



Préparé en coopération avec la Commission mixte internationale

Cartes des plaines inondables du lac Champlain dans les États du Vermont et de New York

Par Robert Flynn et Laura Hayes

Scientific Investigations Report 2016–XXXX

US Department of the Interior

US Geological Survey

US Department of the Interior

Sally Jewell, secrétaire

US Geological Survey

Suzette M. Kimball, directrice intérimaire

US Geological Survey, Reston, Virginie : 20xx

Révision et nouvelle impression : 20xx

Pour plus d'information sur l'US Geological Survey (USGS) - la source d'information fédérale sur la terre, ses ressources naturelles et vivantes, ses risques naturels et son environnement - voir <http://www.usgs.gov> (en anglais) ou appeler le 1-888-ASK-USGS

Pour avoir un aperçu des documents d'information de l'USGS (cartes, images et publications), voir <http://www.usgs.gov/pubprod> (en anglais).

Pour commander ce document et les autres documents d'information de l'USGS, voir <http://store.usgs.gov> (en anglais).

Référence suggérée :

Flynn, R.H; Hayes, L., 2016, Cartes des plaines inondables du lac Champlain dans les États du Vermont et de New York, US Geological Survey Scientific Investigations Report 2016-XXXX, xx p. (<http://dx.doi.org/10.3133/sir/20xxxxxx>).

Dans ce document, toutes les mentions de noms commerciaux, raisons sociales ou noms de produits répondent à des besoins purement descriptifs et ne constituent aucunement une marque d'approbation de la part du gouvernement des États-Unis.

L'essentiel de la teneur du présent document est du domaine public, mais certains éléments d'information peuvent être couverts par des droits d'auteurs, selon ce qui est indiqué dans le texte. Le cas échéant, toute personne souhaitant les reproduire doit obtenir l'autorisation du détenteur des droits d'auteur à cet effet.

Remerciements

Les auteurs remercient la Commission mixte internationale qui a financé cette étude, ainsi que la Vermont Agency of Transportation et le New York Department of Environmental Conservation qui ont financé l'exploitation et l'entretien des appareils de mesure utilisés dans cette étude. Ils remercient aussi tout spécialement le National Weather Service pour le soutien ininterrompu qu'il a assuré au programme de cartographie des plaines inondables de l'USGS (US Geological Survey).

Table des matières

Remerciements	iii
Table des matières	iv
Pouces et livres en unités du système international	vi
Résumé	1
Introduction	3
Objet et portée	7
Description de la zone d'étude	9
Études préalables	13
Création d'une collection de cartes des plaines inondables.....	14
Calcul de l'étendue des superficies inondées	14
Données hydrologiques.....	15
Données topographiques	16
Délimitation de l'étendue des zones inondées	17
Production des cartes des plaines inondables	17
Présentation des cartes des plaines inondables	19
Avertissement concernant les cartes des plaines inondables	19
Incertitudes et limitations liées à l'utilisation des cartes des plaines inondables.....	20
Estimation des pertes potentielles résultant des inondations	21
Sommaire	22
Références	24

Figures

Figure 1. Bassin du lac Champlain et limnimètres de l'US Geological Survey; source : USGS (2013).....	6
Figure 2. Carte des plaines inondables du lac Champlain dans les États de New York et du Vermont pour un niveau de 106,0 pi (NGVD 29) au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York.....	18

Tableaux

Tableau 1. Information sur les limnimètres de l'USGS, lac Champlain, Vermont et New York.	8
--	---

Facteurs de conversion

Pouces et livres en unités du système international

Multiplieur	par	pour obtenir
	Longueur	
pieds (pi)	0,3048	mètres (m)
milles (mi)	1,609	kilomètres (km)
	Superficie	
milles carrés (mi ²)	2,590	kilomètres carrés (km ²)
	Débit	
pieds cubes par seconde (pi ³ /s)	0,02832	mètres cubes par seconde (m ³ /s)

Les coordonnées verticales renvoient (1) au niveau, soit la hauteur au-dessus d'une référence arbitraire établie à une station limnimétrique, et (2) à l'altitude, soit la hauteur au-dessus de la référence du National Geodetic Vertical Datum of 1929 (NGVD 29) et du Système de référence altimétrique nord-américain de 1988 (NAVD 88).

Les coordonnées horizontales renvoient au Système de référence nord-américain de 1983 (NAD 83).

Cartes des plaines inondables du lac Champlain dans les États du Vermont et de New York

Par Robert Flynn et Laura Hayes

Résumé

Les cartes numériques des plaines inondables couvrent le lac Champlain sur une longueur d'environ 100 milles (comtés d'Addison, Chittenden, Franklin et Grand Isle au Vermont et comté de Clinton dans l'État de New York), et elles ont été produites par l'US Geological Survey (USGS) en coopération avec la Commission mixte internationale (CMI). On peut les consulter sur le site Web Flood Inundation Mapping Science de l'USGS, http://water.usgs.gov/osw/flood_inundation/, (en anglais); elles représentent une estimation des superficies inondées pour certains niveaux d'eau prédéterminés au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York. Dans cette étude, on n'a pas tenu compte des effets du vent et des seiches, et les cartes des plaines inondables représentent 11 niveaux statiques pour la longueur du lac Champlain qui a été couverte. Sur Internet, on peut voir en temps quasi-réel les niveaux à ce limnimètre et à d'autres stations du lac Champlain en consultant le National Water Information System de l'USGS, <http://water.weather.gov/ahps/> (en anglais), ou l'Advanced Hydrologic Prediction Service du National Weather Service (NWS), <http://water.weather.gov/ahps/>, qui produit également les prévisions de crue aux hydrographes de la rivière Richelieu (lac Champlain) situés à Rouses Point, New York.

On a délimité l'étendue des crues statiques pour le lac Champlain dans les comtés d'Addison, Chittenden, Franklin et Grand Isle (Vermont) et dans le comté de Clinton (New York) à l'aide d'un système LiDAR (*Light Detection and Ranging*, détection et télémétrie par ondes lumineuses) acquis

récemment (2013-2014), et ces données peuvent être rapportées à l'une ou l'autre des cinq stations limnimétriques de l'USGS installées sur le lac Champlain. De ces cinq stations, celle portant le numéro 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - est la seule qui constitue également un emplacement de prévision du NWS. Pour valider les limites des surfaces immergées de la carte représentant la crue de mai 2011 (103,2 pi NGVD 29), on les a comparées aux limites de la zone inondée selon ce qui avait été déterminé à cette date (en prenant en compte les marques de la laisse de hautes eaux documentées lors de l'événement en question) (Bjerklie *et al.*, 2014).

L'USGS a créé un modèle d'élévation numérique (MEN) dans un système d'information géographique (SIG) à partir des données LiDAR récemment recueillies et traitées (2013-2014) provenant du Vermont et du secteur riverain du comté de Clinton, New York. La précision verticale des données LiDAR est de 0,3 à 0,6 pi (9,6 à 18,0 cm) et leur résolution horizontale de 2,3 à 4,6 pi (0,7 à 1,4 m). À partir du MEN, on a déterminé les limites de crue pour 11 niveaux à intervalle de 0,5 pi entre 100,0 et 104,0 pi (NGVD 29) et à intervalle de 1 pi entre 104,0 et 106,0 pi (NGVD 29), valeurs rapportées au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York; on a également déterminé les limites de la zone inondée de mai 2011 pour un niveau de 103,20 pi, NGVD 29 (102,77 pi NAVD 88). C'est lors de la crue de mai 2011 qu'on a atteint le plus haut niveau jamais enregistré au limnimètre de Rouses Point, New York. Le niveau de 101,5 pi (NGVD 29) constitue le « seuil d'inondation majeure » (*major flood stage*) tel que défini par le National Weather Service pour le limnimètre n° 04295000 de l'USGS.

Les services de gestion des urgences et les résidents peuvent consulter ces mêmes cartes, les données sur les niveaux actuels mesurés au limnimètre de l'USGS, qui sont affichées sur Internet, et la prévision des niveaux de hautes eaux du NWS; ils disposent ainsi de toute l'information critique aux fins des interventions en cas d'inondation (évacuations, fermetures de routes, etc.) et pour les activités de rétablissement ultérieures.

Introduction

Le lac Champlain (Figure 1) se trouve dans une large vallée située entre les monts Adirondack de l'État de New York à l'ouest et les montagnes Vertes du Vermont à l'est. À la fin de la dernière ère glaciaire, le recul des glaciers a laissé une vaste étendue d'eau douce qui couvrait l'emplacement actuel des Grands Lacs, du lac Champlain et d'une bonne partie de la vallée du Saint-Laurent (Lake Champlain Research Consortium, 2004). Le bassin du lac Champlain a une superficie de 8 234 mi² et le lac a 587 mi de rivages (LCBP, 2013) dans les États de New York et du Vermont et dans la province de Québec au Canada. La superficie du lac à son niveau moyen, soit 95,5 pi NGVD 29 (LCBP, 2013), est d'environ 435 mi² (LCBP, 2015) sans les îles, soit seulement 5,4 % de la superficie de l'ensemble du bassin (Shanley and Denner, 1999).

Pendant le printemps et l'été 2011, la région a connu des crues historiques (Kiah *et al.*, 2013) résultant des fortes pluies printanières tombées sur une couche de neige chaude et saturée dans les bassins des rivières Androscoggin, Connecticut et du Saint-Laurent dans le nord du New Hampshire et du Vermont. Sur le lac Champlain, les pluies et la fonte des neiges ont provoqué une crue historique à la fin d'avril et en mai. Pendant cette période de hautes eaux, l'érosion des berges et les fluctuations des niveaux du lac ont été aggravées par les vagues soulevées par le vent, associées au fetch à l'échelon local et à la seiche sur l'ensemble du lac (Bjerklie *et al.*, 2014) (le fetch est la longueur du trajet du vent sur une surface d'eau, et la seiche est une oscillation stationnaire de grande longueur d'onde). Sur le lac, on avait déjà signalé des effets de seiche (Shanley and Denner, 1999) provoqués par le vent et les changements de pression atmosphérique.

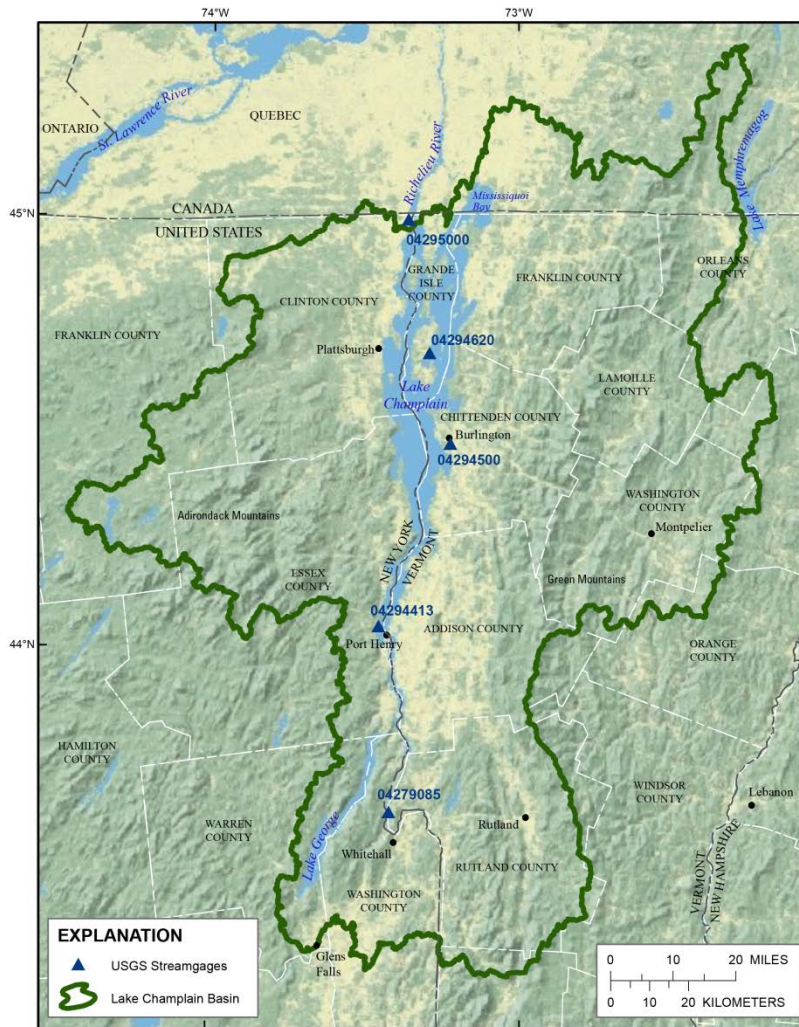
La crue de mai 2011 a atteint un niveau record à tous les limnimètres du lac Champlain. Le record enregistré au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses

Point, New York - (USGS, 2015a) était de 103,20 pi (NGVD 29) le 6 mai 2011, et le record enregistré au limnimètre de l'USGS n° 04294500 - lac Champlain, de Burlington, Vermont - (US Geological Survey, 2015b), était de 103,27 pi (NGVD 29), également le 6 mai 2011. Le niveau maximum enregistré au limnimètre de l'USGS n° 04279085 - lac Champlain, au nord de Whitehall, New York - était de 103,57 pi (NGVD 29) le 9 mai 2011. Le niveau du lac subissait alors l'effet d'une seiche (USGS, 2015c). Les niveaux relevés à Rouses Point, New York, et Burlington, Vermont, sont généralement très voisins. Bien que la moyenne des écarts nets des valeurs enregistrées aux sites de Burlington et de Rouses Point soit près de zéro, les seiches internes du lac peuvent créer des différences de niveau de près de 0,3 pi (0,1 m) (Shanley and Denner, 1999). Le 28 août 2011, pendant la tempête tropicale Irene, ces écarts ont atteint 4 pi, avec des niveaux de 98,5 pi à l'extrémité sud du lac (limnimètre de Whitehall, New York) et de 94,5 pi à l'extrémité nord (Rouses Point, New York) (Lumia *et al.*, 2014). Avant la crue de mai 2011, le plus haut niveau à avoir été enregistré au limnimètre de Rouses Point était de 102,1 pi (NGVD 29) le 4 mai 1869 et le plus haut niveau à avoir été enregistré au limnimètre de Burlington était de 101,86 pi (NGVD 29) le 27 avril 1993.

Avant cette étude, les intervenants d'urgence des communautés de New York et du Vermont riveraines du lac Champlain s'appuyaient sur plusieurs sources d'information (toutes disponibles sur Internet) pour prendre des décisions sur les meilleures façons d'alerter le public et de limiter les dommages causés par les inondations. Parmi ces sources se trouvent les études d'assurance-inondation de la FEMA (Federal Emergency Management Agency) pour les communautés entourant le lac Champlain, dans les comtés de Grand Isle, Franklin, Addison et Chittenden au Vermont et de Clinton dans l'État de New York. (Federal Emergency Management Agency, 2015). Les cartes de la FEMA valaient respectivement pour les périodes suivantes : villes du comté de Grand Isle, Vermont, de 1978 à 1988; villes riveraines du comté de Franklin, Vermont, de 1981 à 1998; villes riveraines du comté

d'Addison, Vermont, de 1979 à 1986; villes riveraines du comté de Chittenden, Vermont, de 1986 à 2011; villes riveraines du comté de Clinton, New York, 2007 (Federal Emergency Management Agency, 2015). Les limnimètres de l'USGS constituent une deuxième source d'information : rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York (n° 04295000) (US Geological Survey, 2015a); lac Champlain à Burlington, Vermont (n° 04294500), (US Geological Survey, 2015b); lac Champlain au nord de Whitehall, New York (n° 04279085) (US Geological Survey, 2015c); lac Champlain à Port Henry (n° 04294413) (US Geological Survey, 2015d); et lac Champlain près de Grand Isle, Vermont (n° 04294620) (US Geological Survey, 2015e), dont on peut consulter les relevés actuels et historiques y compris les maximums annuels. Les relevés historiques remontent à mars 1871 au limnimètre de la rivière Richelieu à Rouses Point, New York, à octobre 1998 au limnimètre du lac Champlain au nord de Whitehall, New York, et à mai 1907 au limnimètre du lac Champlain à Burlington, Vermont. Le limnimètre de Port Huron, New York, a été remis en service le 10 avril 2015, et ses relevés historiques vont du 16 mars 1997 au 20 septembre 2015; le limnimètre de Grand Isle, Vermont, est nouveau et a été mis en service le 31 mars 2015. Une troisième source d'information sur les crues est l'Advanced Hydrologic Prediction Service (AHPS) du NWS, qui affiche les niveaux relevés par l'USGS au limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - (USGS, 2015a) et au limnimètre n° 04294500 - lac Champlain à Burlington, Vermont - (USGS, 2015b); ce service émet également des prévisions pour le limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - (National Weather Service, 2015a et 2015b).

Les cartes statiques des plaines inondables doivent permettre aux résidents d'estimer l'étendue des zones inondées à partir des relevés des limnimètres de l'USGS affichés sur les sites Web, et à partir des prévisions du NWS dans le cas du limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York.



Note : La carte a été produite en anglais. Les limites du bassin du lac Champlain sont représentées par une ligne verte et les limnimètres de l'USGS par des triangles bleus. L'échelle est en milles et en kilomètres. Base de la carte : US National Park Service, carte physique Natural Earth, résolution de 500 mètres, services.arcgisonline.com, 2015. Projection d'Albers, NAD 83.

Figure 1. Bassin du lac Champlain et limnimètres de l'US Geological Survey; source : USGS (2013)

Une façon de combler les lacunes relatives à l'information sur l'étendue des zones inondées consiste à produire une collection de cartes des plaines inondables renvoyant aux niveaux enregistrés au limnimètre de l'USGS. Les services d'intervention en cas d'urgence peuvent consulter la carte correspondante pour déterminer la gravité de l'inondation à venir (étendue), identifier les routes qui sont

ou seront bientôt inondées et planifier la publication d'avis ou l'évacuation des résidents. De plus, il a été démontré que lorsque les résidents ont une représentation visuelle de l'étendue possible d'une inondation, ils sont plus portés à prendre des précautions et à tenir compte des avertissements que, dans d'autres circonstances, ils auraient peut-être ignorés. En 2014-2015, l'USGS, en coopération avec la Commission mixte internationale (CMI), a donc mené à bien ce projet de constitution d'une collection de cartes statiques des plaines inondables pour le périmètre du lac Champlain là où la technologie LiDAR existait.

Objet et portée

Le présent rapport décrit le développement d'une série de 11 cartes des plaines inondables du lac Champlain dressées à partir d'estimations pour les comtés d'Addison, de Chittenden, de Franklin et de Grand Isle au Vermont et du comté de Clinton, New York; il indique également où, sur Internet, on peut trouver ces cartes et télécharger des données auxiliaires (p. ex. limites des crues et polygones du système d'information géographique).

Ces cartes couvrent une distance rectiligne d'environ 100 milles sur le côté est du lac (de la limite des comtés de Rutland et Addison au Vermont jusqu'à la frontière canado-américaine au nord) et du côté ouest du lac (de la limite des comtés d'Essex et de Clinton, New York, également jusqu'à la frontière canado-américaine au nord, d'amont en aval dans les deux cas) (Figure 1). Ces cartes ont été produites pour des mesures renvoyant au niveau enregistré à l'un ou l'autre des cinq limnimètres du lac Champlain (Tableau 1). Elles sont statiques et ne tiennent donc pas compte des effets du vent ou des seiches.

Les cartes des plaines inondables couvrent une gamme de niveaux allant de 100 à 106 pi rapportés au système de référence limnimétrique NGVD 29. Le NWS (National Weather Service, 2015a et 2015b) définit le niveau de 99,9 pi (NGVD 29, pi) comme le « seuil d'intervention » (*action stage*) à

partir duquel cet organisme ou l'un de ses partenaires doit entreprendre une intervention d'atténuation des effets en prévision d'événements hydrologiques significatifs. Le NWS (2015c) définit le niveau de 100,0 pi (NGVD 29, pi) comme le « seuil d'inondation mineure » (*minor flood stage*). Les niveaux de 103,20, 103,27 et 103,57 pi (NGVD 29) sont les niveaux les plus hauts enregistrés respectivement aux limnimètres de l'USGS de Rouses Point, New York, de Burlington, Vermont, et de Whitehall, New York. Ils dépassent le « seuil d'inondation majeure » (*major flood stage*) de 101,5 pi (NGVD 29) qui a été défini par le NWS.

Des cinq limnimètres qui sont installés sur le lac Champlain (Tableau 1), seul n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - constitue actuellement un site de prévision du NWS. La Figure 1 montre l'emplacement des limnimètres de l'US Geological Survey sur le lac Champlain. Ils renvoient tous au NGVD 29 à l'exception de celui qui se trouve près de Grand Isle, qui renvoie au NAVD 88. Pour convertir les valeurs du limnimètre de Grand Isle au NGVD 29, leur ajouter 0,45 pi.

Tableau 1. Information sur les limnimètres de l'USGS, lac Champlain, Vermont et New York.

[La Figure 1 montre l'emplacement des stations. BV, superficie du bassin versant; mi², milles carrés; pi, pieds]

Nom de la station	Numéro de la station	BV (mi ²)	Latitude	Longitude	Période des relevés	Niveau record enregistré (pi) et date
Rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York	04295000	8 277	44°59'46"	73°21'37"	De mars 1871 à la date actuelle	103,2 6 mai 2011
Lac Champlain à Burlington, New York	04294500	s.o.	44°28'34"	73°13'19"	De mai 1907 à la date actuelle	103,27, 6 mai 2011
Lac Champlain au nord de Whitehall, New York	04279085	725	43°37'18"	73°25'08"	D'octobre 1998 à la date actuelle	103,57, 6 mai 2011
Lac Champlain à Port Henry, New York	04294413	s.o.	44°03'09"	73°27'12"	D'octobre 1997 à octobre 1999, d'avril 2015 à la date actuelle	-
Lac Champlain près de Grand Isle, Vermont	04294620	s.o.	44°41'09"	73°17'28"	D'avril 2015 à la date actuelle	-

Description de la zone d'étude

Le lac Champlain est une étendue d'eau douce d'une superficie d'environ 435 mi² (LCBP, 2015) située principalement sur le territoire des États-Unis, mais dont une partie se trouve dans la province de Québec, au Canada. C'est le lac le plus étendu des États-Unis si l'on excepte les cinq Grands Lacs (Stickney *et al.*, 2001). L'eau qui le traverse s'écoule vers le nord à partir de Whitehall, New York, vers son exutoire à la frontière canado-américaine, où il donne naissance à la rivière Richelieu au Québec. Celle-ci rejoint le Saint-Laurent à Sorel, au Québec, et le fleuve se déverse lui-même dans l'océan Atlantique dans le golfe du Saint-Laurent. La rivière Richelieu coule de Rouses Point, New York à Sorel, au Québec. Le lac Champlain s'étend sur une distance d'environ 120 milles de Whitehall, New York, au sud, au début de la rivière Richelieu, au Québec (LCBP, 2015). À première vue il se divise en trois régions facilement identifiables (Bjerklie *et al.*, 2014). La partie sud est étroite comme une rivière, la partie centrale est large et comporte quelques petites îles, et c'est la partie nord qui est la plus large avec plusieurs grandes îles. La plupart des affluents du lac sont des cours d'eau à forte pente qui atteignent un débit maximal en moins de 24 heures après des précipitations ou la fonte des neiges. Le principal événement hydrologique de l'année est la fonte des neiges au printemps; à ce moment-là, généralement, le lac Champlain reçoit près de la moitié de son débit annuel sur une période de six à huit semaines (Shanley and Denner, 1999). Le débit sortant ne suit pas instantanément le débit entrant, et le lac joue un important rôle de régulation du débit de la rivière Richelieu. Sa capacité de stockage fait qu'il atteint son niveau maximum avec plusieurs jours de retard sur le maximum de débit entrant. Les bassins de la rivière et du lac se caractérisent par de fortes crues printanières et par des débits moindres pendant tout le reste de l'année. C'est principalement le niveau du lac qui détermine le débit de la rivière Richelieu, puisque quelque 95 % du débit sortant de celle-ci à son embouchure sur le Saint-Laurent provient du lac Champlain (Riboust et Brissette, 2015).

La superficie du bassin hydrographique du lac Champlain est de 8 234 mi², dont 56 % se trouvent au Vermont, 37 % dans l'État de New York et 7 % au Québec. La population du bassin hydrographique se divise comme suit : 68 % au Vermont, 27 % dans l'État de New York et 5 pour cent au Québec (LCBP, 2015). Le lac Champlain est entouré des montagnes Vertes à l'est (Vermont), des Adirondacks à l'ouest (New York) et des monts Taconic au sud. Dans son bassin versant, les précipitations moyennes varient de 30 à 50 po/an (760 à 1 270 mm/an) selon la localité (Howland *et al.*, 2006), et la température moyenne de l'air est de 7 °C (45 °F) (Shanley and Denner, 1999).

Le lac Champlain s'est formé il y a environ 11 000 ans, à la fin de la dernière ère glaciaire; celle-ci a laissé une vaste étendue d'eau douce qui couvrait l'emplacement actuel des Grands Lacs, du lac Champlain et d'une bonne partie de la vallée du Saint-Laurent (Lake Champlain Research Consortium, 2004). Il a une longueur d'environ 120 mi avec 587 mi de rivages. Il a une largeur maximale de 12 mi et une profondeur moyenne de 64 pi; il atteint une profondeur maximale de 400 pi entre Charlotte, Vermont, et Essex, New York (Lake Champlain Land Trust, 2015). Son niveau moyen annuel est de 95,5 pi (NGVD 29), et la variation moyenne annuelle entre ses maximums et ses minimums moyens est d'environ 6 pi; depuis le début de la consignation des relevés quotidiens dans les années 1870, l'intervalle de variation maximal a été de 9,4 pi (LCBP, 2015). En 1939, à la suite des inondations des années 1930, on a construit un barrage à l'île Fryers pour régulariser le débit de la rivière Richelieu (Riboust and Brissette, 2015). Cependant on n'a jamais construit les digues au voisinage du barrage ni effectué le dragage des hauts-fonds de Saint-Jean-sur-Richelieu (CMI, 2013). Le barrage n'a jamais été mis en service et la rivière Richelieu n'est toujours pas régularisée (Riboust and Brissette, 2015).

Le lac Champlain se trouve dans la province physiographique des basses terres de Champlain. Bien qu'à première vue le lac se divise en trois régions (Bjerklie *et al.*, 2014), plusieurs paramètres physiques, chimiques et de qualité de l'eau permettent de reconnaître cinq zones distinctes (Lake

Champlain Basin Program, 2015), à savoir le sud, la partie principale (ou large), la baie Mallets, la mer intérieure (ou bras nord-est) et la baie Missisquoi. Le temps de rétention de l'eau est d'environ trois ans dans la partie principale et de moins de deux mois dans la partie sud (LCBP, 2015). Burlington, au Vermont, est la plus grande ville riveraine du lac avec 42 284 habitants (en 2013, US Bureau of Census, 2015a). Les deuxième et troisième villes par ordre de population sont Plattsburgh, New York, et Colchester, Vermont, avec respectivement 19 898 habitants (en 2013, US Bureau of Census, 2015b) et 17 299 habitants (en 2013, US Bureau of Census, 2015c).

Au printemps, avec la fonte des neiges, les débits entrants sont supérieurs au débit sortant qui se déverse dans la rivière Richelieu au Québec (Shanley and Denner, 1999). De nombreux affluents du lac ont une forte pente et atteignent un débit maximal moins de 24 heures après les précipitations ou la fonte des neiges (Bjerklie *et al.*, 2014). Au Vermont, les principaux cours d'eau qui se déversent dans le lac Champlain sont les rivières Missisquoi, Lamoille, Poultney et Winooski ainsi que le ruisseau Otter; dans l'État de New York, ce sont les rivières Ausable, La Chute (exutoire du lac George), Saranac et Bouquet.

Au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point - le seuil d'inondation majeure défini par le NWS (National Weather Service, 2015a), est de 101,5 pi (NGVD 29), le seuil d'inondation moyenne est de 101,0 pi (NGVD 29) et le seuil d'inondation mineure est de 100,0 pi (NGVD 29). À la suite des épisodes de pluie et de ruissellement d'avril et mai 2011, le niveau du lac Champlain est demeuré au-dessus du seuil d'inondation pendant 67 jours consécutifs et a atteint son maximum le 6 mai. Il est demeuré au-dessus du seuil d'inondation majeure défini par le NWS pendant toute la durée du mois de mai 2011 (Bjerklie *et al.*, 2014). L'érosion des berges et les dommages ont été aggravés par les grands vents qui ont soulevé des vagues de plus de trois pieds (LCBP, 2013). Lors des inondations de mai 2011, le Vermont a déclaré l'état d'urgence et une

déclaration de désastre a été émise par le président le 15 juin de la même année (déclaration n° 1995-DR: <http://www.fema.gov/pdf/news/pda/1995.pdf> en anglais).

Au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - on a enregistré un niveau record de 103,20 pi (NGVD 29) le 6 mai 2011, et le niveau le plus bas à avoir été enregistré était de 92,17 pi (NGVD 29) le 23 octobre 1941. Ce maximum est à 1,10 pi au-dessus du record précédent de 102,10 pi (NGVD 29) établi le 4 mai 1869 et à 6,70 pi au-dessus du niveau moyen de 96,5 pi. Un niveau record de 103,27 pi (NGVD 29) a été atteint au limnimètre de l'USGS n° 04294500 - lac Champlain à Burlington - le 6 mai 2011. Ce maximum est à 1,41 pi au-dessus du record précédent de 101,86 pi (NGVD 29) établi le 27 avril 1993 et à 6,77 pi au-dessus du niveau moyen de 95,5 pi. Le niveau le plus bas à avoir été enregistré était de 92,61 pi le 4 décembre 1908 au limnimètre de l'USGS n° 04294500 - lac Champlain à Burlington. Le plus haut niveau à avoir été enregistré pour le lac était de 103,57 pi (NGVD 29) le 9 mai 2011 au limnimètre n° 04279085 - lac Champlain au nord de Whitehall, New York. Ce niveau était influencé par une seiche.

La rivière Richelieu et le lac Champlain sont sujets à des inondations récurrentes, mais la crue de 2011 représente une valeur atypique dans les archives. En mai et juin, les précipitations ont atteint des niveaux record, et la couche de neige était plus épaisse que la moyenne, de sorte que les niveaux du lac ne sont retombés sous le seuil d'inondation qu'après un délai de plus de deux mois (LCBP, 2015), et environ 3 000 foyers ont été inondés (Riboust and Brissette, 2015). Le gouvernement du Canada a évalué le coût de l'inondation de 2011 à 70 millions de dollars américains; aux États-Unis, les dommages subis au Vermont et dans l'État de New York ont été évalués à environ 20 millions de dollars américains (CMI, 2013).

Les cartes des plaines inondables couvrent les rives du lac Champlain au Vermont et dans le nord-est de l'État de New York. Pour ce travail de cartographie, on n'a pas créé de modèle hydraulique

du lac mais on a produit 11 cartes statiques discrètes des plaines inondables représentant toute une gamme de scénarios hydrauliques allant du niveau moyen de crue printanière au niveau extrême relevé lors de la crue mai 2011. On estime que cet événement, tel qu'enregistré au limnimètre de la rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York, a une probabilité de dépassement annuelle inférieure ou égale à 0,2 % (Olson and Bent, 2013), soit un intervalle de récurrence égal ou supérieur à 500 ans. Les cartes des plaines inondables représentent 11 niveaux rapportés au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York. Cette station est également un site de l'Advanced Hydrologic Prediction Service (AHPS) (National Weather Service, 2015a), ce qui permet aux usagers d'obtenir des informations pertinentes sur les maximums prévus. Les 11 niveaux en question sont les suivants : 100, 101, 101,5, 102, 102,5, 103, 103,2 (crue de mai 2011), 103,5, 104, 105 et 106.

La carte des plaines inondables représentant la crue de mai 2011 (103,20 pi, NGVD 29, c'est-à-dire 102,77 pi, NAVD 88) renvoie au niveau relevé au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York; elle a été comparée à une carte des plaines inondables créée par imagerie satellitaire (Bjerkli *et al.*, 2014), et elle a été étalonnée par rapport à la laisse de hautes eaux (Medalie and Olson, 2013).

Études préalables

Cette étude couvre quatre comtés du Vermont et un comté de l'État de New York qui sont riverains du lac Champlain. Il existe des études d'assurance-inondation pour chacune de ces entités. Les versions actuelles de ces études qui portent sur les villes des comtés de Grand Isle, Franklin, Addison et Chittenden, Vermont, ont été effectuées entre 1980 et 2011 (Federal Emergency Management Agency, 2015). Les versions actuelles de ces études portant sur les villes du comté de Clinton ont été effectuées entre 1977 et 2004 (Federal Emergency Management Agency, 2007).

Création d'une collection de cartes des plaines inondables

L'USGS a normalisé les procédures de production de cartes des plaines inondables pour les communautés sujettes aux inondations (USGS, 2015f), de sorte que les processus et les produits sont semblables quel que soit le bureau de l'USGS qui est chargé du travail. Les tâches ayant mené à la production des cartes des plaines inondables pour le lac Champlain sont les suivantes : (1) collecte de données topographiques LiDAR, (2) vérification de l'étendue de la crue du lac Champlain de 2011 à partir d'une étude par imagerie satellitaire (Bjerklie *et al.*, 2014) et à partir des données sur la laisse de hautes eaux (Medalie and Olson, 2013), (3) détermination de l'étendue des surfaces inondées pour 11 cartes statiques des plaines inondables à divers niveaux du lac Champlain, au moyen d'un modèle d'élévation numérique (MEN) créé à partir de données LiDAR dans un système d'information géographique (SIG), (4) préparation des cartes sous forme de lignes et de polygones (fichiers de formes) décrivant l'étendue de l'inondation pour affichage dans une application de cartographie des plaines inondables de l'USGS (USGS, 2015f) et sur le site Web de la CMI (CMI, 2015), et (5) installation d'un limnimètre à Grand Isle, Vermont (n° 04294620), et remise en service d'un limnimètre à Port Henry, Vermont (n° 04294413), pour compléter un ensemble de cinq limnimètres sur le lac Champlain; les utilisateurs des cartes des plaines inondables pourront ainsi déterminer plus facilement la variabilité des niveaux pour estimer les niveaux du lac à certaines localités riveraines du lac Champlain (Tableau 1).

Calcul de l'étendue des superficies inondées

Les cartes des plaines inondables de la zone d'étude couvrent les zones riveraines du lac Champlain dans les comtés d'Addison, Chittenden, Franklin et Grand Isle au Vermont et de Clinton dans l'État de New York, qui ont été récemment fait l'objet de relevés LiDAR (2013-2014). Dans cette

étude, on a déterminé l'étendue des surfaces inondées statiques des 11 cartes à l'aide d'un MEN créé à partir de données lidar récentes produites pour ces mêmes comtés.

Données hydrologiques

La zone d'étude contient cinq limnimètres installés sur le lac Champlain (Tableau 1); trois d'entre eux étaient déjà en service avant le début de l'étude, un (lac Champlain près de Grand Isle, Vermont) a été mis en service depuis, et un (lac Champlain à Port Henry, New York) a été remis en service aux fins de cette étude de la CMI dont l'un des volets était précisément la production de ces cartes. Comme les 11 cartes des plaines inondables de la zone d'étude sont statiques, elles peuvent être rapportées à l'un ou l'autre des limnimètres du lac Champlain. Cependant le niveau de 103,2 pi (NGVD 29) renvoie au limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - (Tableau 1) parce que c'est le niveau de la crue record à ce limnimètre. De plus, le limnimètre n° 04295000 est un site de prévision du NWS (NWS, 2015a) et les usagers peuvent rapporter ces données à la courbe correspondante de la carte des plaines inondables pour déterminer l'étendue des inondations prévues pour une localité d'intérêt riveraine du lac Champlain.

Le limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - est en service depuis mars 1871 et ne produisait aucun relevé avant 1939. Les mesures de niveau sont effectuées toutes les 15 minutes et transmises toutes les heures par une radio satellitaire installée dans le limnimètre même, puis elles sont affichées sur Internet par l'intermédiaire du National Water Information System de l'USGS (USGS, 2015a). Les données produites par ce limnimètre renvoient au référentiel NGVD 29, mais on peut les convertir au référentiel NAVD 88 en soustrayant 0,43 pi. Cette valeur de conversion a été établie à partir d'un levé du Système mondial de navigation par satellite (GNSS) (Flynn *et al.*, 2016 *en préparation*).

Données topographiques

Toutes les données topographiques de cette étude renvoient à NAVD 88 dans le sens vertical et au Système de référence nord-américain de 1983 (NAD 83) dans le sens horizontal. Les 11 cartes statiques des plaines inondables renvoient au NGVD 29 avec une valeur de conversion du référentiel de 0,43 pi (pour le tracé des courbes de niveau dans NAVD 88) selon ce qui a été déterminé au limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York. La valeur de conversion entre les référentiels altimétriques NAVD 88 et NGVD 29 varie à l'intérieur de la zone d'étude. Comme les conversions de NGVD 29 à NAVD 88 ont été effectuées à partir la valeur de 0,43 pi calculée au limnimètre de Rouses Point, les valeurs NAVD 88 ainsi converties sont entachées d'une erreur qui peut atteindre 0,16 pi (dans la partie sud du lac). Les données altimétriques proviennent d'un MAN créé à partir de données LiDAR couvrant les comtés riverains situés du côté du Vermont (Addison, Chittenden, Franklin et Grand Isle) et du côté de l'État de New York (Clinton). Les données LiDAR ont été recueillies en 2013 et 2014 par Photo Science de Lexington, au Kentucky. Photo Science a effectué le post-traitement de ces données le 28 janvier 2014 pour le comté d'Addison et le 29 août 2014 pour les comtés de Chittenden, de Grand Isle et de Franklin. Les données LiDAR recueillies pour le comté de Grand Isle couvraient également le rivage du comté de Clinton, New York. La résolution horizontale des données LiDAR va de 2,3 à 4,6 pi (0,7 m pour le comté de Chittenden et 1,4 m pour Addison, Franklin et Grand Isle); leur exactitude verticale va de 0,3 à 0,6 pi (9,6 cm pour le comté de Chittenden, 12,7 cm pour Addison et 18 cm pour Franklin et Grand Isle) avec un intervalle de confiance de 95 % pour la catégorie « terrain dégagé » (écart type de 0,04 à 0,3 pi) (6,5 cm pour le comté d'Addison, 9,4 cm pour Grand Isle, 1,1 cm pour Chittenden et 8,2 cm pour Franklin) (Photo Science, 2014). Les spécifications sur les données LiDAR permettent la production de courbes de niveau espacées de 1 pi (Dewberry, 2012).

Délimitation de l'étendue des zones inondées

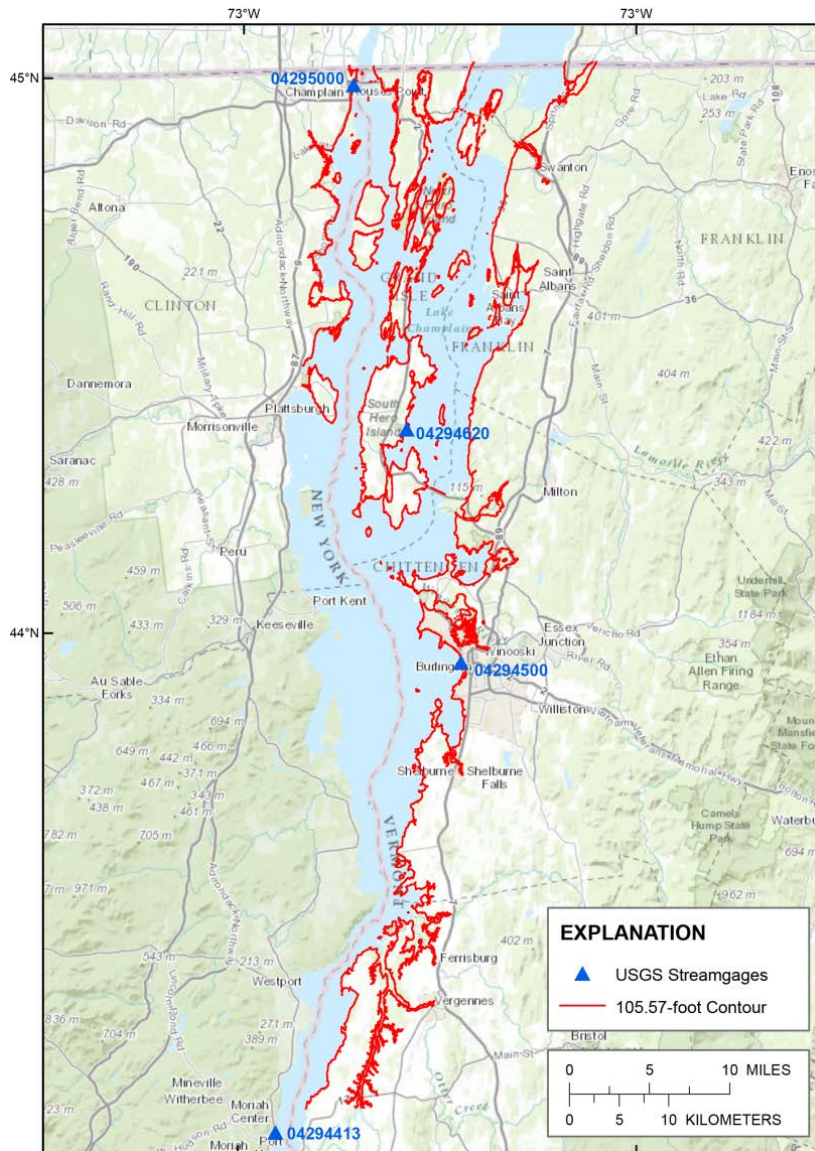
À partir du MEN créé avec les données LiDAR couvrant les rives du Vermont et du nord-est de l'État de New York, on a généré des profils des surfaces d'eau pour 11 niveaux espacés de 0,5 pi entre 100,0 et 104 pi et espacés de 1 pi entre 104,0 et 106,0 pi, ces mesures étant rapportées au NGVD 29 et au limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York. Les niveaux de 100 pi à 106 pi (NGVD 29) au limnimètre n° 04295000 correspondent respectivement aux altitudes allant de 99,57 à 106,57 pi (NAVD 88).

Production des cartes des plaines inondables

Les cartes des plaines inondables qui ont été produites pour le lac Champlain peuvent être rapportées à l'un ou l'autre des cinq limnimètres de l'USGS installés sur ce lac. Le limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - a été désigné site de prévision des crues du NWS (National Weather Service, 2015a et 2015b). On a produit des cartes des plaines inondables pour 11 niveaux dans un SIG par combinaison des profils statiques de plaines inondables et de données du MEN générées à partir des données LiDAR. Pour chaque profil simulé, on a tracé les limites des plaines inondables estimées avec l'application ArcMap d'ArcGIS (Esri, 2015).

On a examiné toutes les zones inondées qui étaient isolées du lac Champlain pour identifier leurs liens avec celui-ci tels que les ponceaux passant sous les routes. Là où de tels liens existaient, on a conservé les zones en question sur les cartes des plaines inondables; dans le cas contraire, on a éliminé les parties dont l'inclusion dans la zone inondée était erronée. Les lignes et les polygones représentant les limites des plaines inondables sont superposées à des photographies aériennes à haute résolution géoréférencées de la zone d'étude. La surface des ponts est représentée comme inondée quelle que soit la hauteur réelle de l'eau par rapport à la membrure inférieure la plus basse ou au tablier.

La Figure 2 montre la carte des plaines inondables correspondant au plus haut niveau simulé, soit 106,0 pi (NGVD 29).



Note : La carte a été produite en anglais. Les limnimètres de l'USGS sont représentés par des triangles bleus, la courbe de niveau de 105,57 pieds est en rouge. L'échelle est en milles et en kilomètres.

Figure 2. Carte des plaines inondables du lac Champlain dans les États de New York et du Vermont pour un niveau de 106,0 pi (NGVD 29) au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York.

Présentation des cartes des plaines inondables

La documentation et les fichiers de formes de la présente étude des limites des plaines inondables peuvent être consultés en ligne au US Geological Survey Publications Warehouse (<http://pubs.usgs.gov/sir/xxxx/xxxx>, en anglais). On a également mis en place un site Web scientifique sur la cartographie des plaines inondables (*Flood Inundation Mapping Science*) (USGS, 2015f) où le public peut trouver des informations sur ce domaine d'étude. Les cartes des plaines inondables du lac Champlain peuvent également être consultées sur un site Web créé par la CMI (CMI, 2015). Le site Web de l'USGS contient des liens vers une application cartographique qui présente les collections de cartes et qui fournit une information détaillée sur l'étendue des crues pour des sites modélisés. Cette application permet la production de cartes personnalisées des plaines inondables à partir de la collection de cartes du lac Champlain. Sur ce site Web, un lien mène au National Water Information System de l'USGS (USGS, 2015a) qui présente le niveau actuel au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York; c'est à ce limnimètre que les cartes renvoient. Un deuxième lien mène au site de l'AHPS du NWS (National Weather Service, 2015a), ce qui permet à l'utilisateur d'obtenir l'information pertinente sur le niveau maximal prévu. L'affichage des cartes de l'étendue estimée des plaines inondables est assez détaillé pour permettre le déroulement efficace des préparatifs en vue des inondations et de la prise de décisions sur les mesures d'urgence. Les ponts sont ombrés, c'est-à-dire représentés comme s'ils étaient inondés, quelle que soit la gravité de l'inondation. Lorsqu'un bâtiment est ombré, on ne doit pas en conclure qu'il est totalement submergé, mais plutôt que les surfaces de sol dénudées qui se trouvent à proximité sont inondées.

Avertissement concernant les cartes des plaines inondables

On ne doit pas utiliser les cartes des plaines inondables à des fins de navigation, réglementaires, d'octroi de permis ou à d'autres fins légales. L'USGS les présente « telles quelles » comme des

documents de consultation rapide et comme outil de planification des mesures d'urgence, mais il décline toute responsabilité légale ou autre résultant de l'utilisation de cette information. De plus, ces cartes des plaines inondables sont statiques, c'est-à-dire qu'elles ne tiennent pas compte des effets du vent et des seiches sur les niveaux du lac.

Incertitudes et limitations liées à l'utilisation des cartes des plaines inondables

Bien que ces cartes représentent les limites des plaines inondables par une ligne nette, elles sont entachées d'une incertitude. Ces limites ont été estimées à partir de données lidar recueillies en 2013 et 2014. Comme les cartes des plaines inondables ne sont pas statiques, pour une crue donnée, le niveau du lac et les limites de la zone inondée qui en résulte à un limnimètre de l'USGS peuvent ne pas correspondre au niveau du lac et aux limites de la zone inondée à l'emplacement d'un autre limnimètre. De plus, le niveau de la crue qui est prévu au limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - peut être différent de ce qu'il est à un autre endroit du lac. Certains facteurs météorologiques (chronologie et distribution des précipitations), le vent et les seiches peuvent modifier les niveaux réels du lac Champlain, qui s'écarteront alors des valeurs statiques calculées; il peut donc en résulter des écarts par rapport aux limites des zones inondées qui sont affichées. Des phénomènes imprévus, par exemple des amoncellements localisés de débris ou des embâcles de glace, peuvent avoir pour effet d'inonder d'autres secteurs.

Si l'utilisateur se sert de ces cartes des plaines inondables conjointement avec les prévisions fluviales du NWS, il doit savoir qu'il y aura d'autres incertitudes qui peuvent être prises en compte dans les procédures de prévision du NWS ou inhérentes à celles-ci. Les cartes statiques des plaines inondables du lac Champlain ne tiennent pas compte du vent et des seiches, et elles ont été produites pour des niveaux rapportés à la valeur enregistrée ou prévue au limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York. Les niveaux actuels ou prévus à d'autres localités

du lac peuvent ne pas être identiques aux valeurs affichées au limnimètre n° 04295000. Le NWS se sert de modèles de prévision pour estimer le volume et la chronologie des débits passant dans certains tronçons sélectionnés de cours d'eau des États-Unis. Ces modèles (1) évaluent le volume de ruissellement créé par les précipitations et la fonte des neiges, (2) simulent l'écoulement des eaux de crue vers l'aval, et (3) prévoient le débit et le niveau (ainsi que l'altitude de la surface de l'eau) d'un plan d'eau à un endroit donné (point de prévision de l'AHPS) pendant toute la durée de la période de prévision (toutes les six heures et sur trois à cinq jours dans de nombreuses localités). Pour plus d'information sur ces prévisions de l'AHPS, voir (en anglais) : http://water.weather.gov/ahps/pcpn_and_river_forecasting.pdf. D'autres incertitudes et limitations liées à cette étude peuvent être décrites ailleurs dans le présent rapport.

Estimation des pertes potentielles résultant des inondations

Les cartes des plaines inondables fournissent une information générale sur la profondeur et la superficie des zones inondées. Ces données peuvent servir à évaluer quelles sont les populations et les infrastructures à risque et à estimer les pertes qui peuvent être provoquées par des désastres tels que des inondations ou des ouragans. Les cartes des plaines inondables peuvent servir aux planificateurs des administrations publiques, aux spécialistes des SIG et aux gestionnaires des services d'urgence chargés de calculer les pertes résultant des inondations et de déterminer les meilleures approches à adopter pour les limiter.

Sommaire

L'US Geological Survey (USGS) a produit une série de 11 cartes des plaines inondables du lac Champlain en coopération avec la Commission mixte internationale (CMI). Ces cartes couvrent les comtés riverains du lac, soit Addison, Chittenden, Franklin et Grand Isle au Vermont et Clinton dans l'État de New York; cette zone s'étend sur une longueur d'environ 100 mi, des limites des comtés de Rutland et Addison à la frontière canado-américaine. Elles ont été préparées à partir de données LiDAR recueillies en 2013 et 2014. Ces données ont servi à déterminer les niveaux statiques de la surface de l'eau et à tracer les limites estimées des plaines inondables, et elles peuvent être rapportées à l'un ou l'autre des cinq limnimètres installés sur le lac Champlain. On a comparé la carte des inondations de la crue de 2011 (103,20 pi, NGVD 29) aux données sur la laisse de hautes eaux (Medalie and Olson, 2013), au niveau enregistré au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - et à la carte des plaines inondables produite par imagerie satellitaire (Bjerklie *et al.*, 2014). À partir des données LiDAR, on a généré des profils des surfaces d'eau pour 11 niveaux espacés de 0,5 pi entre 100,0 et 104,0 pi et espacés de 1 pi entre 104,0 et 106,0 pi, ces mesures étant rapportées au NGVD 29 et au limnimètre n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York. Tous les limnimètres de l'USGS du lac Champlain renvoient au NGVD 29 à l'exception de celui situé près de Grand Isle, au Vermont, qui renvoie au NAVD 88. C'est pour cette raison qu'on s'est également servi du référentiel NGVD 29 pour produire les cartes des plaines inondables. Pour convertir les niveaux rapportés au NGVD 29 en NAVD 88 au limnimètre de référence (n° 04295000 - rivière Richelieu, lac Champlain), il faut soustraire 0,43 pi (Flynn *et al.*, 2016, en préparation). Le niveau maximum enregistré était de 103,20 pi (NGVD 29) le 6 mai 2011 au limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York; il était de

103,27 pi (NGVD 29) au limnimètre n° 04294500 - lac Champlain à Burlington, Vermont, le 6 mai 2011. Le limnimètre de rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York, constitue également un emplacement de prévision du NWS. On a simulé l'étendue de la surface d'eau dans un système d'information géographique (SIG) pour tracer les limites des plaines inondables sous forme de polygones et de lignes de fichiers de formes. On a ensuite superposé ces polygones et ces lignes à des photographies aériennes et à haute résolution géoréférencées de la zone d'étude. On peut obtenir les cartes des plaines inondables par l'intermédiaire d'une application cartographique qu'on peut trouver sur le site Web Flood Inundation Mapping Science (USGS, 2015f).

Ces cartes peuvent être consultées conjointement avec les données sur les niveaux en temps réel du limnimètre de l'USGS n° 04295000 - rivière Richelieu (lac Champlain) à Rouses Point, New York - et avec les données de prévision des niveaux produites par l'Advanced Hydrologic Prediction Service du National Weather Service; ainsi les membres du grand public pourront se renseigner en vue de prendre des dispositions pour assurer leur sécurité personnelle, et les services d'urgence disposeront d'un outil efficace de gestion des opérations en cas d'inondation et des activités de rétablissement ultérieures.

Références

- Bjerklie, D.M., Trombley, T.J., and Olson, S.A., 2014, Assessment of the spatial extent and height of flooding in Lake Champlain during May 2011, using satellite remote sensing and ground-based information: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2014–5163, 18 p., <http://dx.doi.org/10.3133/sir20145163>.
- Dewberry, 2012, National Enhanced Elevation Assessment: Fairfax, Va., 84 p., accessed July 9, 2013, at http://www.dewberry.com/docs/default-source/documents/nea_final-report_revised-3-29-12.pdf?sfvrsn=0.
- Environmental Systems Research Institute (Esri), 2015, ArcGIS, Version 10.1, accessed May 5, 2015, at <http://www.esri.com/software/arcgis/>.
- Federal Emergency Management Agency, 2007, Flood Insurance Study Clinton County, New York (All Jurisdictions): Washington D.C., accessed July 26, 2015 at <http://map1.msc.fema.gov/data/36/S/PDF/36019CV000A.pdf>.
- Federal Emergency Management Agency, 2015, Flood Insurance Studies, *Addison, Chittenden, Franklin and Grand Isle Counties, Vt.*: Washington D.C., accessed July 26, 2015 at <https://msc.fema.gov/portal/advanceSearch>.
- Flynn, R.H; Rydlund, P.H.; and Martin, D.J., 2016, Network Global Navigation Satellite System Survey to harmonize United States and Canadian Datum for the Lake Champlain Basin: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016-XXXX, xx p. (<http://dx.doi.org/10.3133/sir/20xxxxxx> (in review))
- Howland, W.G., B. Gruessner, M. Lescaze, and M. Stickney, 2006. Lake Champlain Experience and Lessons Learned Brief, Grand Isle, Vermont.

Commission mixte internationale (CMI), juillet 2013. Plan d'étude pour la détermination des mesures visant à atténuer les inondations et leurs répercussions dans le bassin versant du lac Champlain et de la rivière Richelieu. Rapport de la CMI présenté aux gouvernements du Canada et des États-Unis, préparé par le Groupe de travail international du plan d'étude du lac Champlain et de la rivière Richelieu, 135 p.

International Joint Commission (IJC), 2015, IJC Lake Champlain and Richelieu River Flood Inundation: International Joint Commission, accessed at http://www.ijc.org/en_/ on August 28, 2015.

Kiah, R.G., Jarvis, J.D., Hegemann, R.F., Hilgendorf, G.S., and Ward, S.L., 2013, Hydrologic conditions in New Hampshire and Vermont, water year 2011: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1135, 36 p., <http://pubs.usgs.gov/of/2013/1135/>.

Lake Champlain Basin Program, 2013, Flood resilience in the Lake Champlain Basin and Upper Richelieu River, April 11: Lake Champlain Basin Program report, 93 p.

Lake Champlain Basin Program, 2015, Lake Basins and Facts, accessed at <http://www.lcbp.org/about-the-basin/facts/>, accessed on July 7, 2015.

Lake Champlain Land Trust, 2015, Lake Champlain Land Trust, accessed at <http://www.lclt.org/about-lake-champlain/lake-champlain-facts/>, accessed on July 7, 2015.

Lake Champlain Research Consortium, 2004, About Lake Champlain: Lake Champlain Research Consortium, at <http://academics.smcvt.edu/lcrc/aboutlake.html>.

Lumia, Richard, Firda, G.D., and Smith, T.L., 2014, Floods of 2011 in New York: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2014–5058, 236 p., <http://dx.doi.org/10.3133/sir20145058>.

Medalie, Laura, and Olson, S.A., 2013, High-water marks from flooding in Lake Champlain from April through June 2011 and Tropical Storm Irene in August 2011 in Vermont: U.S. Geological Survey Data Series 763, 11 p., available at <http://pubs.usgs.gov/ds/763/>

National Weather Service, 2015a, Advanced Hydrologic Prediction Service, *Richelieu River (Lake Champlain) at Rouses Point N.Y.*, accessed May 5, 2015, at <http://water.weather.gov/ahps2/hydrograph.php?wfo=btv&gage=roun6>.

National Weather Service, 2015b, Advanced Hydrologic Prediction Service, *Lake Champlain at Burlington, Vt.*, accessed May 5, 2015, at <http://water.weather.gov/ahps2/hydrograph.php?wfo=btv&gage=burv1>.

Olson, S.A., and Bent, G.C., 2013, Annual exceedance probabilities of the peak discharges of 2011 at lake gages in Vermont and selected lake gages in New Hampshire, western Massachusetts, and northeastern New York: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2013–5187, 17 p., <http://dx.doi.org/10.3133/sir20135187>.

Photo Science, Inc., 2014, Lexington, KY. lidar data for Rock River (Franklin and Grand Isle Counties), Addison County, and Chittenden County.

Riboust, Philippe and Francois Brissette, 2015. Climate Change Impacts and Uncertainties on Spring Flooding of Lake Champlain and the Richelieu River. *Journal of American Water Resources Association (JAWRA)* 51(3): 776-793. DOI:10.1111/jawr.12271

Shanley, J.B. and J.C. Denner, 1999. The Hydrology of the Lake Champlain Basin. *Lake Champlain in Transition: From Research toward Restoration*. AGU, Washington, D.C., pp. 41-66.

Stickney, M., C. Hickey, and R. Hoerr, 2001. Lake Champlain Basin Program: Working Together Today for Tomorrow. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 6:217-223.

U.S. Bureau of Census, 2015a, State and County Quickfacts: *Population, 2013 Estimate for Burlington, Vt.*, accessed July 28, 2015 at <http://quickfacts.census.gov/qfd/states/50/5010675.html>

U.S. Bureau of Census, 2015b, State and County Quickfacts: *Population, 2013 Estimate for Plattsburgh, N.Y.*, accessed July 28, 2015 at <http://quickfacts.census.gov/qfd/states/36/3658574.html>

U.S. Bureau of Census, 2015c, State and County Quickfacts: *Population, 2013 Estimate for Colchester, Vt.*, accessed July 28, 2015 at <http://www.census.gov/quickfacts/table/PST040213/5000714875>

U.S. Geological Survey, 2013, Explore map of USGS gages in the Lake Champlain watershed: U.S. Geological Survey Web page, accessed February 2013, at http://vt.water.usgs.gov/echo_gage/basin_map.htm.

U.S. Geological Survey, 2015a, USGS 04295000, *Richelieu River (Lake Champlain) at Rouses Point N.Y.*: U.S. Geological Survey, accessed May 5, 2015, at http://waterdata.usgs.gov/N.Y./nwis/uv?site_no=04295000.

U.S. Geological Survey, 2015b, USGS 04294500, *Lake Champlain at Burlington, Vt.*: U.S. Geological Survey, accessed May 5, 2015, at http://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory/?site_no=04294500.

U.S. Geological Survey, 2015c, USGS 04279085, *Lake Champlain North of Whitehall, N.Y.*: U.S. Geological Survey, accessed May 5, 2015, at http://waterdata.usgs.gov/nwis/inventory/?site_no=04279085.

U.S. Geological Survey, 2015d, USGS 04294413, *Lake Champlain at Port Henry, N.Y.*: U.S. Geological Survey, accessed May 5, 2015, at http://waterdata.usgs.gov/N.Y./nwis/uv/?site_no=04294413&PARAMeter_cd=62614,00065,00062.

U.S. Geological Survey, 2015e, USGS 04294413, *Lake Champlain near Grand Isle, Vt.*: U.S. Geological Survey, accessed May 5, 2015, at http://waterdata.usgs.gov/nh/nwis/uv/?site_no=04294620&PARAMeter_cd=62615,72020.

U.S. Geological Survey, 2015f, USGS Flood Inundation Mapping Science: U.S. Geological Survey, accessed May 5, 2015, at http://water.usgs.gov/osw/flood_inundation/.