

Étude de la dynamique sédimentaire de la rivière Bulstrode entre les barrages Beaudet et Sainte- Sophie

Présentation au BAPE

Mandat

- Modélisation hydrosédimentaire de la rivière Bulstrode
 - Relevés hydrométriques
 - Relevés géotechniques et caractérisation des berges
 - Étude de faisabilité sur l'application de diverses stratégies permettant la réduction de la sédimentation dans le réservoir Beaudet

Modélisation hydrosédimentaire

- Le transport sédimentaire dans les rivières est un processus naturel
- L'objectif de la modélisation hydrosédimentaire est de créer un modèle mathématique représentatif du transport sédimentaire observé et de tester l'impact de modifications au cours d'eau sur le transport sédimentaire

- Étapes

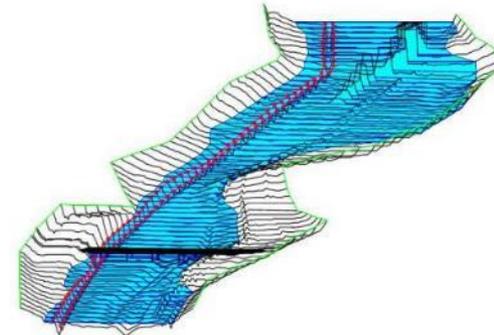
- Acquisition et analyse des données
- Calibration et sensibilité du modèle
- Analyse des impacts des modifications

- Données nécessaires

- Topographie
- Bathymétrie
- Hydrologie (débit d'eau)
- Mesure de transport sédimentaire



HEC-RAS River Analysis System



Domaine modélisé

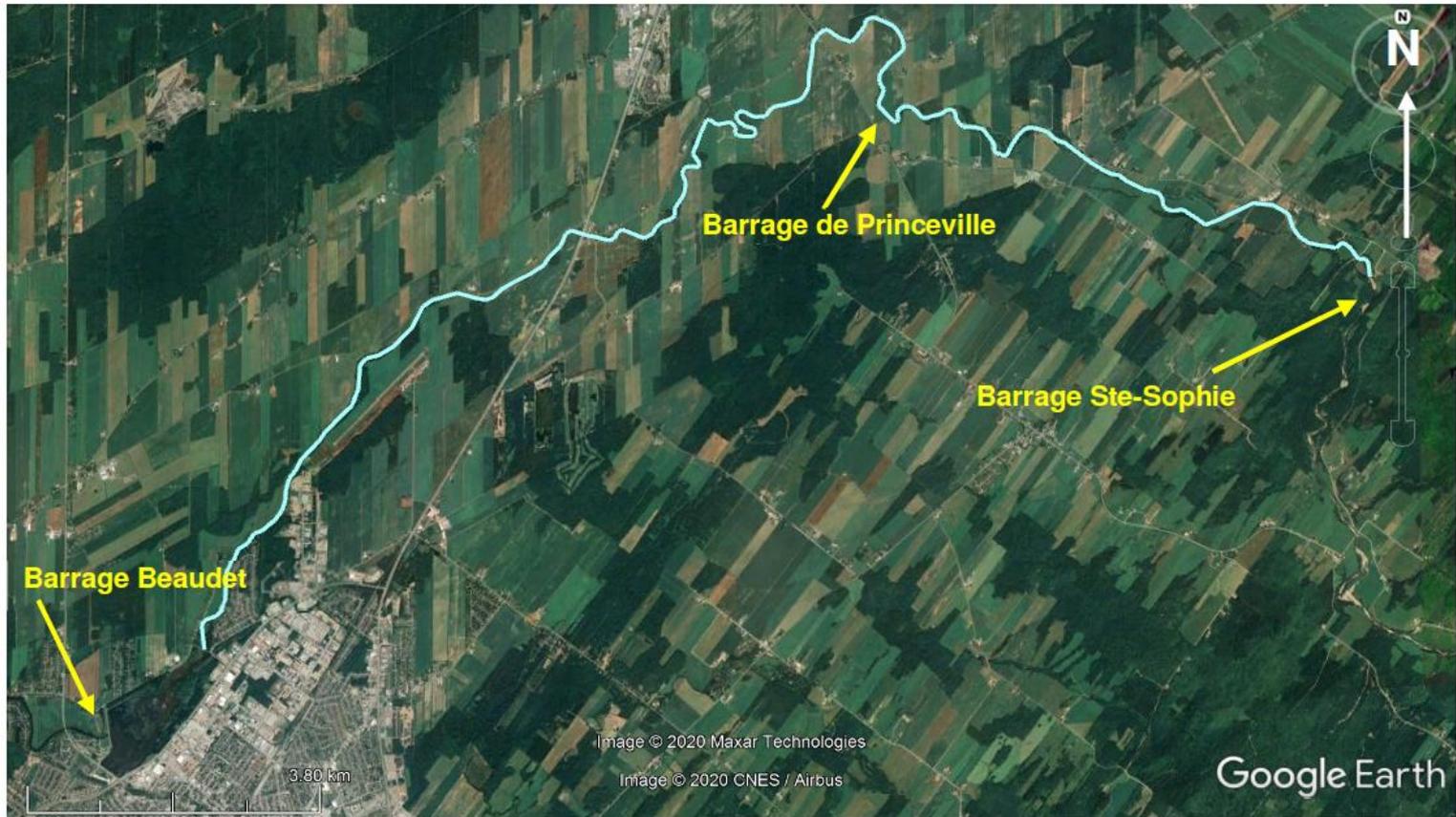


Figure 2.3 : Emplacement du tronçon modélisé de la rivière Bulstrode (source : Google Earth)

Relevés hydrométriques

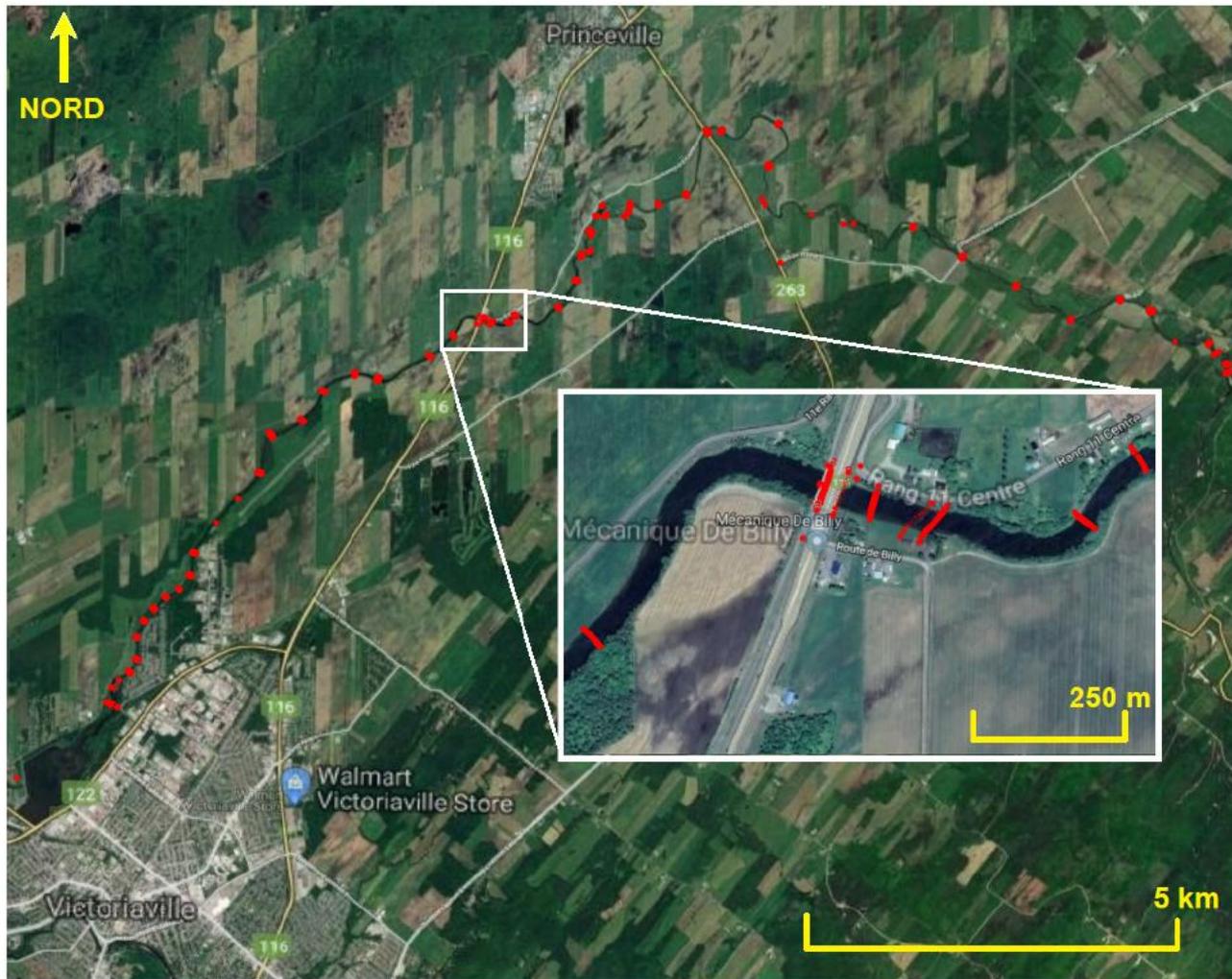


Figure 3.4 : Aperçu de l'envergure des relevés bathymétriques (source : Google Earth)

Analyse du profil en long

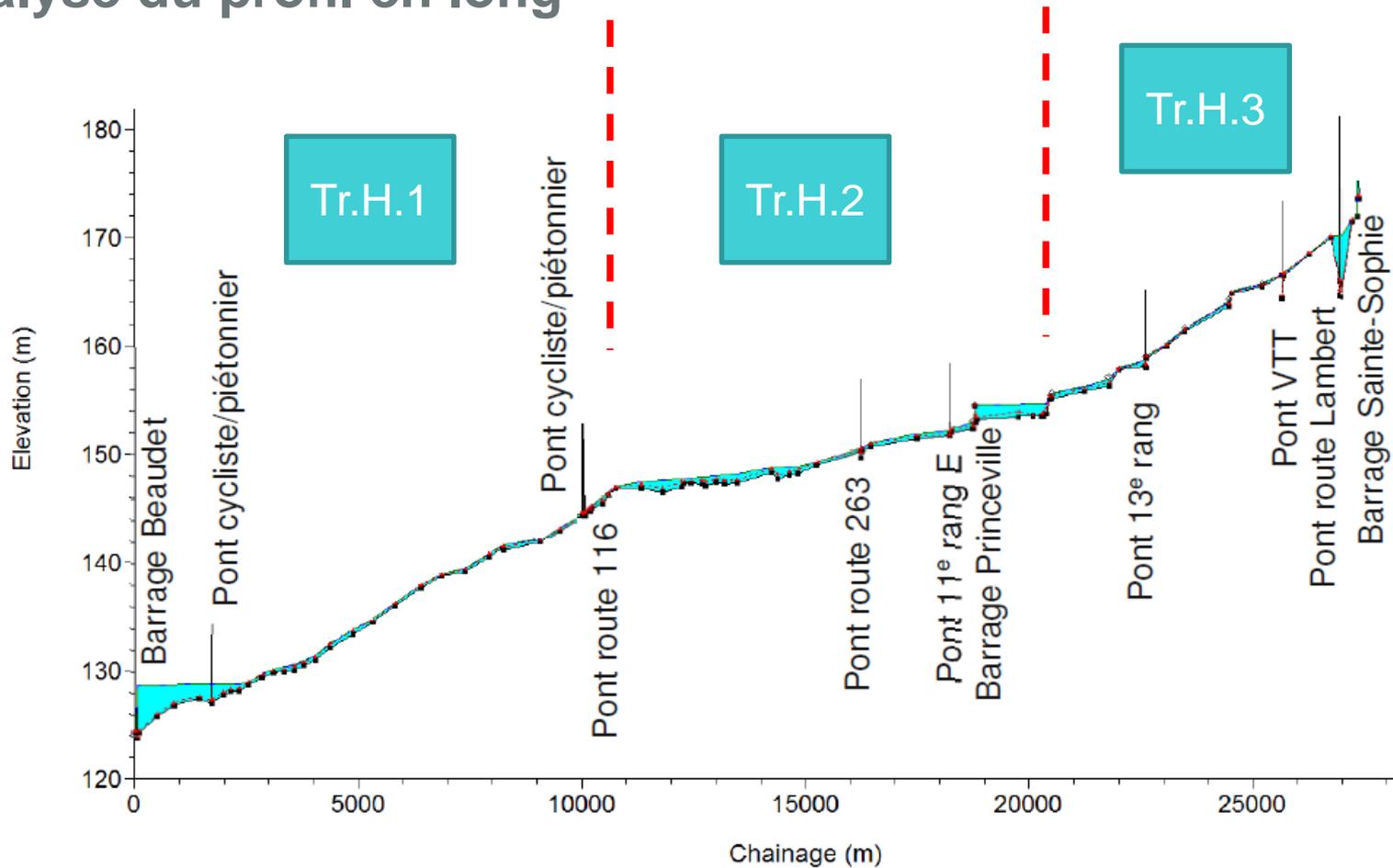


Figure 2.6 : Profil en long du tronçon modélisé (Source : Modèle HEC-RAS – CIMA+)

Relevés géotechniques

Tr.H.1

Tr.H.2

Tr.H.3

Tableau 2 : Nature des sols

Zone	Chainage		Fond de rivière		Berges de la rivière	
	de	à	Nature des sols	Granulométrie associée	Nature des sols	Granulométrie associée
1	0+000	0+700	Sable et silt, un peu de gravier	EM-1	Sable et silt, un peu de gravier	EM1*
	0+700	1+500	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
2	1+500	2+300	Roc en surface avec cailloux	Roc	Roc	Roc
	2+300	6+500	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
3	6+500	7+300	Sable graveleux	EM3	Roc	Roc
4	7+300	9+200	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
5	9+200	10+800	Cailloux et gravier	V-1	Sable silteux	EM4
6	10+800	11+400	Gravier sableux probable	EM6*	Sable, un peu de silt	EM7*
	11+400	11+700	Gravier sableux	EM6	Sable, un peu de silt/Silt sableux	EM7/EM10**
7	11+700	12+000	Gravier et sable	EM11	Sable, un peu de silt/Silt sableux	EM7/EM10**
8	12+000	12+700	Gravier sableux	EM15	Silt sableux	EM13
9	12+700	13+200	Sable	EM18	Silt sableux	EM13*
10	13+200	13+700	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
11	13+700	14+000	Gravier et cailloux	V-2	Roc	Roc
12	14+000	14+300	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
13	14+300	14+500	Sable fin, un peu de silt	EM19	Sable fin, un peu de silt	EM21*
14	14+500	15+000	Sable graveleux	EM20	Sable fin, un peu de silt	EM21*
15	15+000	15+200	Cailloux et blocs avec sable dessus	V-2	Sable fin, un peu de silt	EM21
16	15+200	16+200	Cailloux et blocs avec sable dessus	V-2	Sable fin, un peu de silt	EM21*
17	16+200	16+500	Gravier sableux, un peu de cailloux	EM22	Sable fin, un peu de silt	EM21*
18	16+500	17+000	Sable et gravier, un peu de cailloux	EM23	Sable fin, un peu de silt	EM21*
19	17+000	17+900	Gravier sableux probable	EM-26*	Sable fin, un peu de silt	EM21*
	17+900	19+600	Gravier sableux, un peu de cailloux	EM26	Sable fin, un peu de silt	EM21*
20	19+600	20+050	Sable et gravier	EM25	Roc	Roc
21	20+050	20+200	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
22	20+200	20+300	Gravier et sable	EM24	Roc	Roc
23	20+300	20+800	Gravier et cailloux	V-3	Roc	Roc
24	20+800	21+000	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
25	21+000	23+400	Gravier, un peu de sable et cailloux	EM27	Sable silteux	EM28
26	23+400	25+000	Roc en surface avec cailloux/blocs	Roc	Cailloux et gravier	V-2*
27	25+000	25+150	Sable, traces de silt	EM29	Roc	Roc
28	25+150	25+300	Roc en surface	Roc	Roc	Roc
29	25+200	25+530	Sable et gravier	EM32	Roc	Roc
30	25+530	25+700	Gravier, un peu de sable et cailloux	EM31	Gravier, un peu de sable et cailloux	EM31*
31	25+700	26+000	Sable graveleux	EM30	Sable graveleux	EM30*

* Estimé

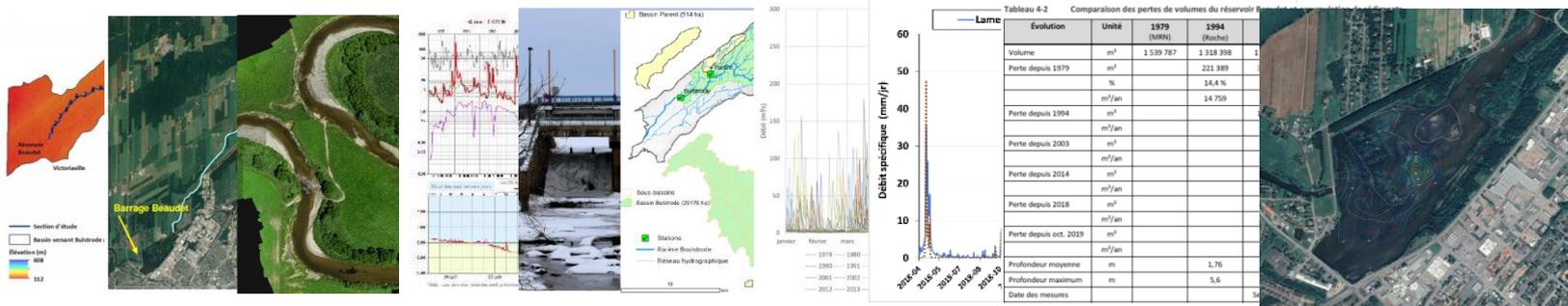
** Superposition de deux couches

Relevés géotechniques – observations terrain

- Le tronçon Tr.H.2 est un tronçon à méandres présentant plusieurs foyers d'érosion, des sections de berge instables et un grand potentiel de mobilité
- Selon les observations sur le terrain, il semble que la majorité des sédiments accumulés dans le réservoir Beaudet proviennent probablement de l'érosion des berges des secteurs Tr.H.2 et Tr.H.3

Autres données et analyses

- Données LiDAR (relevé topographique aéroporté)
- Photographies aériennes
- Relevé photogrammétrique par drone
- Station hydrométrique publique
- Opérations et caractéristiques du barrage Beaudet
- Délimitation du bassin versant et des principaux tributaires
- Étude hydrologique
- Suivi hydrométrique et du transport sédimentaire (IRDA)
- Suivi des volumes d'ensablement du réservoir Beaudet (diverses études)
- Caractérisation des sédiments du réservoir Beaudet
- Etc.



Calibration et sensibilité du modèle

- Le modèle représente environ 90% du volume de sédiment dans le réservoir (bonne calibration)
- Le volume de sédiment accumulé dans le réservoir n'est pas sensible à la quantité de sédiments en provenance des tributaires – indique que l'apport en sédiments des berges et du lit de la rivière pourrait être la principale source de sédiments retrouvés dans le réservoir Beaudet

6.6.1 Accumulation de sédiments dans le réservoir Beaudet

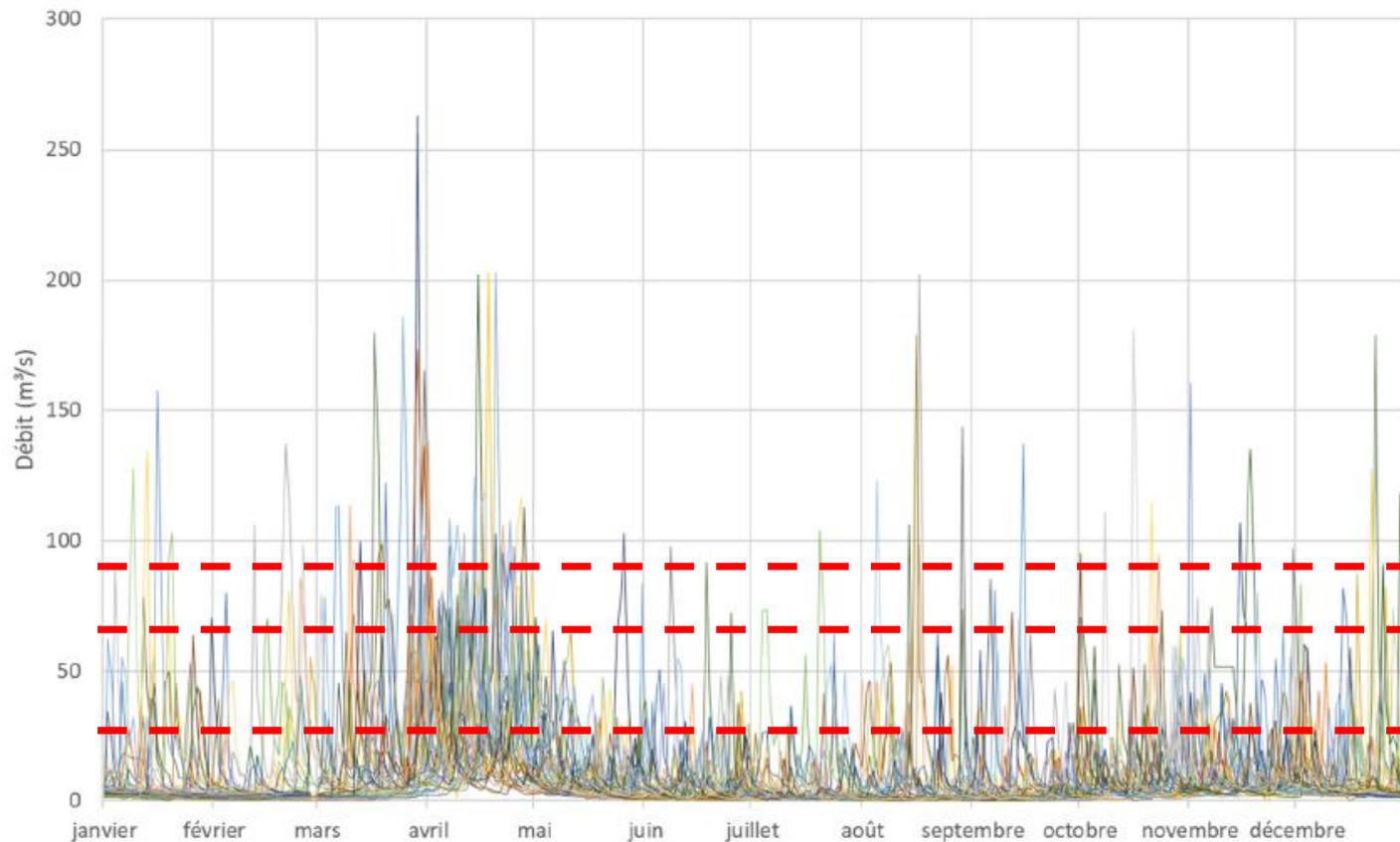
Le volume total de sédiments accumulé modélisé dans le réservoir Beaudet est comparé au volume observé. Le tableau 6.3 présente les résultats de la calibration. Le volume simulé est inférieur d'environ 11% au volume observé, ce qui représente une bonne adéquation.

Tableau 6.3 : Comparaison des volumes accumulés dans le réservoir Beaudet observés et modélisés

Station	Volume accumulé sur la période du 24 juillet 2014 au 24 octobre 2018
Observé	79 800 m ³
Modélisé	71 100 m ³

Faisabilité des différentes stratégies pour limiter l'ensablement du réservoir Beaudet

- Approches #1 et #2 : études « d'opportunité » théorique (sans égard aux moyens mis en place)



Faisabilité des différentes stratégies pour limiter l'ensablement du réservoir Beaudet

- Approches #1 et #2 : études « d'opportunité » théorique (sans égard aux moyens mis en place)

Tableau 7.1 : Réduction de l'ensablement dans le réservoir Beaudet par suite de la réduction des pointes de crues – approche « théorique » avec conservation du volume

Scénario de limitation du débit	Réduction du volume de sédiment accumulé dans le réservoir	Réduction du volume de sédiment accumulé dans le réservoir et la zone de refoulement	Volume max. écrêté de l'hydrogramme	Volume median écrêté de l'hydrogramme
Max. 25 m ³ /s	44%	27%	43 750 000 m ³ 46x le réservoir Beaudet équiv. à 127 mm de précipitation	6 096 000 m ³ 6,3x le réservoir Beaudet équiv. à 18 mm de précipitation
Max. 65 m ³ /s	8%	5%	8 856 000 m ³ 9,3x le réservoir Beaudet équiv. à 26 mm de précipitation	2 549 000 m ³ 2,7x le réservoir Beaudet équiv. à 7 mm de précipitation
Max. 85 m ³ /s	0%	0%	5 400 000 m ³ 5,6x le réservoir Beaudet équiv. à 16 mm de précipitation	1 782 000 m ³ 1,9x le réservoir Beaudet équiv. à 5 mm de précipitation

Tableau 7.2 : Réduction de l'ensablement dans le réservoir Beaudet par suite de la réduction des pointes de crues – approche « théorique » avec réduction du volume

Scénario de limitation du débit	Réduction du volume de sédiment accumulé dans le réservoir	Réduction du volume de sédiment accumulé dans le réservoir et la zone de refoulement	Volume max. écrêté de l'hydrogramme	Volume median écrêté de l'hydrogramme
Max. 25 m ³ /s	75%	40%	43 750 000 m ³ 46x le réservoir Beaudet équiv. à 127 mm de précipitation	6 096 000 m ³ 6,3x le réservoir Beaudet équiv. à 18 mm de précipitation
Max. 65 m ³ /s	19%	12%	8 856 000 m ³ 9,3x le réservoir Beaudet équiv. à 26 mm de précipitation	2 549 000 m ³ 2,7x le réservoir Beaudet équiv. à 7 mm de précipitation
Max. 85 m ³ /s	8%	6%	5 400 000 m ³ 5,6x le réservoir Beaudet équiv. à 16 mm de précipitation	1 782 000 m ³ 1,9x le réservoir Beaudet équiv. à 5 mm de précipitation

Faisabilité des différentes stratégies pour limiter l'ensablement du réservoir Beaudet

- Approches #3, #4 et #5: construction d'un ou plusieurs seuils en rivière

Approche	Nb seuils	H seuil	Réduction ensablement réservoir	Ensablement global
#3	1	4,75 m	16%	-4%
#4	5	2,0 m	80%	+6%
#5	9	1,0 m	26%	+46%

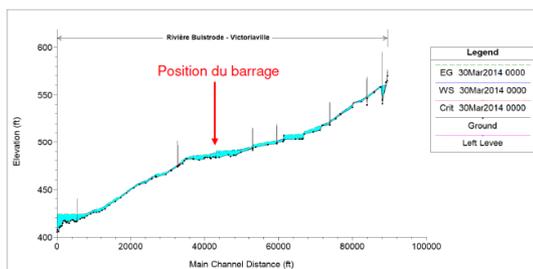


Figure 7.1 : Profil en long de la rivière Bulstrode en amont du barrage Beaudet et localisation du barrage considéré pour la modélisation

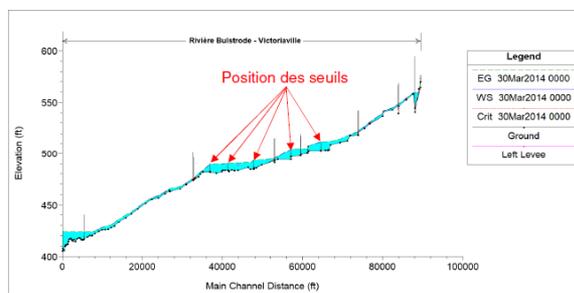


Figure 7.2 : Profil en long de la rivière Bulstrode en amont du barrage Beaudet et localisation des seuils (5) considérés pour la modélisation

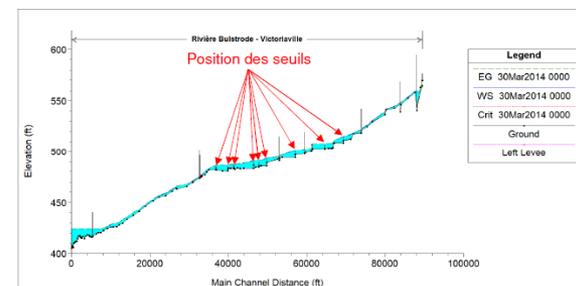


Figure 7.3 : Profil en long de la rivière Bulstrode en amont du barrage Beaudet et localisation des seuils (9) considérés pour la modélisation

Faisabilité des différentes stratégies pour limiter l'ensablement du réservoir Beaudet

- Enrochement des berges et du lit (canalisation complète de la rivière)

7.2 Stabilisation des berges sur le tronçon Tr.H.2

L'option de mise en place de mesure de protection contre l'érosion a été évaluée sur l'ensemble du tronçon Tr.H.2, soit sur 8,7 km, tel que montré à la figure 7.4. Cette option permet de réduire les accumulations dans le réservoir de 60 % et de 50 % sur l'ensemble de la zone de refoulement de l'ouvrage. Le faible impact de cette solution combiné au coût élevé de la réalisation et aux impacts environnementaux probablement très élevés d'un tel ouvrage rend cette solution inenvisageable.

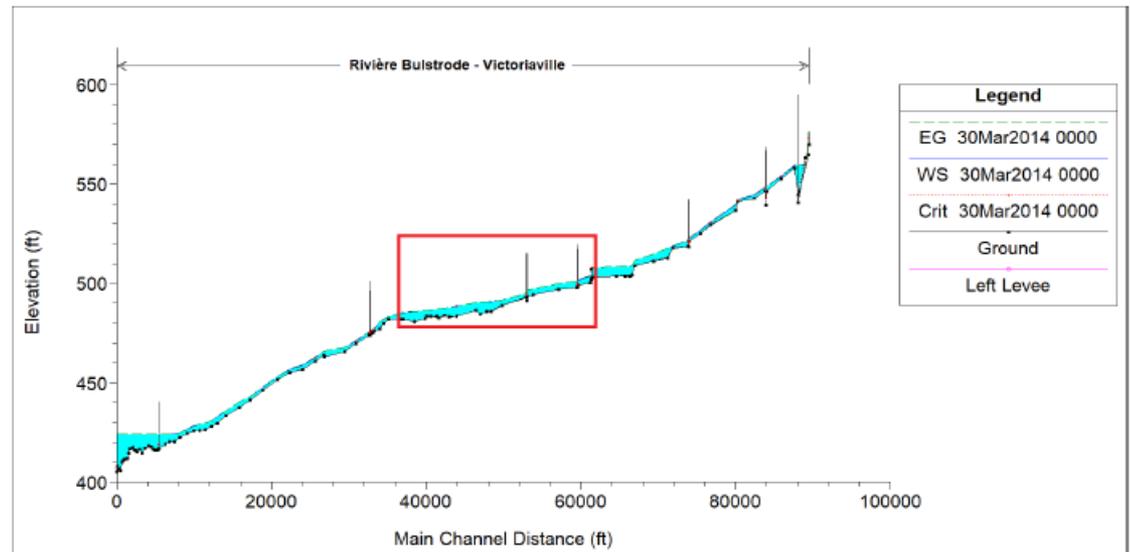


Figure 7.4 : Profil en long de la rivière Bulstrode en amont du barrage Beaudet et localisation (en rouge) du secteur considéré pour la mise en place de protection contre l'érosion

Il est à noter que le coût estimé pour cette option, en considérant un tapis de béton à 60 \$/ m², est de 31 000 000 \$.

Principales conclusions

- La rivière Bulstrode présente des caractéristiques physiques naturelles qui engendrent un transport sédimentaire important

- **Étude hydrogéomorphologique (U. Concordia) :**

« L'analyse des photographies aériennes historiques et des données LiDAR a démontré que la rivière Bulstrode est une rivière dynamique, que sa mobilité est élevée dans plusieurs tronçons de la rivière situés en secteur appalachien et dans la zone de transition entre le piedmont et les basses terres et que la rivière transporte naturellement des charges élevées de sédiments. »

- Diverses études ont montré la contribution importante du lit de la rivière comme source de sédiments s'accumulant dans le réservoir

- **Étude de traçabilité des sédiments (U. Laval) :**

« Les berges de rivière contribuent à entre 75,7% et 86,9 % de la charge sédimentaire échantillonnée et représentent donc la source principale de sédiments dans la problématique d'ensablement du réservoir Beaudet. »

- **Mesures et modélisation du transport sédimentaire (IRDA) :**

« La contribution en sédiments du tronçon principal, liée à l'érosion riveraine, est projetée à 70 % de la charge totale (30% associée aux affluents). »

- **Modélisation hydrosédimentaire (CIMA+) :**

« L'analyse de sensibilité sur l'injection de sédiments en provenance des tributaires montrent qu'ils ont un impact mineur sur l'ensablement du réservoir Beaudet, probablement parce que d'une part, leur volume est inférieur à celui généré par le cours principal de la Bulstrode et parce que d'autre part, la quantité de sédiments en suspension à l'endroit où se jettent ces tributaires est proche de la capacité maximale de transport de la rivière »

Principales conclusions

- Les études convergent et démontrent que:
 - Les moyens de contrôle des sédiments répartis dans le bassin versant seront insuffisants pour freiner la sédimentation qui a cours dans le réservoir Beaudet au point d'éliminer la nécessité de l'entretien régulier du réservoir (dragage) ;
 - Les moyens de contrôle des sédiments localisés sur le cours principal de la rivière Bulstrode sont très coûteux, complexes et insuffisants pour freiner la sédimentation qui a cours dans le réservoir Beaudet et éviter les activités d'entretien régulières du réservoir (dragage).