

TITOUAN GINGGEN

**ÉTUDE DE FAISABILITÉ SUR LE DÉMANTÈLEMENT  
DU BARRAGE LONGCHAMP IMPLANTÉ SUR LE  
RUISSEAU FOURCHETTE**

Essai présenté  
à M. Robert Lagacé, directeur de recherche,  
dans le cadre du programme de maîtrise professionnelle en biogéosciences de l'environnement  
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DES SOLS ET DE GÉNIE AGROALIMENTAIRE  
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION  
UNIVERSITÉ LAVAL, VILLE DE QUÉBEC  
QUÉBEC

2020

## Résumé

Quels que soient les différents pays où sont implantés les barrages à faible contenance, la plupart de ces installations engendrent des problèmes pour diverses raisons. La première est qu'une grande partie d'entre eux deviennent vétustes, car notamment, en ce qui concerne le Québec, la législation en vigueur n'oblige pas leurs propriétaires à les soumettre à un contrôle et à les entretenir. La deuxième est que bien souvent inutiles, leurs effets délétères sur l'environnement subsistent. Cette deuxième problématique s'exemplifie dans le cas du barrage Longchamp. Ce barrage est un obstacle à la libre circulation des espèces aquatiques, rendant impossible, aux espèces migratrices, la remontée du ruisseau Fourchette. Un autre exemple est la différence de biodiversité dans la zone proche, en amont et en aval, du barrage. Seule une espèce de poisson est présente en amont, alors que six ont été dénombrées en aval, dont le bec-de-lièvre (*Exoglossum maxillingua*) qui a un statut d'espèce préoccupante. Le rétablissement de la libre circulation permettrait de corriger ces impacts actuellement néfastes à la biocénose.

Cette étude a inventorié les différents effets des barrages à faibles contenances sur l'environnement et a également examiné les processus de démantèlement de barrage similaire en France et aux États-Unis. Cet examen avait pour objectif de présenter et de proposer différents scénarios et d'analyser leurs forces et leurs faiblesses d'un point de vue environnemental. Le scénario le plus performant, en ce qui concerne l'aspect environnemental, est indéniablement celui de l'arasement du barrage. En plus de rétablir la libre circulation des espèces aquatiques, il permet de restaurer le transit sédimentaire, l'hydrologie et la morphologie du ruisseau Fourchette. Bien qu'elle soit l'option la plus onéreuse, elle devrait être adoptée, car il est actuellement nécessaire de prendre en considération de manière impérative d'autres paramètres que ceux économiques et financiers.

## **Remerciements**

Je tiens à remercier l'équipe du Conseil de bassin de la rivière Etchemin, en particulier Monsieur Florian Perret qui m'a transmis ses connaissances et soutenu tout au long de ce projet. Je voudrais remercier chaleureusement mon directeur de recherche, Monsieur Robert Lagacé, et la responsable de mon programme de maîtrise, Madame Danielle Cloutier, qui m'ont accompagné et conseillé avec bienveillance et pertinence tout au long de l'élaboration de mon travail. Je suis également reconnaissant de la disponibilité que m'a témoigné Monsieur Donald Cayer et de son assistance lors des analyses granulométriques des sédiments. Différentes personnes telles que : Madame Gladu Elisabeth, Monsieur Réal Turgeon, Monsieur Mario Longchamp, Madame Kim Bouret et Monsieur Yvan Pelletier, m'ont consacré du temps, m'ont apporté leur aide, et je leur suis très reconnaissant de l'attention qui a été la leur. Enfin, je dis merci à mes parents pour leur encouragement, soutien et sponsorisation qui m'ont permis de vivre cette riche expérience de formation universitaire au Canada. J'espère n'avoir oublié personne et si ça devait être le cas, je la ou les prie de m'en excuse

## **TABLE DE MATIÈRES**

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>ii</b>
<b>TABLE DE MATIÈRES.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>v</b>
<b><u>1 INTRODUCTION.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b>1.1 LÉGISLATION SUR LES BARRAGES.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 DESCRIPTION DES BARRAGES QUÉBÉCOIS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 OBJECTIF PRINCIPAL DE L’ESSAI .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE L’ESSAI .....</b>	<b>7</b>
<b><u>2 RÉGION D’ÉTUDE .....</u></b>	<b><u>8</u></b>
<b>2.1 HISTORIQUE DU BARRAGE LONGCHAMP .....</b>	<b>12</b>
<b><u>3 MÉTHODOLOGIE .....</u></b>	<b><u>14</u></b>
<b>3.1 MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR L’ANALYSE DE L’EAU.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 METHODOLOGIE UTILISÉE POUR L’ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SEDIMENTS</b>	<b>15</b>
<b><u>4 REVUE DE LITTÉRATURE .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
<b>4.1 IMPACT DES BARRAGES DE FAIBLE CONTENANCE SUR LES COURS D’EAU .....</b>	<b>16</b>
4.1.1 MODIFICATION DU RÉGIME HYDROLOGIQUE ET DE L’ÉCOULEMENT .....	16
4.1.2 CONSÉQUENCES BIOLOGIQUES DE LA RÉGULATION DES RIVIÈRES .....	17
4.1.3 EFFET DE LA RETENUE D’EAU SUR LE BIOTA.....	19
4.1.4 MODIFICATIONS DES PARAMÈTRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE L’EAU.....	20
4.1.5 IMPACTS BIOLOGIQUES DU DÉVERSEMENT DE SÉDIMENTS.....	21
4.1.6 AUTRES INCIDENCES .....	23
<b>4.2 RECENSEMENT DES PROCESSUS DE DÉMANTÈLEMENT D’UN BARRAGE DE FAIBLE CONTENANCE .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 ÉTUDE DE CAS DE DÉMANTÈLEMENT DE BARRAGE DE FAIBLE CONTENANCE .....</b>	<b>28</b>
4.3.1 LE BARRAGE DE PARENT, AU QUÉBEC .....	28
4.3.2 LE BARRAGE SAELTZER, AUX ÉTATS-UNIS .....	31

4.3.3	LE BARRAGE OLD BERKSHIRE MILL, AUX ÉTATS-UNIS .....	35
4.3.4	LE BARRAGE CASCADES, AUX ÉTATS-UNIS .....	38
4.3.5	LE BARRAGE DE SÉCHILLENNE, EN FRANCE.....	39
<b>5</b>	<b><u>ÉTUDE DU BARRAGE LONGCHAMP .....</u></b>	<b><u>44</u></b>
5.1	CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET HYDROLOGIQUES.....	44
5.2	CARACTÉRISATION DES BERGES ET PLANTES ENVAHISSANTES .....	45
5.3	INVENTAIRE DES POISSONS.....	49
5.4	CARACTÉRISTIQUES DES SÉDIMENTS.....	53
5.5	QUALITÉ DE L'EAU .....	56
<b>6</b>	<b><u>RÉSULTATS : PROPOSITION DE SCÉNARIOS ENVISAGEABLES QUANT À L'AVENIR DU BARRAGE LONGCHAMP .....</u></b>	<b><u>59</u></b>
6.1	LE STATU QUO.....	59
6.2	LA PASSE À POISSON .....	59
6.3	L'ARASEMENT.....	61
6.4	L'ABAISSEMENT PARTIEL .....	62
6.5	DÉSOBSTRUCTION DE LA CONDUITE .....	63
6.6	SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET EXAMEN APPROXIMATIF DES COÛTS DES SCÉNARIOS .....	65
<b>7</b>	<b><u>DISCUSSION.....</u></b>	<b><u>67</u></b>
<b>8</b>	<b><u>CONCLUSION .....</u></b>	<b><u>70</u></b>
<b>9</b>	<b><u>RÉFÉRENCES.....</u></b>	<b><u>72</u></b>

## ANNEXES

ANNEXE 1 : Géologie de la zone du barrage Longchamp

ANNEXE 2 : Pédologie de la zone du barrage Longchamp

ANNEXE 3 : Photographies des bourolles, du verveux et des poissons capturés

ANNEXE 4 : Tableau récapitulant les espèces capturées et leurs taille

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 - Catégories administratives des barrages au Québec .....	2
Tableau 2 - Propriétaires et mandataires des barrages québécois.....	5
Tableau 3 - Temps létaux (TL) à 10, 20 et 50% de mortalité des alevins de truite fario soumis à différentes teneurs en oxygène dissous et en matières en suspension .....	22
Tableau 4 - Inventaire des espèces trouvées en amont et en aval du barrage Longchamp à l'aide de bourolles et d'un verveux. Les espèces en rouges sont des espèces compétitrices de l'omble de fontaine ( <i>Salvelinus fontinalis</i> ) et en vert, ce sont des espèces rares. ....	51
Tableau 5 – Inventaires des prises sur trois stations du bassin versant du ruisseau Fourchette .....	52
Tableau 6 - Résultats des analyses d'eau du ruisseau Fourchette, en aval du barrage Longchamp, à l'aide de la multisonde .....	56
Tableau 7 - Résultats des analyses réalisées en amont et en aval du barrage Longchamp grâce aux kits HACH.....	57
Tableau 8 – Tableau récapitulatif de l'évaluation environnemental et des coûts des scénarios.....	66

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 - Catégories des barrages régis par la Loi sur la sécurité des barrages .....	3
Figure 2 - Les usages des barrages québécois .....	5
Figure 3 - Répartition des barrages récréatifs et de villégiatures au Québec .....	6
Figure 4 - Localisation du barrage Longchamp.....	9
Figure 5 - Rives droite et gauche du ruisseau Fourchette au barrage Longchamp vue vers l'amont.....	10
Figure 6 – Moyennes mensuelles des températures maximales, minimales et moyennes journalières enregistrées à la station météorologique de Beauséjour, de 1981 à 2010.....	11
Figure 7 – Moyennes mensuelles des précipitations enregistrées à la station météorologique de Beauséjour, de 1981 à 2010 .....	11
Figure 8 - Moulin Longchamp avant l'incendie.....	12
Figure 9 - Barrage Longchamp avant sa rupture partielle .....	13
Figure 10 - Barrage Longchamp après avoir subi un bris.....	13
Figure 11 – Schéma théorique de l'écoulement modifié par la présence d'un barrage au fil de l'eau .....	16

Figure 12 - Débits moyens mensuels du Mono à Athiéme au Benin avant et après la construction du barrage hydroélectrique de Nangbéto. A – Débit avant la mise en service du barrage. B - Débit après la mise en service du barrage.....	17
Figure 13 - Brise-roche hydraulique implanté sur le bras articulé d'une pelleteuse qui détruit un petit barrage .....	26
Figure 14 - Aménagement hydraulique de Parent .....	29
Figure 15 - Photographie du barrage Saeltzer avant son démantèlement.....	32
Figure 16 - Canal de dérivation construit pour le démantèlement du barrage Saeltzer et l'enlèvement des sédiments contaminés .....	34
Figure 17 - Photographie du barrage Saeltzer avant et après démolition .....	35
Figure 18 - Photographie du barrage d'Old Berkshire Mill avant son démantèlement.....	36
Figure 19 - Démolition de la structure en béton par un marteau piqueur hydraulique installé sur une pelleteuse .....	37
Figure 20 - Photographie du barrage après son démantèlement.....	37
Figure 21 - Photographies du barrage Cascades .....	38
Figure 22 - Barrage de Séchilienne avant son démantèlement.....	40
Figure 23 - Vue du lit du cours d'eau reprofilé à l'issue des travaux .....	42
Figure 24 - Éléments du barrage de Séchilienne qui ont été conservés.....	43
Figure 25 – Dimension du barrage Longchamp .....	44
Figure 26 - Modélisation du fond du ruisseau Fourchette à l'emplacement du barrage Longchamp .....	45
Figure 27 - Cartographie du type des berges, des zones d'érosion et des glissements de terrain. La numérotation est reliée aux numéros des photographies de la figure 28 .....	46
Figure 28 - Photo prises des zones d'érosion et de glissement de terrain à proximité du barrage Longchamp .....	47
Figure 29 - Photographie de l'impatiante de l'Himalaya en aval du barrage Longchamp ....	48
Figure 30 - Photographie de l'impatiante de l'Himalaya en amont du barrage Longchamp .	48
Figure 31 - Localisation des bourolles et du verveux installés à proximité du barrage Longchamp .....	50
Figure 32 - Plan d'échantillonnage des sédiments .....	54
Figure 33 – Courbes granulométriques des sédiments en aval (1 à 3) et en amont (4 à 9) du barrage Longchamp .....	55
Figure 34 - Photographie de l'emplacement potentiel de la passe à poisson .....	61
Figure 35 - Partie du barrage abaissée .....	63
Figure 36 - Photographies de la conduite du barrage Longchamp .....	64

## 1 Introduction

Les ouvrages d'art et l'aménagement des cours d'eau ont vu le jour lors du développement des civilisations. D'après les connaissances actuelles, le plus ancien barrage du monde a été édifié en Jordanie, autour de Jawa et date du troisième millénaire avant J-C. (Le Delliou, 2003). Les ouvrages hydrauliques comportent de multiples avantages : la régulation des cours d'eau, l'alimentation des villes en eau, l'irrigation des cultures ou la production d'énergie, etc. L'ampleur de ces bénéfices a souvent masqué la possibilité d'effets nuisibles des barrages sur l'environnement. Pourtant, ces effets existent réellement (Baxter et Glaude, 1980) :

- Les espèces aquatiques ne circulent plus librement;
- Les débits sont modifiés;
- La morphologie des chenaux des cours d'eau sont modifiés;
- Le transit sédimentaire est altéré;
- Une zone stagnante (milieu lentique) est créée et contribue à la croissance d'insectes indésirables tels que le moustique et les maladies transportées par celui-ci;
- La qualité de l'eau est détériorée;
- Le marnage impacte les œufs et le stade juvénile des poissons (Legault et coll., 2004), ainsi que le benthos (Meile, 2006), par l'effet de dérive et d'exondation.

Ces conséquences négatives ont été la cause du démantèlement de plusieurs barrages aux États-Unis et en Europe, alors qu'au Québec de tels chantiers de démolition n'ont pas encore été expérimentés à grande échelle.

Le barrage Longchamp a été construit en 1923 sur le ruisseau « Fourchette » afin d'obtenir une hauteur d'eau suffisante pour le fonctionnement d'un moulin. En 1968, un incendie détruisit le moulin et donc, depuis cette date, le barrage Longchamp n'a plus aucune utilité économique ou énergétique. Les dimensions initiales de cet ouvrage de faible contenance sont : une hauteur de 6 mètres et une largeur de 14 mètres. Il faut signaler que ce barrage a subi un bris majeur lors de l'ouragan Irene en 2011 et qu'il existe un risque que si un événement similaire ou une crue majeure se produit, ce barrage cède complètement. Bien que

cet ouvrage ait été détérioré, il continue à modifier le transit sédimentaire, la morphologie, l'hydrologie du ruisseau Fourchette et à entraver la libre circulation des espèces aquatiques.

### 1.1 Législation sur les barrages

Ce n'est que depuis le 11 avril 2002 que la Loi sur la sécurité des barrages et son règlement d'application sont entrés en vigueur au Québec. L'objectif est d'accroître la sécurité des barrages afin de protéger les personnes et les biens contre les risques associés à l'existence de telles ouvrages (MELCC, 2019a). Pour réaliser cet objectif, des normes minimales de sécurité concernant les dangers naturels (crues et séismes) ont été édictées et une surveillance de l'ouvrage par son propriétaire est devenue obligatoire. Cependant, ce ne sont que les ouvrages à forte contenance qui sont astreints à cette obligation. Il est à mentionner qu'au Québec, tous les barrages dont la hauteur est au minimum d'un mètre, sont gérés par le centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ).

La Loi sur la sécurité des barrages définit trois types d'ouvrages : les barrages à forte contenance, à faible contenance et les petits barrages. La différence réside dans la capacité de retenue du barrage et de sa hauteur. Les articles 4 et 28 de cette Loi définissent ces différentes catégories administratives de barrages (voir Tableau 1 et Figure 1) :

**Tableau 1 - Catégories administratives des barrages au Québec (MELCC, 2019a)**

Barrage à forte contenance	Barrage à faible contenance	Petit barrage
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur <math>\geq</math> 1 mètre et capacité de retenue <math>\geq</math> 1 000 000 m<sup>3</sup></li> <li>• Hauteur <math>\geq</math> 2,5 mètres et capacité de retenue <math>\geq</math> 30 000 m<sup>3</sup></li> <li>• Hauteur <math>\geq</math> 7,5 mètres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur <math>\geq</math> 2 mètres qui ne sont pas à forte contenance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur entre 1 et 2 mètres et capacité de retenue &lt; 1 000 000 m<sup>3</sup></li> </ul>

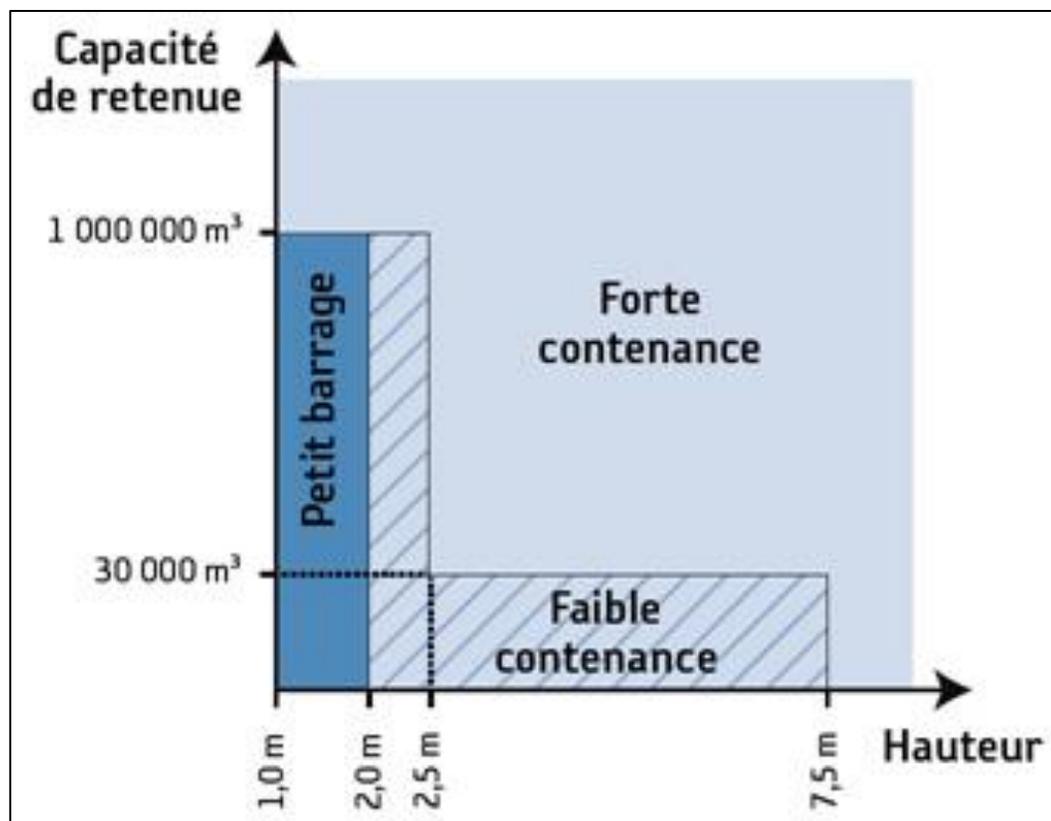


Figure 1 - Catégories des barrages régis par la Loi sur la sécurité des barrages (MELCC, 2019a)

Les propriétaires de barrages à forte contenance ont pour obligation (MELCC, 2019a) :

- D'assurer une surveillance et un entretien réguliers de leurs ouvrages;
- De produire des plans de mesures d'urgence lorsque les barrages présentent des risques pour la sécurité des personnes, et d'un plan de gestion des eaux retenues;
- De faire évaluer la sécurité des ouvrages et de réaliser les correctifs nécessaires pour assurer la sécurité du barrage;
- De constituer et maintenir à jour un registre du barrage.

Pour les barrages à faible contenance :

- De déclarer la construction, la modification et la démolition d'un ouvrage de retenue;
- D'informer le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) si l'un des critères contenus dans la fiche technique du barrage a changé.

Et pour les petits barrages, uniquement la transmission au MELCC de tout changement relatif aux critères contenus dans la fiche technique du barrage est obligatoire.

En ce qui concerne le démantèlement de barrages au Québec, la décision est rarement prise par une agence gouvernementale ou une autorité ministérielle. En général, c'est le propriétaire qui prend une telle décision (Goyette Noël, 2013). Le rôle du gouvernement se limite à accorder les certificats d'autorisation nécessaires à l'entreprise responsable de la démolition. Le seul cas où le gouvernement peut obliger la destruction d'un barrage est lorsque le détenteur d'un certificat d'autorisation n'en respecte pas les conditions (Goyette Noël, 2013). L'obligation d'obtenir un certificat d'autorisation de démolition d'un barrage à faible contenance ou catégorisé comme étant petit, provient de l'article 22, alinéa 4, de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) et de l'article 128.7 de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune. Lorsque le barrage est de forte contenance, l'obligation d'obtenir un certificat provient des articles précédents, ainsi que de l'article 5 de la Loi sur la sécurité des barrages. Il est à noter que d'après l'article 2 du Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement, le démantèlement d'un barrage n'est pas assujéti à une étude d'impacts sur l'environnement (EIE), sauf si les travaux nécessitent une activité de dragage, creusage, remplissage, redressement ou remblayage du cours d'eau sur une distance de 300 mètres ou plus ou sur une superficie de 5 000 m<sup>2</sup> ou plus.

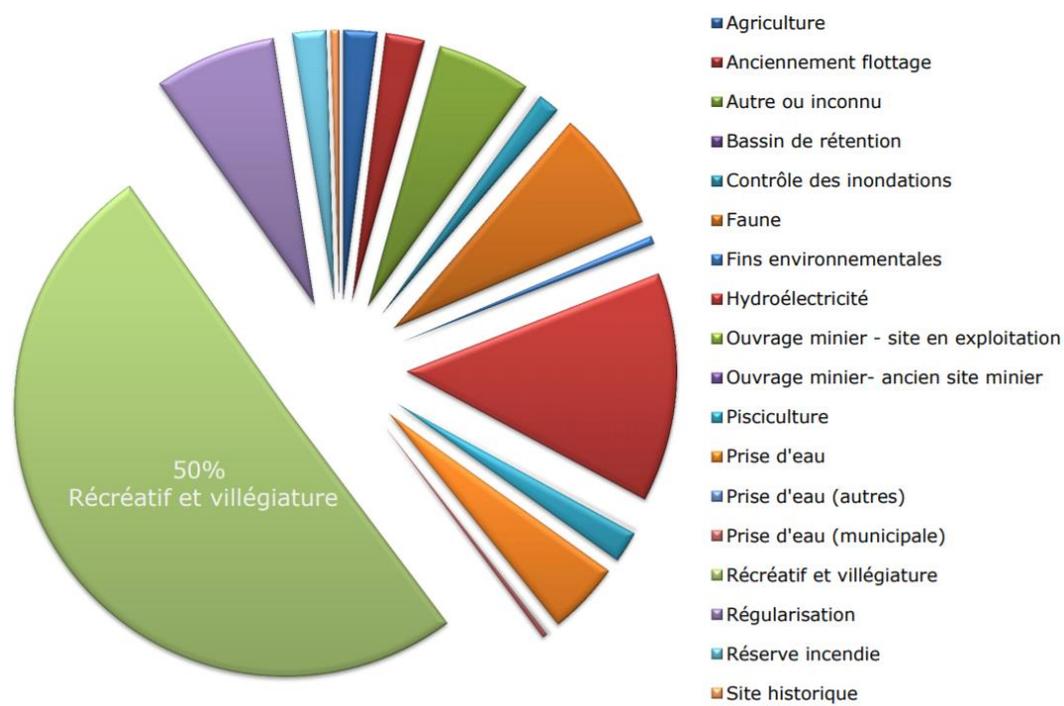
## **1.2** Description des barrages québécois

Au Québec, il existe plus de 6 500 barrages, dont la majorité est de faible contenance (Morency et Grondin, 2014). La plupart des barrages québécois n'appartiennent pas à Hydro-Québec ou au centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), mais à des personnes physiques (voir Tableau 2).

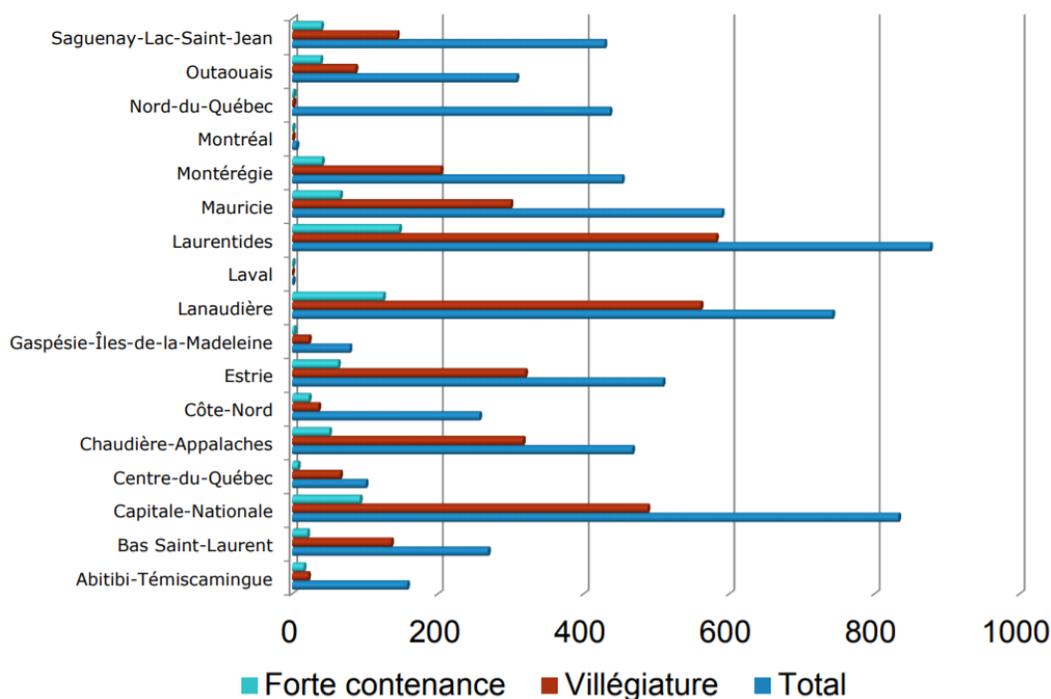
**Tableau 2 - Propriétaires et mandataires des barrages québécois (Morency et Grondin, 2014)**

Propriétaires	Forte contenance	Faible contenance	Petit barrage	Total
CEHQ – mandataire	6 %	4 %	4 %	14 %
Hydro-Québec	11 %	< 1 %	< 1 %	11 %
Autres autorité publiques	1 %	1 %	< 1 %	2 %
Municipalités	5 %	5 %	1 %	11 %
MRC	< 1%	< 1%	< 1 %	1 %
Personne physique	3 %	<b>27 %</b>	9 %	<b>39 %</b>
Associations, cie, sociétés, ...	9 %	9 %	4 %	22 %
Total	35 %	<b>47 %</b>	19 %	<b>6 515</b>

L'usage de ces barrages diffère selon le propriétaire et la vocation du barrage. Il existe plusieurs usages distincts, dont le principal est l'usage récréatif et de villégiature (voir Figure 2). Le deuxième usage mis en évidence est l'hydroélectricité.

**Figure 2 - Les usages des barrages québécois (Morency et Grondin, 2014)**

Les barrages récréatifs et de villégiatures se situent majoritairement dans les Laurentides et dans la Capitale-Nationale où on en dénombre plus de 800 (voir Figure 3).



**Figure 3 - Répartition des barrages récréatifs et de villégiatures au Québec (Morency et Grondin, 2014)**

La vie d'un barrage n'étant pas éternelle, beaucoup deviennent vétustes, particulièrement les barrages à faible contenance, car aucun règlement n'oblige les propriétaires à les contrôler, à les entretenir et à les réparer. De ce fait, la problématique liée à la gestion de ces barrages est un enjeu majeur pour les prochaines décennies.

Au Québec, au minimum 30 barrages à forte contenance et 3 barrages à faible contenance ont déjà été détruits (Goyette Noël, 2013). Les motifs invoqués pour les démanteler étaient plutôt d'ordre économique qu'environnemental. Généralement, c'étaient des barrages obsolètes qui étaient considérés comme non rentables.

### 1.3 Objectif principal de l'essai

L'objectif principal de l'essai est d'analyser et de proposer différents scénarios de démantèlement du barrage Longchamp, d'analyser les forces et faiblesses de chacun et

d'évaluer les impacts potentiels d'un démantèlement du barrage Longchamp sur les milieux biophysique et humain.

#### 1.4 Objectifs spécifiques de l'essai

Plusieurs sous-objectifs spécifiques ont été déterminés, à savoir :

1. Identifier et colliger les impacts de la présence des barrages de faible contenance sur les cours d'eau;
2. Recenser des cas de démantèlement de barrage de faible contenance aux États-Unis et en Europe et présenter les différents scénarios recensés;
3. Recenser les processus hydrologiques déclenchés lors du démantèlement d'un barrage et évaluer les impacts d'un démantèlement sur le milieu biophysique;
4. Caractériser le barrage Longchamp et le milieu environnant;
5. Évaluer les impacts possibles d'un démantèlement du barrage Longchamp;
6. Évaluer différents scénarios de démantèlement incluant le *statu quo*.

## **2 Région d'étude**

Le barrage Longchamp est situé à environ 35 kilomètres au sud de la ville de Québec, sur le ruisseau Fourchette à Saint-Isidore en Nouvelle-Beauce (voir Figure 5). Le lit de ce ruisseau a une largeur moyenne de 6 mètres et est constitué principalement de galets et de blocs. Le cours d'eau Fourchette, tributaire de la rivière Le Bras, fait partie du bassin versant de la rivière Etchemin. L'occupation des sols drainés par ce ruisseau, dont le bassin versant fait 80 km<sup>2</sup>, est constituée en majorité par de l'agriculture (66%) et par de la forêt (25%) (MDDEFP, 2011). Le ruisseau Fourchette souffre des pratiques agricoles qui lui apportent d'importantes quantités de phosphore et d'azote. En 2012, plusieurs aménagements et travaux ont été réalisés afin de limiter l'eutrophisation et d'améliorer la qualité de l'eau. Ainsi, des fossés-avaloirs, des chutes et des voies d'eau enrochées, la stabilisation de ponceaux, des bassins de sédimentations, la plantation de haies brise-vent et l'implantation de bande riveraine ont été édifiés. Malgré ces travaux et la promotion de pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement, les critères de prévention d'eutrophisation, soit les concentrations de phosphore et d'azote dans l'eau, dépassent encore le seuil acceptable (Ferland-Blanchet, 2013).

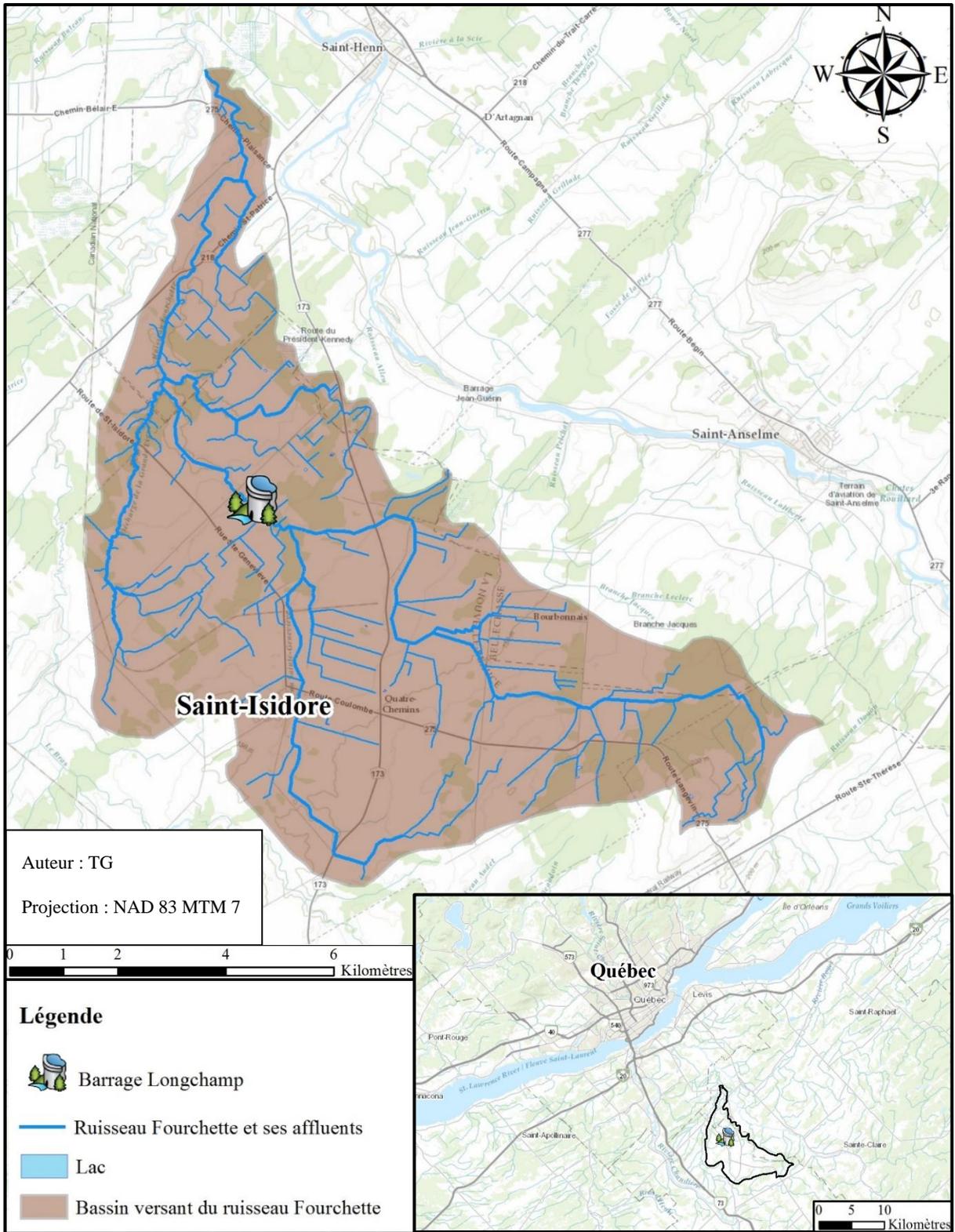


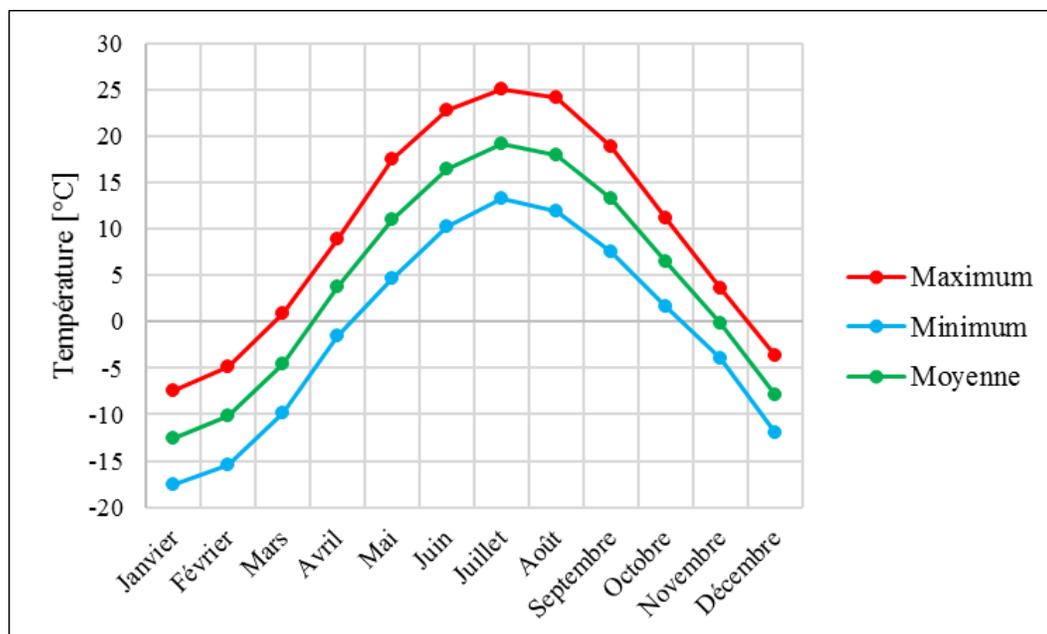
Figure 4 - Localisation du barrage Longchamp

Le barrage Longchamp se situe à 115 mètres d'altitude, dans les Basses-Terres du Saint-Laurent dont le relief est relativement plat. Il est entouré de champs agricoles sur la rive droite et d'une petite forêt d'une centaine de mètres de largeur sur la rive gauche (voir Figure 5). La formation géologique de la zone du barrage Longchamp est du schiste à blocs (voir annexe 1) et la pédologie de cette zone est constituée par des sols sableux rapidement drainés (voir annexe 2) (CBE, 2017).

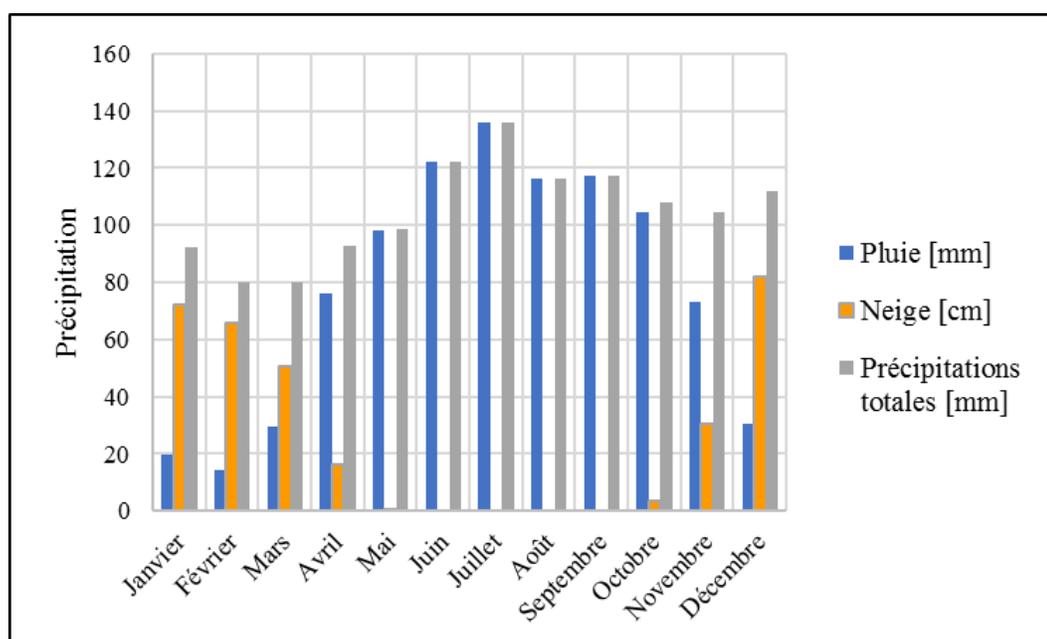


**Figure 5 - Rives droite et gauche du ruisseau Fourchette au barrage Longchamp vue vers l'amont**

La station météorologique la plus proche du barrage Longchamp est celle de Beauséjour (n° 7020567). Elle est située à 9 km au Nord-Ouest du barrage. Les normales climatiques de cette station, durant la période de 1981 à 2010, indiquent des précipitations annuelles moyennes de 1 260 mm, dont 74 % tombent sous forme de pluie (voir Figures 6 et 7). Le mois le plus chaud est celui de juillet, avec une température moyenne de 19,2 °C et le mois le plus froid est celui de janvier, avec une température moyenne de -12,5 °C. Les précipitations les plus abondantes ont lieu pendant la période estivale dont le pic survient au mois de juillet.



**Figure 6 – Moyennes mensuelles des températures maximales, minimales et moyennes journalières enregistrées à la station météorologique de Beauséjour, de 1981 à 2010 (MELCC, 2019b)**



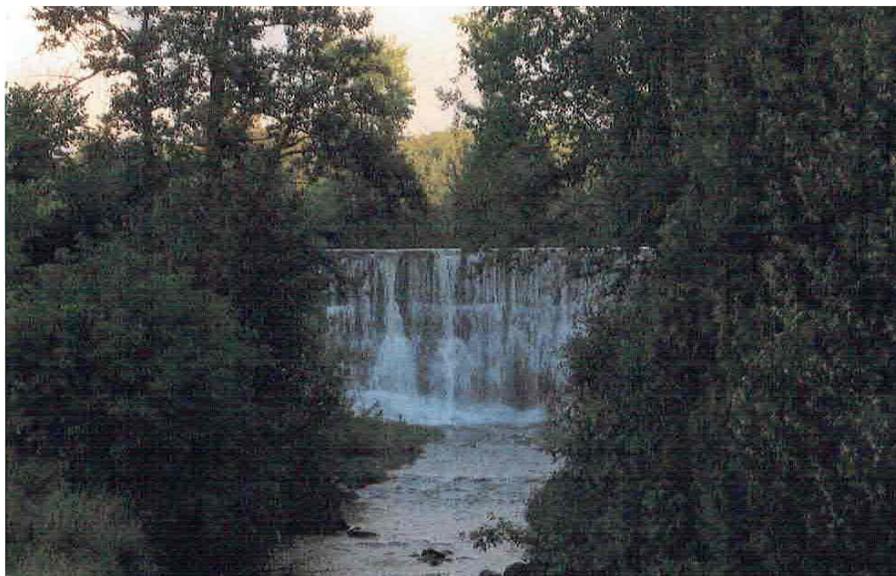
**Figure 7 – Moyennes mensuelles des précipitations enregistrées à la station météorologique de Beauséjour, de 1981 à 2010 (MELCC, 2019b)**

## 2.1 Historique du barrage Longchamp

Depuis 1846, sur le ruisseau Fourchette, plusieurs moulins (voir Figure 8) et barrages ont été implantés dans le secteur étudié. Au total, trois moulins furent construits et exploités pour différentes fonctions, soit comme scierie, meunerie ou atelier de cardage. Ils avaient comme caractéristiques d'être au fil de l'eau et de fonctionner à l'aide de roues à godets. En 1923, la construction du dernier barrage nommé Longchamp débuta. L'origine de la dénomination de ce barrage provient du patronyme de son premier propriétaire et constructeur, Monsieur Henri Longchamp. Sa vocation était d'emmagasiner de l'eau (voir Figure 9) pour faire tourner une turbine. Mais le débit nécessaire au fonctionnement de cette turbine limitait fortement l'apport en eau pour la meunerie et l'atelier de cardage en contrebas qui ne pouvaient plus fonctionner correctement (M. Longchamp, communication personnelle, 2 décembre 2019). La famille Longchamp et ses successeurs l'exploitèrent jusqu'en 1954. En 1968, un incendie le détruisit et seuls le solage de pierre et la digue ont subsisté (St-Isidore, 1979).

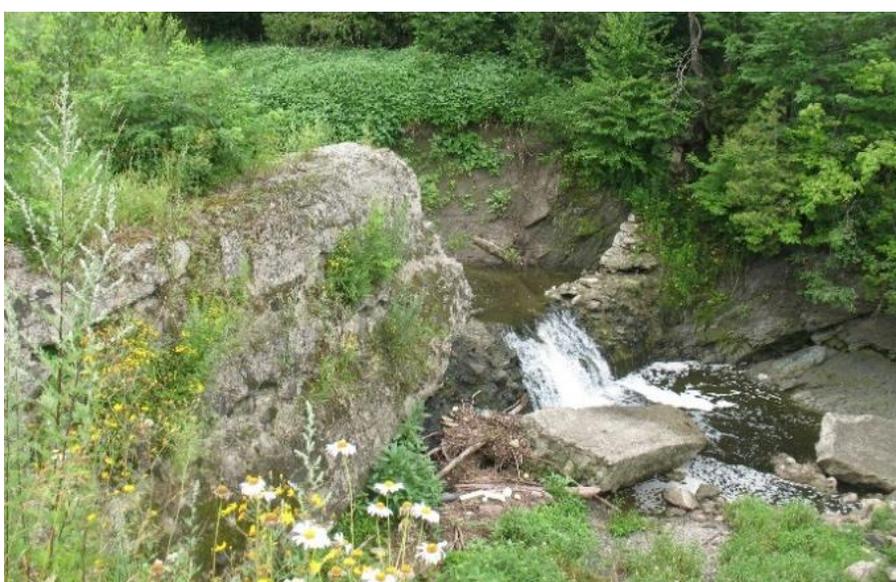


**Figure 8 - Moulin Longchamp avant l'incendie (St-Isidore, 1979)**



**Figure 9 - Barrage Longchamp avant sa rupture partielle (Source : Mme Kim Bouret)**

Fin août 2011, l'ouragan Irène acheva sa course au Québec où il fut catégorisé comme cyclone post-tropical. Lors de cet événement, de fortes rafales de vents ont déraciné plusieurs arbres. Dans la région du barrage Longchamp, des pluies diluviennes ont généré un cumul de précipitation de 80 à 100 millimètres en quelques heures (Ghannem, 2011). La conséquence de ces précipitations fut une montée des eaux rapide du ruisseau Fourchette et cette crue entraîna une rupture partielle du barrage (voir Figure 10). Dès lors, pour son ancien propriétaire, l'avenir de cet ouvrage gravement endommagé, fut remis en question.



**Figure 10 - Barrage Longchamp après avoir subi un bris**

### **3 Méthodologie**

Pour atteindre les objectifs fixés dans cet essai, différentes méthodes ont été employées. Initialement, il a fallu débiter par une recherche documentaire, afin de récolter des informations pertinentes dans la littérature scientifique (EIE, rapports, articles, livres). Cette investigation a été menée à l'aide de moteurs de recherche en utilisant les mots-clés adéquats et les ressources disponibles à la bibliothèque de l'Université Laval. Ce recueil de données a porté sur les impacts des barrages à faible contenance sur l'environnements, sur les procédés de démantèlement de ce type de barrage et sur des cas emblématiques de démantèlement en Amérique du Nord et en Europe.

Conjointement, durant cette période, ont été organisées, avec différents intervenants, plusieurs sorties sur le terrain afin de documenter et de collecter des données in situ sur le barrage Longchamp et son milieu naturel. Ainsi, à l'aide d'un mètre en ruban et d'une barre graduée, plusieurs mesures ont été prises :

- Les dimensions du barrage ;
- La hauteur d'eau ;
- La hauteur des sédiments.

L'eau et les sédiments ont également été échantillonnés afin d'effectuer différents tests. Ces prospections ont permis d'identifier et de localiser les zones d'érosion et les plantes néophytes terrestres à l'aide d'un guide sur les espèces végétales. Enfin, pendant un jour, des bourolles et un verveux ont été placés afin de capturer l'ichtyofaune (voir annexe 3). Les poissons attrapés ont été placés dans un sceau, puis mesurés avec une règle à mesure et identifiés à l'aide d'un manuel d'identification. Ce recensement a été réalisé grâce à l'expertise de Monsieur Florian Perret (Chargé de projets PDE/collaborateur externe). Toutes les mesures prises sur le terrain ont été localisées à l'aide d'un GPS afin d'obtenir une position précise de ces points pour la création de cartes. Le traitement des données et la création de cartes ont été effectuées grâce à un logiciel SIG (ArcGIS). Une fois toutes ces données rassemblées et traitées, une réflexion a été menée pour élaborer des scénarios quant à l'avenir du barrage Longchamp et la rédaction de l'essai a pu commencer sur un logiciel de traitement de texte (Word).

Les méthodologies, concernant l'analyse granulométrique des sédiments et l'analyse qualitative de l'eau, sont développées et détaillées dans les sous-chapitres 3.1 et 3.2.

### **3.1** Méthodologie utilisée pour l'analyse de l'eau

L'échantillonnage s'est réalisé manuellement avec des flacons en polyéthylène haute densité de 500 ml. L'eau du ruisseau fourchette a été prélevée, en amont et en aval du barrage, le 19 septembre 2019. Les flacons ont été remplis à ras bord afin de limiter le contact avec l'air et ont été stockés de manière à éviter toute agitation excessive. À l'aide d'une sonde multiparamètres, la température, le pH, l'oxygène dissous, la salinité et la conductivité ont été mesurés sur place. Puis, dans l'heure qui a suivi, l'analyse des échantillons a commencé afin d'augmenter la fiabilité des résultats. Les protocoles d'exécutions développés par le laboratoire Hach ont été entièrement suivis, in extenso, pour chacun des paramètres. Pour optimiser le temps passé au laboratoire, un planning a été réalisé selon la durée de préparation et de chauffage des échantillons.

### **3.2** Méthodologie utilisée pour l'analyse granulométrique des sédiments

La hauteur d'accumulation de sédiments était faible et n'a pas permis l'utilisation d'outils d'extraction conventionnels tel que la benne à sédiment. Pour y remédier, un outil de substitution a été fabriqué. Les sédiments ont été stockés dans des sacs hermétiques, puis préparés pour déterminer leur granulométrie. La phase de préparation en laboratoire a inclus :

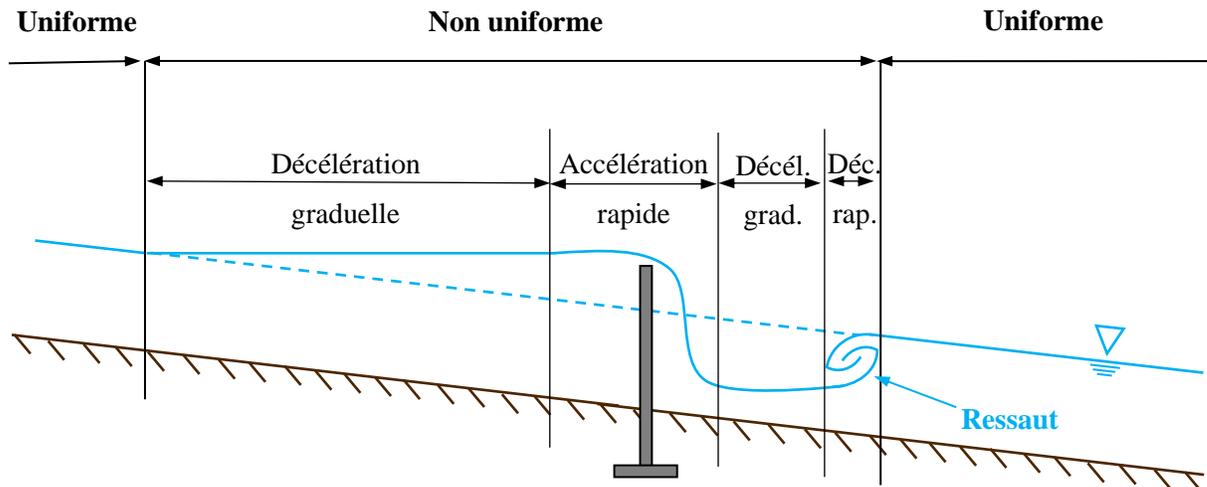
1. Un séchage des échantillons dans une cuve ventilée à 105°C pendant 24 heures;
2. Une mesure de la masse et du volume des échantillons secs;
3. Une perte au feu à 475°C sur une période de 5 heures afin d'éliminer la matière organique;
4. Une mesure de la masse et du volume des échantillons après la perte au feu;
5. Un léger pilonnage des échantillons afin de désagréger les agrégats et un balayage au pinceau pour décoller les parties fines accrochées sur les parties grossières;
6. Un tamisage des échantillons (0.63, 1, 1.414, 2, 2.828, 4, 5.6, 8, 11.3 et 16 mm de diamètre). Les fractions plus petites que 0,63 mm, de même que celles comprises entre 0,63 et 1 mm, sont analysées séparément dans un granulomètre laser de marque Horiba, modèle LA950v2. Au préalable, ces fractions sont mélangées à une petite quantité d'eau afin d'obtenir un échantillon homogène.

## 4 Revue de littérature

### 4.1 Impact des barrages de faible contenance sur les cours d'eau

#### 4.1.1 Modification du régime hydrologique et de l'écoulement

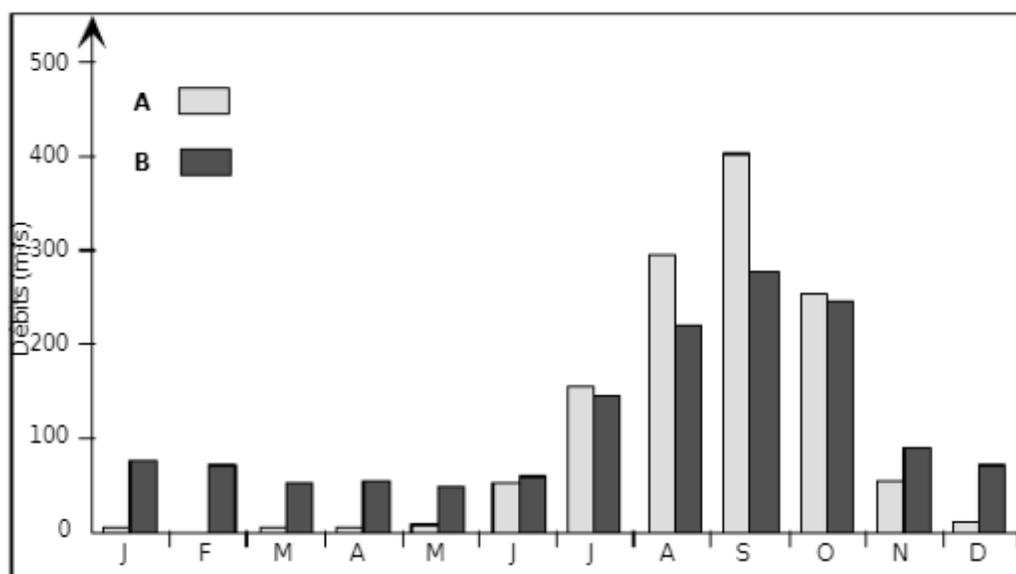
La présence d'un barrage sur un cours d'eau a des effets variés sur l'environnement. Dès l'implantation du barrage, le régime hydrologique et l'écoulement du cours d'eau se modifient localement (voir Figure 11). L'eau s'accumule sur une certaine distance jusqu'à atteindre la hauteur du sommet de l'ouvrage. Dans cette zone de retenue, l'écoulement n'est plus parallèle à la ligne de la pente de fond, il est donc non uniforme. Il subit également une décélération importante, sa vitesse devient très faible, voire quasiment nulle. Ces conditions permettent d'obtenir un nombre de Reynolds et un nombre de Froude bas, ce qui se traduit par un écoulement laminaire et fluvial. En dehors de cette zone, l'écoulement est généralement torrentiel et turbulent.



**Figure 11 – Schéma théorique de l'écoulement modifié par la présence d'un barrage au fil de l'eau**

Concernant l'impact sur le débit du cours d'eau, il ne dépend pas uniquement de la capacité de retenue du barrage, mais également de sa catégorie. Contrairement aux autres types de barrages, les ouvrages au fil de l'eau fonctionnent sans retenue d'eau et donc sans la stocker. Ainsi, les apports naturels en eau passent directement par-dessus l'ouvrage et les débits sont

donc inchangés. Pour les barrages fonctionnant avec une retenue d'eau, une forte altération des débits est observable (FitzHugh et Vogel, 2010). Les changements se résument à un stockage de l'eau pendant les périodes de crues et à un déversement de l'eau accumulée durant le reste de l'année (voir Figure 12). Les débits annuels ne changent pas.



**Figure 12 - Débits moyens mensuels du Mono à Athiémé au Bénin avant et après la construction du barrage hydroélectrique de Nangbéto (Laïbi et coll., 2012). A – Débit avant la mise en service du barrage. B - Débit après la mise en service du barrage**

#### 4.1.2 Conséquences biologiques de la régulation des rivières

La modification des débits occasionne une altération du régime naturel d'inondation à l'origine de différentes fonctions écologiques essentielles à la santé des milieux humides. Les crues constituent le principal facteur qui, dans ces milieux, détermine la nature et la productivité du biote dominant. Il en va de même avec les interactions existantes entre les organismes biotiques et entre ceux-ci et leur environnement (Junk, 1989). La modification des débits peut également altérer la morphologie du cours d'eau (Glaude, 1980) et réduire la diversité et la richesse des macro-invertébrés (Principe, 2010). Le côté positif de la gestion des crues est la protection des êtres humains et de ses biens. Cependant, cette protection pourrait être assurée par un article de Loi sur l'aménagement du territoire qui interdirait toute construction dans les zones où le danger d'inondation est élevé. Le mode de fonctionnement de certains barrages à retenue génère des débits très importants en peu de temps et un retour à des débits faibles très rapidement. La variation de niveau induite par ces changements de

débites est communément appelée le marnage. Ce phénomène, par l'effet de dérive et d'exondation, implique une mortalité importante des œufs, des alevins (Legault et coll., 2004) et du benthos (Meile, 2006).

Les estuaires sont vulnérables à la régulation des rivières qui les alimentent. En effet, la modification de l'écoulement naturel change de façon marquée les caractéristiques physiques et la dynamique des eaux des estuaires (Neu, 1976). Ce milieu aquatique est fragile du fait de sa complexité du point de vue hydrologique (Glaude, 1980). Une perturbation légère engendre des changements assez importants sur l'équilibre biologique de tout l'écosystème, de même que sur les températures saisonnières (Neu, 1976). La modification des débits n'est pas la seule source de perturbation des estuaires. Les barrages limitent également le transport de matières organiques qui est nécessaire aux écosystèmes des estuaires. Les déchets organiques sont la nourriture de base des nématodes et des copépodes harpacticoïdes qui sont eux-mêmes une source de nourriture importante pour les jeunes saumons (Sibert, 1979). Cet équilibre étant fragile, la moindre modification de celui-ci peut engendrer des conséquences sérieuses sur l'environnement et sur l'économie.

La présence d'un barrage crée une chute d'eau qui va creuser le lit du cours d'eau et qui ne permet plus le libre passage de la faune aquatique sauf si une échelle à poisson a été installée. La libre circulation de la faune aquatique peut avoir des effets aussi bien positifs que négatifs. Elle est positive lorsqu'elle permet aux poissons migrateurs, anadromes et catadromes, de compléter leurs cycles de vie, d'augmenter l'aire de répartition d'espèces en périls et d'augmenter les échanges génétiques des populations de poissons. Ces croisements d'hérités leur permettent une meilleure adaptation à leurs milieux. Elle peut être négative lorsqu'elle peut augmenter l'aire de répartition d'espèces invasives ou d'espèces compétitrices menaçant la survie d'une espèce en péril ou dont le développement est souhaité. Avant d'entreprendre des travaux visant à rétablir la libre circulation des espèces aquatiques, il est nécessaire d'étudier, d'identifier les espèces aquatiques peuplant le cours d'eau en aval et en amont du barrage.

#### 4.1.3 Effet de la retenue d'eau sur le biota

La création d'une retenue d'eau impacte significativement les populations de poissons par une forte augmentation de celles-ci durant les premières années (Ellis, 1941). Cette croissance est généralement due à la présence de lieux de frai sûrs, de zones comportant de la végétation protégeant les alevins contre les prédateurs et d'une nourriture plus abondante. Par ailleurs, la diminution du débit et l'apport accru de nutriments apportés par la submersion des berges permettent le développement de phytoplanctons, puis de zooplanctons, jusqu'à l'accroissement d'un des derniers maillons de la chaîne alimentaire aquatique : les poissons (Glaude, 1980).

Mais l'augmentation de zooplanctons et le changement de l'abondance relative de diverses espèces de poissons dont le comportement alimentaire se modifie, peuvent causer une expansion de la population de parasites dans la retenue d'eau (Glaude, 1980). Cette propagation de parasites liée à d'autres nuisances entraîne généralement, rapidement un déclin abrupt de la population de poissons. Un exemple de nuisance est la stagnation de l'eau combinée à une demande accrue en oxygène. Dans la couche d'eau la plus profonde, l'oxydation de la matière organique nouvellement submergée consomme le dioxygène qui par stagnation de l'eau ne s'y renouvelle que très peu. Si cette couche se mélange à celle qui est supérieure, les répercussions sur les poissons peuvent être désastreuses (Glaude, 1980). D'autres exemples sont la limitation de zones latérales d'eau peu profonde servant de frayères, les fluctuations importantes du niveau de l'eau pouvant piéger les alevins et assécher les œufs, enfin, l'ensablement continu, souvent important en profondeur, cause des nuisances considérables à la reproduction et au maintien de la population des poissons.

Ce déclin est inévitable sauf si l'on procède à des ajustements en créant de nouveaux approvisionnements alimentaires et des conditions de croissance favorables pour les poissons dans le bassin de retenue (Ellis, 1941). Il est à noter que le développement de l'ichtyofaune ne concerne pas les espèces migratrices. Par ailleurs, certaines espèces s'adaptent moins bien que d'autres, ce qui est le cas du « dard de l'escargot » (*Percina tanasi*). Ce poisson ne vivait que dans la rivière Little Tennessee et dans quelques-uns de ses affluents dans l'État du Tennessee aux États-Unis. Après la construction du barrage Tellico, il a disparu de son milieu naturel. Mais avant sa disparition, il a été introduit dans quatre rivières dans le même État,

l'Hiwassee, l'Holston, la Nolichucky et l'Elk Rivers (Ashton et Layzer, 2008). Cette transplantation a été un succès, bien qu'il reste une espèce menacée.

Par ailleurs, il est important de signaler que l'abondance et la diversité bactériennes sont considérablement réduites par la présence des barrages ce qui peut impacter le cycle biogéochimique, la transformation et la migration de certains éléments (nitrates, nitrites, sulfates, fer, ...) ainsi que la vitesse de dégradation des polluants biodégradables (Chen et coll., 2018).

#### 4.1.4 Modifications des paramètres physiques et chimiques de l'eau

Les barrages peuvent améliorer la qualité de l'eau, car ils permettent aux matières en suspension de se déposer et à certaines matières dissoutes de se désintégrer (Glaude, 1980). Mais, ils peuvent également nuire à la qualité des eaux de plusieurs façons. À titre d'exemple, le lessivage du sol et la décomposition de la végétation submergés génèrent des nutriments, tels le phosphore et l'azote, qui favorisent le phénomène d'eutrophisation (Glaude, 1980). Ces deux processus produisent également des substances inorganiques, comme le sulfure d'hydrogène et les hydrogencarbonates de fer et de manganèse, qui sont toxiques pour les organismes aquatiques (Purcell, 1939). La décomposition de la matière organique peut aussi provoquer un appauvrissement en oxygène dissous, dû aux réactions d'oxydation réalisées par des micro-organismes. Cependant, ces types de pollution sont généralement provisoires et diminuent à mesure que le réservoir vieillit, car le lessivage du sol et la quantité de matières organiques se réduisent avec le temps. Afin de limiter ces processus, il est possible d'ôter la terre en surface et la couverture végétale avant le remplissage du réservoir (Glaude, 1980). Il est à noter que la qualité de l'eau de la nappe d'accompagnement s'ajuste à celle de l'eau de la retenue (Glaude, 1980).

Par ailleurs, les barrages modifient également la température de l'eau. Les réservoirs peu profonds non stratifiés sont susceptibles de réchauffer le cours d'eau situé en aval (Glaude, 1980). Vu que presque toutes les phases du cycle biologique du benthos, et par conséquent leur distribution et leur abondance, sont influencées par la température, un changement de ce paramètre pourrait perturber une étape de leurs métamorphoses (Kabeer et Parveen, 2014).

La transparence induite par la sédimentation du réservoir a également un effet sur les organismes vivant en aval des barrages. En effet, la productivité primaire, dont les algues filamenteuses sont un exemple, tire profit de ce changement en se multipliant en abondance (Fredeen, 1977). Mais parallèlement la prédation augmente ce qui rend difficile à quantifier l'effet net de ce changement (Glaude, 1980).

#### 4.1.5 Impacts biologiques du déversement de sédiments

Le déversement instantané d'importantes quantités de sédiments peut affecter les périphytons en les déportant de leurs substrats et en endommageant leurs structures photosynthétiques (Bilotta et Brazier, 2008). La diminution de ces producteurs primaires a comme conséquence une diminution du potentiel alimentaire des producteurs secondaires, soit le benthos (Newcombe et Macdonald, 1991). D'autre part, les invertébrés n'apprécient également pas les fortes concentrations de matières solides en suspension (MES) dans l'eau qui les conduisent à migrer vers l'aval ou l'amont de leurs habitats (Bilotta et Brazier, 2008). Ainsi, le nombre d'invertébrés qui a dérivé à la suite d'une concentration moyenne de MES de 133,4 mg/L sur une période de 15 minutes, comparativement aux conditions initiales fixées à 20 mg/L de MES, a été multiplié par sept (Doeg et Milledge, 1991). Rosenberg et Wiens (1978) ont mis en évidence que même si l'apport de sédiments est faible, l'augmentation de la dérivation du benthos est évaluée à deux voire trois fois plus importante. Lorsque ces organismes dérivent, ils sont plus vulnérables à la prédation (Bilotta et Brazier, 2008).

Les poissons sont aussi affectés par le déversement instantané d'importantes quantités de sédiments. Leurs muqueuses sont endommagées par la forte dérive sableuse et leurs branchies sont obstruées par les particules de sédiments fins (OFEFP, 1994). Leur taux de survie (voir Tableau 3) dépend de la concentration de matières en suspension (MES), de la teneur en oxygène dissous de l'eau et du temps d'exposition à ces conditions (Rofes et coll., 1991). Un autre paramètre est également à prendre en considération, à savoir l'accès à des refuges. Ainsi, une étude sur la Dranse de Bagnes, dans le canton du Valais en Suisse, a mis en évidence que lors du curage de la retenue du bassin de Fionnay où l'on a relevé des concentrations de MES atteignant des maxima de 150 g/l sur 3 heures, tous les poissons ayant eu accès à un refuge en sont sortis indemnes, contrairement aux autres qui ont été fortement impactés (OFEFP, 1994). Une autre étude menée sur la rivière Melezza, dans le

canton du Tessin en Suisse, où l'on a relevé des concentrations de MES atteignant des maxima de 900 g/l et un taux de saturation d'O<sub>2</sub> de moins de 5 %, a montré qu'aucun poisson n'a réussi à survivre, pas même ceux qui s'étaient mis à l'abri dans un refuge (OFEFP, 1994).

**Tableau 3 - Temps létaux (TL) à 10, 20 et 50% de mortalité des alevins de truite fario soumis à différentes teneurs en oxygène dissous et en matières en suspension (Rofes et coll., 1991)**

O <sub>2</sub> [mg/L]	MES [g/L]	TL 10% [min]	TL 20% [min]	TL 50% [min]
3	6	173	207	283
3	10,7	116	145	211
3	15,7	106	121	152
5	5,7	480	629	1000
5	10,4	346	446	688
5	16,3	116	187	423
6	6	566	888	1920
6	10,9	258	361	645
6	15,8	244	312	476

Afin de limiter les impacts du déversement de sédiments dans les cours d'eau, différentes mesures peuvent être prises (OFEFP, 1994) :

- Caractériser le système aquatique en prenant en compte les données morphologiques et hydrologiques du cours d'eau ainsi que la spécificité des espèces animales et végétales;
- Analyser les volumes et la qualité des sédiments afin de prévoir leurs effets écotoxicologiques potentiels;
- Considérer les concentrations de MES et le degré d'oxygénation de l'eau pour ne pas atteindre les seuils de toxicité;
- Réaliser le curage pendant la période de l'année où le débit naturel est au plus haut, ce qui permet de diluer les sédiments. Par ailleurs, les organismes aquatiques en cette période sont plus réactifs à une crue et de ce fait, ils chercheront plus à rapidement à trouver un lieu où se réfugier;
- Réaliser le curage hors périodes de frai et de développement des espèces aquatiques;

- Capturer les poissons et les protéger jusqu'à la fin des déversements de sédiments;
- Augmenter et diminuer les débits progressivement afin de s'assurer que la faune aquatique ait suffisamment de temps pour réagir, pour s'adapter;
- Effectuer un rinçage à l'eau claire afin de nettoyer le lit de la rivière et de favoriser le repeuplement.

Lorsque des sédiments fins se déposent sur le fond du cours d'eau, ils colmatent les frayères. Les voies d'aération sont bouchées, l'oxygène ne parvient plus aux œufs qui suffoquent et meurent. L'obstruction des frayères pourrait même empêcher l'émergence des alvins (FFQ et MEF, 1996). D'autre part, la déposition de sédiments fins sur les substrats et la turbidité associée pourraient empêcher le benthos dérivant de se fixer (Bilotta et Brazier, 2008). Enfin, la qualité des sédiments déposés affecte l'abondance des organismes aquatiques. Ces sédiments peuvent être un vecteur de nutriments pour les phytoplanctons, les périphytons et les macrophytes s'ils contiennent du phosphore (Bilotta et Brazier, 2008) ou un vecteur de toxicité pour tous les organismes vivants s'ils contiennent des métaux lourds, des pesticides et des herbicides (Kronvang et coll., 2003).

La sédimentation dans la retenue est souvent amplifiée par l'érosion de la nouvelle rive créée par l'augmentation du niveau de l'eau. Cette nouvelle rive se modifie plus ou moins rapidement, en fonction de la nature du matériau qui la constitue et des forces érosives en action. Ces forces sont généralement générées par de l'eau et de la glace en mouvement. La modification des berges peut produire de nouvelles plages qui peuvent être utilisées à des fins récréatives. Les eaux souterraines peuvent également agir sur les nouvelles rives. Généralement, la nappe d'accompagnement s'élève grâce à l'augmentation du potentiel hydraulique du réservoir. Cette élévation peut saturer les sols et tuer la végétation non adaptée aux alentours de la retenue (Glaude, 1980).

#### 4.1.6 Autres incidences

La construction, le démantèlement de barrages et les aménagements nécessaires pour les travaux sont des sources importantes de nuisances environnementales. L'émission de bruits, de poussières et de polluants atmosphériques incommode, voire altère la santé des habitants et de la faune à proximité. Le défrichage de la végétation et le décapage des sols laissent des traces, des impacts dans le paysage et risquent d'accélérer le phénomène

d'érosion qui à son tour augmentera la charge de sédiments dans le cours d'eau (Glaude, 1980).

Le risque de rupture d'un barrage n'est pas à négliger. Aux États-Unis, entre 1918 et 1958, 33 barrages sur les 1 764 existants ont cédé (Gruner, 1963). Mark et Stuart-Alexander (1977) ont estimé que le taux de rupture des barrages s'élève à  $1,5 \times 10^{-4}$  par année-barrage. En cas de désintégration, les répercussions sur l'environnement sont catastrophiques et peuvent causer la mort d'être humain. Le rejet soudain, brutal d'eaux torrentielles et l'expulsion de sédiments peuvent être létal pour la faune et la flore aquatiques. Ils transforment fondamentalement l'hydraulique et transmutent la géomorphologie de la rivière en aval (Chen et Simons, 1979). Si l'eau et les sédiments déversés sont pollués, les terres et cours d'eau inondés en aval seront bien évidemment contaminés (Santos, 2019).

## 4.2 Recensement des processus de démantèlement d'un barrage de faible contenance

Des études de cas de démantèlement de barrage de faible contenance sont présentées dans le chapitre 4.3. Ce chapitre décrit également les différentes techniques usuelles de démolition et les précautions à prendre en compte.

Généralement, avant la phase de démolition d'un barrage, il est nécessaire de préparer le site afin de permettre l'accès à la machinerie, d'aménager une aire de travail et de stockage des déchets. Il est souvent nécessaire de dévier le cours d'eau pour effectuer les travaux sur un terrain asséché, pour éliminer les sédiments si nécessaire et pour contrôler la direction de l'eau. La déviation du cours d'eau peut être réalisée à l'aide de sacs de sable, de batardeau en palplanches, de ponceaux, de bermes ou d'un canal de dérivation. Une fois la phase de préparation du site terminée, celle de déconstruction peut commencer.

Il existe plusieurs méthodes pour démanteler un barrage. Le forage et le dynamitage sont les procédés les plus économiques et les plus efficaces pour des grands barrages. Ces techniques n'ont pas été développées dans ce chapitre, car celles-ci ne s'appliquent que très rarement sur les barrages à faible contenance. Pour ce type de barrages, c'est la démolition mécanique qui est la plus courante (USSD, 2015). Cette technique utilise des engins de destruction telles que la boule de démolition actionnée par une grue, le marteau-piqueur et le brise-roche hydraulique connecté à l'extrémité du bras articulé d'une pelleteuse. Le brise-roche hydraulique est très adéquat pour le démantèlement de petites structures construites en maçonnerie ou en béton à faible résistance (voir Figure 13). Quant aux marteaux-piqueurs, ils ont l'avantage d'être plus petits, plus portatifs et peuvent être efficace dans des endroits confinés où les structures, les dalles en béton sont basses. Quant à la boule, elle est employée pour des structures hautes. D'autres outils existent également pour la démolition mécanique de barrages, tels les séparateurs de roche et les cisailles hydrauliques (USSD, 2015).



**Figure 13 - Brise-roche hydraulique implanté sur le bras articulé d'une pelleuse qui détruit un petit barrage (Ghitzhusen, 2012)**

D'autres techniques moins fréquentes sont pratiquées comme le sciage au fil diamanté qui permet une coupe lisse, sans vibration, à travers du béton fortement armé et l'emploi d'agents chimiques expansifs qui produit des fractures facilitant le démantèlement par des méthodes mécaniques. On peut encore mentionner l'hydrodémolition qui repose sur l'usage d'eau sous hautes pressions et l'utilisation de chalumeau pour couper des tuyaux en béton en acier ou à haute résistance (USSD, 2012).

Les gravats sont généralement évacués par des chargeuses frontales, des excavatrices et des camions à benne basculante. Pour limiter les coûts, un tri des matériaux peut être réalisé en séparant le béton et l'acier. Une fois les travaux terminés, il faut remettre en état le site et stabiliser les berges. Leur consolidation peut être effectuée de différentes manières, dont les plus communes sont la végétalisation des rives, le génie végétal et l'enrochement. Il est à noter qu'il est possible de combiner ces techniques.

Lors de la destruction d'un barrage, divers paramètres sont à examiner. Il faut être attentif à la possibilité de présence de matériaux encastrés inopinés dans les structures annexes du barrage, comme par exemple des tuyaux métalliques, des dispositifs d'arrêt d'eau ou des barres d'acier. Toutes les informations formulées dans les plans de constructions sont à examiner avant les travaux de démantèlement afin d'identifier la présence et l'emplacement des matériaux encastrés. Les éléments mécaniques ou électriques, hormis ceux présents dans

le béton de la digue, doivent être enlevés avant la démolition. L'appareillage électrique doit être mis hors tension et les fluides hydrauliques doivent être vidangés (USSD, 2012). Une autre considération à prendre en compte est la stabilité de la structure qui doit être garantie en toute circonstance, en tout temps. Si d'autres infrastructures sont installées pour contrôler l'eau en amont ou en aval du barrage, leurs stabilités doivent être aussi assurées (USSD, 2012).

### 4.3 Étude de cas de démantèlement de barrage de faible contenance

#### 4.3.1 Le barrage de Parent, au Québec

Le barrage de Parent était situé à 150 kilomètres au Nord-Ouest de la ville La Tuque sur la rivière Bazin. Ce barrage a été mis en service en 1956 et a été désaffecté en 1966. Des poutrelles de bois condamnèrent les pertuis de la prise d'eau et la porte d'accès fut bétonnée. Depuis ce jour, à part l'installation de panneaux d'avertissement, le barrage n'a pas été entretenu (AECOM, 2016). En 2013, Hydro-Québec a inspecté cet aménagement hydraulique et a conclu que celui-ci n'était plus conforme aux normes de sécurité applicables en vertu de la Loi sur la sécurité des barrages. L'entreprise a analysé les différentes solutions envisageables et a rencontré les représentants officiels de la région avant d'opter pour le scénario de démantèlement (Mme. Gladu, communication personnelle, 10 février 2020). Trois dimensions ont été prises en compte lors du choix du scénario, la dimension : économique, environnementale et sociale.

Ce barrage est un barrage-poids d'une longueur de 44 mètres, d'une largeur en crête variant entre 1 et 1,8 mètres et d'une hauteur de chute maximale de 15,6 mètres (voir Figure 14) (AECOM, 2016). Il ne répond donc pas aux critères associés aux barrages de faible contenance, car sa hauteur est plus élevée que 7,5 mètres. Malgré cet inconvénient, il a été choisi comme exemple, car peu de barrages de faible contenance ont été démantelés au Québec et les informations concernant ces démantèlements sont très difficiles à obtenir.



**Figure 14 - Aménagement hydraulique de Parent (Hydro-Québec, 2017)**

Avant le début de la démolition du barrage, l'intérieur de la centrale a été inspecté afin de vérifier la présence ou l'absence d'installations d'équipements pétroliers et de substances contrôlées, soit l'amiante, les biphényles polychlorés, les halocarbures et les peintures au plomb. Puis, le site a été préparé et le niveau d'eau de la retenue a été abaissé. L'abaissement a été opéré en trois fois et a été effectué en maintenant un débit déversé à un niveau inférieur ou équivalent à celui des crues printanières de la rivière Bazin. Cette limitation du débit a permis de préserver la stabilité des berges en aval du barrage. Ces trois étapes accomplies, les aménagements hydrauliques ont été détruits par un dynamitage séquentiel. Les déchets produits ont été empilés, puis évacués hors du site (AECOM, 2016). Les travaux ont été réalisés de fin-juillet à fin-octobre 2017. Cette période correspond à celle où les communautés de poissons présentes ne frayent pas. Afin de rappeler l'existence du barrage de Parent, une aire de repos a été aménagée avec des panneaux d'interprétation relatant les grandes étapes de son histoire (Hydro-Québec, 2017).

Les nouvelles conditions hydrauliques créées par le démantèlement des ouvrages hydrauliques ont provoqué un changement dans la vitesse des courants en amont du barrage. Cette modification d'écoulement de la rivière Bazin et les fortes pluies auraient pu éroder les nouvelles berges exondées, ce qui aurait pu avoir comme conséquence d'entraîner les sédiments vers l'aval. Pour remédier à ce problème, les berges ont été stabilisées en utilisant

des techniques de végétalisation. Le taux de reprise végétale des berges est élevé et est estimé à 89,8 % (AECOM, 2020). Ainsi, le substrat du cours d'eau n'a pas été colmaté et toutes les frayères pour l'ichtyofaune ont été conservées. La diminution de la profondeur de l'eau et l'augmentation de la vitesse du courant ont même augmenté le potentiel de fraie pour certaines espèces tels le doré jaune, amplifiant la superficie de frayère de 6 937 m<sup>2</sup> à 31 353 m<sup>2</sup>. D'après un suivi environnemental réalisé post-démantèlement, la perturbation du milieu occasionnée par les travaux n'a pas empêché les poissons de frayer à l'automne et au printemps suivants (AECOM, 2019).

La qualité chimique des sédiments a été évaluée et il est apparu que certains secteurs présentaient des dépassements de critères environnementaux pour certains métaux, comme le cadmium, le cobalt, le plomb, pour les hydrocarbures pétroliers et aromatiques polycycliques (HAP). Cependant, il est à relever que les sédiments analysés en aval du barrage comportaient également des dépassements concernant les critères environnementaux de ces substances. Ce qui a démontré que les sédiments en amont du barrage n'avaient pas d'influence sur la qualité et la composition des sédiments en aval. Toutefois, ils pourraient avoir un effet sur la qualité de l'eau et sur les habitats aquatiques.

Afin d'atténuer la charge polluante et les effets sur l'environnement induits par la présence de ces sédiments, il a été nécessaire de limiter l'érosion, d'atténuer le transit des sédiments en restreignant la vitesse de l'écoulement lors de l'abaissement du niveau de l'eau et en installant des rideaux de confinement à l'exutoire du barrage. Cette installation a permis de capter les particules en suspension et ainsi de réduire la coloration, l'opacité et la turbidité de l'eau. Ces effets positifs pour les milieux aquatiques sont également bénéfiques pour les résidents des chalets en aval du barrage qui puisent leurs eaux directement dans la rivière (AECOM, 2016).

Le démantèlement du barrage de Parent a eu d'autres effets sur l'environnement, comme (AECOM, 2020) :

- La réduction du niveau de l'eau qui a eu une incidence sur les poissons en changeant les superficies et les profondeurs de leurs habitats;
- La libération de sédiments en aval du barrage qui comporte le risque de perturber temporairement le benthos;

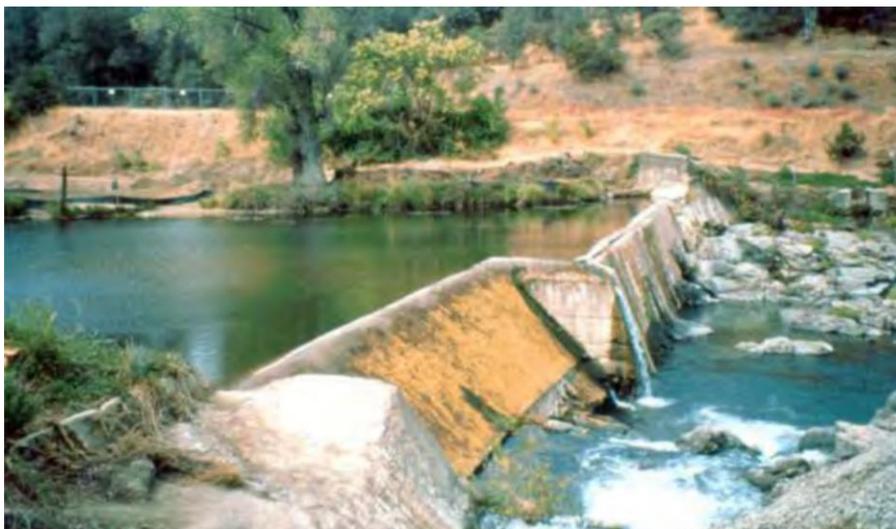
- Le changement de la composition taxonomique et des densités du benthos, ce qui peut générer des répercussions sur la chaîne alimentaire;
- L'adaptation de la végétation riveraine et aquatique aux nouvelles conditions imposées par l'abaissement du niveau de l'eau;
- La diminution des surfaces mouillées de la retenue et la création de nouveaux milieux humides, en cas d'inondation, tels des marais et des marécages. Il faut préciser encore que le changement structural des milieux humides, provoqué par l'abaissement du niveau de l'eau et le rétablissement de l'écoulement naturel, a impacté à court terme la faune et la flore locales. Depuis le démantèlement du barrage, la superficie des milieux humides est passée de 35,22 hectares à 45,60 hectares. Les herbiers aquatiques et les marécages sont les milieux qui ont été le plus développés;
- L'apparition d'herbacés provenant de l'ensemencement des zones exondées;
- L'apparition de milieux dénudés secs provenant des zones d'érosion.

#### 4.3.2 Le barrage Saeltzer, aux États-Unis

Le barrage Saeltzer était implanté sur le ruisseau Clear, tributaire du fleuve Sacramento, au sud de la ville de Redding, en Californie. Un projet majeur de réhabilitation d'habitats pour les juvéniles et de frayères pour le saumon chinook et la truite arc-en-ciel, a été réalisé sur le fleuve Sacramento et ses affluents. Ce projet a donné lieu à la destruction et à la restauration de plusieurs barrages, dont celui de Saeltzer qui était identifié comme un obstacle majeur. Au total, 16 kilomètres de cours d'eau propice à la fraye ont pu être à nouveau accessible aux deux espèces. Cette réalisation a été faisable grâce à une Loi sur l'amélioration du projet de la vallée centrale (LAPCVPIA) visant à accroître les populations de poissons anadromes dans les cours d'eau de la vallée centrale (USSD, 2015).

Le barrage Saeltzer était un barrage-poids composé d'un mur en béton armé d'une hauteur maximale de 6 mètres et d'une longueur de crête d'environ 56 mètres (voir Figure 15). Sa largeur variait entre 60 et 90 centimètres et l'ouvrage avait une pente de 1 pour 1. Le volume total de la structure faisait environ 1 530 m<sup>3</sup>. Il était exploité et entretenu par la Townsend Flat Water Ditch Company (TFWDC). En 1997, cette compagnie avait signalé que le barrage s'était détérioré de manière significative et que des fissures étaient visibles. L'état physique de l'ouvrage était considéré comme très mauvais et cela était démontré par de nombreuses fuites. Il est à noter qu'une échelle à poisson a été construite sur la culée droite du barrage en 1958. Celle-ci consistait en un tunnel en béton de 113 mètres de long avec des bassins en escaliers qui reliaient la gorge en contre bas à la retenue du barrage. Cependant, les poissons

ne l'utilisaient pas. Afin d'inciter les poissons à s'en servir, le tunnel a été raccourci en 1992. Malgré cette modification, seul 1 saumon sur 100 réussissait à utiliser l'échelle, alors que la population de saumons chinook et de truites arcs-en-ciel qui pouvait frayer en amont du barrage, était estimée à 2'000 individus pour chacune des deux espèces (USSD, 2015).



**Figure 15 - Photographie du barrage Saeltzer avant son démantèlement (USSD, 2015)**

Une ébauche d'étude d'impacts sur l'environnement avait été esquissée sur la démolition du barrage Saeltzer ainsi que sur la gestion des sédiments. Cette ébauche a permis de déceler un problème concernant les sédiments. Ceux-ci étaient contaminés au mercure à cause d'activités minières et par l'action du dragage. Ainsi, les sédiments contaminés ont dû être enlevés. L'ébauche a également permis de conclure que le démantèlement n'aurait pas d'impact environnemental négatif. Plusieurs permis ont été requis dont un permis de modification du lit d'un cours d'eau, un permis pour le déversement de matériaux de dragage ou de remblayage dans les eaux des États-Unis et un certificat sur la qualité des eaux (USSD, 2015).

Plusieurs mesures ont été intégrées au projet afin de minimiser les impacts potentiels (USSD, 2015) :

- Travaux réalisés hors des périodes de fraies des poissons;
- Maintien des débits en aval par l'incorporation de structures de dérivation;

- Utilisation exclusive de gravier de fraie dans le lit du cours d'eau pour la construction des franchissements du chenal;
- Mise en place d'un batardeau en amont et d'un barrage contrefort en aval;
- Interdiction d'utiliser des équipements de construction à l'intérieur du cours d'eau, sauf pour construire les franchissements temporaires et le batardeau.

Les travaux ont été exécutés en deux phases. La première comprenait la mobilisation du site, le déboisement, l'essouchement et le commencement de la démolition de l'échelle à poisson. La deuxième partie comprenait la construction d'un canal de dérivation temporaire, d'un batardeau en amont, l'installation de gravier de fraie propre dans le ruisseau, la construction d'un barrage contrefort en aval, l'élimination des sédiments du réservoir, la destruction du barrage, l'obstruction permanente de l'échelle à poisson et en fin la remise en état du site (USSD, 2015).

La présence de quantités importantes de sédiments contaminés dans le bassin de retenue a eu des conséquences aux niveaux financier et infrastructurelle considérables. Afin d'excaver les sédiments dans des conditions sèches, il a été nécessaire de détourner le ruisseau et d'abaisser le réservoir. Deux ouvrages temporaires de dérivation du cours d'eau ont dû être conçus et élaborés sous la forme d'un batardeau en palplanches et d'un canal de dérivation (voir Figure 16). Ensuite, l'eau du réservoir a été pompée et envoyée vers des bassins de percolation en aval. Lorsque les sédiments furent suffisamment secs pour supporter l'intervention de machines conventionnelles, ils ont pu être excavés par des bulldozers et des chargeurs frontaux, puis transportés par camion dans un site d'enfouissement approprié. Au total, un peu plus de 9 500 m<sup>3</sup> de sédiments ont subi ce traitement. La faisabilité d'une telle procédure dépend des installations disponibles, du temps nécessaire pour assécher les sédiments, ainsi que du volume, de la granulométrie et de la perméabilité des sédiments. Si le volume de sédiments avait été faible et non pollué, il aurait été possible d'utiliser des excavatrices depuis le bord du réservoir.



**Figure 16 - Canal de dérivation construit pour le démantèlement du barrage Saeltzer et l'enlèvement des sédiments contaminés (USSD, 2015)**

Quant au barrage contrefort en aval, constitué de gravier de fraie propre, il assurait la stabilité du barrage lors de l'enlèvement des sédiments et servait également d'aire de travail. La démolition s'exécuta à l'aide de pelles hydrauliques. Les déchets produits ont été triés sur place avant d'être éliminés dans un site d'enfouissement local. Les palplanches implantées en amont ont été graduellement enlevées en 24 heures, afin de limiter l'érosion. Le chenal de dérivation a été ainsi asséché, pour être ensuite remblayé. Les zones dégradées par les entrepreneurs ont été restaurées et les berges ont été enrochées,ensemencées et recouvertes de pailles (voir Figure 17) (USSD, 2015).



**Figure 17 - Photographie du barrage Saeltzer avant et après démolition (USSD, 2015)**

L'ensemble du projet, depuis sa conception jusqu'à sa réalisation, a été effectué en 9 mois pour un coût total d'environ 3,5 millions de dollars américains ; 2,8 millions \$ US attribués au contrat de construction, 309 000 \$ US au contrat de caractérisation et d'échantillonnage des sédiments et enfin 400 000 \$ US ont été affectés à des coûts non contractuels (conception technique, administration des contrats, gestion des travaux et mise en conformité environnementale). Un montant supplémentaire de 2,5 millions \$ US a été versé à la compagnie TFWCD pour ses droits relatifs à l'eau et à la propriété (USSD, 2015).

#### 4.3.3 Le barrage Old Berkshire Mill, aux États-Unis

L'ancien barrage d'Old Berkshire Mill se trouvait sur la rivière Housatonic à Dalton, au Massachussets. La fin initiale de l'ouvrage était de fournir de l'énergie pour une usine voisine, mais ce but premier n'était plus d'actualité. Le barrage était constitué d'une structure gravitaire en béton au fil de l'eau qui s'étendait sur 40 mètres de long. La hauteur hydraulique du barrage, mesurée à la crête de l'évacuateur de crues, était d'environ 4,3 mètres. La hauteur structurale de la guérite et de la culée était d'environ 6,7 mètres (voir Figure 18). La capacité

de retenue du barrage était de 12 300 m<sup>3</sup>. Lorsque les ouvrages d'évacuation sont devenus défaillants, le propriétaire, Crane et al., a examiné les solutions possibles et a évalué leurs pertinences quant à l'avenir du barrage Old Berkshire Mill. Le choix du propriétaire fût d'enlever complètement le barrage. Les motifs de ce choix étaient économiques et environnementaux. Sur le plan financier, la valeur économique de l'exploitation du barrage étant négative, la compagnie souhaitait réduire leur passif à long terme (USSD, 2015).



**Figure 18 - Photographie du barrage d'Old Berkshire Mill avant son démantèlement (USSD, 2015)**

Le démantèlement du barrage d'Old Berkshire Mill fut le premier projet de démantèlement ayant lieu dans le Commonwealth du Massachusetts. La démolition se déroula en deux phases. La première fut de protéger les ouvrages en périphérie du barrage, à savoir les culées du pont en amont de la retenue et la conduite d'alimentation en eau à haute pression traversant la retenue. Ces deux ouvrages ont été blindés à l'aide de pierres extraites localement et placées mécaniquement. La deuxième phase fut la destruction du barrage. Les travaux commencèrent fin juillet 2000, profitant que pendant l'été, les débits de la rivière étaient au plus bas. L'entrepreneur a asséché la retenue grâce à une modification des vannes du barrage et à l'usage de bermes, de ponceaux dans le chenal de la rivière. Au début de l'automne, la démolition du béton s'effectua à l'aide d'un marteau piqueur hydraulique installé sur une pelleteuse (voir Figure 19). En bas du barrage, une excavatrice enlevait les morceaux de bétons au fur et à mesure qu'ils tombaient du barrage. L'armature en acier de surface fut également démantelée lors de ces travaux (USSD, 2015).



**Figure 19 - Démolition de la structure en béton par un marteau piqueur hydraulique installé sur une pelleteuse (USSD, 2015)**

La continuité du cours d'eau a ainsi été restaurée (voir Figure 20).

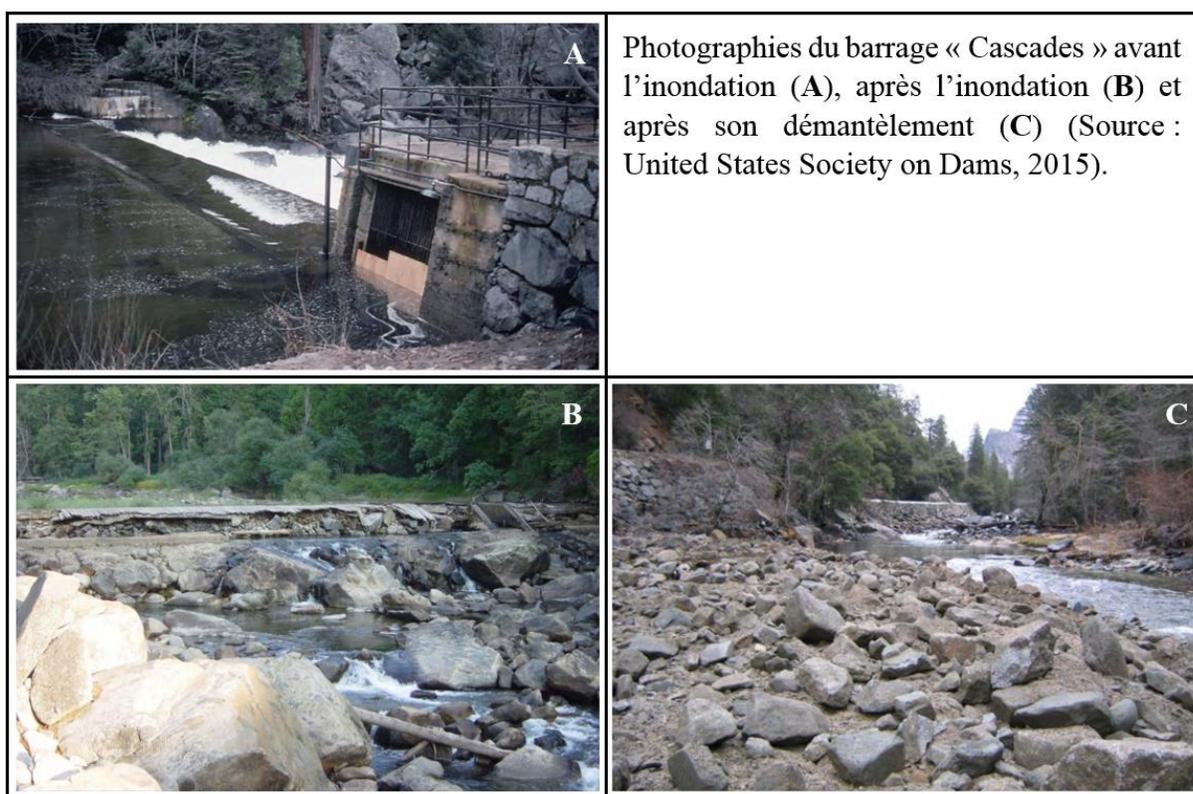


**Figure 20 - Photographie du barrage après son démantèlement (USSD, 2015)**

Le coût du projet du démantèlement s'éleva à 940 000 \$ US, alors que celui de réhabilitation avait été estimé à 1 150 000 \$ US. La répartition des coûts fut : 7 % pour l'ingénierie, 12 % pour les permis et 81 % pour les travaux de démolition (USSD, 2015).

#### 4.3.4 Le barrage Cascades, aux États-Unis

L'ancien barrage Cascades se situait sur la rivière Merced à l'extrémité ouest de la vallée Yosemite dans le parc national du même nom, en Californie. Construit en 1917, ce barrage servait à produire un débit de dérivation pour la centrale hydroélectrique du parc national. Cette installation hydroélectrique a été mise hors service entre 1985 et 1986, en raison de sa détérioration et de la vétusté de l'ensemble du réseau électrique. Le barrage Cascades avait été gravement endommagé par des inondations en 1997 et depuis cette date, il était plus en fonction et donc d'aucune utilité (voir Figure 21). Il représentait même un risque pour les visiteurs du parc. Afin d'améliorer le passage du poisson et de restaurer le milieu, il a été démantelé entre 2003 et 2004 (USSD, 2015).



**Figure 21 - Photographies du barrage Cascades (USSD, 2015)**

Le barrage Cascades se composait de plusieurs caissons formés par des billes de bois ou des poutres carrées assemblées. Ces caissons étaient remplis par des rochers, ancrés par du béton et recouverts par des planches de séquoia grossièrement taillées. Le barrage s'étendait sur 55 mètres de long et avait une hauteur de crête de 5,20 mètres. Deux culées en béton se situaient

de chaque côté du barrage, chacune mesurait 9,15 mètres de hauteur (Yosemite National Park, 2005). La retenue qui résultait du barrage Cascades couvrait une superficie d'environ 1 hectare.

Le démantèlement s'est réalisé en plusieurs étapes. Au début, les ouvriers ont dévié le cours d'eau en dessus et en dessous du barrage à l'aide de sacs de sables afin de contrôler la direction de l'eau lors de la démolition. Le barrage ayant subi une importante détérioration, il a été nécessaire d'ôter les gros blocs qui gênaient à l'aide d'une pelleteuse. Puis, une pelleteuse avec un marteau perforateur en embout a détruit le barrage. Au fur et à mesure de la destruction du barrage, une autre pelleteuse évacuait les morceaux qui tombaient et un bulldozer déblayait la terre, la poussière du lit de la rivière. Lorsque le barrage fut complètement démantelé, les berges furent réhabilitées, une pente similaire à celle préexistante fut restaurée et des roches furent implantés. Dans les interstices, des boutures de saules furent plantées afin d'augmenter la stabilisation des berges. Le prix de ce démantèlement n'a pas été divulgué.

#### 4.3.5 Le barrage de Séchilienne, en France

Le barrage de Séchilienne se situait sur le torrent de la Romanche, dans la commune de Séchilienne, à environ 17 kilomètres au Sud-Est de Grenoble. Ce site situé en milieu alpin, présente un régime hydrologique pluvio-nival, ce qui signifie de hautes eaux durant la période estivale et des étiages durant la période hivernale. Initialement, le barrage alimentait l'usine hydraulique de Noyer Chut depuis 1917 avec un débit turbiné maximum de 13 m<sup>3</sup>/s. En 1946, la Romanche a été détournée pour l'usine du Péage de Vizille en contre bas, ce qui a entraîné une perte énergétique pour le barrage de Séchilienne (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2018). À la suite d'un programme d'État, la gestion de l'usine hydraulique et des aménagements de Noyer Chut fut transmise aux autorités publiques qui décidèrent de démolir l'usine et le canal d'amenée et de décharge. Cette destruction a eu lieu en 2011 et a supprimé tout intérêt au maintien du barrage de Séchilienne (Hydretudes, 2015).

Le projet de démantèlement s'inscrivait dans le 6<sup>ème</sup> objectif du contrat de rivière Romanche intitulé « Restaurer la continuité biologique » (SACO, 2012). Cet objectif important du contrat prévoyait la démolition ou la création de passes à poissons pour une dizaine de seuils

et de barrages implantés sur ce torrent. Certaines exploitations devraient être remplacées par des nouvelles présentant d'une part une meilleure efficacité énergétique et d'autre part permettant une recolonisation de la faune piscicole (Hydretudes, 2015).

Le barrage de Séchilienne avait une longueur totale d'un peu moins de 100 mètres et une hauteur moyenne de 5 mètres. Il était constitué d'un déversoir en rive gauche, deux vannes dites segment au centre, d'une vanne wagon et d'une ancienne prise d'eau en rive droite (voir Figure 22). La capacité de la retenue d'eau était d'environ 10 000 m<sup>3</sup> et la hauteur de la chute d'eau engendrée par le barrage était d'environ 3 mètres (Hydretudes, 2015).



**Figure 22 - Barrage de Séchilienne avant son démantèlement (Hydretudes, 2015)**

Des analyses qualitatives sur les sédiments n'ont révélé aucune pollution particulière. Des tests écotoxicologiques avaient été pratiqués afin de déterminer l'effet toxique des sédiments sur des bactéries, des daphnies et des rotifères d'eau douce. Les résultats de ces tests ont montré une non-toxicité des sédiments. Une analyse des volumes de sédiments fins potentiellement remobilisables lors du reprofilage naturel du lit après les travaux, a établi que :

- Le volume de sédiments remobilisables, dont le diamètre était plus petit que 0,08 mm, était de 1 600 m<sup>3</sup>, ce qui correspondait à ceux transportés quotidiennement par la Romanche;
- Le volume de sédiments remobilisables, dont le diamètre était plus petit que 1 mm, était de 10 600 m<sup>3</sup>, ce qui représentait entre 1 % et 13 % de ceux transportés annuellement par la Romanche;

Ces analyses ont permis de confirmer que la migration progressive des sédiments vers l'aval représentait un risque négligeable pour l'environnement.

Pour le démantèlement du barrage, trois scénarios avaient été envisagés :

- Démantèlement total (franchissabilité : +++; coûts prévus : 1 340 000 €);
- Démantèlement partiel et création d'un chenal dont le seuil permettrait le passage de la faune piscicole (franchissabilité : ++; coûts prévus : 1 430 000 €);
- Démantèlement à minima : enlèvement des vannes avec obstruction du canal d'amenée et création d'une échelle à poisson (franchissabilité : +; coûts prévus : 840 000 €).

Le scénario de démantèlement total a été adopté, car il offrait davantage de garanties en termes de rétablissement de la continuité écologique et un investissement financier similaire au démantèlement partiel. Bien que moins coûteux en investissement, le scénario de démantèlement à minima n'a pas été choisi, car il était moins efficient en termes d'écologie et potentiellement onéreux en termes d'entretien (Hydretudes, 2015).

Les travaux ont été réalisés en trois phases. La première fût la préparation du site. Une procédure de désamiantage a été nécessaire, car un diagnostic avait relevé la présence d'amiante sur les bâtiments annexes et les bassins de décantation. Puis, tous les éléments hors génie civil, passerelles, garde-corps, câblage électrique et équipements annexes ont été détruits et évacués. Finalement, un passage à gué a été installé en amont du barrage (Hydretudes, 2015).

La deuxième phase se concentra sur le démantèlement de la partie gauche du barrage. Afin que les travaux de démolition puissent démarrer, un batardeau a été installé depuis le lit majeur gauche jusqu'à l'arrière de la pile centrale et, en rive droite, un chenal préférentiel a été créé en aval du barrage. Puis, l'ensemble du génie civil gauche a été démantelé et déposé temporairement sur le lit majeur en amont. Le lit du cours d'eau fut reprofilé (voir Figure 23) et stabilisé grâce à un enrochement. Un second passage à gué a été créé pour faciliter l'évacuation du génie civil (Hydretudes, 2015).



**Figure 23 - Vue du lit du cours d'eau reprofilé à l'issue des travaux (Hydretudes, 2015)**

La dernière phase se concentra sur la destruction de la partie droite du barrage et sur l'évacuation des matériaux produits et ceux qui étaient encore déposés sur le lit majeur en amont. Ensuite, la plus grande partie du lit mineur a été reprofilé avec une pente provisoire de fin de chantier à 2,2 %. Un décapage a été effectué afin de récupérer les plus gros matériaux qui ont été utilisés pour égaliser le fond du lit. En outre, ces blocs libres ont également pour fonctions de créer des caches pour la faune piscicole et de diversifier l'écoulement. Enfin, le bord gauche en amont a été remblayé afin d'éviter une déconnexion trop importante du lit mineur et le lit complet de la rivière a pu être remis en eau (Hydretudes, 2015).

Plusieurs éléments du barrage ont été conservés sur place pour deux raisons (voir Figure 24). La première était de conserver un témoignage de l'activité hydroélectrique de Séchilienne et la deuxième était de sécuriser les berges et la route départementale (RD 1091) adjacente.

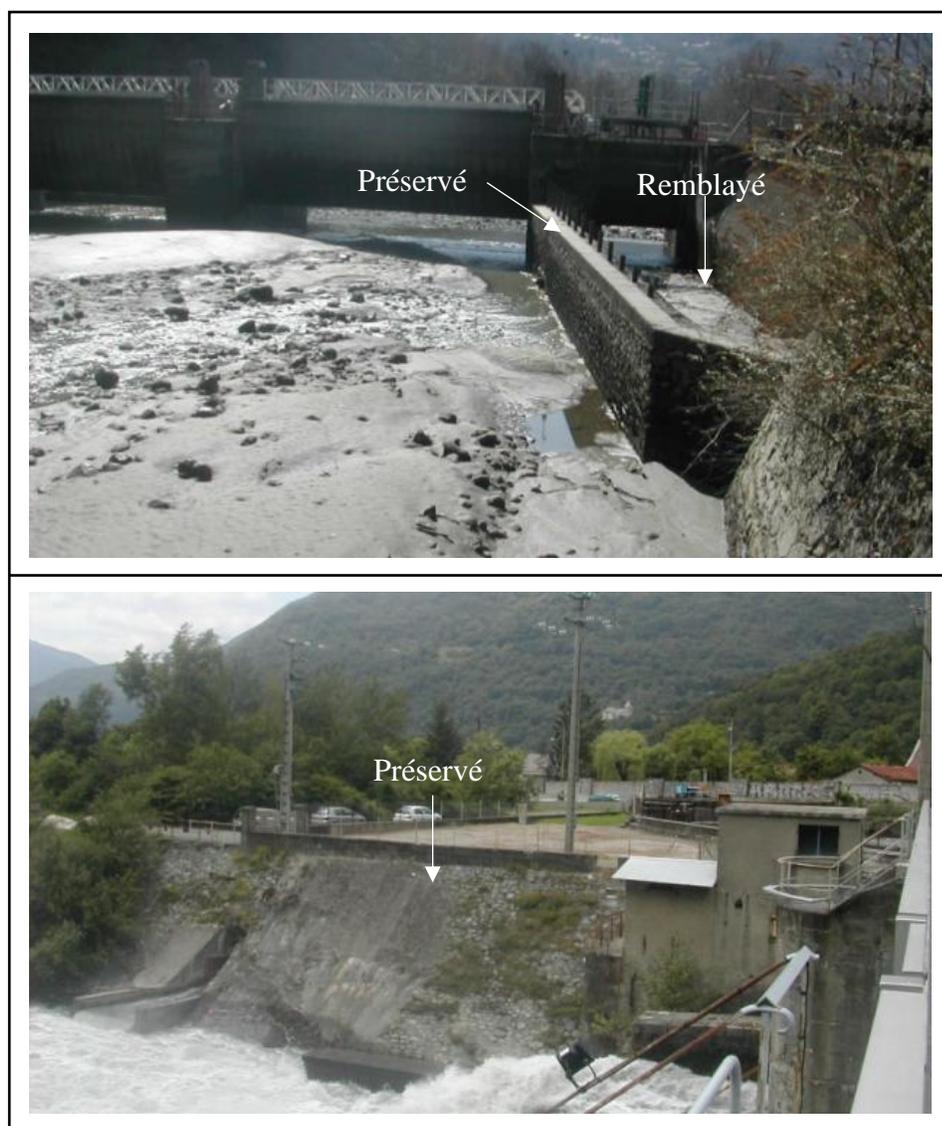


Figure 24 - Éléments du barrage de Séchilienne qui ont été conservés (Hydretudes, 2015)

## 5 Étude du barrage Longchamp

### 5.1 Caractéristiques physiques et hydrologiques

Le barrage Longchamp a été construit en plusieurs étapes ce qui est démontré par la présence de lignes de constructions. Ces lignes constituent une faiblesse du point de vue de la stabilité du barrage. En 2011, lors de l'ouragan Irene, le barrage Longchamp a été brisé en plusieurs morceaux. Seule, la première partie, la plus profonde, est restée intacte. Depuis cet événement, l'eau a suinté dans la première ligne de construction située à gauche du barrage, lorsqu'on le regarde depuis l'aval. Les dimensions de l'ouvrage ont été mesurées (voir Figure 25), cependant les valeurs sont approximatives car sa forme est concave et le barrage s'élargit à sa base.

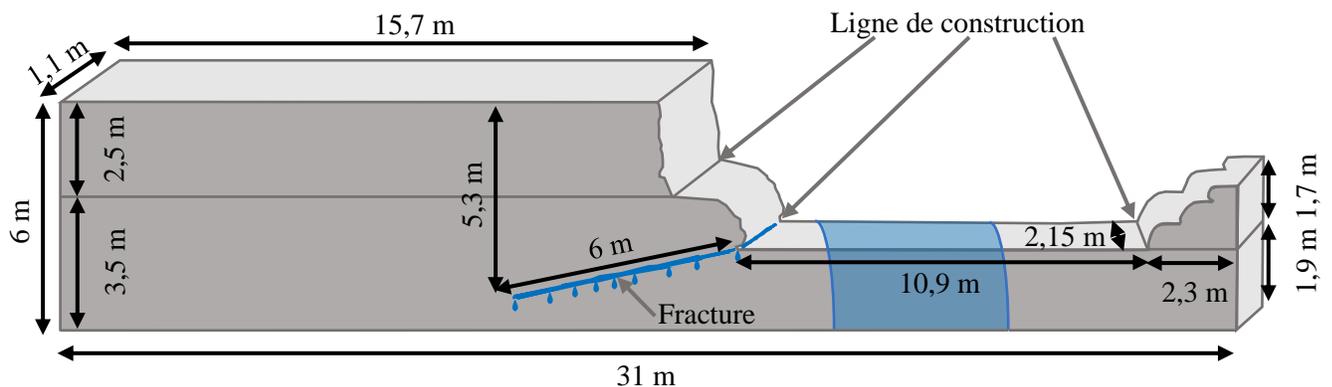
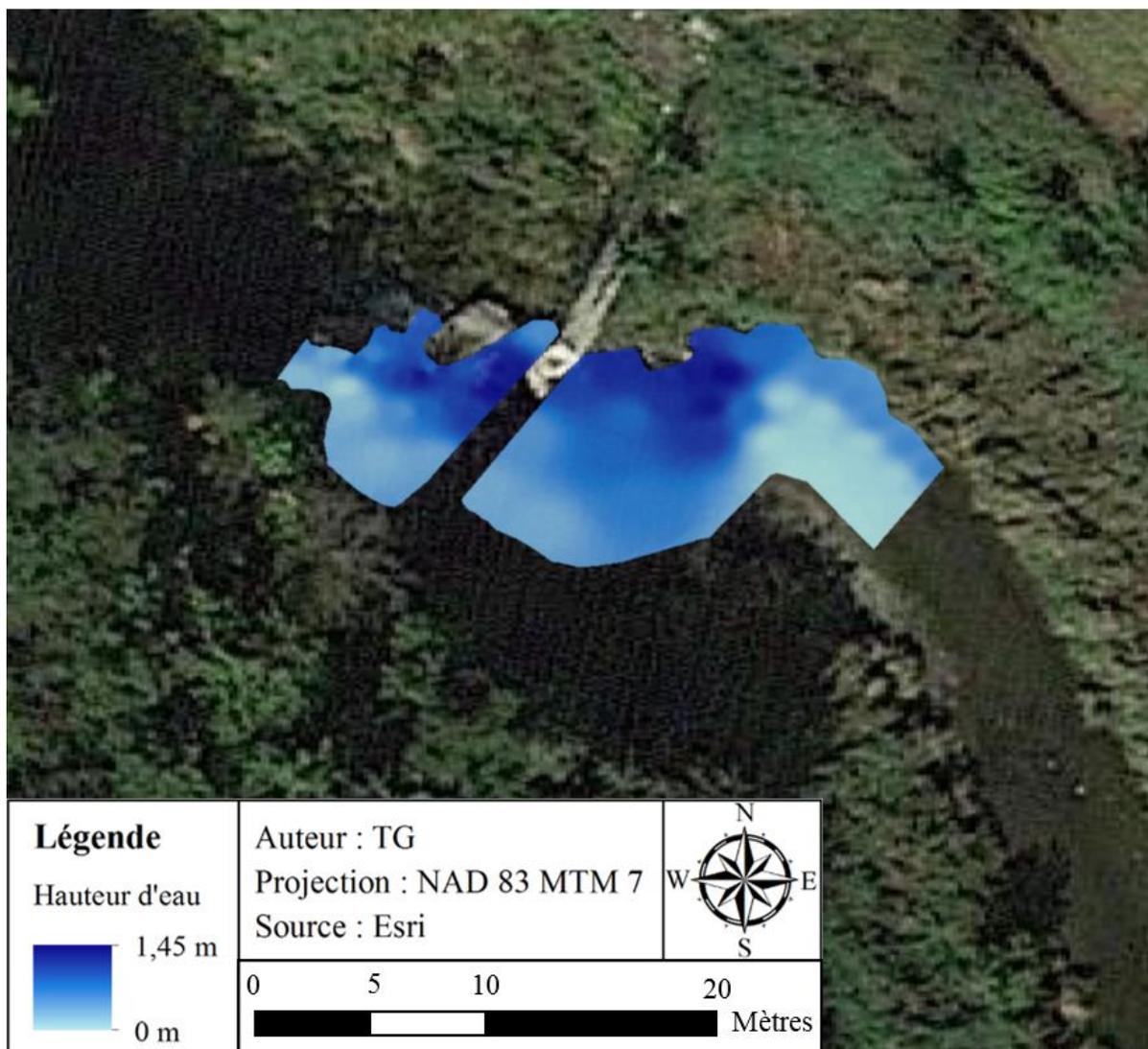


Figure 25 – Dimension du barrage Longchamp

Le barrage Longchamp forme une retenue d'eau d'une superficie d'environ  $70 \text{ m}^2$  dont la profondeur maximale est de 1,45 mètres. La présence du barrage est à l'origine de la création d'une chute d'eau d'une hauteur de 1,9 mètres. Au pied du barrage, sa profondeur maximale est de 1,45 mètres (voir Figure 26). La modélisation du fond du cours d'eau à proximité de l'emplacement du barrage Longchamp a été réalisée à partir de mesures prises sur le terrain et d'une interpolation effectuée grâce au logiciel ArcGis. On peut remarquer que les profondeurs maximales se situent sur le même côté du barrage, le côté gauche en regardant depuis l'aval. De ce fait, l'ancien tracé du ruisseau Fourchette devait passer par ce côté.

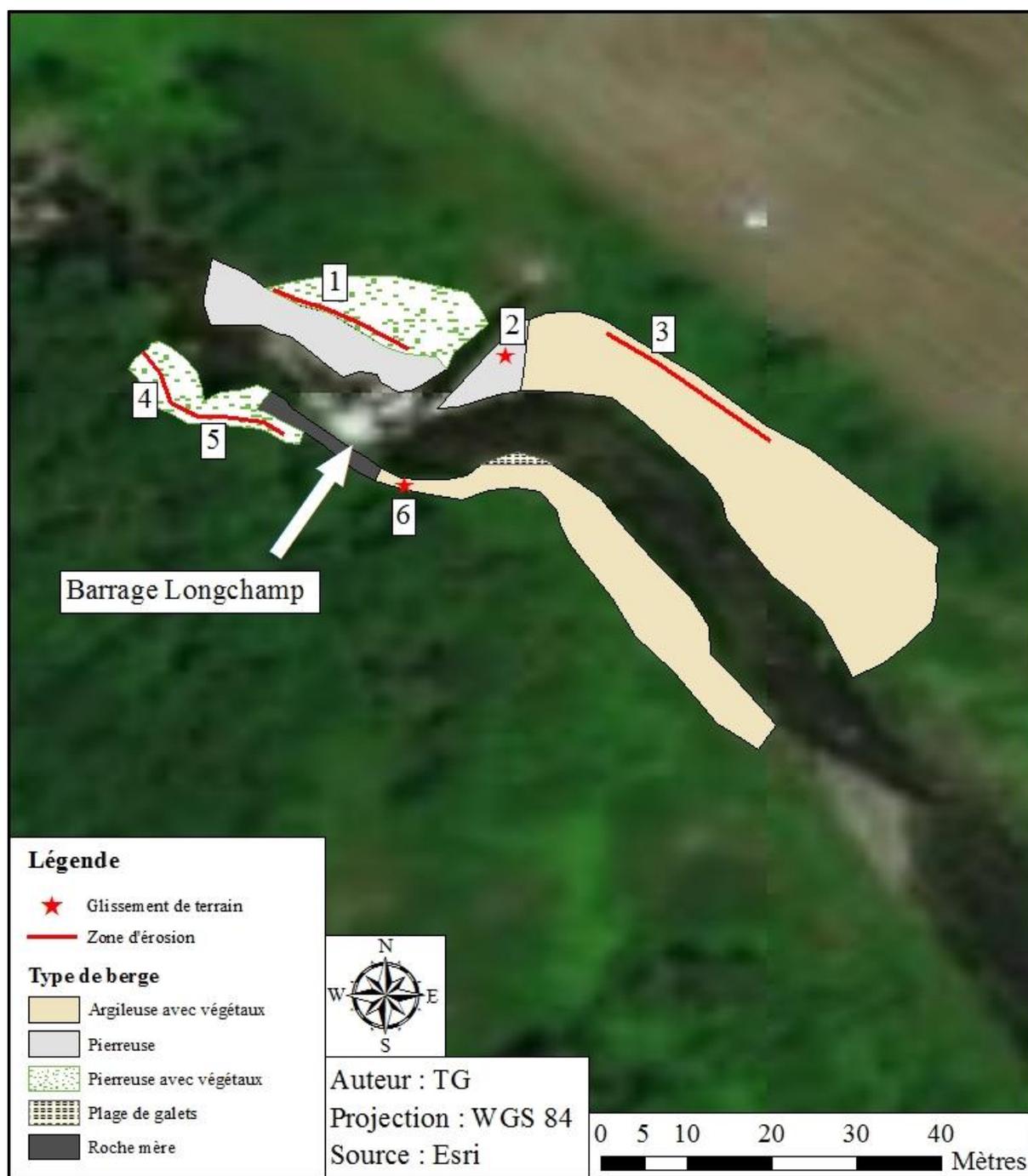


**Figure 26 - Modélisation du fond du ruisseau Fourchette à l'emplacement du barrage Longchamp**

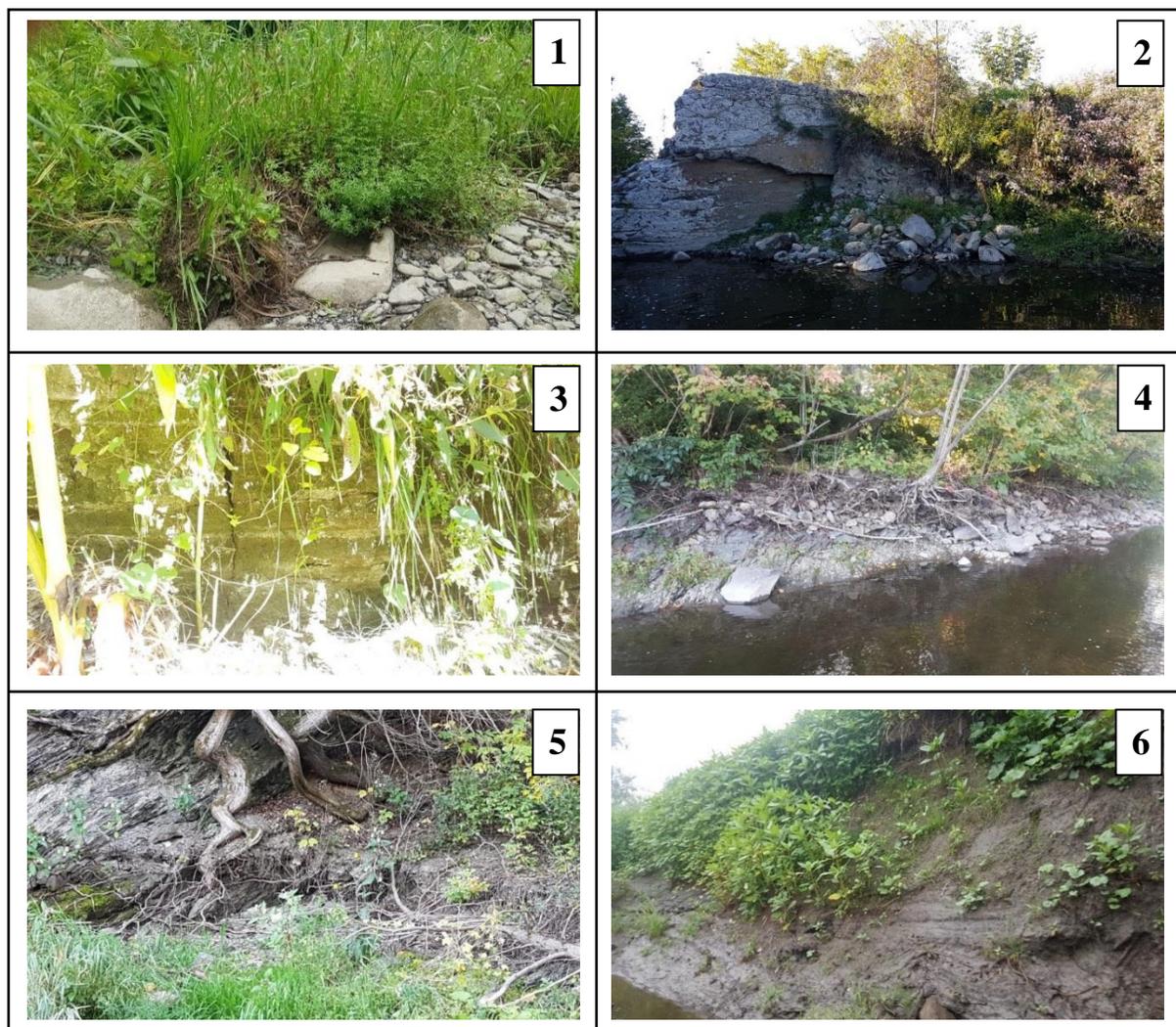
## 5.2 Caractérisation des berges et plantes envahissantes

À proximité du barrage, il existe plusieurs types de berges différentes. Elles sont plutôt argileuses en amont du barrage et plutôt pierreuses, avec ou sans végétaux, en aval. La roche mère est également visible (voir Figure 27). Sur la rive droite, en aval du barrage, des mottes de terres végétalisées (voir Figure 28, photographie n° 1) ont survécu à l'érosion provoquée par les crues. De l'autre côté de la rive, la ligne des hautes eaux est marquée par l'érosion qui a mis à nu les racines des arbres (voir photographie n° 4 et 5). En amont du barrage, l'érosion

est également visible sur la rive droite (voir photographie n° 3). Deux glissements de terrain ont causé l'affaissement du sol en amont du barrage (voir photographie n° 2 et 6).



**Figure 27 - Cartographie du type des berges, des zones d'érosion et des glissements de terrain. La numérotation est reliée aux numéros des photographies de la figure 28**



**Figure 28 - Photo prises des zones d'érosion et de glissement de terrain à proximité du barrage Longchamp**

Un important problème impactant les berges à proximité du barrage Longchamp est la forte présence de plantes envahissantes. L'impatiète de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera*) (voir Figures 29 et 30) et la berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*) sont les deux espèces invasives qui ont colonisé les berges. La présence de ces plantes en amont et aval du barrage indique que cet ouvrage ne constitue pas une limitation à leur propagation.



**Figure 29 - Photographie de l'impatiante de l'Himalaya en aval du barrage Longchamp**



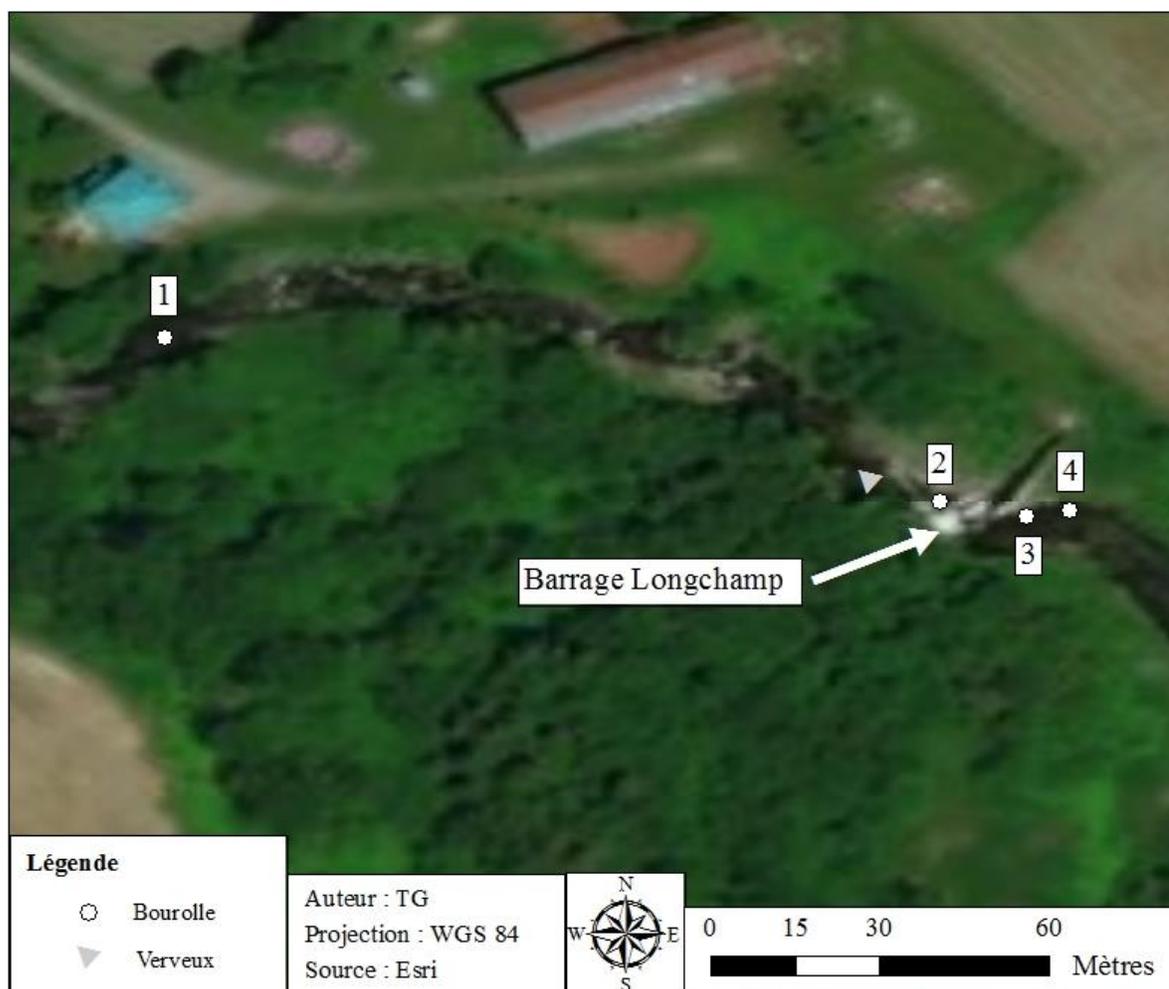
**Figure 30 - Photographie de l'impatiante de l'Himalaya en amont du barrage Longchamp**

Le problème posé par l'impatiante de l'Himalaya est qu'elle se développe rapidement et densément, supprimant tout l'espace pour la flore indigène et limitant ainsi les habitats pour la faune. Cette plante a un autre inconvénient. Lorsqu'elle meurt en automne, sa tige pourrit rapidement, ce qui laisse à découvert le sol. Ses racines n'étant pas profondes, elles ne permettent pas de retenir leurs substrats, ce qui a pour conséquence de rendre les berges plus sensibles à l'érosion (Clements, 2008). Quant à la berce du Caucase, elle aussi limite la biodiversité en éliminant le couvert végétal naturel par l'ombrage qu'apportent ses larges feuilles. Ce procédé naturel de compétition inter-espèces contribuerait à dénuder les sols qui deviendraient plus sensibles à l'érosion (Boivin et Brisson, 2016). La berce du Caucase a une

autre caractéristique nocive : sa toxicité cutanée. En effet, la sève de cette plante contient de la furanocoumarine qui, combinée avec des rayonnements ultraviolets, provoque des dermatites aiguës (Tiley et al., 1996). Si la décision d'éliminer ces plantes envahissantes est prise et que leur éradication est réussie, alors il est nécessaire de prendre des mesures de réhabilitation des berges, afin d'éviter l'érosion des sols et l'introduction d'une nouvelle espèce végétale invasive. Les berges à proximité du barrage sont un exemple de ce phénomène dommageable. La berce du Caucase y a été éliminée, mais malheureusement l'impatiente de l'Himalaya l'a remplacée en peu de temps. Une des solutions est d'ensemencer le sol dénudé, afin d'y établir une couverture végétale qui protégerait et stabiliserait le sol (Nielsen et al., 2005).

### 5.3 Inventaire des poissons

Le barrage Longchamp est un obstacle majeur à la libre circulation de la faune aquatique du ruisseau Fourchette. Avant d'envisager le rétablissement d'une libre circulation, il est important d'identifier les espèces aquatiques vivant en aval et en amont du barrage. Cette donnée est primordiale, car il faut éviter que des espèces invasives ou des espèces compétitrices d'une espèce ciblée puissent remonter le barrage. Il est à noter que le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs souhaite cibler comme espèce l'omble de fontaine. Il était également intéressant de détecter si une espèce rare pourrait profiter de la libre circulation pour augmenter son aire de répartition. Ceci a donné lieu, au début du mois de septembre 2019, à l'installation de bourolles et d'un verveux en amont et en aval du barrage (voir Figure 31 et annexe 3). Ces pièges sont restés un jour dans le ruisseau Fourchette avant d'être relevés. Les poissons attrapés ont été identifiés, puis mesurés. Ainsi, six espèces différentes de poissons en aval et une seule en amont ont été répertoriées (voir Tableau 4 et annexes 3 et 4).



**Figure 31 - Localisation des bourolles et du verveux installés à proximité du barrage Longchamp**

Les espèces répertoriées sont présentées au tableau 4.

**Tableau 4 - Inventaire des espèces trouvées en amont et en aval du barrage Longchamp à l'aide de bourolles et d'un verveux. Les espèces en rouges sont des espèces compétitrices de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) et en vert, ce sont des espèces rares.**

Espèces	Aval	Amont
<b>Mulet à cornes (<i>Somotilus atromaculatus</i>)</b>	2	22
Naseux noir ( <i>Rhinichthys atratulus</i> )	7	-
Naseux des rapides ( <i>Rhinichthys cataractae</i> )	5	-
Méné à nageoires rouges ( <i>Luxilus cornutus</i> )	9	-
<b>Meunier noir (<i>Catostomus commersonii</i>)</b>	2	-
<b>Bec-de-lièvre (<i>Exoglossum maxillingua</i>)</b>	3	-

L'espèce trouvée en amont est le mulet à corne qui est une espèce compétitrice de l'omble de fontaine. En aval, plusieurs cyprinidés sont recensés, dont le bec-de-lièvre qui a le statut « espèce préoccupante » (COSEPAC, 2013). Une espèce est catégorisée comme étant préoccupante si elle est particulièrement sensible aux activités humaines ou aux événements naturels, mais qui n'est toutefois pas en péril ou menacée (Gouvernement du Canada, 2004). Une espèce compétitrice de l'omble de fontaine, le meunier noir, est également identifiée en aval. L'omble de fontaine ne rentre que très rarement dans une bourolle, ce qui pourrait expliquer le fait qu'il n'ait pas été capturé. Cependant, lors de la visite de terrain, un individu a été observé sous la chute du barrage. Les anciens propriétaires du barrage, Madame Bouret et Monsieur Pelletier, nous ont informé que des poissons ressemblant à des ombles de fontaines, étaient au pied du barrage et tentaient de le remonter en sautant hors de l'eau. En 2001, lors d'un inventaire faunique concernant le barrage Longchamp, les mêmes espèces de poisson trouvées dans cet essai ont été répertoriées, ainsi que d'autres espèces comme l'omble de fontaine, l'ombre de vase, la tête-de-boule, l'épinoche à cinq épines et le museau noir (Bédard, 2001). La rupture du barrage a eu comme conséquence de réduire fortement la hauteur des sédiments et de diminuer considérablement le niveau de l'eau qui est devenu comparable à celui observé en aval du barrage. Cet événement a eu pour conséquence de

transformer la retenue d'un milieu atypique, en un milieu similaire au ruisseau. La disparition des espèces de poissons demeurant dans l'ancienne retenue, tels l'ombre de vase, atteste de cette modification du milieu. Le brisement du barrage a donc fait perdre à ce milieu une grande partie de sa valeur d'écosystème. D'autres études ont été menées en 2012 par le conseil de bassin de la rivière Etchemin (CBE) sur le ruisseau Fourchette et ses tributaires (voir Tableau 5). Aucun omble de fontaine n'a été capturé, cependant 55 000 œufs et 22 000 truitelles ont été ensemencés en 2013 dans le bassin versant du ruisseau Fourchette (CBE, 2013).

**Tableau 5 – Inventaires des prises sur trois stations du bassin versant du ruisseau Fourchette (CBE, 2012)**

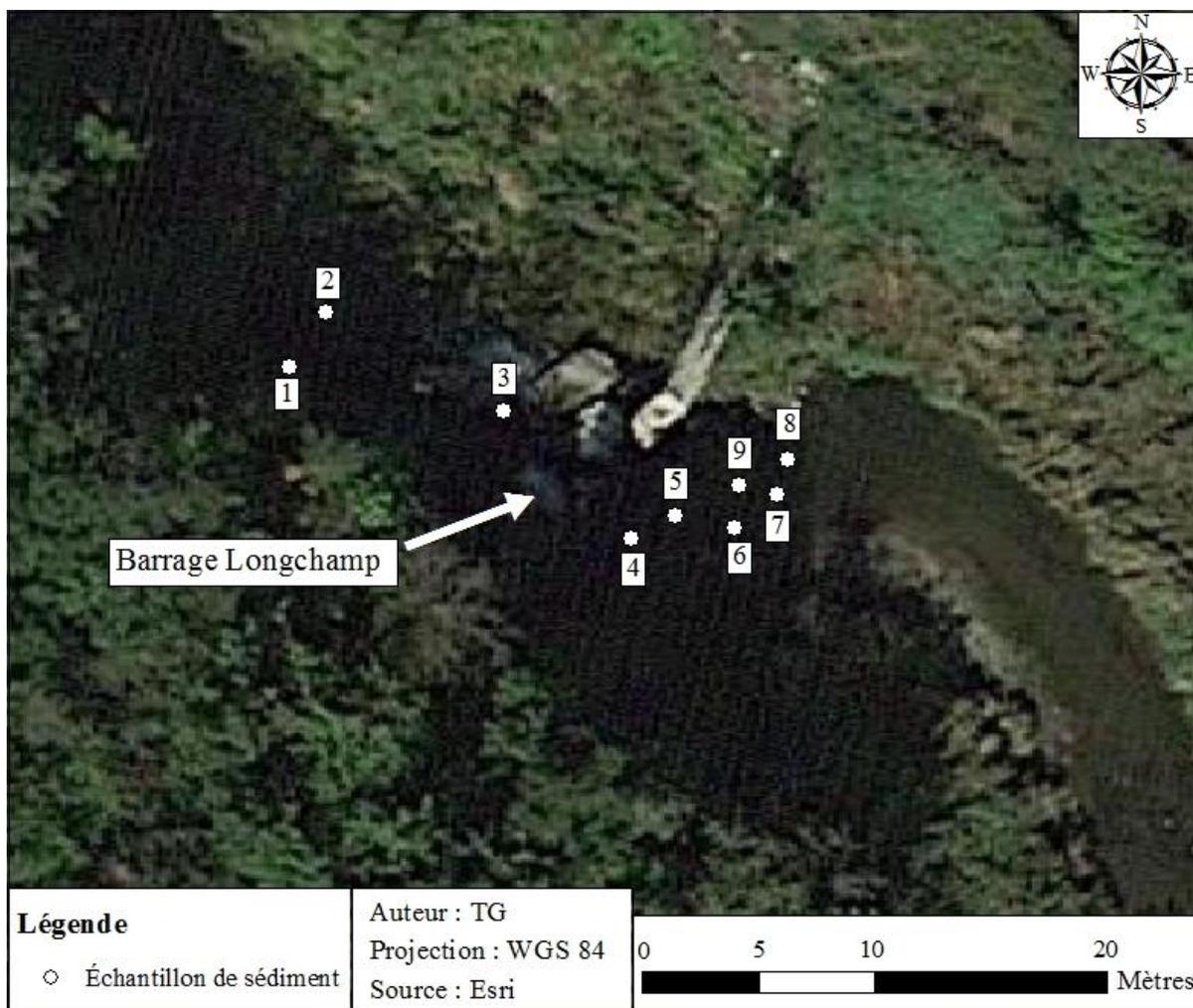
Espèces	Décharge de la Grande-Ligne (aval)	Ruisseau Ste-Geneviève (amont)	Ruisseau Fourchette (amont)
Épinoche à cinq épines ( <i>Culaea inconstans</i> )	Oui	Oui	Oui
Naseux noir ( <i>Rhinichthys atratulus</i> )	Oui	Non	Oui
Mulet à cornes ( <i>Semotilus atromaculatus</i> )	Oui	Oui	Oui
Meunier noir ( <i>Catostomus commersonii</i> )	Non	Non	Oui
Méné à nageoires rouges ( <i>Luxilus cornutus</i> )	Non	Non	Oui
Mulet perlé ( <i>Margariscus margarita</i> )	Non	Non	Oui

Monsieur Mario Longchamp témoigne qu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle, son grand-père, Monsieur Donat Hallée, pêchait du doré, du brochet et même de l'anguille à proximité du barrage. Il

semblerait que dans le passé, le ruisseau Fourchette contenait une forte biodiversité qui a dû se réduire petit à petit. Le rétablissement du libre passage des poissons permettrait d'augmenter l'aire de répartition des espèces qui se trouvent en bas du barrage. Ce rétablissement est positif, car il augmente l'aire de répartition du bec-de-lièvre, mais négatif du point de vue de l'omble de fontaine, car il augmente l'aire de répartition du meunier noir. Cependant, il est à noter que le meunier noir est déjà présent plus en amont. Le rétablissement du libre passage des poissons n'est donc pas contraignant pour l'omble de fontaine, mais au contraire, permettrait d'augmenter son aire de répartition et de reproduction.

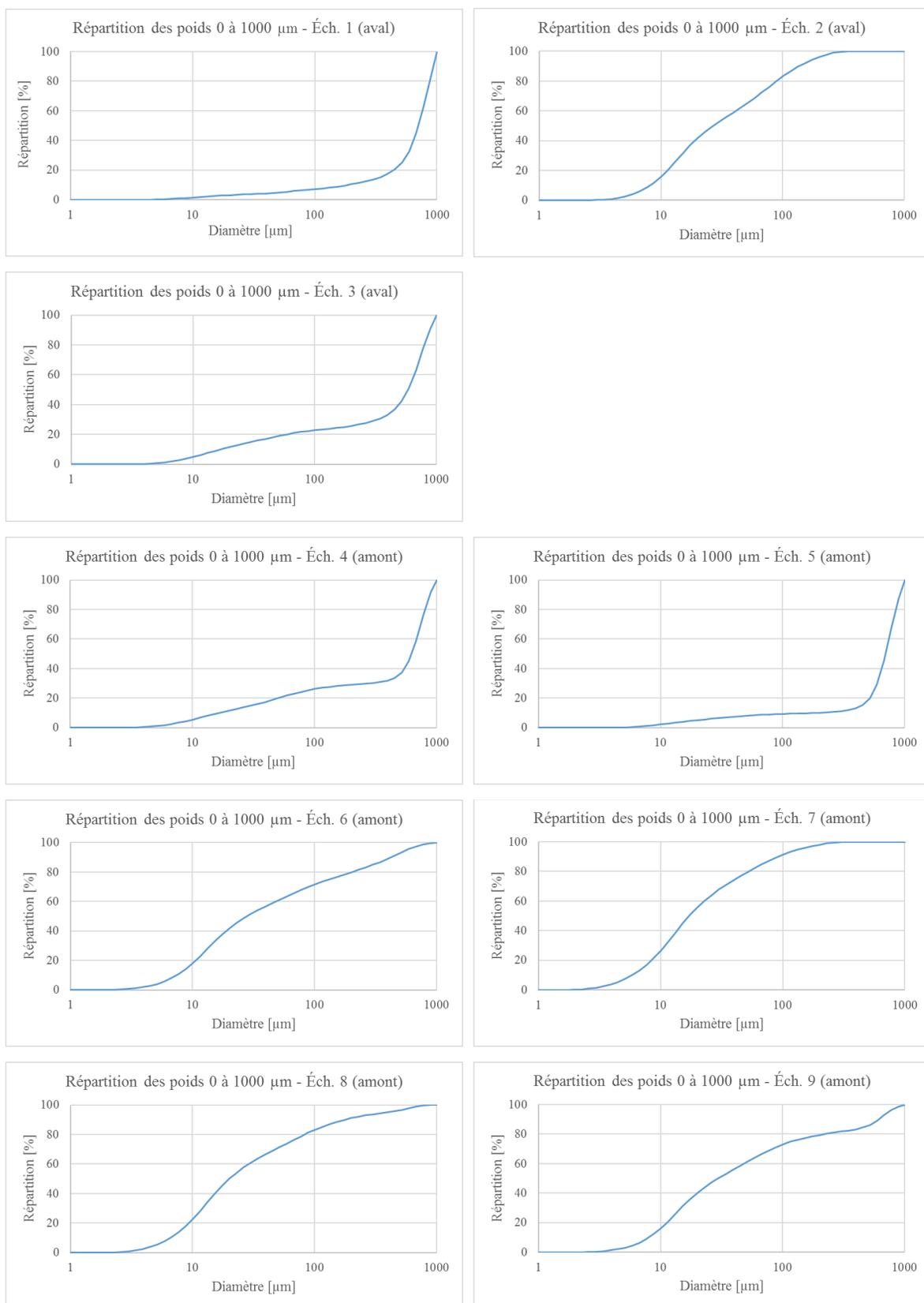
#### **5.4** Caractéristiques des sédiments

Les sédiments sont un enjeu environnemental majeur dans la problématique des impacts induits par les barrages. De ce fait, il est important de connaître la quantité et la qualité des sédiments retenus. Les sédiments peuvent être catégorisés selon leur granulométrie. Cette catégorisation permet d'estimer la portée des impacts des sédiments. Lorsque les particules sont libérées, plus elles sont petites, plus elles sont susceptibles de voyager sur de longues distances. Les particules fines peuvent plus facilement colmater le fond des rivières, les frayères, ainsi que les branchies des poissons. Alors que les particules plus grossières vont endommager prioritairement le périphyton, le benthos et les muqueuses des poissons. C'est pourquoi, les sédiments en amont et en aval du barrage ont été étudiés. Un plan d'échantillonnage a été réalisé et 9 échantillons, 3 en aval et 6 en amont du barrage, ont été prélevés (voir Figure 32). La hauteur d'accumulation de sédiments dans la retenue du barrage a été mesurée et varie entre 5 et 10 cm. Subséquemment, la quantité de sédiments retenus est évalué à approximativement 7 m<sup>3</sup>. Cette valeur n'est pas immuable dans le temps, car des évènements, comme les crues, les changements d'utilisation du sol, modifient leur flux.



**Figure 32 - Plan d'échantillonnage des sédiments**

Les sédiments peuvent être constitués en deux groupes (voir Figure 33). Le premier réunit les échantillons 1, 3, 4 et 5, avec comme caractéristiques une répartition de plus de 70 % des particules dont le diamètre est plus grand que 400  $\mu\text{m}$ . Il est observable qu'entre 800 et 900  $\mu\text{m}$ , l'inclinaison de la pente est à son maximum, ce qui signifie qu'il y a un pic de concentration. Le deuxième groupe réunit les échantillons 2, 6, 7, 8 et 9, avec comme caractéristiques une répartition entre 55 et 70 % des particules dont le diamètre oscille entre 5 et 40  $\mu\text{m}$  et dont le pic de concentration (pente au maximum de son inclinaison) se situe entre 13 et 15  $\mu\text{m}$ . Au-delà de 40  $\mu\text{m}$ , l'inclinaison de la pente diminue gentiment, mais dans certains cas, elle peut à nouveau augmenter.



**Figure 33 – Courbes granulométriques des sédiments en aval (1 à 3) et en amont (4 à 9) du barrage Longchamp**

## 5.5 Qualité de l'eau

L'objectif principal de l'analyse de l'eau est d'évaluer sa qualité à proximité du barrage, de la comparer aux critères environnementaux actuels et de déceler si une différence existe, au niveau qualitatif, entre l'eau de la retenue du barrage et l'eau courante. Deux hypothèses sont émises :

1. Le ruisseau Fourchette devrait contenir d'importantes concentrations d'azote et de phosphore dues aux activités agricoles très présentes sur le territoire;
2. L'eau de la retenue devrait être plus polluée que l'eau courante. Cette différence serait due à la stagnation de l'eau de la retenue. Toutefois, les concentrations en solides en suspension devraient être plus faible pour l'eau de la retenue, car ils disposent plus de temps pour se déposer.

Dans un premier temps, avant l'unique échantillonnage de l'eau au barrage Longchamp qui a eu lieu le 19 septembre 2019, certains paramètres physico-chimiques, tels que la conductivité, l'oxygène dissous, le pH, la salinité et la température, ont été analysés à l'aide d'une multisonde (voir Tableau 6).

**Tableau 6 - Résultats des analyses d'eau du ruisseau Fourchette, en aval du barrage Longchamp, à l'aide de la multisonde**

Paramètres	Mesures
Conductivité [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	403.9
Oxygène dissous [ $\text{mg}/\text{L O}_2$ ]	13.65
pH [-]	8.97
Salinité [ppm]	0.2
Température [ $^{\circ}\text{C}$ ]	12.8

À partir des résultats obtenus, plusieurs constatations sont apparues :

- Premièrement, la conductivité de l'eau du ruisseau fourchette est élevée et correspond à une eau de type minérale ;
- Deuxièmement, la salinité correspond à celle trouvée dans une eau dite douce ;
- Troisièmement, les concentrations en oxygène dissous sont élevées et même supérieures à la limite de saturation pour la température enregistrée. Les raisons de

cette valeur considérable peuvent être dues à une mauvaise calibration de la sonde et/ou à la présence de la chute d'eau du barrage qui doit oxygéner fortement le cours d'eau ;

- Quatrièmement le pH est basique. L'alcalisation des eaux douces est un problème qui a débuté au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle. Les principaux responsables de cette alcalinisation sont les fondants routiers appliqués en hiver, l'agriculture, les eaux usées et les infrastructures en béton soumises à l'érosion provoquée par les précipitations (Kaushal et al. 2018). La pratique agricole étant la plus susceptible à alcaliniser les cours d'eau est le chaulage. Le carbonate de calcium est le principal constituant de la chaux utilisé en agriculture. Il réagit dans les sols ou dans les eaux en capturant des ions H<sup>+</sup>, ce qui a comme répercussion d'augmenter le pH.

Dans un deuxième temps, l'eau en amont et en aval du barrage a été analysée avec des kits de test Hach (voir Tableau 7). Vu qu'il n'y a eu qu'un seul échantillonnage, ces données individuelles n'ont d'intérêt que dans la mesure où elles peuvent nous indiquer des ordres de grandeur.

**Tableau 7 - Résultats des analyses réalisées en amont et en aval du barrage Longchamp grâce aux kits HACH**

Paramètres	Aval	Amont	Critère chronique	Critère aigue
Azote ammoniacal [mg/L NH <sub>3</sub> -N]	0.02	0.04	0.13	0.69
Couleur apparente [Pt-Co]	40	35	-	-
Nitrate [mg/L NO <sub>3</sub> -N]	1.8	2.4	2.9	-
Orthophosphate [mg/L PO <sub>4</sub> ]	0.02	0.05	-	-
Phosphore totale [mg/L P]	<b>0.06</b>	<b>0.12</b>	0.03	-
Solides en suspension [mg/L]	15	2	-	-

Ces analyses ont permis de valider les hypothèses émises, à savoir que :

- Le ruisseau Fourchette contient d'importantes concentration en azote et en phosphore, provenant vraisemblablement des activités agricoles à proximité.
- Les concentrations de ces substances sont plus élevées en amont qu'en aval du barrage. L'explication de cette différence réside dans le fait que ces substances

s'accumulent dans la retenue. Les concentrations en phosphore totale dépassent même le critère chronique de toxicité.

- Les concentrations en solides en suspension sont plus importantes en aval qu'en amont du barrage, car les solides en suspension ont le temps de se déposer dans la retenue.

Il est à noter que la couleur apparente en amont et en aval du barrage est qualifiée comme étant entre une eau claire (< 10 Pt-Co) et une eau très foncée (> 100 Pt-Co) (O'Neill et al., 1994).

Il faut également souligner que cet échantillonnage ne s'échelonne malheureusement pas sur différents jours et différentes saisons. Ainsi, les résultats n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent pas constituer une preuve scientifique permettant d'établir que les eaux dans la retenue du barrage sont plus polluées ou au contraire moins polluées que les eaux courantes, ni d'affirmer que les eaux du ruisseau Fourchette sont de mauvaise qualité et que cette mauvaise qualité serait à imputer aux activités agricoles.

## **6 Résultats : proposition de scénarios envisageables quant à l'avenir du barrage Longchamp**

Dans cette étude, cinq scénarios ont été envisagés et étudiés : le statu quo, les passes à poisson, l'arasement, l'abaissement partiel et la désobstruction de la conduite. L'évaluation des impacts sur l'environnement et les coûts de ces scénarios sont répertoriés dans le tableau 8, au chapitre 5.2.6. Les coûts exacts de ces scénarios n'ont pas pu être chiffrés, car ils auraient nécessité l'établissement de devis par des entreprises spécialisées dans ce genre de travaux. Il faut préciser que les travaux liés aux scénarios devraient être réalisés en dehors des périodes de fraie des communautés de poissons présentes, soit de la fin de l'automne au début du printemps.

### **6.1 Le statu quo**

Le statu quo consiste à ne rien entreprendre. L'avantage de ce scénario est son coût nul. Cependant, le barrage étant vieillissant et de surplus endommagé, si aucune restauration n'est entreprise, il existe un risque d'effondrement dans un futur proche; prendre aucune mesure équivaut à retarder son inévitable désagrégation. Sans compter qu'une remise en état du site après sa destruction engendrerait des coûts non négligeables. D'un point de vue environnemental, ce scénario ne permettrait pas à la faune aquatique de circuler librement, aux sédiments de transiter naturellement et de redonner au ruisseau Fourchette sa morphologie d'origine. Au niveau environnemental, ce scénario serait le moins bon.

### **6.2 La passe à poisson**

Ce scénario consiste à installer une échelle à poisson amovible afin de permettre aux poissons de franchir le barrage. Cet aménagement serait installé à la fin des crues au printemps et serait démonté juste avant l'hiver, lorsque la période de fraie des ombles de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) seraient terminées et qu'ils seraient redescendus à leurs lieux de développement. Le scénario d'une passe à poisson non amovible n'a pas été retenu, car les coûts de construction et d'entretien auraient été importants. Le but de la mobilité de cet aménagement est de réduire les coûts de construction et de pouvoir le démonter avant que les crues et les mouvements de glaces printanières endommagent l'infrastructure.

Il existe plusieurs types de passes à poisson : les passes à bassins, les passes à ralentisseurs, les passes naturelles, les ascenseurs et écluses, les passes à anguilles, etc ... Chacun de ces types de passes a des avantages et des inconvénients. La mobilité et l'utilité selon les espèces de poissons pouvant l'utiliser réduisent les choix possibles. Les passes à ralentisseurs et les passes à bassins sont les plus appropriées en fonction de la mobilité qu'elles offrent et des caractéristiques du lieu. Les passes à bassins successifs sont avantageuses par rapport aux passes à ralentisseurs, car elles sont moins sélectives quant aux espèces de poissons pouvant l'utiliser (Larinier, 1983).

Les dimensions des bassins dépendent des conditions hydrodynamiques. En effet, plus l'agitation de l'eau dans les bassins est importante, plus la difficulté du passage des poissons d'un bassin à l'autre augmente. Cette agitation est quantifiée par la puissance dissipée volumique (VNF, 2008) :

$$Pv = \rho * g * Q * DH/V$$

Où

$Pv$  : Puissance dissipée volumique

$\rho$  : masse volumique de l'eau

$g$  : accélération de la pesanteur

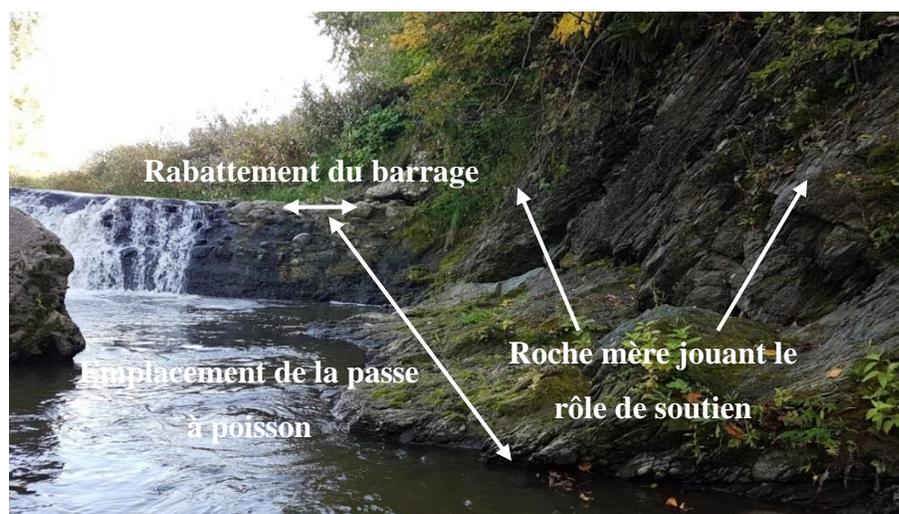
$Q$  : débit dans l'ouvrage

$DH$  : différence d'hauteur entre bassins

$V$  : volume dans le bassin

La puissance dissipée volumique se situe aux environs de 200 watts/m<sup>3</sup> pour les salmonidés et 150 watts/m<sup>3</sup> pour les espèces aux capacités de nage plus réduites (VNF, 2008). Généralement, la pente des passes à bassins varie entre 10 et 15 % (Larinier et al., 1993). Quant à leur forme, elle varie selon la place disponible et le mode de communication entre bassins. Lors de la création d'une passe à poisson, il est important d'éviter le déversement d'un bassin à un autre sans qu'au préalable une dissipation suffisante d'énergie soit possible. Si cette condition n'est pas réalisée, l'eau heurtera violemment les parois, ce qui pourrait alors perturber le comportement des poissons (VNF, 2008).

L'emplacement potentiel de la passe à poisson amovible se situe à droite du barrage lorsqu'on le regarde depuis l'aval. Cet emplacement a été choisi, car le barrage a une hauteur plus basse à cet endroit, une largeur suffisante et la roche mère peut jouer un rôle de soutien. Pour installer la passe à poisson, il est nécessaire d'entreprendre quelques travaux préliminaires ; premièrement, il faut rabattre localement le barrage d'une quinzaine de centimètres pour que l'eau puisse s'écouler naturellement, deuxièmement, il faut implanter des fixations dans la roche mère afin qu'elle puisse soutenir la passe (voir Figure 34).



**Figure 34 - Photographie de l'emplacement potentiel de la passe à poisson**

Ce scénario comporte comme désavantages de continuer à entraver la libre circulation des sédiments, de ne pas rétablir la morphologie et l'hydrologie du ruisseau Fourchette et de ne pas permettre l'élimination de tout risques liés à un effondrement futur, quasiment inévitable. Cependant, il a l'avantage de conserver le témoignage du patrimoine historique de la commune de Saint-Isidore.

### **6.3 L'arasement**

L'arasement du barrage Longchamp est le scénario le plus bénéfique pour l'environnement, mais sûrement le plus onéreux. Ce scénario permettrait la libre circulation des espèces aquatiques et des sédiments, il rétablirait la morphologie et l'hydrologie du ruisseau Fourchette et permettrait d'éliminer tout risques liés à un effondrement futur inéluctable.

La destruction du barrage devrait se réaliser en plusieurs étapes. Initialement, il serait conseillé d'effectuer une étude sur la stabilité du barrage qui devrait être garantie en toute circonstance et en tout temps pendant les travaux. Puis, il faudrait préparer le site afin de permettre l'accès à la machinerie, aménager une aire de travail et de stockage des déchets. Ensuite, la phase de démantèlement stricto sensu pourrait commencer. La technique de démolition choisie par le maître d'œuvre en charge des travaux serait assurément la démolition mécanique, car elle est la plus courante pour des barrages de faibles envergures. Les gravats devraient être évacués, le site remis en état et les berges stabilisées. Le volume de gravats engendrés par l'arasement du barrage est estimé à environ 250 m<sup>3</sup>.

#### **6.4 L'abaissement partiel**

Ce scénario consiste à abaisser la hauteur de la partie gauche du barrage lorsqu'on le regarde depuis l'aval (voir Figure 35). Cette partie est celle qui est la moins stable. Son élimination limiterait fortement les risques liés à un effondrement du barrage et permettrait également l'abaissement de la chute d'eau qui deviendrait franchissable par les poissons. La distance entre le haut du barrage devenu plus bas et le sol mesurerait environ 70 centimètres. Cette hauteur n'équivaldrait pas à la hauteur de la nouvelle chute d'eau, car la hauteur du niveau d'eau créée en contrebas devrait être prise en considération. Les aspects négatifs environnementaux de ce scénario seraient que le transit des sédiments, la morphologie et l'hydrologie du ruisseau Fourchette ne seraient pas rétablis. L'élément positif de ce scénario serait que la partie du barrage conservée permettrait de conserver un témoignage du patrimoine historique de la commune de Saint-Isidore.



**Figure 35 - Partie du barrage abaissée**

La démolition de cette partie du barrage nécessiterait différentes étapes, soit la préparation du site, les travaux proprement dit de destruction, l'évacuation des déchets et enfin la remise en état du site. Le volume de gravats engendrés par l'abaissement du barrage est estimé à plus de 150 m<sup>3</sup>. Toutefois, les coûts liés aux travaux d'abaissement devraient être moins élevés que ceux liés aux travaux d'arasement complet du barrage.

### **6.5 Désobstruction de la conduite**

Le barrage Longchamp comporte une conduite bouchée (voir Figure 36) dans sa partie gauche lorsqu'on le regarde depuis l'aval. Les dimensions approximatives de cette conduite sont : 60 centimètres de largeur, 45 centimètres de hauteur et plus de 200 centimètres de profondeur. Du côté aval du barrage, elle a été obturée à l'aide de ciment et du côté amont, l'entrée de la conduite est bloquée par un enrochement naturel (voir Figure 36). Pour remettre en service cette conduite, il serait donc nécessaire de supprimer le bouchon de ciment et de dégager une partie de l'enrochement. Avant la réalisation de ce scénario, il faudrait calculer la pression et la vitesse de l'eau dans la conduite débouchée afin de déterminer si elle serait utilisable par la faune aquatique. L'obtention de ces paramètres demanderait une étude hydraulique détaillée et si les conclusions de cette étude sont positives, il serait alors pertinent de prendre en considération ce scénario. La désobstruction de la conduite permettrait également le passage d'une grande partie des sédiments mais ne rétablirait pas la morphologie et l'hydrologie du ruisseau Fourchette. Par ailleurs, ce scénario conserve le

risque lié à un effondrement futur, mais conserve également le patrimoine historique de la commune de Saint-Isidore.



**Figure 36 - Photographies de la conduite du barrage Longchamp**

## 6.6 Synthèse de l'évaluation environnementale et examen approximatif des coûts des scénarios

Le scénario qui a le meilleur impact sur l'environnement est l'arasement du barrage (voir Tableau 8). Cependant, qu'il ait le désavantage d'être le plus onéreux à court terme, sur le long terme il aurait l'avantage d'être le plus sûr et le plus économique. La passe à poisson et la désobstruction de la conduite ont l'avantage d'avoir un coût initial faible, mais, à long terme, ont un coût lié à leurs entretiens non négligeables. De plus, si le barrage devait céder, les coûts liés à la restauration du site seraient importants, ce qui pourrait rendre ces scénarios nettement moins attractifs. D'un point de vue environnemental, ces deux scénarios permettent la libre circulation des poissons mais sont inadéquats en ce qui concerne les autres critères. Cette évaluation est également pertinente pour le scénario d'abaissement du barrage, qui a un coût initial important mais ne comporte pas de coût d'entretien. En abaissant le barrage, le risque que celui-ci s'écroule est fortement réduit, il en va de même des coûts liés à la restauration du site si l'écroulement se déroulait. Finalement, le statu quo est le pire scénario au niveau environnemental. Compte-tenu que le barrage Longchamp est vieillissant et endommagé, s'il était décidé de le conserver, une restauration devrait être entreprise, car le risque qu'il s'effondre dans un futur proche est majeur. La remise en état du site après sa destruction engendrerait des coûts certainement dispendieux.

Il est à noter que les coûts monétaires sont difficiles à quantifier et de ce fait, l'estimation des coûts réalisée est qualitative. Elle a été basée sur différents critères, comme par exemple les volumes à démolir, le type de travaux à effectuer, et sur les exemples de cas trouvés à l'étranger. En ce qui concerne les critères environnementaux, ils ont été choisis selon les principaux impacts du barrage Longchamp sur son milieu et selon les attentes du Conseil du bassin de la rivière Etchemin qui aspire à une restauration de la continuité du ruisseau Fourchette et à une réhabilitation des habitats visant à une meilleure qualité de ceux-ci. Grâce à ces critères, l'efficacité environnementale des scénarios a pu être comparée. Elle a été évaluée pour chacun en se basant sur les résultats obtenus dans d'autres études similaires décrites dans la littérature scientifique et en menant une réflexion approfondie.

**Tableau 8 – Tableau récapitulatif de l'évaluation environnemental et des coûts des scénarios**

Scénarios	Environnements			Coûts	
	Circulation des espèces aquatiques	Transit sédimentaire	Hydrologie et morphologie	Initial	Entretien
Statu quo	-	-	-	-	+++
Passe à poisson	++	-	-	++	+
Arasement	+++	+++	+++	+++	-
Abaissement	++	+	-	++	-
Désobstruction de la conduite	++	+	-	+	+

- : absence d'évolution  
Abscisse de l'environnement : + amélioration faible ; ++ amélioration moyenne ; +++ amélioration significative  
Abscisse des coûts : + faible coût ; ++ coût moyen ; +++ coût important

## 7 Discussion

Ce travail s'oriente vers l'examen de quatre différents axes. Le premier porte sur les impacts environnementaux des barrages à faible contenance. La recherche de la littérature scientifique pour ce type de barrage a été laborieuse, car la communauté scientifique s'intéresse surtout aux barrages à forte contenance. Seules, quelques études se sont penchées sur les impacts des barrages à faible contenance, dont les principaux identifiés sont :

- La modification physique du cours d'eau, qui influence à son tour la composition biotique ;
- La suppression de la libre circulation des espèces aquatiques, qui empêche les espèces migratoires d'accomplir complètement leurs cycles de vie ;
- Le déversement soudain de sédiments lors du curage de la retenue du barrage ;
- La rétention des polluants qui s'accumulent dans les sédiments de la retenue du barrage.

Certains de ces effets peuvent être réduits par certaines mesures. Par exemple : la libre circulation peut être restaurée grâce à une passe à poisson ; le curage peut être réalisé pendant la période de l'année où le débit naturel est au plus haut et hors des périodes de frai et de développement des espèces aquatiques.

Cependant, les barrages, comme tout autres activités anthropiques, ont des répercussions sur l'environnement, il est important d'en être conscient, de chercher et d'appliquer des procédés, des moyens pour en limiter l'intensité.

Le second axe porte sur les processus de démantèlement des barrages à faible contenance. D'après les recherches effectuées, plusieurs techniques de démolition peuvent être utilisées, mais la plus usuelle est la démolition mécanique. Elle recourt à des engins de destruction telles que la boule de démolition actionnée par une grue, le marteau-piqueur et le brise-roche hydraulique connecté à l'extrémité du bras articulé d'une pelleteuse. Mais quels que soient la technique ou l'engin choisis, les travaux de démolition commencent habituellement par une préparation du site et finissent par une remise en état des lieux.

Le troisième axe examine des cas de démantèlement de barrages à faible contenance en Europe et en Amériques du Nord. L'étude de ces cas a mis en évidence différentes

connaissances, comme : les techniques de démolition ordinairement employées, les problèmes rencontrés, les solutions appliquées, les coûts engendrés.

Le quatrième, le dernier axe, porte sur la caractérisation du barrage Longchamp et de son milieu. Cette partie est centrale dans ce travail, car elle révèle les effets du barrage sur son milieu et les enjeux induits par les divers scénarios. Les études réalisées ont permis d'établir plusieurs constats :

- Le premier est qu'il y a une différence importante dans la diversité de l'ichtyofaune entre l'amont et l'aval du barrage ;
- Le second est que la quantité de sédiment contenue dans la retenue est suffisamment faible pour ne pas être un facteur discriminant pour les scénarios d'abaissement et de destruction du barrage ;
- Le troisième est que le barrage ne constitue pas une limitation à la propagation des plantes envahissantes, car elles ont été repérées aussi bien en amont, qu'en aval de cet ouvrage;
- Le quatrième est que l'analyse de l'eau a décelé d'importantes concentrations en phosphore, provenant vraisemblablement des activités agricoles à proximité et une différence de concentrations des substances présentes en amont et en aval du barrage.

Ce barrage n'est pas la principale source de pollution du ruisseau Fourchette, mais il contribue à sa dégradation en accumulant des substances nocives dans sa retenue. Si l'on souhaite améliorer et augmenter la biodiversité aquatique de ce ruisseau, il est important d'entreprendre des actions visant à réduire à leurs sources, l'émission de polluants. Les actions possibles seraient d'augmenter l'espace qui protège le ruisseau communément appelé zone tampon, de prendre en considération les conditions climatiques avant l'épandage de fumier, d'améliorer les plans de gestion de la fertilisation des terres agricoles en calculant les quantités d'engrais à utiliser en fonction du bilan nutritionnel du sol.

Les connaissances transmises par ces quatre axes ont généré une réflexion sur l'avenir du barrage Longchamp. Cette réflexion a engendré l'élaboration de plusieurs scénarios qui ont été évalués. Les critères environnementaux ont été sélectionnés afin d'évaluer le potentiel de leur continuité écologique. Celle-ci se définit par la libre circulation des espèces aquatiques, par un transit sédimentaire naturel et par une hydrologie proche des conditions naturelles. En ce qui concerne les critères économiques, ils portent sur les coûts des travaux et de l'entretien.

En fonction de l'évaluation et des critères choisis, le scénario le plus approprié serait l'arasement du barrage, car il permet non seulement de rétablir la continuité écologique mais également de restaurer le transit sédimentaire, l'hydrologie et la morphologie du ruisseau Fourchette. Les travaux devraient être réalisés en dehors de la période de fraie des espèces de poissons présents, soit dès la fin de l'automne jusqu'au début du printemps. Il serait également envisageable qu'une partie du barrage soit conservée afin de préserver une trace du patrimoine historique de la commune de Saint-Isidore. Le seul désavantage de ce scénario serait son coût important. Mais, après la fin des travaux, ce désavantage pourrait être compensé par la suppression de toute autre dépense.

Un regret est que dans cette étude, les implications des différents scénarios sur l'avifaune, l'herpétofaune et les mammifères n'aient pas pu être traités, car le temps et les moyens à ma disposition ne le permettaient pas. Pour ces mêmes raisons, un autre enjeu n'a pas été abordé qui est la qualité des sédiments. Il serait intéressant de poursuivre cette étude en explorant ces différents aspects. Un autre paramètre pourrait être également plus approfondi. Il s'agit de la qualité de l'eau. En effet, l'eau a été analysée qu'une seule fois. Ainsi, les résultats obtenus ne sont pas généralisables et ne constituent pas une preuve scientifique. Pour qu'ils soient plus représentatifs, il aurait été nécessaire d'analyser l'eau sur une plus longue durée.

À ce stade de l'étude, la prochaine étape est d'établir les coûts des différents scénarios en demandant des devis à différentes entreprises compétentes, une fois ceux-ci estimés, les critères de choix d'un scénario seraient plus étayés. Lorsque le scénario choisi a été mis en place, il serait intéressant de suivre son efficacité environnementale, par exemple, en étudiant la différence de fluidité du transit sédimentaire et le rétablissement de la libre circulation des espèces aquatiques. Il est à noter qu'une fois les modifications ou la destruction du barrage réalisées, il sera obligatoire d'en informer le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

## 8 Conclusion

Le barrage Longchamp est un barrage à faible contenance vétuste, inutile et responsable de détériorations environnementales. Une des principales problématiques produites est la grande différence existante entre la diversité d'espèces de poisson vivant à proximité de l'amont et de l'aval du barrage. En amont, il ne subsiste plus qu'une seule espèce de poisson ; le mulot à corne, alors qu'en aval, six espèces sont recensées, dont le bec-de-lièvre qui a un statut d'espèce préoccupante. Le rétablissement de la continuité écologique permettrait aux becs-de-lièvre d'augmenter leurs aires de répartition et aux ombles de fontaines de migrer pour se reproduire. Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs scénarios ont été élaborés. Le scénario le plus performant du point de vue environnemental est l'arasement du barrage. Il permet non seulement de rétablir la continuité écologique mais également de restaurer le transit sédimentaire, l'hydrologie et la morphologie du ruisseau Fourchette. Un autre scénario intéressant et pertinent est la désobstruction de la conduite, car elle permettrait la libre circulation des espèces aquatiques. Le coût de ce scénario serait modeste mais la désobstruction de la conduite nécessiterait, avant sa mise en œuvre, une étude hydraulique détaillée (débit, vitesse de l'eau, pression, etc.).

Ordinairement, lors du démantèlement d'un barrage, la gestion des sédiments est la considération environnementale la plus importante et la plus difficile à réaliser sur le plan technique (USSD, 2015). Ainsi, cette tâche peut représenter une part importante du budget total du projet, d'autant plus si les sédiments sont pollués par une source anthropique ou naturelle. Les sédiments maintenus par le barrage Longchamp ne présentent pas cette complication, car leur accumulation dans la retenue est très faible. La hauteur de l'accumulation varie entre 5 et 10 centimètres, pour un volume estimé à  $7 \text{ m}^3$ . Bien que leur qualité chimique n'ait pas été analysée, au vu de la quantité de sédiments présents, leurs impacts devraient être négligeables. Il faut souligner que d'un point de vue technique, il serait difficile de récolter une si faible hauteur de sédiment. C'est pourquoi, aucune mesure les concernant ne devrait être prévue.

Pour conclure, sur un plan professionnel, ce travail m'a permis de me familiariser avec le logiciel Arc GIS, d'acquérir des connaissances sur la gestion des barrages à faible contenance

et d'examiner les différents impacts environnementaux générés par ces ouvrages. Cet essai m'a également permis d'élargir mes connaissances sur les milieux aquatiques québécois, d'accroître mes compétences en recherche de documentations pertinentes, de développer mes capacités à communiquer, à collaborer avec différents partenaires, d'organiser mon travail et de conduire de manière autonome une étude de faisabilité d'un projet.

## 9 Références

AECOM 2016. Aménagement de Parent. Démantèlement de l'aménagement de parent – Description des milieux physique, biologique et humain. Rapport de caractérisation environnementale. Préparé pour Hydro-Québec Production. 286 p. et annexes.

AECOM 2019. Démantèlement de l'aménagement de Parent. Suivi de la frayère à l'amont du point de référence 84, de l'érosion des tributaires T-04 et T-05 et de la bathymétrie de l'ancien bief aval. Rapport de suivi. Préparé pour Hydro-Québec. 59 p. et annexes.

AECOM 2020. Démantèlement de l'aménagement de Parent. Suivi 2019 de la végétation aquatique et riverain des deux anciens biefs. Rapport présenté à Hydro-Québec. Version finale. 98 p. et annexes.

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Isère : Après 100 ans d'existence, le barrage de Séchilienne est démantelé. [En ligne] Consulté le 09 octobre 2019 :

[https://www.sauvonsleau.fr/jcms/e\\_17600/isere--apres-100-ans-d-existence-le-barrage-de-sechilienne-est-demantele#.XZ4A51VKipo](https://www.sauvonsleau.fr/jcms/e_17600/isere--apres-100-ans-d-existence-le-barrage-de-sechilienne-est-demantele#.XZ4A51VKipo)

Ashton M. J. et J. B. Layzer 2008. Distribution of the threatened snail darter (*Percina Tanasi*) in the upper Tennessee River drainage. *Journal of the Tennessee Academy of Science* 83 (3-4), 52 à 56 p.

Baxter R.M. et P. Glaude 1980. Les effets des barrages et des retenus d'eau sur l'environnement au Canada : expérience et perspectives d'avenir. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 205F: 36 p.

Bilotta G. S. et R. E. Brazier 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, Vol. (42), Issue 12, 2849 à 2861 p.

Chen Y. H. et D. B. Simons 1979. An experimental study of hydraulic and geomorphic changes in an alluvial channel induced by failure of a dam. *Water Resources Research*, Vol. (15), Issue 5, 1183 à 1188 p.

Chen J., P. Wang, C. Wang, X. Wang, L. Miao, Liu S. et Q. Yuan 2018. Bacterial communities in riparian sediments : a large-scale longitudinal distribution pattern and response to dam construction. *Frontiers in microbiology* vol. 9 999.

Conseil du bassin de la rivière Etchemin (CBE) 2012. Rapport d'opération des pêches réalisées en 2012 dans les bassins versants de la Zone Etchemin et Lévis-Est.

Conseil du bassin de la rivière Etchemin (CBE) 2013. 55 000 œufs d'omble de fontaine et 22 000 truitellesensemencés dans le bassin versant du ruisseau Fourchette.

Conseil du bassin de la rivière Etchemin (CBE) 2017. Cartes thématique. [En ligne] Consulté le 01 octobre 2019 : <https://cbetchemin.qc.ca/documentation/carte-thematique/>

Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC, 2013). Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le Bec-de-Lièvre (*Exoglossum maxillingua*) au Canada. Ottawa. Xi + 38 p.

Doeg T. J. et G. A. Milledge 1991. Effect of experimentally increasing concentration of suspended sediment on macroinvertebrate drift. *Marine and freshwater research*, 42 (5), 519 à 526 p.

Ferland-Blanchet C. 2013. Le CBE et le projet Ruisseau Fourchette : des actions concertées pour un cours d'eau en santé ! [En ligne] Consulté le 01 octobre 2019 : <http://www.robvq.qc.ca/tempo/article?article=172>

FitzHugh T.W. et R. M. Vogel 2010. The impact of dams on flood flows in the United States. *River Research and Applications*, 27 (10), 1192 à 1215 p.

Fondation de la faune du Québec (FFQ) et Ministère de l'environnement et de la faune (MEF) 1996. Habitat du poisson. Guide de planification, de réalisation et d'évaluation d'aménagements. *Fondation de la faune du Québec*, Québec, 152 p.

Ghannem I. 2011. Analyse et caractérisation d'un évènement important de l'histoire météorologique récente du Québec : l'ouragan Irène. *INRS*, 86 p.

Ghitzhusen 2012. 5th Avenue Dam – the hoe ram is gaining momentum... [En ligne] Consulté le 31.10.2019 : <https://www.youtube.com/watch?v=KmdMJpFH3BM>

Gouvernement du Canada 2004. Critères quantitatifs et lignes directrices du COSEPAC pour l'évaluation de la situation des espèces : tableau 2. [En ligne] Consulté le 18.05.2020 : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/especes-peril-loi-accord-financement/processus-inscription/criteres-quantitatifs-lignes-directrices-situation-tableau-2.html>

Goyette Noël M.-P. 2013. La protection des écosystèmes touchés par la gestion des ouvrages de retenue des eaux. *Université de Sherbrooke*, 193 p.

Gruner E. 1963. Dam disasters. *Proceedings of the institution of civil engineers*, Vol. 24, Issue 1, 47 à 60 p.

Hydretudes 2015. Torrent de la Romanche. Démantèlement du barrage de Séchilienne. Dossier réglementaire, 191 p.

Hydro-Québec 2017. Démantèlement du barrage de Parent. Info-travaux, printemps 2017. 2 p.

Junk W., P.B. Bayley et R. E. Sparks 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* 106, 110 à 127 p.

Kabeer H. A. et S. Parveen 2014. Spatial variation of benthos in fresh water and abiotic factors influencing their distribution. *International journal of current microbiology and applied sciences* volume 3 number 6, 211 à 221 p.

Kaushal S. S., G. E. Likens, M. L. Pace, R. M. Utz, S. Haq, J. Gorman et M. Grese 2017. Freshwater salinization syndrome on a continental scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 (4), 574 à 583 p.

Kronvang B., A. Laubel, S. E. Larsen et N. Friberg 2003. Pesticides and heavy metals in Danish streambed sediment. *Hydrobiologia*, 494 (1-3), 93 à 101 p.

Laïbi R. A., A. Gardel, E. J. Anthony, L.-M et Oyede 2012. Apport des séries d'images landsat dans l'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'embouchure de l'estuaire des fleuves Mono et Couffo au Bénin, avant et après la construction du barrage de Nangbéto sur le Mono. Télédétection, *Éditions des archives / Éditions scientifiques GB / Gordon and Breach scientific publishers*, 10 (4), 179 à 198 p.

Larinier M. 1983 Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs. *Bulletin français de la pisciculture*, 1 à 39 p.

Larinier M., C. Gosset, F. Travade et J.-P. Porcher 1993. Passes à poissons : expertise et conception des ouvrages de franchissement. *Collection mise au point*, 1. Conseil supérieur de la pêche : Paris. 336 p.

Le Delliou P. 2003. Les barrages : conception et maintenance. *Presses Universitaires Lyon*, 270 p.

Legault M., J. Benoît et R. Bérubé. 2004. Boreal shield watersheds: Lake trout ecosystems in a changing environment. Chapter five : Impact of new reservoirs. Edité par J.M. Gunn, R.J. Steedman et R.A. Ryder, 502 p.

Mark R. K. et D. E. Stuart-Alexander 1977. Disasters as a necessary part of benefit-cost analyses. *Science*, 197 (4309), 1160 à 1162 p.

Meile T. 2006. Le marnage dans les cours d'eau. *Eawag News* 61f/Novembre, 28 à 29 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) 2011. Ruisseau Fourchette. Bassin versant de la rivière Etchemin, 3p.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). 2019a. Sécurité des barrages. Lois et règlements. [En ligne] Consulté le 03.10.2019 : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/securite-barrages/lois-reglements.htm>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). 2019b. Normales climatiques du Québec 1981-2010. [En ligne] Consulté le 02.10.2019 : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/normales/sommaire.asp?cle=7020567>

Morency E. et A. Grondin 2014. Les barrages anthropiques : enjeux et responsabilités municipales. Forum national sur les lacs, 23 p.

Neu H. J. A. 1976. Runoff regulation for hydro-power and its effect on the ocean environment. *Hydrological Sciences Bulletin*, 21(3), 433 à 444 p.

Newcombe C. P. et D. D. Macdonald 1991. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North American journal of fisheries management*, 11(1), 72 à 82 p.

Nielsen C., H. P. Ravn, W. Nentwig et M. Wade 2005. The Giant Hogweed Best Practice Manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe. *Forest et Landscape Denmark*, Hoersholm, 44 p.

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) 1994. Conséquences écologiques des curages dans les bassins de retenue. 47 p.

O'Neill H. J., M. McKim, J. Allen et J. Choate 1994. Surveillance de la qualité des eaux de surface. Guide à l'intention des citoyens, des étudiants et des communautés du Canada atlantique. *Environnement Canada*. 107 p.

Principe R. E. 2010. Ecological effects of small dams on benthic macroinvertebrate communities of mountain streams (Córdoba, Argentina). *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 46, 77 à 91p.

Purcell L. T. et R. S. Weston 1939. The aging of reservoir. *Journal (American Water Works Association)*, Vol. 31, N° 10, 1775 à 1806 p.

Rofes G., F. Trocherie, O. Garat, M. Vallon et H. Cardinal 1991. Caractérisation des sédiments des retenues pour la prévision des risques écotoxicologiques liés aux vidanges. *Revue des sciences de l'eau*, Vol (4), Issue 1, 65 à 82 p.

Rosenberg D. M. et A. P. Wiens 1978. Effects of sediment addition on microbenthic invertebrates in a Northern Canadian river. *Water Research*, 12 (10), 753 à 763 p.

Santos O. S. H., F. C. Avellar, M. Alves, R. C. Trindade, M. B. Menezes, M. C. Ferreira, G. S. França, J. Cordeiro, F. G. Sobreira, I. M. Yoshida, P. M. Moura, M. B. Baptista et M. R. Scotti 2019. Understanding the environmental impact of a mine dam rupture in Brazil : prospects for remediation. *Journal of environmental quality*, Vol. 48, Issue 2, 439 à 449 p.

Sibert J. 1979. Detritus and juvenile salmon production in the Nanaimo Estuary : II. Meiofauna available as food to juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*). *J. Fish. Res. Board Can.* 36 : 497 à 503 p.

St-Isidore 1979. St-Isidore, Dorchester. 150 ans d'histoire. *Imprimerie Le Guide Inc.*, Ste-Marie, 566 p.

Syndicat d'Assainissement du Canton de l'Oisans et de la Basse Romanche (SACO). 2012. Contrat de rivière Romanche. Dossier définitif, 35 p.

Tiley G. E. D., F. S. Dodd et P. M. Wade 1996. *Heracleum Mantegazzianum* Sommier et Levier. *Journal of Ecology*, vol. 84, n° 2, 297 à 319 p.

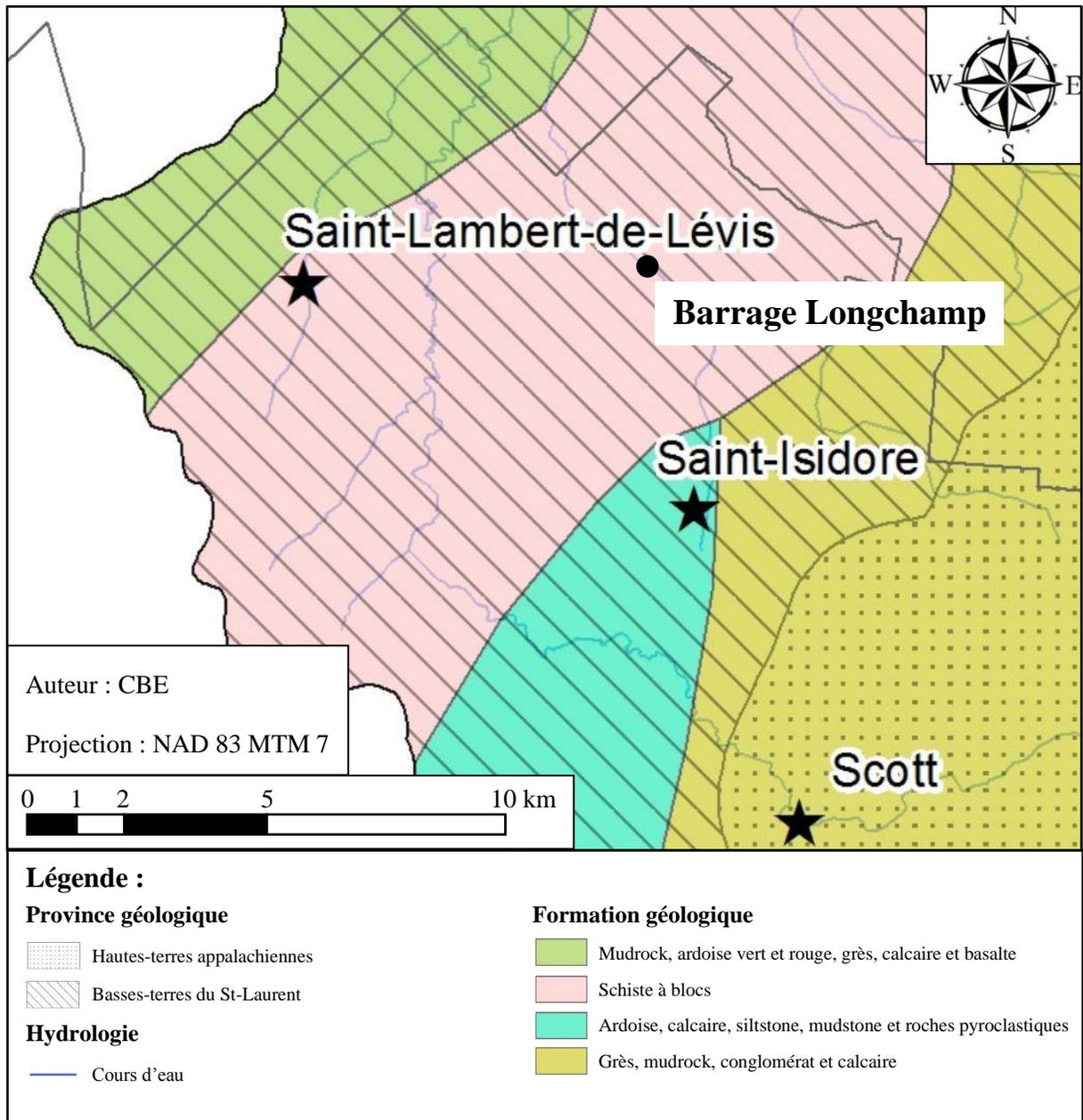
United States Society on Dams (USSD) 2015. Guidelines for dam decommissioning projects. 207 p.

Voies Navigables de France (VNF) 2008. Guide passes à poissons. 78 p.

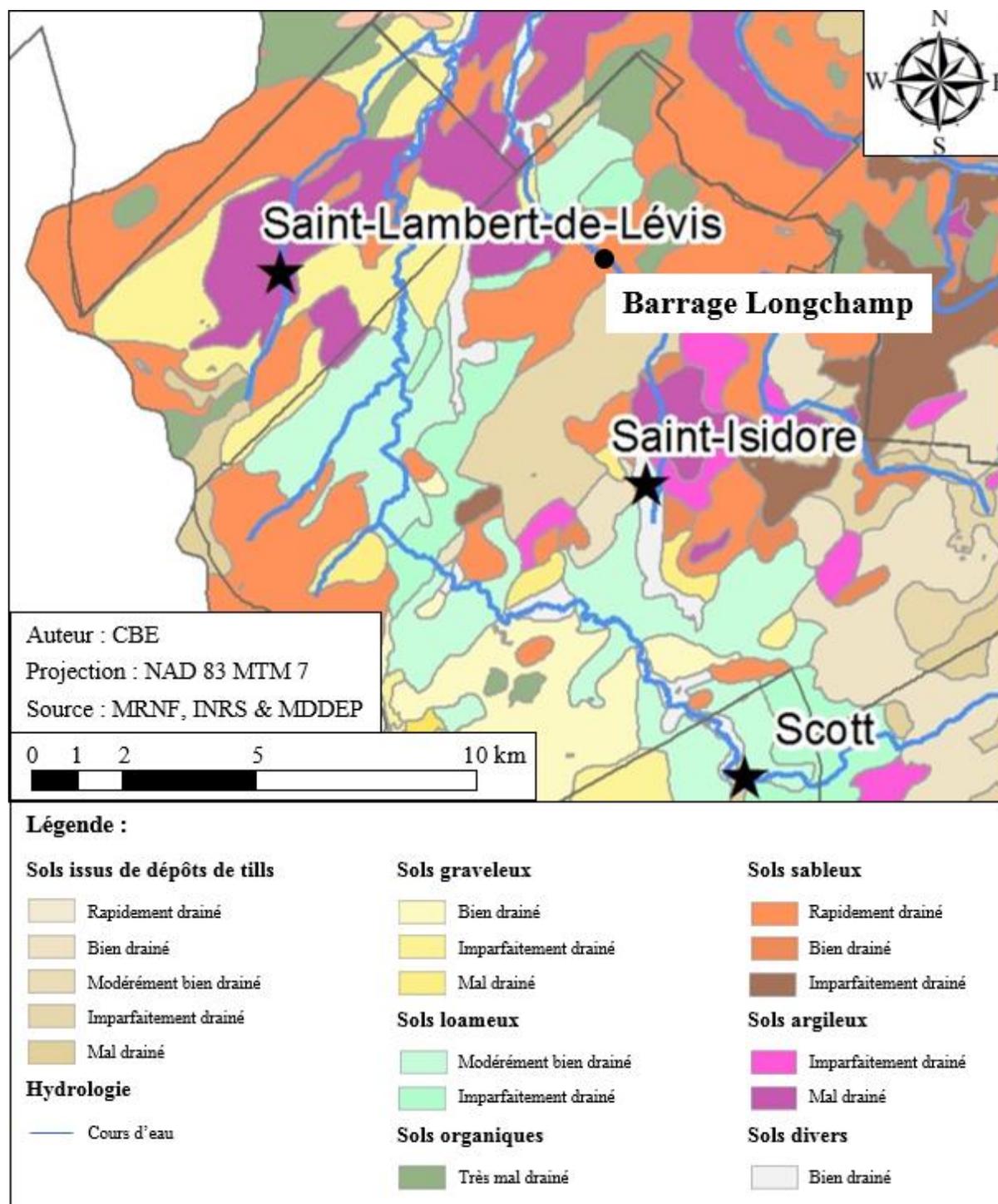
Yosemite National Park. 2005. Cascades diversion Dam Removal. National Park Service U.S. Department of the Interior, 2 p.

## Annexes

### Annexe 1 : Géologie de la zone du barrage Longchamp



## Annexe 2 : Pédologie de la zone du barrage Longchamp



**Annexe 3 : Photographies des bourolles, du verveux et des poissons capturés****Bourolles en aval du barrage Longchamp****Bourolles en amont du barrage Longchamp****Bourolle en préparation****Verveux en aval du barrage Longchamp**



**Bec-de-lièvre**



**Méné à nageoires rouges**



**Meunier noir**



**Mulet à cornes**



**Naseux noir**



**Naseux des rapides**



**Levage d'une bourolle**



**Sceau accueillant les poissons**

#### Annexe 4 : Tableau récapitulatif des espèces capturées et leurs tailles

##### Espèces et tailles des poissons capturés à l'aide des deux bourolles en aval du barrage

Bec-de-lièvre [cm]	Méné à nageoires rouges [cm]	Meunier noir [cm]	Mulet à cornes [cm]	Naseux des rapides [cm]	Naseux noir [cm]
9,5	4,4	12	8,1	5,7	5,2
7,7	5,5	13	10,2	5,9	5,2
7,5	5,7			6,4	5,3
	7,3			6,4	5,6
	7,4			6,9	5,6
	8				6,2
	8,1				6,6
	8,1				7
	9,1				

##### Espèces et tailles des poissons capturés à l'aide du verveux en aval du barrage

Naseux des rapides [cm]
6,7

**Espèces et tailles des poissons capturés à l'aide des deux bourolles en amont du barrage**

Mulet à cornes [cm]	
5,2	10,6
5,3	11
7,4	11
7,4	12,3
8	13
8,5	13,1
9,1	13,2
9,2	13,7
9,6	14
10	14
10,6	15