

**PROJET TX 14 1206 01  
ÉTUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT  
DE LA RIVIÈRE VIVIRY AU LAC PINE  
VILLE DE HUDSON  
VERSION FINALE**

Projet TX 14 1206 01

# Étude hydrologique du bassin versant de la rivière Viviry au lac Pine

---



**Présenté par :**

AMEC Environnement & Infrastructure  
Une division d'AMEC Amériques Limitée  
1425, route Transcanadienne, bureau 400  
Dorval (Québec) H9P 2W9  
CANADA

Distribution : 1 c. Ville de Hudson  
1 c. AMEC



[REDACTED]

[REDACTED]

N/Réf. : TX 14 1206 01

**Objet : Transmission du rapport de l'étude hydrologique du bassin versant de la rivière Viviry**

Madame,

Nous vous transmettons par la présente notre rapport concernant le projet mentionné en rubrique.

Nous espérons que notre rapport vous apportera entière satisfaction. N'hésitez pas à nous contacter si vous avez besoin d'informations supplémentaires.

Veuillez agréer, Madame, nos salutations distinguées.

**AMEC Environnement & Infrastructure**  
**Une division d'AMEC Amériques Limitée**

[REDACTED]

G:\Project\2014\TX 14 1206 01 Ville de Hudson - Riviere Viviry\5.0 Rapport et calculs\5.3 Rapport et devis\Rapports transmis\TX 14 1206 01-Final.docx

AMEC Environnement & Infrastructure  
Une division d'AMEC Amériques Limitée  
1425, route Transcanadienne, bureau 400  
Dorval (Québec) H9P 2W9  
CANADA  
Tél. 514 684-5555  
Téléc. 514 684-1309  
1 866 943-AMEC

### **Avis important**

Ce rapport a été préparé par AMEC Environnement & Infrastructure, une division d'AMEC Amérique Limitée (« AMEC ») à l'usage exclusif de la ville de Hudson. La qualité des informations, des conclusions et des estimations contenues aux présentes reflète le niveau d'effort et d'attention fourni par les services d'AMEC. Cette qualité est basée sur : i) les informations disponibles au moment de la préparation de ce rapport, ii) les données fournies par des sources extérieures, et iii) les hypothèses, les conditions et les restrictions énoncées à ce rapport. Ce rapport est destiné à être utilisé strictement par la ville de Hudson, sous réserve des conditions et des modalités de son contrat avec AMEC. Toute utilisation de ce rapport ou prise de décision sur la base de celui-ci par une tierce partie est faite aux risques de cette tierce partie.

## Sommaire

La rivière Viviry contrôle un bassin versant semi-rural (partiellement urbanisé) d'environ 14 km<sup>2</sup> de superficie. Les informations actuellement disponibles consistent en la topographie du terrain, l'occupation du sol et les types de sol. Ces informations ont été utilisées dans le cadre de la présente étude pour analyser et pour caractériser ce bassin versant. La rivière Viviry n'est pas jaugée et ne dispose pas de données hydrométriques qui permettent de caractériser son régime hydrologique. Des approches bien adaptées à ce genre de situation ont été utilisées pour estimer le débit moyen annuel (module), les débits de crues et les débits d'étiages de la rivière.

Sur la rivière Viviry est érigé le barrage du lac Pine qui crée une retenue d'eau à vocation récréative. Pour caractériser ce lac, la ligne de hauteurs d'eau a d'abord été délimitée. La bathymétrie a été relevée ensuite. Le volume de la retenue s'établit à environ 16 634 m<sup>3</sup> et le plan d'eau couvre une superficie de l'ordre de 18 753 m<sup>2</sup> correspondant à la ligne des hautes eaux.

Une analyse hydraulique par modélisation a permis d'établir les niveaux d'eau correspondant à diverses crues et à différentes conditions hydrauliques.

Note : Le barrage du lac Pine est classé comme un barrage de faible contenance conformément à la Loi et au Règlement sur la sécurité des barrages du Québec.

À titre indicatif, le potentiel d'affouillement au pied aval du barrage a été estimé moyennant des méthodes empiriques.

## Table des matières

|                                                                                       | Page     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1.0 Introduction .....</b>                                                         | <b>1</b> |
| 1.1 Contexte .....                                                                    | 1        |
| 1.2 Objectifs.....                                                                    | 1        |
| 1.3 Site de l'étude.....                                                              | 1        |
| <b>2.0 Approche et méthode.....</b>                                                   | <b>2</b> |
| 2.1 Approche globale .....                                                            | 2        |
| 2.2 Approche spécifique à l'analyse hydrologique.....                                 | 2        |
| 2.2.1 Caractérisation physiographique du bassin versant.....                          | 2        |
| 2.2.2 Caractérisation du régime hydrologique de la rivière Viviry .....               | 2        |
| 2.2.3 Établissement des débits de crue.....                                           | 3        |
| 2.2.4 Établissement des débits d'étiage .....                                         | 3        |
| 2.3 Approche spécifique à l'analyse hydraulique .....                                 | 3        |
| <b>3.0 Données de base .....</b>                                                      | <b>3</b> |
| 3.1.1 Relevés topographique et bathymétrique.....                                     | 3        |
| 3.1.2 Délimitation de la ligne des hautes eaux du lac Pine .....                      | 4        |
| 3.2 Climatologie.....                                                                 | 5        |
| 3.3 Hydrométrie .....                                                                 | 6        |
| <b>4.0 Relevés de terrain.....</b>                                                    | <b>8</b> |
| <b>5.0 Analyse hydrologique .....</b>                                                 | <b>9</b> |
| 5.1 Réseau hydrographique : bassins versants, cours d'eau, lacs, milieux humides..... | 9        |
| 5.2 Caractérisation du bassin versant.....                                            | 10       |
| 5.2.1 Délimitation du bassin et des sous-bassins versants.....                        | 10       |
| 5.2.2 Hypsométrie.....                                                                | 11       |
| 5.2.3 Occupation du sol et activités économiques .....                                | 13       |
| 5.2.4 Types de sols.....                                                              | 15       |
| 5.2.5 Géologie et hydrogéologie.....                                                  | 15       |
| 5.2.6 Climatologie .....                                                              | 16       |

|            |                                              |           |
|------------|----------------------------------------------|-----------|
| 5.3        | Régime hydrologique naturel .....            | 16        |
| 5.4        | Estimation des débits de crue .....          | 17        |
| 5.4.1      | Méthode rationnelle .....                    | 17        |
| 5.4.2      | Méthode régionale .....                      | 18        |
| 5.4.3      | Méthode de transposition .....               | 19        |
| 5.4.4      | Comparaison des résultats .....              | 20        |
| 5.5        | Estimation des débits d'étiage .....         | 21        |
| <b>6.0</b> | <b>Analyse hydraulique .....</b>             | <b>22</b> |
| 6.1        | Modélisation hydraulique de la rivière ..... | 22        |
| 6.2        | Calage et validation du modèle .....         | 23        |
| 6.3        | Scénarios simulés .....                      | 23        |
| 6.4        | Interprétation des résultats .....           | 23        |
| 6.5        | Estimation des affouillements .....          | 24        |
| <b>7.0</b> | <b>Conclusion.....</b>                       | <b>26</b> |

## Liste des figures

|              |                                                                         |    |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 4-1:  | Modèle numérique de terrain du la Pine.....                             | 8  |
| Figure 5-1:  | Réseau hydrographique de la municipalité de Vaudreuil-Soulanges .....   | 9  |
| Figure 5-2:  | Limites du bassin versant de la rivière Viviry .....                    | 11 |
| Figure 5-3 : | Topographie du bassin versant de la rivière Viviry .....                | 12 |
| Figure 5-4:  | Courbe Hypsométrique du bassin versant de la rivière Viviry .....       | 13 |
| Figure 5-5:  | Occupation du bassin versant de la rivière Viviry .....                 | 14 |
| Figure 5-6:  | Types de sol présents dans le bassin versant de la rivière Viviry ..... | 15 |

## Liste des tableaux

|              |                                                                                         |   |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Tableau 3-1: | Espèces végétales observées au lac Pine à Hudson .....                                  | 4 |
| Tableau 3-2: | Stations météorologiques dans la zone d'étude opérées par<br>Environnement Canada ..... | 5 |
| Tableau 3-3: | IDF de la station Oka (intensité en mm/h) .....                                         | 5 |

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 3-4: Coefficients A et B utilisés pour l'interpolation des intensités de pluie .....                                                                  | 6  |
| Tableau 3-5: Identification et caractéristiques des stations hydrométriques régionales.....                                                                   | 7  |
| Tableau 3-6 : Coefficients de corrélation entre les séries des débits journaliers des stations candidates .....                                               | 8  |
| Tableau 5-1: Principales caractéristiques physiques du bassin versant de la rivière Viviry au lac Pine .....                                                  | 10 |
| Tableau 5-2: Calcul du coefficient de ruissellement pondéré (Cp) selon les types d'occupation du sol .....                                                    | 17 |
| Tableau 5-3: Débits fréquents de crues de la rivière Viviry au lac Pine (approche rationnelle) .....                                                          | 18 |
| Tableau 5-4: Débits fréquents de crues de la rivière Viviry au barrage du lac Pine (méthode régionale du Québec).....                                         | 18 |
| Tableau 5-5: Débits de crues à la station L'Acadie .....                                                                                                      | 19 |
| Tableau 5-6: Transposition des débits de crue de la station L'Acadie au bassin versant du lac Pine .....                                                      | 20 |
| Tableau 5-7: Transposition des débits de crue de la station L'Acadie au bassin versant du lac Pine après application du facteur de majoration égal à 1,5..... | 20 |
| Tableau 5-8: Comparaison des résultats des trois méthodes d'estimation des débits de crues.....                                                               | 21 |
| Tableau 5-9: Débits d'étiage aux stations retenues (CEHQ, 2011) .....                                                                                         | 22 |
| Tableau 5-10: Débits d'étiage transposés au bassin versant du lac Pine.....                                                                                   | 22 |

## Liste des annexes

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| Annexe 1 | Relevés topographiques du lac Pine |
| Annexe 2 | Données et résultats hydrologiques |
| Annexe 3 | Simulations hydrauliques           |
| Annexe 4 | Dessins du barrage                 |



## **1.0 Introduction**

### **1.1 Contexte**

Le lac Pine est contrôlé par un barrage situé à son exutoire. Ce barrage a subi des dégâts et un affaissement et nécessite une réhabilitation. Les fuites sous le barrage sont si importantes que le lac est complètement vide. Suite à ce problème survenu au printemps 2014, la Ville de Hudson a mandaté AMEC Environnement & Infrastructure, une division d'AMEC Amériques Limitée (« AMEC ») pour effectuer une étude hydrologique du bassin versant de la rivière Viviry. Il est entendu que la présente étude n'a pas pour objectif d'identifier les causes des défaillances du barrage ni de proposer des solutions. Cette étude vise uniquement à caractériser le régime hydrologique de la rivière Viviry. Les résultats qui en découleront pourront alors servir de base à d'autres études pour l'ingénierie ou pour des études environnementales.

### **1.2 Objectifs**

La présente étude vise à :

- caractériser le bassin versant de la rivière Viviry;
- modéliser la rivière Viviry en amont du barrage existant;
- établir le niveau des hautes eaux;
- estimer les débits fréquents de crues;
- calculer les profondeurs d'affouillement aux endroits vulnérables.

### **1.3 Site de l'étude**

La rivière Viviry traverse la ville de Hudson, qui fait partie de la municipalité régionale de comté (MRC) de Vaudreuil-Soulanges. Le lac Pine est situé à environ 1,2 km en amont de l'embouchure avec la rivière des Outaouais et à 800 m de l'hôtel de Ville de Hudson.

La zone d'intérêt est constituée du lac Pine, ainsi que de la rivière Viviry et de ses tributaires localisés en amont du barrage.

À partir du barrage, la rivière Viviry a une longueur de 3,6 km. Le barrage du lac Pine est situé aux coordonnées : 45°27'12.57"N, 74°8'45.23"O. Le lac associé au barrage couvre une superficie d'environ 1,0 ha. La superficie du bassin global de la rivière Viviry est de 14,5 km<sup>2</sup> au niveau de l'estuaire dans la rivière des Outaouais. Au niveau de l'exutoire du lac Pine (barrage), le bassin versant a une superficie de 14 km<sup>2</sup>.

## **2.0 Approche et méthode**

### **2.1 Approche globale**

Le mandat est constitué de cinq (5) principales missions complémentaires :

- une visite de reconnaissance des lieux qui consiste à réaliser une enquête pour la collecte d'informations;
- une revue des données et des informations de base;
- une campagne de mesures bathymétriques (lac et cours d'eau), des relevés topographiques des berges de la rivière;
- une étude hydrologique du bassin versant et des débits de crue;
- une étude hydraulique moyennant une modélisation de la rivière.

### **2.2 Approche spécifique à l'analyse hydrologique**

#### **2.2.1 Caractérisation physiographique du bassin versant**

Le bassin versant de la rivière Viviry a été délimité à l'aide du logiciel WMS 9.1 (AQUAVEO) à partir du modèle numérique de terrain à l'échelle 1/20000<sup>ème</sup>. Le modèle numérique de terrain et la carte topographique ont été acquis auprès de Géoboutique du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERN). Le modèle utilisé est celui de la tuile : 31G08-0202- Vaudreuil-Dorion, la carte utilisée est 31 G08-0202-Vaudreuil-Dorion. Le système de projection étant le MTM (Est Canada) NAD83 – Zone 8.

La délimitation automatique a d'abord été validée et corrigée en utilisant l'information géographique telle que les couches de cours d'eau, de lacs et de réseaux de transport acquise de la base de données Géogratis (Canada). Les principales caractéristiques physiographiques ont ensuite été analysées.

#### **2.2.2 Caractérisation du régime hydrologique de la rivière Viviry**

Il n'y a pas de stations de jaugeage ni de données hydrométriques historiques spécifiques à la rivière Viviry. Dans le cas de cours d'eau non jaugés, il est indispensable d'avoir recours à des approches indirectes pour caractériser le régime hydrologique.

Une recherche bibliographique a été réalisée pour identifier des sources d'information potentielles. Une transposition a été effectuée à partir de bassins versants similaires et homogènes sur le plan hydroclimatologique.

Le bassin de la rivière Viviry est situé dans la région hydrologique 04 définie par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), anciennement le MDDEFP. Cette région correspond à la zone 02 : Baie Hudson définie par le

service hydrométrique du Canada ( Environnement Canada). Les informations issues de stations hydrométriques localisées au sein de la région ont été exploitées dans le but de dresser le portrait le plus proche du régime hydrologique du bassin versant et de la rivière Viviry.

### **2.2.3 Établissement des débits de crue**

Les débits de crue ont été estimés selon quatre (4) méthodes. Une première estimation de l'ordre de grandeur des débits de crues a été effectuée en se basant sur l'approche régionale (Messier et al. 2007; Anctil et al. 1998). Une deuxième estimation a été réalisée au moyen de la méthode rationnelle largement recommandée par le ministère des Transports du Québec (MTQ) pour les petits bassins versants de 25 km<sup>2</sup> et moins. Une troisième estimation a été effectuée par transposition des débits mesurés à des stations hydrométriques voisines, au bassin versant de la zone d'étude.

La dernière méthode est basée sur la modélisation du bassin versant. Le modèle bidimensionnel GSSHA (Gridded Surface/Subsurface Hydrologic Analysis) développé par l'USACE (United States Army Corps of Engineers) et intégré au logiciel de modélisation WMS 9.1 par Aquaveo, a été utilisé pour générer des hydrogrammes de crues de projet. Le modèle utilise la topographie (modèle numérique de terrain), la carte de l'utilisation des terres et la carte pédologique (substrat géologique) ainsi que les précipitations pour simuler les processus hydrologiques qui affectent le ruissellement.

### **2.2.4 Établissement des débits d'étiage**

Les débits d'étiage ont été estimés par transposition des débits d'étiage calculés aux stations hydrométriques voisines. La méthode du CHEQ est recommandée dans le cas de petits bassins versants non jaugés (CHEQ, 2012).

## **2.3 Approche spécifique à l'analyse hydraulique**

Le tronçon de la rivière Viviry localisé entre l'amont du lac Pine et l'aval du barrage (rue Cameron) a été modélisé à l'aide du logiciel HEC-RAS 4.1.0 (HEC, USACE) et en utilisant l'information topographique et bathymétrique du lac Pine (Voir section 3.1.1).

## **3.0 Données de base**

### **3.1.1 Relevés topographique et bathymétrique**

Outre le modèle numérique de terrain et la carte topographique à l'échelle 1/20000<sup>ème</sup>, les données des relevés topographique et bathymétrique du lac Pine (section 3-4) ont été utilisées dans le cadre de la présente étude. Ces relevés ont été réalisés moyennant un GPS de marque Trimble – R8 – Model 3 (TSC2) et complétés à l'aide d'une station totale de marque Sokkia SET-3030R3. La ligne des hautes eaux a été identifiée et relevée en même temps que l'arpentage du lac. Les points échantillonnés au préalable par nos botanistes pour l'identification de la ligne des hautes eaux (LHE) ont été relevés à l'aide de la station totale.

### 3.1.2 Délimitation de la ligne des hautes eaux du lac Pine

Une visite du site a été effectuée le 2 juillet 2014 par [REDACTED]

[REDACTED] La ligne des hautes eaux a été identifiée selon la méthode botanique simplifiée du MDDELCC (MDDEFP, 2013) (MDDEFP, 1997). Un ruban a été apposé sur la végétation afin de permettre à l'arpenteur d'effectuer le relevé de la ligne des hautes eaux à l'aide d'un GPS de précision ou d'une station totale. Initialement, le relevé des coordonnées a été fait avec un GPS commun (Garmin GPSmap 60Cx). À noter que la précision de cet instrument varie de plus ou moins 1 mètre. Le relevé a été ensuite effectué avec une station totale pour plus de précision.

La méthode botanique simplifiée s'appuie sur la présence d'indicateurs biologiques et physiques. Dans le cas présent, la ligne des hautes eaux a été tracée à la limite entre les plantes aquatiques et les plantes terrestres citées au Tableau 3-1. La présence d'indicateurs physiques a également confirmé et appuyé la délimitation de la ligne des hautes eaux faite à partir des communautés végétales in situ. Les indicateurs suivants ont été observés : érosion du talus, marques d'eau (cernes) trouvées à la base des troncs d'arbres et des roches, présence de coquilles de bivalves. La ligne des hautes eaux du lac Pine se situe à une élévation moyenne de 33,9 m et elle est illustrée à la figure 2 de l'annexe 1.

**Tableau 3-1: Espèces végétales observées au lac Pine à Hudson**

| Nom français                    | Nom latin                     |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Chêne à gros fruits             | <i>Quercus macrocarpa</i>     |
| Chêne rouge                     | <i>Quercus rubra</i>          |
| Cornouiller à feuilles alternes | <i>Cornus alternifolia</i>    |
| Érable rouge*                   | <i>Acer rubrum</i>            |
| Érable à sucre                  | <i>Acer saccharum</i>         |
| Érable Négondo                  | <i>Acer negundo</i>           |
| Frêne de Pennsylvanie*          | <i>Fraxinus pennsylvanica</i> |
| If du Canada                    | <i>Taxus canadensis</i>       |
| Impatiente du cap*              | <i>Impatiens capensis</i>     |
| Onoclee sensible*               | <i>Onoclea sensibilis</i>     |
| Orme rouge                      | <i>Ulmus rubra</i>            |
| Pin blanc                       | <i>Pinus strobus</i>          |
| Sapin baumier                   | <i>Abies balsamea</i>         |

\*Plantes aquatiques (espèces facultatives ou obligées des milieux humides selon le document du MDDEP de 1997 intitulé « Note explicative sur la ligne des hautes eaux »).

Enfin, soulignons qu'une espèce envahissante a été observée lors de la visite de terrain, soit la renouée du Japon (*Fallopia japonica*). Cette espèce a été notée sur la rive nord-ouest du lac Pine.

Le guide d'interprétation de la politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables recommande les méthodes suivantes pour la détermination de la LHE :

La Politique édicte quatre cas de détermination de la ligne des hautes eaux, à savoir : la méthode botanique, la cote maximale d'exploitation d'un ouvrage de retenue des eaux, le faite d'un mur de soutènement et, enfin, la méthode hydrologique, soit la limite des crues de récurrence de 2 ans.

### 3.2 Climatologie

Les stations climatologiques d'Oka et de Coteau du Lac, appartenant à Environnement Canada, sont situées à proximité de la zone d'étude (Tableau 3-2). La station d'Oka est la plus représentative du site à l'étude en raison de sa proximité. Elle possède également une grande série d'enregistrements de données climatiques et des données de courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF). Celles-ci ont été obtenues du service Environnement Canada (Tableau 3-3).

**Tableau 3-2: Stations météorologiques dans la zone d'étude opérées par Environnement Canada**

| Nom           | Numéro  | Latitude   | Longitude  | Altitude (m) | Distance (*) (km) | Période (**) |
|---------------|---------|------------|------------|--------------|-------------------|--------------|
| Oka           | 7015730 | 45°30'0" N | 74°04'0" O | 91,4         | 8,1               | 1937-2014    |
| Coteau du Lac | 7011947 | 45°19'0" N | 74°10'0" O | 49,4         | 15,2              | 1966-2014    |

\* : Distance par rapport au lac Pine.

\*\* : Période sur laquelle des données sont disponibles.

**Tableau 3-3: IDF de la station Oka (intensité en mm/h)**

| Durée (mn) | Période de retour en années |       |       |       |       |       |
|------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 2                           | 5     | 10    | 25    | 50    | 100   |
| 5          | 94                          | 119,9 | 137,1 | 158,7 | 174,8 | 190,7 |
| 10         | 64,8                        | 87,6  | 102,7 | 121,8 | 136   | 150   |
| 15         | 51,1                        | 70,7  | 83,6  | 100   | 112,1 | 124,2 |
| 30         | 32,3                        | 43,3  | 50,6  | 59,8  | 66,7  | 73,5  |
| 60         | 21                          | 27    | 31    | 36    | 39,7  | 43,4  |
| 120        | 12,9                        | 16,8  | 19,3  | 22,5  | 24,9  | 27,3  |
| 360        | 6                           | 7,7   | 8,9   | 10,4  | 11,4  | 12,5  |
| 720        | 3,6                         | 4,8   | 5,6   | 6,6   | 7,4   | 8,1   |
| 1440       | 2                           | 2,7   | 3,1   | 3,6   | 4     | 4,3   |

Les intensités de pluie pour différentes durées peuvent être calculées selon l'équation d'interpolation établie par Environnement Canada :

$$I = A \times t^B$$

I : Intensité de la pluie (mm/h);

t : Durée de la pluie (h);

A et B : Coefficient qui varient selon la période de récurrence (voir Tableau 3-4)

**Tableau 3-4: Coefficients A et B utilisés pour l'interpolation des intensités de pluie**

| Coefficient | Période de retour en années |        |        |        |        |        |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 2                           | 5      | 10     | 25     | 50     | 100    |
| A           | 19,5                        | 25,7   | 29,8   | 35,0   | 38,8   | 42,6   |
| B           | -0,678                      | -0,681 | -0,682 | -0,683 | -0,684 | -0,684 |

Source : Environnement Canada, 2009

### 3.3 Hydrométrie

Puisque le cours d'eau étudié ne comporte pas de station hydrométrique, l'une des méthodes d'évaluation des débits d'apport consiste à effectuer une transposition des débits enregistrés aux stations hydrométriques de bassins versants voisins, situés dans une même région hydrologique. Il existe dans les archives plusieurs stations hydrométriques localisées sur des cours d'eau de tailles variables et dont les séries d'enregistrement sont plus ou moins étendues sur plusieurs années. Huit stations hydrométriques ont été identifiées (

Tableau 3-5). Elles sont localisées sur huit rivières situées à proximité du site à l'étude. Parmi celles-ci, quatre stations appartenant à Environnement Canada (rivière Beaudette, rivière Saint-Louis, rivière à la Raquette, rivière Rigaud), ont été sélectionnées.

Afin de sélectionner les stations les plus représentatives de la zone d'étude, une étude de corrélation des débits journaliers des stations identifiées a été effectuée. Les résultats sont présentés au Tableau 3-6.

Les stations Rivière Beaudette, Châteauguay et L'Acadie présentent les coefficients de corrélation les plus élevés et par conséquent, des régimes hydrologiques probablement similaires. La station Châteauguay a été éliminée, car elle possède une large superficie de bassin versant. La station Rivière Beaudette a également été éliminée, car elle possède une série de données moins large que celle de la station L'Acadie. Finalement, la station L'Acadie a été retenue comme station de référence pour la présente étude. Elle servira, entre autres, à estimer les débits de crues.

**Tableau 3-5: Identification et caractéristiques des stations hydrométriques régionales**

| Nom                   | Propriétaire | Numéro fédéral | Numéro provincial | Latitude     | Longitude    | Aire BV (*) (km <sup>2</sup> ) | Distance (**) (km) | Période (***) |
|-----------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|--------------|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Châteauguay           | CEHQ         | 02OA054        | 030905            | 45°19'49"N   | 73°45'44"O   | 2492                           | 33                 | 1971-2013     |
| L'Acadie              | CEHQ         | 02OJ026        | 030421            | 45°23'25"N   | 73°22'15"O   | 367                            | 61,3               | 1979-2014     |
| Quinchien             |              | 02OA090        |                   |              |              | 33,9                           |                    | 1980-1982     |
| Du Nord               | CEHQ         | 02LC008        | 040110            | 45°47'43"N   | 74°0'46"O    | 1163                           | 42                 | 1931-2013     |
| Rivière Beaudette     | EC           | 02MC007        |                   | 45°16'24.1"N | 74°29'37.8"O | 124                            | 33                 | 1984-2009     |
| Rivière Saint Louis   | EC           | 02MC007        |                   | 45°13'25"N   | 73°58'35"O   | 130                            | 28                 | 1930-1938     |
| Rivière à la Raquette | EC           | 02OA091        |                   | 45°27'27"N   | 74°13'46"O   | 117                            | 6.3                | 1979-1982     |
| Rivière Rigaud        | EC           | 02LB032        |                   | 45°29'29.1"N | 74°26'30.5"O | N/A                            | 22.9               | 2003-2010     |

\* : Aire bassin versant.

\*\* : Distance par rapport au lac Pine.

\*\*\* : Période sur laquelle des données sont disponibles.

N/A : Non disponible sur la base de données HYDAT d'Environnement Canada.

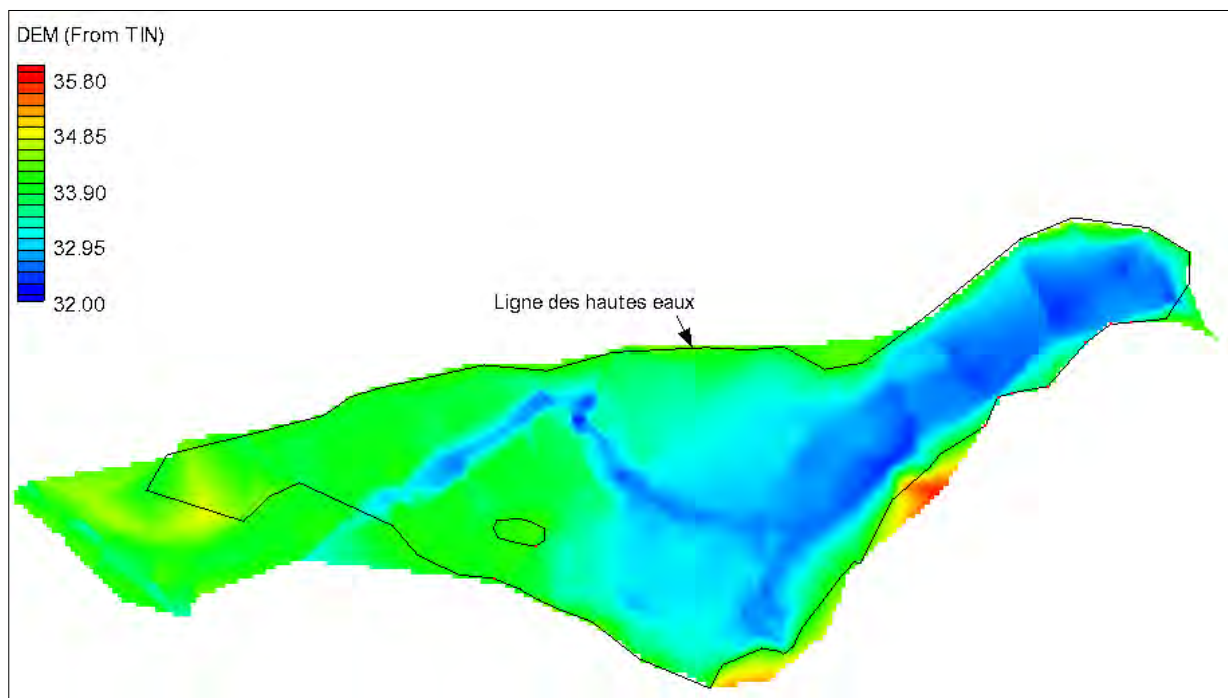


**Tableau 3-6 : Coefficients de corrélation entre les séries des débits journaliers des stations candidates**

|              | Des Prairies | Du Nord | Beaudette | Châteauguay | L'Acadie |
|--------------|--------------|---------|-----------|-------------|----------|
| Des Prairies | 1,00         | 0,66    | 0,43      | 0,36        | 0,23     |
| Du Nord      | 0,66         | 1,00    | 0,55      | 0,42        | 0,36     |
| Beaudette    | 0,43         | 0,55    | 1,00      | 0,84        | 0,71     |
| Châteauguay  | 0,36         | 0,42    | 0,84      | 1,00        | 0,86     |
| L'Acadie     | 0,23         | 0,36    | 0,71      | 0,86        | 1,00     |

## 4.0 Relevés de terrain

Les relevés de terrain ont été analysés et interprétés. Les résultats ont permis de produire le modèle numérique de terrain (Figure 4-1) du domaine couvert par le lac Pine.



**Figure 4-1: Modèle numérique de terrain du lac Pine**

En se basant sur les résultats des relevés topographiques, bathymétriques et sur ceux de la ligne des hautes eaux, la caractérisation physique du lac a été faite. La profondeur maximale du lac est de 2,0 m. La superficie du lac correspondant à la ligne des hautes eaux (élévation 33,9 m à 34,0 m) est de 18 753 m<sup>2</sup> (1,9 ha). Le volume du lac à cette élévation est de 16 634 m<sup>3</sup>. Le volume a été estimé en utilisant la méthode des cônes. La courbe élévation-volume du lac est fournie à l'annexe 1 (figure A-3).



## 5.0 Analyse hydrologique

### 5.1 Réseau hydrographique : bassins versants, cours d'eau, lacs, milieux humides

Les cours d'eau de la MRC de Vaudreuil-Soulanges, qui incluent la rivière Viviry, sont situés au sein de la région hydrologique du Québec numéro 04 de l'Outaouais et de Montréal, telle que délimitée par le CEHQ. Le territoire à l'étude fait partie du bassin versant de la rivière des Outaouais qui est tributaire du fleuve Saint-Laurent. Cette région se caractérise également par la présence de marais et de marécages de part et d'autre de la rivière des Outaouais.

Le réseau hydrographique, élaboré à l'échelle de la MRC, est présenté à la Figure 5-1. La plupart des rivières et ruisseaux présentés sur cette carte rejoignent la rivière des Outaouais. Certaines rivières telles que la rivière Beaudette se déversent directement dans le lac Saint-François.

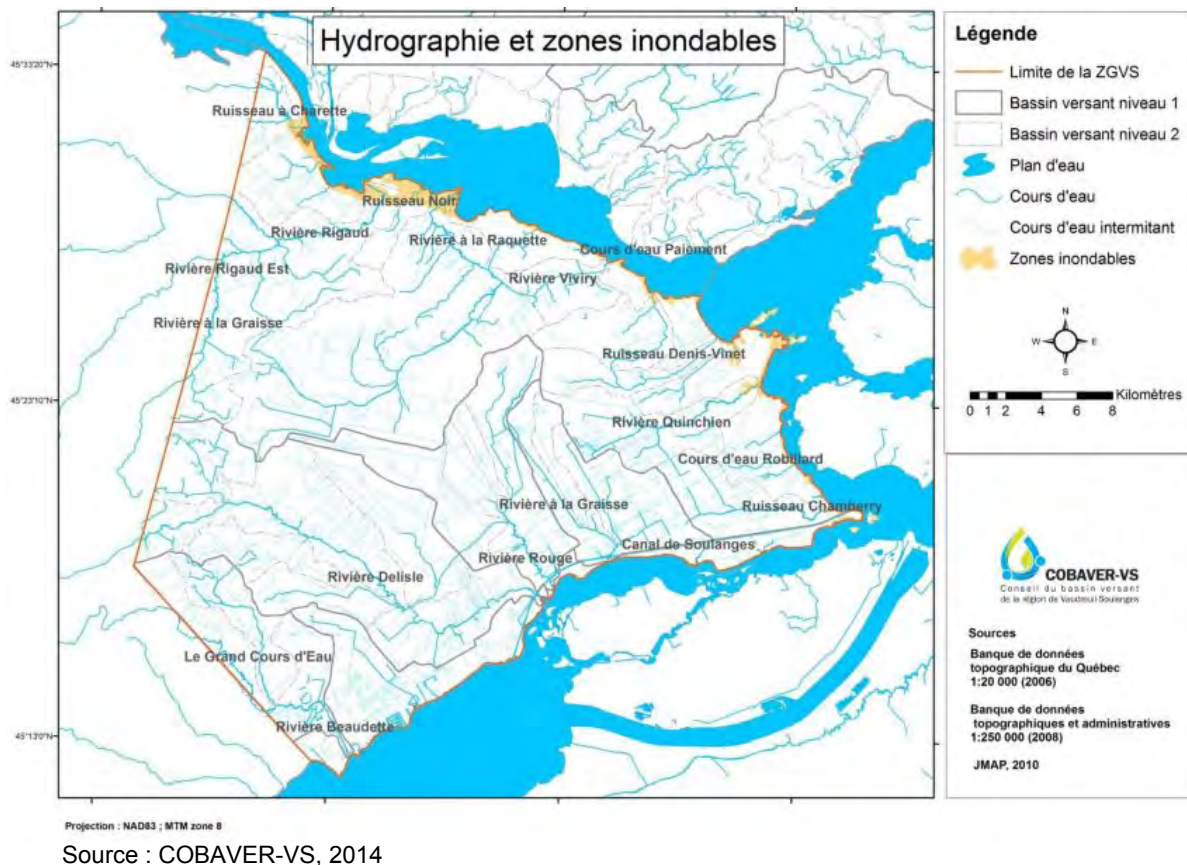


Figure 5-1: Réseau hydrographique de la municipalité de Vaudreuil-Soulanges

## 5.2 Caractérisation du bassin versant

### 5.2.1 Délimitation du bassin et des sous-bassins versants

Le bassin versant et ses sous-bassins versants de la rivière Viviry ont été délimités selon la méthodologie décrite à la section 2.2.1. La Figure 5-2 montre le bassin versant majeur de la rivière Viviry. La limite topographique du bassin versant traverse la principale artère de la ville de Hudson, Côte Saint-Charles, ainsi que l'autoroute 40 au sud. Cette limite générée par le logiciel a été confirmée par la présence de ponceaux de drainage après visite de ces lieux. La même figure illustre les différents sous-bassins, qui comprennent les bassins versants de deux petits lacs sans nom situés à l'est et en amont du lac Pine. Ils sont situés sur le ruisseau dénommé Black Creek.

La superficie totale du bassin versant de la rivière Viviry au point de son exutoire dans la rivière des Outaouais est de 14,5 km<sup>2</sup>. Le lac Pine, qui se situe à proximité de l'estuaire, a un bassin versant de 1 3,9 km<sup>2</sup>. De cette superficie, 11,2 km<sup>2</sup> sont attribués au bassin versant direct de la rivière Viviry, en amont du lac et 2,8 km<sup>2</sup> est attribué au ruisseau Black Creek qui se déverse dans le lac Pine via un ponceau en tôle (TTOG) proche de l'aire de repos du lac Pine (Ponceau sous la rue Cameron). La Tableau 5-1 liste les caractéristiques pertinentes du bassin versant du lac Pine.

**Tableau 5-1: Principales caractéristiques physiques du bassin versant de la rivière Viviry au lac Pine**

| Caractéristiques                            | Valeur | Unité |
|---------------------------------------------|--------|-------|
| Superficie du bassin versant                | 1 399  | ha    |
| Distance de l'écoulement de surface moyenne | 2 984  | m     |
| Pente moyenne                               | 0,0343 | m/m   |
| Distance maximale d'écoulement              | 6 413  | m     |
| Pente moyenne au long du trajet maximal     | 0,0068 | m/m   |
| Élévation plus haute                        | 110    | m     |
| Élévation de l'exutoire (lac Pine)          | 34     | m     |
| Périmètre                                   | 17 935 | m     |
| Facteur de forme                            | 1,67   |       |
| Facteur de sinuosité                        | 0,02   |       |
| Aire orientée vers le nord                  | 64     | %     |
| Aire orientée vers le sud                   | 36     | %     |

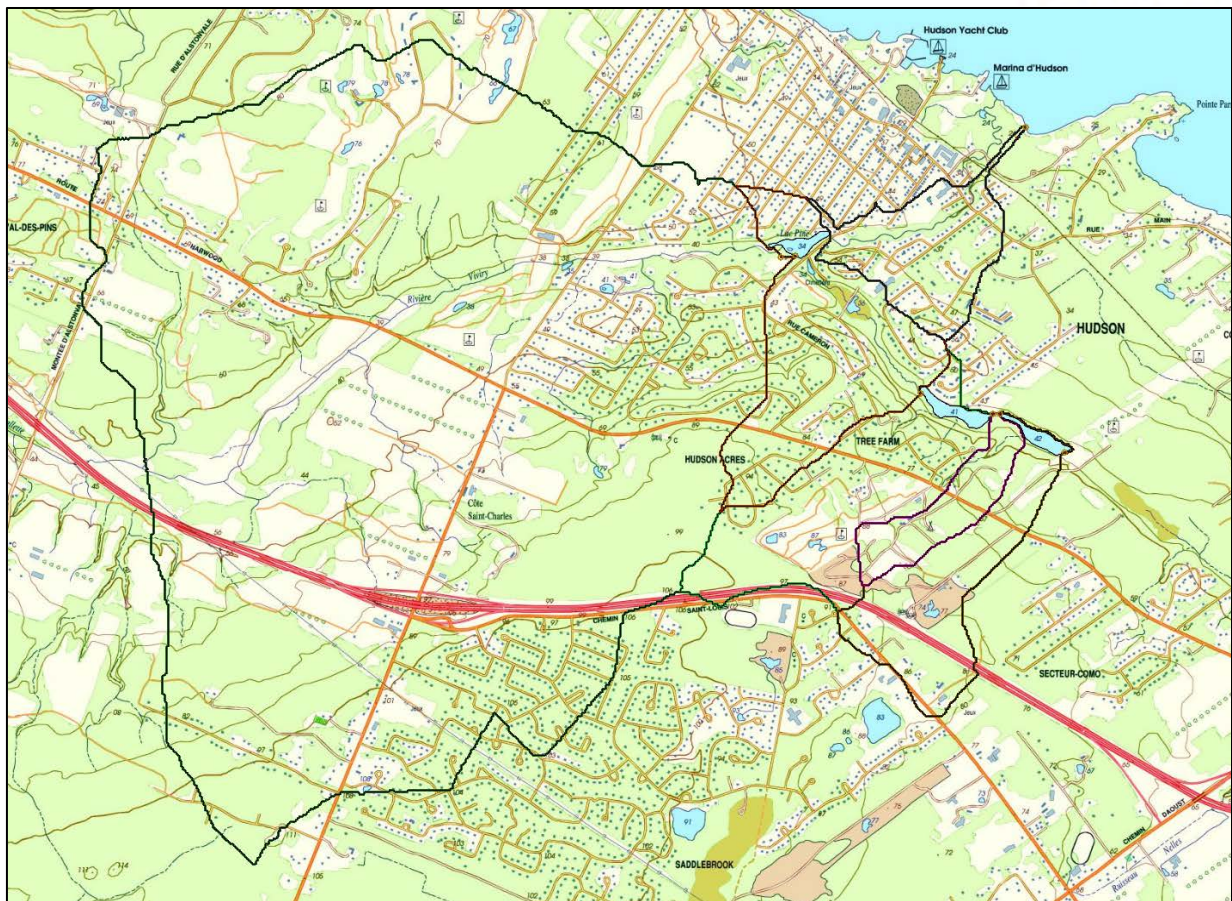


Figure 5-2: Limites du bassin versant de la rivière Viviry

### 5.2.2 Hypsométrie

Le relief du site est peu accidenté. Les altitudes varient entre les élévations de 110 m et de 23 m au-dessus du niveau de la mer. Le Lac Pine se trouve à une élévation voisine de 34 m. Le bassin versant a une inclinaison uniforme et peu accentuée vers le nord-est.

La Figure 5-3 met en relief la topographie du site. La Figure 5-4 présente la courbe hypsométrique du bassin versant du lac Pine. La répartition est relativement linéaire entre la superficie du bassin versant et l'altitude.



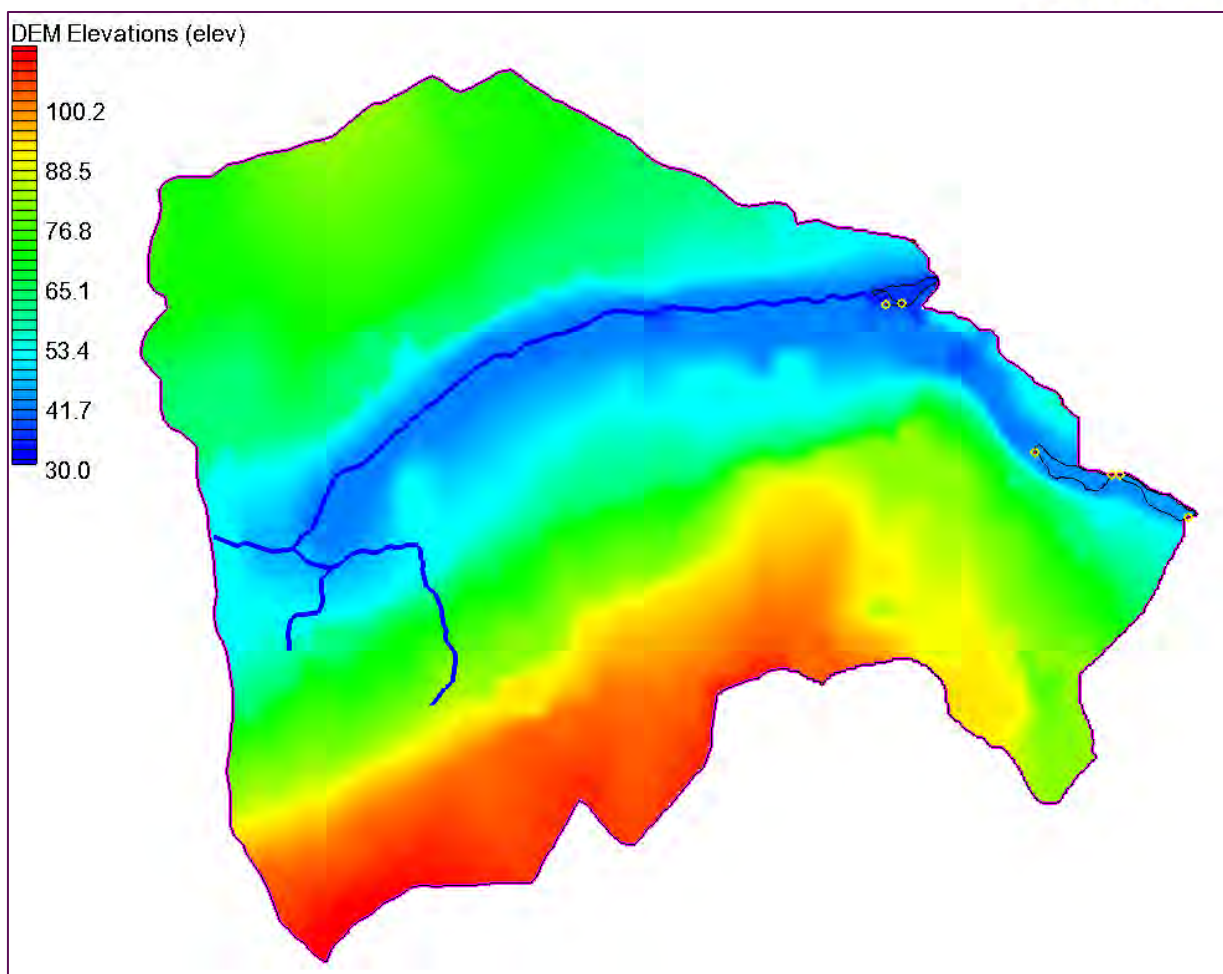
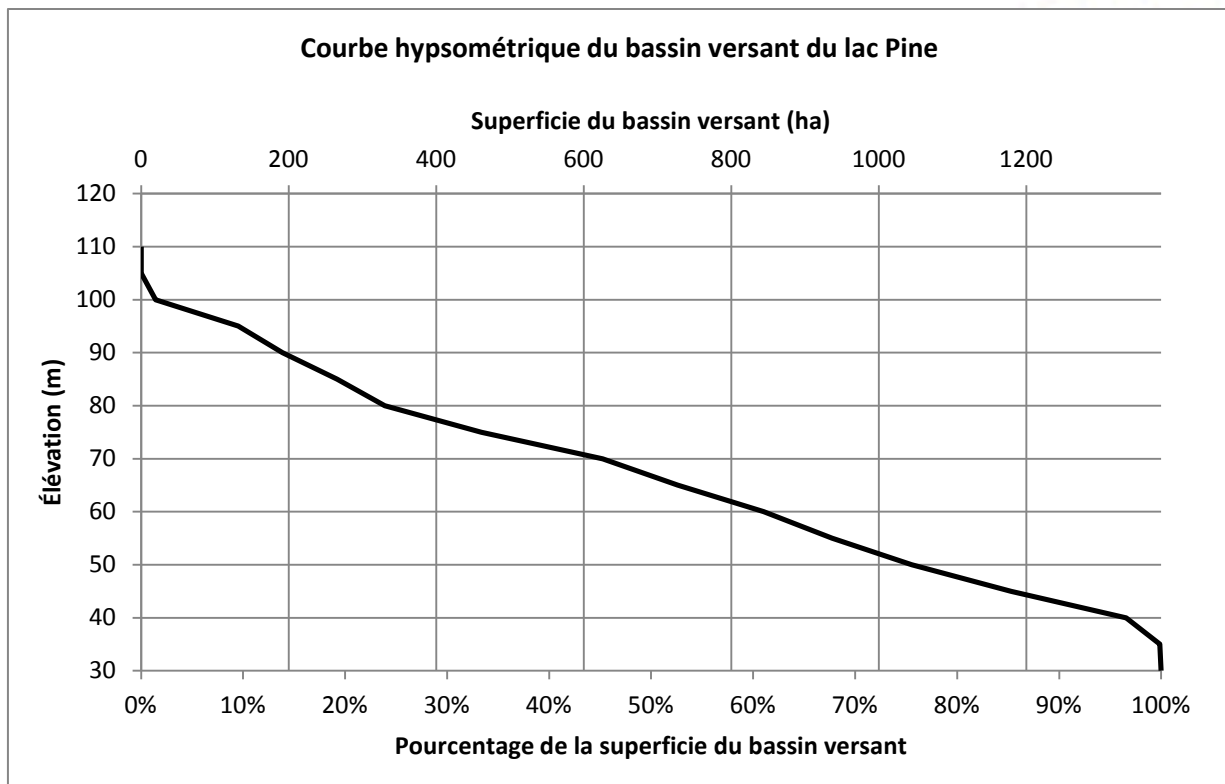


Figure 5-3 : Topographie du bassin versant de la rivière Viviry



**Figure 5-4: Courbe Hypsométrique du bassin versant de la rivière Viviry**

### 5.2.3 Occupation du sol et activités économiques

Le bassin versant de la rivière Viviry est occupé par des zones résidentielles de banlieue (47 %), des terres agricoles (15 %) et des zones boisées (18 %). Environ 20 % de la superficie du bassin versant est occupée par deux terrains de golf. Les terres agricoles sont aménagées principalement pour les cultures du maïs, du soya et du blé. La carte d'occupation du sol est présentée à la Figure 5-5. Les services commerciaux, les commerces de détail et de gros ainsi que les services financiers et immobiliers sont les principales sources de revenus de la population.

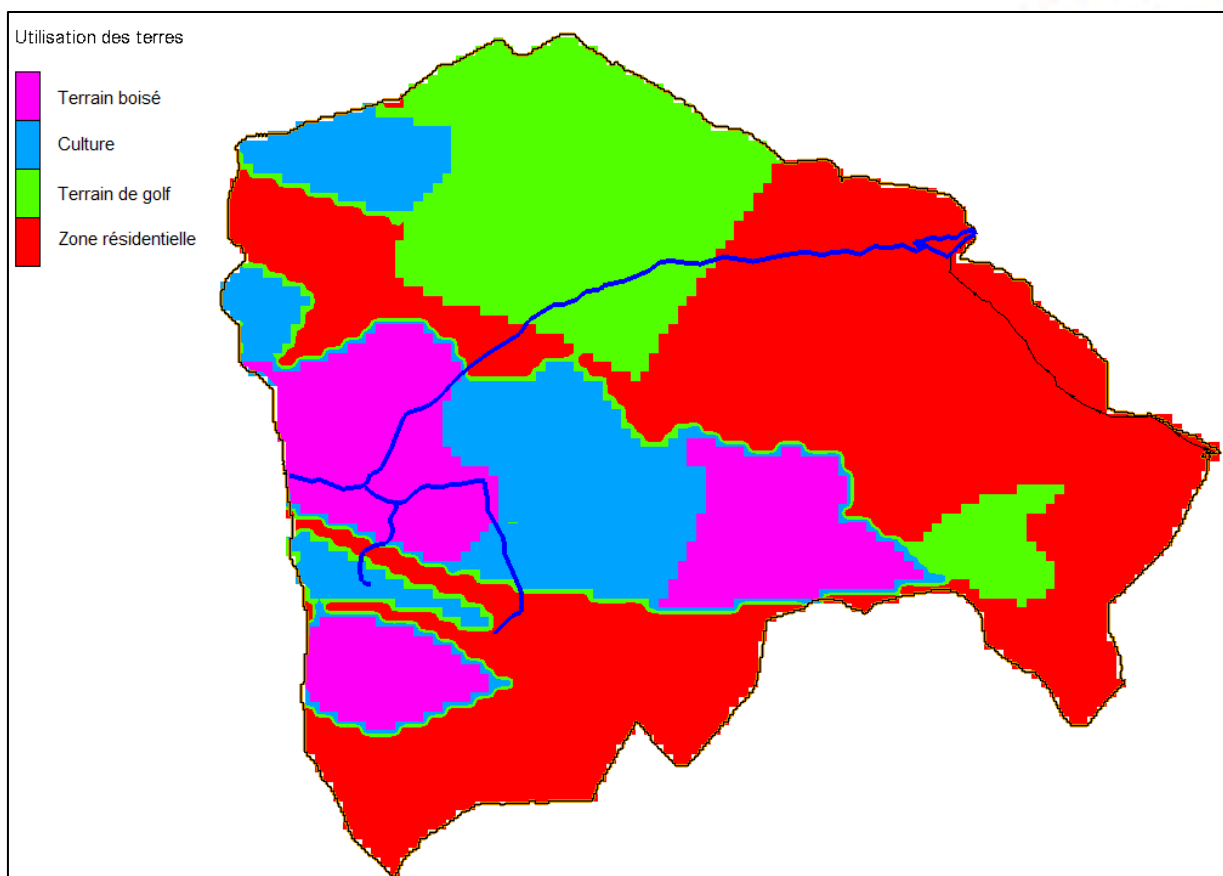


Figure 5-5: Occupation du bassin versant de la rivière Viviry

#### 5.2.4 Types de sols

Le sol du site est typique des régions humides. Le bassin versant de la rivière Viviry est composé majoritairement de sable, de loam sableux et de loam sablo-argileux. La présence d'argile est également identifiable dans la partie ouest du bassin versant (Figure 5-6).

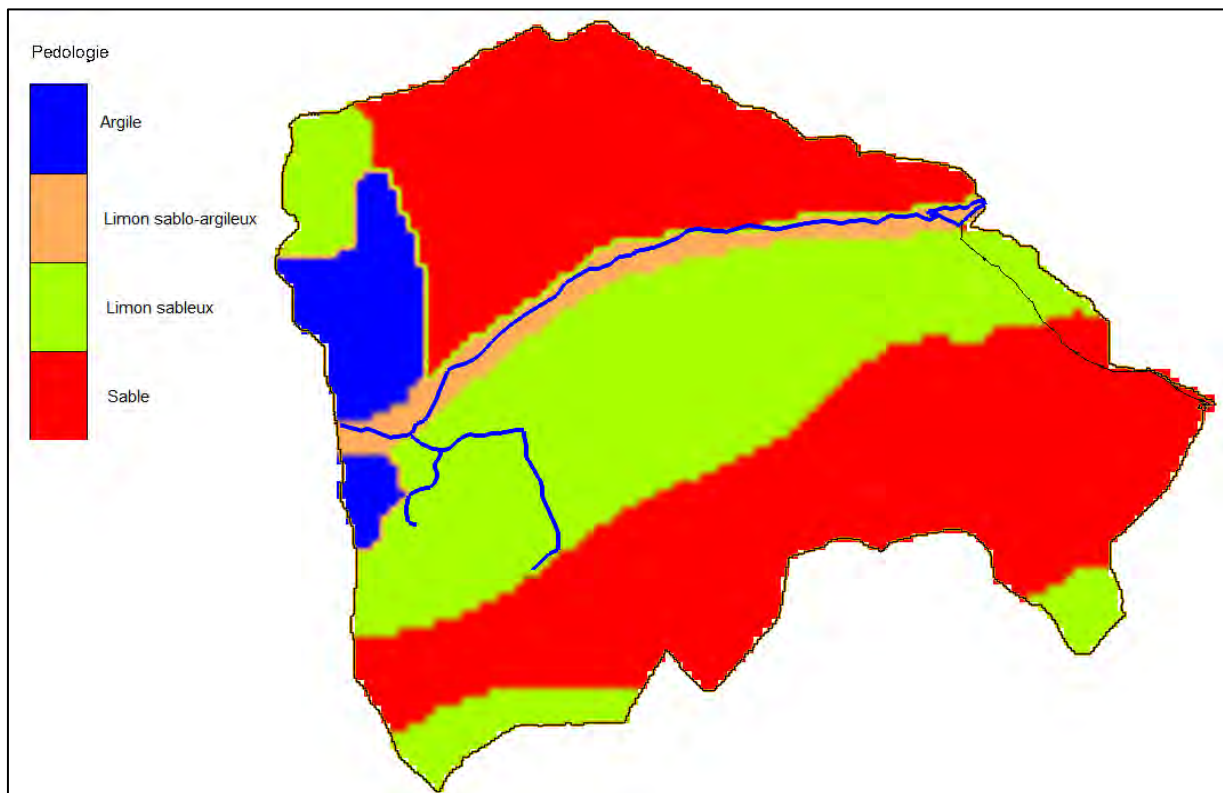


Figure 5-6: Types de sol présents dans le bassin versant de la rivière Viviry

#### 5.2.5 Géologie et hydrogéologie

La consultation du Système d'information hydrogéologique (SIH) du MDDELCC montre l'existence de quelques puits de captage au voisinage du lac Pine. La stratigraphie du terrain montre au niveau du puits le plus proche du lac (au niveau de l'intersection des rues Evergreen et Wellesley), la superposition d'une couche argileuse d'une dizaine de mètres d'épaisseur qui repose sur le socle rocheux dont la profondeur moyenne est de 18 m. Vers l'aval à proximité du lac Deux Montagnes, un puits situé à proximité de la rue Halcro montre l'existence d'une couche sableuse entre le dépôt argileux et le roc. La profondeur moyenne de la nappe élevée au niveau des puits situés en amont hydrogéologique du lac Pine est d'environ 6 m alors qu'à proximité du lac, la profondeur est très faible et ne dépasse pas 1 m.

### 5.2.6 Climatologie

La température moyenne annuelle à la station d'Oka, selon les normales climatiques de 1981 à 2010 produites par Environnement Canada est de 5,8 °C. Un maximum extrême de 36,1 °C a été enregistré en date du 16 juillet 1953 et un minimum extrême de -39 °C a été enregistré en date du 15 janvier 2004. Selon le site Infoclimat du MDDELCC, la tendance de la température moyenne a connu une variation de + 1,8 sur la période 1961-2010.

Une analyse scientifique des températures de la station Oka a été réalisée par le MDDEFP (Yagouti et al., 2006).

La précipitation moyenne annuelle, de la période de 1981 à 2010 a été de 1 107 mm. L'extrême quotidien de pluie a été de 91,2 mm, enregistré le 30 septembre 2010. L'extrême quotidien de couvert de neige a atteint 80 cm, enregistré le 25 février 1994.

### 5.3 Régime hydrologique naturel

J. Rousselle et al. (CNRC, 1990), rapporte que la zone hydrologique II, qui inclut Montréal et ses environs, est caractérisée par un débit moyen annuel de l'ordre de 20,4 l/s/km<sup>2</sup> avec un écart-type de 21,2 et un coefficient de variation de 4,4. Ceci implique que pour le bassin Viviry, le module annuel serait de l'ordre de 0,286 m<sup>3</sup>/s. L'écoulement moyen annuel serait de l'ordre de 644 mm pour une précipitation annuelle de 1 107 mm, soit un coefficient d'écoulement de 58 %.

Le rapport d'Anna Cole (Agriculture et Agroalimentaire Canada, Janvier 2013), indique un écoulement annuel moyen de l'ordre de 600 mm soit un coefficient d'écoulement moyen de 54 %.

En date du 7 juillet 2014, lors des relevés de terrain par AMEC, une estimation du débit de la rivière Viviry a été faite. Le débit a été évalué à 0,320 m<sup>3</sup>/s moyennant deux méthodes : méthode du flotteur et méthode hydraulique du ponceau. Le mois de juin a connu une pluviométrie de 42 mm, dont 25 mm le 17 juin 2014. Le mois de mai a été pluvieux, enregistrant 130,6 mm à la station d'Oka. Ces apports pluviométriques ont dû recharger les nappes et contribuer à maintenir le débit de la rivière relativement élevé comparé au débit moyen estimé à 0,280 m<sup>3</sup>/s. Les précipitations mensuelles normales de la période 1981-2010 sont de 92,1 mm, 105,6 mm et 101,2 mm respectivement pour mai, juin et juillet. Le cumul des précipitations des mois de mai et de juin 2014 a été de 172,6 mm, soit légèrement inférieur au cumul des normales de ces mêmes mois, soit 197,7 mm.

Le bassin versant de la rivière à la Raquette dont la superficie est de 132 km<sup>2</sup> est voisin à celui de la rivière Viviry. La rivière à la Raquette est suivie depuis 2013 dans le cadre du programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines (PACES) du MDDELCC. [REDACTED] nous a informés des premiers résultats du programme tout en étant conscient que ceux-ci ne sont pas encore confirmés ni publics. Le débit moyen de la rivière à la Raquette (de mars 2013 à mars 2014) a été de 2,642 m<sup>3</sup>/s. Le débit le plus faible de la période a été de 0,244 m<sup>3</sup>/s alors que le débit le



plus fort enregistré a atteint 24,475 m<sup>3</sup>/s. Transposés au bassin versant de la rivière Viviry, au prorata des superficies, ces débits seraient respectivement de 0,280 m<sup>3</sup>/s, de 0,026 m<sup>3</sup>/s et de 2,596 m<sup>3</sup>/s pour les débits moyen, minimal et maximal.

Pour les débits journaliers, la transposition des débits du bassin versant de la rivière à la Raquette permettrait d'obtenir une bonne estimation des apports quotidiens, mensuels et annuels de la rivière Viviry.

## 5.4 Estimation des débits de crue

### 5.4.1 Méthode rationnelle

Les résultats de débits de crue calculés selon la méthode rationnelle sont présentés dans cette section.

Le coefficient de ruissellement global a été obtenu par pondération des coefficients de ruissellement représentatif de chaque type d'occupation du sol, tel que spécifié par le MTQ dans le Manuel de conception des ponceaux (2004). Les résultats sont présentés au Tableau 5-2. Les terrains de golf, les terres agricoles et les zones résidentielles de banlieue ont des coefficients de ruissellement élevés comparativement aux zones boisées. Tout développement qui cause directement ou indirectement un changement au niveau de l'occupation et de l'utilisation du sol ou un changement du mode de gestion des eaux pluviales pourrait sensiblement changer l'hydrologie du bassin versant.

**Tableau 5-2: Calcul du coefficient de ruissellement pondéré (Cp) selon les types d'occupation du sol**

| Zone                             | Classe de sol | Topographie | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Cp          |
|----------------------------------|---------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Zones résidentielles de banlieue | N/A           | N/A         | 6,6                           | 0,25        |
| Terrains de golf                 | N/A           | N/A         | 2,8                           | 0,28        |
| Terres agricoles                 | A             | Vallonné    | 2,1                           | 0,25        |
| Zones boisées                    | A             | Vallonné    | 2,5                           | 0,07        |
| <b>Total</b>                     |               |             | <b>14,0</b>                   | <b>0,22</b> |

N/A : Non applicable

Le temps de concentration du bassin a été estimé à 217 minutes. Il a été calculé tel que spécifié par le MTQ en 2004. Les différents paramètres retenus pour le calcul sont :

- Coefficient de ruissellement du bassin versant : 0,22
- Longueur du cours d'eau : 5 884 m
- Pente <<85-10>> du cours d'eau : 1,04 %
- Superficie du bassin versant : 1 399 ha

Les débits de pointes évalués selon la méthode rationnelle sont présentés au Tableau 5-3.

**Tableau 5-3: Débits fréquents de crues de la rivière Viviry au lac Pine (approche rationnelle)**

| Période de retour<br>(ans) | Intensité* | Débit de pointe |
|----------------------------|------------|-----------------|
|                            | (mm/h)     | (m³/s)          |
| 2                          | 8,2        | 7,0             |
| 5                          | 10,7       | 9,2             |
| 10                         | 12,4       | 10,6            |
| 20                         | 13,8       | 11,8            |
| 50                         | 16,1       | 13,8            |
| 100                        | 17,7       | 15,1            |

\* Les intensités de pluie pour une durée égale au temps de concentration ont été calculées selon l'équation d'interpolation présentée à la section 3.2.

#### 5.4.2 Méthode régionale

Les débits de crues ont été évalués par la méthode régionale décrite par Messier et al. (2007); et par Anctil et al. (1998). Le débit de la crue moyenne a été évalué à 6.8 m³/s en utilisant la formule suivante où A est la superficie du bassin versant, exprimée en km² :

$$Q = 0.84(A)^{0.79}$$

Ce débit a été majoré par le facteur régional de fréquence pour obtenir les débits fréquents journaliers. Un facteur de pointe de 2,7 a été ensuite appliqué pour obtenir les débits fréquents instantanés. Les débits de crues journaliers et instantanés ainsi calculés sont présentés au Tableau 5-4.

**Tableau 5-4: Débits fréquents des crues de la rivière Viviry au barrage du lac Pine (méthode régionale du Québec).**

| Période de retour<br>(ans) | Facteur de<br>fréquence | Débit de crues (m³/s) |            |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
|                            |                         | Journalier            | Instantané |
| 2                          | 0,97                    | 6,5                   | 17,6       |
| 5                          | 1,25                    | 8,4                   | 22,8       |
| 10                         | 1,42                    | 9,6                   | 25,9       |
| 20                         | 1,57                    | 10,6                  | 28,7       |
| 50                         | 1,76                    | 11,9                  | 32,0       |
| 100                        | 1,88                    | 12,7                  | 34,3       |

Le facteur de pointe a été obtenu grâce à la méthode empirique développée par Hong et Dumont (1980). Le facteur 2,7 semble surestimer les débits de pointes obtenus à l'aide de la méthode rationnelle. À défaut d'un facteur de pointe justifié, les résultats de la méthode régionale doivent être considérés avec précaution. Le facteur de pointe a été estimé en analysant les débits journaliers et instantanés de crue des stations Baudette et Acadadie. Pour ces stations, le facteur de pointe est quasiment égal à 1. Dans d'autres études de crues de petits bassins versants, on a appliqué un facteur de pointe de 1,5 par expérience.

### 5.4.3 Méthode de transposition

Tel que mentionné précédemment, l'évaluation des débits d'apport doit être effectuée par une transposition des débits enregistrés à la station hydrométrique sélectionnée comme station de référence (L'Acadie). Une analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel HYFRAN version 1.1, développé par l'INRS-ÉTÉ, à partir des données de débits de pointe maximum de chaque année à la station retenue. La loi de Gumbel (méthode des moments) s'ajustait le mieux aux observations. Les débits de pointe ont été convertis en débits unitaires (Tableau 5-5). Les résultats ont été transposés à la superficie du bassin versant du lac Pine (

Tableau 5-6). Un facteur de pointe de 1,5 est recommandé pour majorer les débits obtenus par transposition pour tenir compte de l'effet de la taille des bassins versants.

**Tableau 5-5: Débits de crues à la station L'Acadie**

| Période de récurrence<br>(années) | Débit unitaire de pointe (m³/s/km²) |             |       |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------|
|                                   | Printemps                           | Été-Automne | Année |
| 2                                 | 0,25                                | 0,11        | 0,29  |
| 5                                 | 0,37                                | 0,17        | 0,42  |
| 10                                | 0,45                                | 0,21        | 0,51  |
| 20                                | 0,53                                | 0,25        | 0,59  |
| 50                                | 0,63                                | 0,29        | 0,69  |
| 100                               | 0,71                                | 0,33        | 0,77  |

**Tableau 5-6: Transposition des débits de crue de la station L'Acadie au bassin versant du lac Pine**

| Période de récurrence (années) | Débit de pointe (m³/s) |             |       |
|--------------------------------|------------------------|-------------|-------|
|                                | Printemps              | Été-Automne | Année |
| 2                              | 3,44                   | 1,55        | 4,08  |
| 5                              | 5,15                   | 2,37        | 5,91  |
| 10                             | 6,29                   | 2,91        | 7,09  |
| 20                             | 7,40                   | 3,43        | 8,23  |
| 50                             | 8,81                   | 4,12        | 9,72  |
| 100                            | 9,87                   | 4,61        | 10,83 |

**Tableau 5-7: Transposition des débits de crue de la station L'Acadie au bassin versant du lac Pine après application du facteur de majoration égal à 1,5**

| Période de récurrence (années) | Débit de pointe (m³/s) |             |       |
|--------------------------------|------------------------|-------------|-------|
|                                | Printemps              | Été-Automne | Année |
| 2                              | 5,16                   | 2,33        | 6,12  |
| 5                              | 7,73                   | 3,56        | 8,87  |
| 10                             | 9,44                   | 4,37        | 10,64 |
| 20                             | 11,10                  | 5,15        | 12,35 |
| 50                             | 13,22                  | 6,18        | 14,58 |
| 100                            | 14,81                  | 6,92        | 16,25 |

#### 5.4.4 Comparaison des résultats

Les résultats de débits de pointe obtenus selon les trois méthodes sont résumés au Tableau 5-8. Les résultats montrent que la méthode rationnelle donne des résultats situés entre la méthode de transposition (limite basse) et la méthode régionale (limite haute). La méthode rationnelle est recommandée pour des superficies de bassins versants inférieurs à 25 km² et la méthode régionale donne de bonnes estimations pour des superficies de bassins versants allant de 10 à 360 km². La méthode de transposition sous-estime les débits de pointe vu le rapport de taille entre la superficie du bassin de référence (367 km²) et le bassin cible (14 km²). Ce rapport est de 26, soit supérieur à la limite recommandée. La transposition demeure applicable quand ce rapport se situe entre 0,1 et 10.

Il est recommandé d'adopter les débits obtenus de la transposition comme valeurs inférieures (hypothèse optimiste) et les débits obtenus de la méthode rationnelle comme valeurs supérieures (hypothèse pessimiste). Les résultats obtenus ne tiennent pas compte des incertitudes additionnelles dues aux impacts des changements climatiques. Les études réalisées par OURANOS (2007) et OURANOS (2010) prévoient une augmentation des débits de crues avec une majoration de 10 à 20 %.

**Tableau 5-8: Comparaison des résultats des trois méthodes d'estimation des débits de crues**

| Période de<br>réurrence<br>(années) | Méthode<br>rationnelle | Méthode<br>régionale | Débit de pointe (m³/s)   |             |        |
|-------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|-------------|--------|
|                                     |                        |                      | Méthode de transposition |             |        |
|                                     |                        |                      | Printemps                | Été-Automne | Annuel |
| 2                                   | 7,0                    | 17,6                 | 3,44                     | 1,55        | 4,08   |
| 5                                   | 9,2                    | 22,8                 | 5,15                     | 2,37        | 5,91   |
| 10                                  | 10,6                   | 25,9                 | 6,29                     | 2,91        | 7,09   |
| 20                                  | 11,8                   | 28,7                 | 7,4                      | 3,43        | 8,23   |
| 50                                  | 13,8                   | 32,0                 | 8,81                     | 4,12        | 9,72   |
| 100                                 | 15,1                   | 34,3                 | 9,87                     | 4,61        | 10,83  |

## 5.5 Estimation des débits d'étiage

Les débits d'étiage ont été estimés pour le bassin versant du lac Pine par transposition des débits d'étiage aux stations L'Acadie et Châteauguay. Les débits d'étiage ont été calculés par le CEHQ pour ces deux stations (CEHQ, 2011). Les débits unitaires ont été calculés pour chacune des stations. Une moyenne des débits unitaires des deux stations a ensuite été calculée et les résultats ont été multipliés par la superficie du bassin versant du lac Pine. Les résultats sont présentés au Tableau 5-9 et au Tableau 5-10.

Selon le CEHQ, les débits d'étiages standardisés au Québec sont définis comme suit :

- $Q_{2-7}$  : Débit d'étiage d'une durée de 7 jours et de récurrence de 2 ans
- $Q_{10-7}$  : Débit d'étiage d'une durée de 7 jours et de récurrence de 10 ans
- $Q_{5-30}$  : Débit d'étiage d'une durée de 30 jours et de récurrence de 5 ans

La période estivale correspond à la période du 1<sup>er</sup> juin au 31 octobre.

**Tableau 5-9: Débits d'étiage aux stations retenues (CEHQ, 2011)**

| Période ou saison | Station     | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Q <sub>2-7</sub> (m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>10-7</sub> (m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>5-30</sub> (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Étiage annuel     | L'Acadie    | 368                           | 0,11                                 | 0,05                                  | 0,12                                  |
|                   | Châteauguay | 2 503                         | 4,12                                 | 2,37                                  | 3,99                                  |
| Étiage estival    | L'Acadie    | 368                           | 0,12                                 | 0,05                                  | 0,13                                  |
|                   | Châteauguay | 2 503                         | 4,26                                 | 2,44                                  | 3,99                                  |

**Tableau 5-10: Débits d'étiage transposés au bassin versant du lac Pine**

| Période ou saison | Station  | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Q <sub>2-7</sub> (m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>10-7</sub> (m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>5-30</sub> (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------|----------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Étiage annuel     | Lac Pine | 13,99                         | 0,014                                | 0,008                                 | 0,013                                 |
| Étiage estival    | Lac Pine | 13,99                         | 0,014                                | 0,008                                 | 0,014                                 |

Les résultats montrent que les débits d'étiage de la période estivale sont légèrement plus élevés que ceux de la période hivernale. Cela peut s'expliquer par un gel des cours d'eau durant la période hivernale ou par une baisse assez prononcée des nappes souterraines.

## 6.0 Analyse hydraulique

### 6.1 Modélisation hydraulique de la rivière

Le modèle Hec-Ras de la rivière Viviry a été élaboré en considérant le tronçon de la rivière Viviry compris entre l'amont du lac Pine et l'aval du barrage Pine, soit au pied du ponteau sous la route Cameron. La longueur totale étant d'environ 500 m. Le domaine a été subdivisé en un total de 28 sections transversales dont 4 sections situées en aval du barrage et 24 dans le lac.

L'évacuateur de crue, les vannes de contrôle ainsi que la vanne de fond du barrage ont été représentés tels que montrés sur les dessins du barrage (voir l'annexe 4). Le ponteau sous la rue Cameron a aussi été représenté conformément au relevé fait in-situ. Le ponteau est en béton, de section rectangulaire, d'une hauteur de 2 m et d'une largeur de 2 m. La pente longitudinale a été estimée à 0,38 %. Le seuil évacuateur est non contrôlé. La vanne de fond était bloquée en position partiellement ouverte.

Le ponteau se trouvait ensablé avec une couche de sable d'environ 40 centimètres. La pleine capacité hydraulique du ponteau a été évaluée à environ 8 m<sup>3</sup>/s : Il s'agit de la capacité théorique.

Les conditions frontalières, amont et aval, ont été supposées être des sections où l'écoulement est uniforme avec une pente égale à la pente naturelle de la rivière à ces frontières. Les sections modélisées sont reproduites à l'annexe 3.

## 6.2 Calage et validation du modèle

Le calage du modèle HEC-RAS se fait au moyen du coefficient de rugosité de Manning-Strickler. Le coefficient de Manning adopté ici est de 0,035. Il s'agit de la valeur de lits de rivières sablonneux (dépourvu de gravier et de galets) avec peu de végétation aquatique.

Il n'y a pas de mesures de niveaux d'eau ni de débit pour calibrer adéquatement le modèle. Cependant, la ligne des hautes eaux (LHE) relevée durant l'arpentage permet au moins de réaliser une validation.

La LHE se trouve à une élévation moyenne de 33,9 m, soit légèrement plus bas ou à la limite définie par la crête de l'évacuateur de crue qui se trouve à une élévation de 34,021 m. En temps normal, la majorité de l'écoulement passait par les vannes de contrôle et probablement par la vanne de fond (bloquée) et/ou par la fuite sous le barrage sans déborder par le déversoir évacuateur de crues. Le niveau de l'eau dans le lac Pine se trouvait alors en dessous de la crête du barrage et ne dépassait celle-ci que durant les périodes de crues et de forte hydraulité.

## 6.3 Scénarios simulés

Trois (3) scénarios hydrologiques ont été simulés : le débit moyen annuel, la crue annuelle d'une récurrence (période de retour) de 2,33 ans et la crue centennale dont la récurrence est de 100 ans.

Les deux (2) premiers scénarios sont requis pour valider la ligne des hautes eaux tel que défini et recommandé par le guide du MDDELCC. Le scénario de la crue centennale est généralement recommandé pour estimer les affouillements. D'autres crues, notamment la crue de récurrence de 500 ans (voire aussi la crue de 1 000 ans) sert à vérifier la stabilité des fondations de l'ouvrage modélisé. Les scénarios étudiés ont été simulés en régime permanent. Comme les simulations ont été faites en régime permanent, les débits adoptés pour les scénarios simulés sont les débits journaliers et non pas ceux de pointes instantanées.

## 6.4 Interprétation des résultats

Avec le débit module (débit moyen annuel) dont la valeur a été estimée à 0,280 m<sup>3</sup>/s, le niveau d'eau dans le lac atteint une élévation de 34,05 m. Pour ce scénario, les vannes de contrôle ont été supposées fermées, sauf la vanne de fond qui est partiellement ouverte à 60 % (fuite actuelle).

Pour la crue annuelle (2,33 ans) dont le débit journalier a été estimé à 4,10 m<sup>3</sup>/s, le plan d'eau du lac atteint une élévation de 34,56 m, soit 54 centimètre par-dessus la crête de l'évacuateur de crue. Le barrage déborde alors par-dessus la crête du seuil évacuateur de crues (34,021 m). Pour ce scénario, les vannes de contrôle ont été supposées fermées, sauf la vanne de fond qui est partiellement ouverte à 60 % (fuite actuelle).



Le scénario de la crue centennale a été simulé en supposant toutes les vannes du barrage ouvertes. Avec un débit journalier de 10,8 m<sup>3</sup>/s, le niveau d'eau du lac atteint une élévation de 34,75 m. Il y a évidemment débordement par-dessus le mur du barrage.

Ces premières simulations ont été faites en supposant que le ponceau sous la rue Cameron est à sa pleine capacité. En réalité, le fond du ponceau est obstrué par une épaisse couche de sédiments de sables dont l'épaisseur est de l'ordre de 50 cm. Cet état réduit la capacité de transit hydraulique de l'ouvrage et risque de générer un refoulement, voire un débordement par-dessus la chaussée de la rue Cameron.

## 6.5 Estimation des affouillements

Le calcul des affouillements au pied de l'évacuateur de crue du barrage du lac Pine est un calcul hypothétique. En effet, le bassin de réception, situé entre le pied aval du barrage et le ponceau de drainage sous la rue Cameron, est normalement fait d'une dalle de béton protégée par de l'enrochement (tel que mentionné sur les dessins du barrage). Le calcul de l'affouillement suppose que le fond du canal est un fond naturel non bétonné.

Une estimation moyennant des formules empiriques a permis d'estimer la valeur de l'affouillement ultime. La relation établie par Ramette et la formule de l'USBR ont été utilisées. Ramette a établi que la profondeur du fond perturbé peut être exprimée par :

$$Fp = 0.73 \times d^{-1/6} \times q^{2/3}$$

Fp : profondeur de l'affouillement (m);

d : diamètre moyen des sédiments (m);

q : débit unitaire en pieds cubes par seconde par pied (m<sup>3</sup>/s/m).

Le fond de la rivière Viviry est constitué de sables fins. Pour un sable moyen, le diamètre se situe entre 0,25 et 0,50 mm. En considérant un diamètre égal à 0,0005 m et un débit unitaire de 2,417 m<sup>3</sup>/s, la valeur de Fp atteint 4,66 m.

Selon la méthode de l'USBR, l'affouillement peut être estimé à l'aide de l'équation suivante :

$$D = 1.32 \times H^{0.225} \times q^{0.54}$$

D : profondeur en pied (ft);

H : hauteur en pied de la chute de l'eau (ft);

q : débit unitaire en pieds cubes par seconde par pied (ft<sup>3</sup>/s/ft).

Pour le cas du seuil du barrage du lac Pine, la hauteur de chute est de 3,2 m (10,5 ft), le débit unitaire de la crue centennale est de  $2,417 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  ( $26 \text{ ft}^3/\text{s}/\text{ft}$ ). Ceci permet d'estimer la profondeur de l'affouillement à environ 4 m. Il faut noter que cette valeur est estimée pour la crue centennale qui n'advierait peut-être jamais, et dans le cas contraire, elle ne durerait peut-être pas suffisamment longtemps pour permettre le développement maximal de l'affouillement.

Dans le cas de la crue 2 ans par exemple, le débit unitaire est de  $0,915 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  ( $9,85 \text{ ft}^3/\text{s}/\text{ft}$ ), et l'affouillement maximal serait de l'ordre de 2,44 m en employant la formule de Ramette et 2,35 m selon la méthode de l'USBR.

L'estimation des affouillements au niveau des ouvrages aurait pu être effectuée à l'aide du modèle HEC-RAS élaboré précédemment. Le calcul des affouillements dans HEC-RAS est basé sur la méthode du FHWA résumée dans la circulaire n° 18 (Hydraulic Engineering Circular n° 18, FHWA, 2001). Cette méthode permet de calculer les affouillements liés aux écoulements autour des piliers et des talus de ponts. Elle ne permet pas d'estimer les affouillements dus aux chutes ni aux jets d'eau issus des évacuateurs de crues ou de vannes d'évacuation.

## 7.0 Conclusion

La présente étude a permis d'élaborer un portrait de l'hydrologie du bassin versant de la rivière Viviry au lac Pine). En tant que rivière non jaugée, la caractérisation du régime hydrologique, en termes de débit moyen annuel, de débits d'étiages et de débits de crues, s'est basée sur une approche empirique et sur des méthodes de régionalisation.

La caractérisation a aussi porté sur le lac Pine associé au barrage Pine. La ligne des hautes eaux a été délimitée, la superficie et le volume du lac évalués en se basant sur les relevés de la topographie et de la bathymétrie réalisés au niveau du lac.

Le bassin versant se trouve actuellement dans un état de développement où l'occupation du sol a été modifiée par rapport à l'état naturel. Les développements se poursuivent encore en amont. Ils méritent d'être réalisés en tenant compte de leur impact futur sur le régime hydrologique, notamment sur les crues. Un plan de gestion des eaux pluviales doit être mis en place parallèlement à tout développement urbain, industriel ou récréo-touristique. Ce plan doit favoriser la rétention sur place (infiltration) et le ralentissement du ruissellement.

Il faut notamment veiller à ce que la gestion de l'eau soit faite de façon intégrée conformément à la politique nationale de l'eau du Québec. Une attention particulière doit être accordée à la protection des berges ainsi qu'à la protection et à la préservation des milieux humides. Le plan directeur de l'eau élaboré par le COBAVER- Vaudreuil-Soulanges constitue un outil de référence pour la planification et la gestion de bassins versants. Son utilisation est vivement recommandée.

**AMEC Environnement & Infrastructure**  
**Une division d'AMEC Amériques Limitée**

## Références

Hong et Dumont (1980), *Modèle Mathématique d'estimation du rapport de pointe des petits bassins versants du Québec*. Service de la météorologie, Ministère de l'Environnement. Québec. Février 1984)

Rousselle, J. et al. 1990 *Hydrologie des crues au Canada – Guide de planification et de conception*. Ottawa, Comité associé d'hydrologie, Conseil national de recherches Canada, 277p.

F. Anctil, N. Martel et Van Diem Hoang. 1998 *Analyse régionale des crues journalières de la province de Québec*. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 25 : 360-369. CNRC Canada, 1988.

F. Messier, F. Anctil et B. Beaulieu, 2007. *Échelonnage de la crue journalière moyenne pour des bassins versants de superficie entre 10 et 360 km<sup>2</sup> au Québec*. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 34 : 631-636. CNRC Canada, 1988.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEFP), 2013. Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction des politiques de l'eau, 131 p.

CEHQ, 2012. *Estimation des débits d'étiages pour le nord du Québec*. Centre d'expertise hydrique du Québec. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, des Parcs et de la Faune. Gouvernement du Québec.

COBAVER-VS. Le Plan directeur de l'eau de la zone de gestion de Vaudreuil-Soulanges. Document non officiel consulté sur le site du Conseil du Bassin Versant de Vaudreuil-Soulanges (COBAVER-VS) : <http://www.cobaver-vs.org/plan-directeur-de-l-eau>

M. Yagouti, G. Boulet, L. Vescovi. Homogénéisation des séries de températures du Québec Méridional et analyse de l'évolution du climat à l'aide d'indicateurs. Consortium Uranos, 2006.

MTQ, 2004. Le manuel de conception des ponceaux. Ministère des Transports du Québec, Canada. Avril 2004.

USBR, 1987. Design of small dams. A water resources Technical publication. Third Edition. Bureau of Reclamation. United States Department of the Interior. USA.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEFP), 2012. Guide de gestion des eaux pluviales : Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain. Ministère du Développement durable, de

l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère des Affaires municipales , des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEFP), 2013. Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction des politiques de l'eau, 131 p.

Anna Cole, 2013. Annual Unit Runoff in Canada. Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Ouranos, 2007 . Bourque, A . et G. Simonet « Chapitre 5 : Québec » dans Vivre avec les changements climatiques au Canada. Édition 2007, D.S., Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix, et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa, (Ontario), 2008, pp. 271-226.

Ouranos, 2010. Savoir s'adapter aux changements climatiques, rédaction : C. DesJarlais, M. Allard, D. Bélanger, A. Blondlot, A. Bouffard, A. Bourque, D. Chaumont, P. Gosselin, D. Houle, C. Larrivée, N. Lease, A.T. Pham, R. Roy, J.-P. Savard, R. Turcotte et C. Villeneuve, Montréal, 2010, 128 p.

M. Ramette. Guide d'Hydraulique Fluviale. Rapport du L.N.H. 40/81/04 (Chatou, France).

## Annexe 1

### Relevés topographiques du lac Pine

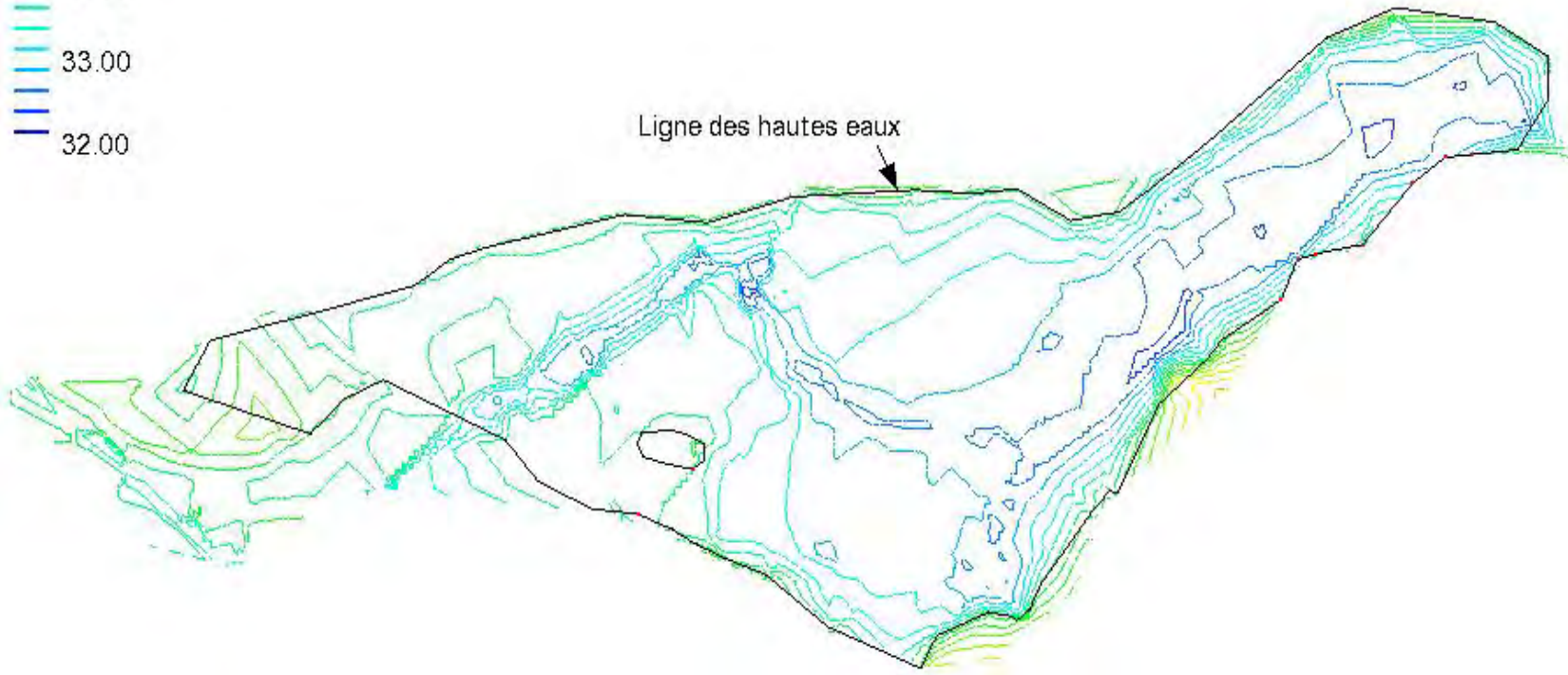




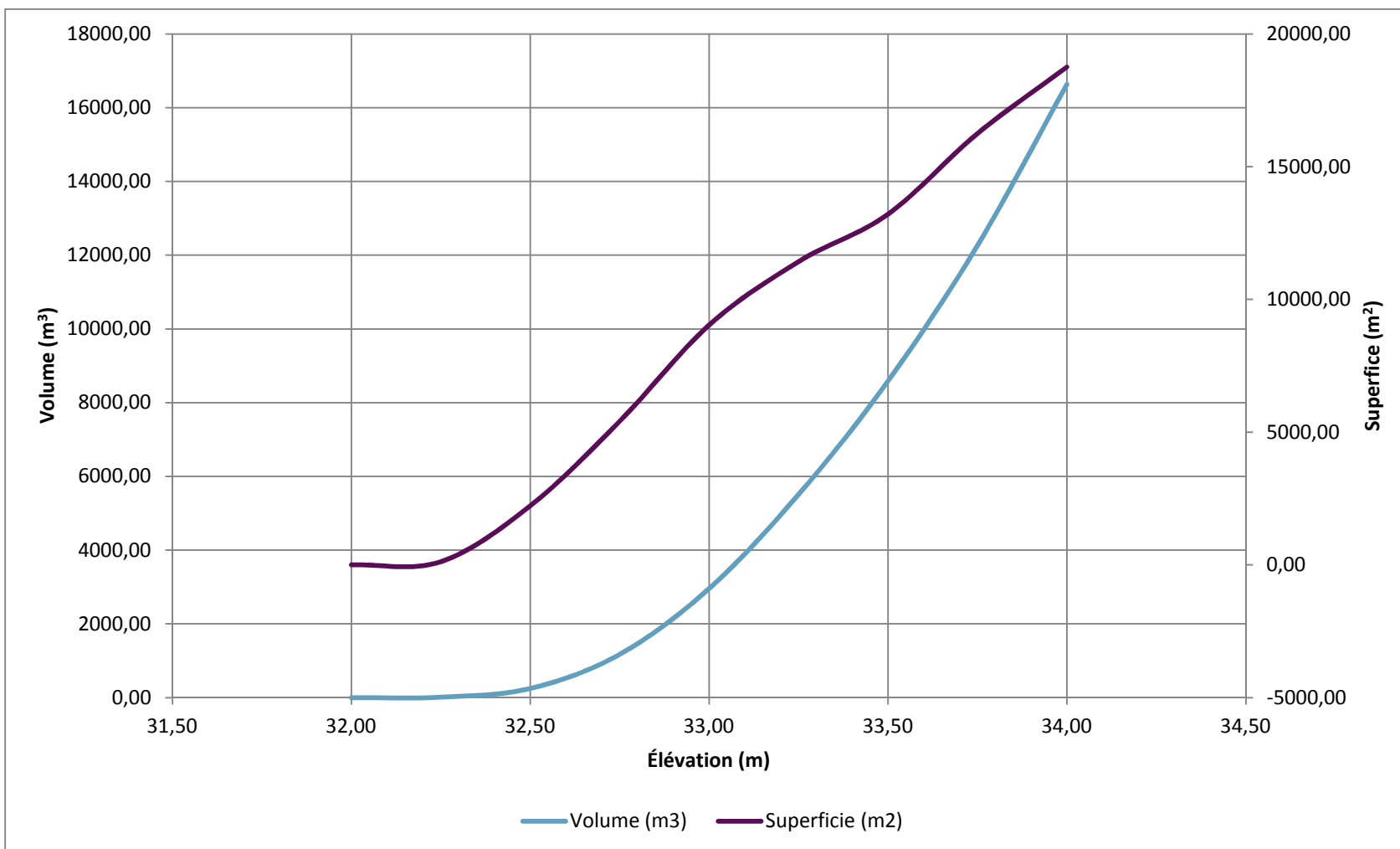
DEM (From TIN)



Ligne des hautes eaux







## Annexe 2

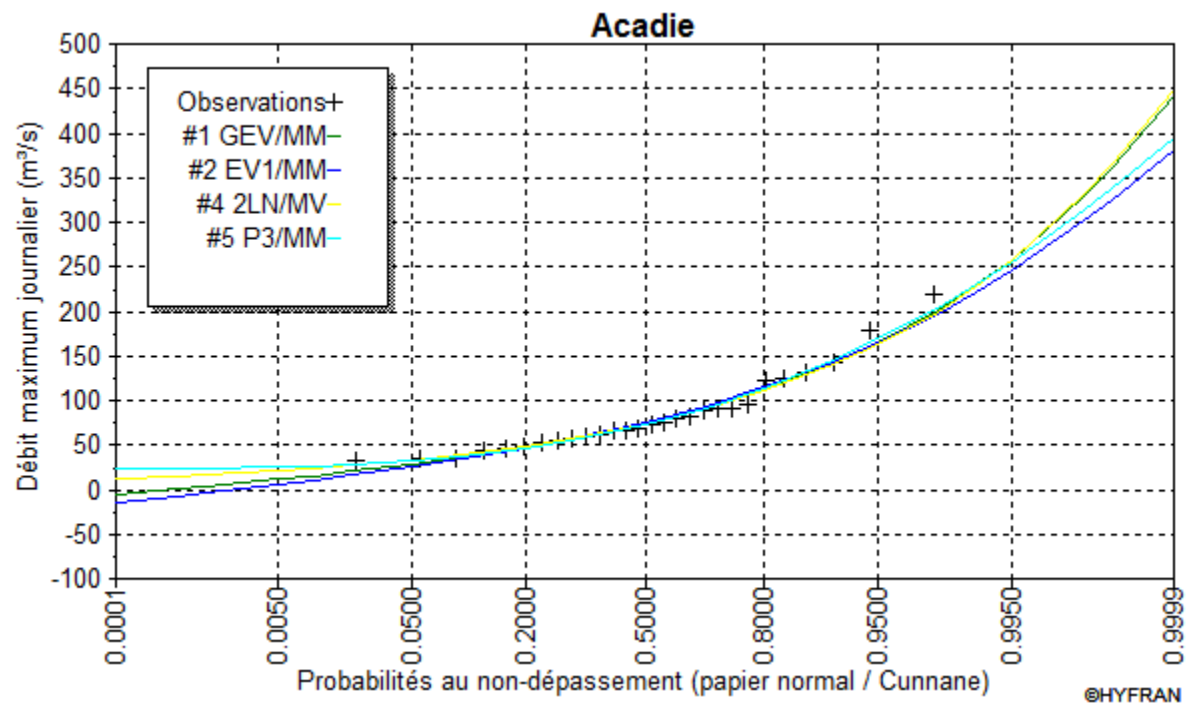
### Données et résultats hydrologiques

ANEXE : Données et résultats hydrologiques

Débits journaliers maximums annuels de la stations Acadie.

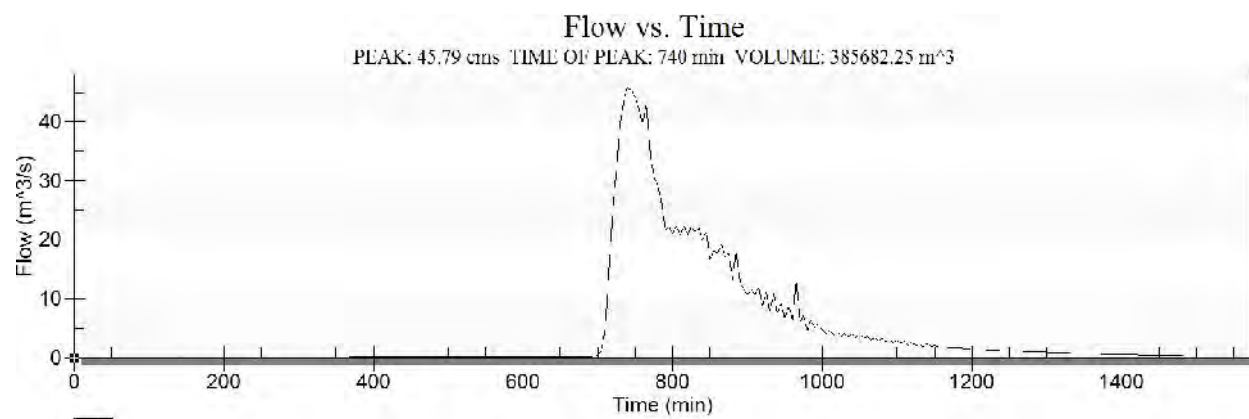
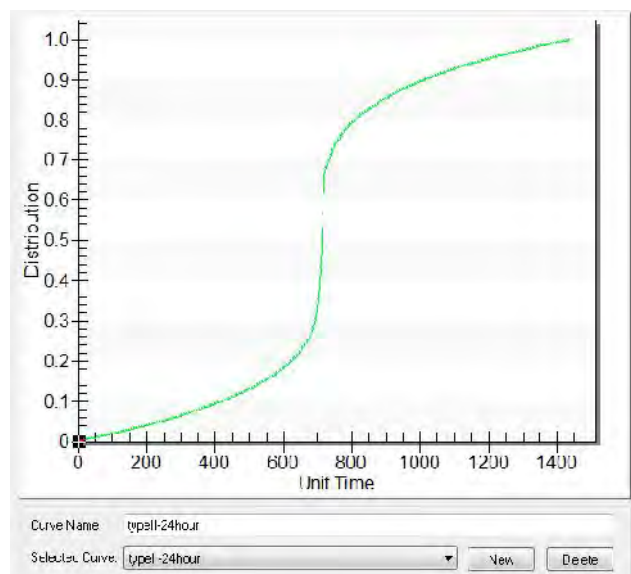
| Débit max annuel (m3/s) | Année |
|-------------------------|-------|
| 95                      | 1980  |
| 34.7                    | 1981  |
| 47.9                    | 1982  |
| 33.8                    | 1983  |
| 90                      | 1985  |
| 52.1                    | 1986  |
| 58.9                    | 1987  |
| 32.9                    | 1988  |
| 45                      | 1989  |
| 81.6                    | 1990  |
| 122.9                   | 1993  |
| 78.74                   | 1995  |
| 54.32                   | 1997  |
| 218.6                   | 1998  |
| 57.01                   | 1999  |
| 125                     | 2000  |
| 178                     | 2001  |
| 67.34                   | 2002  |
| 74.75                   | 2003  |
| 68.9                    | 2004  |
| 66.92                   | 2005  |
| 72.17                   | 2006  |
| 92.04                   | 2007  |
| 131.8                   | 2008  |
| 44.88                   | 2009  |
| 89.56                   | 2010  |
| 143.8                   | 2011  |
| 62.17                   | 2012  |
| 68.11                   | 2013  |

## Ajustement Statistique



## Débits Fréquentiels

| T      | q      | XT    | Ecart-<br>type | Intervalle<br>De confiance -95% |      |
|--------|--------|-------|----------------|---------------------------------|------|
| 10000  | 0.9999 | 381   | 64             | 255                             | 506  |
| 2000   | 0.9995 | 325   | 53.1           | 221                             | 429  |
| 1000   | 0.999  | 301   | 48.4           | 207                             | 396  |
| 200    | 0.995  | 246   | 37.5           | 172                             | 319  |
| 100    | 0.99   | 222   | 32.8           | 157                             | 286  |
| 50     | 0.98   | 198   | 28.2           | 142                             | 253  |
| 20     | 0.95   | 165   | 22.1           | 122                             | 209  |
| 10     | 0.9    | 141   | 17.5           | 106                             | 175  |
| 5      | 0.8    | 115   | 12.9           | 89.4                            | 140  |
| 3      | 0.6667 | 94.1  | 9.76           | 75                              | 113  |
| 2      | 0.5    | 75.6  | 7.68           | 60.6                            | 90.7 |
| 1.4286 | 0.3    | 56.6  | 7.06           | 42.7                            | 70.4 |
| 1.25   | 0.2    | 46.5  | 7.51           | 31.8                            | 61.3 |
| 1.1111 | 0.1    | 34.2  | 8.69           | 17.1                            | 51.2 |
| 1.0526 | 0.05   | 25.1  | 9.85           | 5.76                            | 44.4 |
| 1.0204 | 0.02   | 15.9  | 11.2           | -6.11                           | 37.8 |
| 1.0101 | 0.01   | 10.2  | 12.1           | -13.5                           | 34   |
| 1.005  | 0.005  | 5.4   | 12.9           | -19.9                           | 30.7 |
| 1.001  | 0.001  | -3.76 | 14.5           | -32.1                           | 24.6 |
| 1.0005 | 0.0005 | -7.06 | 15             | -36.5                           | 22.4 |
| 1.0001 | 0.0001 | -13.7 | 16.2           | -45.5                           | 18.1 |



## Annexe 3

### Simulations hydrauliques

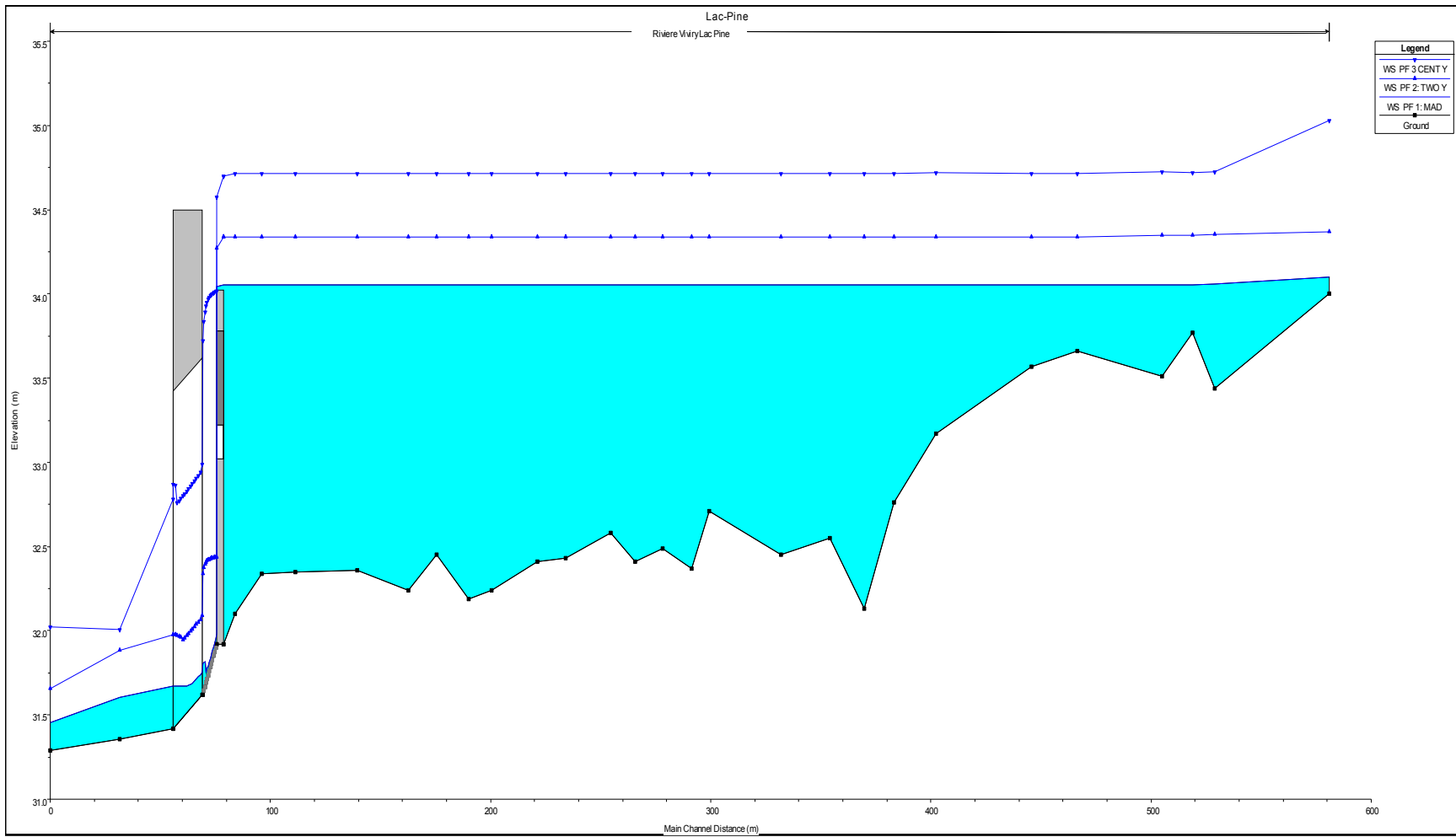


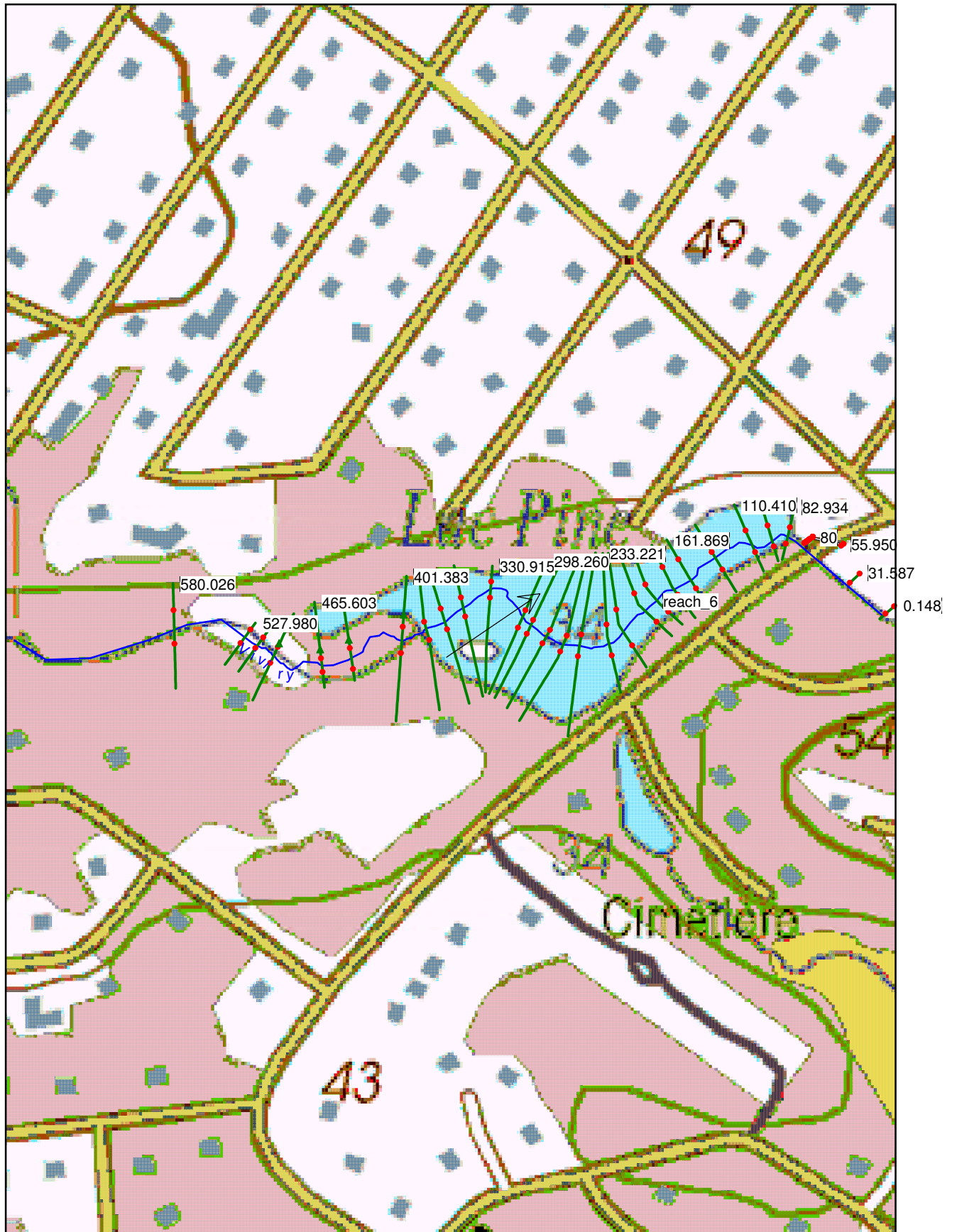
# ANNEXE – Résultats du modèle HEC-RAS

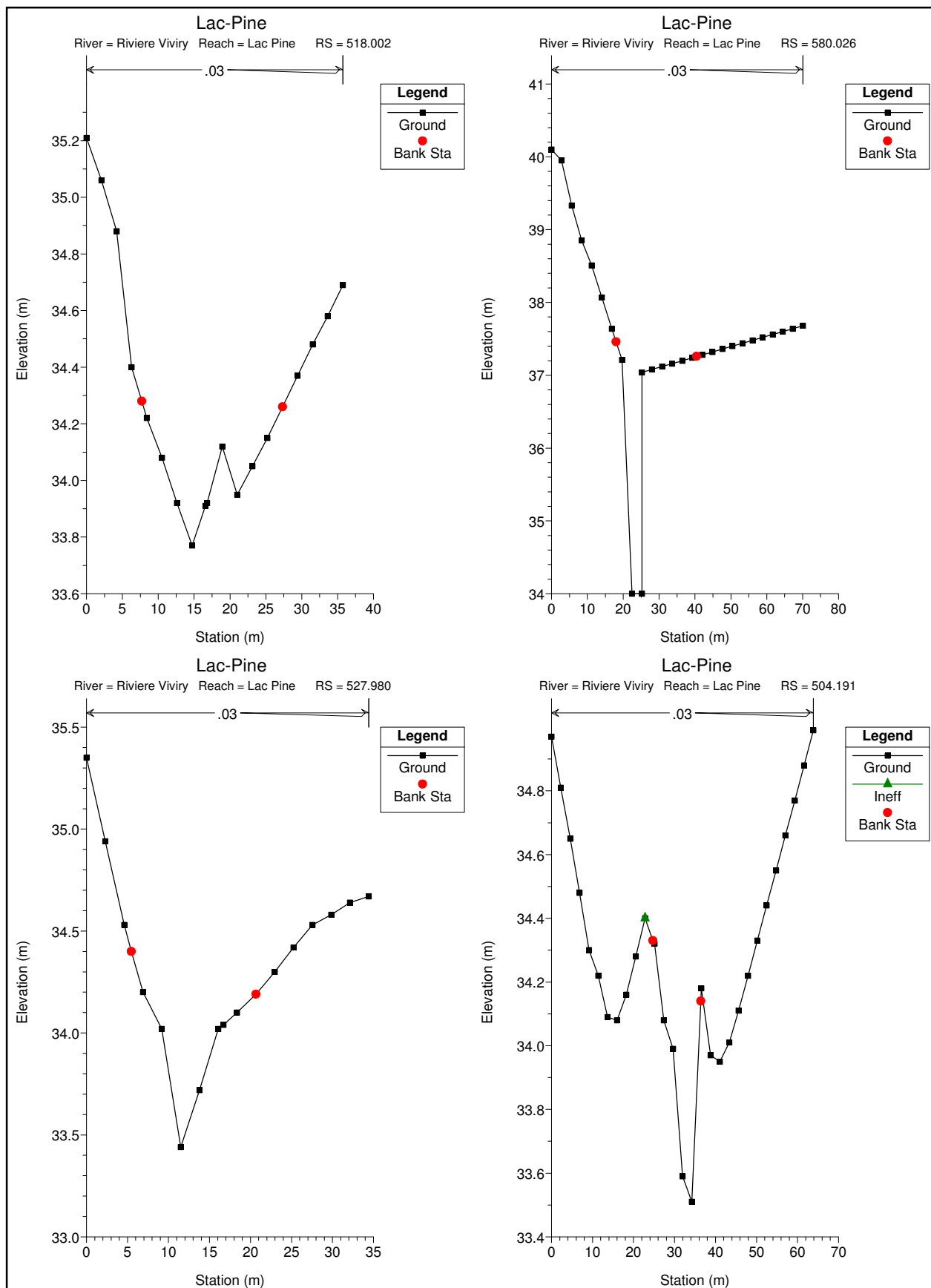
Simulation hydraulique avec un débit égal au module annuel estimé.

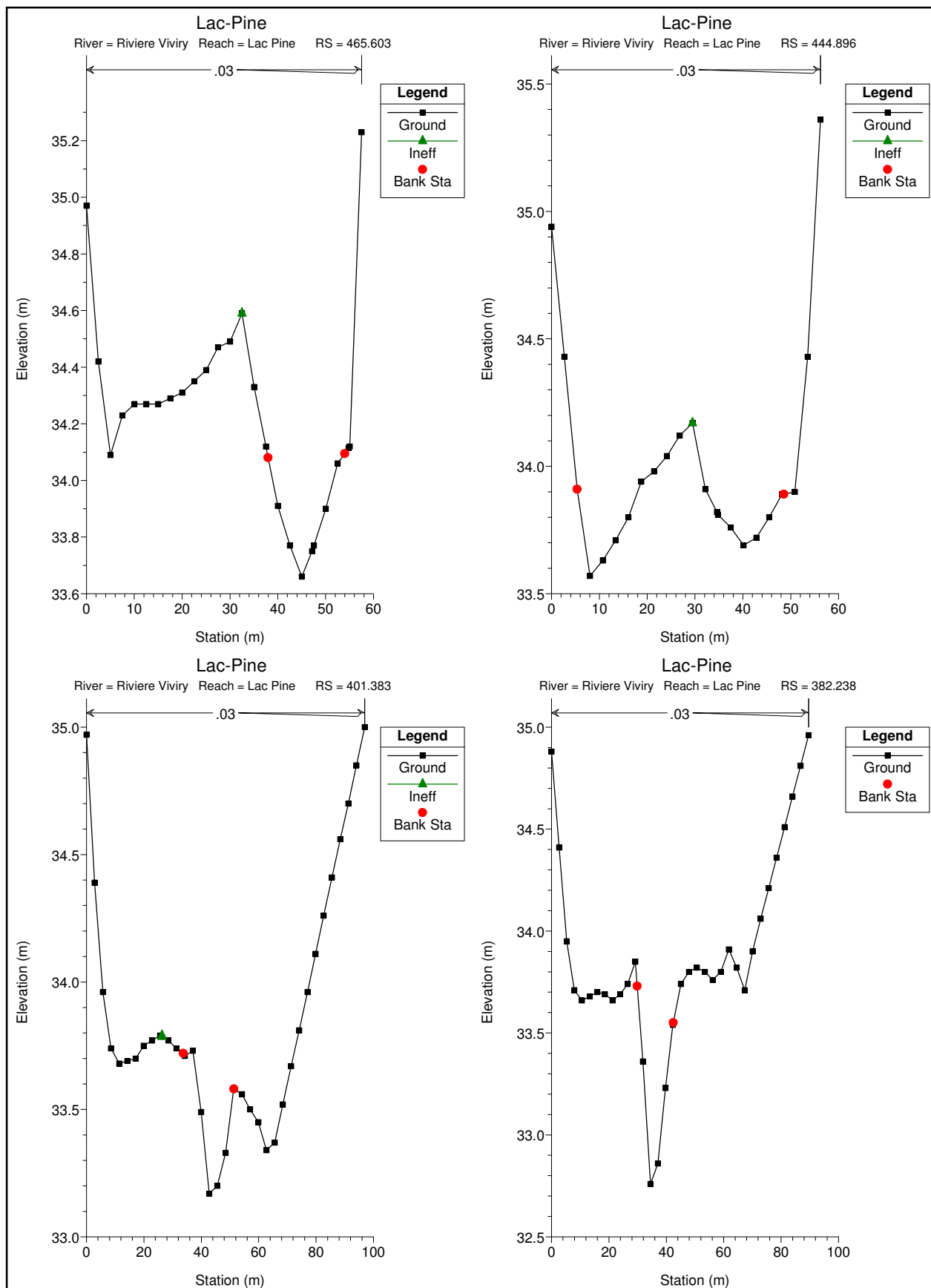
| Reach    | River Sta | Q Total      | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow   |        |      |
|----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|--------|--------|------|
| Area     | Top Width | Froude # Chl |           |           |           |           |            |          |        |        |      |
|          | (m3/s)    | (m)          | (m)       | (m)       | (m/m)     | (m/s)     | (m2)       | (m)      |        |        |      |
| Lac Pine | 580.026   | 0.28         | 34.00     | 34.10     | 34.10     | 34.15     | 0.022180   | 1.01     | 0.28   | 2.87   | 1.04 |
| Lac Pine | 527.980   | 0.28         | 33.44     | 34.06     | 33.66     | 34.06     | 0.000075   | 0.12     | 2.32   | 8.55   | 0.07 |
| Lac Pine | 518.002   | 0.28         | 33.77     | 34.06     |           | 34.06     | 0.000749   | 0.22     | 1.28   | 10.94  | 0.20 |
| Lac Pine | 504.191   | 0.28         | 33.51     | 34.05     | 33.65     | 34.06     | 0.000061   | 0.11     | 2.77   | 14.59  | 0.07 |
| Lac Pine | 465.603   | 0.28         | 33.66     | 34.05     | 33.78     | 34.05     | 0.000057   | 0.09     | 3.08   | 14.12  | 0.06 |
| Lac Pine | 444.896   | 0.28         | 33.57     | 34.05     | 33.78     | 34.05     | 0.000019   | 0.06     | 4.96   | 40.87  | 0.04 |
| Lac Pine | 401.383   | 0.28         | 33.17     | 34.05     | 33.27     | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 32.29  | 73.64  | 0.00 |
| Lac Pine | 382.238   | 0.28         | 32.76     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 27.06  | 68.02  | 0.01 |
| Lac Pine | 368.901   | 0.28         | 32.13     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 43.16  | 71.76  | 0.00 |
| Lac Pine | 353.304   | 0.28         | 32.55     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 45.91  | 77.11  | 0.00 |
| Lac Pine | 330.915   | 0.28         | 32.45     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 40.72  | 75.71  | 0.00 |
| Lac Pine | 298.260   | 0.28         | 32.71     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.00     | 74.29  | 88.62  | 0.00 |
| Lac Pine | 290.289   | 0.28         | 32.37     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.00     | 85.41  | 94.06  | 0.00 |
| Lac Pine | 277.212   | 0.28         | 32.49     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.00     | 99.36  | 97.59  | 0.00 |
| Lac Pine | 264.726   | 0.28         | 32.41     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.00     | 112.06 | 105.07 | 0.00 |
| Lac Pine | 253.852   | 0.28         | 32.58     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.00     | 117.84 | 109.89 | 0.00 |
| Lac Pine | 233.221   | 0.28         | 32.43     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.00     | 96.74  | 87.98  | 0.00 |
| Lac Pine | 220.386   | 0.28         | 32.41     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.00     | 81.88  | 72.69  | 0.00 |
| Lac Pine | 199.661   | 0.28         | 32.24     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 52.78  | 51.33  | 0.00 |
| Lac Pine | 189.160   | 0.28         | 32.19     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 52.58  | 47.48  | 0.00 |
| Lac Pine | 174.719   | 0.28         | 32.45     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 51.24  | 43.85  | 0.00 |
| Lac Pine | 161.869   | 0.28         | 32.24     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 56.22  | 41.87  | 0.00 |
| Lac Pine | 138.376   | 0.28         | 32.36     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 53.14  | 43.56  | 0.00 |
| Lac Pine | 110.410   | 0.28         | 32.35     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 53.82  | 42.81  | 0.00 |
| Lac Pine | 95.123    | 0.28         | 32.34     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 44.42  | 36.19  | 0.00 |
| Lac Pine | 82.934    | 0.28         | 32.10     | 34.05     |           | 34.05     | 0.000000   | 0.01     | 30.75  | 26.54  | 0.00 |
| Lac Pine | 80        | 0.28         | 31.92     | 34.05     | 31.98     | 34.05     | 0.000000   | 0.02     | 14.92  | 7.00   | 0.00 |

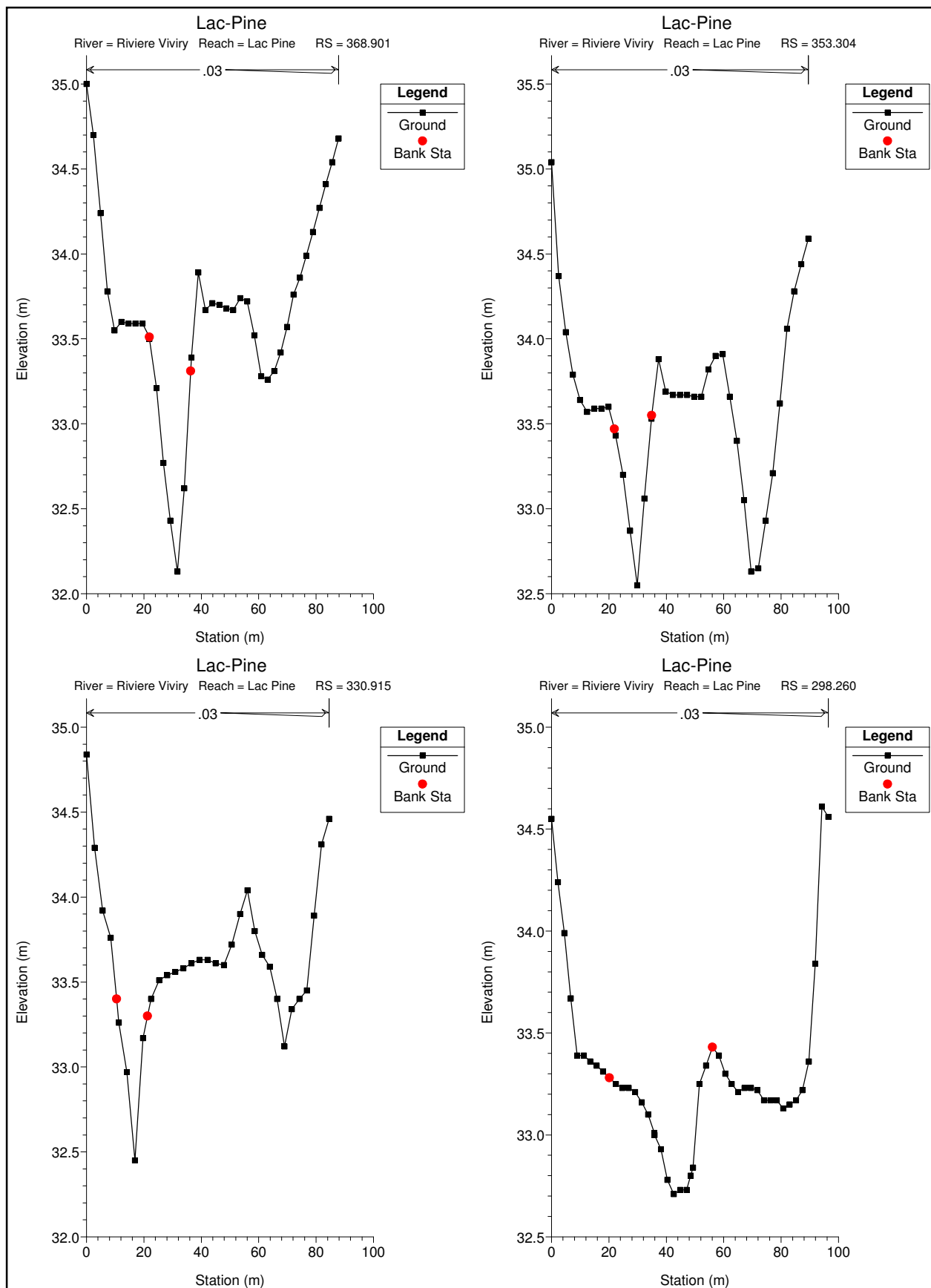
|          |        |            |       |       |       |       |          |          |      |      |      |      |
|----------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|------|------|------|------|
| Lac Pine | 79.9   | Inl Struct |       |       |       |       |          |          |      |      |      |      |
| Lac Pine | 76.8   | 0.28       | 31.92 | 31.98 | 31.98 | 32.00 | 0.022896 | 0.66     | 0.42 | 7.00 | 0.86 |      |
| Lac Pine | 72.248 |            | 0.28  | 31.62 | 31.81 | 31.75 | 31.84    | 0.001502 | 0.75 | 0.37 | 2.00 | 0.56 |
| Lac Pine | 72     | Culvert    |       |       |       |       |          |          |      |      |      |      |
| Lac Pine | 55.950 |            | 0.28  | 31.42 | 31.67 |       | 31.69    | 0.003323 | 0.56 | 0.50 | 2.00 | 0.36 |
| Lac Pine | 31.587 |            | 0.28  | 31.36 | 31.61 |       | 31.61    | 0.002476 | 0.40 | 0.69 | 4.54 | 0.33 |
| Lac Pine | 0.148  |            | 0.28  | 31.29 | 31.46 | 31.42 | 31.47    | 0.010005 | 0.57 | 0.49 | 5.59 | 0.61 |

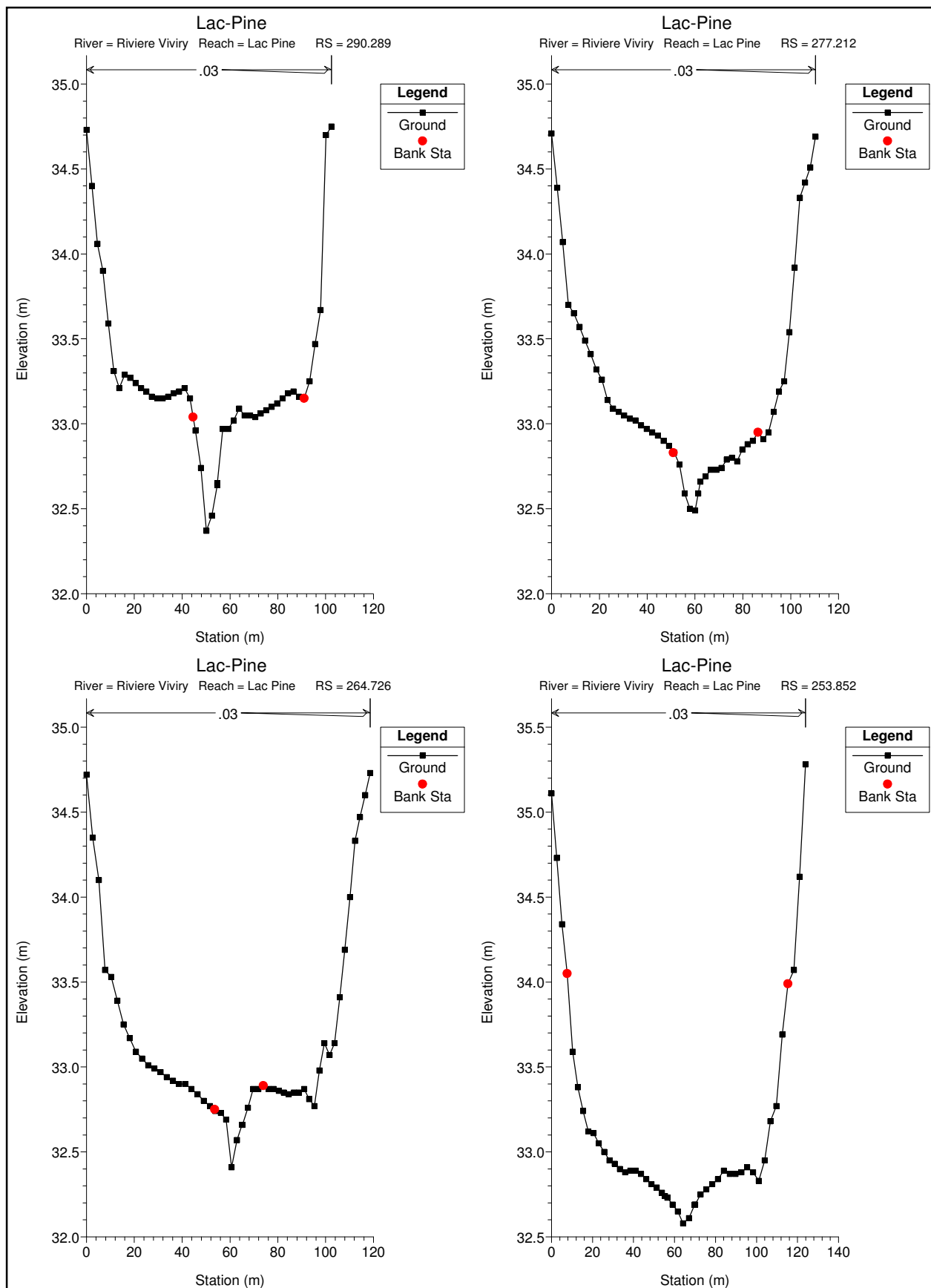




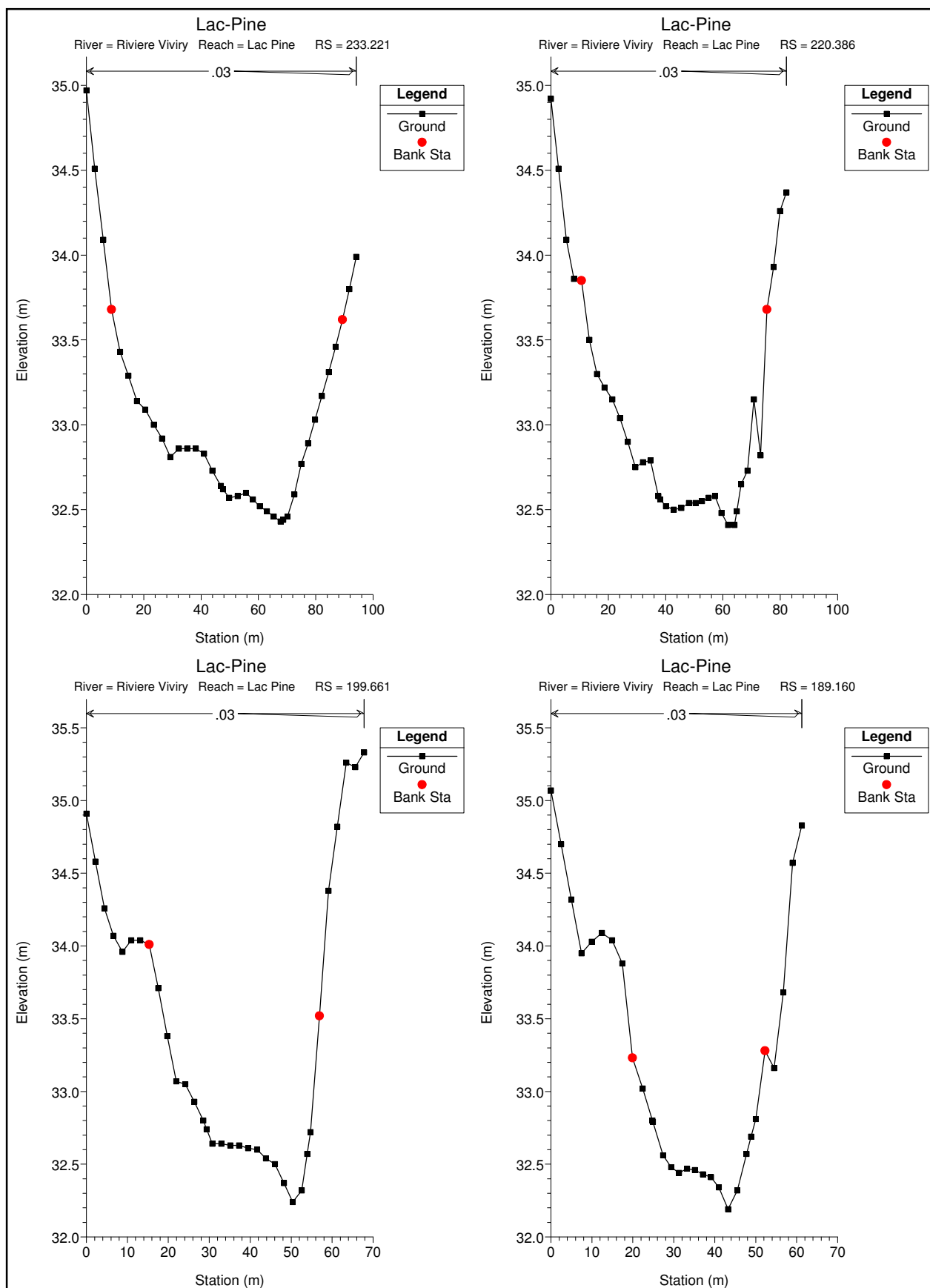


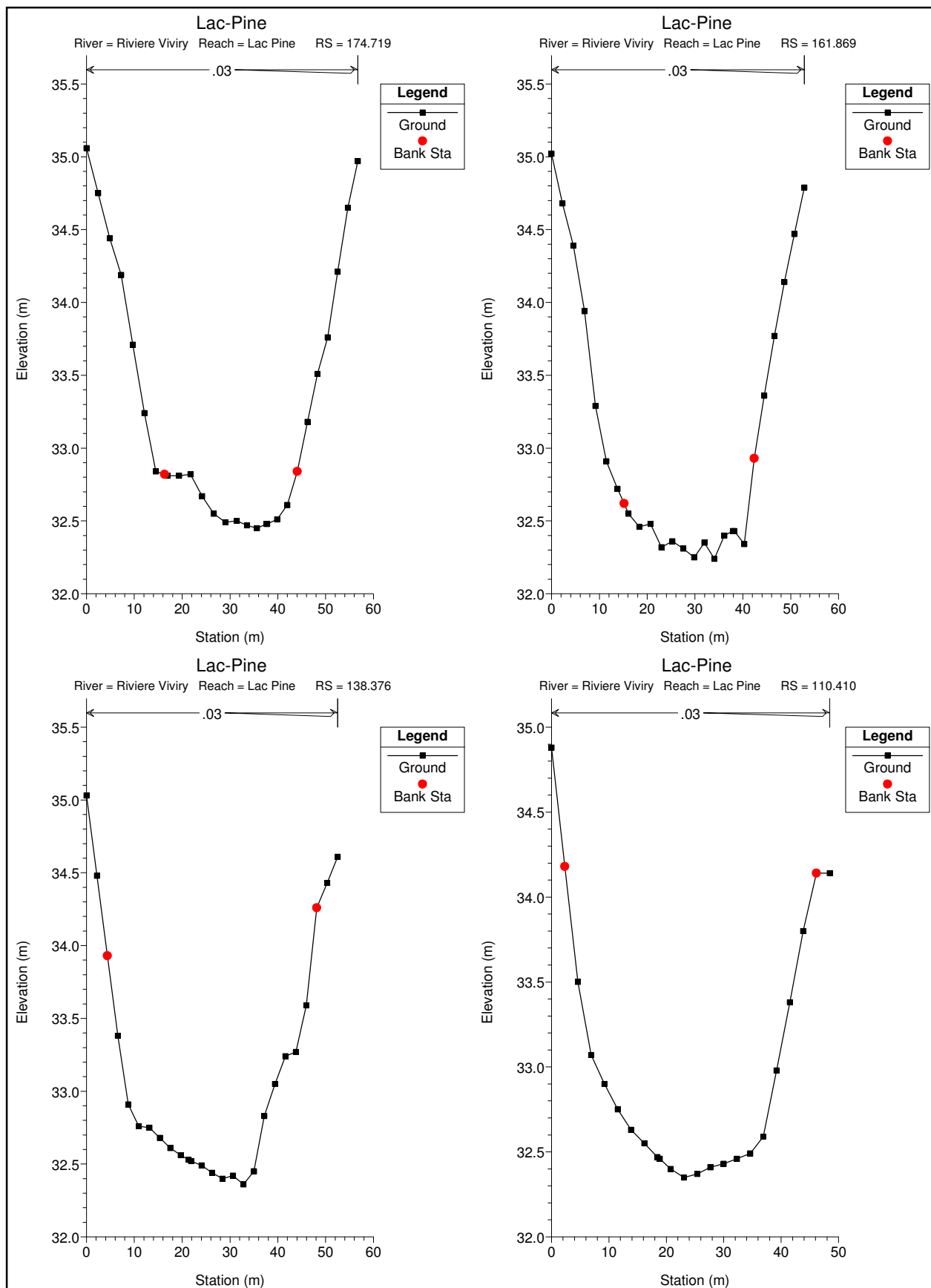


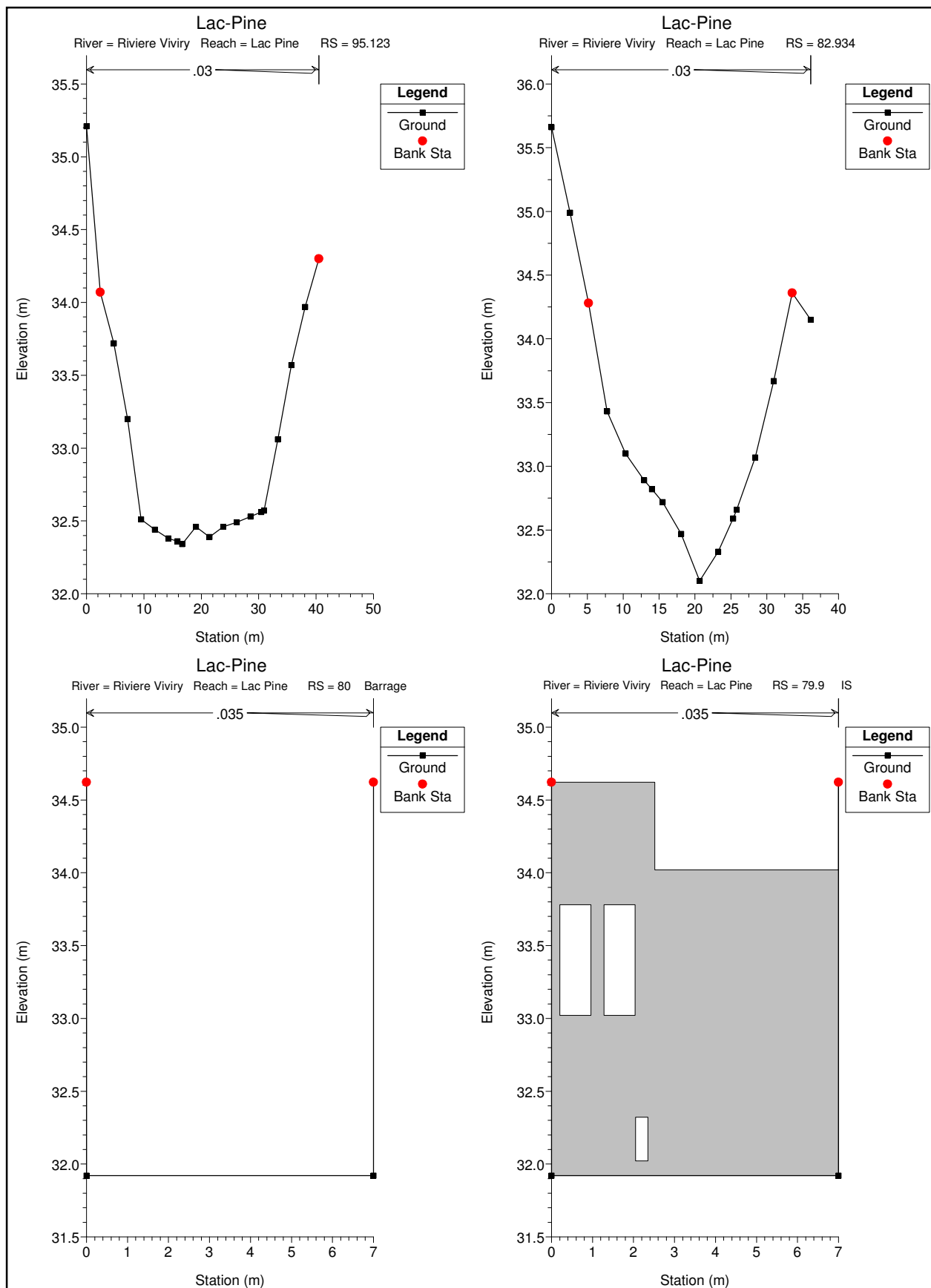


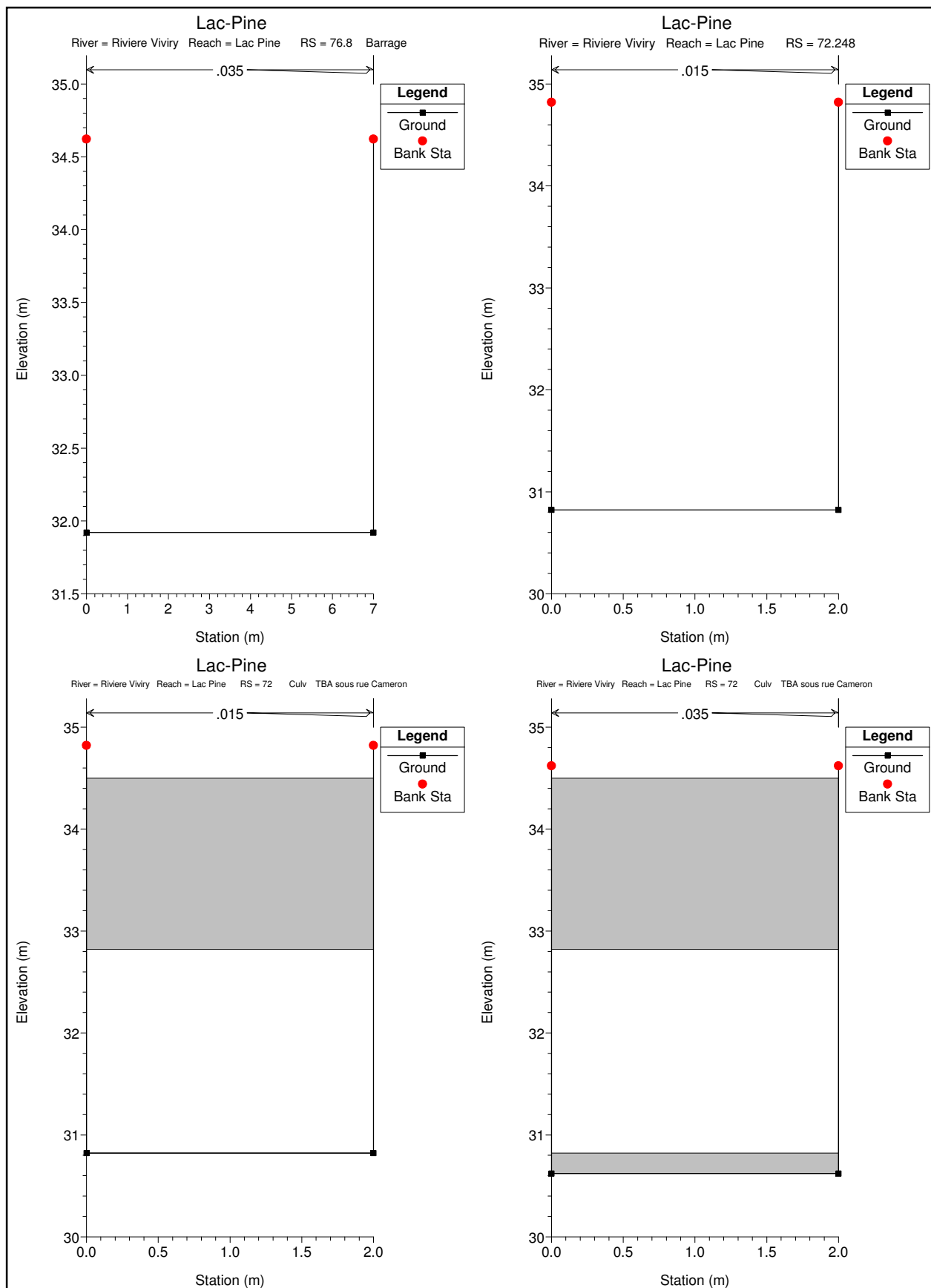


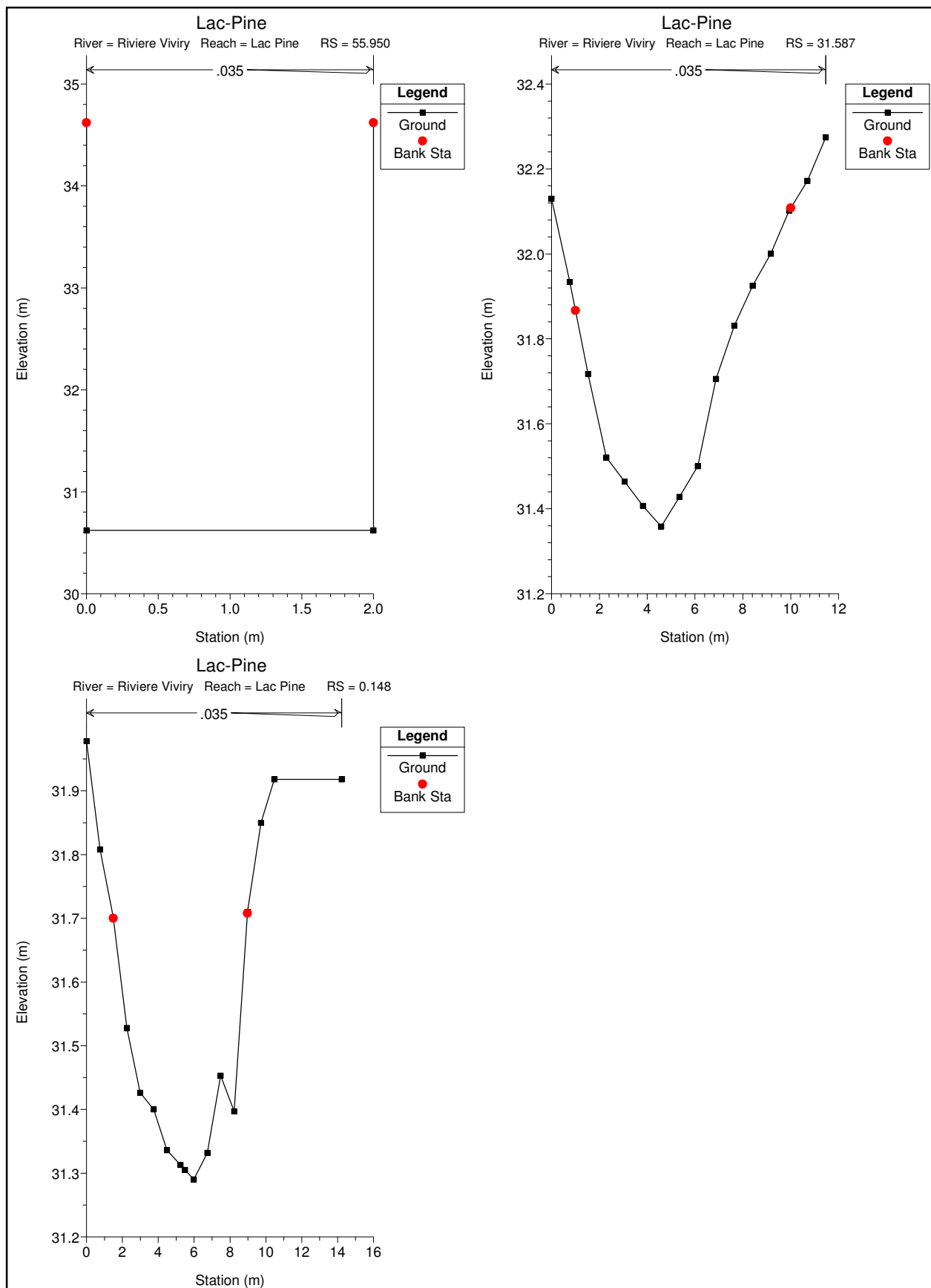






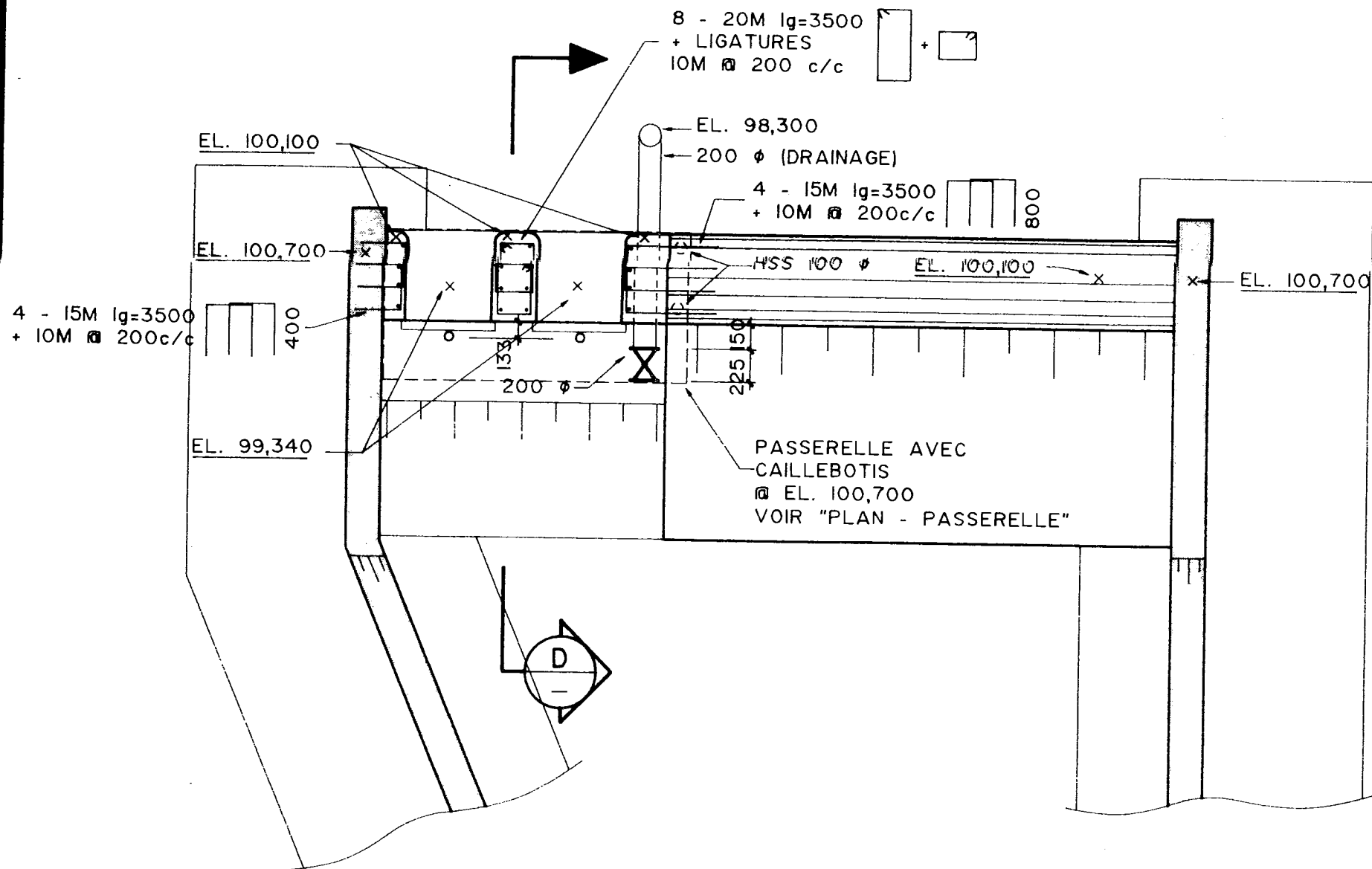




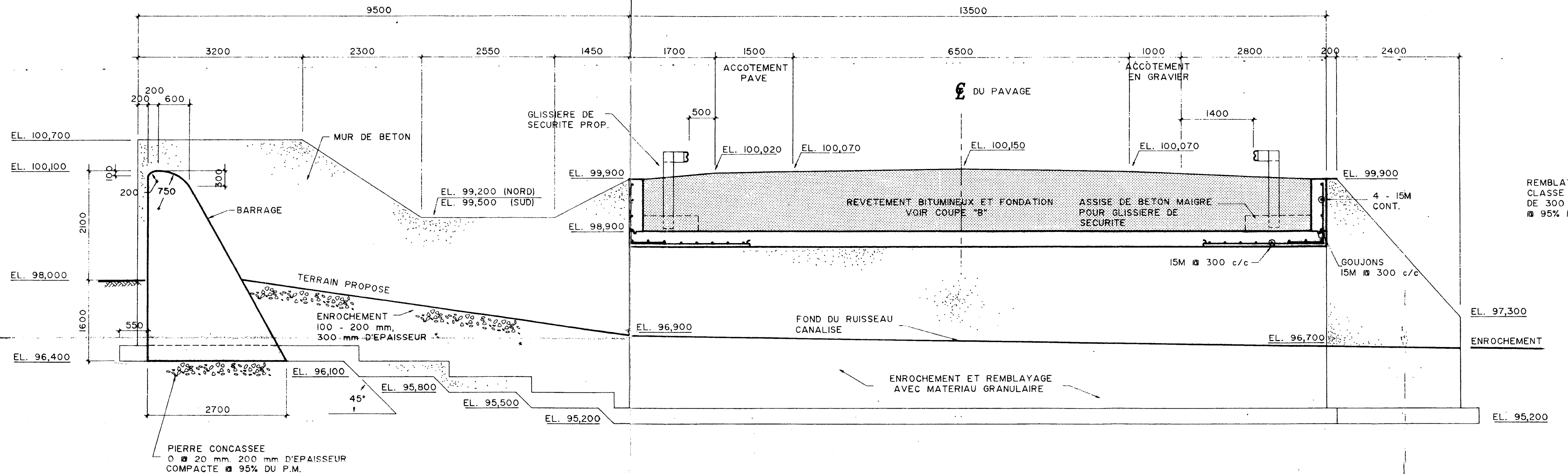


## Annexe 4

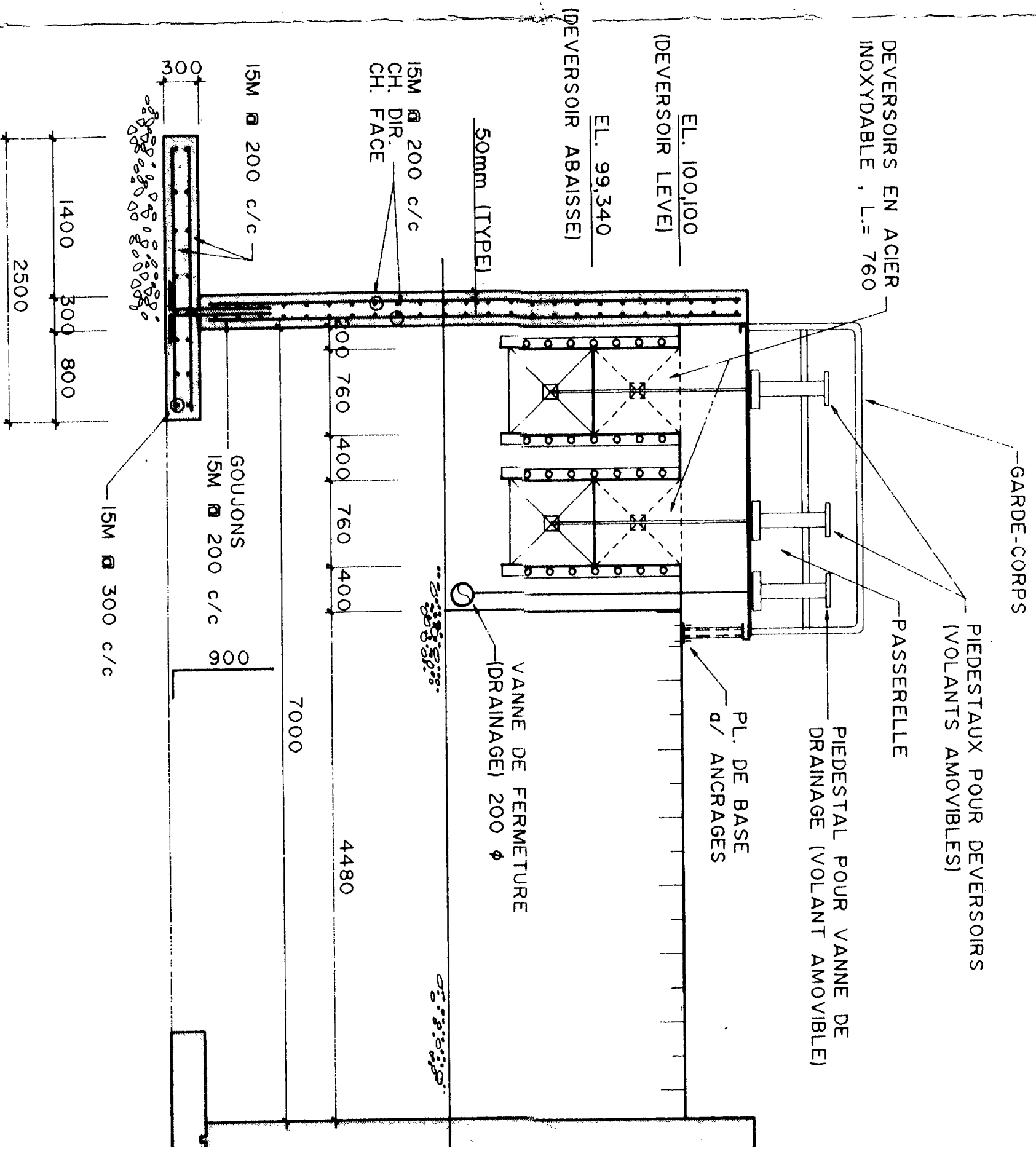
### Dessins du barrage



**PLAN**  
**BARRAGE**  
1:50



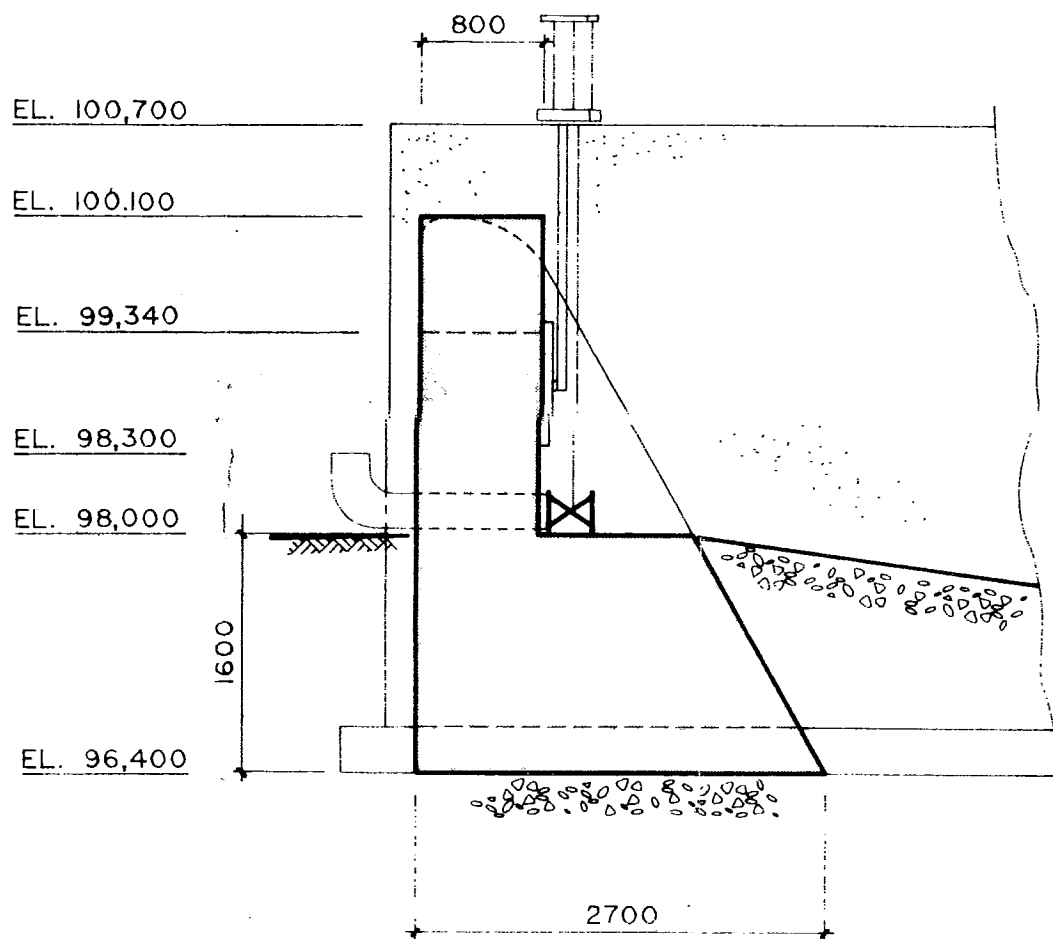




# ELEVATION BARRAGE

1:50

C  
025



COUPE

1:50

