 29 : ***Préalablement à l'exécution de tout plan, on devrait modéliser à l'aide du modèle hydrodynamique les modifications à apporter au réseau routier et au réseau d'endiguement dans le bassin inférieur de la rivière Pembina pour ainsi s'assurer qu'il n'y aura pas de conséquences imprévues.***

Recommandation 30 : ***Les travaux de prototypage d'une base d'information virtuelle et d'un système d'aide à la décision que le Groupe de travail a entrepris pour le bassin de la Pembina devraient se poursuivre par les soins des organismes compétents au Canada et aux États-Unis.***

Liaison hydraulique au lac Traverse

Comme la ligne de partage des eaux est basse entre la rivière Little Minnesota dans le bassin du Mississippi et la rivière Rouge dans le bassin de la baie d'Hudson, les eaux des deux bassins ont pu dans l'histoire se mêler occasionnellement en période de crue. Plusieurs résidents de la première époque ont dit pouvoir profiter d'un portage largement écourté dans la région de Browns Valley lorsque les eaux étaient gonflées par les crues printanières.

Ces dernières années, la liaison hydraulique entre bassins est devenue un grand sujet d'inquiétude dans le domaine de l'environnement, car l'introduction d'une nouvelle espèce dans un bassin peut y causer des ravages. Ainsi, plus de 100 espèces exotiques ont été intentionnellement ou accidentellement introduites dans les Grands Lacs, dont un certain nombre—et notamment la moule zébrée—ont rapidement étendu leur aire de répartition au bassin du Mississippi, mais sans encore pouvoir traverser la ligne de partage des eaux en direction du bassin de la baie d'Hudson.

La Commission a entendu les gens exprimer leurs préoccupations au sujet d'un passage d'eaux de crue en 1997 de la rivière Little Minnesota dans le bassin du Mississippi au lac Traverse dans celui de la rivière Rouge. Cette intercirculation d'eaux de crue risque de faire passer des espèces indésirables entre bassins. Le Groupe de travail a examiné la question de la liaison hydraulique entre le lac Traverse et le lac Big Stone. Il a voulu établir :

La Commission a entendu les gens exprimer leurs préoccupations au sujet d'un passage d'eaux de crue en 1997 de la rivière Little Minnesota dans le bassin du Mississippi au lac Traverse dans celui de la rivière Rouge.

1. quelle était la fréquence probable de cette liaison hydraulique entre bassins;
2. si l'infrastructure de régulation des crues au lac Traverse influait sur la fréquence de cette liaison;
3. s'il fallait modifier ou utiliser différemment cette infrastructure afin de prévenir tout phénomène d'intercirculation à cet endroit;
4. si d'autres mesures d'aménagement devaient être prises à cette fin.

L'ouvrage de régulation des crues du lac Traverse a été achevé en 1941. Ce réseau d'aménagement comprenait les barrages Reservation et White Rock au débouché du lac Traverse sur la rivière Bois de Sioux (qui se déverse dans la rivière Rouge), ainsi que la digue de Browns Valley (qui fait partie de l'autoroute 10 du Dakota du Sud) à l'extrémité

amont du lac Traverse. Cette digue est conçue pour empêcher les eaux de crue d'être refoulées dans la ville de Browns Valley ou la rivière Little Minnesota. Cette dernière a débordé peu après, soit au printemps de 1943. Les eaux de crue ont débordé la rive gauche (nord) de la Little Minnesota et se sont amassées en amont de la digue pour finir par inonder la ville de Browns Valley par endroits. La digue a été rompue pendant les crues de 1943 et l'est restée jusqu'en 1945, année où on a installé des ponceaux pour que les eaux de débordement puissent s'échapper de la rivière Little Minnesota au nord vers le lac Traverse.

La hauteur maximale de la digue de Browns Valley est de 987,0 pieds [300,8 mètres] et le maximum réglementé de hauteur de réservoir au Lake Traverse, de 982,0 pieds [299,3 mètres]. La hauteur du bas des ponceaux (il s'agit de trois ponceaux ouverts ayant chacun 6 pieds de haut, 9 pieds de large et 98,75 pieds de long) [1,8 mètre de haut, 2,7 mètres de large et 30 mètres de long] est de 974,0 pieds [292,9 mètres].

Lorsqu'il a étudié la question, le Groupe de travail a constaté que, à cet endroit, la ligne de partage des eaux est formée par la rive gauche (nord) de la rivière Little Minnesota plutôt que par la digue de Browns Valley. La hauteur minimum de la rive nord est d'environ 983,9 pieds [299,89 m].

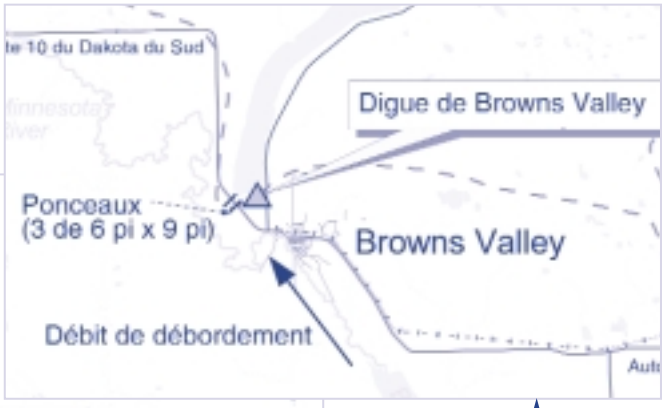
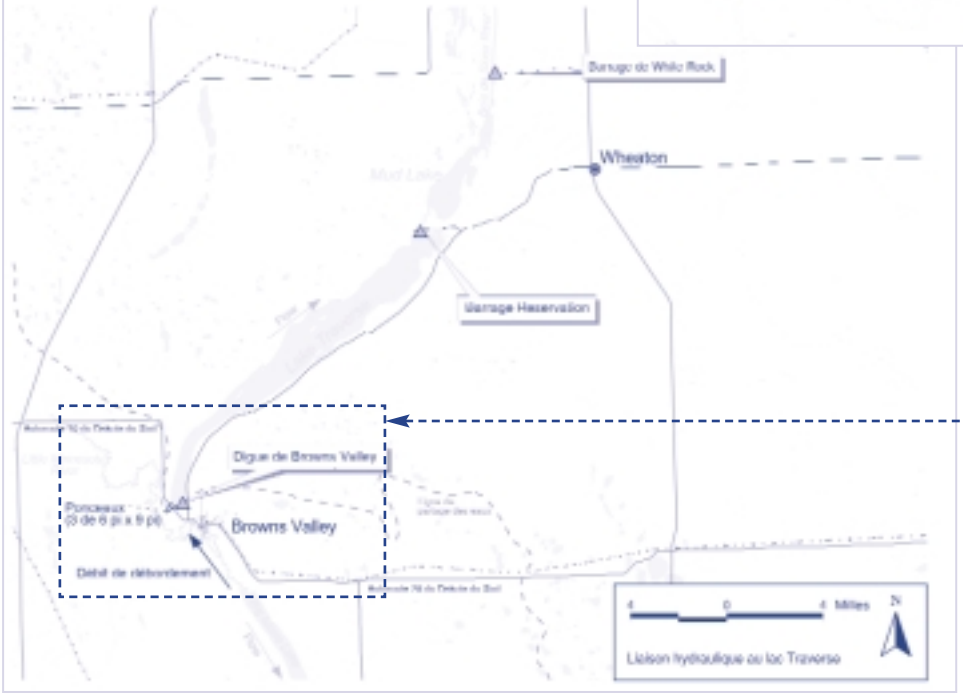


Figure 10

Carte de la liaison hydraulique au lac Traverse



La construction d'ouvrages de régulation des crues en 1941 a laissé à 982,0 pieds [299,31 mètres] le maximum réglementé de hauteur de réservoir au lac Traverse. Depuis 1941, le niveau d'eau le plus haut qui ait été relevé est de 982,21 pieds [299,37 mètres]. Cette observation a été faite le 16 avril 1997 à une époque de l'année où le lac était toujours englacé. Comme la ligne de partage des eaux se situe à une hauteur de 983,9 pieds [299,89 mètres], il est peu probable que les eaux du lac Traverse aient pu la franchir vers le sud pour se déverser dans la rivière Little Minnesota.

Avant la construction des ouvrages, le niveau des eaux du lac se serait normalement trouvé encore plus en deçà des 982,0 pieds [299,31 mètres], d'où l'improbabilité que les eaux puissent s'écouler au sud à cet endroit en franchissant la ligne de partage des eaux. Avant 1941, le plus haut niveau observé des eaux du lac Traverse avait été de 977,3 pieds [297,88 mètres]. L'observation avait eu lieu au printemps de 1916. Comme les aménagements de régulation des crues au lac Traverse n'ont pas influé sur la hauteur de la ligne de partage le long de la rive nord de la rivière Little Minnesota, on ne peut guère penser qu'ils aient changé la fréquence des échanges d'eaux entre bassins à cet endroit.

Ce sont des parages où la capacité du chenal de la Little Minnesota s'établit à environ 3 000 pcs [85 mcs]. Les relevés hydrologiques indiquent que cette capacité est dépassée en période de libre circulation des eaux (c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas d'embâcles) selon une récurrence de 10 à 50 ans (les probabilités sont donc de 2 % à 10 % que la capacité soit dépassée une année). Toutefois, la ville de Browns Valley a connu dans son histoire des inondations par embâcle, dont celle de 1943 qui a fini par rompre la digue locale. Comme les embâcles font se gonfler artificiellement les eaux, les débordements sont plus probables. Les eaux de débordement peuvent soit gagner le sud pour rejoindre la rivière Little Minnesota (restant ainsi dans le bassin du Mississippi) ou franchir la ligne de partage des eaux au nord pour se déverser dans le lac Traverse dans le bassin de la baie d'Hudson. En période de crues extrêmes, il est possible que les eaux de débordement aillent tant au sud qu'au nord.

Des photos aériennes … suggèrent que les bassins de la Baie d'Hudson et du Mississippi n'étaient pas en liaison hydraulique pendant les crues de 1997.

Les relevés hydrologiques indiquent que la capacité du chenal a été dépassée pendant les crues de 1997, mais si on compare les photos aériennes prises à l'automne de 1996 aux clichés du printemps de 1997, on constate que ces mêmes eaux se sont échappées de la rive sud de la Little Minnesota et sont demeurées dans le bassin du Mississippi. On est ainsi porté à penser que les bassins de la baie d'Hudson et du Mississippi n'étaient pas en liaison hydraulique pendant l'inondation de 1997.

Les habitants de vieille date de la ville de Browns Valley connaissent bien les débordements de la rivière Little Minnesota en 1943, puis en 1993. La population locale a pu observer l'écoulement au nord par les ponceaux de la digue de Browns Valley pendant les crues printanières de 1997. Ce qu'on ignore cependant, c'est s'il s'agit d'eaux de ruissellement locales ou d'eaux de débordement de la rivière Little Minnesota. Des études antérieures sur la protection contre les inondations pour le compte de la municipalité de Browns Valley (1972) indiquent que, pour éliminer toute intercirculation, on pourrait, par

L'élimination d'une voie migratoire dans la région de Browns Valley ne devrait être qu'un élément d'une stratégie globale et intégrée de gestion des espèces exotiques.

exemple, retirer les ponceaux de la digue de Browns Valley, mais il faudrait alors aménager un canal de dérivation ou de nouvelles digues anti-inondation et se doter d'installations de pompage. Le coût approximatif en 1999 de telles mesures est de 1,5 million de dollars. On pourrait aussi pouvoir exploiter d'autres aménagements de prévention de liaison hydraulique à cet endroit, mais un complément de recherche s'impose en la matière.

Les liaisons hydrauliques ne sont qu'un des mécanismes par lesquels des espèces exotiques indésirables peuvent migrer entre bassins contigus. L'élimination d'une voie migratoire dans la région de Browns Valley ne devrait être qu'un élément d'une stratégie globale et intégrée de gestion des espèces exotiques. Bien que la possibilité paraît lointaine que des espèces exotiques passent de la rivière Little Minnesota au bassin de la rivière Rouge, on doit s'y attacher à cause des conséquences sans doute sérieuses de cette intercirculation, ainsi que des mesures coordonnées que prennent les autorités fédérales des deux pays dans le dossier des espèces exotiques dans un certain nombre de régions.

Recommandation 31 : ***On devrait immédiatement entreprendre des études techniques sur tous les moyens d'éliminer les risques de liaison hydraulique entre bassins aux alentours de Browns Valley. Il s'agirait pour les gouvernements d'appliquer la solution la plus réalisable. Dans l'intervalle, on devrait demeurer à l'affût des espèces indésirables dans le bassin de la rivière Little Minnesota. Si de telles espèces y font leur apparition, on devrait prendre immédiatement des mesures pour prévenir leur passage au bassin de la rivière Rouge.***

Comme il y a des avantages que l'on retire à l'échelle du bassin des mesures prises en coordination en vue d'empêcher le passage d'espèces exotiques entre bassins adjacents, les autorités locales ne devraient pas avoir à prendre en charge les frais de surveillance ni d'exécution de mesures correctives. Le Corps of Engineers de l'Armée américaine sera le principal responsable de l'application de cette recommandation, mais des modalités de partage des frais devraient être négociées avec le Canada en raison des avantages du projet pour l'ensemble du bassin.

En relevant encore le maximum réglementé de hauteur de réservoir au lac Traverse—qui est actuellement de 982,0 pieds [299,31 mètres]—il serait plus probable que les eaux du bassin de la rivière Rouge commencent à traverser la ligne de partage des eaux vers le sud pour gagner la rivière Little Minnesota.

Recommandation 32 : ***Toute modification des plans de fonctionnement ou des aménagements du lac Traverse qui est susceptible d'augmenter la hauteur de réservoir doit s'accompagner de mesures d'élimination de tout mouvement des eaux au sud vers la rivière Little Minnesota.***

Qualité de l'eau du lac Winnipeg

Les études de qualité de l'eau effectuées à l'occasion des crues de la rivière Rouge en 1997 ont permis de dégager plusieurs sujets d'inquiétude exigeant un complément de recherche. Les études de suivi réalisées en 1998 et 1999 ont porté sur les agents toxiques persistants qui auraient pu être transportés au lac Winnipeg pendant l'inondation[35]. On s'est également intéressé à la détérioration possible des éléments nutritifs des plantes, ainsi qu'aux contaminants apportés au lac Winnipeg par les sédiments en suspension lors des crues de 1997.

Le lac Winnipeg assure la subsistance d'environ 850 pêcheurs commerciaux autorisés avec leur famille et leurs travailleurs.

Pour sa superficie, ce lac est le dixième lac d'eau douce en importance dans le monde (23 750 kilomètres carrés) [9 173 milles carrés]. Il reçoit les eaux de drainage d'un bassin hydrographique de 977 800 km^2 [9 170 milles carrés], dont les 116 500 km^2 [44 980 milles carrés] du bassin de la rivière Rouge. Cette dernière se déverse dans le lac Winnipeg à environ 37 milles (60 km) au nord de Winnipeg. Le lac Winnipeg est un territoire récréatif pour des milliers de gens chaque année. Il se distingue par ses plages de qualité internationale et assure la subsistance d'environ 850 pêcheurs commerciaux autorisés avec leur famille et leurs travailleurs. Pour bien des pêcheurs commerciaux d'origine autochtone, ces pêcheries représentent la principale source de revenu ou la seule.

Éléments nutritifs des plantes apportés par les crues

Les eaux de crue ont transporté de grandes quantités de phosphore et d'azote dans le lac Winnipeg. Quelles que soient les quantités qui s'y sont déposées, il est impossible de dire à quel point cet afflux pourrait avoir stimulé la croissance des algues ou si les apports ont été supérieurs ou inférieurs à ceux d'autres crues récentes de la rivière Rouge comme celle de 1979. Les charges d'azote semblent conformes aux rapports passés azote-débit, mais les charges de phosphore pourraient avoir augmenté, elles, d'environ 12 %, indice que les rapports passés ne permettent pas de prévoir avec précision les apports de phosphore des grandes crues ou que l'évolution des pratiques d'occupation des sols ces dernières années a contribué à des pertes relatives supérieures de phosphore.

Éléments à l'état de trace

Des éléments traces liés aux mouvements de sédiments en suspension ont été observés pendant l'inondation de 1997. Des études de suivi au lac Winnipeg à l'hiver de 1998 ont permis d'examiner les concentrations d'éléments traces dans les sédiments lacustres de fond. Quatorze éléments traces ont ainsi été analysés, mais les lignes directrices de qualité de l'environnement qui ont été diffusées en 1999 par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) ne visent que le chrome, le cuivre, le zinc, le mercure, le cadmium et l'arsenic. Un grand nombre de prélèvements de cadmium, de chrome, d'arsenic et de zinc dépassaient les valeurs de référence, mais on ne sait au juste si, à de telles concentrations, ces substances ont des effets biologiques. On ne peut non plus établir avec certitude si les concentrations métalliques relevées dans les sédiments de fond sont dues aux crues de la rivière Rouge ou à des apports antérieurs ou permanents ou encore si elles se situent dans les fourchettes normales au lac Winnipeg.

Par une observation de la qualité de l'eau pendant l'inondation, on a relevé des traces de toxaphène frais dans les eaux et les sédiments en suspension

Substances organiques à l'état de trace

Le toxaphène est un pesticide qui était amplement utilisé en Amérique du Nord avant d'être généralement interdit au Canada et aux États-Unis en 1982. Des usages contrôlés ont été permis en territoire américain jusqu'en 1990. On présume que, pendant les crues de 1997, de petites quantités de toxaphène venant d'un entrepôt agricole inondé près de Grand Forks, au Dakota du Nord, ont été perdues. On a eu recours à des techniques novatrices d'analyse pour différencier les concentrations naturelles normales de toxaphène «vieilli» et les concentrations de toxaphène frais ou nouveau récemment apparues dans l'environnement. Par une observation de la qualité de l'eau pendant l'inondation, on a relevé des traces de toxaphène frais dans les eaux et les sédiments en suspension à l'aide d'échantillons recueillis dans la rivière Rouge à la frontière internationale le 5 mai 1997 (8,4 nanogrammes par litre (ng/l)) et à proximité de Winnipeg 15 jours après (4,6 ng/l). À la fin de mai, les concentrations dans l'eau étaient rapidement revenues à leurs valeurs naturelles normales, soit à environ 0,7 ng/l. À la suite des crues de 1997, on a relevé au lac Winnipeg une valeur estimative de concentration de toxaphène frais de 46 kg [101 livres].

On ne juge pas importants les effets sur la faune qui mange de ce poisson.

Le toxaphène se concentre dans la chair comestible des poissons de pêche sportive et commerciale et influe sur la santé de la faune et des humains. Le CCME a récemment rendu publique une valeur de référence pour la concentration résiduelle de toxaphène dans les tissus [6,3 nanogrammes par gramme (ng/g) en poids humide] afin de protéger la faune qui pourrait consommer des tissus contaminés. Les concentrations relevées dans les tissus musculaires de diverses espèces de poissons dans des prélèvements effectués en 1997, 1998 et 1999 dans les secteurs Winnipeg Beach et Riverton du lac Winnipeg respectaient les valeurs de référence de la CCME, sauf pour le doré commun dans des prélèvements de 1999 dans le secteur

Winnipeg Beach où les concentrations moyennes s'établissaient à 8,05 ng/g. On ne juge pas importants les effets sur la faune qui mange de ce poisson. La valeur de référence est une estimation de la concentration sans danger de toxaphène (à des fins de protection des oiseaux qui mangent du poisson), valeur qui est divisée par un facteur de dix comme marge d'incertitude. La concentration sans danger que l'on estime pour la protection des mammifères prédateurs est considérablement supérieure (348 ng/g en poids humide).

Le ministère de l'Environnement de l'Ontario a arrêté des valeurs de référence pour la consommation de poisson en ce qui concerne le toxaphène présent dans les tissus musculaires comestibles. Les concentrations musculaires dans les poissons du lac Winnipeg se situent bien au-dessous de ces valeurs.

On comprend mal les données sur les concentrations de toxaphène dans les poissons du lac Winnipeg, car il existe un rapport complexe entre ces concentrations dans les tissus vivants et des facteurs comme l'âge, la longueur, le poids, la teneur adipeuse, les différences interspécifiques chez les poissons et les différences interlocales dans le bassin méridional du lac Winnipeg. Depuis 1997, les teneurs en toxaphène semblent s'être accrues dans les tissus des poissons. On s'attend toutefois à ce qu'elles diminuent lentement ces quelques prochaines années.

Depuis 1997, les teneurs en toxaphène semblent s'être accrues dans les tissus des poissons. On s'attend toutefois à ce qu'elles diminuent lentement ces quelques prochaines années.

D'autres substances organiques à l'état de trace comme les BPC et le DDT ont été mobilisées pendant les crues de 1997. Contrairement à ce qui s'est passé dans le cas du toxaphène, seules des sources «vieillies» ou existantes de ces substances ont été transportées par les crêtes de crue. Il semblerait que les concentrations de BPC et de DDT—comme les teneurs en toxaphène—ont généralement augmenté dans les tissus des poissons après l'inondation de 1997. Il reste que les concentrations relevées demeurent bien inférieures aux valeurs de référence en consommation établies par Santé Canada pour la protection de la santé humaine.

Bien que l'entrepôt inondé aux États-Unis ait probablement contribué aux apports de toxaphène frais à l'état de trace dans le lac Winnipeg, une perte semblable aurait pu se produire au Canada ou des dépôts inondés de ces substances en milieu agricole dans l'un ou l'autre pays auraient pu causer ce phénomène. Au Dakota du Nord, au Minnesota et au Manitoba, on dispose de programmes bien établis à participation volontaire où on fait le ramassage des contenants de pesticides après utilisation, ainsi que d'autres déchets dangereux des ménages ou des exploitations agricoles. Toutefois, il ne paraît y avoir nulle part de programme systématique par lequel on vérifie l'efficacité des programmes à participation volontaire ou élimine les risques de rejet accidentel de substances (chimiques) dangereuses interdites par de meilleures mesures à caractère volontaire ou obligatoire.

Recommandation 33 : ***Les autorités devraient prendre des mesures immédiates pour que soit retiré de ses lieux d'entreposage dans le bassin de la rivière Rouge toute substance interdite comme le toxaphène et pour que des substances peut-être dangereuses ne soient pas stockées dans la zone inondable à récurrence de 500 ans. On pourrait garder en zone inondable des quantités raisonnables de ces substances en vue d'une utilisation immédiate.***

Recommandation 34 : ***Les autorités devraient continuer à observer les concentrations de toxaphène dans l'écosystème du lac Winnipeg jusqu'à ce que celles-ci retombent à leurs niveaux antérieurs à 1997.***

Données et aide à la décision

Pour une fructueuse gestion de plaine inondable et un bon état de préparation aux inondations, il faut disposer de données sûres et accessibles. Dans le cadre de son examen des renseignements disponibles, le Groupe de travail a consulté les utilisateurs de données du bassin de la rivière Rouge[36]. Ceux-ci ont dit qu'il fallait grandement améliorer la façon dont ils pouvaient obtenir leurs données et les moyens de diffusion populaire de cette information de sorte que les échanges de données soient plus féconds entre les organismes qui s'occupent de gestion de plaine inondable et que les bases d'information soient mieux intégrées à l'échelle du bassin. Le Groupe de travail s'est lui-même heurté à des obstacles lorsqu'il a voulu réunir les données nécessaires à une analyse des problèmes d'inondation. Bref, l'état fragmentaire et incomplet de l'information disponible représente une grande entrave à une amélioration de la planification et de la préparation anti-inondation.

Bref, l'état fragmentaire et incomplet de l'information disponible représente une grande entrave à une amélioration de la planification et de la préparation anti-inondation.

La nécessité d'un accès à des sources de données diversifiées s'est imposée aux yeux du Groupe de travail lorsqu'il a élaboré certains de ses propres modèles. Dans sa démarche d'obtention des données nécessaires, il a pensé profiter de l'occasion pour aider à rendre plus accessibles les diverses sources de données sur les inondations dans le bassin. Par l'intermédiaire de ses experts-conseils, il a répertorié la documentation existante sur papier et sur support électronique et recueilli de nouvelles données. Comme le caractère multisectoriel et international du bassin de la rivière Rouge rend peu pratique la création d'un fonds d'information central, il s'est servi des communications en place et de la technologie informatique pour commencer à travailler à une base d'information virtuelle répartie. L'information en question serait disponible sous une forme électronique et en intégration, mais les diverses bases de données constitutives continueraient à être mises à jour et exploitées par leurs organismes respectifs[37].

Le but ultime est de créer une base d'information répartie qui mettra à la disposition de tous les utilisateurs des données sur les activités de gestion de plaine inondable et les interventions en cas d'inondation, ce qui comprend l'élaboration de modèles informatiques. L'intégration de modèles informatiques à la base d'information virtuelle offre de riches possibilités de se doter d'un puissant instrument d'analyse des problèmes de crues dans le bassin. L'idée d'une base d'information binationale aux fins de la gestion de plaine inondable a éveillé l'intérêt du Global Disaster Information Network (GDIN),

Global Disaster Information Network

Le GDIN est une activité interorganismes au gouvernement des États-Unis qui intègre les données sur les catastrophes et assure une diffusion rapide et sûre de celles-ci au profit de quiconque peut aider à réduire les pertes de vies et les dommages.

Le réseau fonctionnera à l'aide d'Internet, des intranets du gouvernement fédéral américain et d'autres moyens de communication. Il servira à améliorer la formation et la communication entre les gens ayant des intérêts communs et sera conçu pour des activités de diffusion et d'information sur demande.

Le Réseau d'information sur les catastrophes dans le bassin de la rivière Rouge (RRBDIN) est un projet pilote qui permettra de mettre le concept GDIN à l'essai et de promouvoir les échanges d'information entre les deux côtés de la frontière.

Ce sont les populations locales qui ont avant tout la responsabilité des mesures d'atténuation et des interventions en cas de catastrophe. Dans sa conception et son exploitation, le RRBDIN cherchera donc à mobiliser les divers intervenants du bassin.

Le GDIN a des liens de collaboration avec le Groupe de travail et finance en partie la mise sur pied de l'initiative de création d'une base d'information virtuelle et d'un système d'aide à la décision.

programme des autorités fédérales américaines. Ce réseau vise à favoriser des échanges féconds de données sur les catastrophes grâce au perfectionnement des technologies de l'information. Le GDIN a collaboré avec le Groupe de travail tout au long de l'étude ayant porté sur l'élaboration d'une base de données, d'un réseau et d'un système d'aide à la décision.

Le Groupe de travail et le GDIN ont lancé le Réseau d'information sur les catastrophes dans le bassin de la rivière Rouge (RRBDIN), qui réunit les fournisseurs et les utilisateurs de données en une même source d'information en direct à des fins de repérage et d'exploitation des renseignements sur les questions de gestion de plaine inondable dans le bassin. Le Groupe de travail prévoit un jour intégrer les modèles et les bases de données en un système d'aide à la décision (SAD) à l'intention des gestionnaires et des groupes d'utilisateurs de tout le bassin.

Conclusion 8 : ***Il faut encore améliorer et mieux tenir à jour la base de données de gestion de la zone inondable de la rivière Rouge. Les autorités fédérales, provinciales et locales et les gouvernements des États doivent continuer de s'associer largement au développement de cette base d'information et à l'amélioration de l'accessibilité des données.***

Enrichissement du réseau hydrométéorologique

Les éléments les plus fondamentaux de planification et de préparation anti-inondation sont les données hydrologiques et hydrauliques. Entre les crues de 1979 et 1997, il y a eu des réductions considérables des réseaux de stations de jaugeage et d'observation météorologique servant à la prévision des crues, car les organismes en cause ont connu des compressions budgétaires. La situation n'avait rien d'acceptable et, dans son rapport provisoire, le Groupe de travail a fait des recommandations au sujet de l'état des réseaux hydrométrique et météorologique dans le bassin.

Au Manitoba, on étend, modernise et protège contre les inondations le réseau de stations hydrométriques. Les travaux ont débuté en 1999 et devraient se terminer en 2001.

C'est en 1999 qu'on a entrepris d'améliorer le réseau météorologique pour combler les insuffisances du réseau climatologique d'Environnement Canada et répondre à des demandes accrues de services tant en agriculture que dans le secteur des ressources en eau. En 2001, le réseau devrait renseigner sur les précipitations, les températures,

l'humidité des sols et d'autres paramètres dans chaque canton de la partie canadienne du bassin.

Depuis les crues de 1997, le réseau hydrométrique a été modernisé ou protégé contre les inondations au Minnesota et au Dakota du Nord.

Une fois achevés, les réseaux hydrométrique et météorologique satisferont dans une large mesure les besoins en données de prévision de crues et de gestion des eaux en général.

Une fois achevés, les réseaux hydrométrique et météorologique satisferont dans une large mesure les besoins en données de prévision de crues et de gestion des eaux en général. On a peut-être aussi besoin d'un complément de données satellitaires, de données d'observation aérienne et de données météorologiques radar. Toutefois, les divers ensembles de données des réseaux étendus devraient bientôt fournir l'information nécessaire à une activité efficace de modélisation et de prévision hydrologiques.

Recommandation 35 : ***On devrait améliorer et garder prêts les réseaux d'information hydrométrique et météorologique nécessaires à la prévision des crues.***

Questions d'uniformisation des systèmes de référence

Dans nos ateliers qui ont porté sur l'évaluation des besoins en données dans le bassin de la rivière Rouge, on a fréquemment fait observer que tout le monde devrait utiliser le même système de référence pour le jaugeage de sorte que chaque intéressé sache rapporter à sa propre situation les données diffusées sur les niveaux d'eau le long de la rivière Rouge[38]. Les changements de méthodes qui font déclarer le niveau des eaux des rivières en hauteurs de jauge (niveau de référence local) plutôt qu'en hauteurs types (niveau général de référence) pourraient causer de nombreux problèmes d'application tant dans les organismes compétents que dans les groupements communautaires.

Dans un rapport, le Groupe de travail a examiné certains des problèmes fondamentaux qui se posent[39]. Une de ces constatations intéresse les différences entre les systèmes de référence altimétrique (niveaux de référence) utilisés au Canada et aux États-Unis. Comme la déclivité du chenal en zone frontalière n'est que de 0,1 à 0,2 pied par mille [1,89 à 3,78 cm par kilomètre], la différence ténue de 0,15 pied [4,57 cm] entre les systèmes de référence canadien et américain pourrait être importante pour les modèles hydrauliques de la région. On pourrait procéder à des rajustements à l'aide de logiciels répandus de conversion.

Il y aurait notamment les autres différences suivantes à combler :

- Les données et les prévisions de niveaux des cours d'eau sont déjà présentées en hauteur type au Canada, mais elles le sont en hauteur de jauge aux États-Unis.
- La plupart des cartes courantes aux États-Unis et au Canada (comme les cartes d'assurance inondation et les cartes topographiques) font intervenir des niveaux de référence différents et ne sont pas normalisées en fonction de la définition la plus actuelle et la plus précise de cette valeur de référence.

- Le gouvernement américain a homologué le NAVD88 comme système civil de référence altimétrique faisant autorité en arpentage et en cartographie, mais le gouvernement canadien ne lui a pas encore emboîté le pas.

Recommandation 36 : ***La collecte de nouvelles données à référence géographique aux États-Unis devrait être conforme au Système de référence altimétrique nord-américain (NAVD88) de 1988.***

Recommandation 37 : ***À des fins d'uniformité et de précision, les données exploitées dans les modèles devraient tenir compte des différences de mesures à la frontière. Comme les conversions de niveau de référence risquent d'influer sur la précision des données, tout élément de conversion entre normes devrait être relevé et signalé avec les données présentées.***

Recommandation 38 : ***La U.S. National Geodetic Survey et la Division des levés géodésiques au Canada devraient convoquer en l'an 2000 un forum d'experts en systèmes de référence géodésique afin de discuter des questions de niveau de référence qui se posent dans le bassin de la rivière Rouge et d'élaborer un plan de transition à long terme.***

La base d'information virtuelle sera consultable par Internet à l'aide de diverses rubriques : type de données, détenteur ou propriétaire des données, localisation, etc.

Base d'information virtuelle

Le Groupe de travail a élaboré une base d'information virtuelle sur le bassin de la rivière Rouge (RRBVDB) pour une meilleure accessibilité des données que gèrent les organismes canadiens et américains sur ce bassin, le but étant de fournir aux intéressés de toute la région des renseignements sur les interventions en cas d'urgence, les activités de planification (prévention et protection anti-inondation) et les activités de rétablissement après des inondations. Tous les organismes intéressés, gouvernementaux ou non, et le public auront accès à cette information et pourront enrichir d'autres apports de données la base d'information virtuelle.

Comme il s'agit d'une base répartie, les bases constitutives demeurent dans leurs organismes d'origine respectifs, d'où l'inutilité pour les fournisseurs de données de communiquer régulièrement des mises à jour à un centre de traitement. L'utilisateur pourra rapidement repérer les données qu'il recherche, en trouver une description de contenu et de limites et extraire les ensembles de données dont il a besoin. La base d'information virtuelle sera consultable par Internet à l'aide de diverses rubriques : type de données, détenteur ou propriétaire des données, localisation, etc.

Le Groupe de travail a terminé la première étape de l'édification d'une base d'information consultable pour le bassin. Il a aussi relevé tous les fournisseurs de données capables de livrer de l'information sur les inondations. Il a ensuite trouvé ou établi des métadonnées (données sur les données) qui décrivent les ensembles consultables selon leur disponibilité et leur utilité pour divers types d'analyse. Les métadonnées sont un moyen de créer et de documenter une mémoire à long terme de l'information. Il s'agit là d'une condition préalable du catalogage de tout ensemble de données dans la Base d'information virtuelle sur le bassin de la rivière Rouge.

Les 99 organismes pressentis aux États-Unis—dont 65 possédaient une certaine capacité Internet—ont fourni 384 ensembles de données[40]. Il existe déjà des métadonnées pour un grand nombre d'entre eux, et notamment pour ceux qui viennent des organismes fédéraux et des organismes des États. L'insuffisance des fonds alloués à ces activités a empêché d'élaborer comme on l'avait prévu les métadonnées des États-Unis.

On a réuni des métadonnées canadiennes dans 34 organismes en accord avec les normes de contenu des métadonnées géospatiales numériques du U.S. Federal Geographic Data Committee. Le Groupe de travail a catalogué 121 ensembles de données. Quant aux services d'information Internet, ils sont variables : 26 organismes ont un site Web d'organisme ou de ministère, 5 font une promotion active de services d'information dans Internet et 3 se servent actuellement d'Internet pour le courrier électronique et n'y ont accès que pour la fonction de navigation.

Signalons en particulier que les politiques de recouvrement de frais de certains organismes (canadiens), et notamment des ministères fédéraux, rendent la diffusion publique de données trop coûteuse pour qu'elle soit pratique.

Nombreux sont les organismes qui prévoient passer d'un environnement Web passif et statique à un cadre plus interactif et dynamique où les capacités d'échange d'information et d'utilisation d'applications que recèle Internet deviennent plus riches. La prochaine génération de sites Web comprendra des fonctions par lesquelles on offrira des produits et des services aux partenaires commerciaux, aux fournisseurs, aux sous-traitants et au grand public.

Si les organismes qui disposent d'ensembles de données utiles à la gestion des inondations au Manitoba appuient la Base d'information virtuelle sur le bassin de la rivière Rouge, ils continuent à se poser des questions au sujet de l'accès du public à l'information. Le souci premier est celui de la sécurité des réseaux internes. Aucun organisme ne veut risquer de compromettre l'intégrité de ses ensembles de données en donnant au public un accès illimité en direct à cette information. D'autres questions ont à voir avec une «culture de l'information» conservatrice au Canada. Signalons en particulier que les politiques de recouvrement de frais de certains organismes (canadiens), et notamment des ministères fédéraux, rendent la diffusion publique de données trop coûteuse pour qu'elle soit pratique.

Ces politiques canadiennes ont nui à l'activité du Groupe de travail. Le besoin perçu de recouvrer les frais d'échanges de données étouffe la créativité publique et privée nécessaire à une bonne réaction à la menace des inondations et finit par miner la sécurité publique. Parce qu'il favorise la communication et la coordination, une RRBVDB fonctionnelle rend possible une meilleure collaboration pour le partage des frais d'élaboration des données. S'il y a une meilleure concertation dans ce domaine, le bien général ne peut que s'en trouver optimisé, car les coûts baisseront et l'information sera plus accessible.

Recommandation 39 : ***Tous les fournisseurs clés de données au Canada devraient rendre disponibles gratuitement et sans restrictions les ensembles de données nécessaires à la gestion de plaine inondable et aux interventions d'urgence à la rivière Rouge, ainsi qu'aux activités de modélisation qui s'exercent au niveau régional et à l'échelle du bassin.***

Recommandation 40 : ***Les fournisseurs de données devraient demeurer responsables de la mise à jour et de la reproduction de leurs ensembles de données.***

Tableau 11

Grands fournisseurs de données*

Canada	États-Unis
1. Direction générale des ressources en eau de Conservation Manitoba.	1. U.S. Geological Survey.
2. Environnement Canada.	2. National Weather Service.
3. Organisation des mesures d'urgence Manitoba.	3. U.S. Environmental Protection Agency.
4. Service des eaux et des eaux usées de la municipalité de Winnipeg.	4. Minnesota Land Management Information Center.
5. Voirie et Transports Manitoba.	5. North Dakota State Water Commission.
	6. Minnesota Department of Natural Resources.
	7. Minnesota Department of Transportation.
	8. North Dakota Department of Transportation.

* *Une des grandes constatations des études du Groupe de travail est que les grands fournisseurs de données abondent. Un ensemble de données n'a pas nécessairement moins d'importance s'il ne vise pas l'ensemble du bassin. Il y a danger que l'on s'attache exclusivement aux grands fournisseurs en laissant de côté les fournisseurs plus petits ou locaux, lesquels doivent aussi être mis à contribution. Voir Phase Four Technology Management Corp. (1998),* Red River Basin Virtual Database : Data Assessment Report (Canada) *[http://www.ijc.org/boards/rrb/CA_data1.pdf] et Rust Environment & Infrastructure,* Red River Basin Virtual Database: Data Assessment Report (U.S.A.).

Collections de données du Groupe de travail

Séries chronologiques sur les inondations. Les crues de 1997 sont particulièrement difficiles à comprendre à cause des conditions météorologiques complexes qui ont régné avant et pendant l'inondation, de la longue durée et des crêtes multiples des crues, de la présence de glaces et de l'imprévisibilité du régime de ruissellement. Pour reconstituer l'inondation, évaluer la superficie totale inondée et aider à étalonner les modèles, le Groupe de travail a analysé les images RADARSAT prises à cette occasion. Le satellite RADARSAT, qui peut prendre des images à travers les nuages et la pluie, fonctionne aussi bien la nuit que le jour et peut acquérir des données presque partout dans le globe. Il produit des images monochromes d'une résolution de jusqu'à 25 mètres [82 pieds]. Chaque image peut décrire une superficie approximative de 100 kilomètres par 100 [62 milles par 62], permettant ainsi une vaste observation aérienne. Le satellite prend moins de deux jours pour revisiter les points à la latitude du bassin de la rivière Rouge.

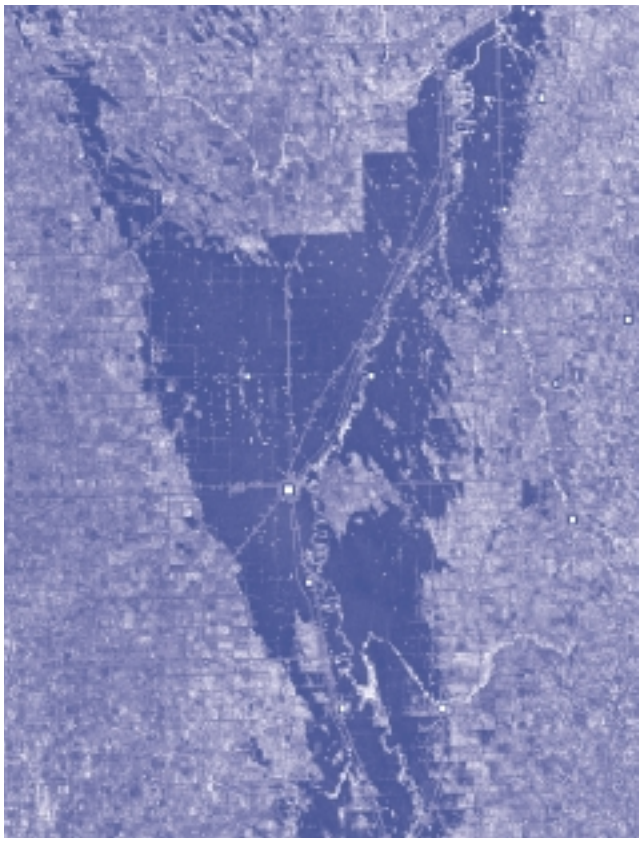
Pour pouvoir mettre en place de nouveaux ouvrages de protection contre les inondations, il faut d'abord estimer le coût des dommages causés par des crues égales ou supérieures en importance à celles de 1997.

Le Groupe de travail a obtenu 26 images RADARSAT prises entre le 4 avril et le 7 juin 1997. Il a géocodé et mosaïqué les images de l'inondation depuis le sud de Winnipeg jusqu'à environ 15 milles [9,3 km] au sud de Wahpeton et de Breckenridge.

Courbes hauteurs-dommages. Pour pouvoir mettre en place de nouveaux ouvrages de protection contre les inondations, il faut d'abord estimer le coût des dommages causés par des crues égales ou supérieures en importance à celles de 1997. Il faut donc élaborer un modèle de calcul du rapport hauteurs-dommages sous forme de courbes qui décrivent les dommages probables des crues en fonction des valeurs de profondeur. Une telle modélisation peut également aider à prendre des décisions pendant une catastrophe ou pendant le rétablissement qui suit. Le Corps of Engineers a actualisé les courbes hauteurs-dommages pour les États-Unis en se reportant à des données économiques à jour. Selon les estimations du Département du Commerce des États-Unis, les crues de 1997 ont causé dans l'ensemble pour environ 4 milliards de dommages à la partie américaine de la rivière Rouge, dont 3,6 milliards aux alentours immédiats de Grand Forks et d'East Grand Forks[41].

Figure 11

Manitoba du Sud, mai 1997



Au Canada, le Groupe de travail a mis à jour les rapports profondeurs-dommages pour Winnipeg et le secteur au sud de la ville[42]. Le travail s'est déroulé en deux étapes. En premier lieu, on a calculé, en se fondant sur un échantillon de données sur les dommages (186 sur quelque 5 000 constructions endommagées) fournies par l'Organisation des mesures d'urgence au Manitoba (OMUM), les rapports profondeurs-dommages de cette inondation. On a estimé les dommages en proportion de la valeur marchande des constructions. On a tracé des courbes hauteurs-dommages pour différentes catégories de constructions, ainsi que dans le cas des dommages causés à l'agriculture et à l'infrastructure en place.

On a intégré des données de localisation et de hateur de 60 000 bâtiments au système d'information géographique (SIG) pour obtenir une représentation des dégâts causés en fonction d'une diversité de scénarios.

On s'est ensuite servi de ces courbes pour produire des cartes à l'aide d'un système d'information géographique. On a intégré des données de localisation et de hateur de 60 000 bâtiments au système d'information géographique (SIG) pour obtenir une représentation des dégâts causés en fonction d'une diversité de scénarios. Le modèle issu de l'exercice peut servir à la planification et à la conception de mesures anti-inondation, ainsi qu'aux activités de rétablissement après de futures inondations. On a notamment estimé les dommages imputables à une crue de l'ampleur de celle de 1826.

Les experts-conseils du Groupe de travail ont les dommages estimé à 235,6 millions $ aux constructions, 14,7 millions $ à l'agriculture, 47,5 millions $ à l'infrastructure et 67,4 millions $ à la ville de Winnipeg. Pour une crue de l'importance de celle de 1826, les chiffres correspondants seraient de 336,8 millions de dollars, 66,5 millions de dollars et 65,6 millions de dollars et de 7,47 milliards de dollars* pour un total de 7,94 milliards de dollars.

Pour pouvoir analyser les futures mesures anti-inondation, faire fonctionner les ouvrages en place de régulation des crues et évaluer les divers scénarios hydrologiques, il faut une bonne représentation topographique du bassin.

Modèles altimétriques numériques de haute résolution. Un des grands objectifs du Groupe de travail était de coordonner et d'étudier les capacités et les besoins pour l'élaboration d'un modèle altimétrique numérique (MAN) détaillé du bassin de la rivière Rouge. Pour pouvoir analyser les futures mesures anti-inondation, faire fonctionner les ouvrages en place de régulation des crues et évaluer les divers scénarios hydrologiques, il faut une bonne représentation topographique du bassin.

À cause des coûts d'acquisition de données altimétriques de haute résolution, le Groupe de travail a été incapable d'établir un MAN détaillé à l'échelle du bassin. Il reste que les diverses activités qui ont été entreprises nous fournissent partiellement les données d'un MAN et nous donnent la possibilité d'acquérir d'autres données de haute résolution.

* *L'étude* Winnipeg at Risk, Part 3 *de KGS livre une estimation plus rigoureuse des dommages à Winnipeg. Le chiffre qu'elle dégage est plus bas (5,8 milliards de dollars), car les rapports profondeurs-dommages viennent d'une méthode plus prudente que celle de l'OMUM pour les courbes profondeurs-dommages.*

La U.S. Geological Survey et le Centre canadien de télédétection ont collaboré à la production de données altimétriques numériques à la fois intégrées et «optimisées». On a tiré un MAN pour la partie canadienne du bassin de la rivière Rouge de clichés aériens du bassin à l'échelle 1 :30 000, ainsi que d'orthoclichés numériques à 1 :60 000 des remblais et des digues anti-inondation. C'est à l'aide de cartes topographiques à l'échelle 1 :24 000 de la USGS que l'on a créé en majeure partie le MAN «optimal» de la partie américaine du bassin.

Dans un secteur du bassin de la Pembina, le Groupe de travail a essayé diverses techniques d'obtention de données numériques de hauteur, et notamment par observation au sol à l'aide du Global Positioning System (GPS) et par observation aérienne par Lidar (radar optique) et IFSAR (radar interférométrique à synthèse d'ouverture). On a comparé les trois techniques du point de vue des coûts, de la précision des données et d'autres facteurs de production MAN.

Le Groupe de travail a constaté que la cartographie aérienne laser et radar peut représenter une méthode rapide, sûre et rentable d'obtention de données tridimensionnelles en vue de la création d'un MAN. Selon les techniques employées, les données se situent dans une fourchette de précision 0,5 mètre-±15 centimètres [1,6 pied-± 6 pouces].

Pour continuer à élaborer un modèle altimétrique à l'échelle du bassin, il faudra des ressources considérables, mais on pourra le mieux y parvenir par des efforts concertés et un partage des compétences, des fonds et des données. Les possibilités de mise en commun des ressources devraient faire l'objet d'une coordination à l'aide des outils de communication du RRBDIN dans la mesure du possible

En faisant appel aux compétences de modélisateurs en hydraulique et en hydrologie, on a pu dégager les besoins qui s'attachent à un MAN à résolution variable pour tout le bassin :

- données détaillés de hauteur de l'infrastructure dans la zone inondable avec marge de précision verticale de 2 pouces [5 cm] (routes, voies ferroviaires, principaux canaux et affluents de la rivière Rouge);
- données altimétriques détaillées sur un certain nombre de centres urbains avec marge de précision verticale de 4 pouces [10 cm];
- données de hauteur moins détaillées (3 pieds [1 mètre]), de préférence pour tout le lit de l'inondation de 1826 ou encore pour le lit de l'inondation de 1997;
- MAN détaillé pour 10 secteurs d'environ 25 milles carrés [65 kilomètres carrés] chacun en vue d'un contrôle de qualité des techniques d'extrapolation MAN pour le reste du bassin.

Dans le cas des techniques relativement récentes Lidar et IFSAR, les sous-traitants qui font la collecte de données diffusent souvent les ensembles de données par licence. Cette pratique qui restreint les échanges d'importants ensembles de données va à l'encontre des principes du RRBDIN dans ce domaine. Le Groupe de travail a exigé du sous-traitant qui a réuni les données canadiennes pour lui qu'il fournisse les ensembles de données sans

Le Groupe de travail a exigé du sous-traitant qui a réuni les données canadiennes pour lui qu'il fournisse les ensembles de données sans restrictions d'utilisation ni d'échange.

restrictions d'utilisation ni d'échange. C'est ainsi que les données ont été librement diffusées et qu'on n'a pas ajouté au coût des activités de collecte de données.

Recommandation 41 : ***On devrait mener à bien les travaux d'élaboration d'un modèle altimétrique numérique (MAN) pour le bassin de la rivière Rouge par des efforts concertés des organismes compétents*.***

Réseau d'information sur les catastrophes dans le bassin de la rivière Rouge (RRBDIN) et système d'aide à la décision

Le Groupe de travail et le GDIN ont lancé le Réseau d'information sur les catastrophes dans le bassin de la rivière Rouge (RRBDIN) comme moyen de fournir des outils de décision en gestion de plaine inondable et en gestion de secours et de mesures d'atténuation. Comme le système repose sur Internet, les données nécessaires seront d'emblée accessibles aux utilisateurs. Un aspect particulièrement important est la capacité du système à livrer l'information pendant une situation d'urgence. On a conçu le RRBDIN pour qu'il soit un mécanisme interactif et itératif de développement des ressources d'information dans tout le bassin et qu'il vienne améliorer les communications et les collaborations.

Le réseau compte de plus en plus de membres (particuliers et organismes) qui utiliseront ou aideront à mettre au point un certain nombre d'outils qui se retrouveront dans une page Web (http://www.rrbdin1.org). Celle-ci évolue à mesure que les membres en vérifient et en orientent le contenu. Elle comprend des outils de communication, des listes consultables d'organismes et de personnes-ressources, une bibliothèque, des politiques et des procédures, un catalogue interrogeable des bases d'information disponibles, des outils de présentation et de recherche cartographiques, des instruments d'analyse (modèles hydrologiques et hydrauliques), un tableau d'affichage électronique et d'autres ressources d'information.

On voit dans le RRBDIN une source unique de consultation en direct où les gens pourront trouver des données et des renseignements en général sur les questions de gestion des eaux dans le bassin de la rivière Rouge. Les types d'interaction rendus possibles par cette technologie pourraient faire naître une réflexion stimulante et créatrice et un jour un fonds de connaissances en développement dont profiteront tous les intervenants du bassin de la rivière Rouge bien après cette étude de la CMI. On espère pouvoir associer la plus grande diversité possible d'intéressés à un échange de données, d'indications, de connaissances et d'idées par une libre circulation de fonds d'information utiles et une participation à

** Au Canada, les organismes compétents pourraient être la Direction générale des ressources en eau de Conservation Manitoba et l'Administration du rétablissement agricole des Prairies d'Agriculture Canada et, aux États-Unis, la Federal Emergency Management Agency, le Corps of Engineers et les États du Minnesota et du Dakota du Nord. Lorsque des territoires locaux ou régionaux sont en cause, les comtés, les districts, les bassins et les municipalités concernés devraient aussi être mis à contribution.*

diverses opérations de maillage. Ce qu'on entrevoit pour le RRBDIN, c'est qu'il devienne un moyen éprouvé et sûr de prise de décisions éclairées et qu'il soit développé et actualisé par un puissant réseau de personnes et d'organismes travaillant en collaboration.

Le Groupe de travail croit que la mise en place d'un réseau d'information où se trouvent reliés un large éventail d'organismes et d'intérêts du bassin de la rivière Rouge est de nature à améliorer la gestion des crues dans ce bassin.

Le Groupe de travail croit que la mise en place d'un réseau d'information où se trouvent reliés un large éventail d'organismes et d'intérêts du bassin de la rivière Rouge est de nature à améliorer la gestion des crues dans ce bassin. Les systèmes d'information existants sont conçus en fonction des problèmes et des besoins individuels des organismes, et on se retrouve de la sorte avec des «îlots d'automatisation». Les progrès des technologies de l'information permettent de mieux échanger et traiter l'information essentielle. Le système d'aide à la décision (SAD) peut relier ces îlots entre eux et permettre aux décideurs et aux autres intéressés de poser des questions en matière de gestion de plaine inondable et d'état de préparation et de procéder à des analyses informatisées. Le SAD réunit les modèles et la base d'information virtuelle.

Le RRBDIN est le cadre d'où le SAD naîtra. Ce dernier se forme en plusieurs étapes, d'abord par un prototype du sous-bassin de la rivière Pembina qui s'appuie sur un petit nombre de bases de données. À l'issue des essais auxquels sera soumis le prototype, on pourra mettre au point un prototype avancé et finalement un SAD entièrement fonctionnel.

Le SAD est une collection de scénarios qui définissent les problèmes (évaluation des risques d'inondation, constatation en temps réel des embâcles ou des amoncellements de débris, conception d'interventions en cas de catastrophe, etc.). Chaque scénario expose le problème à résoudre, indique comment l'utilisateur entrera en interaction avec le SAD et décrit les données, le modèle et les produits à en obtenir (sous forme de tableaux, de cartes ou de graphiques de base de données)[43].

L'intérêt pour ce projet s'avive sans cesse, comme en témoignent les discussions avec l'Open GIS Consortium et la National Science Foundation, organismes qui s'intéressent au concept pour diverses raisons. Ainsi, le Groupe de travail fournit un banc d'essai et d'évaluation de nouvelles techniques de modélisation, de protocoles de communication, de capteurs perfectionnés, de techniques de fusionnement de données et de procédures d'interfonctionnalité. Cette entreprise «transfrontalière» est une occasion unique de bien montrer l'ensemble de défis techniques et institutionnels à relever. Bien que le Groupe de travail ait su susciter un intérêt assez vif, il faudra poursuivre les travaux pour atteindre un stade où on pourra faire la démonstration d'un prototype véritablement solide.

Lorsqu'on a voulu entreprendre la mise en place du RRBDIN, on supposait que le Groupe de travail serait toujours en activité tout au long de l'an 2000 et que le Global Disaster Information Network (GDIN) maintiendrait son financement de contrepartie. Les fonds en question ne se sont pas matérialisés. On estime qu'il faudra 300 000 dollars américains de plus pour continuer à développer le RRBDIN jusqu'en décembre 2000. On disposera alors

Il serait tout à fait malheureux que ces travaux d'élaboration tournent court à ce stade critique.

d'un prototype SAD. Un ensemble dynamique de données virtuelles sera aussi mis en consultation. On pourra en tirer des données géospatiales à l'échelle du bassin. Mentionnons en outre que les divers modules affichés au site Web du RRBDIN seront fonctionnels et que des améliorations fondées sur la rétroaction des utilisateurs seront apportées au système.

Le RRBDIN est particulièrement prometteur parce qu'il met en valeur les techniques de collaboration les plus avancées. Il serait tout à fait malheureux que ces travaux d'élaboration tournent court à ce stade critique.

Recommandation 42 : ***Les organismes compétents des paliers fédéral et provincial et des États et les organismes transfrontaliers devraient se rencontrer pour juger de l'intérêt qu'ils ont à poursuivre les travaux de mise en place du Réseau d'information sur les catastrophes dans le bassin de la rivière Rouge (RRBDIN), ainsi que pour dresser un plan de financement et d'exécution qui assurera la continuation du projet.***

Forum virtuel

Une des importantes caractéristiques du RRBDIN est son forum virtuel. Il s'agit de tenir par Internet des conférences en direct avec des tables rondes, des exposés sur des thèmes donnés ou des séances d'interconsultation. On pourrait aussi distribuer des listes de discussion pour que commentaires et opinions puissent être communiqués au gré des collaborateurs. Voici des sujets qui ont été abordés en atelier :

- prévision des crues aujourd'hui et demain;
- évolution récente de la télédétection pour l'observation des catastrophes;
- International Flood Mitigation Initiative (IFMI);
- bilan provisoire de l'IFMI;
- démarche de création d'un conseil international de bassin;
- questions de gestion professionnelle de plaine inondable : Association of State Floodplain Managers;
- questions transfrontalières d'intervention en cas de catastrophe;
- La femme, le travail et la famille dans l'inondation de 1997 : Dix leçons à tirer;
- rôle de la technologie en gestion de plaine inondable au prochain millénaire.

On peut obtenir au site Web une transcription des travaux d'atelier en direct, ainsi que d'autres renseignements généraux.

Le Forum virtuel peut aussi servir à des réunions et à des discussions en direct tenues par tout groupe du bassin. Le comité technique de la rivière Pembina a en effet tenu un certain nombre de séances de coordination par ce moyen.

Recommandation 43 : ***On devrait décider de la poursuite de l'exploitation du Forum virtuel dans les discussions consacrées à la question du maintien du RRBDIN.***

Modélisation hydrologique et hydraulique

Les modèles mathématiques du bassin de la rivière Rouge jouent un grand rôle dans la prévision des crues, la délimitation des lits d'inondation et la planification anti-inondation. L'expérience vécue lors des crues de 1997 montre bien la nécessité d'apporter des améliorations aux modèles qui existent, notamment pour pouvoir mieux rendre compte des régimes de ruissellement. Dans ce chapitre, nous exposerons les progrès des modèles de prévision de crues et de l'élaboration de modèles hydrodynamiques pour le bassin. Nous ferons des recommandations de développement de ces modèles.

Hydrologie

La rivière Rouge, qui demeure géologiquement un jeune cours d'eau, peut se décrire comme ayant un lit très peu dénivelé, légèrement encaissé, sinueux et agité, des fonds limono-argileux et une zone inondable bien développée et stable. Malgré un certain affaissement le long des berges, les méandres demeurent généralement stables[44]. La rivière Rouge est aussi lente à monter qu'à descendre en période de crue. Le long de son cours principal, les crues sont relativement prévisibles, mais durent habituellement longtemps.

Les grandes crues sont inévitablement des crues printanières causées par les conditions de l'automne et de l'hiver qui précèdent et le régime de fonte des neiges. En 1997, les conditions nécessaires d'une crue étaient réunies avec un automne pluvieux, un hiver neigeux et une tempête de neige d'arrière-saison. La situation aurait pu être bien pire s'il y avait eu des pluies abondantes au printemps.

L'inondation de 1997 a fait voir la nécessité de modifier les méthodes de prévision et leur mode de communication à la population.

La prévision des crues est un art bien implanté dans la région. Les données de prévision émanent du National Weather Service (NWS) pour la partie américaine du bassin et de la Direction générale des ressources en eau du Manitoba pour la partie canadienne. L'un et l'autre de ces organismes ont employé des techniques semblables de prévision pendant les crues de 1997 et ont constamment échangé leurs données. L'inondation de 1997 a fait voir la nécessité de modifier les méthodes de prévision et leur mode de communication à la population. Dans cette section, nous passerons en revue les changements subis par les techniques de prévision depuis l'inondation et décrirons les travaux hydrologiques en cours dans le bassin.

Prévision des crues

En général, les améliorations de prévision des crues ont visé à moderniser les méthodes existantes et à améliorer l'infrastructure matérielle de prévision pour une moindre dépendance à l'égard des correspondances statistiques. On a accompli diverses tâches et entre autres étendu les réseaux de données qui appuient les activités de prévision. Nous décrivons ces progrès des réseaux au chapitre 10.

États-Unis. On a examiné en détail le cadre technique de prévision qu'applique le National Weather Service (NWS) des États-Unis dans le cas de la rivière Rouge. On a lancé plusieurs activités d'amélioration de ce cadre[45] :

- on est en train d'élaborer un modèle hydraulique dynamique de cheminement des eaux appelé FLDWAV pour cette rivière;
- on étudie certaines des voies inhabituelles d'écoulement empruntées par les eaux pendant les crues de 1997 pour pouvoir ajouter une estimation empirique de ce régime de ruissellement aux modèles NWS;
- on modifie le logiciel de prévision NWS pour permettre des avertissements plus explicites lorsqu'on se reporte à des courbes hauteur-débit prolongées;
- on révise les hauteurs de crue établies pour chaque point de prévision de la rivière Rouge, ainsi que l'information détaillée qui s'y rattache sur les services de prévision des crues et les effets des inondations;
- on réétalonne le système de prévision de la rivière Rouge à l'aide de données chronologiques plus complètes et de modèles compatibles avec les méthodes prévisionnelles les plus récentes du NWS;
- on met au point un système amélioré d'analyse et d'exploitation de l'information sur les neiges;
- on analyse les procédures en place de pronostic de crue pour juger de la possibilité d'estimer utilement les risques que les crêtes de crue pronostiquées soient dépassées.

Encore récemment, le NWS se reportait à un «indice de précipitations antérieures» (IPA) pour calculer les données d'humidité des sols qui entrent dans les prévisions relatives à la rivière Rouge. C'est là une méthode statistique fondée sur les observations antérieures. Le NWS a implanté un modèle de simulation d'«écoulement continu»—que l'on appelle modèle de calcul de l'humidité des sols de Sacramento—qui a des bases physiques et peut s'appliquer individuellement à des sous-bassins. On l'a fait fonctionner en parallèle avec l'IPA pendant une année et on l'intégrera au cadre prévisionnel au printemps de l'an 2000.

On travaille aussi à l'amélioration des estimations de précipitations régionales à la station radar de Mayville, au Dakota du Nord. On examine à cette fin les données archivées et effectue des travaux d'évaluation statistique et d'optimisation de paramètres adaptables. Les résultats de l'exercice devraient être transférables aux autres stations radar du bassin de la rivière Rouge.

À l'échelle nationale, le NWS a commencé à implanter un Advanced Hydrologic Prediction System (AHPS), qui tient compte de l'incertitude relative des variables hydrologiques. Il prend ainsi en compte les changements à long terme des variables. Il est donc idéal pour les prévisions dans le bassin de la rivière Rouge où les crues sont généralement lentes à se développer.

Advanced Hydrologic Prediction System (AHPS), est donc idéal pour les prévisions dans le bassin de la rivière Rouge où les crues sont généralement lentes à se développer.

Recommandation 44 : ***Le National Weather Service des États-Unis devrait implanter prioritairement dans un proche avenir son Advanced Hydrologic Prediction System dans le bassin de la rivière Rouge.***

Canada. Au Manitoba, on s'est avant tout efforcé d'améliorer les réseaux de prévision et de mettre en place le modèle hydraulique MIKE 11 (que nous décrirons plus loin). On s'est servi des données relatives à l'inondation de 1997 pour étendre les rapports établis de prévision des crues.

Le River Forecast Centre du Manitoba utilise un modèle indiciaire pour prévoir les volumes d'eau de ruissellement et les débits de pointe à Emerson. Il prend toute la partie américaine du bassin comme bassin unique aux fins de ses calculs. Il réunit dans un même diagramme de cheminement les prévisions quotidiennes de débit à Emerson et dans les 13 affluents manitobains, dont la rivière Assiniboine. Après l'inondation de 1997, il a actualisé tous les rapports statistiques relatifs aux affluents manitobains et y a intégré des valeurs inhabituellement élevées d'humidité des sols.

Des méthodes améliorées de prévision des voies d'écoulement ont été mises au point et adoptées pour les rivières Pembina et Roseau, qui sont les deux grands affluents sur lesquels le Canada et les États-Unis échangent leurs données. On a également examiné le cheminement des eaux de crue sur le cours principal entre Halstad (Minnesota) et Winnipeg.

Le Canada bénéficie automatiquement de toute amélioration apportée aux méthodes de prévision dans la partie américaine du bassin, qui est bien plus étendue. Au Manitoba, les besoins ont en majeure partie à voir avec l'amélioration des modèles de ruissellement des affluents et la description des voies d'écoulement.

Le Canada bénéficie automatiquement de toute amélioration apportée aux méthodes de prévision dans la partie américaine du bassin, qui est bien plus étendue.

Communication des prévisions. Le NWS communique actuellement deux pronostics de crues à la population. La valeur de pointe du premier est uniquement fondée sur l'équivalent-eau de la neige avant ruissellement. La valeur de pointe du second pronostic est fonction de l'équivalent-eau de la neige et des précipitations normales en période de ruissellement. Dans ses pronostics, Conservation Manitoba (Ressources en eau) emploie

trois chiffres : le premier tient compte des conditions météorologiques normales en période de ruissellement et les autres, de conditions moins (décile du haut) ou plus (décile du bas) favorables. Chaque organisme a donc une prévision en équivalence pour les conditions normales et une autre pour les conditions subnormales (mais qui n'est pas identique à la première). Répétons qu'il diffuse aussi une prévision en fonction de conditions supérieures à la normale. Le public a du mal à distinguer ces prévisions, d'autant qu'elles ne sont pas diffusées tout à fait en même temps.

Le National Weather Service songe à des prévisions publiques d'équivalent-eau avec une valeur «normale» de pointe et une autre valeur de pointe fondée sur une proportion supérieure de précipitations normales. Lorsque l'Advanced Hydrologic Prediction sera implanté dans le bassin de la rivière Rouge, il produira des prévisions probabilistes.

Il deviendra possible de livrer des prévisions locales fort précises qui aideront les résidents et le personnel d'urgence dans le bassin.

Cela étant dit, les données prévisionnelles actuelles et futures visent à la prévision des hauteurs pour certaines localités du bassin. Grâce à la mise au point de modèles altimétriques numériques précis, de systèmes d'information géographique hautement détaillés et de modèles hydrodynamiques capables de simuler les régimes de ruissellement, il deviendra possible de livrer des prévisions locales fort précises qui aideront les résidents et le personnel d'urgence dans le bassin. De telles prévisions obligeront les services de prévision à relever de nouveaux défis en matière de communications.

Dans le suivi des recommandations de son rapport provisoire de 1997 sur l'amélioration des communications de prévision des crues*, le Groupe de travail a étudié les moyens de susciter une compréhension commune de ces activités prévisionnelles parmi les autorités du bassin et d'assurer une communication plus efficace des données à la population.

Recommandation 45 : ***Le gouvernement devrait constituer un comité binational de liaison pour la prévision des crues de la rivière Rouge en vue d'améliorer les communications entre les prévisionnistes et avec la population.***

L'encadré qui suit présente un projet de mandat pour ce comité.

* *Recommandation 8 : «On devrait simplifier et clarifier les communications entre les prévisionnistes des crues et les personnes chargées des mesures d'urgence à l'échelle locale dans tout le bassin. Les données des prévisions diffusées à la population par les médias devraient être simples, et les variables de prévision, faciles à comprendre.»* Rapport provisoire du Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge, Crues de la rivière Rouge : Mesures à court terme, *décembre 1997*.

Modèles hydrologiques

Une partie des nombreux modèles conçus pour la simulation des processus hydrologiques d'un bassin ont été appliqués au bassin de la rivière Rouge à des fins de prévision ou dans le cadre d'études réalisées. Dans ces modèles hydrologiques, on se reporte aux apports d'humidité dans un bassin, applique des facteurs relatifs aux éléments de stockage du bassin et calcule l'écoulement en un point déterminé par application de rapports de voies d'écoulement.

Dans certains modèles, on emploie des rapports statistiques précipitations-ruissellement avec des équations de cheminement, mais dans d'autres les calculs sont bien plus complexes. De tels modèles peuvent être groupés ou répartis, discontinus ou continus. On dispose aussi de modèles probabilistes qui tiennent compte des éléments d'incertitude inhérents aux données. La sélection de modèles dépendra des données disponibles, des caractéristiques des bassins ou des sous-bassins et des besoins des utilisateurs.

Un modèle groupé traite un bassin comme une unité pour l'entrée des données et le calcul des régimes de ruissellement. Il s'agit de calculs d'ordre statistique qui décrivent les processus hydrologiques en moyenne spatiale. Certains modèles groupés se prêtent à des subdivisions de bassin ou à l'estimation et à la modélisation directes de certains paramètres. Lorsqu'on regroupe les parties d'un bassin en subdivision pour produire des données, on parle de modélisation semi-répartie. C'est ce que sont les modèles actuels de prévision des crues et les modèles HEC-1 servant à l'analyse des zones humides.

Un modèle réparti simule les grands processus hydrologiques d'un bassin par entrée et traitement des données en mode réparti. Les données en question portent couramment sur les précipitations, les interceptions, les infiltrations, les intercirculations et les écoulements de base. On peut intégrer au modèle des données de ruissellement et de voies d'écoulement ou en faire le calcul dans un modèle hydraulique. Les modèles répartis reposent sur bien plus de données et de connaissances sur les processus hydrologiques des bassins que les modèles groupés ou semi-répartis. Lorsqu'un modèle voit le jour, les maillages des précipitations et des caractéristiques de la «couverture terrestre» peuvent en être les seuls éléments répartis.

Les modèles de voies d'écoulement calculent les durées de déplacement et l'atténuation des ondes de crue. On intègre souvent des rapports stockage-écoulement aux modèles hydrologiques. Les modèles hydrauliques unidimensionnels dits d'écoulement transitoire

Mandat proposé pour le comité de liaison pour la prévision des crues de la rivière Rouge

Ce comité étudie et applique des procédures d'échange de données hydrométéorologiques et assimilées par les organismes de prévision et d'exécution qu'intéressent les prévisions de crues dans le bassin de la rivière Rouge au Canada et aux États-Unis.

Il facilite la collaboration et les échanges d'information sur les méthodes de prévision, les réseaux de données, les systèmes d'acquisition et de communication de données, l'élaboration de modèles et autres questions liées qui peuvent donner lieu à une amélioration de la précision et de l'actualité des prévisions.

Il étudie comment il est possible d'améliorer la communication de prévisions aux organismes d'intervention anti-inondation, aux spécialistes en général, aux médias et au grand public.

Il remet un rapport relatif à chaque année civile aux organismes membres et au conseil d'administration mixte de la CMI au plus tard le 31 mars de l'année qui suit. Ce document doit faire état des progrès accomplis dans l'année, décrire les changements apportés aux réseaux de données, présenter les recommandations jugées utiles et signaler toute modification de la composition du comité.

(que nous décrirons plus loin dans ce chapitre) servent à décrire l'écoulement par ses voies multiples ou peuvent nous être utiles lorsque le ruissellement pose un grave problème.

Les modèles probabilistes appliquent une distribution mathématique à des paramètres d'entrée comme les prévisions de précipitations, font peut-être intervenir un certain nombre de variables aléatoires et exécutent un grand nombre de passages dont les données font ensuite l'objet d'une analyse statistique. Les données de prévision ainsi obtenues n'ont aucun caractère ponctuel, présentant plutôt toute une distribution des valeurs des conditions futures. C'est l'orientation qui est retenue dans la méthode AHPS employée par le NWS.

On recourt depuis un certain temps dans le bassin à des méthodes probabilistes simplifiées qui procurent une gamme de prévisions possibles. Dans ce cas, le prévisionniste pose des hypothèses au sujet des précipitations futures pour déterminer le régime de ruissellement dans des conditions normales et autres.

On peut aborder les questions soulevées au sujet des changements d'occupation des sols, du drainage et du ruissellement pendant des crues estivales ou des crues printanières moins amples en appliquant des modèles hydrologiques répartis à un ou plusieurs affluents du bassin, voire à tout le bassin.

On peut aborder les questions soulevées au chapitre 3 au sujet des changements d'occupation des sols, du drainage et du ruissellement pendant des crues estivales ou des crues printanières moins amples en appliquant des modèles hydrologiques répartis à un ou plusieurs affluents du bassin, voire à tout le bassin. Cette modélisation permettrait d'établir la sensibilité du bassin aux changements antérieurs d'occupation des sols et d'examiner les effets possibles sur le ruissellement des programmes d'établissement d'un couvert végétal permanent et des changements de pratiques agricoles de travail du sol. Si on joignait à ces modèles des modèles atmosphériques à moyenne échelle, on pourrait améliorer les modèles de prévision et mieux comprendre les effets des changements climatiques sur l'hydrologie du bassin.

Recommandation 46 : ***On devrait confirmer les conclusions du chapitre 3 au sujet de l'écrêtement des crues et examiner la question de l'écrêtement des petites crues en appliquant des modèles répartis à des affluents comme les rivières Mustinka, Wild Rice et Maple.***

Recommandation 47 : ***Comme priorité à long terme de la recherche publique et universitaire, on devrait appliquer un modèle mixte aérologique-hydrologique à l'ensemble du bassin de la rivière Rouge.***

Hydraulique

En général, le chenal de la rivière Rouge est capable de recevoir les eaux d'écoulement d'une crue relativement modeste à récurrence de un an sur deux. Lorsque la capacité du chenal est dépassée, les eaux débordent et s'écoulent par les terres. L'ampleur de l'inondation dépend des eaux disponibles et de la topographie.

Dans de grandes crues, les eaux peuvent déborder les chaussées et les remblais de chemins de fer adjacents. Les eaux de débordement passent ensuite au nord et leur libre mouvement suit non seulement la topographie de la zone inondable, mais aussi le modelé des routes et des voies ferroviaires. Ces éléments confinent l'écoulement et y font parfois obstacle. Voilà pourquoi les hauteurs d'eau sur les terres peuvent être supérieures à celles du chenal. Les eaux de ruissellement peuvent alors revenir au chenal avec une force destructrice et battre en brèche les remblais des berges. L'inondation de 1997 a gagné jusqu'à 25 milles [40 km] en largeur d'écoulement et bien des résidents ont été inondés par les eaux de ruissellement.

Le ruissellement est hautement variable dans l'espace et le temps. Des affluents peuvent renverser le mouvement de leurs eaux quand l'onde de crue descend la rivière Rouge.

Le ruissellement est hautement variable dans l'espace et le temps. Des affluents peuvent renverser le mouvement de leurs eaux quand l'onde de crue descend la rivière Rouge. Le tableau se complique encore s'il y a débordement par les eaux des remblais routiers et ferroviaires et des tranchées routières pratiquées par les ouvriers du gouvernement afin d'abaisser localement les niveaux d'eau.

Les modèles du bassin de la rivière Rouge qui existaient à l'époque des crues en 1997 étaient incapables de traiter les régimes complexes de ruissellement. Le Groupe de travail a cherché des modèles informatiques qui pourraient prévoir les débits de ruissellement d'eaux de crue et déterminer les effets de la présence de digues ou de réservoirs nouveaux. Ces modèles seraient en mesure de simuler les phénomènes suivants :

- passage d'une onde de crue par des aménagements et des éléments topographiques complexes;
- débordement de remblais routiers et ferroviaires;
- changements d'écoulement et de stockage dus à des aménagements nouveaux ou modifiés;
- répartition des eaux de ruissellement entre les voies d'écoulement terrestres;
- variations des niveaux d'eau causées par des vents soutenus.

À en juger par certaines opérations préliminaires du modèle unidimensionnel d'Environnement Canada, les modèles unidimensionnels d'écoulement transitoire répondaient en majeure partie à ces besoins. Il en existe plusieurs et tous résolvent les mêmes équations mathématiques. Ils peuvent simuler en deux dimensions des écoulements comme ceux du bassin de la rivière Rouge.

Le Groupe de travail a commandé la mise au point de deux modèles de simulation des niveaux d'eau selon une marge de précision de ±0,15 mètre ou 0,5 pied.

Le Groupe de travail a commandé la mise au point de deux modèles de simulation des niveaux d'eau selon une marge de précision de ±0,15 mètre ou 0,5 pied. Il voulait non seulement élaborer des modèles de prévision des crues et de planification anti-inondation en temps réel, mais aussi examiner les effets en aval de scénarios d'écrêtement de crues, évaluer l'importance spatiale d'inondations pires que celle de 1997 et définir les besoins en données d'observation des modèles. Ceux-ci ont été appliqués seulement à la rivière Rouge même, et non pas à ses affluents, sauf deux exceptions : cours inférieur de la rivière Pembina (voir le chapitre 7) et rivière Sheyenne. On a fondé la description des apports d'affluents sur les données de débit de cours d'eau.

Pour pouvoir indiquer les localités et les routes sur une carte, voire les diverses habitations et autres bâtiments qui risquent de s'inonder, on doit tirer des données des modèles sous forme de système d'information géographique. L'élément visuel aide grandement à la prise de décisions.

Le Corps of Engineers de l'Armée américaine a conçu le modèle unidimensionnel d'écoulement transitoire UNET («Unsteady NETwork») pour le bassin à l'intention de la CMI. Celui-ci couvre un territoire qui va de l'extrême amont au lac Traverse à Letellier, au Manitoba. Klohn-Crippen Consultants Ltd. a élaboré à contrat pour la CMI le modèle MIKE 11, modèle du même type offrant cependant une capacité bidimensionnelle et dont le territoire d'observation va de Grand Forks à Selkirk. Les parties des modèles en chevauchement exploitent les mêmes données d'entrée. L'un et l'autre de ces modèles ont été étalonnés à l'aide des données relatives aux crues de 1997 et vérifiés par les données de 1996 et 1979. Dans cet étalonnage, on s'est efforcé d'atteindre la marge de précision visée près des niveaux d'eau de culmination. La figure 12 illustre le rendement de chaque modèle par rapport aux niveaux d'eau relevés.

Le modèle UNET a été élaboré en vue de l'évaluation des effets à grande échelle du stockage sur les hydrogrammes et de l'étude des périodes et des durées de déplacement d'ondes de crue.

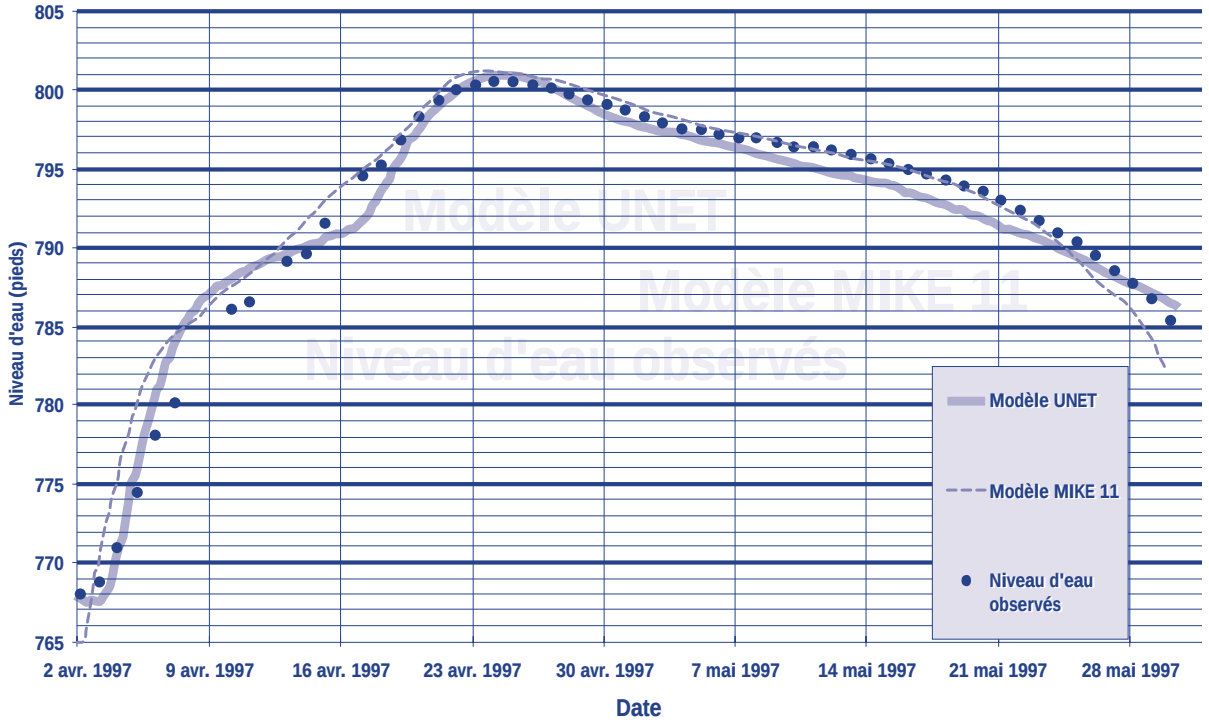
Modèle UNET

Le modèle UNET a été élaboré en vue de l'évaluation des effets à grande échelle du stockage sur les hydrogrammes et de l'étude des périodes et des durées de déplacement d'ondes de crue. Les hydrogrammes d'écoulement suivent le cheminement selon les cours d'eau et utilisent des données de stockage tirées d'une géométrie dite d'aires mouillées.

On a construit le modèle à l'aide de données d'aires mouillées et d'autres données auparavant établies pour les modèles hydrauliques unidimensionnels d'écoulement permanent dont on disposait (type HEC-2). On a converti les entrées de ces modèles en fonction du modèle UNET par diverses méthodes faisant appel à de petits programmes informatiques et à des vérifications manuelles.

Figure 12

Comparaison des résultats de modélisation à Drayton



Le modèle UNET couvre un territoire de 441 milles [710 kilomètres] des rivière Rouge et Bois de Sioux depuis le barrage White Rock près du lac Traverse jusqu'à la ville de Letellier, au Manitoba. La rivière Sheyenne est également modélisée de Kindred à son débouché sur la rivière Rouge, soit un tronçon fluvial de 87 milles [140 kilomètres]. Le programme comporte 950 aires mouillées et 11 000 lignes d'entrée.

Son étalonnage s'est fait par étapes. D'abord, on a saisi les hydrogrammes d'apports de 27 stations de jaugeage en cours principal à des intervalles appropriés de distance. On s'est reporté aux rapports d'aires de drainage de ces relevés de jauge pour produire des hydrogrammes initiaux d'apports pour les secteurs non jaugés, car les jauges d'affluents ne relèvent qu'une partie des apports d'eaux à la rivière Rouge.

On a exécuté un premier passage du modèle et calculé les débits aux stations de la USGS à la rivière Rouge. On a étalonné les écoulements en fonction d'un certain nombre d'interactions et calculé les niveaux d'eau. On a fait intervenir des facteurs d'adduction en vue de faire correspondre les hydrogrammes de niveaux d'eau aux hydrogrammes d'observation et aux pointages de laisses de crue.

MIKE 11 simule les eaux de crue selon neuf grands couloirs de ruissellement à la rivière Rouge et alimente en données un système d'information géographique.

Modèle MIKE 11

Le modèle MIKE 11, dont le territoire d'observation est de 174 milles [280 kilomètres] entre Grand Forks et Selkirk, devient bien plus détaillé à partir du confluent de la rivière Pembina en direction nord vers Selkirk. Un sous-modèle détaillé traite le bassin inférieur de la Pembina entre le secteur en amont de Neche (Dakota du Nord) et la rivière Rouge. MIKE 11 simule les eaux de crue selon neuf grands couloirs de ruissellement à la rivière Rouge et alimente en données un système d'information géographique[46].

On a intégré au modèle des centaines d'aires mouillées du bassin de la rivière Rouge. Les remblais routiers et ferroviaires constituent les principales contraintes d'écoulement dans la vallée. On a utilisé dans le modèle des données précises de hauteur des voies ferroviaires et des routes principales obtenues en 1997 et 1998. On a introduit ces données dans un modèle altimétrique numérique à maillage de 500 mètres [1 640 pieds] pour décrire les aires et les profondeurs d'inondation selon la forme de présentation du système d'information géographique.

Les données d'écoulement et de niveau de cours d'eau de 25 stations de jaugeage ont aidé à étalonner le modèle. On a complété ces renseignements par des données altimétriques venant de l'observation des zones de ruissellement et par diverses mesures d'écoulement pendant l'inondation de 1997. On se heurtait à une difficulté particulière du fait qu'un certain nombre de stations de jaugeage d'affluents aient été inondées lorsque les crues ont culminé, d'où l'absence de données pour certains points d'observation. On a estimé les débits de la période de culmination par des comparaisons avec des données d'observation en amont et en des lieux voisins.

On a pris des mesures spéciales pour tenir compte dans le modèle UNET des secteurs non jaugés.

Les niveaux d'eau modélisés pour 1997 respectaient la marge de précision visée le long de la rivière Rouge et dans la zone inondable. On a réussi à simuler les effets du couvert de glace avant le déglacement. On a vérifié le modèle à l'aide de données de 1996 et 1979. Il y avait des différences appréciables entre les niveaux de pointe modélisés et les niveaux observés à partir de Morris en direction nord vers le bras du défluent de crue pour l'année 1979. Ces écarts sont sans doute imputables à des modifications de l'infrastructure depuis 20 ans, et notamment à la construction de la digue de Turnbull Drive et à la surélévation de la route provinciale 200.

Le modèle a simulé deux crues de l'ampleur de celle de 1826, analysé les effets du stockage en amont, déterminé l'incidence de la rivière Seine sur l'inondation de Grande Pointe et cerné les répercussions de la réalisation d'un projet de canal entre la rivière Morris et la rivière Rouge. Il a démontré la sensibilité des niveaux d'eau en amont du bras

du défluent à l'abondance des eaux dans le réseau. En fait, une rivière de 25 milles [40 km] de large s'étrangle soudainement pour ne plus occuper qu'une aire très étroite au défluent. Pour pouvoir établir en toute précision les effets en amont du défluent, on a donc besoin de la précision du modèle altimétrique numérique élaboré pour la CMI.

Le modèle indique que la montée des eaux d'une crue de l'importance de celle de 1826 serait de moins d'un pied [0,3 m] supérieure à celle qu'on a observée en 1997 entre Grand Forks et Morris. Mais l'effet d'élévation serait considérable à l'entrée du défluent.

Le modèle indique que la montée des eaux d'une crue de l'importance de celle de 1826 serait de moins d'un pied [0,3 mètre] supérieure à celle qu'on a observée en 1997 entre Grand Forks et Morris. Mais l'effet d'élévation serait considérable à l'entrée du défluent. On peut s'attendre à ce que les eaux montent de 6 à 7 pieds [1,8 à 2,1 mètres] de plus qu'en 1997. Si les aménagements tenaient, ce dont on peut douter dans les conditions actuelles, le niveau d'eau à l'avenue James à Winnipeg s'élèverait à 32 pieds [9,75 mètres], alors que le niveau établi de protection contre les inondations est de 25,8 pieds [7,86 mètres].

Modèle FLDWAV

À l'instar des modèles UNET et MIKE 11, le modèle FLDWAV d'ondes de crue du NWS est un modèle unidimensionnel d'écoulement transitoire. Il a été conçu à l'origine par le NWS pour le calcul du profil de surface de l'onde dynamique en aval d'un barrage en rupture.

Le NWS l'a d'abord appliqué à un secteur d'environ 30 milles [42 km] en amont d'Oslo (Dakota du Nord) en vue d'examiner les rapports hauteur-débit à Grand Forks pendant l'inondation de 1997[47]. Il a bien simulé cette situation et a ensuite été appliqué au secteur qui s'étend de Halstad (Minnesota) à Emerson (Manitoba). Les hydrologues du NWS s'en servent en analyse post-inondation et en prévision en temps réel des inondations naturelles et des inondations consécutives à des ruptures de barrages.

Les données topographiques de représentation de la rivière Rouge et de sa zone inondable viennent de données d'aires mouillées du Corps of Engineers de l'Armée américaine, complétées par des données du même type tirées du modèle altimétrique numérique à échelle de 30 mètres de la USGS. Les données d'aires mouillées pour les affluents modélisés viennent uniquement de ce MAN. Quant aux données d'écoulement de cours d'eau, elles proviennent des stations de jaugeage et des modèles de simulation du National Weather Service.

Le modèle de phase 1 s'applique au secteur qui va de Halstad à Emerson sur le cours principal de la rivière Rouge, ainsi qu'à cinq affluents modélisés. C'est en 1999 qu'on a fait l'essai et l'étalonnage initial d'un modèle simple, opérations représentées dans ce rapport. En l'an 2000, on ajoutera des éléments complexes comme les ponts, les remblais routiers et les digues.

Le modèle de phase 2 s'appliquera aux réservoirs d'extrême amont du lac Traverse à la rivière Bois de Sioux et d'Orwell Lake à la rivière Otter Tail vers Halstad. Il ajoute quatre affluents modélisés de la rivière Rouge. Ces travaux ont commencé en 1999 et se termineront en l'an 2000.

Voici les conditions de zone limite du modèle de phase 1 :

- hydrogrammes d'écoulement des modèles hydrologiques NWS pour Halstad et les cinq affluents jaugés;
- cinq hydrogrammes d'écoulement pour les secteurs non jaugés d'affluents qui viennent des modèles hydrologiques NWS;
- niveaux d'eau à Emerson.

Les hauteurs de zone limite en aval sont des valeurs relevées à des fins d'étalonnage et des valeurs de prévision fournies par la Direction générale des ressources en eau de Conservation Manitoba à des fins de prévision en temps réel.

On a étalonné le modèle à l'aide des données de deux saisons de crue, à savoir les crues extrêmes de mars à mai 1997 et les petites crues de 1999. On a simulé les niveaux de pointe selon une marge de précision de 0,5 pied [0,15 mètre] des pointes observées. On a simulé les débits en période de culmination de l'élévation des eaux selon une marge de 5 %. La marge de précision de période entre les pointes simulées et les pointes observées est de 12 heures. On a validé l'étalonnage par les données d'une crue moyenne à grande qui a eu lieu de mars à mai 1996. La marge de précision aux valeurs de pointe correspond à celle que l'on obtenue en cours d'étalonnage.

De nouvelles améliorations de ce traitement ajouteront à la complexité du modèle, qu'il s'agisse de faciliter la prévision d'événements extrêmes ou d'élaborer d'autres produits à valeur ajoutée du modèle comme des cartes d'inondation pour les localités situées le long de la rivière Rouge.

Besoins futurs à l'échelle du bassin

Le but demeure de réaliser un MAN intégré et de haute précision pour le bassin.

On peut accroître la précision des modèles hydrauliques en ajoutant des détails sur la topographie du bassin, en améliorant les réseaux de données en temps réel et en enrichissant nos connaissances hydrologiques. Les modèles actuels portent sur le phénomène du ruissellement printanier. Il faudrait un étalonnage distinct pour les rendre applicables à tout ce qui est crues estivales.

Pendant l'étude du Groupe de travail, on amélioré les données topographiques comme le décrit le chapitre 10. Le Groupe a effectué des levés Lidar (radar optique) de haute précision du bassin inférieur de la Pembina et du secteur au sud de Winnipeg. D'autres organismes ont recueilli des données par radar optique à Breckenridge et à Fargo. Le Groupe a enrichi ces données de données expérimentales IFSAR pour le cours inférieur de la Pembina, ainsi que de données d'observation GPS des routes et des voies ferroviaires en de nombreux points du bassin. Le but demeure de réaliser un MAN intégré et de haute précision pour le bassin. Comme il existe déjà des relevés des principaux axes routiers et ferroviaires, on pourrait le mieux améliorer les apports topographiques de la modélisation hydraulique par des observations GPS des routes secondaires.

> **Recommandation 48 :** ***On devrait relever les routes secondaires, plus particulièrement dans la partie centrale du bassin, à l'aide du GPS (Global Positioning System) différentiel et en intégrer les résultats aux modèles hydrauliques.***

Un autre atout dans la modélisation des crues en temps réel serait l'emploi d'un débitmètre aux ultrasons dans le défilé en amont du défluent de crue. Ces appareils permettent une mesure continue de l'écoulement d'un cours d'eau. Ils seraient précieux pour l'exploitation du défluent et l'étalonnage des modèles. On devrait mettre en veilleuse ce projet de station débitmétrique jusqu'à ce que des décisions soient prises au sujet de la protection de Winnipeg contre les inondations. Si on disposait d'un débitmètre semblable à Grand Forks, les prévisions de crues s'en trouveraient également facilitées.

Ajoutons que l'utilisation de stations de jaugeage à Breezy Point (Manitoba) sur la rivière Rouge et en d'autres points de la zone inondable fournirait des données inestimables de modélisation. L'obtention de données d'écoulement en des points clés de ruissellement comme à Emerson et à Morris améliorerait la précision de la modélisation. De même, on pourrait améliorer l'étalonnage par de meilleures estimations des apports non jaugés à l'aide de modèles hydrologiques.

> **Recommandation 49 :** ***Le Corps of Engineers de l'Armée américaine et le ministère manitobain de la Conservation, qui exploitent respectivement les modèles UNET et MIKE 11, devraient tenir ceux-ci à jour et continuer à les améliorer en collaboration avec les autres organismes concernés.***

> **Recommandation 50 :** ***On devrait veiller à ce que les données d'appui pour l'exploitation des modèles hydrauliques et les sorties de modélisation soient largement diffusées.***

L'écoulement des eaux de crue au bras du défluent de la rivière Rouge devient complexe.

Futurs besoins à l'échelon local

Bras du défluent de crue. L'écoulement des eaux de crue au bras du défluent de la rivière Rouge devient complexe parce que la rivière Rouge s'étrangle aux abords de la structure d'entrée, passant d'une vaste plaine inondable à une bande étroite. Les digues circulaires des localités, présentes ou futures, pourraient influer localement sur les niveaux d'eau. Ajoutons que l'action des vents et des vagues rend la digue ouest vulnérable. Le bras du défluent fait partie du modèle MIKE 11 actuel. On pourrait se servir de ce modèle pour simuler les niveaux d'eau à des fins de prévision et résoudre une partie des problèmes qui se posent à l'entrée du défluent. On aurait quand même besoin d'un modèle plus complexe à exploiter à des fins de planification[47]. On modélise actuellement cette partie du bassin par un modèle bidimensionnel à éléments finis que l'on appelle TELEMAC.

Ce modèle simulera le régime éolien à la digue ouest, les effets des digues sur les niveaux d'eau et ceux des modifications du remblai du défluent sur la hauteur des eaux en amont. Le Conseil national de recherches du Canada réalise ce projet dans le cadre d'une entente Canada-Manitoba.

Dispositions institutionnelles concernant les inondations

Les grandes crues captent l'attention et stimulent l'adoption de mesures correctives, mais en période d'accalmie entre des inondations, la volonté d'agir est moindre, car la menace des inondations se fait plus lointaine et moins apparente. Le problème des crues existe depuis longtemps, voire de temps immémorial. Il faut garder bien vivant le souvenir des événements de 1997.

Le problème des crues existe depuis longtemps, voire de temps immémorial. Il faut garder bien vivant le souvenir des événements de 1997.

Les mesures que recommande le Groupe de travail n'ont rien d'un palliatif d'application purement ponctuelle. Elles doivent s'étendre dans le temps et s'adapter à l'évolution des circonstances. Les travaux de modélisation et d'élaboration de bases de données que finance le Groupe relèvent d'une technologie d'avant-garde en matière de gestion de crues. Les restrictions de financement sont toutefois venues limiter ce que le Groupe se proposait d'accomplir. Le chantier de la base d'information virtuelle et du système d'aide à la décision est inachevé. Le cadre est en place, mais les organismes publics devront prendre sur eux de mener ce qui n'est qu'une première conception à son achèvement, son application, son extension et son actualisation. Les modèles hydrauliques canado-américains compatibles et en chevauchement mis au point par le Groupe de travail pour la rivière Rouge se sont révélés utiles. Les fonds manquant, une grande partie du bassin n'a pas été modélisée, surtout aux États-Unis. On se devra d'actualiser et d'améliorer les outils créés au gré de l'obtention de nouvelles données et de l'apparition de nouvelles technologies. Et comme toujours, on devra conserver comme objectif essentiel, du fait que la responsabilité soit binationale, de parfaire la compatibilité et l'intégration des systèmes.

Le Groupe de travail juge nécessaire qu'un organisme ayant une vision binationale qui embrasse tout le bassin aide à garder bien vivantes les questions de gestion de crues et à ménager des progrès dans la solution de ces problèmes pour les gens et les pouvoirs publics du bassin. Bien sûr, les questions de gestion continueront à relever des diverses administrations publiques compétentes, lesquelles n'ont cependant qu'une vue partielle et parfois étroite et partiale des enjeux de la gestion des crues et des eaux. À certains moments, les pouvoirs publics ont réussi à bien travailler ensemble, mais il sera toujours difficile d'amener une pluralité d'organismes et d'administrations publiques,

Le Groupe de travail juge nécessaire qu'un organisme ayant une vision binationale qui embrasse tout le bassin aide à garder bien vivantes les questions de gestion de crues et à ménager des progrès dans la solution de ces problèmes.

y compris les autorités fédérales, à harmoniser leurs objectifs à long terme et à s'entraider efficacement dans un cadre tant intrasectoriel qu'intersectoriel.

Si elles sont acceptées par les gouvernements, les recommandations du rapport du Groupe de travail exigeront des activités permanentes de surveillance, de maintien, de développement et d'adaptation par les institutions en place ou de nouvelles. En ce qui concerne les inondations, on a besoin de dispositions institutionnelles pour :

1. assurer un soutien institutionnel permanent et une entière participation multisectorielle aux fins des projets que lègue le Groupe, c'est-à-dire ceux de la base d'information répartie et des modèles informatiques;
2. surveiller l'application des recommandations destinées à garantir l'état de préparation et la résistance des collectivités aux inondations à l'échelle du bassin;
3. surveiller les conséquences de l'application des recommandations spécifiques concernant les crues et en rendre compte;
4. favoriser une culture de préparation et de résistance aux inondations dans le bassin;
5. soutenir les mesures de préalerte et d'intervention hâtive en cas de grande inondation imminente;
6. assurer une coordination binationale des prévisions de crues et de leur communication à la population;
7. fournir une tribune pour la solution des problèmes multisectoriels;
8. servir de tribune à l'échange de renseignements sur les meilleures pratiques;
9. mettre des porte-parole compétents et dignes de foi en liaison avec les plus hautes instances gouvernementales pour que les décideurs soient conscients des besoins de la population du bassin dans les questions de crues et de gestion des eaux.

La gestion des crues appartient au domaine plus général de la gestion des eaux et les questions d'inondations relèvent souvent de stratégies plus globales de gestion des ressources hydriques, aussi faudra-t-il peut-être songer à intégrer les fonctions de gestion des crues aux activités d'institutions ayant de larges responsabilités en matière de gestion des eaux.

Dans toute discussion consacrée aux dispositions institutionnelles, on se doit d'examiner les organismes en place.

Cadre institutionnel actuel

Les intérêts sont multiples dans le bassin, et divers organismes s'occupant de crues les appuient. Dans toute discussion consacrée aux dispositions institutionnelles, on se doit d'examiner les organismes en place qui exercent des responsabilités à l'égard des crues, ainsi que les propositions de création d'institutions appelées à s'acquitter de tâches du même ordre.

Le Red River Basin Board, qui est un important organisme s'occupant de gestion des eaux, représente un mécanisme populaire d'examen des questions de gestion des eaux dans le contexte général du bassin. Il s'agit d'un organisme sans but lucratif constitué en vertu des lois du Manitoba, du Dakota du Nord, du Dakota du Sud et du Minnesota.

Son conseil d'administration se compose de 21 personnes représentant les pouvoirs locaux (villes, comtés et municipalités rurales), les conseils et régies de bassin, les districts de gestion des ressources en eau, les Autochtones et membres des Premières nations, une coopérative d'approvisionnement en eau et une association d'amélioration des milieux lacustres. Il compte aussi trois membres à titre particulier. Certains administrateurs ont été nommés par les gouverneurs du Dakota du Nord, du Dakota du Sud et du Minnesota et le premier ministre du Manitoba.

Red River Basin Board (RRBB)

Vision – Le Red River Basin Board veille sur le sang même de la région, c'est-à-dire sur son eau, et sur le bien-être de sa population. En 2010, celle-ci pourra compter sur une eau abondante et de bonne qualité toute l'année. Le RRBB continuera à garantir les vies et les biens contre le danger de graves inondations.

Mission – La mission du Red River Basin Board est de créer et d'appliquer un plan complet de gestion des eaux pour le bassin de la rivière Rouge. Il est aussi une tribune de règlement des questions intersectorielles.

La mission du RRBB est de dresser un plan complet de gestion des eaux, dont l'application serait confiée à d'autres organismes dans le bassin. Il vise aussi à servir de centre d'échange de renseignements, à livrer de l'information publique sur les problèmes du bassin et à créer une tribune de discussion, de concertation et de règlement des différends (y compris des conflits intersectoriels) dans le cadre de la gestion des eaux superficielles et souterraines du bassin de la rivière Rouge. Il est enfin là pour conseiller les gouvernements.

La Commission mixte internationale a également deux conseils exerçant des responsabilités transfrontalières dans le bassin, à savoir le Conseil international de lutte contre la pollution de la rivière Rouge (CILPRR) et l'International Souris-Red River Engineering Board (ISRREB). Le premier a vu le jour en 1969 et est chargé d'exercer une constante surveillance sur la qualité de l'eau et la santé de l'écosystème aquatique transfrontalier, ainsi que de tenir la Commission au fait des conditions, des plans, des politiques et des faits susceptibles de nuire à cette qualité et à cette santé.

L'ISRREB a été constitué par la Commission en 1948 parce que les pouvoirs publics lui avaient demandé de produire un rapport sur l'utilisation et la répartition des eaux dans le bassin des rivières Souris et Rouge et de dresser des plans binationaux pour ces eaux. Il a été associé à l'étude de nombreuses questions, dont les problèmes de crues et d'endiguement à la rivière Rouge, d'approvisionnement en eau et de moyens de stockage à la rivière Pembina.

Avec le concours de ces deux organes, la CMI est sur le point de réunir les conseils avec leurs responsabilités en un conseil consultatif.

Avec le concours de ces deux organes, la CMI est sur le point de réunir les conseils avec leurs responsabilités en un conseil consultatif d'où devraient naître des moyens supérieurs en efficience et en efficacité pour la CMI d'exécuter son mandat dans le bassin.

Il existe d'autres organismes qui s'occupent de tout le bassin. Le Red River Water Resources Council (RRWRC) s'efforce d'améliorer la communication et la collaboration entre les gouvernements et les citoyens du Minnesota, du Dakota du Nord et du Manitoba

dans tout ce qui est gestion des ressources en eau et des ressources terrestres liées, et ce, au profit de la population du bassin de la rivière Rouge. L'organe qui l'a précédé, la Souris-Red-Rainy Basin Commission (SRRBC), a disparu par mesure budgétaire fédérale en 1981. La nouvelle commission se compose de sept personnes nommées par les pouvoirs publics.

L'International Coalition (for Land-Water Stewardship in the Red River Basin) (TIC) est un organisme sans but lucratif qui, créé en 1979, devait déterminer s'il pouvait y avoir gestion régionale dans le bassin de la rivière Rouge. Ses principaux intérêts sont de cultiver les partenariats et d'établir des liens de communication et de collaboration entre les populations du Manitoba, du Minnesota, du Dakota du Nord et du Dakota du Sud dans le bassin de la rivière Rouge. Elle se propose de faire de l'éducation et de susciter une concertation sur les questions d'eaux et de terres à l'échelle du bassin.

International Flood Mitigation Initiative (IFMI)

Vision : D'ici l'an 2010, la communauté du bassin de la rivière Rouge abordera la question des inondations par des mesures d'atténuation qui permettront de largement réduire les dommages causés par les crues et de mettre à profit les possibilités qui s'offrent sur les plans économique, social et écologique.

Stratégies :

1. mesures globales de stockage et de retenue des eaux du bassin;
2. gestion sûre et attentive de plaine inondable;
3. gestion de la topographie à des fins d'atténuation des dommages des crues et pour l'obtention d'autres avantages.

L'International Flood Mitigation Initiative (IFMI) est un organisme temporaire fondé après l'inondation de 1997 par le North Dakota Consensus Council avec des fonds de la FEMA et du Manitoba. L'IFMI réunit des représentants aux intérêts et aux compétences très divers sous le grand thème des inondations. Il recherche des consensus parmi ses membres sur des recommandations d'intervention et de nouvelles dispositions institutionnelles qui assureront une action prompte et unifiée des résidents du bassin en vue de réduire les risques de crues et leurs conséquences à la rivière Rouge. Cette initiative prend fin en l'an 2000.

Au Minnesota et au Dakota du Nord, on compte divers organismes qui s'occupent du bassin de la rivière Rouge. Dans le premier de ces États, on a créé le Red River Watershed Management Board pour instaurer, coordonner et financer des projets qui combattront les crues et permettront d'exploiter avantageusement les eaux du bassin de la rivière Rouge et de ses affluents. Les attributions de cet organe visent les territoires administrés par les districts des eaux qui y sont représentés : rivière Bois de Sioux, bassin Buffalo-Red, rivière Joe, bassin Middle-Snake, lac Red, rivière Roseau, rivière Sand Hill, bassin Two Rivers et rivière Wild Rice.

Il y a aussi le Minnesota Red River Basin Joint Powers Board, qui ménage une collaboration des comtés participants en vue de l'élaboration de plans locaux complets de gestion des eaux. Depuis que les premiers plans ont été dressés, cet organe se réunit encore à intervalles réguliers pour échanger des renseignements, discuter de projets et débattre les questions de gestion des terres et des eaux.

Un autre organe, le North Dakota Red River Joint Water Resources Board est formé de 12 districts des eaux dans la partie nord-dakotaine du bassin de la rivière Rouge. Il assure des efforts concertés de planification et d'exécution d'un programme d'ensemble en gestion des eaux dans le bassin. Y sont représentés les districts de Ransom, Richland, Sargent, Walsh, Grand Forks, Traill, Maple, North Cass, Southeast Cass, Pembina, Nelson et Steele.

Le North Dakota/Minnesota Watershed Cooperation Board se compose du Red River Joint Water Resources Board du Dakota du Nord et du Red River Watershed Management Board du Minnesota. Ces deux organes tiennent des réunions deux fois par an, la première pour échanger des renseignements et la seconde pour passer en revue les projets du Dakota du Nord ou du Minnesota.

En 1998, la CMI recommande de créer des conseils internationaux de bassin, dont un pour la rivière Rouge.

Outre ces conseils de bassin, on compte des conseils tribaux, des districts de conservation au Manitoba, des districts des eaux et de conservation des sols au Dakota du Nord, des districts de bassin et de conservation des sols et des eaux au Minnesota, des régies des eaux à vocation spéciale et des comtés, municipalités et villes dans le bassin qui s'occupent directement des questions de gestion des eaux et des crues. Les provinces, les États et les gouvernements fédéraux y ont tous des intérêts directs.

Concept de conseils de bassin de la CMI

En 1998, la CMI a réfléchi à l'avenir des relations transfrontalières canado-américaines au XXIe siècle dans le domaine de l'environnement. Dans son rapport *La CMI et le XXIe siècle*, elle recommande de créer des conseils internationaux de bassin, dont un pour la rivière Rouge. Dans ses propositions, elle s'appuie sur les fructueux efforts de collaboration et les succès qui ont été les siens dans les activités binationales du passé. Les conseils en question appliqueraient une orientation écosystémique à l'examen des questions transfrontalières de bassin. Ils chercheraient à prévenir ou à régler les différends canado-américains et à promouvoir une concertation transfrontalière dans les questions d'intérêt commun par la création à l'échelle des bassins d'une capacité de prévision et de solution des problèmes de gestion des eaux et des autres difficultés d'ordre environnemental. Il s'agit d'organes indépendants et neutres qui serviraient de trait

Mandat des conseils de bassin

Après la parution du rapport de la CMI ayant pour titre *La CMI et le XXIe siècle*, les gouvernements canadien et américain ont approuvé en principe le concept de conseils de bassin et demandé à la CMI :

1. de définir le cadre général de fonctionnement de ces conseils, et notamment le champ et les principes directeurs de leurs activités;
2. de recommander un lieu d'implantation du premier conseil de bassin;
3. de recommander une structure, une composition et un mandat pour ce premier conseil avec les questions prioritaires auxquelles il devrait s'attaquer;
4. d'établir des prévisions de coût et des sources possibles de financement – sans oublier les mécanismes novateurs de financement – pour la création et l'exploitation du premier conseil international de bassin et le financement d'études spéciales à prévoir pour ses toutes premières années d'activité;
5. de consulter les provinces, les États et les deux gouvernements fédéraux pour trouver des lieux d'implantation et concevoir, planifier et mettre en place de nouveaux conseils en temps utile.

d'union entre les populations locales et les organes nationaux de décision et veilleraient à ce qu'on garde une vision binationale des bassins.

Les gouvernements canadien et américain ont accepté en principe le concept de conseils de bassin et demandé à la Commission de le développer (voir l'encadré). Si les gouvernements et la Commission décident de le réaliser, ils pourraient songer à créer un de ces conseils dans le bassin de la rivière Rouge.

Nouvelles orientations à l'échelle du bassin

On doit s'attacher à un certain nombre de facteurs et de critères dans toute proposition de dispositions institutionnelles pour les bassins fluviaux transfrontaliers. Les organes visés doivent d'abord pouvoir traiter les questions avec promptitude et efficience. Idéalement, la frontière qui sépare les deux pays ne devrait pas compromettre l'obtention des résultats qui pourraient être produits par un seul de ces pays. Il faut convenir en tout réalisme que les solutions techniques idéales doivent subir l'influence de considérations d'ordre politique. Les questions d'équité internationale et nationale entrent dans ces considérations.

Pour le Canada et les États-Unis, l'équité nationale exige que l'on tienne compte d'intérêts politiques, économiques et autres qui entrent en rivalité. Les dispositions institutionnelles adoptées doivent donc rester à l'écoute des préoccupations et des intérêts publics. Les institutions en question doivent aussi rendre des comptes à la population qui sera touchée par les mesures prises. À la base du double souci d'efficience et d'équité, il y a la nécessité d'une bonne information qui gardera les gouvernements et le public au fait des problèmes et des perspectives qui se présentent, de leur nature, des possibilités d'intervention, de leurs coûts et de leurs avantages et de la répartition internationale et intranationale de ces coûts et avantages. Si on s'entend sur des mesures internationales, il est aussi essentiel d'évaluer les problèmes rencontrés et les progrès accomplis.

Les dispositions institutionnelles internationales doivent se situer dans un contexte qui traduit les aspirations légitimes des gouvernements nationaux et les intérêts que ceux-ci représentent. Pour être utiles, les institutions visées doivent être capables de concilier les possibilités techniques et les réalités politiques des rapports des gouvernements avec leurs citoyens et leurs voisins.

L'idée d'une gestion des eaux à l'échelle du bassin est généralement acceptée à la rivière Rouge.

L'idée d'une gestion des eaux à l'échelle du bassin est généralement acceptée à la rivière Rouge. Les vues divergent cependant sur les institutions à privilégier et le mandat à leur assigner. Le Red River Basin Board (RRBB) est d'avis qu'une institution qui s'occupe de tout le bassin devrait émaner des autorités locales. D'autres sont pour une représentation encore plus large. Certains voient un modèle institutionnel dans d'autres organes de gestion de bassin fluvial comme la Tennessee Valley Authority. On convient toutefois qu'il pourrait y avoir des problèmes insurmontables à vouloir désinvestir de leurs pouvoirs institutionnels des États souverains, des provinces et des gouvernements fédéraux par des mesures législatives et des accords internationaux.

En revanche, les conseils créés par la CMI le sont en vertu des pouvoirs conférés par le Traité des eaux limitrophes et du mandat qui lui a été attribué par les deux gouvernements nationaux. Dans son activité, la Commission cherche à faire valoir l'intérêt public et les intérêts locaux. Si la légitimité d'organismes comme le Red River Basin Board tient à ses appuis locaux, celle des conseils de la CMI découle des pouvoirs conférés par les hautes instances gouvernementales. Les membres des conseils de la CMI sont généralement des représentants des autorités fédérales et provinciales et des États à titre personnel ou professionnel.

Une structure à deux échelons prévoyant une collaboration des organismes du bassin pourrait répondre aux besoins institutionnels d'une gestion des problèmes des crues et autres problèmes liés.

On se demande quelle est la façon la meilleure de préparer le bassin à affronter le problème des inondations. Le Groupe de travail croit que, compte tenu des considérations qu'il a présentées, une structure à deux échelons prévoyant une collaboration des organismes du bassin pourrait répondre aux besoins institutionnels d'une gestion des problèmes des crues et autres problèmes liés. Au premier palier, on trouve un organisme constitué par les autorités provinciales et fédérales et les gouvernements des États, bien que de tels organes, tout comme les conseils de la CMI, doivent conserver leur indépendance par rapport aux gouvernements. Au second palier, il y aurait des organismes issus d'initiatives prises au niveau local ou régional ou à l'échelle du bassin. Les deux échelons peuvent avoir des intérêts en chevauchement, mais leur composition, leurs structures de reddition de comptes et leurs modes de fonctionnement seront différents.

On ne peut douter de la nécessité de disposer d'organismes régionaux et d'organismes à l'échelle du bassin qui rendent des comptes aux collectivités et aux groupements du bassin et qui peuvent incarner et promouvoir les intérêts locaux et régionaux et les éléments de concertation qui existent. Le Red River Basin Board, un des organismes exerçant actuellement une telle fonction, serait typique du second échelon.

On a aussi besoin d'un organisme de premier échelon sensible aux complexités du règlement des questions internationales et qui entrerait en interaction avec les gouvernements et les intérêts dans le bassin.

On a aussi besoin d'un organisme de premier échelon sensible aux complexités du règlement des questions internationales et qui entrerait en interaction avec les gouvernements et les intérêts dans le bassin. Il devrait gagner la confiance des autorités fédérales et provinciales et des gouvernements des États et être accepté des administrations locales, des organismes non gouvernementaux et de la population comme organisme capable de s'occuper des questions qui, dans le bassin, présentent des conséquences à l'échelle transfrontalière.

La force de cet organisme résiderait dans son rôle consultatif par rapport aux autorités nationales et provinciales et aux gouvernements des États. Il n'exercerait pas de responsabilités en matière de gestion des eaux. Il ne changerait rien aux responsabilités actuelles des paliers fédéral et provincial et des États. Il s'appuierait sur les institutions en

place de la CMI et aiderait à garantir que chaque secteur de compétence s'acquittera de ses responsabilités envers la population et les autres secteurs dans le domaine des eaux.

Il n'existe pas encore d'organisme transfrontalier de premier échelon pour le dossier des inondations, et il faudra étudier à fond un certain nombre de questions avant d'en créer un. Des gens ont dit au Groupe de travail qu'ils s'inquiétaient des éléments de chevauchement entre les institutions en place, ainsi que d'une surreprésentation possible des intérêts fédéraux et d'une sous-représentation des intérêts provinciaux et locaux et des intérêts des États. Nous parlerons de ces motifs d'inquiétude dans les pages qui suivent.

Principes

Les principes suivants sont essentiels à l'acceptabilité, à la crédibilité et à l'efficacité d'un organisme international de premier échelon pour le dossier transfrontalier des inondations :

1. égalité de représentation entre les deux pays;
2. compétences appropriées des membres à titre personnel et professionnel;
3. décisions par consensus;
4. consultations publiques avec les organismes de second échelon et la population;
5. consultations avec le public et les médias sur les questions de politique publique;
6. accès direct aux gouvernements;
7. accès à des fonds suffisants pour entreprendre des recherches et des analyses essentielles à l'exercice des fonctions attribuées.

Aucun organisme ne saurait à lui seul bien incarner tout l'éventail des intérêts et des opinions dans un bassin.

Un organisme transfrontalier de premier échelon pour le dossier des inondations comme celui qu'envisage le Groupe de travail devrait pouvoir réagir aux nouvelles questions qui se présentent au niveau local et, s'il y a lieu, aider à leur solution à ce même niveau. Il jouirait d'une souplesse suffisante pour pouvoir agir de manière à empêcher les questions locales de prendre de l'ampleur ou de devenir des enjeux binationaux. Il travaillerait avec les intérêts locaux et, le cas échéant, avec les autres organismes du bassin faisant partie du second palier que nous avons évoqué.

Voici les principes jugés essentiels au fonctionnement d'organismes du second échelon :

1. présence la plus forte possible auprès de la population du bassin;
2. représentation suffisante des intervenants;
3. ample expression des opinions représentatives (dans le bassin) dans les discussions tenues au second échelon;
4. communication des consensus aux gouvernements et au premier échelon;
5. accès à des fonds suffisants en soutien de l'exercice des fonctions assignées.

On se doit de reconnaître qu'aucun organisme ne saurait à lui seul bien incarner tout l'éventail des intérêts et des opinions dans un bassin. Les intérêts particuliers et les intérêts généraux peuvent se révéler inconciliables. Ce qui importe, c'est que la diversité des organismes en place tienne compte des problèmes et des intérêts de la population du bassin et que les opinions exprimées soient dûment prises en considération par les gouvernements et les organes de premier échelon.

Un important principe qui distingue la CMI d'autres organismes internationaux de gestion de bassin fluvial … est que les membres du conseil d'administration sont appelés à y siéger à titre personnel et professionnel.

Représentation

Une institution transfrontalière de premier échelon pour le dossier des inondations devrait se composer de représentants des États et des provinces. Un important principe qui distingue la CMI d'autres organismes internationaux de gestion de bassin fluvial comme la Commission internationale pour la protection du Rhin est que les membres du conseil d'administration sont appelés à y siéger à titre personnel et professionnel. Les membres de la plupart des autres commissions internationales sont désignés par leurs gouvernements respectifs et en représentent les intérêts. Dans son orientation, la CMI favorise une démarche de solution des problèmes transfrontaliers, et non pas une démarche de négociations de règlement. Son principe de représentation favorise l'expression de l'intérêt général à l'échelle du bassin.

Nommés à titre professionnel, les représentants des gouvernements auraient un rôle particulier à jouer en matière de coordination, de facilitation et de concertation. Leurs connaissances et leurs liens directs de communication et de consultation avec les organismes qu'ils représentent faciliteraient l'adoption de mesures appropriées dans les dossiers existants ou nouveaux.

Avec des membres représentant seulement les États et les autorités provinciales et fédérales, un organisme transfrontalier qui s'occuperait des inondations pourrait ne pas suffisamment tenir compte des préoccupations ni des intérêts locaux. En revanche, si sa composition était représentative de l'éventail des intérêts dans le bassin, il y aurait le problème de décider des inclusions et des exclusions, ainsi que de la taille à donner à l'organisme sans nuire à l'efficacité de son fonctionnement.

On pourrait inclure des membres canadiens et américains du Red River Basin Board (RRBB) ou d'organismes non gouvernementaux. Le RRBB comprend des représentants d'un grand nombre d'organes publics locaux, ainsi que du niveau des États et des provinces, mais on n'y retrouve pas toute la gamme des intérêts dans le bassin, et notamment ceux des organismes à vocation écologique et des autres organismes non gouvernementaux.

On a en définitive à choisir entre l'efficacité et la représentation institutionnelles.

On a en définitive à choisir entre l'efficacité et la représentation institutionnelles. Aux yeux du Groupe de travail, un grand nombre de membres vient limiter l'efficacité. Un nombre

optimal serait peut-être de 10 à 12 avec une représentation égale des deux pays conformément au principe de l'égalité. L'organisme pourrait inclure des représentants des États et du palier provincial ayant des responsabilités à l'égard des eaux et de l'environnement, ainsi que des représentants fédéraux et autres aux intérêts semblables (gestion des situations d'urgence, etc.). On pourrait enfin y retrouver des membres hors gouvernement pouvant apporter des compétences particulières.

Quelle que soit l'orientation adoptée, l'organisme transfrontalier s'occupant du dossier des inondations ne saurait être d'un fonctionnement efficace que s'il recherche la consultation et le débat public en tout enthousiasme. Bien sûr, la représentation ne peut être universelle, mais la vaste majorité des intérêts pourront s'y faire entendre et les vues qui seront exprimées pourront dûment être prises en considération. De grands organismes comme le Red River Basin Board et d'autres organismes non gouvernementaux du second échelon devraient tenir une place essentielle dans les consultations. On pourrait prendre des mesures en bonne et due forme pour garantir la participation du Red River Basin Board et d'autres organismes aux délibérations de l'organisme transfrontalier responsable du dossier des inondations.

Ces divers gouvernements devraient pouvoir soumettre des questions et des propositions à l'organisme dans des dossiers d'intérêt en lui demandant de donner suite.

Filière de reddition de comptes

On s'attendrait à ce qu'un organisme transfrontalier semblable travaille de près avec les autorités fédérales et provinciales et les gouvernements des États. S'il fait partie de la structure de la CMI, il rendrait régulièrement des comptes à cette dernière et, par son canal, aux gouvernements fédéraux. Il devrait également présenter directement, officiellement et périodiquement ses propositions et ses recommandations aux gouvernements des États et aux autorités provinciales. De plus, ces divers gouvernements devraient pouvoir soumettre des questions et des propositions à l'organisme dans des dossiers d'intérêt en lui demandant de donner suite.

Ressources

Le gros de l'activité normale d'un organisme transfrontalier responsable du dossier des inondations pourrait s'exercer avec des ressources financières relativement modestes. Comme pour les conseils de la CMI, les organismes d'attache des représentants devraient être en mesure d'absorber la majeure partie des frais de cette participation. Mais le bénévolat a ses limites dans un organisme. Les ministères sont de moins en moins disposés à affecter des ressources rares à des initiatives extérieures. Pour qu'un organisme transfrontalier soit pleinement efficace, il devrait pouvoir obtenir des fonds des gouvernements fédéraux pour étudier les questions de grand intérêt dont le traitement exige le concours de spécialistes et d'experts-conseils.

Mentionnons en outre qu'un tel organisme aurait besoin de ressources pour un petit secrétariat qui assurerait la permanence et le constant soutien de ses activités quotidiennes. Ce secrétariat comprendrait des cosecrétaires qui, dans les fonctions qu'ils exercent dans leur organisme d'origine, auraient à travailler aussi pour l'organisme transfrontalier.

Conclusion 9 : ***La Commission et les gouvernements devraient ratifier la création d'un conseil international de bassin pour le bassin de la rivière Rouge. De l'avis du Groupe de travail, un tel conseil, s'il voit le jour, pourrait utilement se voir confier le mandat de favoriser la solution des problèmes de crues et de présenter des rapports à ce sujet, et notamment sur les progrès accomplis par les gouvernements dans l'application des recommandations du présent rapport et dans la poursuite de la réalisation des projets légués par le Groupe. Plus précisément, ce mandat pourrait prévoir les fonctions relatives aux crues dont nous avons déjà parlé dans cette section :***

1. ***assurer un soutien institutionnel permanent et une entière participation multisectorielle aux fins des projets que lègue le Groupe, c'est-à-dire ceux de la base d'information répartie et des modèles informatiques;***
2. ***surveiller l'application des recommandations destinées à garantir l'état de préparation et la résistance des collectivités aux inondations à l'échelle du bassin;***
3. ***surveiller les conséquences de l'application des recommandations spécifiques concernant les crues et en rendre compte;***
4. ***promouvoir une culture de préparation et de résistance aux inondations dans le bassin;***
5. ***soutenir les mesures de préalerte et d'intervention hâtive en cas de grande inondation imminente;***
6. ***assurer une coordination des prévisions de crues et de leur communication à la population;***
7. ***fournir une tribune pour la solution des problèmes multisectoriels;***
8. ***servir de tribune à l'échange de renseignements sur les meilleures pratiques;***
9. ***mettre des porte-parole compétents et dignes de foi en liaison avec les plus hautes instances gouvernementales pour que les décideurs soient conscients des besoins de la population du bassin dans les questions de crues et de gestion des eaux.***

Compte tenu de ces fonctions, le Groupe de travail recommande d'intégrer les éléments suivants à la structure de l'organisme et à ses responsabilités en matière de comptes à rendre :

- ***composition de 10 à 12 représentants des États du Dakota du Nord et du Minnesota, de la province du Manitoba et des deux gouvernements fédéraux, plus des spécialistes de l'extérieur, s'il y a lieu;***
- ***consultations régulières, tant officielles qu'officieuses, avec les autres organismes et les administrations locales du bassin;***
- ***présentation de rapports aux deux gouvernements fédéraux et, s'il y a lieu, aux gouvernements des deux États et de la province;***
- ***communications directes avec le public et les médias.***

Des dispositions institutionnelles de ce genre pour le dossier des inondations offriraient le grand avantage de reposer sur les principes éprouvés d'égalité de représentation, d'indépendance et d'objectivité qu'applique la CMI.

Recommandation 51 : ***Si la Commission mixte internationale décide de réaliser le concept de conseils de bassin, elle devrait envisager de créer le premier de ces conseils dans le bassin de la rivière Rouge et de lui confier les responsabilités que nous avons énumérées en ce qui concerne les inondations.***

Conclusions et recommandations

Conclusions

La rivière Rouge dans l'histoire

Conclusion 1 : L'analyse des indices géologiques, des crues du XIXe siècle, des statistiques et des facteurs hydrométéorologiques à l'origine des crues du bassin de la rivière Rouge nous indiquent que des inondations de l'ampleur de celle de 1997 ou pires encore sont à prévoir.

Gestion des crues

Conclusion 2 : Il serait difficile, voire impossible de créer une assez grande capacité de stockage en réservoir qui soit économiquement et écologiquement acceptable pour largement diminuer les débits de pointe des grandes crues.

Conclusion 3 : Un microstockage à grande échelle offre une certaine possibilité d'écrêter les crues de la rivière Rouge, mais devrait sans doute se révéler impraticable et coûteux. Il existe de nombreuses entraves à une implantation efficace et efficiente d'un tel système.

Conclusion 4 : Le stockage en aire humide peut tenir une place de choix dans l'écosystème des prairies, mais son rôle hydrologique est négligeable sur le plan de l'écrêtement des grandes crues le long du cours principal de la rivière Rouge.

Conclusion 5 : On a peut-être de bonnes raisons écologiques ou autres de rétablir les zones humides, mais ce rétablissement demeure un moyen économiquement peu efficient d'atténuer les dommages causés par de grandes crues peu fréquentes comme celles de la rivière Rouge en 1997.

Winnipeg exposée

Conclusion 6 : Dans des conditions d'écoulement comme celles de 1997, il y a de grands risques que l'infrastructure de protection contre les inondations à Winnipeg connaisse des défaillances.

Crues du cours inférieur de la rivière Pembina

Conclusion 7 : On convient généralement dans la région que la construction de digues et de routes servant de digues de part et d'autre de la frontière a profondément influé sur les crues dans le bassin inférieur de la rivière Pembina. Pour remédier aux conséquences de ces aménagements sur le plan des inondations des deux côtés de la frontière, il faudra que des mesures soient prises dans les deux pays, ce à quoi les autorités américaines et canadiennes paraissent généralement disposées.

Données et aide à la décision en gestion des crues

Conclusion 8 : Il faut encore améliorer et mieux tenir à jour la base de données de gestion de la zone inondable de la rivière Rouge. Les autorités fédérales, provinciales et locales et les gouvernements des États doivent continuer de s'associer largement au développement de cette base d'information et à l'amélioration de l'accessibilité des données.

Dispositions institutionnelles concernant les inondations

Conclusion 9 : La Commission et les gouvernements devraient ratifier la création d'un conseil international de bassin pour le bassin de la rivière Rouge. De l'avis du Groupe de travail, un tel conseil, s'il voit le jour, pourrait utilement se voir confier le mandat de favoriser la solution des problèmes de crues et de présenter des rapports à ce sujet, et notamment sur les progrès accomplis par les gouvernements dans l'application des recommandations du présent rapport et dans la poursuite de la réalisation des projets légués par le Groupe. Plus précisément, ce mandat pourrait prévoir les fonctions relatives aux crues dont nous avons déjà parlé dans cette section :

1. assurer un soutien institutionnel permanent et une entière participation multisectorielle aux fins des projets que lègue le Groupe, c'est-à-dire ceux de la base d'information répartie et des modèles informatiques;
2. surveiller l'application des recommandations destinées à garantir l'état de préparation et la résistance des collectivités aux inondations à l'échelle du bassin;
3. surveiller les conséquences de l'application des recommandations spécifiques concernant les crues et en rendre compte;
4. promouvoir une culture de préparation et de résistance aux inondations dans le bassin;
5. soutenir les mesures de préalerte et d'intervention hâtive en cas de grande inondation imminente;
6. assurer une coordination des prévisions de crues et de leur communication à la population;
7. fournir une tribune pour la solution des problèmes multisectoriels;
8. servir de tribune à l'échange de renseignements sur les meilleures pratiques;
9. mettre des porte-parole compétents et dignes de foi en liaison avec les plus hautes instances gouvernementales pour que les décideurs soient conscients des besoins de la population du bassin dans les questions de crues et de gestion des eaux.

Compte tenu de ces fonctions, le Groupe de travail recommande d'intégrer les éléments suivants à la structure de l'organisme et à ses responsabilités en matière de comptes à rendre :

1. composition de 10 à 12 représentants des États du Dakota du Nord et du Minnesota, de la province du Manitoba et des deux gouvernements fédéraux, plus des spécialistes de l'extérieur, s'il y a lieu;
2. consultations régulières, tant officielles qu'officieuses, avec les autres organismes et les administrations locales du bassin;
3. présentation de rapports aux deux gouvernements fédéraux et, s'il y a lieu, aux gouvernements des deux États et de la province;
4. communications directes avec le public et les médias.

Recommandations

Gestion des crues

Recommandation 1 : On devrait évaluer les projets de rétablissement de zones humides à des fins de régulation des crues en s'attachant aux avantages et aux coûts locaux plutôt qu'en voulant en dégager les avantages à l'échelle du bassin.

Recommandation 2 : On devrait intégrer à la base de données sur les embâcles du CRREL l'information future sur les embâcles à l'échelle du bassin pour pouvoir soumettre à une analyse plus approfondie les problèmes que posent les glaces dans le bassin. Dans la mesure du possible, on devrait y verser des données chronologiques sur les embâcles dans la partie canadienne du bassin.

Collectivités exposées

Recommandation 3 : Les localités de la partie américaine du bassin de la rivière Rouge devraient faire en sorte que les ouvrages qu'elles construisent en vue de réduire les dommages causés par les crues soient homologués par la FEMA pour au moins une protection contre les inondations à récurrence de 100 ans ou elles devraient participer au Non-Federal Flood Control Works Inspection Program.

Winnipeg exposée

Recommandation 4 : La valeur nominale devant servir de référence de crue pour les ouvrages de protection contre les inondations à Winnipeg devrait être la plus élevée qui puisse économiquement se justifier ou au moins celle de la pire inondation jamais observée, celle de 1826.

Recommandation 5 : D'après les résultats des études reposant sur des modèles hydrauliques, on devrait modifier le remblai est du défluent de crue pour améliorer le rendement du bras du défluent, abaisser les niveaux d'eau en amont et accroître la capacité.

Recommandation 6 : On devrait surélever la digue ouest pour permettre une hauteur des eaux de 778 pieds à la structure d'entrée du défluent; on devrait prévoir une hauteur libre appropriée.

ARAP

Digue ouest,
Winnipeg (Manitoba)

Recommandation 7 : On devrait surélever le réseau primaire d'endiguement, si la chose est économiquement faisable, pour en porter la hauteur à la valeur prévue par la loi.

Recommandation 8 : La municipalité de Winnipeg, les autorités provinciales et le gouvernement fédéral devraient cofinancer des études détaillées de faisabilité des deux grands projets qui protégeraient Winnipeg contre de très grandes crues.

Recommandation 9 : Les trois secteurs de compétence devraient travailler à une entente de protection de Winnipeg par laquelle on financerait l'élaboration d'un plan de protection à long terme devant comprendre la construction d'un ouvrage de retenue à Ste. Agathe ou l'extension du défluent de crue.

Recommandation 10 : On devrait optimiser les modifications à apporter au système de drainage des eaux usées et des eaux de ruissellement et les exécuter une fois qu'on aura dressé un plan d'ensemble pour la protection de Winnipeg contre les inondations.

Recommandation 11 : La ville de Winnipeg devrait immédiatement accorder une grande priorité à l'élaboration d'un guide détaillé de protection civile et d'intervention.

Recommandation 12 : Les règles de fonctionnement aux fins des nouvelles mesures de régulation des crues devraient être conçues en fonction de tous les régimes d'écoulement et même de débits supérieurs à la capacité nominale. On devrait consulter la population sur tout projet d'adoption de nouvelles règles de fonctionnement.

Préparation et résistance aux inondations

Recommandation 13 : Dans la partie américaine du bassin de la rivière Rouge, on devrait continuer à délimiter la zone inondable à récurrence de 100 ans à l'aide des meilleurs renseignements disponibles et on devrait se reporter aux valeurs révisées de hauteur des eaux de crue aux fins de la réglementation des zones inondables.

Recommandation 14 : Au Manitoba, la crue la plus élevée jamais observée ou une crue à récurrence de 100 ans (probabilités de 1 %) devrait servir de référence dans la réglementation du bassin de la rivière Rouge.

Recommandation 15 : On devrait se reporter à une crue à récurrence de 500 ans (probabilités de 0,2 %) comme définition de référence dans tout le bassin de la rivière Rouge et se servir de cette référence pour informer le public des risques d'inondation par des événements rares de crue (sans oublier la nécessité pour la population de prendre des assurances inondation aux États-Unis), ainsi que pour adopter des règlements quant aux lieux d'implantation et aux mesures de protection contre l'inondation des installations essentielles.

Recommandation 16 : Et le Dakota du Nord et le Minnesota devraient songer à adopter le nouvel International Building Code (Code international du bâtiment), qui prévoit des critères de conception et de construction à l'intention des secteurs exposés aux inondations.

Recommandation 17 : Le Code national du bâtiment du Canada devrait énoncer des normes de conception et de construction des bâtiments dans des secteurs exposés aux inondations comme le bassin de la rivière Rouge. On devrait intégrer au code manitobain des critères de construction en zone inondable quand ceux-ci auront été définis.

Recommandation 18 : Dans le bassin de la rivière Rouge, les autorités fédérales, provinciales et locales et les gouvernements des États devraient continuer, de concert avec le secteur privé, à développer, à affiner et à mettre en application des stratégies efficaces d'amélioration de la résistance aux catastrophes dans les collectivités de la région. On devrait s'efforcer de mieux sensibiliser la population aux risques d'inondation dans tout le bassin.

Recommandation 19 : Les autorités des États et de la province et les autres instances appropriées devraient examiner l'efficacité et le respect des règlements de gestion de plaine inondable dans le bassin et prendre au besoin des mesures qui en amélioreront l'application.

Recommandation 20 : Bien que les restrictions de réaffectation de terrains acquis soient des mesures de prudence dans leur application à des fins d'atténuation des dommages résidentiels, commerciaux ou autres causés par des facteurs autres que les inondations, la FEMA devrait revoir son interprétation du terme «constructions» dans la réglementation du Hazard Mitigation Grant Program pour exempter de ces dispositions les ouvrages, digues, murs de protection et autres dispositifs de régulation des crues qui permettraient de réduire les pertes futures par inondation.

Recommandation 21 : Dans ses Accords d'aide financière en cas de catastrophe, le gouvernement fédéral du Canada devrait prévoir des dispositions permettant de retirer des constructions en permanence de secteurs exposés à des inondations répétées.

Recommandation 22 : La FEMA et Protection civile Canada devraient, à tous les paliers politiques, concevoir une démarche intégrée d'atténuation qui repose sur une stratégie d'ensemble pour le bassin de la rivière Rouge. Aux États-Unis, la stratégie devrait s'intégrer à la National Mitigation Strategy.

Recommandation 23 : Le gouvernement fédéral du Canada devrait établir une stratégie nationale d'atténuation des dommages des inondations ou une stratégie plus générale d'atténuation des effets des catastrophes et en soutenir l'application par des programmes complets.

Recommandation 24 : Dans la partie américaine du bassin de la rivière Rouge, la FEMA devrait redoubler d'efforts pour promouvoir l'acquisition et le maintien de polices d'assurances inondation à l'intérieur comme à l'extérieur de la zone inondable à récurrence de 100 ans. On devrait innover dans cette promotion pour attirer les gens et ensuite les garder assurés. On pourrait notamment porter de 30 à 60 jours la période d'attente imposée aux assurés avant l'entrée en vigueur du régime d'indemnisation

Recommandation 25 : Avant toute inondation, les États-Unis et le Canada pourraient procéder à de vastes échanges de compétences et de renseignements sur les mesures de rétablissement, de reconstruction et d'atténuation.

Recommandation 26 : On devrait concevoir des mesures de résistance aux inondations et mettre en place un système d'observation de cette résistance dans le bassin de la rivière Rouge.

Crues du cours inférieur de la rivière Pembina

Recommandation 27 : On devrait remettre en activité le groupe technique international constitué en 1996 et le charger d'examiner les données du modèle hydrodynamique. En collaboration avec des organes locaux comme le comité consultatif du bassin de la rivière Pembina, il devrait trouver une solution à long terme et la mettre en application avec les fonds nécessaires.

Recommandation 28 : Comme il s'agit d'un bassin transfrontalier et que les autorités fédérales des deux pays pourraient devoir financer et surveiller l'application de toute entente, celles-ci devraient être associées à la démarche.

Recommandation 29 : Préalablement à l'exécution de tout plan, on devrait modéliser à l'aide du modèle hydrodynamique les modifications à apporter au réseau routier et au réseau d'endiguement dans le bassin inférieur de la rivière Pembina pour ainsi s'assurer qu'il n'y aura pas de conséquences imprévues.

Recommandation 30 : Les travaux de prototypage d'une base d'information virtuelle et d'un système d'aide à la décision que le Groupe de travail a entrepris pour le bassin de la Pembina devraient se poursuivre par les soins des organismes compétents au Canada et aux États-Unis.

Liaison hydraulique au lac Traverse

Recommandation 31 : On devrait immédiatement entreprendre des études techniques sur tous les moyens d'éliminer les risques de liaison hydraulique entre bassins aux alentours de Browns Valley. Il s'agirait pour les gouvernements d'appliquer la solution la plus réalisable. Dans l'intervalle, on devrait demeurer à l'affût des espèces indésirables dans le bassin de la rivière Little Minnesota. Si de telles espèces y font leur apparition, on devrait prendre immédiatement des mesures pour prévenir leur passage au bassin de la rivière Rouge.

Comme il y a des avantages que l'on retire à l'échelle du bassin des mesures prises en coordination en vue d'empêcher le passage d'espèces exotiques entre bassins adjacents, les autorités locales ne devraient pas avoir à prendre en charge les frais de surveillance ni d'exécution de mesures correctives. Le Corps of Engineers de l'Armée américaine sera le principal responsable de l'application de cette recommandation, mais des modalités de partage des frais devraient être négociées avec le Canada en raison des avantages du projet pour l'ensemble du bassin.

Recommandation 32 : Toute modification des plans de fonctionnement ou des aménagements du lac Traverse qui est susceptible d'augmenter la hauteur de réservoir doit s'accompagner de mesures d'élimination de tout mouvement des eaux au sud vers la rivière Little Minnesota.

Qualité de l'eau du lac Winnipeg

Recommandation 33 : Les autorités devraient prendre des mesures immédiates pour que soit retirée de ses lieux d'entreposage dans le bassin de la rivière Rouge toute substance interdite comme le toxaphène et pour que des substances peut-être dangereuses ne soient pas stockées dans la zone inondable à récurrence de 500 ans. On pourrait garder en zone inondable des quantités raisonnables de ces substances en vue d'une utilisation immédiate.

Recommandation 34 : Les autorités devraient continuer à observer les concentrations de toxaphène dans l'écosystème du lac Winnipeg jusqu'à ce que celles-ci retombent à leurs niveaux antérieurs à 1997.

Données et aide à la décision en gestion des crues

Recommandation 35 : On devrait améliorer et garder prêts les réseaux d'information hydrométrique et météorologique nécessaires à la prévision des crues.

Recommandation 36 : La collecte de nouvelles données à référence géographique aux États-Unis devrait être conforme au Système de référence altimétrique nord-américain (NAVD88) de 1988.

Recommandation 37 : À des fin d'uniformité et de précision, les données exploitées dans les modèles devraient tenir compte des différences de mesures à la frontière. Comme les conversions de niveau de référence risquent d'influer sur la précision des données, tout élément de conversion entre normes devrait être relevé et signalé avec les données présentées.

Recommandation 38 : La U.S. National Geodetic Survey et la Division des levés géodésiques au Canada devraient convoquer en l'an 2000 un forum d'experts en systèmes de référence géodésique afin de discuter des questions de niveau de référence qui se posent dans le bassin de la rivière Rouge et d'élaborer un plan de transition à long terme.

Recommandation 39 : Tous les fournisseurs clés de données au Canada devraient rendre disponibles gratuitement et sans restrictions les ensembles de données nécessaires à la gestion de plaine inondable et aux interventions d'urgence à la rivière Rouge, ainsi qu'aux activités de modélisation qui s'exercent au niveau régional ou à l'échelle du bassin.

Recommandation 40 : Les fournisseurs de données devraient demeurer responsables de la mise à jour et de la reproduction de leurs ensembles de données.

Recommandation 41 : On devrait mener à bien les travaux d'élaboration d'un modèle altimétrique numérique (MAN) pour le bassin de la rivière Rouge par des efforts concertés des organismes compétents.

Recommandation 42 : Les organismes compétents des paliers fédéral et provincial et des États et les organismes transfrontaliers devraient se rencontrer pour juger de l'intérêt qu'ils ont à poursuivre les travaux de mise en place du Réseau d'information sur les catastrophes dans le bassin de la rivière Rouge (RRBDIN), ainsi que pour dresser un plan de financement et d'exécution qui assurera la continuation du projet.

Recommandation 43 : On devrait décider de la poursuite de l'exploitation du Forum virtuel dans les discussions consacrées à la question du maintien du RRBDIN.

Modélisation hydrologique et hydraulique

Recommandation 44 : Le National Weather Service des États-Unis devrait implanter prioritairement dans un proche avenir son Advanced Hydrologic Prediction System dans le bassin de la rivière Rouge.

Recommandation 45 : Le gouvernement devrait constituer un comité binational de liaison pour la prévision des crues de la rivière Rouge en vue d'améliorer les communications entre les prévisionnistes et avec la population.

Recommandation 46 : On devrait confirmer les conclusions du chapitre 3 au sujet de l'écrêtement des crues et examiner la question de l'écrêtement des petites crues en appliquant des modèles répartis à des affluents comme les rivières Mustinka, Wild Rice et Maple.

Recommandation 47 : Comme priorité à long terme de la recherche publique et universitaire, on devrait appliquer un modèle mixte aérologique-hydrologique à l'ensemble du bassin de la rivière Rouge.

Recommandation 48 : On devrait relever les routes secondaires, plus particulièrement dans la partie centrale du bassin, à l'aide du GPS (Global Positioning System) différentiel et en intégrer les résultats aux modèles hydrauliques.

Recommandation 49 : Le Corps of Engineers de l'Armée américaine et le ministère manitobain de la Conservation, qui exploitent respectivement les modèles UNET et MIKE 11, devraient tenir ceux-ci à jour et continuer à les améliorer en collaboration avec les autres organismes concernés.

Recommandation 50 : On devrait veiller à ce que les données d'appui pour l'exploitation des modèles hydrauliques et les sorties de modélisation soient largement diffusées.

Dispositions institutionnelles concernant les inondations

Recommandation 51 : Si la Commission mixte internationale décide de réaliser le concept de conseils de bassin, elle devrait envisager de créer le premier de ces conseils dans le bassin de la rivière Rouge et de lui confier les responsabilités que nous avons énumérées en ce qui concerne les inondations.

Annexe 1

SIGLES

AAFC – Accords d'aide financière en cas de catastrophe

AHPS – Advanced Hydrologic Prediction System

ARAP – Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada

ASCE – American Society of Civil Engineers

CCME – Conseil canadien des ministres de l'environnement

CCT – Centre canadien de télédétection

CMI – Commission mixte internationale

CRREL – Cold Regions Research and Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers

CSDGM – Content Standard for Digital Geospatial Metadata

DGPS – Differential Global Positioning System

FCWIP – Flood Control Works Inspection Program

FEMA – Federal Emergency Management Agency

FGDC – Federal Geomatic Data Committee

FIRM – Cartes de tarification d'assurance inondation

FLDWAV – Modèle des voies de ruissellement du National Weather Service des États-Unis

GDIN – Global Disaster Information Network

GPS – Global Positioning System

HEC – Hydrologic Engineering Center (établissement du Corps of Engineers de l'Armée américaine)

HUD – Department of Housing and Urban Development des États-Unis

IFMI – International Flood Mitigation Initiative

IFSAR – Radar interférométrique à synthèse d'ouverture

IPA – Indice de précipitations antérieures

LIDAR – Light Detection and Ranging (laser optique aéroporté)

MAN – Modèle altimétrique numérique

MIKE 11 – Modèle hydraulique unidimensionnel des eaux et de l'environnement (DHI)

MLI – Manitoba Land Initiative

NAVD 88 – Système de référence altimétrique nord-américain de 1988

NFIP – National Flood Insurance Program

NWS – National Weather Service des États-Unis

OMUM – Organisation des mesures d'urgence Manitoba

ONG – Organisation non gouvernementale

PCC – Protection civile Canada

PPCI – Plans de protection civile et d'intervention

PRBAB – Pembina River Basin Advisory Board
RADARSAT – Satellite produisant des images radar
RNM – Ressources naturelles Manitoba (ministère)
RPP – Route principale provinciale
RRBB – Red River Basin Board
RRBDIN – Red River Basin Disaster Information Network
RRBVDB – Red River Basin Virtual Data Base
RSO – Radar à synthèse d'ouverture
SAD – Système d'aide à la décision
SCADA – Système d'acquisition et de contrôle de données
SIG – Système d'information géographique
TEL – Traité des eaux limitrophes (de 1909)
TIC – International Coalition for Land/Water Stewardship in the Red River Basin
UNET – Unsteady NETwork (modèle hydraulique unidimensionnel d'écoulement transitoire)
USATEC – United States Army Corps of Engineers Topographic Engineering Center
USGS – United States Geological Survey

Annexe 2

PUBLICATIONS PARRAINÉES PAR LE GROUPE DE TRAVAIL

(On peut consulter la plupart de ces publications à http://www.ijc.org/boards/rrbtf.html)

Ahmad, Sajjad et S.P. Simonovic, décembre 1999. *Comparison of One-Dimensional and Two dimensional Hydrodynamic Modeling Approaches for Red River Basin*. Université du Manitoba.

Beaverbrook Communications, mars 2000. A Summary of Flood Issues on the Lower Pembina, North Dakota.

Bengtson, Melanie L., et G. Padmanabhan, novembre 1999. *A Hydrologic Model for Assessing the Influence of Wetlands on Flood Hydrographs in the Red River Basin: Development and Application*, Université d'État du Dakota du Nord.

Brooks et al., décembre 1998. Red River Geology and Palaeoflood Record : Literature Review, Summary of Research Activities, and Recommendations for Future Research.

Currie, R.S., D.A. Williamson et M.E. Brigham, novembre 1998. *A Preliminary Assessment of Environmental Impacts Associated with the 1997 Red River Flood, with Focus on Water Quality*.

Damron, James J., et Carlton J. Daniel, octobre 1999. Generation of Digital Elevation Data using New Techniques : The Red River Pilot Study. U.S. Army Corps of Engineers, Topographic Engineering Center.

Fridgen, Patrick M., et Steven D. Shultz, mai 1999. *The Influence of the Threat of Flooding on Housing Values in Fargo, North Dakota and Moorhead, Minnesota*. Université d'État du Dakota du Nord.

Grant, K., novembre 1997. *Report on a Strategic Research Workshop on The Social Dimensions of the Flood of the Century*.

Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge, décembre 1997. *Crues de la rivière Rouge : Mesures à court terme* : Rapport provisoire préparé pour la Commission mixte internationale.

Hanuta, I., septembre 1999. A Landscape Reconstruction Using Dominion Land Survey Township Maps.

Houston Engineering Inc. et Golden Assoc., décembre 1999. Red River Basin Disaster Information Network Decision Support System Applications for Flood Management in the Pembina River Basin.

Juliano, Kristine, et S.P. Simonovic, septembre 1999. *The Impact of Wetlands on Flood Control in the Red River Valley of Manitoba*. Université du Manitoba.

KGS Group, décembre 1999. *Winnipeg at Risk, Parts I-II*.

KGS Group, janvier 2000. *Red River Basin: Stage-Damage Curves Update and Preparation of Flood Damage Maps*.

KGS Group, février 2000. *Winnipeg at Risk, Part III*.

Klohn-Crippen Consultants Ltd, mai 1999. *Red River One-Dimensional Unsteady Flow Model: Final Report*.

Kroker, S., février 1999. *Flood Sediments and Archaeological Strata*.

Morris-Oswald, M., et S.P. Simonovic, décembre 1997. *Assessment of the Social Impact of Flooding for Use in Flood Management in the Red River Basin*. Université du Manitoba.

Natural Hazards Center, octobre 1999. *Evaluation of a Literature Review of the Social Impacts of the 1997 Red River Valley Flood*. Université du Colorado.

Natural Hazards Centre et Disaster Research Institute, mai 1999. *An Assessment of Recovery Assistance Provided after the 1997 Floods in the Red River Basin: Impacts on Basin-wide Resilience*. Université du Colorado et Université du Manitoba.

Phase Four Technology Management Corp., janvier 1999. *Red River Basin: Virtual Database: Metadata Collection Final Report (Canada)*.

Phase Four Technology Management Corp., novembre 1998. *Red River Basin: Virtual Database: Data Assessment Report (Canada)*.

Rannie, W.F., septembre 1998. *A Survey of Hydroclimate, Flooding, and Runoff in the Red River Basin Prior to 1870*.

Rex, Janet, juillet 1999. *Social Impacts of the Red River Valley Flood: A Literature Review. Natural Hazards Center*, Université du Colorado.

Rust Environment & Infrastructure, mars 1999. *Red River Basin Virtual Database: Data Assessment Report (USA)*.

Science Applications International Corp. (SAIC), février 1999. *Information/Data Needs for Floodplain Management: The Red River Basin Workshop Report*.

Shultz, Steven D., décembre 1999. *The Feasibility of Wetland Restoration to Reduce Flooding in the Red River Valley: A Case Study of the Maple and Wild Rice (MN) Watersheds*. Université d'État du Dakota du Nord.

Simonovic, S.P., novembre 1998. *Decision Support System for Flood Management in the Red River Basin*. Université du Manitoba.

Slmcleod Consulting et Brian Wilkes & Associates, février 1999. *Review of Red River Basin Floodplain Management Policies and Programs*.

Stewart, A.R. et al., (2000). *Influence of the 1997 Red River Flood on Contaminant Transport and Fate in Southern Lake Winnipeg*. Pêches et Océans Canada.

Tait, R.W., novembre 1997. *The Role and Reactions of the Municipalities of the Red River Valley During the Flood of 1997*.

U.S. Army Corps of Engineers, février 2000. *Browns Valley Dike: History and Potential for Interbasin Flow*.

Wachentendorf, T., janvier 2000. *Interaction Between Canadian and American Governmental and Non-Governmental Organizations During the Red River Flood of 1997*.

Warkentin, A.A., septembre 1999. *Red River at Winnipeg : Hydrometeorological Parameter Generated Floods For Design Purposes*. Conservation Manitoba, Direction générale des ressources en eau.

Annexe 3

Activités et projets de réduction des dommages des inondationsdans les localités du bassin de la rivière Rouge

(mesures locales de protection autres que des mesures d'urgence)

Activités de réduction des dommages des inondations dans le bassin de la rivière Rouge

Minnesota **(mesures locales de protection autres que des mesures d'urgence)**

Localité	Mesures adoptées avant l'inondation de 1997	Mesures pendant et depuis l'inondation de 1997	Homologation par la fema	Normes actuelles de conception de digues (voir la légende)	Observations
Ada	Digue temporaire	Renforcement de la digue et étude de faisabilité du COE	Non, sauf homologation de l'ouvrage permanent	2	Acquisition de 8 habitations en plus
Alvardo	Réseau de digues fédérales permanentes		Oui	1	
Argyle	Réseau de digues fédérales permanentes		Oui	1	
Breckenridge	Digue temporaire	Renforcement de la digue et étude de faisabilité du COE	Non, sauf homologation de l'ouvrage permanent	2	Acquisition de 112 habitations en plus
Crookston	Digue temporaire	Autorisation de l'ouvrage permanent	Non, mais autorisation pour une protection contre les crues à récurrence de 100 ans	2	
Dilworth	Digue temporaire	Renforcement de la digue et étude de faisabilité du COE	Non	4	
Dumont	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	
East Grand Forks	Digue temporaire (qui a été débordée)	Autorisation d'un projet de construction d'un mur de protection (HUD) et d'une digue permanente	Non, mais autorisation pour une protection contre des crues à récurrence de 210 ans	2	Acquisition de 520 bâtiments commerciaux et habitations en plus
Fisher	Digue temporaire	Construction d'un canal de dérivation	Non	4	
Gentilly	Digue temporaire		Non	2	
Georgetown	Digue temporaire	Étude de faisabilité du COE pour un projet de protection contre des crues à récurrence de 205 ans	Non, sauf homologation de l'ouvrage permanent	2	
Grygla	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	
Hallock	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	2	
Halstad	Digue fédérale permanente	Surélévation de chaussée et amélioration de la station de pompage	Non	1	
Hendrum	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	2	Demande d'une inspection d'admissibilité au FCWP

Localité	Mesures adoptées avant l'inondation de 1997	Mesures pendant et depuis l'inondation de 1997	Homologation par la fema	Normes actuelles de conception de digues (voir la légende)	Observations
Kennedy	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	
Moorhead	Digue temporaire	Amélioration de la digue et de la station de pompage	Non	2	Acquisition de 16 habitations en plus
Noyes	Réseau de digues fédérales permanentes		Oui	1	
Canton d'Oakport	Digue temporaire	Étude de faisabilité du COE pour un projet de protection contre des crues à récurrence de 205 ans	Non, sauf homologation de l'ouvrage permanent	2	
Oslo	Réseau de digues fédérales permanentes		Oui	1	
Perley	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	
Roseau	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	2	
Shelly	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	
St. Vincent	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	
Stephen	Digue temporaire	Projet futur de renforcement de la digue	Non	4	
Twin Valley	Digue temporaire	Construction d'un canal de dérivation	Non	4	
Waubun	Digue temporaire	Construction d'un canal de dérivation	Non	4	
White Earth River Community	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	

Normes de conception de digues

1 Digue conforme aux critères fédéraux de conception de digues permanentes
2 Digue temporaire construite à l'aide des fonds fédéraux PL 99
3 Digue temporaire admise au Non-Federal Flood Control Works Program (FCWP) et conforme aux normes minimales des autorités fédérales
4 Digue construite par la localité et qui ne relève pas du FCWP

Acquisition en plus d'habitations de la zone inondable dans ces comtés (nombre de maisons entre parenthèses) :
Clay (8), Kittson (13), Marshall (2), Norman (18), Polk (16) et Roseau (2)
Digues circulaires de fermes : 82 déjà construites, 60 en construction, 42 à construire en l'an 2000, 178 à construire en l'an 2001.

Activités de réduction des dommages des inondations dans le bassin de la rivière rouge

Dakota du Nord **(mesures locales de protection autres que des mesures d'urgence)**

Localité	Mesures adoptées avant l'inondation de 1997	Mesures pendant et depuis l'inondation de 1997	Homologation par la fema	Normes actuelles de conception de digues (voir la légende)	Observations
Argusville	Réseau de digues fédérales permanentes		Oui	1	
Bois de Sioux	Digue temporaire	Mise en route d'une étude exploratoire de faisabilité d'une digue permanente	Non	4	
Casselton	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	4	
Drayton	Digue temporaire	Renforcement de la digue	Non	2	
Enderlin	Réseau de digues fédérales permanentes		Oui	1	
Fargo	Digue fédérale permanente et digues temporaires	Renforcement des digues	Oui (secteurs limités)	1/2	
Fort Ransom	Digue temporaire		Non	2	
Grafton	Digue temporaire	Autorisation réactivée d'une digue permanente	Non	2	
Grand Forks (a)	Digue fédérale permanente et digues temporaires	Renforcement des digues temporaires, acquisition d'habitations et de bâtiments commerciaux et autorisation d'une digue permanente	Non, mais autorisation pour une protection contre les crues à récurrence de 210 ans		Acquisition de 571 habitations
Grand Forks (b)	Barrage-réservoir permanent à English Coulee		Oui	1	
Harwood	Digue temporaire		Non	3	Digue séparable (3) – digue HUD
Horace	Digue temporaire		Non	2	
Lisbon	Digue temporaire		Non	2	
Kindred		Mesures correctives visant la digue temporaire et l'infrastructure anti-inondation	Non	4	
Mapleton	Digue temporaire		Non	4	
Neche	Digue temporaire	Rideau de protection et mise en route d'une étude exploratoire de faisabilité d'une digue permanente	Non	4	
Pembina	Réseau de digues fédérales permanentes	Surélévation temporaire du réseau d'endiguement permanent	Oui	1	
Reiles Acre	Digue temporaire		Non	4	

Localité	Mesures adoptées avant l'inondation de 1997	Mesures pendant et depuis l'inondation de 1997	Homologation par la fema	Normes actuelles de conception de digues (voir la légende)	Observations
Valley City	Digue temporaire		Non	2/3	Digue séparable (3)
Wahpeton	Digue temporaire	Mise en route d'une étude de faisabilité d'une digue permanente	Non	2	
West Fargo	Digue temporaire	Canal de dérivation permanent	Oui	1	

Normes de conception de digues

1 Digue conforme aux critères de conception de digues permanentes
2 Digue temporaire construite à l'aide des fonds fédéraux PL 99
3 Digue temporaire admise au Non-Federal Flood Control Works Program (FCWP) et conforme aux normes minimales des autorités fédérales
4 Digue construite par la localité et qui ne relève pas du FCWP

Il y a eu acquisition de 51 habitations dans le comté de Cass.

Manitoba

Localité	Situation lors de l'inondation de 1997	Mesures prises depuis l'inondation de 1997	Observations et dates
Aubigny	Digue temporaire	On a prévu 2 km [1,2 mille] d'endiguement pour la protection de 27 habitations et bâtiments commerciaux. Les études de faisabilité et de conception ont été négociées avec l'expert-conseil.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.
Brunkild	Digue permanente	On a renforcé les pompes et les sorties.	
Dominion City	Endiguement permanent et temporaire	On a renforcé les pompes et les sorties et on prévoit 0,5 km [0,3 mille] de nouvel endiguement et un renforcement sur 0,2 km [0,125 mille] pour la protection de 188 habitations et de 22 bâtiments commerciaux. On a mené à bien les études de faisabilité et de conception.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.
Emerson (West Lynne)	Digue temporaire	On prévoit 1,4 km [0,9 mille] d'endiguement; on a terminé les études de faisabilité et de conception et commencé à exproprier des terres.	Date incertaine de début des travaux de construction du tronçon West Lynne.
Emerson	Digue permanente	On a renforcé les pompes et les sorties.	
Glenlea	Digue temporaire	Il est convenu que les bâtiments seront individuellement admissibles aux mesures de protection contre les inondations.	Le projet proposé pour la localité ne respectait pas les critères de faisabilité économique.
Gretna	Endiguement permanent et temporaire	On prévoit 1 km [0,62 mille] d'endiguement le long de la frontière canado-américaine et 1,75 km [1,1 mille] à l'ouest de la ville pour la protection de 200 habitations et bâtiments commerciaux. On a terminé les études de faisabilité et de conception. On a commencé à faire des acquisitions pour dégager l'emprise.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.
Landmark		On prévoit améliorer le drainage pour atténuer le ruissellement.	Les autorités municipales étaient contre une digue.
Letellier	Digue permanente	On a renforcé les pompes et les sorties.	
Lowe Farm	Digue temporaire	On prévoit un digue relativement petite sur 1,6 km [1 mille] pour la protection de 100 habitations et de 7 bâtiments commerciaux. On a terminé les études de faisabilité et de conception et on a fait les acquisitions nécessaires au dégagement de l'emprise.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.
Morris	Digue permanente	On a renforcé les pompes et les sorties.	
Niverville	Digue temporaire	On prévoit 8 km [5 milles] d'endiguement pour la protection de 548 habitations et bâtiments commerciaux. On a terminé une étude de faisabilité.	Il faut le feu vert de la municipalité pour que le projet débute.
Osborne	Digue temporaire	Il est convenu que, individuellement, les bâtiments seront admissibles aux mesures de protection contre les inondations.	Le projet proposé pour la localité ne respectait pas les critères de faisabilité économique.
Riverside	Digue temporaire	On prévoit 2 km [1,25 mille] d'endiguement pour la protection de 17 habitations. On a terminé les études de faisabilité et de conception. On a commencé à faire l'acquisition de terrains.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.
Réserve indienne de la rivière Roseau	Digue permanente	On a entrepris d'ajouter à l'endiguement permanent.	On étudie les ruptures de digues et de remblais de berge.
Rosenfeld	Digue temporaire	On prévoit 2,5 km [1,5 mille] d'endiguement. On a terminé une étude de faisabilité et les travaux de conception sont finis pour l'essentiel. On a commencé à faire l'acquisition de terrains.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.

Localité	Situation lors de l'inondation de 1997	Mesures prises depuis l'inondation de 1997	Observations et dates
Rosenort	Endiguement permanent et temporaire	On prévoit une dérivation de la rivière Morris du côté ouest de ville et 16 km [10 milles] d'endiguement des trois autres côtés pour la protection de 146 habitations et bâtiments commerciaux. Les derniers travaux de conception sont finis pour l'essentiel. On a commencé à faire l'acquisition de terrains.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.
Dérivation de la rivière Seine le long de la route principale provinciale 1E	Digues temporaires	On a terminé une étude de faisabilité du canal de dérivation.	Début des travaux de construction prévu pour 2000 ou 2001.
Sud du défluent de crue de la rivière Rouge	Digue temporaire	On prévoit 12 km [7,2 milles] d'endiguement et un canal de dérivation de la rivière Seine vers le défluent de crue de la rivière Rouge pour la protection de 204 habitations et de 28 bâtiments commerciaux. Des ententes ont été négociées avec les partenaires municipaux. On a mené à bien des travaux de conception pour un tronçon de la route principale provinciale 59 là où elle fait partie du réseau d'endiguement.	Les travaux de construction devraient débuter à l'été 2000 sur le tronçon de la RPP 59 qui forme le côté est de la digue de Grande Pointe.
St. Adolphe	Digue permanente	On a renforcé les pompes et les sorties.	
St. Jean Baptiste	Digue permanente	On a renforcé les pompes et les sorties.	
St. Pierre-Joly	Endiguement permanent et temporaire	On prévoit 0,3 km [0,2 mille] de nouvel endiguement, un renforcement d'endiguement sur 0,8 km [0,48 mille] et de la station de pompage pour la protection de 21 habitations et de 3 bâtiments commerciaux. On a terminé les études de faisabilité et de conception.	Les acquisitions de terrains sont prévues pour l'hiver; les travaux de construction devraient commencer en l'an 2000 ou 2001.
Ste. Agathe	Digue temporaire	On a terminé les études de faisabilité et de conception et commencé à faire l'acquisition de terrains et à construire sur 13,5 km [8,4 milles] une digue permanente pour la protection de 134 habitations et bâtiments commerciaux.	La construction de la digue devrait commencer en l'an 2000 ou 2001 à la Pembina Trail [route], là où elle fera partie de la digue projetée.

Annexe 4

STOCKAGE DES EAUX DANS LE BASSIN DE LA RIVIÈRE ROUGE (ÉTATS-UNIS)[1]

Stockage des eaux dans le bassin de la rivière Rouge : Minnesota

Minnesota **(ouvrages en place de retenue des eaux de crue lors de l'inondation de 1997)**

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Frazee	Becker	Village de Frazee	Rivière Otter Tail	25
Lac Melissa	Becker	Ville de Detroit Lakes	Rivière Pelican	3 660
Lac Little Bemidji	Becker	État du Minnesota	Rivière Otter Tail	832
Lac Little Toad	Becker	DNR	Rivière Toad	1 700
Lac Many Point	Becker	DNR	Rivière Otter Tail	4 800
Lac Round	Becker	DNR	Rivière Otter Tail	3 500
Lac Height Of Land	Becker	DNR	Rivière Otter Tail	12 000
Amer Froysland	Becker	Amer Froysland U	Rivière Buffalo	730
Étang Nelson	Becker	August Nelson	affluent de la rivière Buffalo	-
Lac Marshall	Becker	Comté de Becker	rivière non désignée	37
Secteur Koenig & Elton F	Becker	Elton And Koenig	Rivière Buffalo	116
Amer Froysland F	Becker	Amer Froysland	Affluent de la rivière Buffalo	-
Étang Lehman	Becker	Gary Lehman	Affluent de la rivière Otter Tail	-
Hamden Gun Club	Becker	Hamden Gun Club	Affluent de la rivière Buffalo	-
Étang Kath-2	Becker	Ted Kath	Affluent de la rivière Buffalo	117
Lac Town	Becker	État du Minnesota		558
South Branch Wild Rice Upper	Becker	Wild Rice Watershed Dist	Rivière Wild Rice-branche sud	2 400
Lac Stinking	Becker	Buffalo Red Watershed	Ruisseau Hay	6 748
South Branch Wild Rice Lower	Becker	Wild Rice Watershed Dist	Rivière Wild Rice-branche sud	2 205
Lac Long	Becker	État du Minnesota	Affluent de la rivière Pelican	970
Étang Hubbel	Becker	État du Minnesota	Rivière Otter Tail	1 280
Barrage de dérivation du lac Cotton	Becker	État du Minnesota	Rivière Otter Tail	1 280
Écluses et barrage du lac Muskrat	Becker	Ville de Detroit Lakes	Lac Muskrat	50
Lac White Re	Becker	DNR-Dow	Rivière White Re	4 150
Lac Stakkelhouse	Becker	R.Greggerson & S.C.Peterso	Affluent de la rivière Pelican	10
Amer Froysland-New F	Becker	Amer Froysland		28
Rivière Mud	Beltrami	Red Lake Fisheries Assoc	Rivière Mud	50
Rivière Moose	Beltrami	Red Lake Wsd	Rivière Moose	48 000
Rizières Forster	Beltrami	Douglas Forster	Ruisseau Rustad	350
Dry Sand Lake Wma	Cass	État du Minnesota	Ruisseau Farnham-Lat 4 Jd 7	875
Lac Girl	Cass	État du Minnesota	Rivière Boy	1 159

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Lagune Moorhead	Clay	Municipalité de Moorhead	Affluent de la rivière Rouge	30
Parc d'État de la rivière Buffalo	Clay	DNR-Parks	Rivière Buffalo	50
Bassin Buffalo-Rouge	Clay		Ruisseau Hay	3 000
Projet 8 Buffalo-Rouge	Clay	Buffalo Red Watershed	Ruisseau Stony	2 840
Projet 5 Buffalo-Rouge	Clay		Ruisseau Spring	496
Ganz	Clay	Paul Horn Farms Inc.	Rivière Buffalo-branche sud	-
Clearwater	Clearwater	État du Minnesota	Rivière Clearwater	7 793
Lac Rice supérieur	Clearwater	État du Minnesota	Rivière Wild Rice	3 720
Ferdi Anderson F Pond	Clearwater	Ferdi Anderson	Affluent de la rivière Clearwater	20
Little Pine Wma	Clearwater	DNR-F	Affluent de la rivière Lost	600
Ouvrage de retenue Abraham	Clearwater	Roy Abraham	Affluent de la rivière Lost	50
Barrage du lac Red inférieur	Clearwater	Cemvp	Rivière Red Lake	884 000
Lac Long	Douglas	État du Minnesota	Rivière Chippewa	615
Lac Stowe	Douglas	État du Minnesota	Rivière Chippewa	1 095
Lac Albert	Douglas	État du Minnesota	Rivière Chippewa	195
Rivière Mustinka	Grant	État du Minnesota	Rivière Mustinka	600
Lac Barrett	Grant	Village de Barrett	Rivière Pomme De Terre	1 016
Zone humide de Giese	Grant	Walter Giese	Bassin Mustinka-exc.	167
Lac Bronson	Kittson	État du Minnesota	Two Rivers-branche sud	2 300
Two Rivers	Kittson	État du Minnesota	Two Rivers- branche sud	25
Joe River Watershed F	Kittson	Joe River Watershed Dist	Affluent de la rivière Joe	47
State Ditch #90	Kittson	DNR-Game&Fish	Affluent Two Rivers-branche sud	-
Red River Drayton	Kittson	Municipalité de Drayton (Dakota du Nord)	Rivière Red Of The North	8 197
Rivière Roseau	Lake Of The Woods	État du Minnesota	Rivière Roseau	40
Lac Beaulieu	Mahnomen	Mahnomen Co	Affluent du ruisseau Marsh	70
Lac Frog	Mahnomen	État du Minnesota	Ruisseau Marsh	340
Marsh Creek 3	Mahnomen	Wild Rice Watershed Dist	Affluent du ruisseau Marsh	345
Rivière Middle	Marshall	État du Minnesota	Rivière Middle	75
Old Mill State Park	Marshall	État du Minnesota	Rivière Middle	49
Étang East Park Wma	Marshall	Marshall Co. Swcd	Jd #19	5 160
Lac Elm	Marshall	DNR-F	Affluent de la rivière Thief	15 000
Eckvoll Wma	Marshall	DNR-F	J Ditch 11	2 500
Lost River Pool	Marshall	DNR-F	Rivière Lost	9 500
R1 Structure-rivière Tamarac	Marshall	Marshall County Swcd	Tamarac	1 123
Rivière Wild Rice	Norman	Wild Rice Watershed Dist	Rivière Wild Rice	50
Faith	Norman	Faith Flour Mill	Rivière Wildrice	50
Étang Green Meadow Group	Norman	East Agassig Swcd	Branche sud-Spring	1 584
Olson-Agasiz	Norman	Wild Rice Watershed Dist	Affluent de la rivière Spring	-

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Habedank-Skaurud	Norman	Norman Co	Affluent de la rivière Wild Rice	190
Barrage 3 du ruisseau Mashaug	Norman	Comté de Norman	Affluent de la rivière Wild Rice	404
Rockwell	Norman	Comté de Norman	Affluent Wild Rice-branche sud	271
Sunny Hill-Upper	Norman	Norman Co	Affluent de la rivière Wild Rice	175
Sunny Hill-Lower	Norman	Comté de Norman	Affluent de la rivière Wild Rice	107
Lac Blanche	Otter Tail	État du Minnesota	Affluent de la rivière Otter Tail	4 100
Lac Little Pine	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Otter Tail	4 200
Lac Big Pine	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Otter Tail	14 460
Lac Rush	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Otter Tail	26 015
Lac Otter Tail	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Otter Tail	51 200
Rivière Otter Tail	Otter Tail	Otter Tail Co	Rivière Otter Tail	340
Dead Lake West	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Dead	23 124
Lac Mcdonald	Otter Tail	État du Minnesota	Affluent de la rivière Dead	2 694
Lac Pelican	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Pelican	8 300
Lac Lizzie	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Pelican	11 703
Lac Prairie	Otter Tail	État du Minnesota	Rivière Pelican	6 150
Rivière Pelican	Otter Tail	Warren B. Diedrich	Rivière Pelican	10
Pelican Rapids	Otter Tail	Municipalité de Pelican Rapids	Rivière Pelican	50
Dead Lake East	Otter Tail	État du Minnesota	C.D. 28	23 124
Réservoir-barrage Orwell	Otter Tail	Cemvp	Rivière Otter Tail	12 550
Barrage Jorgenson	Otter Tail	Dell Jorgenson	Affluent de la rivière Pelican	14
Estlick Wildlife Wetland Development	Otter Tail	Wallace Wifall	Affluent de la rivière Pelican	110
Kugler Structure	Otter Tail	Al Kugler	Affluent de la rivière Wing	57
Lac Hoot	Otter Tail	Otter Tail Power Company	Otter Tail	99
Friberg (Taplin Gorge)	Otter Tail	Otter Tail Power Company	Otter Tail	1 500
Central (Wright)	Otter Tail	Otter Tail Power Company	Otter Tail	100
Pisgah	Otter Tail	Otter Tail Power Co	Otter Tail	50
Barrage Dayton Hollow	Otter Tail	Otter Tail Power Company	Otter Tail	1 500
Thief River Falls	Pennington	Municipalité de Thief River Falls	Lac Red	-
Grand Forks East	Polk	East Grand Forks	Lac Red River	20
Nielsville	Polk	Robert Brekke Sr	Affluent de la rivière Rouge	25
Rivière Red Lake	Polk	Otter Tail Power Co	Rivière Red Lake	50
East Grandforks	Polk	Municipalité d'East Grand Forks	Rivière Rouge	50
Lac Sand Hill	Polk	État du Minnesota	Rivière Sand Hill	976
Lac Hill River	Polk	État du Minnesota	Rivière Hill	160
Oak Lake Outlet	Polk	Comté de Polk	Co Ditch 85	712
Rivière Sand Hill	Polk	Propriétaire inconnu	Rivière Sand Hill	40

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Lac Maple	Polk	Comté de Polk	Ruisseau Cyr	8 480
Étang Brekke	Polk	Robert Brekke Sr	Affluent de la rivière Red	120
Sand Hill No. 2	Polk	Sand Hill River Wsd	Affluent de la rivière Sand Hill	698
Étang Seeger Group	Red Lake	Walter Seeger	Affluent de la rivière Red Lake	239
Rivière Black	Red Lake	Red Lake Wsd	Rivière Black	4 900
Barrage Miller Wildlife	Red Lake	Miller	Affluent de la rivière Clearwater	155
Lac Hayes	Roseau	État du Minnesota-Parks	Roseau	760
Ruisseau Hansen	Roseau	DNR-F	Ruisseau Hansen	130
Nereson Wma	Roseau	DNR-F	Affluent Two Rivers-branche sud	3 800
Roseau River Wldlf Mngmnt Area Pool 3	Roseau	État du Minnesota-F	Affluent de la rivière Roseau	5 600
Roseau River Wldlf Mngmnt Area Pool 2	Roseau	État du Minnesota-F	Affluent de la rivière Roseau	5 800
Roseau River Wldlf Mngmnt Area Pool 1	Roseau	État du Minnesota-F	Canal de dérivation du ruisseau Pine	4 400
Brown's Valley	Traverse	Cemvp	Bassin Bois de Sioux-Minnesota	-
Barrage de White Rock	Traverse	Cemvp	Bois de Sioux	89 000
Lac Breckenridge	Wilkin	Municipalité de Breckenridge	Rivière Otter Tail	696
Total				**1 369 780**

1 Bien que le barrage du lac Red inférieur offre une capacité de stockage d'eaux de crue de jusqu'à 2 218 000 acres-pieds (niveau maximum de réservoir), une analyse réaliste d'exploitation indique une capacité de 884 000 acres-pieds seulement, dont 365 000 ont été utilisées pendant l'inondation de 1997.

Stockage des eaux dans le bassin de la rivière Rouge : Dakota du Nord

Dakota du Nord (ouvrages en place de retenue des eaux de crue lors de l'inondation de 1997)

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Barrage Hansen	Barnes	Barnes Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	24
Barrage Valley City Park	Barnes	Municipalité de Valley City	Rivière Sheyenne	56
Barrage Berckerley	Barnes	Barnes Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	25
Barrière Valley City Mill	Barnes	Valley City Mun Utility	Affluent de la rivière Sheyenne	186
Barrage Cuba	Barnes	Barnes Co Wrd	Affluent Sheyenne-Maple	40
Barrage Heinze	Barnes	Barnes Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	165
Barrage Anderson-Lawrence	Barnes	Gale Eggart	Affluent de la rivière Sheyenne	47
Barrage Triebold-Vernon	Barnes	Barnes Co Wrd	Bassin Sheyenne-Maple	16
Barrage Schug-Frank 1	Barnes	Virgil Etzell	Affluent de la rivière Sheyenne	64
Barrage Thoreson-Monson	Barnes	Propriétaire privé	Affluent de la rivière Sheyenne	22
Barrage Stevens-Joe	Barnes	Joe Stevens	Affluent de la rivière Sheyenne	64
Barrage Kathryn	Barnes	Barnes Co Wrd	Rivière Sheyenne	-
Barrage Dazey	Barnes	Barnes Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	88
Barrage Clausen Springs	Barnes	Barnes Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	635
Barrage Berger	Barnes	Barnes Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	-

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Barrage Brown	Barnes	Barnes Co Wrd	Rivière Sheyenne	77
Barrage Blumer-Oscar	Barnes	Oscar Blumer	Affluent de la rivière Sheyenne	47
Barrage Olson-Oscar	Barnes	Oscar Olson	Affluent de la rivière Sheyenne	27
Tomahawk	Barnes	Doi Fws	Affluent sans nom de la rivière Sheyenne	392
Baldhill	Barnes	Cemvp	Rivière Sheyenne	86 500
Barrage Bouret	Benson	Benson Co Wrd	Rivière Sheyenne	-
Barrage Studeness-Leo	Benson	Leo Studeness	Ruisseau Mauvais Coulee	380
Marais Wood Lake	Benson	Doi Fws	Affluent sans nom du lac Devils	244
Elm-3	Cass	Rush River Wmd	Rivière Elm	1 021
Sb-12	Cass	Rush River Wmd	Ruisseau Swan	1 483
Sb-5	Cass	Maple River Wmd	Affluent du ruisseau Buffalo	2 124
Sb-8	Cass	Maple River Wmd	Ruisseau Buffalo	4 195
Barrage Brownlee	Cass Maple River	Maple River Wrd	Rivière Maple	136
Nd No Name 227	Cass Maple River	Maple River Wrd	Rivière Maple	56
Barrage de la rivière Maple (T-180)	Cass Maple River	Maple River Wrd	Affluent Sheyenne-Maple	2 890
Magnolia Dam & State Gma	Cass Maple River	North Dakota Game & Fish Dept	Affluent Sheyenne-Maple	231
Barrage Hunter	Cass North	City Of Hunter	Affluent de la rivière Rouge	321
Barrage Erie	Cass Rush River	Rush River Wrd	Rivière Rush	1 400
Barrage de dérivation de la rivière Sheyenne	Cass Southeast	Se Cass Co Wrd	Rivière Sheyenne	315
Barrage n° 3 à Fargo	Cass Southeast	Municipalité de Fargo	Rivière Rouge	204
Barrage Midtown	Cass Southeast	Municipalité de Fargo	Rivière Rouge	743
Nord Dam 12e avenue à Fargo	Cass Southeast	Municipalité de Fargo	Rivière Rouge	-
Barrage n° 2 à Fargo	Cass Southeast	Municipalité de Fargo	Rivière Rouge	390
Nd No Name 224	Cass Southeast	Se Cass Co Wrd	Rivière Wild Rice	100
Barrage Seim-Johnny	Cavalier	John Seim	Affluent de la rivière Park	-
Barrage Senator Young	Cavalier	Pembina Co Wrd	Rivière Tongue	5 524
Barrage Olga	Cavalier	Pembina Co Wrd	Affluent de la rivière Tongue	931
Barrage Bourbanis	Cavalier	Pembina Co Wrd	Affluent de la rivière Tongue	1 428
Barrage Mount Carmel	Cavalier	Cavalier Co Wrd	Aflluent de la rivière Pembina	2 375
Mbpr-10	Cavalier	Cavalier Wmd	Affluent de la rivière Park-branche centrale	2 058
Mbpr-9	Cavalier	Walsh Wmd	Affluent de la rivière Park-branche centrale	2 542
T-3-5	Cavalier	Pembina Wmd	Affluent de la rivière Tongue	243
Barrage Sheyenne	Eddy	Eddy Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	-
Barrage Warsing	Eddy	Nd Game & Fish Dept	Affluent de la rivière Sheyenne	670
Barrage Warwick	Eddy	Eddy Co Wrd	Rivière Sheyenne	-
Barrage Torrison-George	Eddy	George Torrison	Rivière Sheyenne	108

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Barrage nº 1 McHenry	Foster	Foster Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	-
Upper Turtle R.Fld.Ret.#1	Grand Forks	Grand Forks&Nelson Co Wrd	Affluent de la rivière Turtle	4 725
Barrage Halverson-Vernon	Grand Forks	Vernon Halverson	Affluent de la rivière Goose	-
Upper Turtle R.Fld.Ret.#5	Grand Forks	Grand Forks Co Wrd	Affluent de la rivière Turtle	1 748
Upper Turtle R.Fld.Ret.#9	Grand Forks	Grand Forks Co Wrd	Affluent de la rivière Turtle	9 587
Barrage no 1 Niagara Rr	Grand Forks	Municipalité de Niagara	Affluent de la rivière Turtle	89
Grand Forks Riverside Prk	Grand Forks	Municipalité de Grand Forks	Rivière Rouge	-
Barrage nº 2 Niagara Twp.	Grand Forks	Grand Forks Co Wrd	Affluent de la rivière Turtle	122
Jonkholding Pd Cornelis 3	Grand Forks	Cornelis Jonk	Affluent de la rivière Forest	-
Jonkholding Pd Cornelis 1	Grand Forks	Cornelis Jonk	Affluent de la rivière Forest	-
Jonkholding Pd Cornelis 4	Grand Forks	Cornelis Jonk	Affluent de la rivière Forest	-
Bassin de la rivière Turtle	Grand Forks	Grand Forks Co Wrd	Affluent de la rivière Turtle	1 922
Barrage d'English Coulee	Grand Forks	Grand Forks Co Wrd	Affluent de la rivière Rouge	28 908
Barrage Earl-Douglas	Grand Forks	Douglas Earl	Affluent de la rivière Turtle	281
Grand Forks Co. Com. #1	Grand Forks	Grand Forks County Comm.	Affluent de la rivière Turtle	225
Little Goose	Grand Forks	Doi Fws	Rivière Little Goose	276
Barrage Anderson	Grand Forks	Enoch Thorsgaard	Affluent de la rivière Fresh Water Coulee	69
Msbfr-4	Grand Forks	Walsh Wmd	Rivière Forest-branche sud	8 480
Ut-2	Grand Forks	Grand Forks Wmd	Affluent de la rivière Turtle-branche nord	1 253
Ut-6	Grand Forks	Grand Forks Wmd	Affluent de la rivière Turtle-branche sud	1 906
Ut-7	Grand Forks	Grand Forks Wmd	Affluent de la rivière Turtle-branche sud	1 394
Ut-8	Grand Forks	Grand Forks Wmd	Affluent de la rivière Turtle-franche sud	1 130
Barrage Carlson-Tande	Griggs	Griggs Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	80
Barrage Ueland	Griggs	Municipalité de Cooperstown	Rivière Sheyenne	142
Nd No Name 295	Griggs	Griggs Co Wrd	Rivière Sheyenne	-
Barrage Whitman	Nelson	Walsh Co Wrd	Affluent de la rivière Forest	7 979
Barrage Mcville Railroad	Nelson	North Dakota Dept of Transportation	Affluent de la rivière Sheyenne	344
Barrage Sarnia	Nelson	Nelson Co Wrd	Affluent de la rivière Forest	1 609
Barrage nº 1 Tolna	Nelson	Nelson Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	1 053
Barrage Gronaas-Clemet	Nelson	Clemet Gronaas	Rivière Sheyenne	91
Barrage Edsrud-Myron	Nelson	Myron Edsrud	Affluent de la rivière Sheyenne	-
	Nelson	Osborne Galde	Affluent de la rivière Sheyenne	23
Barrage Olson	Pembina	Pembina Co Wrd	Affluent de la rivière Tongue	1 016
Barrage Renwick	Pembina	Pembina Co Wrd	Pembina-Tongue	7 174
Barrage Herzog	Pembina	Pembina Co Wrd	Affluent de la rivière Tongue	1 956
Barrage de Cavalier	Pembina	Municipalité de Cavalier	Rivière Tongue	47
Barrage de Drayton	Pembina	Municipalité de Drayton	Rouge-Os	8 197
Barrage de Pembina	Pembina	Municipalité de Pembina	Rivière Pembina	37
Barrage d'alimentation en eau de Crystal	Pembina	Municipalité de Crystal	Affluent de la rivière Park	283
Barrage de Neche	Pembina	Municipalité de Neche	Rivière Pembina	15
Bassin de retenue G L D Farms	Pembina	G L D Farms	Affluent de la rivière Park	-
Bassin de retenue Estad-Loren	Pembina	Loren Estad	Affluent de la rivière Park	2

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
T-2-2	Pembina	Pembina Wmd	Affluent de la rivière Tongue	2 995
T-2-4	Pembina	Pembina Wmd	Affluent de la rivière Tongue	2 186
T-8-1	Pembina	Pembina Wmd	Affluent de la rivière Tongue	1 063
Willow Creek-1	Pembina	Pembina Wmd	Ruisseau Willow	444
Barrage Balta	Pierce	Pierce Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	65
Barrage Fort Ransom	Ransom	Ransom Co Wrd	Rivière Sheyenne	291
Barrage Enderlin Park	Ransom	Enderlin Park Board	Bassin Sheyenne-Maple	15
Barrage Soldiers Home	Ransom	North Dakota Soldiers Home	Rivière Sheyenne	143
Barrage Lisbon	Ransom	Municipalité de Lisbon	Rivière Sheyenne	239
Barrage Dead Colt Creek	Ransom	Ransom Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	6 693
Mirror Pool Wma #2	Ransom	North Dakota Game & Fish Dept	Affluent de la rivière Sheyenne	114
Mirror Pool Wma #3	Ransom	North Dakota Game & Fish Dept	Affluent de la rivière Sheyenne	47
Mirror Pool Wma #4	Ransom	North Dakota Game & Fish Dept	Affluent de la rivière Sheyenne	41
Barrage Hanson	Richland	Richland Co Wrd	Rivière Wild Rice	-
Barrage Christine	Richland	Municipalité de Fargo	Rivière Rouge	175
Barrage Heley-Howard	Richland	Howard Heley	Rivière Wild Rice-Os	37
Barrage 1 Richland Co Wdr Dry	Richland	Richland Co Wrb	Rivière Wild Rice	347
Barrage Charbonneau	Rolette	Rolette Co Wrd	Affluent de la rivière Pembina	151
Nd No Name 247	Rolette	Rolette Co Wrd	Affluent de la rivière Pembina	144
Barrage Wakopa	Rolette	North Dakota Game & Fish Dept	Affluent de la rivière Pembina	230
Barrage Silver Lake	Sargent	Sargent Co Wrd	Rivière Wild Rice	533
North Bay	Sargent	Doi Fws	Rivière Wild Rice	9 120
Cutler	Sargent	Doi Fws	Rivière Wild Rice	1 208
Maka Pool	Sargent	Doi Fws	Rivière Wild Rice	572
River Pool	Sargent	Doi Fws	Rivière Wild River	399
Ws-T-1-A	Sargent	Sargent Wmd	Affluent de la rivière Wild Rice	2 399
Ws-T-2	Sargent	Sargent Wmd	Affluent de la rivière Wild Rice	1 775
Ws-T-7	Sargent	Sargent Wmd	Affluent de la rivière Wild Rice	371
Barrage Howey-Robert L	Sheridan	Robert L Howey	Affluent de la rivière Sheyenne	14
Barrage 2 Blabon	Steele	Steele Co Wrd	Affluent de la rivière Goose	192
Barrage Greenview	Steele	Steele Co Wrd	Affluent de la rivière Sheyenne	198
Barrage Sussex	Steele	Steele Co Wrd	Bassin Sheyenne-Maple	1 440
Barrage Beaver Creek (Bc-20)	Steele	Steele Co Wrd	Affluent de la rivière Goose	6 250
Barrage Golden Lake	Steele	Ndgfd & Ndswc	ffluent de la rivière Goose	-
Barrage Rush Lake	Steele	Steele Co Park Board	Affluent de la rivière Goose	-
Elm-1	Steele	Steele Wmd	Rivière Elm	5 741
Barrage Armourdale	Towner	North Dakota Game & Fish Dept	Affluent de la rivière Pembina	1 039
Barrage Big Coulee	Towner	Bisbee & Towner Co Wrd	Affluent de la rivière Mauvais Coulee	2 880
Hurricane Lake Joint Wrd1	Towner	Hurricane Lake Joint Wrd	Rivière Mauvais Coulee	-
Bassin de retenue Belzer-Terry 1	Towner	Terry Belzer	Affluent de la rivière Mauvais Coulee	20

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Bassin de rentenue Belzer-Terry 2	Towner	Terry Belzer	Affluent de la rivière Mauvais Coulee	20
Snyder Lake	Towner	Doi Fws	Rivière Mauvais	946
Barrage Hillsboro	Traill	Municipalité d'Hillsboro	Rivière Goose	95
Barrage 2 de Mayville	Traill	Municipalité de Mayville	Rivière Goose	42
Barrage de Portland	Traill	Municipalité de Portland	Rivière Goose	99
Barrage Augustadt	Traill	Traill Co Wrd	Rivière Elm	5 572
Barrage Spokely	Traill	Spokely Brothers	Affluent de la rivière Rouge	130
Barrage de Minto	Walsh	Municipalité de Minto	Rivière Forest	18
Barrage Adams	Walsh	Propriétaire privé	Affluent de la rivière Park	47
Barrage Matejcek	Walsh	Walsh Co Wrd	Affluent de la rivière Forest	6 253
Barrage Vigness	Walsh	Municipalité de Grafton	Affluent de la rivière Park	200
Barrage Chyle	Walsh	Walsh Co Wrd	Affluent de la rivière Forest	1 405
Barrage Grafton Rr	Walsh	Municipalité de Grafton	Rivière Park	-
Bassin de retenue Jonk-Cornelis 2	Walsh	Cornelis Jonk	Affluent de la rivière Forest	-
Barrage Gustafson-Curtis	Walsh	Curtis Gustafson	Affluent de la rivière Park	51
Digue nº 5 Walsh Co Wrd	Walsh	Walsh Co Wrd	Rivière Park	5 312
Ardoch	Walsh	Doi Fws	Rivière Forest	9 691
Barrage Homme	Walsh	Cemvp	Rivière Park-branche sud	3 450
Mbpr-6	Walsh	Walsh Wmd	Affluent de la rivière Park-branche centrale	721
Mbpr-8	Walsh	Walsh Wmd	Rivière Park-branche centrale	3 484
Nbfr-1	Walsh	Walsh Wmd	Rivière Forest-branche nord	5 112
Nbfr-3	Walsh	Walsh Wmd	Affluent de la rivière Forest-branche nord	2 120
Nbfr-5	Walsh	Walsh Wmd	Affluent de la rivière Forest-branche nord	1 069
North Salt Lake	Walsh	Walsh Wmd	Ruisseau Willow	1 050
Barrage Harvey	Wells	North Dakota Dept of Transportation	Rivière Sheyenne	5 309
Total				**314 517**

Stockage des eaux dans le bassin de la rivière Rouge : Dakota du Sud

Dakota du Sud (ouvrages en place de retenue des eaux de crue lors de l'inondation de 1997)

Ouvrage	Comté	Propriétaire	Cours d'eau	Stockage des eaux de crue (acres-pieds)
Barrage White Lake	Marshall	Gf&P	Ruisseau Wild Rice	1 490
Digue 7 du bassin du ruisseau Wild Rice	Marshall	Wild Rice Creek Watershed District	Affluent du ruisseau Wild Rice	212
Digue 5 du bassin du ruisseau Wild Rice	Marshall	Wild Rice Creek Watershed District	Affluent du ruisseau Wild Rice	242
Digue 2 du bassin du ruisseau Wild Rice	Marshall	Wild Rice Creek Watershed District	Affluent du ruisseau Wild Rice	758
Barrage Englund	Roberts	Lloyd Englund	Affluent du lac Traverse	66
Total				**2 768**

1 National Inventory of Dams. 1999. U.S. Army Corps of Engineers, Dam Safety Team, CECW-EP-S 20, av. Massachusetts nord-ouest, Washington D.C. 20313-1000 (http://crunch.tec.army.mil/nid/webpages/nidwelcome.cfm).

Annexe 5

RAPPORT PROVISOIRE DU GROUPE DE TRAVAIL INTERNATIONAL SUR LE BASSIN DE LA RIVIÈRE ROUGE

Crues de la rivière rouge : mesures à court terme

À la suite des crues dévastatrices de 1997 dans le bassin de la rivière Rouge, les gouvernements du Canada et des États-Unis ont demandé à la Commission mixte internationale (CMI) d'étudier les causes et les effets des crues du bassin et de leur remettre un rapport provisoire à ce sujet d'ici la fin de 1997. Le 31 décembre 1997, la CMI présentait dans ce rapport destiné aux autorités canadiennes et américaines des mesures provisoires à court terme de préparation à d'éventuelles inondations. Ce rapport provisoire mettait en garde contre toute négligence en faisant observer que de grandes crues pouvaient se produire en tout temps. Il renferme 40 recommandations concernant la prévision des crues, l'amélioration de la surveillance des inondations, les mesures d'urgence, la planification, les problèmes écologiques et la gestion de plaine inondable (zonage, mesures législatives et mesures d'application).

La CMI a prié le Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge de rendre compte des mesures prises par les autorités dans les domaines visés par ces 40 recommandations. Le Groupe de travail a présenté des rapports de situation en juillet 1998 et en avril 1999. Les données du dernier de ces rapports ont été mis à jour, et on peut les consulter au site Web du Groupe de travail à http://www.ijc.org/boards/rrbtf.html.

Le Groupe est heureux d'annoncer que les diverses autorités compétentes déclarent avoir pris des mesures dans presque tous les domaines visés par les recommandations.

Recommandations du rapport provisoire

Inondations futures

1. La population du bassin de la rivière Rouge devrait être avisée que malgré un intervalle de récurrence de 100 à 500 ans, selon les endroits, il existe une probabilité statistique qu'une inondation d'une ampleur comparable à celle de 1997 se produise chaque année. La préparation à la lutte contre l'inondation doit faire partie intégrante de la vie des habitants de la vallée de la rivière Rouge. En d'autres termes, une inondation comme celle de 1997 ou pire encore peut survenir n'importe quelle année.

Examen des politiques relatives aux inondations

2. Une rencontre des hauts fonctionnaires fédéraux et provinciaux canadiens et des hauts fonctionnaires du gouvernement fédéral américain et des États devrait être organisée dans chaque pays afin d'entamer les discussions concernant les politiques et l'examen des circonstances entourant l'inondation de 1997. On devrait accorder une attention toute particulière à l'application des éléments positifs de la planification et de la gestion des mesures de lutte contre l'inondation de 1997 aux événements futurs dans toute la vallée de la rivière Rouge.

3. Le renforcement de la liaison régulière entre les organisations de gestion de mesures d'urgence dans tout le bassin devrait être une priorité en vue de mieux saisir le mode de fonctionnement de chaque organisation en situation d'urgence.

4. Au cours d'une inondation, des agents de liaison canadiens devraient être présents dans les centres américains de lutte contre les inondations afin de relayer immédiatement l'information pertinente au Manitoba.

Prévision des crues

5. Il faudrait mettre à jour et perfectionner les modèles de prévision existants en fonction des données et de l'expérience acquises en 1997 en mettant l'accent sur les améliorations que l'on peut apporter aux prévisions à l'échelon du bassin avant la saison de 1998. De façon plus particulière, on devrait prolonger les courbes hauteur-débit et ce, dans les plus brefs délais.

6. On devrait examiner les répercussions possibles d'El Niño sur les conditions météorologiques en 1998.

7. Tous les organismes chargés de la prévision des inondations devraient disposer en tout temps d'un nombre suffisant d'employés expérimentés en service.

Diffusion des prévisions de crues à la population

8. On devrait simplifier et clarifier les communications entre les prévisionnistes des crues et les personnes chargées des mesures d'urgence à l'échelle locale dans tout le bassin. La diffusion de données de prévision au public par la voie des médias doit être simple et les variables inhérentes à ces prévisions doivent être faciles à comprendre.

Gestion de la plaine inondable

9. Le gouvernement provincial du Manitoba et les municipalités touchées devraient passer en revue toutes les mesures législatives concernant la zone inondable désignée et les dispositions en matière de zonage dans le but de donner une portée plus large aux options visant à faire appliquer la loi. On devrait établir dès que possible un programme complet obligeant les autorités à procéder à des inspections et à faire appliquer la loi avec diligence. Une fois ce programme en place, les nouvelles structures non conformes ne seraient plus admissibles au programme d'assurance-inondation.

10. Aux États-Unis, l'adhésion plus stricte et immédiate aux politiques actuelles est une première étape nécessaire et efficace pour une meilleure gestion de la plaine inondable. On devrait insister sur la participation accrue au programme d'assurance-inondation.

11. Il faudrait mettre à jour les profils, les cartes et les courbes de fréquence des inondations pour le bassin de la rivière Rouge.

Mesures structurelles

12. On devrait poursuivre aussi rapidement que possible l'application des plans de mise en œuvre de mesures visant à atténuer les dommages dus aux inondations et à protéger les particuliers et les collectivités contre l'inondation, à la condition que ces plans soient raisonnables, compte tenu des aspects économique, environnemental, technique et social. Toutes les mesures du genre, qu'il s'agisse d'initiatives gouvernementales ou individuelles, devraient être coordonnées et examinées en vue de déterminer les dommages possibles dans d'autres secteurs du bassin.

Coordination

13. Une entente devrait être conclue entre les États-Unis et le Canada afin de permettre une planification et une gestion intégrées de la protection civile tenant compte des accords commerciaux en vigueur entre les deux pays et qui prévoirait notamment le transfert transfrontalier de fournitures, d'équipement et de services contractuels, ainsi que des travailleurs en cas d'urgence. Cette entente devrait examiner la possibilité d'établir des accords régionaux plus précis, notamment des protocoles entre les états et les provinces.

14. Le Dakota du Nord et le Minnesota devraient revoir les accords sur les mesures d'urgence à la lumière de l'expérience acquise lors de l'inondation de 1997.

15. Un comité de prévision des crues pour tout le bassin, constitué selon le modèle du Souris River Flood Forecasting Liaison Committee, devrait être établi pour le bassin de la rivière Rouge.

16. Aux États-Unis, où les activités régionales d'organismes fédéraux sont divisées par la rivière Rouge, une région responsable devrait être désignée chef-lieu des mesures d'urgence lorsqu'une inondation est prévue.

Plans d'urgence en cas d'inondation

17. Tous les plans d'urgence en cas d'inondation dans le bassin devraient être examinés à la lumière des leçons tirées de l'inondation de 1997 en vue d'une préparation plus efficace aux crues futures.

18. Chaque instance assumant des responsabilités liées à l'évacuation dans le bassin devrait intégrer un protocole d'évacuation à ses plans d'intervention en situation d'urgence. Il faudrait porter une attention particulière à la clarté des protocoles d'intervention et à leur diffusion dans le public afin d'éviter la confusion en cas d'évacuation. Les plan d'évacuation touchent différemment les divers segments de la population et doivent prendre en compte les besoins particuliers des groupes vulnérables, notamment des résidents de maisons de repos.

Communications d'urgence

19. On devrait établir suffisamment de centres de renseignements qui seraient accessibles avant et pendant l'inondation au moyen de lignes directes (1-800) ou d'autres numéros de téléphone sans frais diffusés partout dans la région et qui fourniraient les renseignements importants aux résidents de la zone inondée avant, pendant et après la crue. Il importe d'accroître les possibilités d'accès au réseau Internet, surtout dans les petites localités et les zones rurales.

Impacts sur les humains

20. Les équipes chargées de la gestion des situations d'urgence traumatisantes, des mesures d'urgence et de la prise de décisions relatives aux personnes devraient demeurer en place jusqu'à ce que la demande de services en ce sens diminue suffisamment.

21. Dans les situations d'urgence à venir, on devrait sans tarder mettre sur pied ces équipes de soutien qui amorceraient les interventions dès que possible.

22. On devrait intégrer au programme scolaire de tous les établissements d'enseignement du bassin, en particulier dans les localités les plus à risque, l'information relative aux inondations et aux mesures de protection en cas de crue dans la vallée de la rivière Rouge.

Forces canadiennes

23. Les Forces canadiennes devraient être avisées plus à l'avance de leur participation éventuelle à la lutte contre l'inondation afin qu'elles aient plus de temps pour se préparer.

24. Les autorités militaires et civiles du Canada devraient s'entendre sur le type d'aide disponible, en particulier en ce qui concerne le soutien aux autorités locales chargées de l'application de la loi.

Modélisation

25. On devrait établir des modèles hydrauliques pour la rivière Rouge et ses principaux affluents qui pourraient être élargis afin de pouvoir servir à la prévision et à l'analyse des crues dues aux eaux de ruissellement, ainsi qu'à la gestion de plaine inondable.

26. Il faudrait documenter les zones touchées par les eaux de ruissellement dans le bassin, les laisses de crue et les pertes de vie, les effets liés au vent, le moment d'apparition des brèches et des «cratères de renard» et l'ampleur de ces cavités dans le réseau routier et les digues, ainsi que les réseaux de données utilisés au cours de l'inondation de 1997. On devrait également documenter la forme, l'élévation et le tracé des routes, des digues, des levées et des drains, notamment la hauteur libre des ponts et des routes.

27. Il faudrait établir une base de données intégrée contenant des données hydrométriques, climatiques, topographiques et autres données techniques concernant le bassin de manière à améliorer les prévisions et les capacités de modélisation.

Réseau de jaugeage hydrométrique

28. Il faudrait assurer en priorité le remplacement ou le rehaussement des jauges existantes au-dessus du niveau des crues de 1997.

29. Il faudrait renforcer le réseau de jaugeage actuel du bassin et, au besoin, automatiser la production de rapports afin d'accroître la somme de renseignements fournis aux prévisionnistes des crues.

Levés gammamétriques aériens

30. Selon les prévisions de crue, on devrait augmenter la fréquence des vols de mesures gammamétriques de l'enneigement au-dessus de la portion manitobaine de la vallée de la rivière Rouge. Il faudrait également envisager d'augmenter la densité du réseau par l'ajout de trajectoires de vol.

Radar Doppler

31. Compte tenu de la nécessité d'avoir des prévisions de crue précises pour la vallée de la rivière Rouge, Environnement Canada devrait désigner Winnipeg comme étant la priorité absolue pour la nouvelle station radar.

Gestion des glaces

32. On devrait examiner des méthodes novatrices visant à réduire la formation d'embâcles et demander l'avis de spécialistes quant à la façon de limiter les embâcles. Cette question devrait être examinée lors d'un atelier sur la surveillance des glaces qui se tiendra à l'hiver de 1998 et où sont conviés les experts des autres pays et les autorités du bassin. Il faudra étudier attentivement les effets négatifs et positifs de la gestion des glaces sur les inondations et l'environnement.

Archives sur les inondations

33. On devrait rassembler les renseignements détenus par les particuliers, les organismes gouvernementaux, les organisations non gouvernementales et d'autres intervenants qui ont contribué à la lutte contre l'inondation en 1997 et les rendre disponibles à un centre d'archives ou plus dans chaque pays.

Substances dangereuses

34. La liaison entre les gouvernements et les sociétés industrielles dans tout le bassin devrait être encouragée et renforcée. On devrait élargir le réseau des communications pour englober d'autres entreprises, des propriétaires fonciers et des agriculteurs.

35. On devrait amorcer l'élaboration d'un vaste programme de sensibilisation destiné à la population de la plaine inondable de la rivière Rouge afin d'encourager les propriétaires de résidences et les exploitants agricoles à ramasser et à éliminer correctement tous les déchets qui présentent un risque de contamination. Il faudrait également déployer dans les plus brefs délais des efforts concertés afin d'enlever ou de mettre en lieu sûr les substances dangereuses stockées dans la plaine inondable.

36. On devrait dresser l'inventaire de toutes les principales sources éventuelles de contamination et en faire la mise à jour, en prenant soin d'indiquer l'emplacement, l'élévation, le type et la quantité de substances. Cet inventaire devrait englober les activités de l'industrie agricole et de l'élevage intensif.

37. Un examen de la législation s'appliquant à la gestion des substances dangereuses devrait être mené dans tout le bassin.

Contamination des eaux souterraines

38. Il faudrait répertorier tous les puits abandonnés et actifs alimentés par des eaux souterraines partout dans tout le bassin et mettre en œuvre un programme dynamique en vue de sceller dans les règles de l'art les puits abandonnés et d'assurer l'étanchéité des puits actifs et d'éviter ainsi la contamination par les eaux de crue venant de la surface.

Conception des digues et des levées

39. Les fonctions naturelles et positives de la plaine inondable doivent être prises en compte dans la conception des nouvelles levées.

Liaison hydraulique entre les bassins

40. On devrait prendre des mesures rationnelles et compatibles avec les plans opérationnels existants afin d'éviter, dans la mesure du possible, le déplacement d'eau entre les bassins de la rivière Rouge et de la rivière Mississippi par le lac Traverse et le lac Big Stone.

Annexe 6

Références

1 Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge (1997). *Crues de la rivière Rouge : Mesures à court terme*, Rapport provisoire préparé par le Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge pour la Commission mixte internationale, recommandation 1, p. 45 http://www.ijc.org/boards /rrb/taskforce.pdf. Dans une lettre envoyée aux gouvernements en décembre 1997, la Commission mixte internationale avalisait le rapport provisoire.

2 Ibid.

3 Ibid.

4 W.F. Rannie (1998). *A Survey of Hydroclimate, Flooding, and Runoff in the Red River Basin Prior to 1870* http://www.ijc.org/boards/rrb/Rannieindex.html.

5 S. Kroker (1999). *Flood Sediments and Archaeological Strata* http://www.ijc.org/boards/rrb/kroker.pdf.

6 Brooks et al. (1999). *Red River Geology and the Palaeoflood Record: Literature Review, Summary of Research Activities, and Recommendations for Future Research*.

7 Ibid.

8 Ibid.

9 A. A. Warkentin (1999). *Red River at Winnipeg : Hydrometeorological Parameter Generated Floods for Design Purposes* http://www.ijc.org/boards/rrb/alfs%20flood.pdf.

10 Minnesota Department of Natural Resources (1997). *Simulation to Reduce Flooding in Grand Forks* http://www.dnr.state.mn.us/waters/rivers_and_streams/red_river/simula.htm.

11 Klohn-Crippen Consultants Ltd. (1999). *Red River One-dimensional Unsteady Flow Model* http://www.ijc.org/boards/rrb/klohn-crippen.pdf.

12 Ed Kuiper (1997). Communication à la CMI au sujet de la régulation des eaux de crues de la rivière Rouge; G. Groenewold et E. Steadman (1999). *Basinwide Flood control: The Waffle*. Actes de la conférence de la section manitobaine de l'Association canadienne des ressources en eau sur le thème «Crues de la rivière Rouge : Diminuer nos risques», 27-28 octobre 1999.

13 Irene Hanuta (1999). *A Landscape Reconstruction Using Dominion Land Survey Township Maps*.

14 Steven D. Shultz (1999). *The Feasibility of Wetland Restoration to Reduce Flooding in the Red River Valley: A Case Study of the Maple and Wild Rice (MN) Watersheds* http://www.ijc.org/boards/rrb/wetlands-schultz.pdf; Kristine Juliano et Slobodan P. Simonovic (1999). *The Impact of Wetlands on Flood Control in the Red River Valley of Manitoba* http://www.ijc.org/boards/rrb/wetlands-man.pdf.

15 Shultz, ibid.

16 W.F. Rannie (1998). *Hydroclimate, Flooding, and Runoff in the Red River Basin Prior to 1870* (dossier public 3705 de la Commission géologique du Canada).

17 Département du Commerce des États-Unis, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service (1998). *Service Assessment and Hydraulic Analysis: Red River of the North 1997 Floods* http://www.nws.noaa.gov/oh/dis_svy/redr_apr97/toc.htm.

18 KGS Group, *Flood Protection For Winnipeg*, Parts I and II (1999) http://www.ijc.org/boards/rrb/winnipegatrisk.pdf.

19 Ibid.

20 Warkentin, ibid.

21 KGS Group (1999), ibid.

22 KGS Group (2000). *Flood Protection for Winnipeg*, Part III.

23 Le National Flood Insurance Program limite l'emploi du terme «à l'épreuve des inondations» à la conception technique d'un bâtiment mis en état d'étanchéité, alors que le Corps of Engineers désigne plus largement par là les bâtiments protégés contre les inondations. Au Canada, le terme est usité comme dans le Corps of Engineers.

24 Décret 11988 (Guidelines for Floodplain Management).

25 Règlement 44CFR 206.434 du Hazard Mitigation Grant Program (HMGP).

26 R. Pynn et G.M. Ljung (1999). «Flood Insurance: A Survey of Grand Forks, North Dakota, Homeowners», document à paraître dans *Applied Behavioral Science Review*.

27 Pour un examen plus détaillé des ouvrages de référence et des études spécialisées recensées, voir Janet Rex (1999). *Social Impacts Of The Red River Valley Flood: A Literature Review* http://www.ijc.org/boards/rrb/eval-soc-impacts.PDF et http://www.ijc.org/boards/rrb/soclit.pdf, Natural Hazards Center, Université du Colorado, octobre 1999, *Evaluation of a Literature Review of the Social Impacts of the 1997 Red River Valley Flood*.

28 Pynn et Ljung, ibid.

29 International Pembina River Engineering Board (1964). *Joint Investigation for Development of the Water Resources of the Pembina River Basin, Manitoba and North Dakota* (rapport destiné à la Commission mixte internationale).

30 Water Management Consultants (2000). *Hydrodynamic Modelling of the Lower Pembina River*.

31 Commission mixte internationale (1967). *Cooperative Development of the Pembina River Basin*.

32 U.S. Army Corps of Engineers (1976). *Pembina River, North Dakota: Feasibility Report for Flood Control and Related Purposes*.

33 U.S. Army Corps of Engineers (1999). *Review of Pembina River Hydrology*.

34 Water Management Consultants, ibid.

35 A.R. Stewart et al. (2000). *Influence of the 1997 Red River Flood on Contaminant Transport and fate in Southern Lake Winnipeg*. Fisheries and Oceans Canada.

36 Science Applications International Corp. (1999). *Information/Data Needs for Floodplain Management: The Red River Basin Workshop Report* http://www.ijc.org/boards/rrb/userneed.pdf.

37 Le sous-groupe de travail sur la base de données du Groupe de travail est en train de rédiger un rapport circonstancié sur l'amélioration de la disponibilité et de l'accessibilité des données dans le bassin. On pourra consulter le document à http://www.ijc.org/boards/rrb.

38 Science Applications International Corp., ibid.

39 Harkness, R. (1999). Datum Issue in the Red River of the North Basin. On pourra consulter le document à http://www.ijc.org/boards/rrb.

40 Rust Environment & Infrastructure (1999). *Red River Basin Virtual Database: Data Assessment Report (USA)* http://www.ijc.org/boards/rrb/US_data1.pdf.

41 Département du Commerce des États-Unis (1998), ibid.

42 KGS Group (2000). *Red River Basin: Stage-Damage Curves Update and Preparation of Flood Damage Maps*.

43 Pour une description détaillée des scénarios possibles, voir le rapport du sous-groupe de travail sur la base de données du Groupe de travail. Sous-groupe de travail sur la base de données du Groupe de travail international sur le bassin de la rivière Rouge, document à paraître http://www.ijc.org/boards/rrbtf.html.

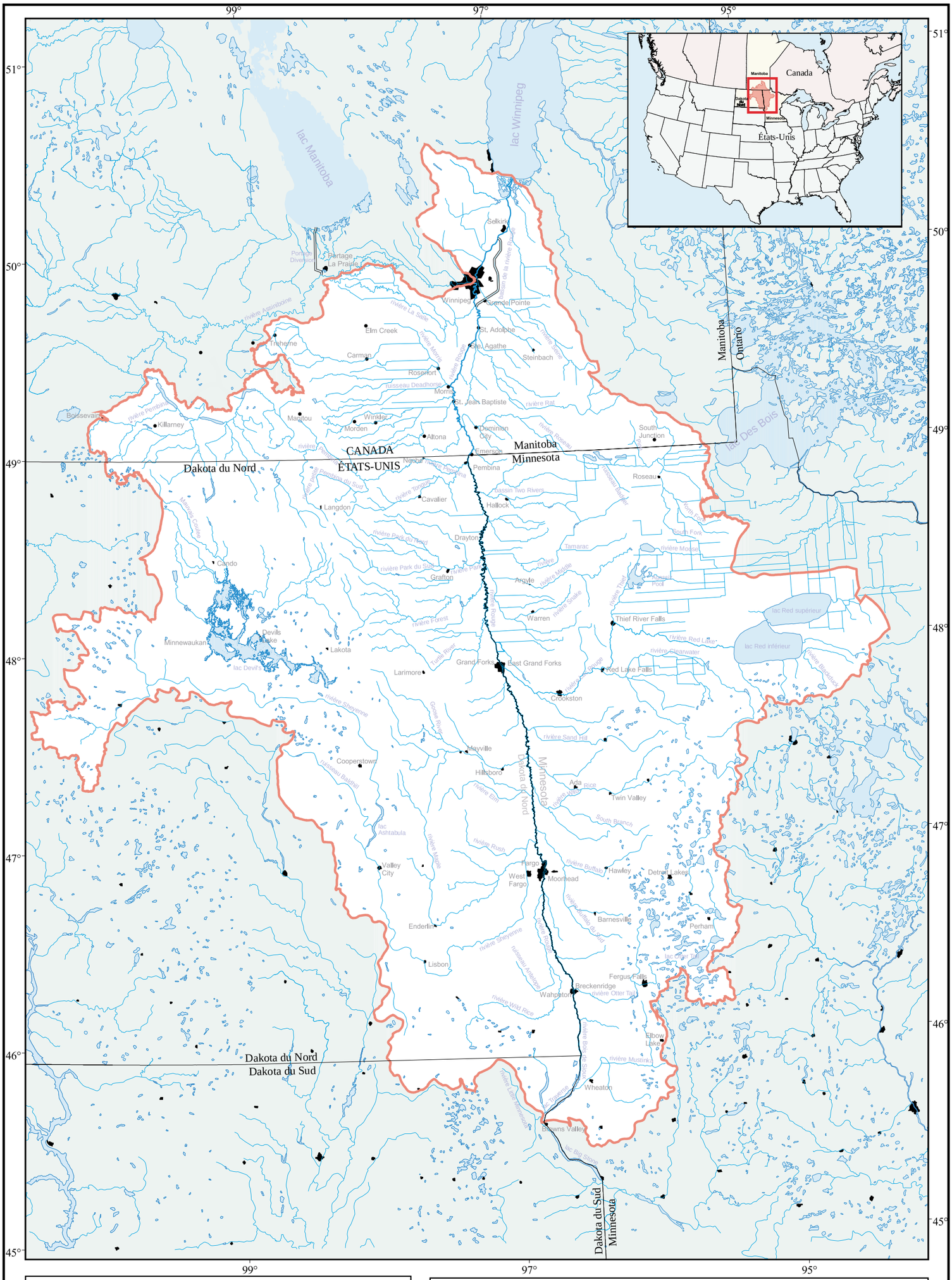
44 Brooks et al. (1999), ibid.

45 National Weather Service, ibid.

46 Klohn-Crippen Consultants Ltd (1999), ibid.

47 National Weather Service (1998), ibid.

48 KGS Group (1999), ibid.



Bassin de la rivière Rouge

(sans la rivière Assiniboine)

Projection centrale équivalente de Lambert
Méridien central : 100° de longitude ouest
Latitude de référence : 50° de latitude nord

Données réunies et fournies par :
Division des recherches écologiques,
Environnement Canada, Bureau de Regina
Échelle 1 : 2 000 000

Carte produite par :
US Army Corps of Engineers
St. Paul, MN, et Hanover, NH
Février 2000, version 1.2

Sources de données

ESRI Digital Chart of the World :
Base de données sur les caractéristiques de l'occupation des sols

United States Geological Survey :
Limites des États
Limites des unités hydrologiques à l'échelle 1 : 500 000

Division des relevés hydrologiques du Canada :
Bases de données HYDAT et HYDEX

Administration du rétablissement agricole des Prairies :
Bassins hydrographiques

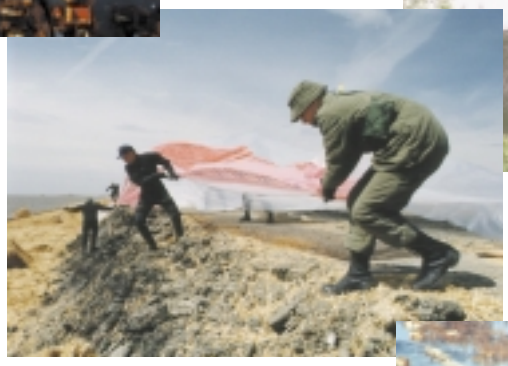
N

30 0 30 60 90 Milles

30 0 30 60 90 120 Kilomètres

Bassin de la rivière Rouge

Centres urbains



Commission mixte internationale

International Joint Commission

Photos de la couverture arrière :
United States Army Corps of Engineers et
gouvernement du Manitoba