

---

Rapport de stage individuel

4<sup>ème</sup> année

Modélisation hydraulique des zones  
inondables et changement  
climatique

---

**Campus de Moncton**

18, avenue Antonine-Maillet NB  
E1A 3E9 MONCTON CANADA



**LETG-Rennes**

Campus Villejean, Maison de la  
Recherche, 6 avenue Gaston Berger,  
35000 RENNES, FRANCE



Tuteur entreprise :  
**Monsieur Guillaume FORTIN**  
**Professeur de Géographie**

**Médéric JOLY**  
**IMA**

2018-2019

Tuteur académique :  
**Monsieur Pierre PEETERS**

## Table des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>1</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>Organismes d'accueil.....</b>	<b>3</b>
<b>Description de la zone d'étude.....</b>	<b>4</b>
A) Hydrologie .....	4
B) Climat.....	5
C) Géologie.....	6
D) Occupation du sol.....	6
<b>Matériels et Méthodes .....</b>	<b>7</b>
A) Introduction générale.....	7
B) Constitution de la géométrie du modèle .....	7
1. Données utilisées en fonction des bassins versants .....	7
2. Analyses et vérifications des données topographiques.....	10
3. Modifications du terrain.....	11
4. Ajout des ouvrages .....	11
C) Constitution des données hydrauliques.....	12
1. Stations de jaugeage .....	12
2. Méthode des transferts .....	13
3. Délimitation des sous bassins versants .....	13
4. Détermination coefficient de rugosité - Manning .....	14
D) Validité du modèle .....	16
<b>Résultats et discussions .....</b>	<b>17</b>
A) Analyses et vérifications des données topographiques.....	17
1. Analyse des données lidar .....	17
2. Obtention et analyse du Modèle Numérique de Terrain .....	19
3. Obtention du Modèle Numérique d'Élévation.....	20
B) Validation de la méthode de délimitation des sous bassins versants.....	21
C) Obtention de la carte du coefficient de Manning .....	23
<b>Conclusion .....</b>	<b>25</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>26</b>
<b>Liste des illustrations .....</b>	<b>27</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>28</b>

# Remerciements

Cette expérience de stage à l'étranger s'est bien déroulée du fait d'une bonne organisation et de rencontres très enrichissantes tout au long du stage.

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Anne-Julia ROLLET, Madame Anne-Marie LAROCHE, Monsieur Guillaume FORTIN et Monsieur Jean NABUCET de m'avoir offert la possibilité de participer à ce projet de recherche. Merci aussi pour le suivi, les conseils et l'aide apportés tout au long de ce stage. Vos expériences dans les domaines d'études et la confiance que vous m'avez accordée ont rendu mon stage enrichissant et épanouissant. Je vous remercie profondément de m'avoir permis de réaliser un stage dans un domaine qui m'intéresse fortement pour mes perspectives professionnelles.

Je remercie également l'ensemble des membres de l'équipe dans laquelle j'ai fait partie au sein du laboratoire du campus de Moncton : Amal JELJI, Anas BOUKILI MAKHOUKHI, Héroïse BARAL, Ilyas TAFITI, Kouame KOKORA, Marine LAURENT et Rahma JEBALI. En effet, durant ma période de stage au Canada, j'ai intégré une équipe composée uniquement d'étudiants étrangers et du campus de Moncton. Je vous remercie pour l'accueil, les heures de travail ensemble, les conseils et réflexions sur les défis dont nous avons été confrontés tout au long du stage. Je vous remercie également pour les différents repas que nous avons pu partager et qui ont permis de rythmer de manière très positive mes journées.

Enfin, je remercie toutes les personnes (étudiants, chercheurs, techniciens, etc...) que j'ai pu croiser durant mon stage au sein du campus de Moncton et du laboratoire LETG. Pour conclure, je remercie également l'ensemble des personnes ayant contribué aux nombreuses démarches administratives pour me permettre de débiter mon stage dans les meilleures conditions.

# Introduction

Les conséquences des inondations sont non négligeables dans un grand nombre de régions à travers le monde. Entre 1980 et 2015, le nombre de catastrophes naturelles a été multiplié par trois à l'échelle globale (Munich Re, 2016). Le Canada n'échappe pas à cette observation avec des inondations dans les provinces de Québec et du Nouveau Brunswick durant ce printemps 2019. Après ce constat, des outils et méthodes de management sont à développer afin de réduire les impacts (humains, matériels et économiques) de ces phénomènes.

Pour répondre à ces enjeux, le Gouvernement provincial du Nouveau Brunswick a lancé un projet de recherche de deux ans, s'étalant entre juin 2018 et juin 2020. Ce projet porte notamment sur la mise à jour des cartes des zones inondables existantes sur le Nouveau Brunswick. La méthodologie utilisée devra être simple, la moins onéreuse possible et facilement répétable pour étendre ensuite la procédure à d'autres bassins versants. En effet, la finalité est notamment de créer de nouvelles cartes de zones inondables sur l'ensemble de la province. Mes missions de stage se sont donc inscrites dans ces objectifs.

De plus, le stage effectué faisait partie d'un programme de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), visant à améliorer la gestion des risques hydroclimatiques à l'échelle des bassins versants. L'organisation de ce programme est orientée vers un partenariat de recherche entre plusieurs universités ayant notamment la langue française en commun : l'Université de Moncton (Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada), l'Université du Québec à Montréal (Montréal, Québec, Canada), l'Universidade Federal do Paraná (Curitiba, Paraná, Brésil) et l'Université Rennes 2 (Rennes, Bretagne, France). Ce projet AUF a débuté en septembre 2018 et se terminera en août 2020. Trois bassins versants seront notamment étudiés : la rivière Kennebecasis au Nouveau-Brunswick, Canada (superficie de 1 346 la rivière km<sup>2</sup>), la rivière Açungui dans l'état du Paraná, Brésil (superficie de 1 285 km<sup>2</sup>) et le fleuve Sélune, Normandie, France (superficie de 1 038 km<sup>2</sup>). Les critères de sélection de ces bassins ont été la superficie semblable, le mode de développement (rural, péri-urbain et urbain) et enfin, la connaissance de ces bassins à partir d'études antérieures. L'objectif final du programme sera, à travers une équipe de spécialistes interdisciplinaires, d'élaborer un modèle de gestion environnementale du territoire. Ce modèle permettra de fournir des outils d'aide à la décision pour les différentes Collectivités territoriales ou les différents Ministères par exemple, concernant l'aménagement du territoire. La finalité du projet s'inscrit donc, aussi, dans la stratégie de réduction des risques du Gouvernement du Nouveau Brunswick.

Au cours de ce stage, seuls les bassins versants de la Sélune (France, Normandie) et du Kennebecasis (Canada, Nouveau Brunswick) ont été abordés. Une méthode de cartographie des plaines inondables était notamment visée, amenant à la problématique suivante : Comment déterminer et cartographier les zones inondables dans la province du Nouveau Brunswick et en France ?

Le rapport sera organisé de manière à présenter dans un premier temps les organismes d'accueil durant mon stage de 4 mois (23 avril au 11 août 2019), le bassin versant étudié majoritairement ainsi que les données, les outils et les méthodes employés afin d'atteindre les objectifs cités précédemment. Les résultats obtenus et les discussions associées seront par la suite explicités. Enfin, il est à noter que ce rapport constitue un rapport intermédiaire du fait que le stage ne soit pas encore terminé au moment de la rédaction de ce rapport.

# Organismes d'accueil

Les missions effectuées durant ce stage ont été réalisées dans deux organismes de recherche différents : Laboratoire LETG-Rennes 2 au sein de l'Université Rennes 2 (Rennes, Bretagne, France) durant 2 semaines et Campus de Moncton au sein de l'Université de Moncton (Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada) durant 3.5 mois.

Concernant l'Université de Rennes 2, le laboratoire Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG-Rennes) m'a accueilli afin de récupérer des données topographiques sur le bassin versant français d'étude : bassin versant de la Sélune (Normandie). A l'origine, ce laboratoire se nommait Costel (Climat et Occupation du Sol par Télédétection) en 1980. Depuis 1996, ce laboratoire fait partie de l'Unité Mixte de Recherche (UMR) 6554 Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (LETG), mise en place par le CNRS afin de regrouper plusieurs centres de recherches géographiques (Nantes, Brest, Rennes et Caen) (source : LETG CNRS). Ce pôle scientifique concentre ses activités dans la compréhension des interactions société/nature et dans l'utilisation des images satellitaires et des photographies aériennes. Les deux thématiques fortement abordées au sein de ce laboratoire de recherche sont la dynamique et la modélisation des paysages et de l'occupation du sol par télédétection d'une part, et, d'autre part, l'étude des conséquences environnementales des changements d'occupation du sol (source : LETG CNRS). L'équipe scientifique oriente donc son champ d'intervention vers la géographie humaine, la géographie physique et la géomatique.

Concernant l'Université de Moncton présente dans la Province du Nouveau Brunswick, trois campus sont rattachés à cette université : Campus de Shippagan, Campus de Moncton et Campus d'Edmundston. Seul le campus de Moncton a été un organisme d'accueil au Canada. Plusieurs pôles de recherches et de formations sont présents au sein du campus (Administration, Education, Arts, Sciences et Domaines de l'Ingénierie). Les Départements de Génie Civil et des Sciences Sociales m'ont accueilli afin de travailler sur le bassin versant canadien (bassin versant de la rivière Kennebecasis, Nouveau Brunswick) et de poursuivre le travail sur le bassin versant français (bassin versant de la rivière Sélune, Normandie). Les spécialités des départements de recherches en question sont donc portées vers la géomatique, la construction, le dimensionnement d'ouvrages, l'hydrologie, l'hydraulique ainsi que les liens entre sociétés et aménagement du territoire. Il est à noter que le projet réalisé durant ma période au sein du Campus de Moncton répondait à une demande de la part du Ministère de l'Environnement du Gouvernement Provincial du Nouveau Brunswick. Le Canada possède notamment un gouvernement fédéral (échelle du pays) et plusieurs gouvernements provinciaux (10 provinces au total).

# Description de la zone d'étude

Le bassin versant ayant été le plus étudié à ce jour est celui situé dans la Province du Nouveau Brunswick : bassin versant de la rivière Kennebecasis. Une description de ce bassin est donc présentée ci-dessous en abordant notamment les aspects hydrologiques, climatiques, géologiques et d'occupation du sol.

## A) Hydrologie

Le bassin versant Kennebecasis est localisé au sud-est de la Province du Nouveau Brunswick entre les villes de Moncton et de Saint John (Fig 1). La rivière Kennebecasis s'écoule en direction du fleuve Saint Jean dont sa confluence se situe au niveau de Long Island. Il s'agit donc d'un affluent de rive gauche du fleuve Saint Jean. La superficie totale drainée en amont de cette confluence est d'environ 2 056 km<sup>2</sup> (Fortin et al., 2016).

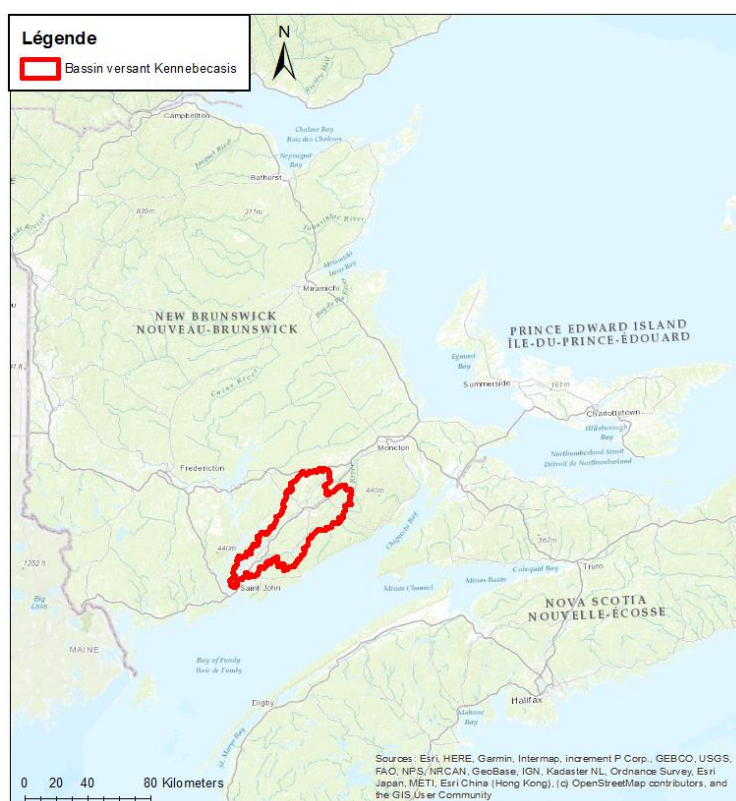


Figure 1: Localisation du bassin versant de la rivière Kennebecasis (source: Open Street Map et GéoNB)

Néanmoins, dans le cas de l'étude réalisée, seule une portion d'environ 1 346 km<sup>2</sup> a été étudiée dans une optique de simplification des simulations hydrauliques, en négligeant l'influence des marées. Cette influence s'applique jusqu'à niveau du village de Bloomfield et s'explique par la forte proximité avec l'exutoire du fleuve Saint Jean dans la Baie de Fundy.

Le bassin versant de 1 346 km<sup>2</sup> peut se subdiviser en 5 sous bassins versants principaux : Upper Kennebecasis (337 km<sup>2</sup>), Lower Kennebecasis (307 km<sup>2</sup>), Millstream River (276 km<sup>2</sup>), Trout Creek (221 km<sup>2</sup>) et Smiths Creek (207 km<sup>2</sup>) (Fortin et al., 2017) (Fig 2).



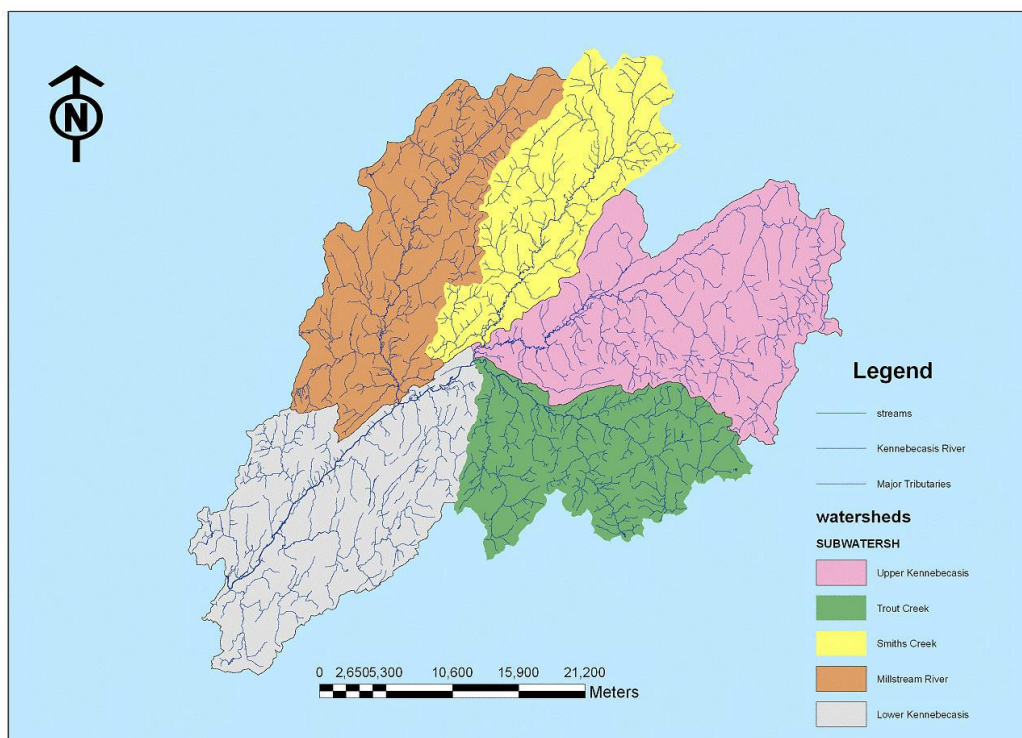


Figure 2: Découpage du bassin versant Kennebecasis en sous bassins versants principaux (Source: Kennebecasis Watershed Restoration Committee 2013, dans Fortin et al., 2016)

## B) Climat

La localisation géographique du bassin versant d'une part, et de manière plus générale, de la Province du Nouveau Brunswick d'autre part, engendre la présence d'une association entre un climat continental et une influence maritime, permettant de temporiser les valeurs extrêmes en termes de température notamment.

D'un point de vue thermique, une forte dichotomie saisonnière est présente durant l'année avec des étés assez chauds et des hivers plutôt froids. A titre indicatif, le climat observé au niveau de la ville de Sussex (présente au sein du bassin versant de la rivière Kennebecasis) suggère que les températures maximales mensuelles sont observées durant les mois de juillet et août avec environ 25°C. A contrario, les températures minimales mensuelles sont observées durant le mois de janvier avec environ -15°C (Fortin et al., 2016) (Fig 3). D'un point de vue de la pluviométrie, la ville de Sussex reçoit en moyenne 1 000 mm durant l'année avec une répartition mensuelle plutôt homogène (Fig 3).

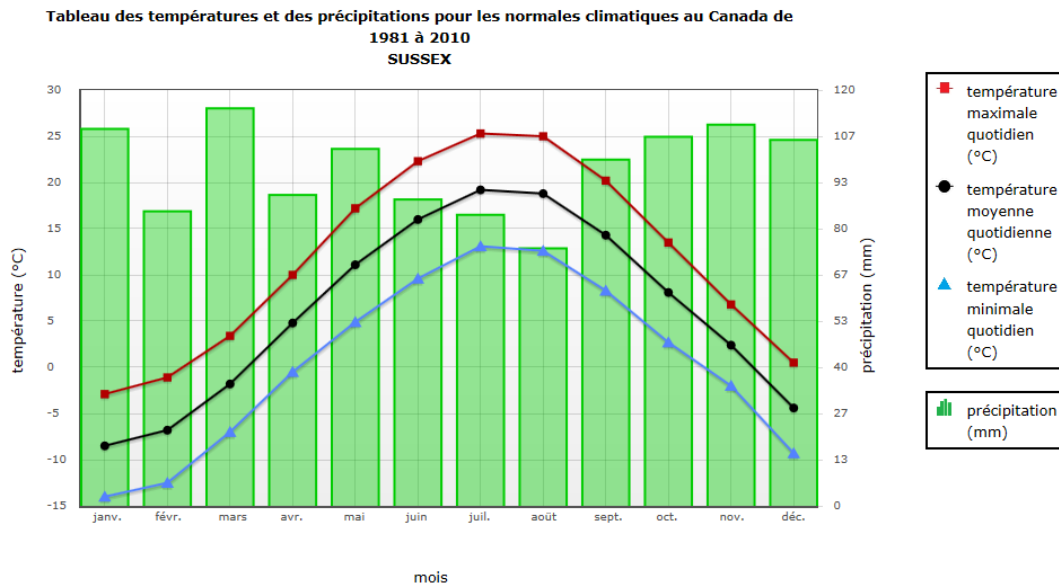


Figure 3: Statistiques climatiques réalisées entre 1981 et 2010, à Sussex (ville présente sur le bassin versant Kennebecasis) (Source: Environnement Canada dans Fortin et al., 2016).

## C) Géologie

Selon la carte géologique à l'échelle 1 : 500 000, les lithologies dominantes à l'échelle de l'ensemble du bassin versant Kennebecasis (jusqu'à la confluence avec le fleuve Saint Jean) sont des roches sédimentaires (terrigène : 73 % et marine : 0.8 %) et des roches magmatiques (23 %) (source : GéoNB, 2015).

Dans l'ordre chronologique de dépôt ou de formation, les roches sédimentaires de type carbonates sont datées du début du Néoprotérozoïque (autour de -1 000 Ma). Les roches magmatiques se sont quant à elles formées entre la fin du Néoprotérozoïque (-542 Ma, période précédant l'Ere Primaire) et le début du Silurien (Ere Primaire – autour de -443,4 Ma). Enfin, les roches sédimentaires terrigènes sont datées de l'Ere Primaire et plus particulièrement du Dévonien-Carbonifère (-419 à -298.2 Ma) (source : GéoNB, 2015).

## D) Occupation du sol

Trois grands types d'occupation du sol dominent à l'échelle du bassin versant. La plus grande superficie du bassin est recouverte par de la forêt de type acadienne de part et d'autre de la vallée de la rivière Kennebecasis. Ensuite, les pâturages et l'agriculture sont fortement présents le long du cours d'eau. Des fermes laitières sont notamment reconnues dans la région.

Enfin, des zones urbaines se sont aussi implantées le long de la rivière Kennebecasis avec notamment les villages de Sussex, Sussex Corner, Hampton, Quispamsis, Rothesay et Norton.



# Matériels et Méthodes

## A) Introduction générale

Le présent sujet de stage repose sur des concepts cartographiques, hydrauliques, hydrologiques et de modélisation. Il est donc important de rappeler que le domaine de la modélisation implique un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, traduisant que les résultats sont uniquement une tentative de représentation simplifiée de la réalité. Néanmoins, ces outils sont importants pour les décideurs et constituent un puissant moyen de communication.

Le principe de cartographie des zones inondables peut se subdiviser en deux parties distinctes. En effet, il est nécessaire de constituer la géométrie du domaine d'étude (Modèle Numérique de Terrain (MNT) notamment) dans un premier temps, puis, d'introduire des concepts hydrologiques/hydrauliques (bassin versant, débits, hydrogrammes, type d'écoulement, maillage, coefficient de rugosité, etc...). Les logiciels utilisés au cours du stage ont été ArcGis version 10.5 pour le traitement des données géographiques et Hec-Ras version 5.0.7 pour la modélisation hydraulique.

## B) Constitution de la géométrie du modèle

L'objectif de la partie géométrique est donc notamment de constituer une représentation simplifiée de la topographie du bassin versant. Pour ce faire, au vue de la complexité de la surface terrestre, il est nécessaire de discrétiser la zone d'étude en récupérant des données planimétriques et altimétriques sur des lieux précis afin d'alléger la quantité de données à traiter. Ces données seront ensuite intégrées à un logiciel de cartographie et d'analyse de données géographiques afin d'interpoler entre les points de mesures et ainsi, d'obtenir une représentation simplifiée du terrain. Néanmoins, plusieurs types d'informations topographiques existent tels que le Modèle Numérique de Terrain (MNT), le Modèle Numérique d'Élévation (MNE) et le Modèle Numérique de Surface (MNS). Il est à noter que le MNT se distingue du MNE/MNS du fait qu'il ne tienne pas compte des objets à la surface de la terre (plantes, ponts, etc...).

Un ensemble de techniques d'acquisition de données topographiques existent et possèdent leurs avantages et inconvénients. En effet, chaque méthode d'acquisition présentera des avantages d'utilisation, de rapidité d'acquisition, de rapidité de traitement, de précision, etc... Le choix de la méthode peut se faire selon la base de données disponible durant l'étude et des temps impartis au projet.

### 1. Données utilisées en fonction des bassins versants

#### Bassin versant Kennebecasis

Concernant l'étude du bassin versant Kennebecasis, du fait de campagnes lidar existantes sur l'ensemble de la zone, une cartographie des zones inondables à partir d'une modélisation 2D du terrain était envisageable. Il est à noter que deux types de base de données existent au Canada : Fédéral (ensemble du Canada – Faible résolution) et Provincial (par province – résolution améliorée). La base de données provinciale du Nouveau Brunswick (GéoNB), donnait accès aux informations nécessaires pour cette étude.

Deux grands types de données topographiques ont été utilisés :

- Résultats de la campagne lidar réalisée sur la zone entre le 11 juin et le 25 août 2018. Le géoréférencement des points s'est fait selon le datum NAD83 (CSRS) – Projection stéréographique double du Nouveau Brunswick. Les altitudes sont mesurées selon le

système de référence CGVD2013 représentant, le niveau moyen de la mer au niveau des zones côtières de l'Amérique du Nord (Ressource Naturelle Canada, RNCAN). Un ensemble de grille de 1km<sup>2</sup> sont disponibles sur cette base de données provinciale.

- Modèle Numérique d'Élévation (MNE) de résolution 1 mètre découlant de la même campagne lidar que citée précédemment. Le géoréférencement était identique à la campagne lidar.

L'acquisition par données lidar repose sur une détection et télémétrie par ondes lumineuses (Light Detection and ranging). Il s'agit d'une méthode active dans laquelle des ondes lumineuses sont émises depuis un système aéroporté ou terrestre (Fig 4). A partir de la différence de temps impulsion/retour ainsi que de la vitesse des ondes, il est possible de déterminer des distances et, in fine, des altitudes. Cette technique peut être utilisée pour obtenir des informations sur le terrain et les surfaces d'eau.

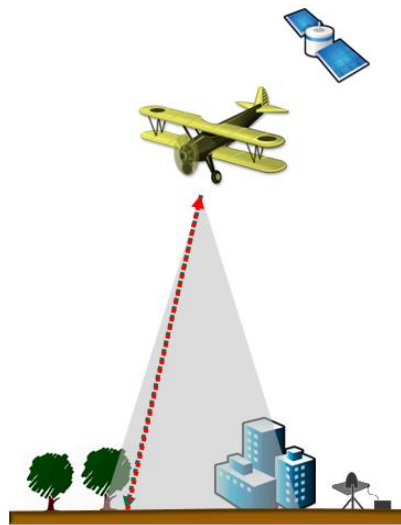


Figure 4: Schéma simplifié de la méthode d'acquisition de données topographiques à partir de la méthode LIDAR (source: Arcgis documentation, <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>)

La finalité de la méthode est d'obtenir un nuage de points géoréférencé à l'aide d'un GPS selon lequel les points sont positionnés sur le système de coordonnées WGS84 (coordonnées géographiques et par rapport à l'ellipsoïde de référence). Il est à noter que l'ellipsoïde de référence correspond à la surface équipotentielle de pesanteur de la Terre.

L'approche employée durant ce stage vis-vis des données disponibles a été de télécharger un ensemble de grille lidar compris sur l'emprise de cartes d'inondation existantes sur le bassin versant. La base de données provinciale (géonb) permettait d'avoir accès à ces cartes et, par conséquent, à la délimitation des zones inondables du bassin versant. Afin d'exclure l'influence des marées, et ainsi de simplifier les conditions aux limites à imposer au futur modèle hydraulique, des informations sur le champ d'influence des marées a été obtenu à l'aide, encore une fois, de la base de données provinciale (Géonb).

Une classification des points lidar est ensuite effectuée en fonction de l'intensité et des temps de retour de ces derniers. Le tableau suivant illustre les codes de classification des points lidar, permettant ensuite de retenir uniquement les unités topographiques souhaitées (Tab I).

Tableau I: Classification des points lidar (source: <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/lidar-point-classification.htm>)

Valeur de classification	Signification
0	<i>Jamais classé</i>
1	<i>Non attribué</i>
2	<i>Sol</i>
3	<i>Végétation basse</i>
4	<i>Végétation moyenne</i>
5	<i>Végétation haute</i>
6	<i>Bâtiment</i>
7	<i>Point bas</i>
8	<i>Réservé</i>
9	<i>Eau</i>
10	<i>Ferroviaire</i>
11	<i>Surface routière</i>
12	<i>Réservé</i>
13	<i>Fil métallique (protection)</i>
14	<i>Conducteur métallique (Phase)</i>
15	<i>Tour de transmission</i>
16	<i>Connecteur de structure métallique (Isolant)</i>
17	<i>Tablier de pont</i>

Du fait de la lourdeur du processus de téléchargement des feuillets lidar, et de la présence d'un MNE sur la zone, seule une portion du bassin versant a été analysée à l'aide des feuillets lidar afin de pouvoir obtenir une résolution plus fine que celle du MNE disponible. Les informations à l'échelle du bassin versant ont été obtenues à l'aide du MNE.

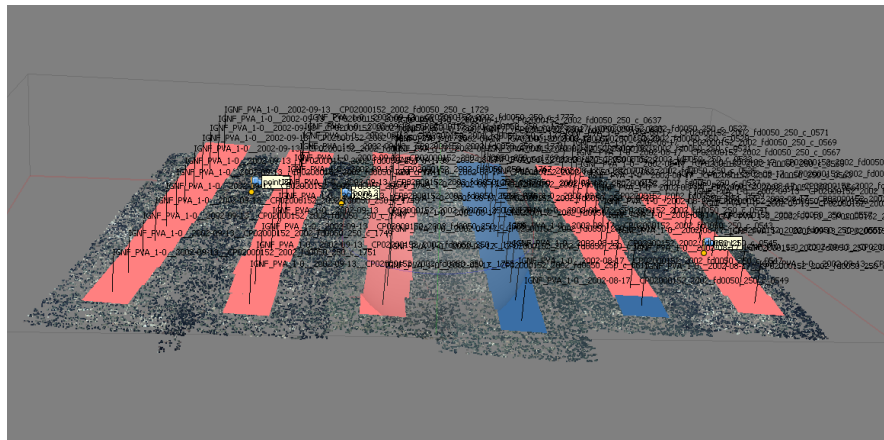
### Bassin versant de la Sélune

Concernant l'étude du bassin versant de la Sélune, une méthodologie de création d'un MNT par spectrophotométrie a été privilégiée. En effet, bien qu'un MNT était déjà disponible sur le bassin versant, la résolution de ce dernier a suggéré la création d'un nouveau Modèle Numérique de Terrain du fait d'une résolution de 25 mètres actuellement. Une portion du bassin versant a aussi été couverte par une campagne lidar datant de 2019.

La photogrammétrie est une technique visant à utiliser le parallaxe d'un ensemble de clichés pour l'obtention d'une image 3D. A l'instar de la vision humaine et la stéréoscopie, plusieurs angles de vue d'un même objet/surface permettent de modéliser un volume en 3D. Néanmoins, la donnée de base étant une photographie aérienne, il sera de nécessaire de supprimer les éléments de surface (pont, végétation, bâtiment, etc...) afin de passer d'un MNE/MNS à un MNT. Les outils utilisés pour réaliser ces étapes ont été le logiciel Photoscan développé par Agisoft pour de la photogrammétrie et, les outils LASTOOL ou CloudCompare pour trier les éléments de surface. Cependant, la période de travail sur le bassin versant de la Sélune a été courte à ce jour et, seule la partie photogrammétrie a été débutée actuellement. Plusieurs étapes successives doivent être réalisées pour parvenir à reconstruire une image 3D. Les images aériennes utilisées pour couvrir l'ensemble de la zone d'étude proviennent de deux campagnes de l'Institut Géographique National (IGN) différentes : entre le 21 et le 23 mai 2001 ainsi qu'entre le 14 août et le 13 septembre 2002 (source Géoportail).

A partir de corrélation de position au sol, le logiciel cherche des corrélations de position de caméras. Autrement dit, le logiciel recherche un ensemble de clichés pris sur un même secteur, avec un angle

de vue différent. Un nuage de points des corrélations au sol sera généré lors de cette étape, ainsi que le repositionnement des caméras corrélées (Fig 5). Le pourcentage de recouvrement des photographies aériennes est essentiel au cours de l'étape de corrélation des positions au sol. Un recouvrement de 60 % minimum est recommandé.



**Figure 5: Etape d'alignement et de corrélation des photographies aériennes importées dans le logiciel Photoscan développé par Agisoft, carrés bleus ou rouges sont les caméras dont une corrélation de position au sol a été identifiée parmi le stock de clichés utilisés, le nuage de point est la corrélation de position au sol (source: Logiciel Agisoft et photographies de l'IGN)**

Une procédure de densification des points de corrélation doit aussi être réalisée, ainsi que la création d'une texture passant par l'ensemble du volume 3D déterminé afin de créer le MNT.

La suite du rapport se concentrera sur la méthodologie et résultats du bassin versant Kennebecasis.

## 2. Analyses et vérifications des données topographiques

Afin de connaître la pertinence des données à conserver, une analyse des données a été réalisée en s'intéressant notamment aux classes des points lidar retenues dans le MNE et celles à retenir dans le futur MNT. Une analyse des méthodes d'interpolation à privilégier après téléchargement des feuillets lidar a aussi été réalisée :

- L'analyse du nuage de points des fichiers lidar téléchargés s'est faite en réalisant des couches rasterisées successives à l'aide du logiciel ArcGis. Chaque couche possédait des classes différentes et une analyse comparative a pu ainsi être réalisée. La manipulation des nuages de points s'est faite à l'aide de l'outil LASTOOL afin de réaliser la sélection des classes.
- L'analyse de la méthode d'interpolation permettait de sélectionner une solution convenable en termes de précision/temps de calcul pour le futur MNT. En effet, le logiciel ArcGis offre la possibilité de réaliser plusieurs méthodes d'interpolation afin de déterminer les altitudes entre les points de mesure connus. La méthode d'interpolation par voisins naturels est la meilleure alternative et a donc été retenue dans la suite du rapport (ArcGis, 2019).

Enfin, il est à noter qu'il existe deux grands types de MNT : vectoriel ou raster. Une recherche sur le format préférentiel a été réalisée. Le format vectoriel est notamment représenté par le type Irregular Triangulated Network (TIN) (ArcGis, 2019). La différence majeure entre ces deux formats vient de l'utilisation des données du nuage de points lidar. En effet, le MNT en format vecteur, à partir de la méthode TIN, permettra de conserver la densité des points lidar (ArcGis, 2019). Dans ce cas, le rééchantillonnage des données lidar se fait par une méthode irrégulière avec des zones de résolution

améliorée en fonction de la densité de points mesurés. A contrario, le format MNT raster engendre une perte d'information par un rééchantillonnage régulier par pixel avec une résolution fixe. De plus, dans chaque pixel, la moyenne des altitudes mesurées sera retenue (ArcGis, 2019). Dans la présente étude, un MNT raster a été choisi du fait que :

- Le format raster est plus facilement manipulable dans une large gamme de logiciels cartographiques et hydrauliques. Il est notamment à noter que le logiciel retenu pour la partie hydraulique est le logiciel Hec-Ras ; ce dernier permettant facilement d'importer des fichiers au format raster au sein de l'extension *RAS MAPPER*.
- L'allègement de la demande mémoire et temps de calcul en lien avec la diminution des données topographiques retenues
- Le format TIN impose notamment un traitement progressif du nuage de points avec une limite de traitement de 5 millions de points (ArcGis, 2019). Cette limite est très contraignante du fait du nombre de points par feuillets lidar.

### 3. Modifications du terrain

L'utilisation des données lidar occasionne quelques problématiques. En effet, deux grands types de problématique sont présents. D'une part, la classification des points peut s'avérer incorrecte avec la présence de ponts dans le MNT, occasionnant ainsi un obstacle à l'écoulement. De plus, les ponceaux ou buses sous les routes seront aussi représentés comme un obstacle à l'écoulement. Dans ce cas, un traitement du MNT obtenu est nécessaire. D'autre part, la seconde problématique est la faible pénétration dans l'eau des ondes lumineuses types infrarouges. La géométrie obtenue n'est donc pas entière puisque l'altitude la plus basse du cours d'eau modélisé sera la hauteur de la surface libre.

Un traitement des ouvrages en travers (ponts, buses, ponceaux) a donc été réalisé sur le MNE et le MNT obtenus.

La modification du MNE s'est faite à l'aide d'un modèle builder permettant de sélectionner les intersections entre les routes et les cours d'eau. L'ensemble de ces couches étaient disponibles sur la base de données provinciale (GéoNB). Après identification, une zone tampon de 10 mètres a été réalisée afin de s'assurer que les routes ou ponts en question ont bien été traversés. Enfin, une condition a été imposée afin d'appliquer la valeur minimale observée de part et d'autre de la route ou pont afin de permettre à l'eau de circuler à travers cet obstacle. Ce procédé a été utilisé sur le MNE afin de pouvoir estimer les sous bassins versants principaux de la rivière Kennebecasis. Une vérification de la validité de la méthode a été réalisée par comparaison avec les bassins versants identifiés par le Kennebecasis Watershed Restoration Committee (Fig 2).

La modification du MNT sera faite à l'aide d'une combinaison de modèle 1D/2D. En effet, l'objectif de cette solution est de réaliser des sections transversales sur le MNT obtenu, en ne tenant pas compte des ponts/ponceaux. Autrement dit, la position des sections transversales ne devra pas se faire sur ces ouvrages afin, après interpolation, de les supprimer. L'outil Hec-GéoRas sera notamment utilisé, permettant d'obtenir une géométrie à l'aide d'un MNT, en dessinant un ensemble d'unités (chenal, berges, chemin d'écoulement, sections transversales, etc..).

### 4. Ajout des ouvrages

Les ouvrages supprimés (ponts/ponceaux/buses) sont néanmoins existants et influencent les écoulements. Il serait donc pertinent de les intégrer de nouveau d'une manière appropriée dans la



géométrie du terrain. Cependant, les dimensions exactes de ces ouvrages (diamètres des conduites, largeur du tablier, piliers, etc...) ne sont pas disponibles à l'heure actuelle.

Pour la simulation hydraulique, il serait nécessaire de les représenter afin de se rapprocher au mieux de la réalité. Le logiciel hydraulique utilisé (Hec-Ras), permet d'ajouter ces ouvrages à l'aide de sections transversales. Cependant, pour l'estimation des surfaces de drainage, le fait de ne pas ajouter ces ouvrages a peu d'incidence.

## C) Constitution des données hydrauliques

Le bassin versant d'étude possède l'avantage d'être jaugé. Néanmoins, les débits mesurés sont en aval du domaine de modélisation et a donc nécessité de distribuer ces données à travers le bassin versant. La solution retenue a été d'appliquer la méthode des transferts (G.PITON, 1980). Néanmoins, la principale limite de la méthode est son champ d'application. En effet, cette méthode devient moins appropriée dans des bassins versants à forte différence physiographique ou de développement anthropiques (pente, lithologie, occupation du sol, etc...).

### 1. Stations de jaugeage

La base de données provinciale (GéoNb) a permis d'identifier les stations de jaugeage présentes au niveau du bassin versant d'étude. Deux stations de jaugeage sont présentes : Station 01AP004 située au niveau d'Apohaqui et Station 01AP001 située au niveau de Norton (Fig 6). Ces deux stations sont situées en aval du domaine d'étude sans influence maritime nécessitant de trouver une méthode de distribution des débits en amont.

Néanmoins, il est à noter que les périodes de fonctionnement de ces deux stations diffèrent. En effet, la station située à Apohaqui possède des données sans lacune depuis juin 1961 et est encore active de nos jours. A contrario, la station située à Norton n'a été active qu'entre les mois d'octobre 1918 et juin 1926 (source : <https://wateroffice.ec.gc.ca>). Par conséquent, la station d'Apohaqui a été privilégiée pour la présente étude.

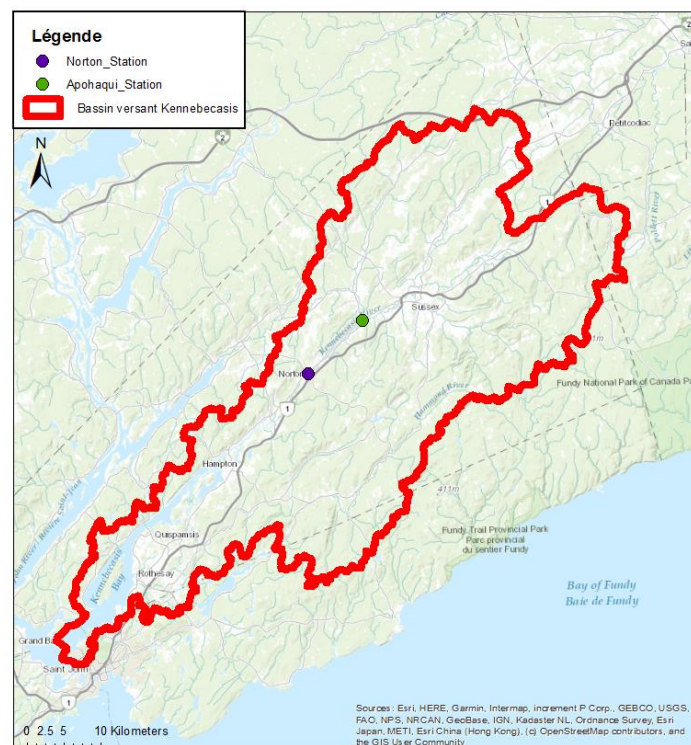


Figure 6: Localisation stations de jaugeage sur le bassin versant Kennebecasis (sources : Open street map et GéoNB)

## 2. Méthode des transferts

Pour le débit à injecter dans le modèle, la méthode des transferts selon la formule de Myer a été utilisée à partir des données disponibles au niveau de la station d'Apohaqui (01AP004) (G.PITON, 1980).

$$Q_{bv}(0, T) = Q_{bvA, T} * \left( \frac{S_{bv0}}{S_{bvA}} \right)^{\alpha}$$

Avec

$S_{bv0}$  : surface drainée au niveau du point souhaité pour la condition aux limites amont,

$S_{bvA}$  : surface drainée pour la station (**Station Apohaqui**),

$Q_{bvA}$  : débit fourni pour la station de mesure d'Apohaqui

$Q_{bv0}$  : débit recherché au niveau du point de simulation

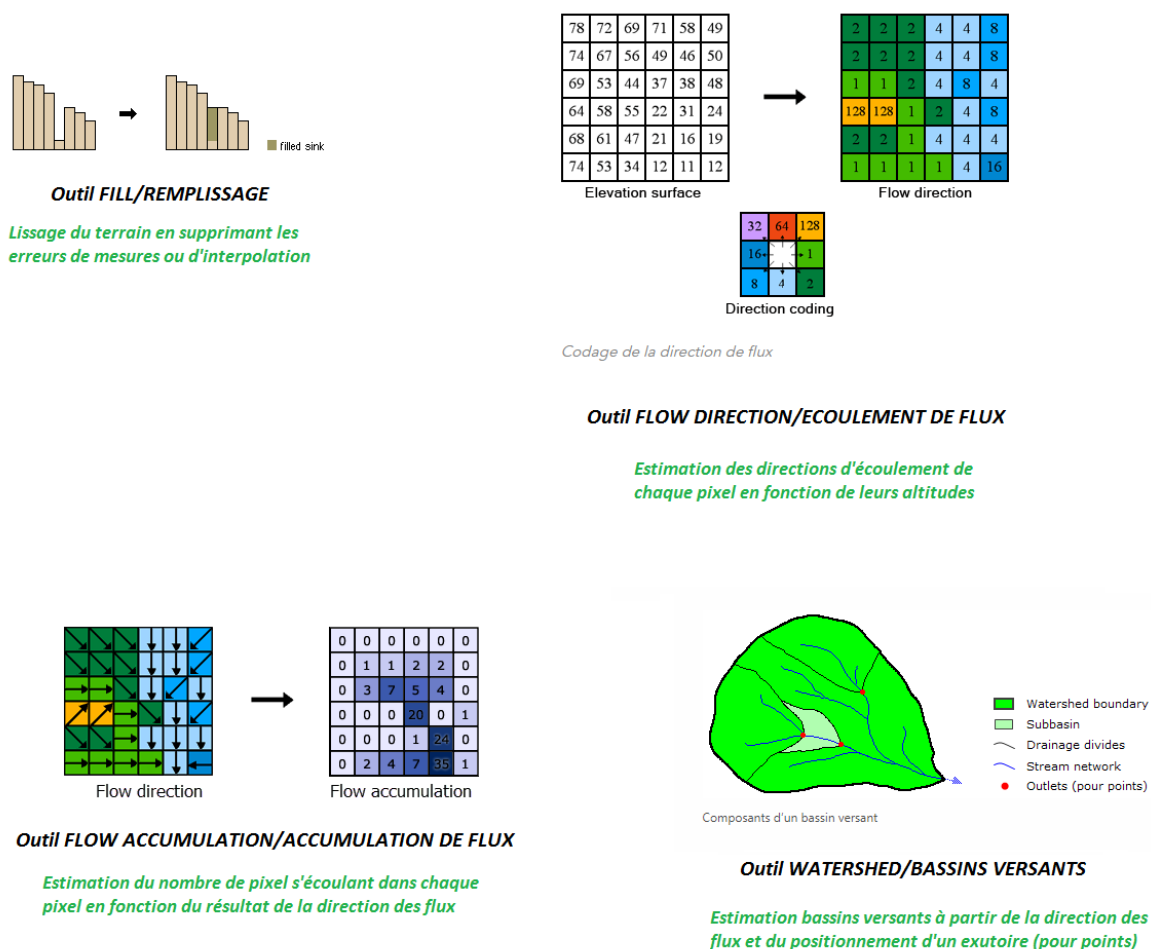
$\alpha$  : coefficient variant de 1.2 (étiage) à 1 (module) et 0.8 (crue)

## 3. Délimitation des sous bassins versants

Après suppression des ponts/buses/ponceaux présents sur le MNE à l'échelle du bassin versant entier du Kennebecasis, il a donc été possible de réaliser une analyse des bassins versants et sous bassins versants principaux afin de déterminer des paramètres hydrologiques nécessaires pour la simulation hydraulique. A partir de la méthode des transferts et des surfaces drainées en amont de chaque point de simulation, les conditions aux limites amont du modèle hydraulique ont pu être déterminées.

Le logiciel ArcGis offre la possibilité de réaliser des analyses hydrologiques en s'intéressant notamment à la délimitation des surfaces de drainage. La procédure suivante doit être utilisée dans un ordre successif précis (Fig 7). De plus, une transformation des données dans un format propre à ArcGis a été réalisée, en convertissant le MNE (.Tiff) en format GRID. Enfin, la résolution du MNE a été modifiée afin, d'une part, d'alléger les temps de calcul et, d'autre part, de la précision souhaitée dans l'estimation des surfaces. Une résolution de 10 mètres a été retenue.





#### 4. Détermination coefficient de rugosité - Manning

Les valeurs de Manning ont été déterminées à partir d'une combinaison entre des données d'occupation de sol et des valeurs théoriques de Manning associées à une occupation de sol spécifique.

Les données d'occupation du sol ont pu être obtenues à partir de la base de données fédérale du Canada. Les données les plus récentes ont été utilisées et ont été publiées en 2010. Les zones correspondantes au Nouveau Brunswick sont les zones 19 et 20. Les données ont une précision de l'ordre de 92.7 % (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019). La résolution spatiale des données est de 30 mètres. Cette base de données se décompose en plusieurs ensembles de couches avec notamment (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019) :

- Inventaire des cultures d'Agriculture et Agroalimentaire Canada 2011, 2012, 2013
- Couverture des terres des régions agricoles du Canada, vers l'an 2000
- Service canadien des forêts (SCF) : Observation de la Terre pour le développement durable des forêts (OTDD), vers 2000
- Entités de base CanVec rasterisées
- Routes du Réseau routier national (RRN)

Les données ont été classifiées selon le protocole du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) : forêts, eaux, terres cultivées, prairies, lieux habités et autres terres (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019) (Tab II).

Tableau II: Descriptif des classes d'occupation de sol présente dans la base de données fédérale (source : [http://www.agr.gc.ca/atlas/supportdocument\\_documentdesupport/aafcLand\\_Use/fr/Utilisation\\_des\\_terres\\_en\\_1990\\_%202000\\_%202010\\_ISO19131.pdf](http://www.agr.gc.ca/atlas/supportdocument_documentdesupport/aafcLand_Use/fr/Utilisation_des_terres_en_1990_%202000_%202010_ISO19131.pdf))

valeur			
Type de domaine de la valeur	1 (énuméré)		
Domaine de la valeur			
Valeur de l'entité d'attribut	Étiquette	Code	Définition
	Non classifiée	11	Zones non classifiées en raison de la présence de nuages
	Lieux habités	21	Zones bâties et urbaines
	Routes	25	Primaires, secondaires et tertiaires
	Eaux	31	Plans d'eau naturels et artificiels
	Forêts	41	Zones arborées > 1 ha de superficie
	Terres humides en forêt	42	Terres humides avec couvert forestier
	Arbres	45	Zones arborées < 1 ha de superficie
	Terres humides arborées	46	Terres humides avec couvert arboré
	Terres cultivées	51	Vivaces et annuelles
	Prairies aménagées	61	Zones herbacées et arbustives utilisées pour le pâturage des bestiaux
	Prairies non aménagées	62	Zones herbacées et arbustives sans usage apparent (clairières dans les forêts, prairies alpines, toundras, etc.)
	Terres humides	71	Terres humides non différenciées
	Terres humides arbustives	73	Terres humides avec couvert arbustif
	Terres humides herbacées	74	Terres humides avec couvert herbacé
	Autres terres	91	Zones rocheuses, plages, glaces, terres stériles

Le manuel *Hec-Ras Hydraulic Reference Manual version 5.0* suggère des valeurs de Manning. Ce coefficient permet de prendre en compte les pertes d'énergie en lien avec la friction. Néanmoins, ces valeurs ont dû être adaptées en générant notamment des compromis en fonction de la description des classes d'occupation du sol. De plus, le manuel Hec-Ras fournit un intervalle de valeurs de Manning avec une valeur minimale – moyenne – maximale.

Concernant la classe «Eaux - 31 », une analyse de la lithologie le long de la rivière Kennebecasis a été effectuée afin d'obtenir des informations de rugosité dans le chenal. Le fond de la rivière est rocaillieux, graveleux et sablonneux. Ce type de sédiment est facilement mobilisé par les forts courants et crues qui surviennent lors de fortes pluies et d'épisodes de fontes des neiges (Fortin et al., 2016).

Pour rappel, plus le coefficient de Manning (n) est grand, plus le matériel est rugueux ou génère un frottement important et inversement. Parmi les différentes classes représentées, le coefficient de Manning retenu s'est fait selon un classement décroissant (plus rugueux vers le moins rugueux) : Forêt et Arbres, Terres humides, Prairies, Cultures, Villes et Routes. Les coefficients suivants ont été retenus (Tab III).

Tableau III: Attribution des coefficients de Manning en fonction des classes d'occupation du sol (sources : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019 et *Hec- Ras Hydraulic Reference Manual version 5.0*)

Domaine de la valeur			
Valeur de l'entité de l'attribut	Etiquette	Code	Manning associé
	Non classifiée	11	-
	Lieux habités	21	0.0175
	Routes	25	0.016
	Eaux	31	0.045
	Forêts	41	0.2
	Terres humides en forêt	42	0.16
	Arbres	45	0.2
	Terres humides arborées	46	0.15
	Terres cultivées	51	0.0375
	Prairies aménagées	61	0.08
	Prairies non aménagées	62	0.1
	Terres humides	71	0.142
	Terres humides arbustives	73	0.14
	Terres humides herbacées	74	0.12
	Autres terres	91	0.055

## D) Validité du modèle

Tout processus de modélisation nécessite de vérifier la validité des résultats. En effet, pour rappel, un modèle est une tentative de représentation de la réalité avec l'utilisation d'hypothèses simplificatrices. Ainsi, le modèle topographique issu du logiciel ArcGis et le modèle numérique hydraulique issu du logiciel Hec-Ras doivent être confrontés à d'autres résultats. Après vérification, il sera envisageable de modifier certains paramètres à partir de points de calage.

Les seuls résultats d'analyse du risque d'inondation qui ont été validés dans la Province du Nouveau Brunswick sont ceux disponibles sur la base de données provinciale (géoNB). Il s'agit d'anciennes cartes inondables (datant en moyenne de 30 à 40 ans), ne couvrant pas l'ensemble de la province. Néanmoins, ces cartes à l'échelle 1 : 5000 sont présentes sur le bassin versant Kennebecasis et seront utilisées pour la validité des résultats de simulation. Les cartes ont été approuvées en 1982 et ont été réalisées par la Direction Général des eaux intérieures, Environnement Canada et par la Direction des ressources en eau en coopération avec le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources Canada (GéoNB, 2019).

A partir des métadonnées de ces cartes, il apparaît que la carte topographique a été réalisée par spectrophotométrie à l'aide de photographies aériennes datant de mai 1980. La délimitation des zones inondables correspond à deux périodes de retour spécifiques (20 ans et 100 ans). Ces limites de zones inondables ont été obtenues par simulation hydrologique/hydraulique 1D. A partir de ces informations, il sera néanmoins possible d'obtenir des différences de résultats mais il faudra minimiser ces écarts. Il est à noter qu'après vérification, il sera envisageable d'exploiter le modèle dans de nouvelles situations tels que la prise en compte du changement climatique par exemple.

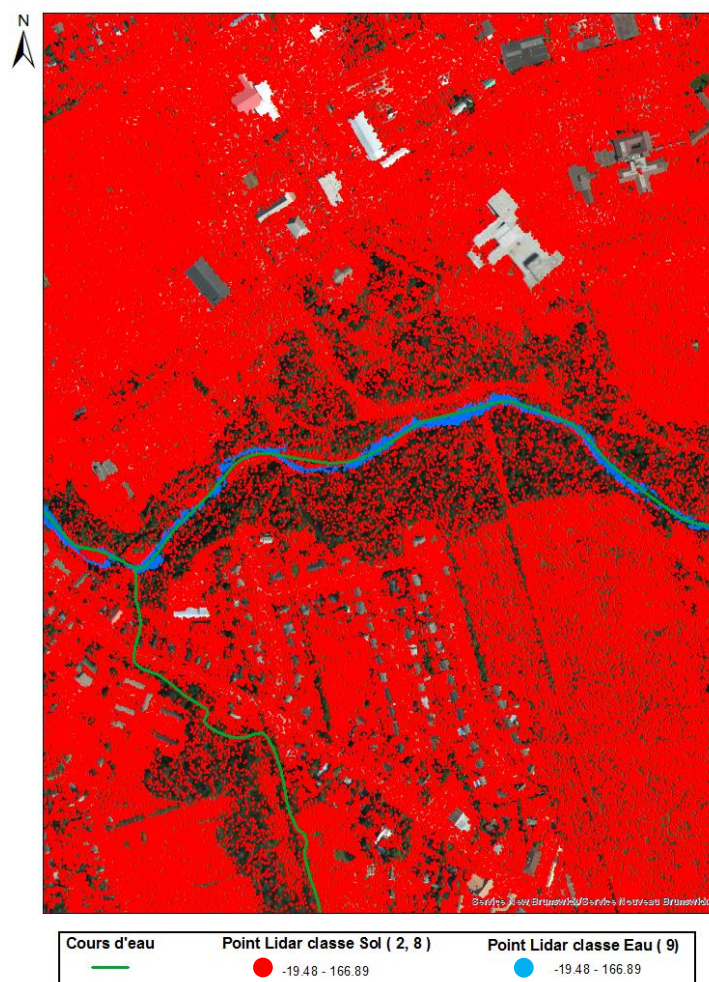
# Résultats et discussions

## A) Analyses et vérifications des données topographiques

### 1. Analyse des données lidar

#### Classification des points lidar

L'isolement des classes lidar a permis d'identifier l'intérêt des classes à retenir pour la constitution du futur MNT. Un test sur quelques feuillets a permis d'obtenir les résultats suivants (Fig 8). Le résultat présenté ne considère que les points de la classe sol (2), de la classe points de repère modèle (8) et de classe eau (9). Les points rouges correspondent aux classes 2 et 8 tandis que les points bleus correspondent uniquement à la classe 9 (Fig 8).



A partir des résultats obtenus ci-dessus, des questions sont apparues après l'ajout de la couche rivière. En effet, des tronçons de cours d'eau ne sont pas considérés en tant que classe eau (Fig 8). Après des recherches approfondies sur ces données, la classe 9 apparaît uniquement dans des zones où la/le rivière/fleuve mesure au moins 10 mètres de large et 220 mètres de long. Si des corps font moins que ces dimensions, ils seront considérés dans d'autres classes, notamment dans la classe

sol (2). De plus, la date de la campagne lidar favorise les assèchements des tronçons de la rivière du fait d'une acquisition durant la période estivale.

Par conséquent, après cette étape d'analyse, les classes 2, 8 et 9 doivent être conservées pour la construction du futur MNT. L'objectif est de garder un nombre de point suffisant afin de réduire les distances d'interpolation. Il est aussi à remarquer que la présence de végétation diminue fortement la pénétration des ondes lidar et, in fine, la détection des points de type sol, eau. Des erreurs d'altitude plus importantes seront possibles à ces endroits.

Néanmoins, comme il a pu être noté sur la figure précédente (Fig 8), des valeurs fortement négatives sont présentes dans les feuillets lidar. Ces valeurs auraient pu s'expliquer par le fait que le système de repères altimétriques se base sur la hauteur moyenne du niveau marin au niveau des zones côtières de l'Amérique du Nord (Ressource Naturelle Canada, RNCAN). De fortes amplitudes du niveau marin en lien avec le phénomène de marée sont présentes dans la zone et auraient donc pu être une réponse à cette observation. Cependant, il semblerait qu'après analyse, la sélection des classes lidar n'influence pas cet intervalle de valeur altimétrique laissant supposer qu'il s'agisse en réalité de valeurs en lien avec l'étendue du fichier lidar. Cette hypothèse s'est vérifiée après calcul de statistiques sur les fichiers lidar à l'aide du logiciel ArcGis.

### **Choix de la résolution du futur MNT**

L'analyse de l'espacement des points lidar a guidé le choix de la résolution la plus fine atteignable. En effet, le MNT devra se rapprocher de la réalité malgré les hypothèses simplificatrices et erreurs de mesures. Pour ce faire, il n'est pas souhaité de réaliser une interpolation tendant vers de la géostatistique. Les points de mesure doivent se situer au plus près des valeurs interpolées. Dans ce cas, l'espacement moyen des points des feuillets lidar retenus guidera la résolution du MNT.

L'espacement moyen des points lidar contenus dans la zone téléchargée est de 0.56 m. Une résolution de 0.5 m a donc été retenue pour l'interpolation des points. Pour rappel, la méthode d'interpolation de type voisins naturels a été utilisée.

### **Identification des ponts/ponceaux**

L'analyse des points lidar a aussi mis en évidence que la sélection des classes lidar n'a pas permis de supprimer l'ensemble des ponts/ponceaux/buses le long du réseau hydrographique.

L'interprétation des résultats obtenus tend vers une hypothèse : seuls les ponts ayant une dimension suffisante et potentiellement déclarés à l'échelle de la province, ont pu être considérés dans la classe pont. Concernant les ponceaux/buses, la classe sol (2) explique la conservation de ces ouvrages. En effet, les routes sont conservées à partir de la sélection de cette classe.

La méthode de suppression détaillée dans la partie précédente a permis d'identifier 845 intersections entre les couches vectorielles « routes » et « cours d'eau ».



## 2. Obtention et analyse du Modèle Numérique de Terrain

Le Modèle Numérique de Terrain est composé de 805 feuillets lidar afin d'intégrer l'ensemble des anciennes cartes inondables du bassin versant. La résolution appliquée en sortie est de 0.5 m et a été effectuée à l'aide de l'interpolation par voisins naturels (Fig 9). L'altitude maximale observée sur le bassin versant est d'environ 384 mètres selon le système de référence altimétrique CGVD2013 (Fig 9 et 10). La valeur minimale observée est quant à elle d'environ 0.7 mètres (Fig 9 et 10).

Parmi les points lidar utilisés, 99.4 % sont des points de classe sol (classe 2), 0.3 % sont des points de classe eau (classe 9) et 0.3 % sont des points considérés comme des repères (classe 8).

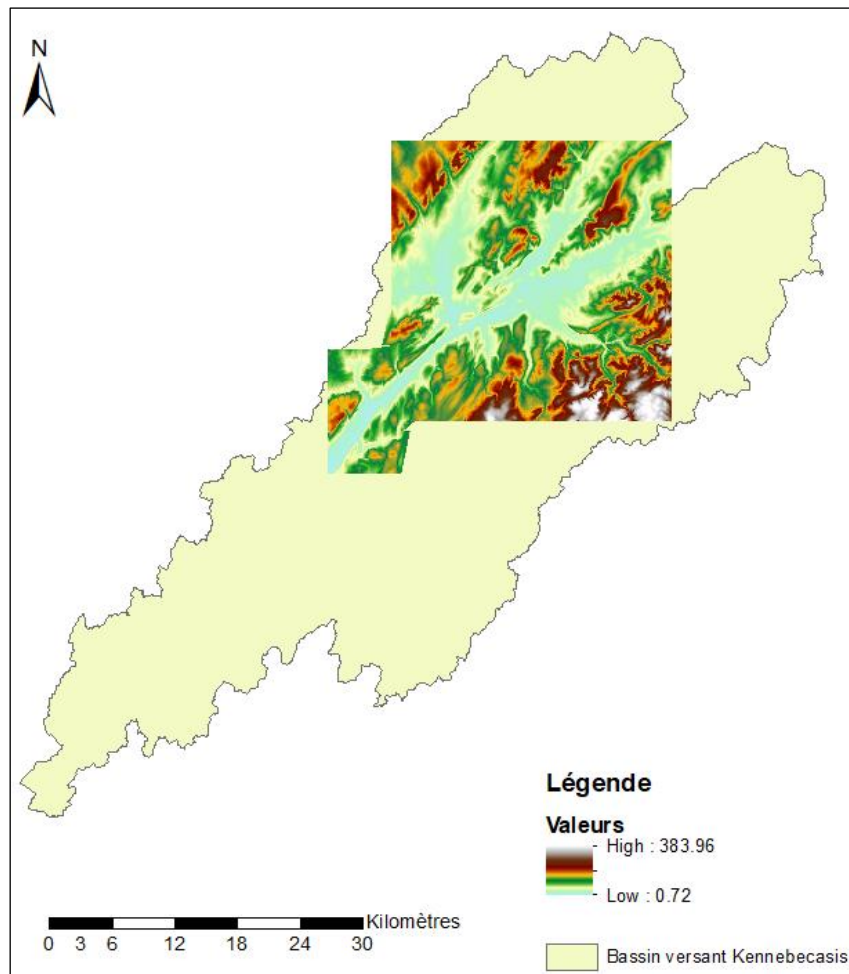


Figure 9: Localisation de la sélection des feuillets lidar pour obtention du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution 0.5 mètres

Une vérification de cohérence avec la couche réseau hydrographique, disponible sur la base de données provinciale (GéoNb), a été effectuée. Le réseau semble cohérent avec la topographie estimée par le MNT (Fig 10). La couche d'inondation illustrée ici correspond aux anciennes cartes d'inondation, qui ont été approuvées en 1982 par le Gouvernement du Nouveau Brunswick (Fig 10).

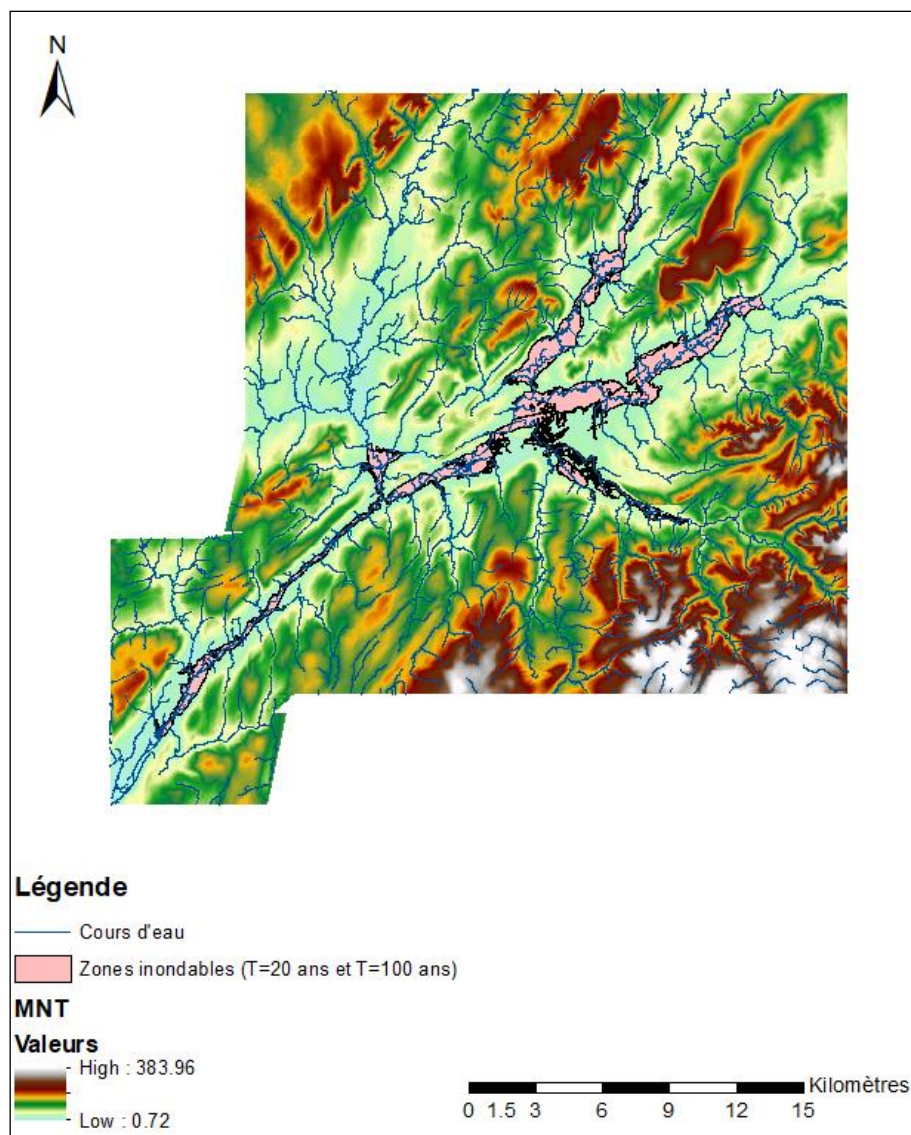


Figure 10: Modèle Numérique de Terrain obtenu après interpolation des points lidar. Les zones inondables proviennent des anciennes cartes validées en 1982 par le Gouvernement du Nouveau Brunswick (GéoNB)

### 3. Obtention du Modèle Numérique d'Élévation

Le Modèle Numérique d'Élévation suivant a pu être obtenu après la sélection de 65 feuillets sur la base de données provinciale (GéoNb) (Fig 11). La résolution est de 1 mètre (GéoNB). Le découpage des feuillets MNE a été effectué à l'aide de la couche vectorielle « bassins versants » sur GéoNB.

L'altitude maximale observée sur le bassin versant est d'environ 420 mètres selon le système de référence altimétrique CGVD2013 (Fig 11). La valeur minimale observée est quant à elle d'environ 0 mètre (Fig 11).

Ce Modèle Numérique d'Élévation a été exploité pour la délimitation des sous bassins versants.



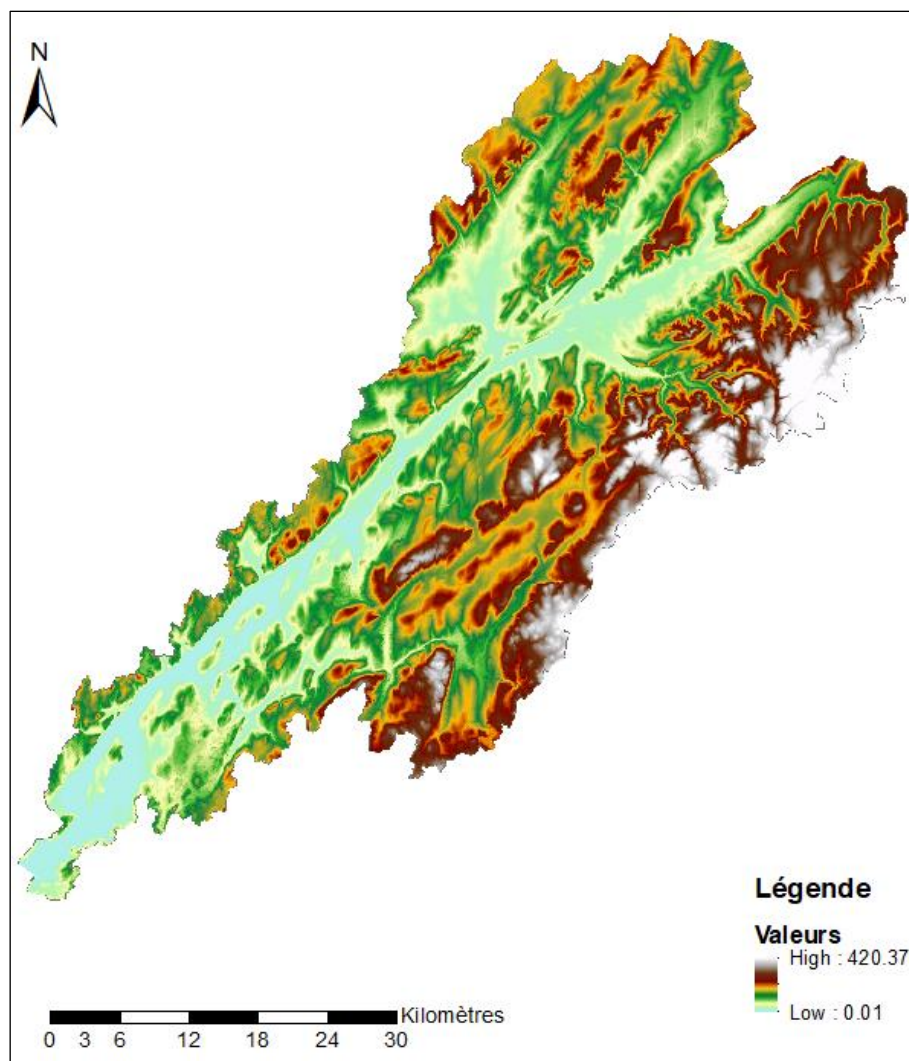


Figure 11: Modèle Numérique d'Élévation obtenu après sélection des 65 feuillets au niveau du bassin versant Kennebecasis (source : GéoNB)

## B) Validation de la méthode de délimitation des sous bassins versants

L'objectif de cette partie était d'appliquer la méthodologie citée précédemment pour supprimer les ponts/ponceaux/buses sur le MNE afin d'obtenir les surfaces drainées au niveau de l'entrée du domaine de simulation. Afin de vérifier la validité de l'analyse hydrologique réalisée à partir de cette procédure, une comparaison des surfaces obtenues avait été effectuée avec les bassins versants estimés par le Kennebecasis Watershed Restoration Committee (KWRC). Les résultats suivants ont ainsi été obtenus (Fig 12 et Tab IV).

D'un point de vue visuel, les sous bassins versants sont similaires (Fig 12 et 13). Néanmoins il est à noter des différences au niveau des lignes de crêtes, notamment sur la partie amont du bassin versant. Les erreurs pourraient venir du fait que des routes n'ont pas été représentées dans la couche vectorielle utilisée. Les résultats de la comparaison en termes de surfaces sont présentés dans le tableau suivant (Tab IV).

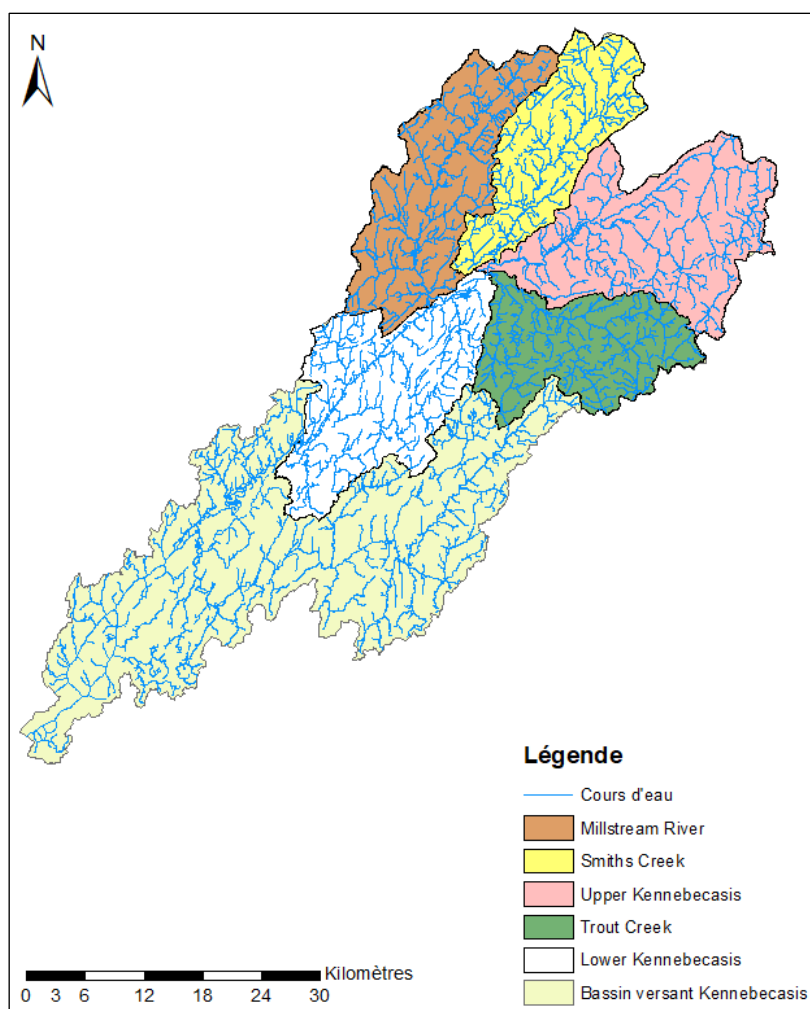


Figure 12: Délimitation des sous bassins versants de la rivière Kennebecas selon les exutoires du Kennebecas  
Watershed Restoration Committee

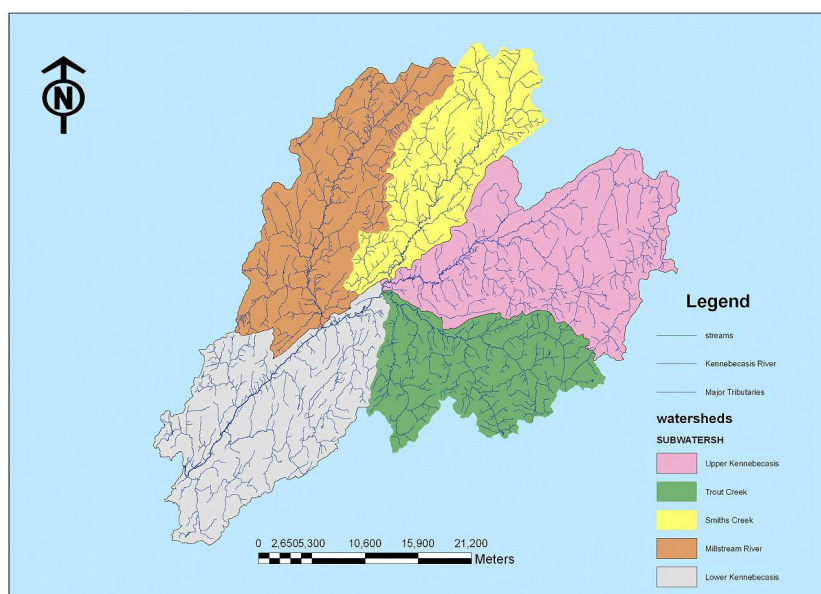


Figure 13: Découpage du bassin versant Kennebecas en sous bassins versants principaux (Source: Kennebecas  
Watershed Restoration Committee, 2013 dans Fortin et al., 2016)

**Tableau IV: Analyse comparative des surfaces drainées obtenues par la méthode utilisée dans le rapport (Suppression ouvrages en travers + outils ArcGis) et les données du Kennebecasis Watershed Restoration Committee (KWRC) (source : Fortin et al., 2017)**

Sous bassins versants	Surfaces drainées (km <sup>2</sup> )	
	Méthodologie utilisée	KWRC (Fortin et al., 2017)
Smiths Creek	207.3	207
Trout Creek	219.5	221
Millstream River	274.1	276
Lower Kennebecasis	306	307
Upper Kennebecasis	324.8	337
Total (Somme des 5 sous bassins principaux précédents)	1331.7	1348

Après analyse des résultats, il s'avère que la méthodologie utilisée permet d'obtenir des résultats satisfaisants en termes de représentation des surfaces drainées. Un écart total de 16.3 km<sup>2</sup> est observé sur la superficie totale (Tab IV). Il est toutefois à noter que l'écart total est principalement observé au niveau du sous bassin versant « Upper Kennebecasis ». Les écarts pourraient s'expliquer par la résolution de 10 mètres utilisées, mais aussi par la présence de routes non identifiées dans la couche de la base de données provinciale.

### C) Obtention de la carte du coefficient de Manning

La carte d'occupation du sol de la base de données fédérale a permis d'obtenir les résultats suivants (Fig 14). Les classes d'occupation du sol dominantes à l'échelle de l'ensemble du bassin versant Kennebecasis sont : Forêts (76.3%), Terres cultivées (8.3 %), Eaux (5.7 %) et Lieux habités (5.2 %) (Tab V).

**Tableau V: Résultats de l'analyse des pourcentages d'occupation du sol selon les classes d'Agriculture et Agroalimentaire Canada**

Domaine de la valeur	Etiquette	Code	Pourcentage du type d'occupation de sol (%)
Valeur de l'entité de l'attribut	Lieux habités	21	5.2
	Routes	25	2.7
	Eaux	31	5.7
	Forêts	41	76.3
	Terres humides en forêt	42	0.4
	Arbres	45	0.3
	Terres humides arborées	46	0.08
	Terres cultivées	51	8.3
	Prairies aménagées	61	0.08
	Prairies non aménagées	62	0.01
	Terres humides	71	0.1
	Terres humides arbustives	73	0.7
	Terres humides herbacées	74	0.03
	Autres terres	91	0.005

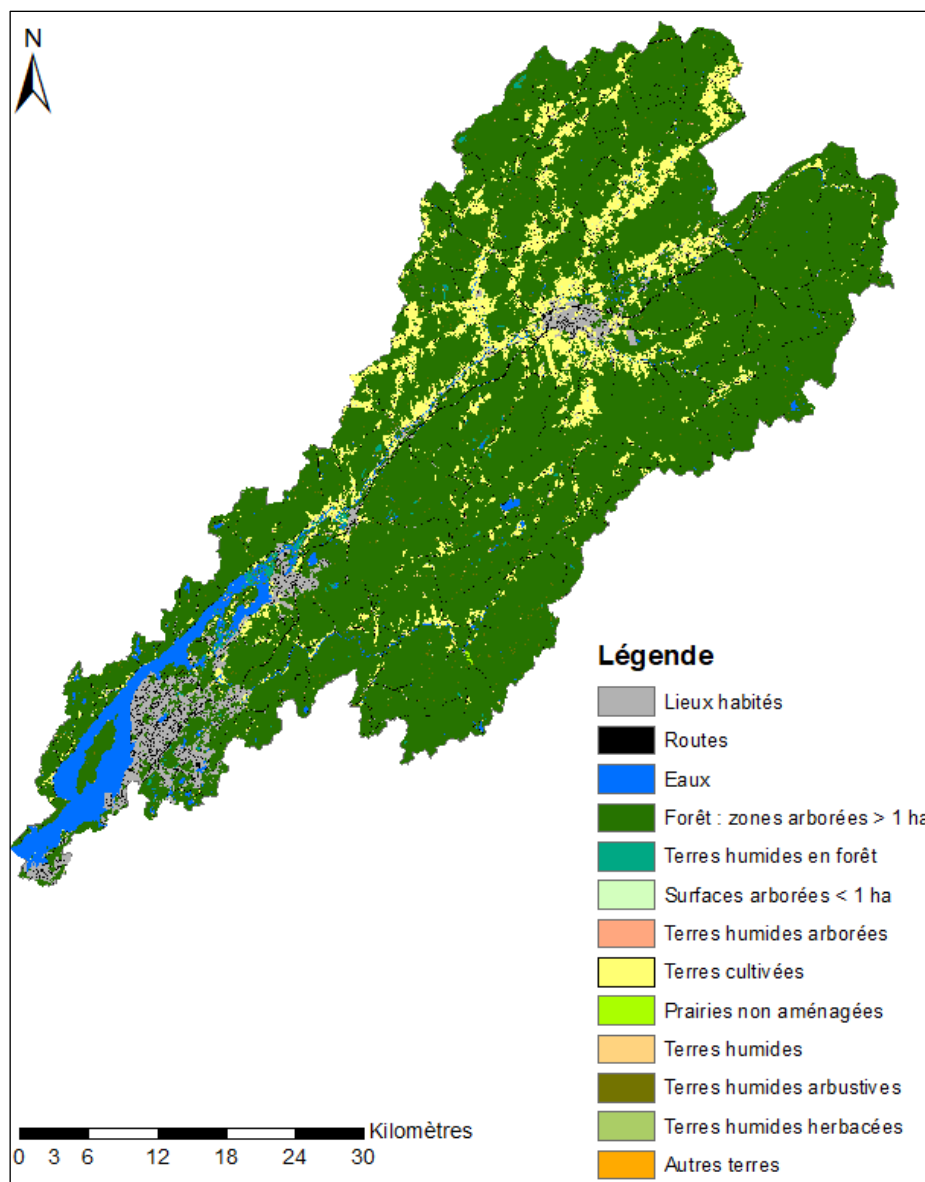


Figure 14: Carte d'occupation du sol sur le bassin versant Kennebecasis  
(source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019)

A la suite de ces différents résultats, il est donc possible de pouvoir réaliser des simulations hydrauliques sur le bassin versant de la rivière Kennebecasis. Les perspectives futures de stage seront donc orientées vers la réalisation de simulations hydrauliques. Par rapport aux objectifs d'origine, l'étape de préparation des données pour la simulation hydraulique est finie.

Il sera maintenant nécessaire de sélectionner les zones de simulation afin de déterminer les surfaces drainées pour les valeurs de débits à injecter dans le modèle à l'aide de la méthode des transferts. La compréhension du fonctionnement du logiciel Hec-Ras en 2D sera aussi un futur objectif.

Enfin, l'étude du bassin versant de la Sélune en Normandie sera aussi à poursuivre dorénavant pour la suite du stage afin d'effectuer un travail similaire à celui réalisé sur le bassin versant de la rivière Kennebecasis.

# Conclusion

Les missions de stage effectuées s'inscrivaient dans deux projets scientifiques différents, connectés par la problématique de réduction des risques hydroclimatiques à l'échelle des bassins versants. L'aspect opérationnel des projets était d'améliorer la gestion de ces risques par la création d'outils et de méthodes pour les décideurs en termes d'aménagement du territoire dans l'optique de réduction des impacts (humains, matériels, économiques).

Les résultats obtenus à ce jour correspondent aux étapes préliminaires à la modélisation hydraulique. Parmi les principaux résultats, la sélection des classes lidar à retenir, le Modèle Numérique de Terrain (MNT), la méthodologie d'estimation des surfaces drainées pour l'estimation des débits à l'aide de la méthode des transferts et les coefficients de pertes d'énergie par frottement (carte de Manning) ont été effectués.

La suite du stage sera donc orientée vers la création de simulations hydrauliques à l'aide du logiciel HEC-RAS ainsi que la poursuite du travail sur le bassin versant de la Sélune (Normandie, France). Une compréhension accrue des principes de modélisation en 2D et du fonctionnement des méthodes de calcul numérique du logiciel seront aussi des perspectives de stage. Enfin, des étapes de calibration du modèle hydraulique à partir d'analyses et de comparaisons des sorties du modèle seront aussi à effectuer dans le futur.

Malgré le fait que le stage ne soit pas fini, il est possible de faire un premier bilan des compétences acquises lors de cette expérience. Les missions réalisées ont principalement permis de développer des compétences scientifiques et organisationnelles. En effet, tout au long du stage, une organisation personnelle et en équipe ont été présentes. Des défis personnels ont été énoncés chaque semaine d'une part, et, d'autre part, des échanges, des conseils, ainsi que des réunions hebdomadaires d'avancées de travail et des challenges rencontrés ont été effectués. A ce titre, des compétences organisationnelles ont donc été développées. Concernant les compétences scientifiques, des outils techniques ont été utilisés tels que ArcGis, Hec-Ras et Agisoft. Ces outils se regroupent en deux thématiques : géomatique et traitement de données géographiques d'une part (ArcGis et Agisoft), et, d'autre part, modélisation hydrologique/hydraulique (Hec-Ras).

Pour conclure, cette expérience a été enrichissante et épanouissante d'un point de vue professionnel et personnel. J'ai particulièrement apprécié le travail en équipe qui a permis de rencontrer un plus large panorama de défis en fonction des bassins versants d'étude et d'obtenir des points de vue différents en termes de méthodes de résolution de ces challenges notamment. Ce stage m'a permis de découvrir professionnellement le domaine de la prévention du risque d'inondation qui m'intéresse fortement pour mes perspectives d'avenir. J'ai pu découvrir un aspect du domaine, en mettant notamment l'accent sur la recherche et le développement d'outils et de méthodes, à travers ma participation à ce projet dans deux unités de recherches différentes. Enfin, ce stage m'a permis de découvrir le domaine professionnel à l'échelle internationale. Ce point m'avait fortement attiré pour découvrir une nouvelle culture et d'autres problématiques scientifiques. Le retour d'expérience est très satisfaisant et, encore une fois, enrichissant pour mon futur professionnel.

# Bibliographie

Agriculture et Agroalimentaire Canada. *Utilisation des terres en 1990, 2000 et 2010 – Gouvernement du Canada*. Disponible sur : <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/18e3ef1a-497c-40c6-8326-aac1a34a0dec?fbclid=IwAR2FG88r4SXF1N27ETm68vM710hOGgqXckZJj4Q6c5uY5RHTgHuVI4pwnnQ> (15/06/2019)

ArcGis Documentation, *Ressources logiciel ArcGIS en ligne*. Disponible sur : <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/help/main/welcome-to-the-arcgis-pro-app-help.htm> (24/06/2019)

GéoNB, *Base de données provincial du Nouveau Brunswick*. Disponible sur : <http://www.snb.ca/geonb1/f/index-F.asp> (25/06/2019)

Géoportail, *Base de données nationale française – IGN*. Disponible sur : <https://www.geoportail.gouv.fr/> (25/04/2019)

Gouvernement du Canada, *Base de données fédérale*. Disponible sur : <https://wateroffice.ec.gc.ca/> (18/06/2019)

Guillaume FORTIN, Francis THERIAULT, Marc-André LONG. *COMPARAISON DE MÉTHODES POUR CARTOGRAPHIER LES ZONES À RISQUE D'INONDATION: BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE KENNEBECASIS – 2ème ANNÉE*. Rapport annuel projet : Université de Moncton, 2017. (12/05/2019)

Guillaume FORTIN, Francis THERIAULT, Gabriela GOUDARD et Allan Michel ALBUQUERQUE DA SILVA. *COMPARAISON DE MÉTHODES POUR CARTOGRAPHIER LES ZONES À RISQUE D'INONDATION: BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE KENNEBECASIS – 1ière ANNÉE*. Rapport annuel projet : Université de Moncton et Université fédérale du Paraná, 2016. (10/05/2019)

Guillaume PITON, *Méthode des transfert de bassin*. Disponible sur : [https://www.fun-mooc.fr/c4x/grenobleinp/19001/asset/Methode\\_de\\_transfert\\_de\\_bassin\\_G\\_Piton.pdf](https://www.fun-mooc.fr/c4x/grenobleinp/19001/asset/Methode_de_transfert_de_bassin_G_Piton.pdf) (05/06/2019)

Hydraulic Reference Manual version 5.0, US Army Corps of Engineers. *Hec-RAS River Analysis System, February 2016*. Disponible sur : <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf> (24/06/2019)

LETG UMR6554 Littoral Environnement Télédétection Géomatique – CNRS. *Présentation LETG*. Disponible sur : <http://letg.cnrs.fr/rubrique17.html> (15/06/2019)

Munich Re, *Catastrophes Naturelles 2015*, Revue annuelle Edition 2016. Publication 2 Mars 2016, p54-p61. Disponible sur : [https://www.munichre.com/site/touch-publications/get/documents\\_E-1399670172/mr/assetpool.shared/Documents/5\\_Touch/Publications/Geo-Risk/08876\\_Topics\\_Geo\\_2015\\_fr.pdf](https://www.munichre.com/site/touch-publications/get/documents_E-1399670172/mr/assetpool.shared/Documents/5_Touch/Publications/Geo-Risk/08876_Topics_Geo_2015_fr.pdf). (23/05/2019)

Ressources Naturelles Canada (RNcan), *Modernisation du système de référence altimétrique*. <https://www.rncan.gc.ca/modernisation-systeme-reference-altimetrique/9055> (18/05/2019)



# Liste des illustrations

Figure 1: Localisation du bassin versant de la rivière Kennebecasis (source: Open Street Map et GéoNB) .....	4
Figure 2: Découpage du bassin versant Kennebecasis en sous bassins versants principaux (Source: Kennebecasis Watershed Restoration Committee, 2013) .....	5
Figure 3: Statistiques climatiques réalisées entre 1981 et 2010, à Sussex (ville présente sur le bassin versant Kennebecasis) (Source: Environnement Canada dans Fortin et al., 2016). ....	6
Figure 4: Schéma simplifié de la méthode d'acquisition de données topographiques à partir de la méthode LIDAR (source: Arcgis documentation) .....	8
Figure 5: Etape d'alignement et de corrélation des photographies aériennes importées dans le logiciel Photoscan développé par Agisoft (source: Logiciel Agisoft et photographies de l'IGN).....	10
Figure 6: Localisation stations de jaugeage sur le bassin versant Kennebecasis (sources : Open street map et GéoNB).....	12
Figure 7: Procédure utilisée pour déterminer les sous bassins versants de la rivière Kennebecasis (source Arcgis, 2019) .....	14
Figure 8: Analyse des classes lidar (source: Arcgis et GéoNB) .....	17
Figure 9: Localisation de la sélection des feuillets lidar pour obtention du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution 0.5 mètres .....	19
Figure 10: Modèle Numérique de Terrain obtenu après interpolation des points lidar. Les zones inondables proviennent des anciennes cartes validées en 1982 par le Gouvernement du Nouveau Brunswick (GéoNB).....	20
Figure 11: Modèle Numérique d'Élévation obtenu après sélection des 65 feuillets au niveau du bassin versant Kennebecasis (source : GéoNB).....	21
Figure 12: Délimitation des sous bassins versants de la rivière Kennebecasis selon les exutoires du Kennebecasis Watershed Restoration Committee .....	22
Figure 13: Découpage du bassin versant Kennebecasis en sous bassins versants principaux (Source: Kennebecasis Watershed Restoration Committee, 2013) .....	22



Figure 14: Carte d'occupation du sol sur le bassin versant Kennebecasis (source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019).....	24
---	----

## Liste des tableaux

Tableau I: Classification des points lidar (source: ArcGis Documentation, 2019).....	9
--	---

Tableau II: Descriptif des classes d'occupation de sol présente dans la base de données fédérale (source base de données fédérale Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)).....	15
---	----

Tableau III: Attribution des coefficients de Manning en fonction des classes d'occupation du sol (sources : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019 et <i>Hec-Ras Hydraulic Reference Manual version 5.0</i> ) .....	16
--	----

Tableau IV: Analyse comparative des surfaces drainées obtenues par la méthode utilisée dans le rapport (Suppression ouvrages en travers + outils ArcGis) et les données du Kennebecasis Watershed Restoration Committee (KWRC) (source : Fortin et al., 2017) .....	23
---	----

Tableau V: Résultats de l'analyse des pourcentages d'occupation du sol selon les classes d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.....	23
---	----



**POLYTECH**  
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS  
37200 TOURS

## **Modélisation hydraulique des zones inondables et changement climatique**

Médéric JOLY  
2018-2019

Résumé : Les missions confiées durant ce stage de 4 mois (23 avril au 11 août) s'orientent vers le domaine de la prévention des risques d'inondation. L'objectif principal des projets auxquels j'ai participé étaient de développer des outils et des méthodes simples et les moins onéreux possibles afin de fournir des informations aux décideurs en termes de planification urbaine et d'aménagement du territoire. Ces défis sont particulièrement actuels au Canada avec des inondations récurrentes ces trois dernières années durant la période printanière.

**Mots Clés** : Modélisation, Zones inondables, Hydraulique, Hydrologie, Bassins versants, Géomatique, Modèle Numérique de Terrain, Stations de jaugeage

---

**Campus de Moncton** - 18, avenue Antonine-Maillet NB E1A 3E9 MONCTON CANADA

**LETG-Rennes** – Campus Villejean, Maison de la Recherche, 6 avenue Gaston Berger, 35000 RENNES, FRANCE

Tuteur académique :  
**Monsieur Pierre PEETERS**

Tuteur entreprise :  
**Monsieur Guillaume FORTIN**  
**Professeur de Géographie**