

Études de caractérisation et de performance des ouvrages de protection contre les inondations

Guide de réalisation et bonnes pratiques associées

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction de l'aménagement et des milieux hydriques du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Dépôt légal – 2025

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN 978-2-555-02540-0 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2025

Résumé

Le gouvernement a adopté en juin 2025 le Règlement sur les ouvrages de protection contre les inondations (ROPI), lequel entre en vigueur le 1^{er} mars 2026. Ce règlement met en place des mesures permettant de mieux connaître, localiser, inspecter et surveiller les ouvrages de protection contre les inondations (OPI) présents sur le territoire. Le présent guide vise à appuyer la réalisation des études de caractérisation et des études de performance prévues par le ROPI, en présentant les éléments à analyser, certaines bonnes pratiques et les livrables attendus.

Table des matières

Résumé	iii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Liste des abréviations, des acronymes et des sigles	xiii
Remerciements	xiv
Avant-propos	xv
1. Introduction	1
1.1 Objectif du guide	1
1.2 Exigences réglementaires et autres dispositions en lien avec les études de caractérisation et de performance	1
2. Organisation et responsabilités	4
2.1 Organisation du guide	4
2.2 Rôles et Responsabilités	4
3. Définition d'un ouvrage de protection contre les inondations	7
3.1 Définition générale d'un OPI	7
3.2 Types d'ouvrages exclus de la définition	12
3.3 Vérification de la compatibilité d'un ouvrage avec la définition d'OPI	15
3.4 Considérations relatives à la présence d'autres infrastructures ou d'éléments de l'environnement	16
4. Étude de caractérisation de l'OPI	17
4.1 Définition, objectifs et étendue des travaux de l'étude de caractérisation	17
4.2 Revue de l'information disponible et historique des interventions effectuées sur l'OPI	17

4.3	Description générale de l'ouvrage	19
4.4	Localisation et délimitation de l'OPI	24
4.5	Caractérisation de l'OPI et vérification fonctionnelle de ses composants et de ses dispositifs connexes	37
4.6	Éléments nécessaires à l'élaboration du Plan particulier en présence d'un OPI	62
4.7	Recommandations	70
4.8	Résumé non technique	70
5.	Étude de performance de l'OPI	72
6.	Conclusion	73
	Références bibliographiques	74
	Annexe A : Aide-mémoire sur les livrables d'une étude de caractérisation	77
	Annexe B : Aide-mémoire sur les livrables d'une étude de performance	83
	Annexe C : Informations sur les données à transmettre au MELCCFP	84
	Annexe D : Délimitation d'un OPI	86
	Annexe E : Exemples d'anomalies pouvant être observées sur une digue en terre	90
	Annexe F : Exemples d'anomalies pouvant être observées sur un mur de protection contre les inondations	99
	Annexe G : Gestion de la végétation	103
	Annexe H : Délimitation de la zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement	106
	Annexe I : Exemple d'une table des matières détaillée d'un résumé non technique	116
	Annexe J : Glossaire	118

Liste des tableaux

Tableau 1	Typologie des ouvrages de protection contre les inondations	20
Tableau 2	Exemples d'autres vocations pouvant être associées à la protection contre les inondations _____	22
Tableau 3	Exemples de dispositifs connexes nécessaires au fonctionnement d'un OPI _____	31
Tableau 4	État physique des composantes d'un OPI, y compris les dispositifs connexes _____	38
Tableau 5	Indicateurs visuels de détérioration des digues en terre _____	43
Tableau 6	Indicateurs visuels de détérioration des murs de protection contre les inondations _____	46
Tableau 7	Exemples d'éléments à examiner lors de l'inspection des dispositifs connexes _____	48
Tableau 8	Exemples d'éléments à examiner lors de l'inspection des empiétements _____	50
Tableau 9	Caractéristiques de la zone exposée en cas de surverse, de contournement ou de défaillance affectant sa vulnérabilité ____	64
Tableau 10	Exemples d'éléments du milieu vulnérables à identifier dans le plan particulier _____	65
Tableau 11	Exemple de seuils de mobilisation des intervenants et d'activités à prévoir _____	68
Tableau 12	Exemple de points issus d'un relevé topographique _____	86

Liste des figures

Figure 1	Schéma de l'organisation du guide de réalisation des études de caractérisation et de performance en fonction des exigences du ROPI. _____	4
Figure 2	Exemple d'une coupe transversale d'un OPI démontrant la présence d'une zone basse (cuvette) en aval de l'ouvrage située à une élévation inférieure à la crête de l'ouvrage. _____	7
Figure 3	Exemple d'un mur de protection contre les inondations dont la crête est plus haute que le terrain situé derrière lui. _____	8
Figure 4	Représentation linéaire d'un ouvrage continu comportant au moins un tronçon parallèle au cours d'eau ainsi qu'un autre tronçon perpendiculaire visant à compléter la protection. ____	8
Figure 5	Exemple d'OPI disposant d'une piste cyclable en crête. _____	9
Figure 6	Exemple d'une digue en sacs de sable utilisée comme structure temporaire de protection. _____	10
Figure 7	Exemple d'un point bas ponctuel et de courte longueur, fermé au moyen d'une structure amovible, qui n'enlève pas à l'ouvrage son caractère permanent. _____	10
Figure 8	Exemple d'un ouvrage protégeant un secteur habité. _____	11
Figure 9	Exemple d'un ouvrage qui ne protège qu'une seule entreprise. _____	11
Figure 10	Exemple d'une zone en aval d'un ouvrage qui serait inondée sans la présence de celui-ci. _____	11
Figure 11	Exemple d'une digue de parc à résidus miniers servant pour le stockage des résidus. _____	12
Figure 12	Exemple d'un barrage. _____	13
Figure 13	Exemple d'une estacade réduisant les risques liés aux inondations causées par les glaces. _____	13
Figure 14	Exemple d'un bassin de rétention des eaux pluviales. _____	14
Figure 15	Exemple d'une digue agricole. _____	14
Figure 16	Exemple d'un mur de soutènement. _____	15

Figure 17	Exemple d'un ouvrage de stabilisation de talus en enrochement. _____	15
Figure 18	Exemple d'infrastructures non destinées à la protection contre les inondations dont une portion devrait malgré tout être intégrée à l'étude. _____	16
Figure 19	Schématisation de deux tronçons d'un OPI. _____	25
Figure 20	Coupe transversale type d'un OPI. _____	26
Figure 21	Coupe transversale type d'un OPI en remblai indiquant la présence de la bande de 3 mètres de part et d'autre des pieds de l'OPI. _____	27
Figure 22	Coupe transversale type d'un OPI constitué d'un mur de protection contre l'inondation, indiquant la présence de la bande de 3 mètres de part et d'autre des pieds de l'OPI. ____	27
Figure 23	Coupe transversale type d'un OPI en remblai indiquant la présence de la bande de 3 mètres uniquement du côté aval puisque le pied amont est situé à l'intérieur de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans. _____	28
Figure 24	Coupe transversale type d'un OPI constitué d'un mur de protection contre l'inondation indiquant la présence de la bande de 3 mètres uniquement du côté aval puisque le pied amont est situé à l'intérieur de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans. _____	28
Figure 25	Exemples de polygones associés à l'as d'un OPI et de ses tronçons. _____	29
Figure 26	Transects réalisés sur un OPI. _____	34
Figure 27	Exemple d'un profil longitudinal d'un OPI. _____	34
Figure 28	Exemple d'un profil transversal d'un transect d'un OPI. ____	35
Figure 29	Exemple d'un plan d'ensemble d'un OPI. _____	36
Figure 30	Exemple d'un plan d'un tronçon d'un OPI. _____	36
Figure 31	Exemple d'un plan détaillé d'un OPI découpé en feuillets. ____	37
Figure 32	Zone de transition entre deux tronçons. _____	42
Figure 33	Conduites d'évacuation traversant un OPI, munies d'une vanne	

	clapet en acier ou en bois. _____	48
Figure 34	Fossé de drainage de la zone aval et ponceaux sous des accès à la crête dans l'axe longitudinal de l'OPI. _____	49
Figure 35	Terrasse installée en crête de l'OPI restreignant la visibilité pour l'inspection. _____	51
Figure 36	Cabanon restreignant l'inspection du pied de l'OPI. _____	51
Figure 37	Escalier et passerelle joutés à un OPI. _____	52
Figure 38	Déracinement d'un arbre sur une digue. _____	54
Figure 39	Colonisation d'un enrochement de protection par la strate arborescente. _____	54
Figure 40	Soulèvement d'une importante masse de terre causé par le déracinement d'un arbre sur une digue. _____	55
Figure 41	Champignon sur un arbre. _____	55
Figure 42	Endommagement d'une digue en terre à la suite de la rupture d'un embâcle. _____	57
Figure 43	Transport de débris ligneux à la suite d'une crue. _____	59
Figure 44	Exemple d'une carte de la zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement. _____	63
Figure 45	Localisation des points du relevé topographique correspondant aux pieds amont et aval d'un OPI. _____	87
Figure 46	Polygone de l'assiette d'un OPI. _____	88
Figure 47	Segmentation de l'assiette d'un OPI en deux tronçons. _____	89
Figure 48	Affaissement avec présence de fissures en surface. _____	90
Figure 49	Affaissement en crête d'une digue. _____	91
Figure 50	Zone de tassement localisée au niveau de la crête d'une digue. _____	91
Figure 51	Anse d'érosion mineure du parement amont d'une digue. ____	92
Figure 52	Sillon d'érosion sur la pente aval d'une digue. _____	92
Figure 53	Érosion de perré. _____	92

Figure 54	Cavités créées par des animaux fouisseurs dans le talus d'une digue. _____	92
Figure 55	Digue montrant l'amorce d'un glissement par la présence de fissures ouvertes en crête. _____	93
Figure 56	Fissure longitudinale en crête d'une digue. _____	93
Figure 57	Glissement du talus aval avec perte partielle de la crête. _____	93
Figure 58	Arbres courbés sur la pente du talus d'une digue. _____	93
Figure 59	Nappe d'eau stagnante et claire à l'aval d'une digue en terre.	95
Figure 60	Sol porté à l'état de boulangerie par une venue d'eau, avec transport de particules. _____	95
Figure 61	Venue d'eau en aval d'une digue en terre. _____	95
Figure 62	Transport de particules, par le biais d'une installation piézométrique endommagée, lors d'une inondation. _____	95
Figure 63	Zone humide avec accumulation d'eau au pied aval d'une digue en terre. _____	96
Figure 64	Renard hydraulique. _____	96
Figure 65	Souche laissée en place après la coupe d'un arbre. _____	96
Figure 66	Accumulation de débris qui font obstruction à l'écoulement dans un canal de drainage. _____	97
Figure 67	Activité humaine (feu) en crête et intervention en amont (aménagement d'un quai) d'une digue en terre. _____	97
Figure 68	Sillons d'érosion causés par le passage d'un véhicule tout-terrain sur le talus aval d'une digue en terre. _____	97
Figure 69	Érosion d'un mur de béton avec armature apparente, ouvrage rigide. _____	99
Figure 70	Délaminage d'une structure de béton, ouvrage rigide. _____	99
Figure 71	Érosion au droit des appuis de murs d'aile en béton d'un dispositif connexe, fissuration, clapet côté eau. _____	100
Figure 72	Instabilité d'un mur d'un ouvrage rigide, accumulation de débris. _____	100

Figure 73	Éclats de béton et fissuration polygonale d'un mur. _____	101
Figure 74	Dégradation d'un mur de béton par réaction alcali-granulat. _____	101
Figure 75	Intrusion de racines dans une dalle de béton. _____	102
Figure 76	Endommagement par la végétation d'un parement amont en maçonnerie. _____	102
Figure 77	Exemples de polygones qui représentent un ou plusieurs secteurs associés à une même zone exposée. _____	106
Figure 78	Exemples d'un polygone continu et d'un polygone discontinu associés à une zone exposée. _____	106
Figure 79	Exemples d'un polygone contigu à l'assiette d'un OPI et d'un polygone superposé à l'assiette d'un OPI associés à une zone exposée. _____	107
Figure 80	Exemples de polygones associés à une zone exposée, l'un connecté à l'assiette d'un OPI et l'autre non connecté à l'assiette d'un OPI. _____	107
Figure 81	Aperçu de la zone exposée délimitée en utilisant l'élévation maximale de la crête. _____	108
Figure 82	Aperçu de la zone exposée délimitée en utilisant une élévation de 10,4 m. _____	109
Figure 83	Courbes de niveau correspondant à une élévation de 10,4 m. _____	110
Figure 84	Polygone de la zone exposée délimitée à partir d'une élévation de 10,4 m. _____	111
Figure 85	Courbes de niveau correspondant aux élévations de 10,7 m et de 10,4 m et intersection avec la prolongation du transect correspondant au changement de tronçon _____	112
Figure 86	Polygone de la zone exposée délimité à partir d'une élévation variable _____	112
Figure 87	Exemple d'une marge d'erreur raisonnable utilisée pour délimiter une zone exposée. _____	113
Figure 88	Polygone de la zone exposée délimitée en utilisant l'élévation maximale de la crête de l'OPI de 10,7 m, en prenant en compte une marge d'erreur de 15 m. _____	114

Figure 89 **Carte finale de la zone exposée délimitée avec l'élévation maximale de 10,7 m.**_____ **115**

Liste des abréviations, des acronymes et des sigles

FGDB	<i>File Geodatabase</i> (base de données géospatiale)
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> (détection et télémétrie par la lumière)
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MNT	Modèle numérique de terrain
OIQ	Ordre des ingénieurs du Québec
OPI	Ouvrage de protection contre les inondations
REAFIE	Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement
ROPI	Règlement sur les ouvrages de protection contre les inondations

Remerciements

Ce guide a été produit grâce à l'expertise collective des professionnels du MELCCFP et d'ingénieurs spécialisés de WSP CANADA inc.

Nous remercions particulièrement Alexandre Audet-Bouchard, François-Jean Blouin, Vincent Carrier, Charles Desgagnés, Michel Dolbec, Serge Laforce, Pierre-Olivier Maltais et Alexandra Tremblay Bouchard, membres de l'équipe de WSP, pour leur essentielle contribution.

Avant-propos

La rupture de la digue à Sainte-Marthe-sur-le-Lac en 2019 et celle d'un muret lors des inondations à Baie-Saint-Paul au printemps 2023 ont fait ressortir des enjeux en ce qui concerne la sécurité des ouvrages de protection contre les inondations (OPI) au Québec. Ces enjeux, plusieurs territoires à travers le monde les connaissent également. Plusieurs ont ainsi mis en place une réglementation ou ont défini les bonnes pratiques à suivre pour prévenir la défaillance de ces ouvrages et éviter des inondations qui sont souvent catastrophiques pour les personnes et les biens qui bénéficient normalement de leur protection. Une défaillance survient lorsqu'un ouvrage n'est plus en mesure d'assurer sa fonction. Il en résulte alors une inondation non intentionnelle du territoire derrière lui.

C'est dans cette optique que le gouvernement a adopté, en juin 2025, le Règlement sur les ouvrages de protection contre les inondations (ROPI). Ce règlement répond à un engagement (mesure 8) pris par le gouvernement dans le *Plan de protection du territoire face aux inondations : Des solutions durables pour mieux protéger nos milieux de vie*. Le ROPI vient définir la notion d'ouvrage de protection contre les inondations et encadre leur gestion sur le territoire. La date d'entrée en vigueur du règlement est le 1^{er} mars 2026.

Notamment, le ROPI requiert des municipalités qu'elles réalisent une étude de caractérisation pour tous les OPI présents sur leur territoire afin de les localiser et de rassembler les informations les concernant, mais également de connaître leur état au moyen d'une inspection et d'identifier les zones et les éléments vulnérables situés dans la zone exposée délimitée derrière ceux-ci. Cette étude permet également d'identifier des seuils de mobilisation des intervenants et d'alerte de la population permettant à une municipalité de mieux se préparer à intervenir en cas d'inondation en élaborant un plan particulier en présence d'un OPI. Cette étude permet également de rassembler les informations sur les OPI afin de les rendre accessibles au public dans un registre des OPI.

Une étude plus approfondie, soit l'étude de performance, est optionnelle, mais exigée dans le contexte où une municipalité voudrait pouvoir bénéficier d'allègements des normes d'aménagement du territoire dans la zone inondable protégée par l'OPI, appelée zone protégée à risque résiduel. Cette zone est délimitée à la suite de l'identification du niveau de protection réel de l'OPI. L'identification de ce niveau se base sur une analyse fonctionnelle des composantes de l'OPI au moyen d'investigations poussées et sur l'évaluation de l'impact des aléas pouvant affecter l'OPI en plus de ceux de la crue et des empiétements sur l'ouvrage.

L'objectif général derrière la réalisation de ces études est de renforcer la résilience des populations face aux inondations. L'acquisition de connaissances sur un OPI est essentielle pour identifier les facteurs qui peuvent affecter l'ouvrage et les risques associés pour les populations et les infrastructures les plus susceptibles d'être touchées en cas de défaillance. Elle permet de déterminer quelle protection un OPI peut offrir advenant une crue importante, de mieux planifier les actions de prévention en cas de sinistre et de surveiller l'évolution de l'état de l'ouvrage et de sa performance dans le temps.

En plus d'exposer certaines bonnes pratiques et de proposer des outils pratiques pour l'évaluation d'un ouvrage, le guide de réalisation des études de caractérisation et de performance décrit les éléments qui doivent nécessairement être couverts par les études et les livrables à produire afin de remplir les exigences du ROPI.

Aidez-nous à améliorer cet outil en prenant une minute pour nous donner votre avis!

1. Introduction

1.1 Objectif du guide

Le présent document a pour but de guider les municipalités, de même que les professionnels qui sont appelés à les accompagner, dans la réalisation des études de caractérisation et de performance prévues au Règlement sur les ouvrages de protection contre les inondations (ROPI). Ce guide expose les balises techniques à respecter pour que ces études répondent aux exigences du ROPI. Il expose également de bonnes pratiques à suivre lors de leur réalisation. En outre, l'annexe J constitue un glossaire des principaux concepts utilisés dans ce guide.

Les figures et les exemples présentés dans ce guide ne représentent pas des situations réelles. L'information ne peut être utilisée à d'autres fins que celle d'illustrer les concepts.

1.2 Exigences réglementaires et autres dispositions en lien avec les études de caractérisation et de performance

Au nombre des exigences qui doivent être appliquées par toutes les municipalités qui ont un OPI sur leur territoire figure la réalisation d'une **étude de caractérisation**. Les exigences liées à cette étude sont définies à la section I du chapitre II du ROPI.

Une municipalité peut également réaliser une **étude de performance** sur un OPI. Cette étude n'est toutefois pas obligatoire. Une municipalité est tenue de réaliser une étude de performance uniquement si elle veut démontrer que l'ouvrage atteint les normes de conception et de performance afin que la protection de l'ouvrage soit prise en compte dans la cartographie des zones inondables de son territoire. En plus de réaliser l'étude de performance, une municipalité doit alors demander au gouvernement d'être déclarée responsable de l'ouvrage en vertu de l'article 46.0.13 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE). Une fois la responsabilité d'une municipalité déclarée par décret du gouvernement, la cartographie des zones inondables protégées par l'ouvrage sera modifiée afin d'alléger les normes d'aménagement applicables à ce territoire. Les exigences liées à cette étude sont définies à la section III du chapitre II du ROPI.

Lorsqu'un OPI s'étend au-delà des limites administratives d'une municipalité locale, les études à réaliser doivent couvrir la totalité du linéaire de l'ouvrage. Une municipalité locale peut alors s'entendre avec une autre municipalité afin que cette dernière réalise l'étude sur la partie de l'OPI qui est située sur son territoire. Si une telle entente est conclue, un avis à ce sujet doit être transmis au ministre.

1.2.1 Échéances de production des études

Une première série de renseignements relatifs à l'identification de l'ouvrage doit être transmise au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) dès le 1^{er} mars 2026. Ces renseignements sont les noms des municipalités locale et régionale ainsi que de la région administrative sur le territoire desquelles l'ouvrage est situé, le type d'ouvrage dont il s'agit, les lacs et cours d'eau dont l'ouvrage vise à limiter l'expansion naturelle, sa longueur, son année de construction (si elle est connue) ainsi que sa localisation préliminaire sous la forme d'un point. Une trousse de référence sur les renseignements préliminaires que doivent fournir les municipalités à propos de leurs OPI peut être consultée à l'adresse suivante : <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/gestion-rives-littoral-zones-inondables/trousse-renseignements-preliminaires-municipalites-opi.zip>. La transmission de ces renseignements avant la réalisation complète de l'étude de caractérisation vise à faciliter l'application du cadre réglementaire, de même qu'à permettre l'intégration graduelle des OPI dans le registre public.

Les municipalités ont ensuite jusqu'au 1^{er} mars 2029, soit 3 ans après l'entrée en vigueur du règlement, pour réaliser la première étude de caractérisation et la transmettre au MELCCFP. Une mise à jour de l'étude de caractérisation est requise tous les dix ans.

Aucune échéance n'est associée à la transmission au gouvernement de l'étude de performance puisque la réalisation de celle-ci n'est pas obligatoire. Toutefois, cette étude est exigée d'une municipalité qui souhaiterait démontrer l'atteinte des normes de conception et de performance d'un OPI pour que le gouvernement adopte un décret lui accordant la responsabilité de l'ouvrage en vertu de la LQE. Dans un tel cas, la protection de l'OPI pourrait être prise en compte dans la cartographie des zones inondables. Par la suite, cette étude doit être mise à jour tous les 10 ans.

1.2.2 Droits d'accès aux sites

Plusieurs OPI sont érigés, en partie ou en totalité, sur des terrains privés ou sur le domaine hydrique de l'État. Afin de réaliser les inspections et les investigations nécessaires à la réalisation des études de caractérisation et de performance, l'article 46.0.15 de la LQE donne à une municipalité le pouvoir de pénétrer et de circuler sur un terrain privé ou sur le domaine hydrique de l'État, y compris avec de la machinerie. Une municipalité peut également occuper temporairement ces terrains. Elle doit cependant aviser par écrit les propriétaires des terrains concernés par les travaux au moins 15 jours à l'avance, en indiquant notamment la nature et la durée prévue des travaux. Ces obligations ne s'appliquent pas lors d'une situation nécessitant une intervention d'urgence.

Une municipalité doit exercer ces pouvoirs de façon raisonnable. Elle doit notamment remettre les lieux en état et réparer le préjudice subi par le propriétaire ou le gardien des lieux, le cas échéant.

Pour des questions de sécurité et pour certains terrains présentant des enjeux particuliers, par exemple les terrains d'une compagnie gazière, portuaire ou ferroviaire, une municipalité doit informer le propriétaire des lieux avant sa visite et il est recommandé qu'elle soit accompagnée d'un représentant du propriétaire lors de celle-ci.

1.2.3 Autorisations requises

Lors de la réalisation d'une étude de caractérisation ou de performance sur un OPI, des autorisations du MELCCFP peuvent être requises en fonction de la nature des activités et des travaux requis. Ces autorisations sont décrites au chapitre XV du Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE). Si ces autorisations sont requises, elles doivent être obtenues avant la réalisation des travaux.

Lorsque la réalisation des investigations sur l'OPI nécessite le prélèvement d'échantillons, la réalisation de sondages ou de relevés techniques ou la prise de mesures qui ne nécessitent pas l'utilisation d'explosifs ni de déblai ou d'insertion de matériel ou d'équipement dans le sol à une profondeur excédant 30 cm (ex. : forage), cette activité est exemptée d'une autorisation ministérielle en vertu de l'article 165.20 du REAFIE. Autrement, une déclaration de conformité devra être transmise au MELCCFP en vertu de l'article 165.9 du REAFIE.

Les formulaires de déclaration de conformité doivent être remplis en ligne. Ils sont accessibles à l'adresse: <https://www.environnement.gouv.qc.ca/autorisations/declaration-conformite/index.htm>.

1.2.4 Mode de transmission et format des données

Les rapports des études de caractérisation et de performance doivent être transmis au MELCCFP en format PDF. Le résumé non technique de l'étude doit faire l'objet d'un document différent, car celui-ci est destiné à être diffusé dans le registre public des OPI.

Les annexes A et B constituent des aide-mémoire pratiques permettant à la municipalité, à l'ingénieur responsable et aux autres professionnels qui participent à la réalisation des études de caractérisation et

de performance de vérifier que tous les documents requis ont été produits et que toutes les étapes nécessaires ont été suivies pour s'assurer que l'étude de caractérisation ou l'étude de performance est conforme aux prescriptions du ROPI.

Quant aux données cartographiques (par exemple le relevé topographique, la délimitation sous la forme d'un polygone de l'assiette de l'OPI, de ses tronçons et de la zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement, de même que la localisation des dispositifs connexes nécessaires au fonctionnement de l'OPI), elles doivent être transmises sous forme de fichiers numériques. Les gabarits qui devront être utilisés pour la transmission de ces informations sont décrits à l'annexe C.

1.2.5 Diffusion

Le MELCCFP veillera à intégrer les informations transmises par les municipalités dans le registre public des OPI, de même que le résumé non technique qui doit accompagner l'étude de caractérisation. Le registre des OPI est encadré par la section I du chapitre VI du ROPI.

2. Organisation et responsabilités

2.1 Organisation du guide

Pour faciliter la lecture du guide, la Figure 1 présente les liens conceptuels entre les chapitres du guide et le ROPI.

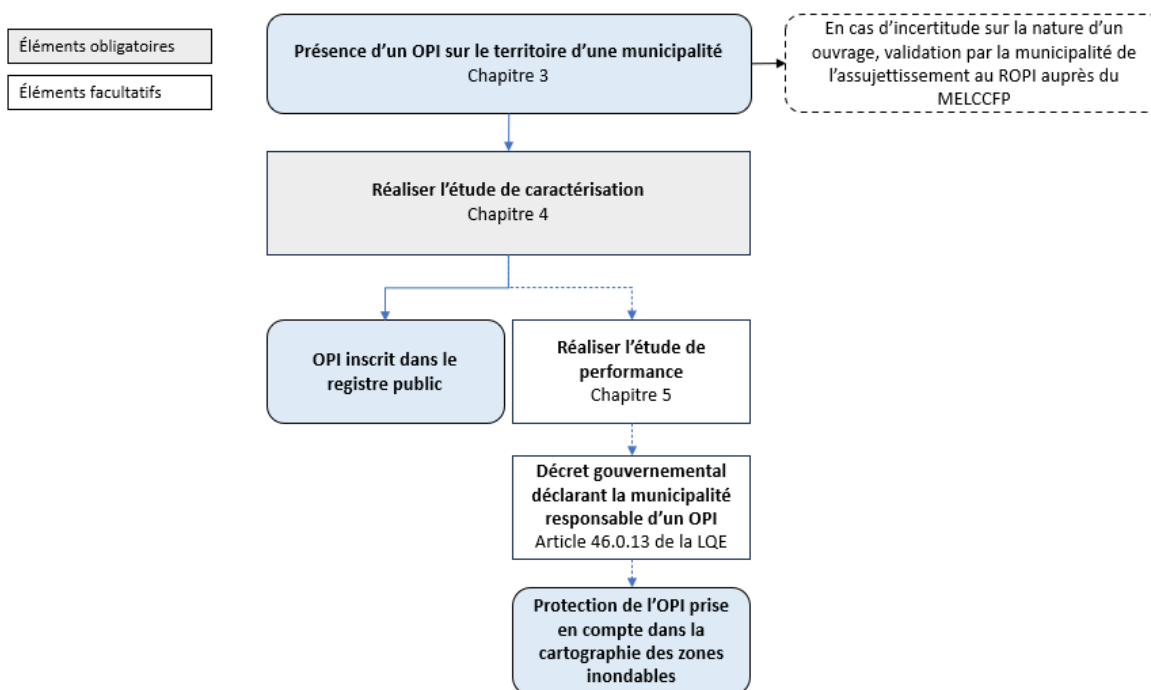


Figure 1 Schéma de l'organisation du guide de réalisation des études de caractérisation et de performance en fonction des exigences du ROPI.

Source : MELCCFP

2.2 Rôles et Responsabilités

2.2.1 Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

Le MELCCFP est chargé de l'application du ROPI. À ce titre, le Ministère :

- accompagne les municipalités pour établir l'assujettissement des ouvrages identifiés au ROPI;
- inscrit les informations sur les OPI obtenues des municipalités dans un registre public;
- accompagne les municipalités dans la réalisation des études de caractérisation et de performance. Lorsqu'une municipalité lui transmet une étude de caractérisation ou de performance, il s'assure que celle-ci est conforme aux prescriptions du règlement, lesquelles sont détaillées dans le présent guide;

- coordonne le processus d'analyse et d'émission d'un décret gouvernemental lorsqu'une municipalité demande d'être déclarée responsable d'un OPI en vertu de l'article 46.0.13 de la LQE;
- effectue le contrôle du respect des exigences du règlement;
- impose les sanctions prévues, le cas échéant.

Le MELCCFP est également responsable de l'application du régime d'autorisation environnementale, par la mise en œuvre du REAFIE et du Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets (REEIE). Ce régime d'autorisation varie selon le niveau d'impact d'une activité sur l'environnement ou sur la protection des personnes et des biens. Certaines activités et certains travaux réalisés sur un OPI ou dans des milieux hydriques nécessitent l'autorisation du Ministère.

Enfin, le MELCCFP établit les limites des zones inondables des lacs et des cours d'eau et des zones de mobilité des cours d'eau. À cette fin, il prépare, tient à jour et rend public le Guide méthodologique applicable à l'établissement des zones inondables et de mobilité des cours d'eau.

2.2.2 Municipalités

La municipalité joue un rôle de premier plan dans le maintien de la sécurité des personnes et des biens sur son territoire et ce, qu'elle soit propriétaire de l'ouvrage ou non. Elle se doit d'avoir une connaissance aussi précise que possible des risques inhérents à celui-ci. À ce titre, la municipalité :

- doit vérifier s'il y a un OPI sur son territoire et, le cas échéant, prendre connaissance des exigences du ROPI;
- doit disposer de renseignements de base sur tout OPI présent sur son territoire. Ces renseignements sont recueillis dans le cadre d'une étude de caractérisation qui doit être réalisée en respectant les grandes balises décrites dans le présent guide. La municipalité est responsable de mettre à jour cette étude dans les délais requis et de transmettre au Ministère l'ensemble des livrables exigés;
- doit élaborer un plan particulier en présence d'un OPI (ROPI, chapitre II, section II) en se basant, notamment, sur les connaissances acquises dans le cadre des études. Ce plan doit être intégré ou annexé au plan de sécurité civile de la municipalité. Un guide décrit le contenu attendu de ce plan.

Une municipalité qui souhaite que la protection de l'OPI soit prise en compte dans la cartographie des zones inondables doit être déclarée responsable d'un OPI en vertu de la LQE. À ce titre, elle doit :

- réaliser une étude de performance démontrant que l'OPI répond aux normes de conception et de performance du ROPI (ROPI, chapitre III). Les grandes balises à respecter dans la réalisation d'une étude de performance sont décrites dans le présent guide;
- déposer une demande de déclaration de responsabilité de l'OPI au sens de l'article 46.0.13 de la LQE. Cette demande doit faire l'objet d'une résolution du conseil municipal.
- respecter les prescriptions du ROPI à l'égard de la surveillance et de l'entretien de l'OPI dont elle a été déclarée responsable (ROPI, chapitre V, section II);
- déposer un avis de réquisition au registre foncier, accompagné d'une description technique, conformément aux dispositions réglementaires (ROPI, chapitre VI, section II).

Enfin, conformément au Règlement sur l'encadrement d'activités sous la responsabilité des municipalités réalisées dans des milieux hydriques et sur des ouvrages de protection contre les inondations, les municipalités sont responsables de la délivrance des permis pour la réalisation de certaines activités dans des milieux hydriques et sur un OPI.

2.2.3 Ordres professionnels

Les études de caractérisation et de performance peuvent être réalisées par le personnel d'un organisme municipal ou être confiées à une firme spécialisée. Dans un cas comme dans l'autre, ces études doivent être signées par un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec (OIQ). Les municipalités doivent transmettre les études réalisées au MELCCFP pour se conformer aux exigences réglementaires.

Dans le cadre de ces études, les actes exclusifs aux membres d'un ordre professionnel doivent être réalisés par une personne membre de cet ordre. À ce titre, les professionnels qui réalisent les études :

- se portent garants de la conformité des études en ce qui concerne les éléments qui relèvent de leur compétence. Ils sont responsables des démonstrations, de la validité des données utilisées et des conclusions qu'ils en tirent;
- réalisent les études conformément au présent guide et au ROPI.

Le Ministère considère que le rôle du professionnel signataire d'une étude est principalement de coordonner la réalisation de l'étude et de vérifier le contenu du rapport, sauf si ce contenu relève de la compétence exclusive d'un membre d'un ordre professionnel et que le signataire de l'étude n'est pas membre dudit ordre.

Pour certains éléments, il est de bonne pratique que les professionnels qui participent à la réalisation d'une étude collaborent avec d'autres professionnels compétents dans le domaine, de même qu'avec divers experts et intervenants spécialisés, qui ne sont pas nécessairement membres du même ordre professionnel. Par exemple, la description technique de l'OPI doit être réalisée par un arpenteur-géomètre alors que la vérification du fonctionnement et de la capacité des dispositifs connexes (ex. : station de pompage, vanne mécanisée, etc.) pourrait nécessiter la contribution de plusieurs expertises distinctes.

2.2.4 Autres ministères et organismes

Les autres ministères et organismes demeurent responsables de l'application de leur propre réglementation et de l'administration de leurs propres programmes.

2.2.5 Propriétaires fonciers

Les OPI sont situés parfois sur le domaine hydrique de l'État, parfois sur des terrains municipaux et parfois sur des terrains privés appartenant à des entreprises ou à des citoyens.

Il est attendu des propriétaires du terrain sur lequel un OPI est situé qu'ils collaborent avec la municipalité pour lui permettre de réaliser des investigations ou des travaux et ce, malgré le désagrément que cela pourrait occasionner.

2.2.6 Citoyens

La sécurité civile est une responsabilité partagée. Les citoyens doivent être conscients des bénéfices, mais également des risques associés aux OPI, savoir ce qui est attendu de leur part en cas de sinistre réel ou appréhendé et appliquer les consignes qui leur sont communiquées par les autorités publiques.

3. Définition d'un ouvrage de protection contre les inondations

3.1 Définition générale d'un OPI

L'article 1 du ROPI précise les types d'ouvrages auxquels ce règlement s'applique. Les caractéristiques d'un OPI sont expliquées ci-dessous.

3.1.1 Fonction de l'ouvrage

L'ouvrage a été construit afin de limiter l'expansion naturelle des eaux d'un lac ou d'un cours d'eau et de prévenir l'inondation ou si l'ouvrage a été construit à d'autres fins, il a expressément été modifié pour prévenir les inondations, en plus de jouer son rôle d'origine.

L'ouvrage est en élévation par rapport au terrain situé derrière lui. Autrement dit, il y a présence d'une zone basse (cuvette) en aval de l'ouvrage, faisant en sorte que l'ouvrage est plus haut que le territoire derrière lui.

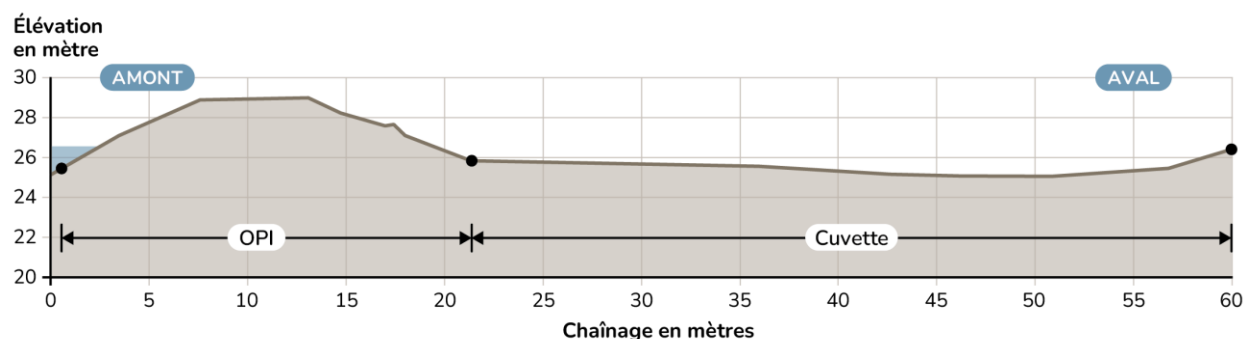


Figure 2 Exemple d'une coupe transversale d'un OPI démontrant la présence d'une zone basse (cuvette) en aval de l'ouvrage située à une élévation inférieure à la crête de l'ouvrage.

Source : MELCCFP

Pour accomplir sa fonction de prévenir l'inondation et empêcher l'entrée d'eau dans la zone derrière, un OPI possède généralement au moins un tronçon qui est parallèle à la rive du lac ou du cours d'eau. Souvent, tous les tronçons d'un OPI sont parallèles au cours d'eau. Néanmoins, un ou plusieurs tronçons peuvent avoir une autre orientation pour compléter la protection. Il peut également arriver que l'ouvrage ne soit pas directement situé sur le bord de l'eau et qu'il en soit éloigné de plusieurs mètres. Bien que ce type d'alignement (parallèle à la rive) ne soit pas obligatoirement présent, il constitue un indice pour reconnaître un ouvrage qui vise à limiter l'expansion des crues.



Figure 3 Exemple d'un mur de protection contre les inondations dont la crête est plus haute que le terrain situé derrière lui.

Source : MELCCFP



Figure 4 Représentation linéaire d'un ouvrage continu comportant au moins un tronçon parallèle au cours d'eau ainsi qu'un autre tronçon perpendiculaire visant à compléter la protection.

Source : MELCCFP

Un remblai routier, une voie ferrée ou une piste cyclable ne constituent pas des OPI à moins d'avoir été conçus ou transformés à cette fin. Les matériaux et les méthodes de construction de ces infrastructures ne sont pas nécessairement compatibles avec la fonction de protection contre les inondations. En effet, ces ouvrages sont généralement conçus pour permettre le passage de l'eau et s'il est possible que certaines puissent ralentir la vitesse d'une inondation, leur conception n'a pas pour vocation de l'empêcher.

Néanmoins, un OPI peut parfois avoir une fonction secondaire liée au transport. Par exemple, un OPI peut avoir été conçu de sorte qu'une route, une piste cyclable ou un sentier pédestre puissent être situés en crête. Dans un tel cas, la conception de l'ouvrage prend en considération que l'infrastructure doit être étanche et bloquer le passage de l'eau au travers de l'ouvrage.



Figure 5 Exemple d'OPI disposant d'une piste cyclable en crête.
Source : MELCCFP

3.1.2 Caractère permanent de l'ouvrage

L'ouvrage est entièrement ou en très grande partie constitué de structures fixes et permanentes. Un ouvrage composé uniquement de structures temporaires pouvant être assemblées au besoin, telles que des sacs de sable ou d'autres types de murs temporaires, ne constitue pas un OPI au sens de la réglementation. S'il y a présence de structures amovibles, celles-ci servent uniquement à fermer certains points bas ponctuels de courte longueur ou être une composante structurelle intégrée à la conception de l'ouvrage. Par exemple, une rampe de mise à l'eau ou un accès piétonnier constitue des points bas ponctuels de faible longueur qui, en situation de crue, peuvent être fermés à l'aide d'une structure amovible. La présence de ces points bas n'empêche pas que l'ouvrage soit considéré comme un OPI au sens de la réglementation.



Figure 6 Exemple d'une digue en sacs de sable utilisée comme structure temporaire de protection.
Source : MELCCFP



Figure 7 Exemple d'un point bas ponctuel et de courte longueur, fermé au moyen d'une structure amovible, qui n'enlève pas à l'ouvrage son caractère permanent.
Source : MELCCFP

3.1.3 Biens et personnes protégés par l'ouvrage

L'ouvrage vise à protéger un ensemble de biens et de personnes dans une collectivité, c'est-à-dire dans un secteur habité ou occupé par plusieurs personnes sur lequel se trouvent des résidences, des commerces ou des industries. Un ouvrage construit pour protéger une infrastructure routière ou pour protéger un territoire non habité n'est pas considéré comme un OPI au sens du règlement. De même, un ouvrage qui protège les biens, les résidents, les employés, la clientèle d'une seule résidence, entreprise, institution ou industrie n'est pas visé.

Un OPI peut parfois être situé sur le domaine hydrique de l'État, parfois sur des terrains municipaux ou parfois sur des terrains privés appartenant à des entreprises ou à des citoyens. Le fait qu'un ouvrage soit situé sur un terrain public ou privé, ou le statut de propriété de l'ouvrage n'a pas d'incidence sur sa désignation comme OPI, tant que l'ensemble des conditions sont respectées.



Figure 8 Exemple d'un ouvrage protégeant un secteur habité.

Source : MELCCFP



Figure 9 Exemple d'un ouvrage qui ne protège qu'une seule entreprise.

Source : Beauce Média, Hubert Lapointe

La délimitation, même approximative, de la zone en aval de l'ouvrage qui serait inondée sans la présence de celui-ci permet d'avoir une idée des bâtiments protégés par un ouvrage. Cette zone peut être estimée en projetant l'élévation de la crête de l'ouvrage sur la topographie du territoire derrière.

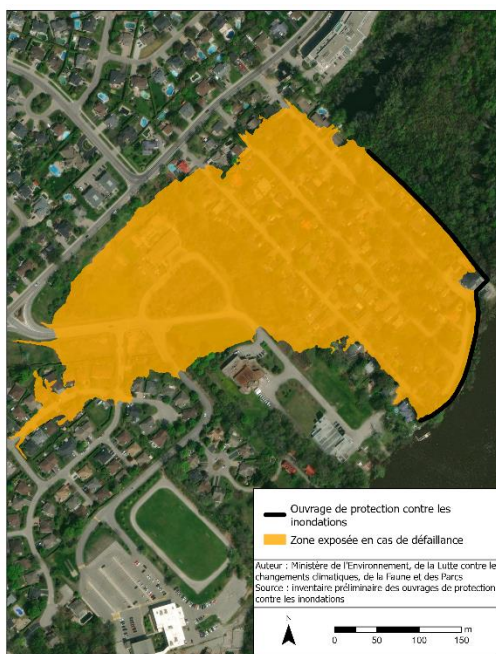


Figure 10 Exemple d'une zone en aval d'un ouvrage qui serait inondée sans la présence de celui-ci.

Source : MELCCFP

3.1.4 Type de sollicitation de l'ouvrage

Un OPI vise à empêcher l'eau de pénétrer sur un territoire lors d'un événement d'inondation ponctuel. Il n'est donc pas sollicité en permanence comme un réservoir permanent. Une structure construite à travers

un lac ou un cours d'eau pour former un réservoir ou encore un bassin conçu pour collecter et retenir des eaux en permanence ne sont pas considérés comme des OPI au sens du règlement.



Figure 11 Exemple d'une digue de parc à résidus miniers servant pour le stockage des résidus.
Source : VertigO (2006)

Tout ouvrage qui ne satisfait pas à l'ensemble de ces conditions n'est pas assujéti au ROPI et il n'est pas requis de réaliser les études détaillées par le présent guide.

3.2 Types d'ouvrages exclus de la définition

Afin de distinguer les OPI d'autres infrastructures avec lesquelles ils ne doivent pas être confondus, l'article 1 du ROPI précise également certains ouvrages qui ne sont pas considérés comme des OPI, même s'ils peuvent avoir un effet sur l'aléa inondation. Les ouvrages identifiés ci-dessous ne sont pas assujettis au ROPI et il n'est pas requis de réaliser les études détaillées dans le présent guide.

3.2.1 Barrages assujettis à la Loi sur la sécurité des barrages

Selon l'article 2 de la Loi sur la sécurité des barrages, un barrage s'entend de « tout ouvrage d'une hauteur d'au moins 1 mètre, construit en travers d'un cours d'eau ou à l'exutoire d'un lac et ayant pour effet de créer un réservoir. Est assimilé à un barrage tout autre ouvrage destiné à retenir en tout ou partie des eaux emmagasinées dans un tel réservoir ». Conséquemment, en plus du barrage lui-même, les digues de fermeture du barrage ne sont pas visées par le ROPI. Le répertoire des barrages est accessible au lien suivant : <https://www.cehq.gouv.qc.ca/barrages/default.asp>



Figure 12 Exemple d'un barrage.

Source : MELCCFP

3.2.2 Ouvrages visant le contrôle des glaces

Les ouvrages visant le contrôle des glaces ne sont pas considérés comme des OPI au sens du règlement et ce, même s'ils contribuent à limiter les inondations par embâcle de glace.



Figure 13 Exemple d'une estacade réduisant les risques liés aux inondations causées par les glaces.

Source : InfOcéans (2015)

3.2.3 Ouvrages de gestion des eaux pluviales

Les ouvrages de gestion des eaux pluviales, tels que les bassins de rétention, ne sont pas considérés comme des OPI au sens du règlement. Ce type d'ouvrage vise à contrôler les inondations liées aux eaux de ruissellement et non les inondations provenant des lacs et cours d'eau¹.



Figure 14 Exemple d'un bassin de rétention des eaux pluviales.

Source : Vingt55, Éric Beaupré (2019)

3.2.4 Digues agricoles

Les digues agricoles, y compris les aboiteaux, ne sont pas considérées comme des OPI au sens du règlement lorsqu'elles préviennent uniquement l'inondation d'un territoire assujéti à la Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles. Toutefois, si l'ouvrage protège un territoire habité ou que l'usage du territoire a évolué au fil des ans faisant en sorte que l'ouvrage protège des personnes et des biens, il constitue un OPI au sens du règlement.



Figure 15 Exemple d'une digue agricole.

Source : La Terre de chez nous

¹ Dans certains cas, un bassin de rétention ou une station de pompage pour évacuer les eaux de ruissellement accumulées du côté aval de l'OPI sont des dispositifs connexes nécessaires au fonctionnement de l'OPI (voir la section 4.4.7)

3.2.5 Murs de soutènement et les ouvrages de stabilisation

Les ouvrages visant uniquement la protection des sols contre l'érosion ne sont pas considérés comme des OPI. Un mur de soutènement est construit à la verticale pour retenir un terrain. Un ouvrage de stabilisation vise à accroître la résistance d'un sol ou d'une infrastructure afin de les protéger contre l'érosion et les glissements de terrain.



Figure 16 Exemple d'un mur de soutènement.

Source : Excavation C.B.



Figure 17 Exemple d'un ouvrage de stabilisation de talus en enrochement.

Source : MELCCFP

3.2.6 Ouvrages construits à d'autres fins que la prévention de l'inondation

Un ouvrage qui a été construit à d'autres fins que la prévention de l'inondation et qui n'a pas fait l'objet de travaux dans le but de remplir cette fonction n'est pas considéré comme un OPI au sens du règlement.

3.3 Vérification de la compatibilité d'un ouvrage avec la définition d'OPI

Avant d'entreprendre une étude de caractérisation ou une étude de performance, la municipalité doit s'assurer de la conformité d'un ouvrage avec tous les aspects de la définition du ROPI.

Une visite de terrain pour identifier le type d'ouvrage et pour réaliser des relevés d'arpentage peut être nécessaire pour vérifier que l'ouvrage présente les caractéristiques d'un OPI assujéti au ROPI. L'utilisation de certaines données peut aussi aider à confirmer la fonction de protection contre les inondations d'un ouvrage. Voici des exemples :

- Relevé d'arpentage : l'élévation approximative de la crête de l'ouvrage ainsi que la topographie générale aux environs de l'ouvrage peuvent indiquer la présence d'une zone en aval de l'ouvrage située à une élévation inférieure à la crête de l'ouvrage qui formerait une cuvette;
- Délimitation préliminaire de la zone derrière l'ouvrage et identification de bâtiments situés dans cette zone en utilisant un modèle numérique de terrain et les points relevés;
- Historique des inondations du territoire et confirmation de l'utilité de l'ouvrage;

- Documentation sur l'ouvrage : plans et devis, année de construction et de modification de l'ouvrage, autorisations délivrées par le MELCCFP et ententes de financement, entre autres.

Si des doutes subsistent quant à la nature d'un ouvrage, les municipalités peuvent écrire au MELCCFP, avant d'entreprendre une étude, à l'adresse info-digues@environnement.gouv.qc.ca.

3.4 Considérations relatives à la présence d'autres infrastructures ou d'éléments de l'environnement

Il peut arriver que certaines infrastructures ne soient pas des OPI au sens de la définition de l'article 1 du ROPI, mais qu'elles doivent malgré tout être prises en considération dans la délimitation d'un ouvrage et lors de la réalisation des études de caractérisation ou de performance. Le ROPI indique, en effet, que tout ensemble d'ouvrages, d'infrastructures et d'éléments de l'environnement, continus ou discontinus, qui forme une protection cohérente d'un territoire et dont au moins une partie correspond à la définition d'un OPI est assimilé à un ouvrage de protection contre les inondations.

Par exemple, un territoire pourrait être protégé par deux ouvrages séparés l'un de l'autre par une élévation naturelle de la topographie du territoire assurant la continuité de la protection de ce territoire contre l'inondation. Dans ce cas, il serait nécessaire de considérer ces deux ouvrages comme étant deux tronçons distincts d'un même ouvrage si ceux-ci visent la protection d'un même territoire. La surverse, le contournement ou la défaillance de l'un ou l'autre des tronçons aurait pour effet d'inonder le même territoire. De plus, la portion du terrain naturel de même que la connexion de l'OPI avec celle-ci doivent faire l'objet d'une attention particulière, car elles ne doivent pas représenter des points faibles de l'OPI.

Dans certains cas, il peut également arriver que des infrastructures non destinées à la protection contre les inondations y contribuent malgré tout. Ce serait le cas, par exemple, si un OPI en remblai venait se rattacher à une infrastructure routière ou ferroviaire pour consolider la protection du territoire. Ces structures ou certains segments de celles-ci devraient alors être intégrés dans la portée de l'étude, même s'ils ne sont pas destinés à la protection contre les inondations.

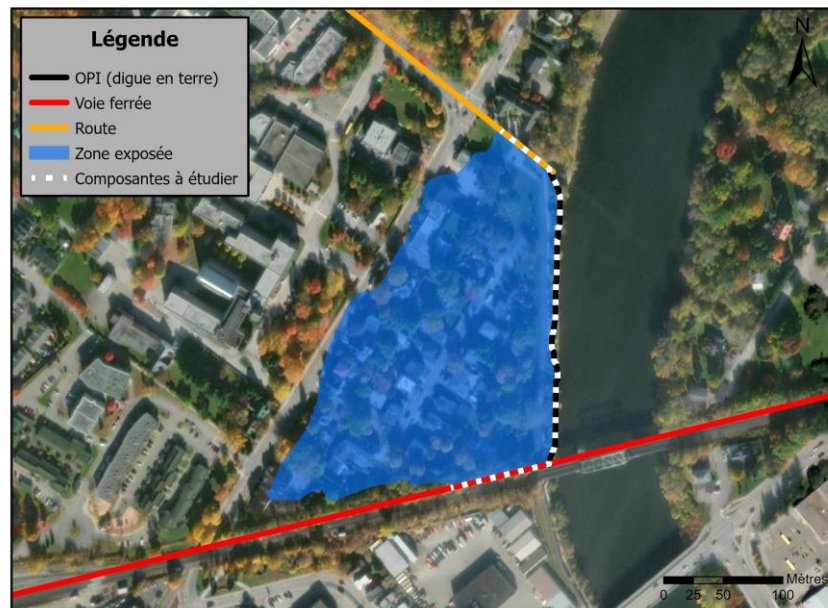


Figure 18 Exemple d'infrastructures non destinées à la protection contre les inondations dont une portion devrait malgré tout être intégrée à l'étude.

Source : MELCCFP

4. Étude de caractérisation de l'OPI

4.1 Définition, objectifs et étendue des travaux de l'étude de caractérisation

La réalisation d'une étude de caractérisation est une exigence du ROPI à l'égard de toute municipalité ayant un OPI sur son territoire. La section I du chapitre II du ROPI porte sur cette étude. L'article 6 du ROPI indique quels renseignements et documents doivent être intégrés dans une étude de caractérisation.

L'étude de caractérisation vise à décrire un OPI, à le localiser et à rassembler les informations disponibles sur celui-ci. Elle vise également à connaître son état au moyen d'une inspection visuelle et à identifier les secteurs et les éléments vulnérables situés dans la zone exposée délimitée derrière celui-ci. Elle permet aussi de produire les informations pertinentes pour qu'une municipalité puisse planifier adéquatement ses mesures de prévention des sinistres dans un plan particulier en présence d'un OPI. Elle prévoit enfin la production d'un résumé non technique qui vulgarise les principaux éléments de l'étude pour fin de diffusion dans un registre public des OPI. L'étude de caractérisation doit être signée par un ingénieur membre de l'OIQ.

Le contenu attendu du rapport de l'étude de caractérisation est présenté à l'annexe A sous la forme d'un aide-mémoire. Pour être recevable, le rapport de l'étude doit satisfaire à l'ensemble des exigences décrites aux sections 4.2 à 4.8 de ce guide. Ce rapport doit être transmis au MELCCFP accompagné des données numériques (classes d'entités) suivantes :

- le relevé topographique réalisé dans le secteur de l'OPI;
- l'assiette de l'OPI;
- les tronçons;
- la zone exposée en cas de surverse, de contournement ou de défaillance de l'ouvrage;
- les dispositifs connexes nécessaires au fonctionnement de l'OPI.

Les données doivent être transmises sous forme de fichiers numériques en utilisant le système de référence NAD83 CSRS Québec Lambert (EPSG : 6622). Le format des données et la façon de les transmettre au MELCCFP sont présentés à l'annexe C.

Les données transmises dans le cadre de l'étude de caractérisation seront intégrées à une base de données géographiques sur les OPI en vue d'alimenter le registre public des OPI.

La base de données servira également de source d'information pour la cartographie des zones inondables et des zones de mobilité lorsqu'il y a un OPI sur le territoire concerné.

4.2 Revue de l'information disponible et historique des interventions effectuées sur l'OPI

L'information sur les caractéristiques des OPI est très variable d'un ouvrage à l'autre. Dans certains cas, très peu d'informations existent sur la conception de l'OPI, sa construction et son historique de surveillance et d'entretien ou sur les travaux correctifs réalisés au fil du temps. Cette section de l'étude de caractérisation vise à rassembler l'information existante sur l'OPI et à combler certaines lacunes dans les connaissances à cet égard.

4.2.1 Revue des informations disponibles

La revue des informations disponibles consiste à obtenir et à analyser tout document qui contient des informations pertinentes sur l'OPI afin d'assurer une meilleure compréhension de l'ouvrage dans son ensemble. Cette étape permet de mieux connaître l'étendue de l'ouvrage, le rôle des dispositifs connexes dans le fonctionnement général de l'ouvrage, le comportement des différentes sections de l'ouvrage en réponse à différentes sollicitations et les sections plus vulnérables qui nécessitent une attention particulière.

Plusieurs documents peuvent contenir des informations pertinentes sur un ouvrage ou sur les inondations qui sont survenues par le passé. Sans être exhaustive, la liste suivante dénombre certains de ces documents :

- Rapports d'études et d'investigations antérieures, tels que des rapports d'inspection, des avis techniques, des études hydrologiques, hydrauliques, géotechniques, géomorphologiques et écologiques, des relevés d'arpentage, des sondages ou des données d'auscultation. Dans le cadre de la réalisation d'une étude de caractérisation ou de performance, l'ingénieur peut utiliser les résultats des études réalisées antérieurement à condition d'en évaluer la pertinence et l'actualité, et de s'assurer qu'elles répondent aux exigences techniques et réglementaires en vigueur. Il conserve l'entière responsabilité professionnelle quant à leur utilisation;
- Études d'avant-projet, telles qu'une analyse coûts-avantages des options d'aménagement de l'OPI;
- Plans et devis de l'OPI avec toute information sur la conception, la construction, les travaux correctifs, les réparations et les modifications, y compris les dates, les matériaux, une description des travaux correctifs effectués et les autorisations obtenues pour réaliser les travaux;
- Plan des ouvrages amovibles;
- Manuel ou des directives d'opération, de maintenance et de surveillance, de même que le journal des activités de surveillance et d'entretien;
- Rapports d'inspection précédents;
- Données disponibles sur les débits et les niveaux du cours d'eau sur lequel l'ouvrage est situé, par exemple l'historique des relevés d'une station hydrométrique;
- Cartographies des zones inondables et information sur les inondations antérieures permettant de répertorier les crues historiques du cours d'eau avec la cote d'élévation ou le débit et la récurrence associée ainsi que les problèmes et défauts observés liés à ces crues;
- Recensement d'autres aléas survenus dans le secteur (embâcles, tempêtes, tremblements de terre);
- Plans topographiques actuels et historiques, données LiDAR et modèle numérique de terrain (MNT);
- Photographies historiques.

Ces informations peuvent se retrouver dans les archives de la municipalité, dans Bibliothèque et Archives nationales du Québec, ou être obtenues auprès d'une autre partie prenante qui contribue à la gestion de l'OPI, notamment.

En plus de ces documents, des entrevues avec le personnel responsable de la surveillance et de l'entretien de l'OPI peuvent permettre de recueillir de l'information de terrain, tant sur le comportement de l'ouvrage que sur les activités et le milieu environnant. Les éléments suivants, sans s'y limiter, peuvent être inclus dans le processus d'entrevue :

- Historique des réparations sur l'OPI;
- Historique d'entretien de l'OPI;

- Suivi de progression des anomalies;
- Information sur la formation du personnel;
- Événements particuliers (intervention anthropique, débris, surverse, etc.);
- Événements de crue (inspection spéciale, comportement, etc.);
- Registre des opérations (manipulations de dispositifs connexes, niveaux d'eau, etc.);
- Acceptation sociale de l'ouvrage;
- Photographies et vidéos d'événements particuliers.

Des entrevues avec les riverains peuvent aussi permettre de répertorier les aléas et sollicitations spécifiques à un ouvrage. Par exemple, la propension à l'accumulation de débris ou à la formation d'embâcles de glace est une information qui peut parfois être difficile à évaluer (en raison de la faible fréquence de tels événements). L'information recueillie lors d'entrevues sur le site peut donc s'avérer précieuse. Il en va de même pour des cas antérieurs de surverse qui sont non répertoriés, mais qui ont pu être observés par des parties prenantes.

4.2.2 Historique des interventions effectuées sur l'OPI et ses dispositifs connexes

Au fil du temps, l'ouvrage peut avoir subi des travaux de rehaussement, de renforcement ou de réfection. Des installations destinées à d'autres usages peuvent également avoir été ajoutées, comme une piste cyclable ou un sentier pédestre. Des dispositifs connexes peuvent avoir été remplacés ou ajoutés. Il est donc pertinent de rassembler l'information disponible sur ces modifications et de conserver les nouvelles informations, dont les plans finaux et devis de construction à la suite de travaux.

Le registre public des autorisations environnementales du MELCCFP (<https://www.registres.environnement.gouv.qc.ca>) peut être consulté pour trouver les autorisations octroyées lors de la réalisation de certains travaux.

4.3 Description générale de l'ouvrage

Le rapport de l'étude de caractérisation doit inclure une section consacrée à la description générale de l'ouvrage. Cette section du rapport devrait détailler les caractéristiques des fondations de l'OPI, indiquer le type d'ouvrage concerné et mentionner les dispositifs connexes nécessaires à son fonctionnement, sans nécessairement se limiter à ces renseignements.

Les sections ci-dessous détaillent ce qui est attendu en lien avec chacun de ces éléments.

4.3.1 Type d'OPI

Dans le cadre de la réalisation de l'étude de caractérisation, le responsable de l'étude doit indiquer de quel type d'ouvrage il s'agit en décrivant les caractéristiques générales et détaillées de la composante de l'OPI sur la base de la typologie présentée dans le Tableau 1.

Les caractéristiques principales et détaillées de chacun des tronçons d'un OPI doivent être décrites. Elles doivent être indiquées dans le rapport de l'étude de caractérisation. Deux champs sont également prévus à cet effet dans la classe d'entité « tronçon » (voir l'annexe C).

Tableau 1 Typologie des ouvrages de protection contre les inondations

Caractéristiques principales de la composante	Caractéristiques détaillées de la composante
Digue en terre : Ouvrage en remblai conçu pour contenir l'inondation du territoire derrière celui-ci et dont plus de la moitié du volume total est formé de matériaux fins compactés.  Source : MELCCFP	Digue en terre homogène : Digue en terre sans présence d'élément d'étanchéité. Digue en terre avec noyau : Digue en terre avec un noyau central composé de matériaux imperméables. Digue en terre avec membrane : Digue en terre avec une membrane comme élément d'étanchéité. Digue en terre avec rideau de palplanche : Digue en terre avec un rideau de palplanche comme élément d'étanchéité. Digue en terre avec écran de béton : Digue en terre avec un écran de béton comme élément d'étanchéité.
Digue en enrochement : Ouvrage en remblai conçu pour contenir l'inondation du territoire derrière celui-ci et dont plus de la moitié du volume total est constitué de matériaux rocheux.  Source : MELCCFP	Digue en enrochement avec noyau : Digue en enrochement avec un noyau central composé de matériaux imperméables Digue en enrochement avec membrane : Digue en enrochement avec une membrane comme élément d'étanchéité. Digue en enrochement avec rideau de palplanche : Digue en enrochement avec un rideau de palplanche comme élément d'étanchéité. Digue en enrochement avec écran de béton : Digue en enrochement avec un écran de béton comme élément d'étanchéité. Digue en enrochement avec étanchéité indéterminée : Digue en enrochement avec présence d'un élément d'étanchéité de composition indéterminée.

Mur de protection contre l'inondation : Élément rigide non remblayé en aval, tel qu'un mur poids, une paroi-écran, une paroi moulée, un mur ancré ou un mur de soutènement, conçu pour contenir l'inondation du territoire derrière celui-ci.  Source : MELCCFP	Mur de protection contre l'inondation en béton : Mur constitué de béton. Mur de protection contre l'inondation en maçonnerie : Mur constitué de briques ou de pierres assemblées ou jointes. Mur de protection contre l'inondation en palplanche : Mur constitué de profilés métalliques enfoncés dans le sol. Mur de protection contre l'inondation d'un autre type : Mur constitué d'un autre matériel.
Mur de protection contre l'inondation remblayé en aval : Élément rigide remblayé en aval (totalement ou partiellement), tel qu'un mur poids, une paroi-écran, une paroi moulée, un mur ancré ou un mur de soutènement, conçu pour contenir l'inondation du territoire derrière celui-ci.  Source : MELCCFP Autre : Tout autre type d'OPI. Des indications sur l'ouvrage doivent être fournies dans l'étude de caractérisation.	Mur de protection contre l'inondation en béton : Mur constitué de béton. Mur de protection contre l'inondation en maçonnerie : Mur constitué de briques ou de pierres assemblées ou jointes. Mur de protection contre l'inondation en palplanche : Mur constitué de profilés métalliques enfoncés dans le sol. Mur de protection contre l'inondation d'un autre type : Mur constitué d'un autre matériel. Autre : Toute information pertinente permettant de décrire l'ouvrage de façon plus détaillée.

Pour un tronçon ne correspondant pas à l'une des définitions données dans le tableau, une équivalence est établie, lorsque c'est possible et jugé pertinent par l'ingénieur, avec la composante dont le comportement s'en rapproche le plus. Par conséquent, aucun tronçon d'un OPI ne peut demeurer sans composante.

4.3.2 Identification des autres vocations

Outre la protection contre l'inondation, un OPI peut avoir plus d'une vocation, comme l'illustre le Tableau 2.

Si un OPI a d'autres vocations, elles doivent être identifiées pour chacun des tronçons de l'OPI dans le rapport de l'étude de caractérisation. Un champ est également prévu à cet effet dans la classe d'entité « tronçon » (voir l'annexe C).

Tableau 2 Exemples d'autres vocations pouvant être associées à la protection contre les inondations

Route



Source : MELCCFP

Voie ferrée



Source : USACE

Sentier pédestre



Source : MELCCFP

Piste cyclable



Source : MELCCFP

Parc



Source : MELCCFP

4.3.3 Identification des voies d'accès et de circulation

Les voies d'accès sont les chemins (temporaires ou permanents) provenant de l'extérieur de l'OPI et permettant de passer du terrain naturel vers la crête de l'OPI.

Les voies de circulation sont les chemins qui permettent de circuler de manière longitudinale sur l'OPI.

4.4 Localisation et délimitation de l'OPI

4.4.1 Préparation

Avant de localiser un OPI sur le terrain, il est recommandé de bien se préparer en consultant diverses sources d'information existantes. Des documents tels que des plans existants, des rapports d'investigation antérieurs, des plans topographiques, des données LiDAR, un MNT ou encore des photographies aériennes historiques peuvent aider à définir la segmentation des tronçons et permettre de déterminer la position des points à relever sur un ouvrage avant même de se rendre sur le terrain. Cette préparation permet d'optimiser la délimitation de l'OPI, réduisant ainsi le temps et les efforts requis pour accomplir cette étape importante de l'étude de caractérisation.

4.4.2 Identification des tronçons de l'ouvrage

Le découpage d'un OPI en tronçons est un exercice qui repose sur le jugement de l'ingénieur et sur ses observations lors de la délimitation de l'ouvrage ou de l'inspection visuelle de l'ouvrage.

Puisque les OPI consistent généralement en une combinaison de divers matériaux et configurations et que leur hétérogénéité longitudinale est courante, l'inspection globale de ceux-ci est un exercice qui peut s'avérer complexe. Ainsi, il peut être requis de subdiviser les ouvrages en plusieurs tronçons dont les caractéristiques les distinguent les uns des autres. Il est à noter que, dans certains cas, l'OPI pourrait être un ouvrage uniforme dont la segmentation ne serait pas requise. L'OPI serait alors constitué d'un seul tronçon.

L'ingénieur responsable de l'étude doit délimiter les tronçons de l'ouvrage en fonction du type d'OPI d'une part, mais aussi en fonction des sollicitations associées aux différents milieux (côtier, fluvial, lacustre, etc.), le cas échéant. L'inspection pourra ensuite être planifiée et réalisée en plusieurs étapes, en inspectant une à une les parties de l'ouvrage qui ont des caractéristiques similaires. Cette démarche implique qu'un examen fonctionnel de l'OPI soit réalisé préalablement à l'inspection afin de déterminer ses caractéristiques et de segmenter l'ouvrage en tronçons ayant des propriétés communes. L'examen fonctionnel peut être décomposé comme suit :

- Examen des caractéristiques intrinsèques : La création d'un tronçon devrait intervenir à la suite du changement des caractéristiques intrinsèques de l'OPI, c'est-à-dire le changement de ses dimensions, de ses matériaux constitutifs, de la nature de la fondation ou de l'année de construction, par exemple. Le découpage en tronçons peut également être nécessaire en présence d'ouvrages non contigus qui protègent un même territoire. En somme, la segmentation d'un OPI est spécifique à chaque ouvrage.
- Examen du milieu hydrique contigu à l'OPI : Du côté amont de l'OPI, la nature des conditions hydrauliques peut varier, ce qui contribue à exposer l'ouvrage à des conditions différentes le long de son tracé. Le milieu hydrique peut être marin, fluvial ou lacustre. La nature de l'environnement hydraulique est directement liée au type et à l'intensité des sollicitations appliquées à l'OPI.

La figure ci-dessous présente un exemple d'OPI comportant un changement dans les caractéristiques intrinsèques de l'OPI.

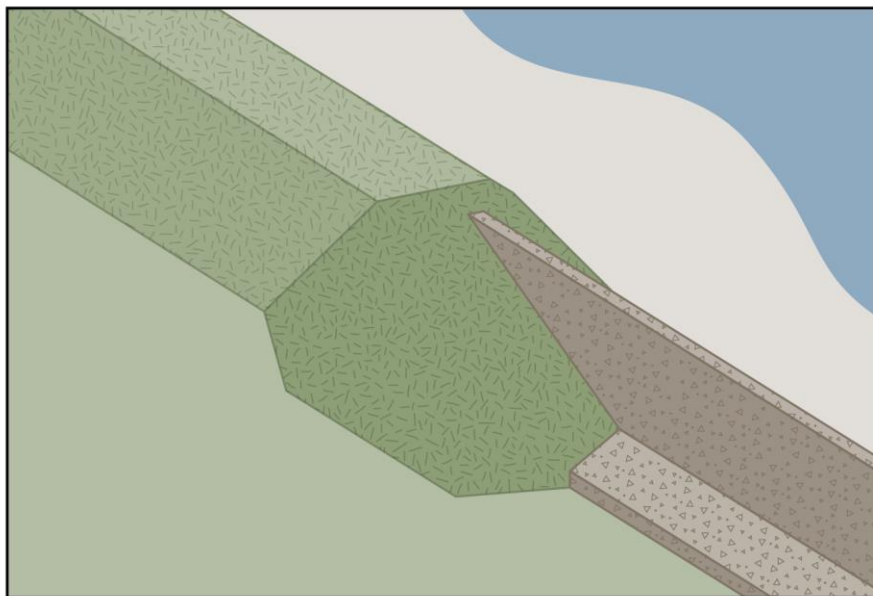


Figure 19 Schématisation de deux tronçons d'un OPI.

Source : MELCCFP

4.4.3 Identification de la crête et des hauts de talus

Le sommet de la crête correspond à la partie la plus élevée de l'OPI, comme l'illustre la Figure 20.

Pour ce qui est du haut de talus, il s'agit du point supérieur de la face inclinée du remblai où se situe la rupture de pente. Lorsque la rupture de pente se situe du côté du cours d'eau, il s'agit du haut de talus amont. Lorsque la rupture de pente se situe du côté terre, il s'agit du haut de talus aval.

Le sommet de la crête doit être localisé par le professionnel responsable à l'aide d'un relevé topographique pour tous les types d'OPI, quelles que soient leurs composantes. Les hauts de talus amont et aval doivent être identifiés uniquement dans le cas d'une digue en terre ou d'une digue en enrochement. Même si cela n'est pas usuel, le sommet de la crête peut parfois correspondre à un haut de talus. Dans l'éventualité où une structure rigide (ex. : palplanche) aurait été intégrée dans l'ouvrage, le sommet de la crête doit alors prendre en considération cette structure.

La localisation du sommet de la crête et des hauts de talus amont et aval de l'ouvrage, déterminée par l'ingénieur, est nécessaire à l'arpenteur-géomètre lors de la prise des points du relevé topographique de l'ouvrage.

4.4.4 Identification des pieds

Pour localiser l'OPI sur le territoire, ses pieds amont et aval doivent être identifiés de la manière illustrée à la Figure 20. Les pieds amont et aval d'un OPI sont généralement identifiés sur les plans de construction de celui-ci. En l'absence de documentation permettant de localiser les pieds de l'OPI, leur localisation doit être effectuée par un ingénieur. Dans un tel cas, il faut prendre en considération qu'il s'agit du point d'intersection entre l'OPI et le terrain naturel. Ce point d'intersection se situe à la surface du sol dans le cas d'une digue en terre et sous la surface du sol dans le cas d'un ouvrage en béton présentant une fondation remblayée. Dans le cas d'un ouvrage en béton, le pied de l'ouvrage doit être projeté à la surface du sol

pour permettre l'identification de l'assiette de l'OPI. Par exemple, si l'aval d'un mur de protection a été remblayé, le remblai peut faire partie de l'OPI s'il est nécessaire pour assurer sa stabilité. Si le remblai ne contribue pas à la stabilité de l'ouvrage, l'ingénieur devra estimer la position des limites de la fondation nécessaire pour soutenir le mur, par exemple en fonction de la hauteur du mur.

Dans une situation où un lot situé en aval de l'OPI aurait été remblayé jusqu'à la crête de l'ouvrage, l'emplacement du pied aval doit tout de même être déterminé. Pour ce faire, les plans finaux de l'ouvrage démontrant la position du pied aval avant le remblayage peuvent être utilisés. À défaut de disposer des plans finaux, les cartes topographiques, les archives historiques, d'anciennes photos aériennes et des relevés terrain peuvent être utilisés pour localiser le pied aval. Des plans projetés de construction pourraient également être utiles. Ces plans ne sont toutefois pas garants de l'ouvrage en place, car ils représentent plutôt le concept tel qu'il était initialement prévu. Ils ne devraient donc pas être utilisés sans une vérification terrain. Il est également possible de déduire approximativement la position du pied aval en utilisant les points topographiques relevés sur des terrains situés de part et d'autre du terrain remblayé.

Dans certaines situations, la documentation disponible pourrait ne pas permettre de localiser précisément les pieds de l'ouvrage. Dans ce cas, l'ingénieur devra faire appel à son jugement. Il devra définir une assiette suffisamment conservatrice pour que les activités exercées au-delà de cette limite ne compromettent pas la sécurité de l'ouvrage. En s'appuyant sur les observations terrain, il pourrait recréer une coupe type de l'OPI et l'appliquer dans une zone ayant subi des modifications importantes (ex. : remblayage en aval de l'OPI). Cela consistera à estimer le pied aval ou amont sans prendre en considération les modifications apportées au site après l'implantation de l'OPI.

La localisation par l'ingénieur des pieds amont et aval de l'ouvrage doit nécessairement être faite avant la prise des points du relevé topographique de l'ouvrage.

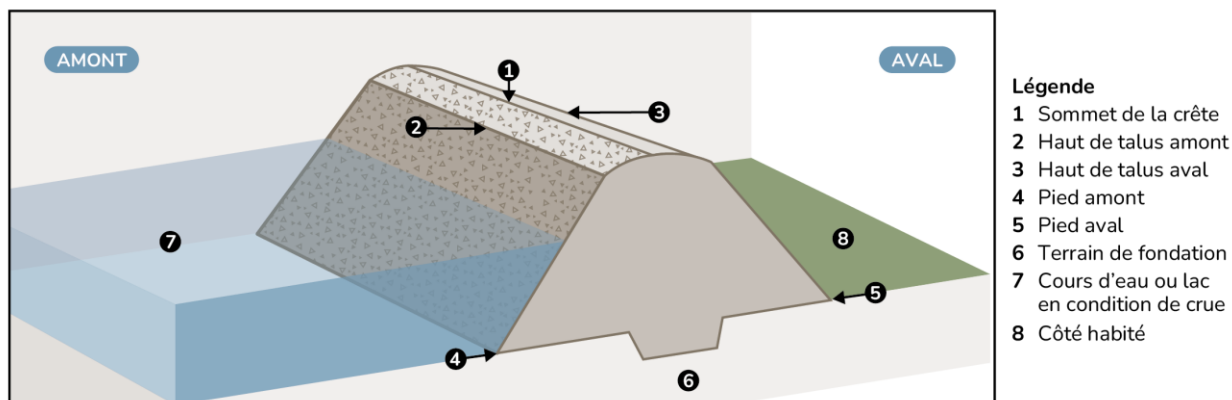


Figure 20 Coupe transversale type d'un OPI.

Source : MELCCFP

4.4.5 Ajout d'une bande de 3 mètres de part et d'autre

Afin de faciliter l'inspection, l'accès et l'entretien d'un OPI, et pour éviter que des activités réalisées à proximité de l'ouvrage aient un impact sur sa stabilité et sur son intégrité, l'article 3 du ROPI précise que l'OPI s'étend sur une distance de trois mètres de son pied amont et de son pied aval, calculée en s'éloignant de l'ouvrage. La localisation d'un OPI de même que la réalisation des études de caractérisation et de performance devront donc intégrer cette bande de 3 mètres de part et d'autre de l'ouvrage dans sa délimitation, comme l'illustrent la Figure 21 et la Figure 22.

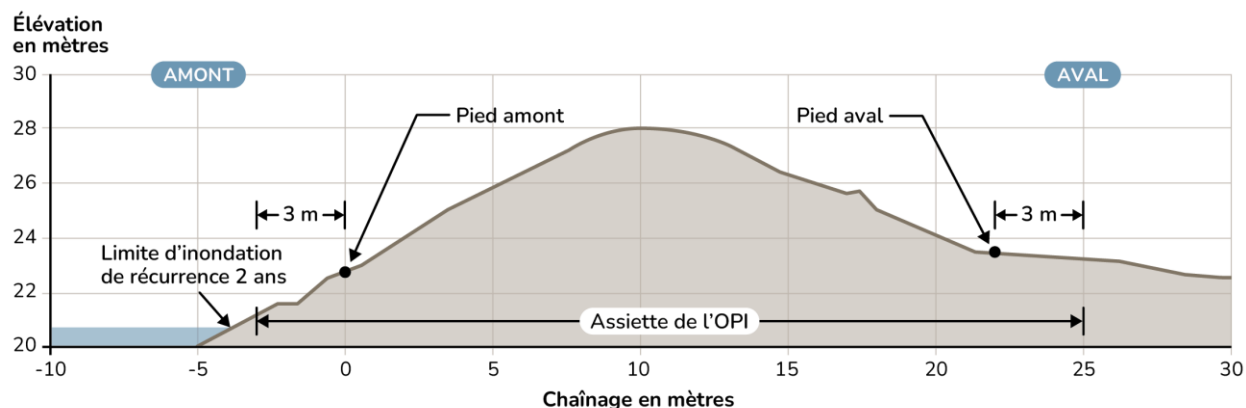


Figure 21 Coupe transversale type d'un OPI en remblai indiquant la présence de la bande de 3 mètres de part et d'autre des pieds de l'OPI.

Source : MELCCFP

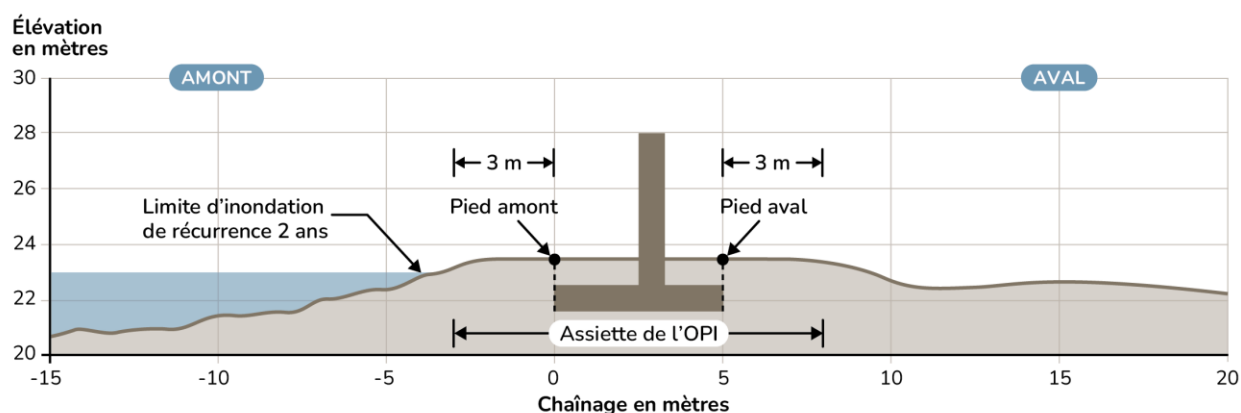


Figure 22 Coupe transversale type d'un OPI constitué d'un mur de protection contre l'inondation, indiquant la présence de la bande de 3 mètres de part et d'autre des pieds de l'OPI.

Source : MELCCFP

Il est à noter que l'exigence relative à la bande de 3 mètres ne s'applique pas lorsque le pied amont de l'ouvrage est situé à l'intérieur de la limite de récurrence de 2 ans. Dans ce cas, l'ouvrage s'arrête au pied amont. De même, si le pied amont d'un ouvrage est situé à une distance inférieure à 3 mètres de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans, l'ouvrage s'étend alors, de ce côté, jusqu'à cette limite.

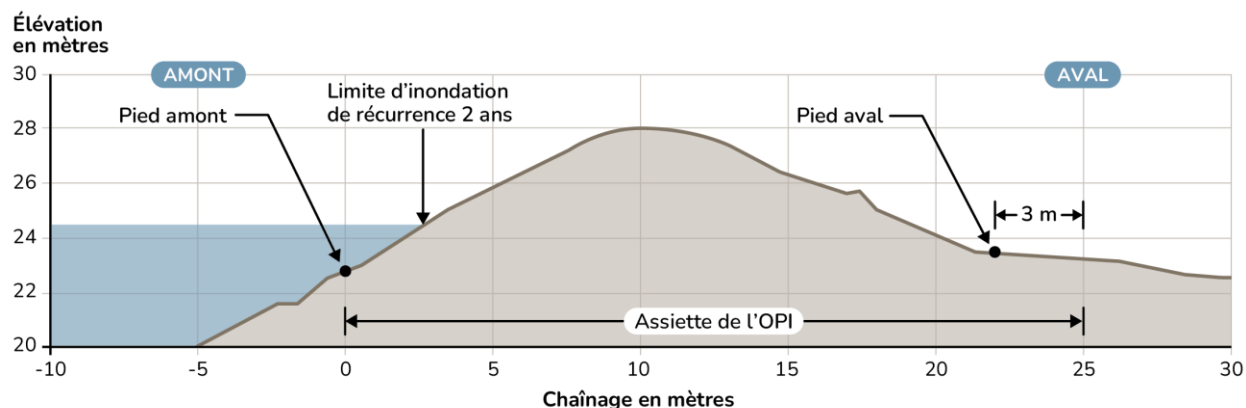


Figure 23 Coupe transversale type d'un OPI en remblai indiquant la présence de la bande de 3 mètres uniquement du côté aval puisque le pied amont est situé à l'intérieur de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans.

Source : MELCCFP

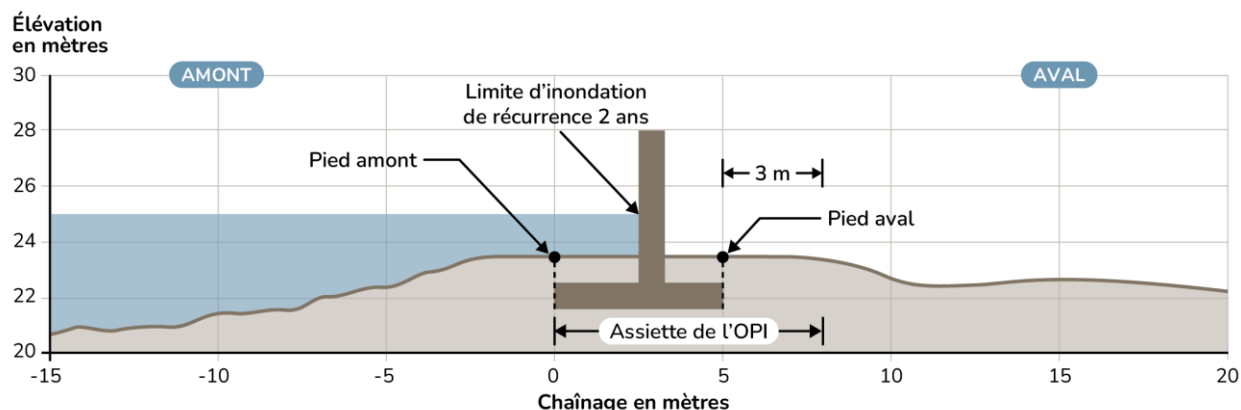


Figure 24 Coupe transversale type d'un OPI constitué d'un mur de protection contre l'inondation indiquant la présence de la bande de 3 mètres uniquement du côté aval puisque le pied amont est situé à l'intérieur de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans.

Source : MELCCFP

L'ajout de la bande de 3 mètres concerne l'OPI proprement dit. Ainsi, pour les dispositifs connexes situés à l'extérieur de l'OPI (par exemple, une station de pompage), la distance supplémentaire de 3 mètres n'a pas à être délimitée autour du dispositif.

4.4.6 Délimitation de l'assiette de l'OPI

Pour délimiter l'assiette de l'OPI, un relevé topographique sous forme de points (nuage de points) doit être réalisé. Le relevé topographique inclut les coordonnées X, Y et Z (élévation) de chaque point relevé. Le système de référence altimétrique doit être le système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28), avec le modèle hybride du géoïde HTv2.0 époque 1997,0.

Des coupes transversales sont réalisées perpendiculairement à l'ouvrage et permettent de relever les pieds amont et aval ainsi que la crête et les hauts de talus. Le relevé peut également porter sur d'autres structures situées dans les environs de l'ouvrage, si la personne responsable le juge nécessaire. Il est recommandé de prévoir le positionnement des coupes transversales avant le levé terrain, pour que les coupes correspondent le plus souvent possible aux transects qui seront nécessaires pour déterminer le profil

longitudinal et les profils de travers de l'ouvrage (voir les sections 4.4.94.4.8 et 4.4.10). La distance qui sépare chaque coupe transversale doit être suffisamment courte pour permettre de bien représenter la géométrie de l'ouvrage. Il doit notamment y avoir une coupe transversale aux points bas, aux extrémités et aux changements de tronçon.

Pour obtenir le meilleur positionnement possible des points à relever sur l'ouvrage, il est recommandé de réaliser le relevé topographique directement sur le terrain à l'aide d'un GPS ou d'une station totale. L'utilisation d'un drone peut également permettre de réaliser ou de bonifier le relevé requis, par exemple si l'OPI est sur un territoire inaccessible ou plus difficile d'accès.

Les données obtenues avec le relevé topographique permettent de délimiter l'assiette de l'OPI dans son ensemble sous la forme d'un polygone. Ce polygone doit, sauf exception, inclure une zone supplémentaire de 3 mètres de part et d'autre de l'ouvrage ainsi qu'à ses extrémités (voir la section 4.4.5). Il ne doit y avoir aucune discontinuité à l'intérieur du polygone. Le polygone de l'assiette de l'OPI peut être de type multipolygone lorsque des ouvrages non continus protègent un même territoire.

Il est possible que le polygone de l'assiette de l'OPI doive faire l'objet d'une segmentation si l'ouvrage est composé de plusieurs tronçons (voir la section 4.4.2). Le polygone, ou l'ensemble des polygones des tronçons, se superpose parfaitement au polygone de l'assiette de l'OPI. Ceci signifie qu'il doit y avoir au moins un polygone de tronçon et celui-ci doit être identique au polygone de l'assiette de l'ouvrage lorsqu'il n'y a qu'un seul tronçon. En présence de plusieurs tronçons, chacun de ceux-ci partage une frontière commune avec un autre tronçon et ils ne se superposent pas.

La Figure 25 présente un exemple d'un polygone associé à l'assiette d'un OPI et de ses tronçons.

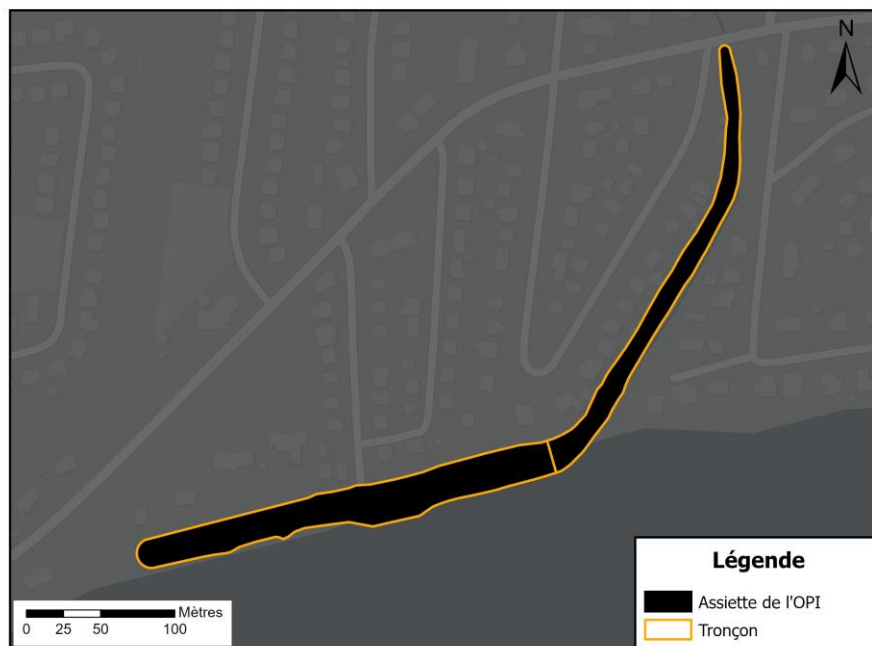


Figure 25 Exemples de polygones associés à l'assiette d'un OPI et de ses tronçons.

Source : MELCCFP

L'annexe D présente des détails supplémentaires relativement à la méthode de délimitation de l'assiette de l'OPI et de ses tronçons.

4.4.7 Identification des dispositifs connexes

Le bon fonctionnement de certains OPI repose parfois sur la présence de dispositifs connexes. Ils peuvent avoir pour fonction d'empêcher l'eau de pénétrer et d'inonder le territoire derrière l'OPI, d'évacuer l'eau du territoire situé en aval de l'OPI pour éviter l'inondation par ruissellement ou de favoriser la résistance de l'OPI dans des situations d'inondation ou de tempête. Le Tableau 3 dresse la liste des types de dispositifs connexes à identifier et à localiser sur un OPI.

Lorsqu'ils sont indispensables au bon fonctionnement de l'OPI, ces équipements, bâtiments ou ouvrages sont considérés comme faisant partie intégrante de l'OPI et, conséquemment, ils doivent être intégrés dans la portée d'une étude de caractérisation ou d'une étude de performance.

Tableau 3 Exemples de dispositifs connexes nécessaires au fonctionnement d'un OPI

Type dispositif connexe	Définition
Station de pompage  Source : MELCCFP	Une station de pompage est utilisée pour évacuer les eaux de ruissellement et éviter leur accumulation du côté aval de l'ouvrage.
Clapet anti-retour  Source : CEREMA (2019)	Un clapet anti-retour ou une vanne est un mécanisme de fermeture d'un ponceau ou d'une autre ouverture dans l'OPI devant être activé (manuellement, mécaniquement ou automatiquement). Le clapet permet notamment le passage de l'eau vers le côté amont de l'OPI, mais empêche le retour de l'eau dans l'autre sens, tandis que la vanne permet de maintenir le libre passage ou le passage d'un certain débit, ou d'empêcher complètement l'écoulement.
Vanne  Source : MELCCFP	

Systèmes amovibles

Batardeaux ou autres éléments d'étanchéité



Source : CEREMA (2019)

Les systèmes amovibles font référence à des mécanismes variés permettant de fermer une ouverture dans un OPI en situation de crue ou d'augmenter le niveau de protection offert par l'OPI.

Station hydrométrique



Source : MELCCFP

Une station hydrométrique est mise en place pour mesurer le débit en continu et enregistrer les valeurs obtenues.

Déversoir



Source : MELCCFP

Un déversoir est expressément construit pour éviter la surverse en limitant la sollicitation sur le reste de l'ouvrage en dérivant les crues vers des champs d'expansion de crues.

Canal de drainage et autre dispositif pour drainer le pied aval  Source : MELCCFP	Dispositifs permettant le contrôle de l'écoulement de l'eau dans le sol, en captant les eaux en excès en vue de leur évacuation et dont la présence est essentielle pour éviter l'inondation de la zone derrière l'ouvrage par l'intérieur.
Autre	Tout autre dispositif pour lequel il est démontré que sa présence est nécessaire au bon fonctionnement de l'OPI (par exemple, la présence d'un bassin de rétention pourrait être nécessaire au bon fonctionnement de l'ouvrage en permettant de contenir provisoirement les eaux pluviales).

4.4.8 Identification des transects

Pour déterminer de manière représentative la position et les valeurs d'élévation du pied amont, du pied aval, de la crête et des hauts de talus (si ceux-ci doivent être localisés) d'un OPI, il est recommandé de tracer des transects tout le long du polygone de l'assiette de l'OPI. Ces transects peuvent correspondre aux coupes transversales réalisées sur le terrain pour effectuer le relevé topographique de l'ouvrage. Dans un tel cas, il est possible d'avoir recours à la valeur d'élévation relevée sur l'ouvrage.

Toutefois, puisqu'à cette étape le polygone de l'assiette de l'OPI est défini, des valeurs d'élévation peuvent être déterminées à n'importe quelle position sur celui-ci. La position d'un transect peut donc être différente de celle d'une coupe transversale, si le responsable de l'étude de caractérisation le juge pertinent pour mieux illustrer les variations d'élévation sur l'ouvrage. Il est notamment possible d'interpoler une valeur d'élévation à partir des informations relevées sur l'ouvrage ou encore à partir des valeurs d'élévation d'un MNT, si la précision de celui-ci est jugée suffisante pour l'exercice.

Il est de la responsabilité du professionnel responsable de l'étude de caractérisation de déterminer le nombre de transects et la distance requise entre ceux-ci en fonction de la géométrie de l'ouvrage et des contraintes à représenter. Il doit minimalement y avoir un transect aux extrémités de l'ouvrage, aux changements de tronçon de même qu'à tous les points bas. De plus, de manière générale il est suggéré de définir des transects environ tous les 20 mètres.

Il est recommandé que chacun des transects soit numéroté afin d'être facilement identifiable sur le profil longitudinal.

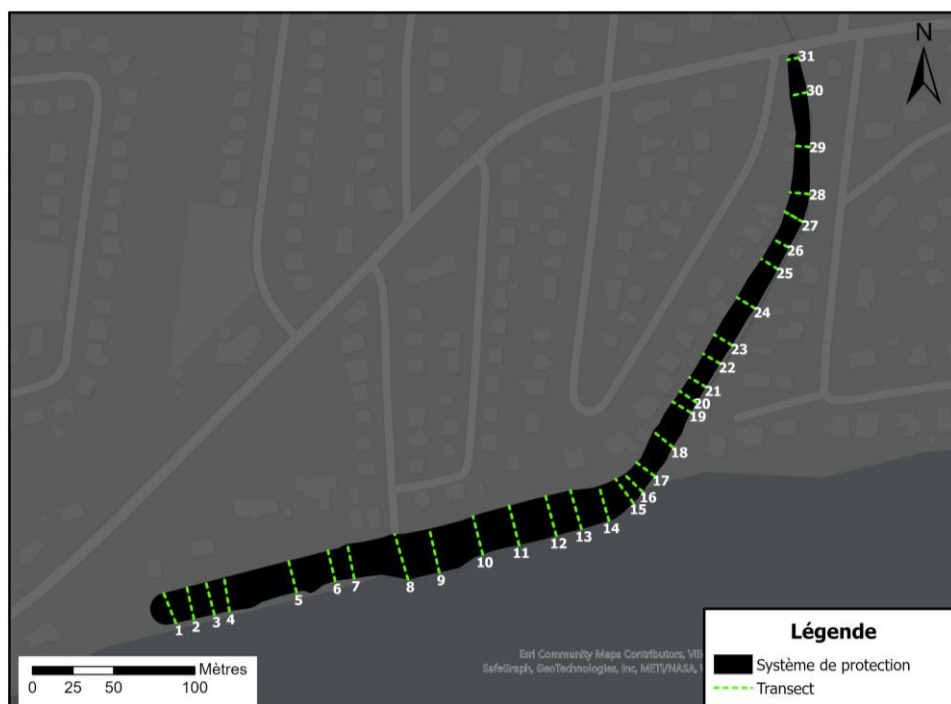


Figure 26 Transects réalisés sur un OPI.
Source : MELCCFP

4.4.9 Réalisation du profil longitudinal de l'OPI

Le profil longitudinal d'un OPI doit permettre d'illustrer, sur toute la longueur de l'assiette de l'OPI, les variations d'élévation en crête ainsi que celles du pied aval et du pied amont.

Une fois les transects positionnés et les valeurs d'élévation obtenues pour chacun de ceux-ci, le profil longitudinal peut être réalisé. Un exemple est représenté à la Figure 27.

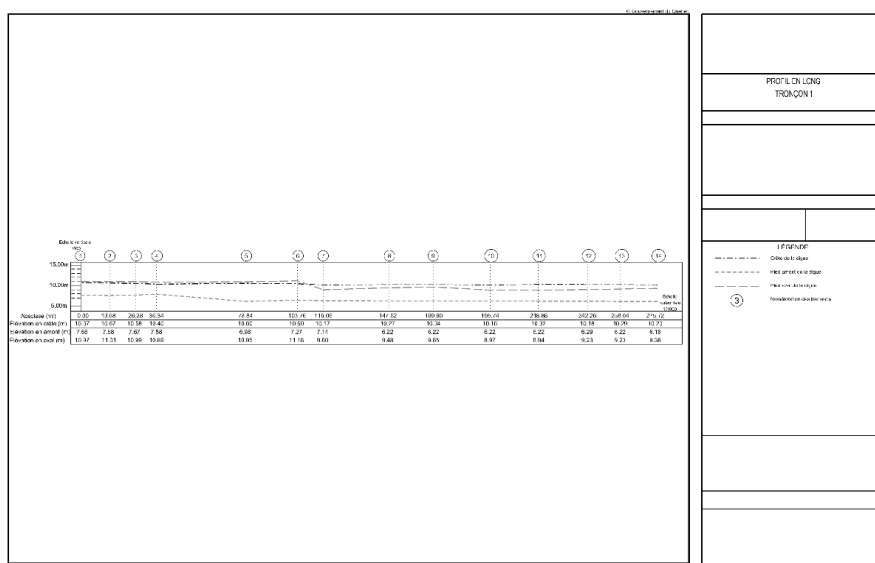


Figure 27 Exemple d'un profil longitudinal d'un OPI.
Source : MELCCFP

4.4.10 Réalisation des profils transversaux

Des profils transversaux de chaque tronçon de l'OPI doivent être réalisés (minimalement un par tronçon), notamment aux endroits jugés plus critiques pour la sécurité de l'ouvrage par le responsable de l'étude de caractérisation, par exemple aux changements de tronçon ou aux points bas.

Un profil transversal doit illustrer le profil perpendiculaire de l'ouvrage en positionnant les points correspondant aux pieds, aux hauts de talus et au sommet de la crête sur un des transects réalisés sur l'ouvrage et indiquer les élévations de ces points.

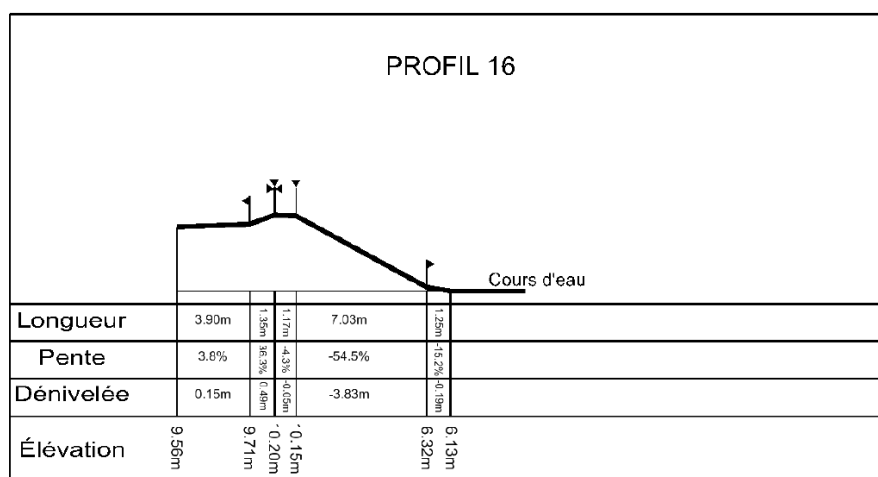


Figure 28 Exemple d'un profil transversal d'un transect d'un OPI.

Source : MELCCFP

4.4.11 Mise en plan de l'OPI

Un plan doit être réalisé pour récapituler toutes les informations obtenues.

- La segmentation de l'OPI en tronçons (section 4.4.2);
- La localisation du profil de la crête, des hauts de talus (dans le cas d'une digue en terre ou en enrochement) et des pieds amont et aval conformément aux points correspondants identifiés sur chacun des transects de l'OPI (sections 4.4.3 et 4.4.4);
- L'assiette de l'OPI (section 4.4.6);
- Les dispositifs connexes (section 4.4.7);
- La localisation des transects et leurs numéros (section 4.4.8);
- La présence des empiétements identifiés sur l'ouvrage (section 4.5.1.6).

Les figures suivantes illustrent quelques exemples de mise en plan d'un OPI.

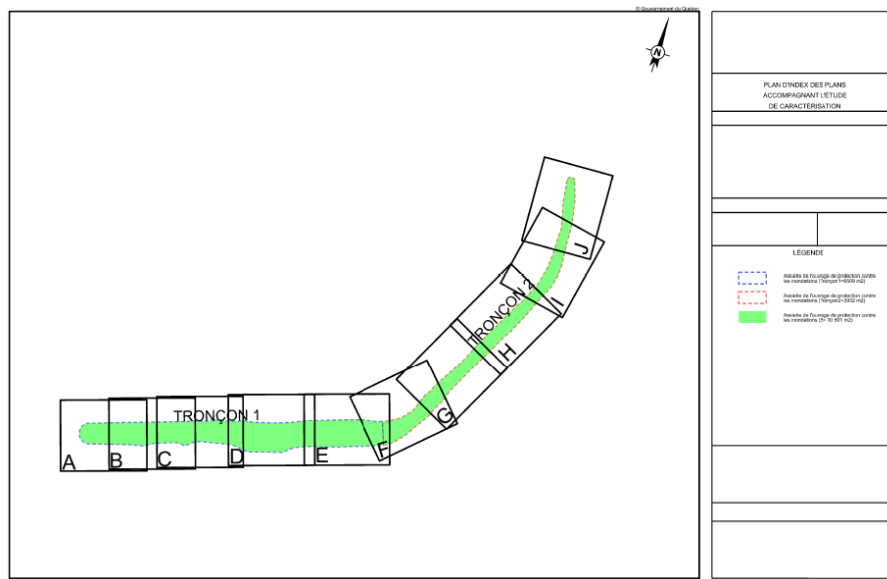


Figure 29 Exemple d'un plan d'ensemble d'un OPI.
Source : MELCCFP

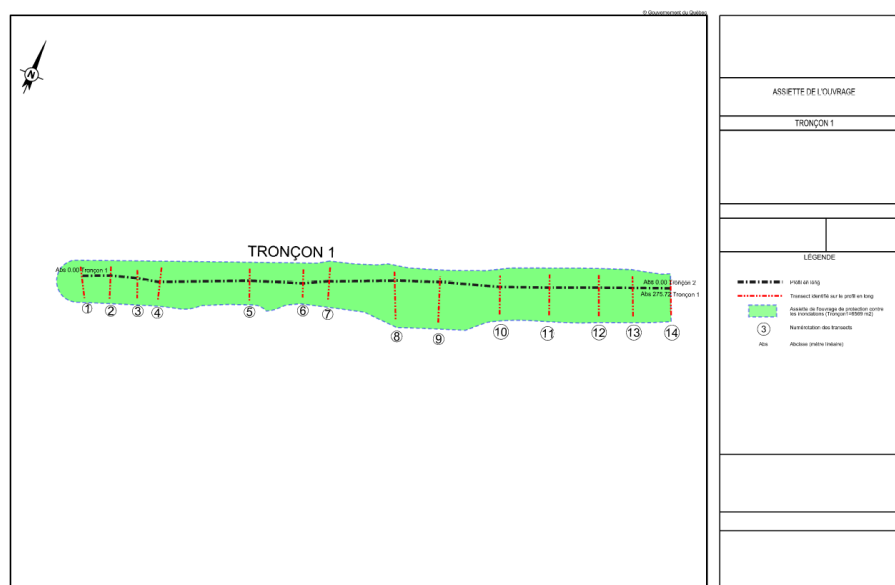


Figure 30 Exemple d'un plan d'un tronçon d'un OPI.
Source : MELCCFP

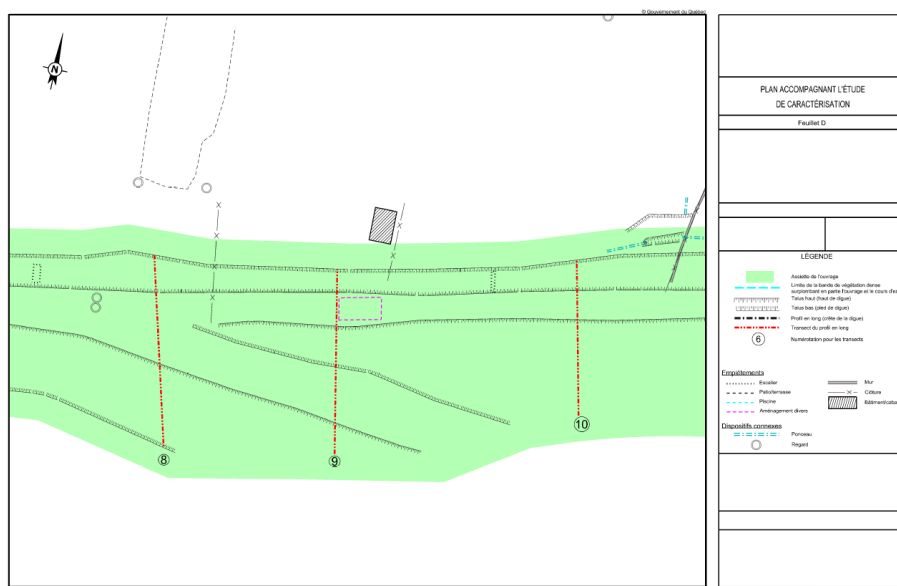


Figure 31 Exemple d'un plan détaillé d'un OPI découpé en feuillets.
Source : MELCCFP

4.5 Caractérisation de l'OPI et vérification fonctionnelle de ses composantes et de ses dispositifs connexes

4.5.1 Inspection visuelle de l'OPI et de ses dispositifs connexes (visite terrain)

Une inspection visuelle consiste à parcourir le linéaire de l'OPI afin de recueillir toutes les informations visuelles concernant, d'une part, les caractéristiques morphologiques externes de l'ouvrage, et d'autre part, les anomalies ou les signes de détérioration affectant chacune de ses composantes. Cette inspection doit aussi comprendre une description de la végétation en place et des empiétements présents sur l'ouvrage. Elle se conclut avec une appréciation de l'état physique et structurel de l'ouvrage et de ses dispositifs connexes.

Les sections suivantes expliquent la portée de l'inspection visuelle prévue par l'étude de caractérisation. Elles proposent de bonnes pratiques à adopter lorsqu'une inspection est menée et détaillent les détériorations qui peuvent être observées sur chaque composante d'un OPI.

4.5.1.1. Résultats de l'inspection visuelle

L'inspection visuelle se conclut avec la rédaction d'un rapport d'inspection. La section 4.5.1.8 décrit le contenu attendu de ce rapport. Les résultats principaux de l'inspection visuelle doivent être transposés dans le rapport de l'étude de caractérisation en faisant ressortir les éléments les plus importants. Les éléments suivants doivent se trouver dans le rapport :

- Une synthèse des anomalies observées sur l'OPI;
- Une synthèse des problématiques associées aux dispositifs connexes;
- Une synthèse des problématiques associées à la végétation;
- Une synthèse des problématiques associées aux empiétements sur l'OPI.

4.5.1.2. Appréciation de l'état physique et structurel de l'OPI et de ses dispositifs connexes

Après l'inspection visuelle et en fonction des informations récoltées sur les anomalies, les empiétements et la végétation, la personne responsable de l'étude de caractérisation devra formuler une opinion sur l'état de chacun des tronçons de l'OPI, et ce, en incluant chacune des composantes de l'OPI et les différents dispositifs connexes, en fonction des catégories présentées au Tableau 4. La cote globale de l'OPI correspondra à la pire cote parmi toutes celles attribuées aux tronçons définis.

Le lien entre les symptômes observés et les défaillances repose sur des concepts théoriques appliqués aux ouvrages hydrauliques. Par conséquent, l'inspection doit être menée en ayant une compréhension approfondie des mécanismes à l'origine des défaillances ou des ruptures.

Tableau 4 État physique des composantes d'un OPI, y compris les dispositifs connexes

Catégorie	Définitions
Très bon	L'état du tronçon de l'ouvrage est considéré comme « très bon » si le tronçon ne présente aucune anomalie ou ne comporte que de minimes détériorations locales considérées comme normales ou sans conséquence. Les dispositifs connexes sont en mesure d'assurer pleinement leur fonction.
Bon	L'état du tronçon de l'ouvrage est considéré comme « bon » si le tronçon ne présente que des détériorations mineures ou des anomalies qui ne mettent pas en cause le bon fonctionnement de ses éléments. Les dispositifs connexes ne présentent pas de risque de dysfonctionnement important et sont en mesure d'assurer leur fonction.
Acceptable	L'état du tronçon de l'ouvrage est considéré comme « acceptable » si le tronçon présente des détériorations qui demandent des réparations, sans représenter un danger à court terme pour la sécurité de la structure, mais qu'il nécessite des travaux d'entretien et de réfection à court ou moyen terme. Il peut également présenter des anomalies qui ne compromettent pas sa sécurité à court terme, mais qui nécessitent un suivi particulier. Les dispositifs connexes présentent des risques de dysfonctionnement et nécessitent des réparations pour assurer leur fonctionnement.
Pauvre	L'état du tronçon de l'ouvrage ou les dispositifs connexes est considéré comme « pauvre » si ceux-ci présentent une ou plusieurs détériorations graves pouvant mettre en cause la stabilité de certaines de leurs parties ou les rendre inopérantes, ou présentent des anomalies graves qui sont susceptibles de compromettre la sécurité de l'ouvrage.
Indéterminé	Il est impossible de se prononcer sur l'état de l'ouvrage et des dispositifs connexes.

4.5.1.3. Réalisation de l'inspection visuelle

Logistique

La planification d'une inspection est une étape essentielle à sa réalisation.

L'inspection, des étapes préliminaires jusqu'à sa réalisation complète, doit être menée par un ingénieur ayant des connaissances approfondies dans le domaine du génie civil et des digues et barrages. À des fins de sécurité, d'efficacité et de logistique, celui-ci peut s'entourer d'une équipe formée de deux ou trois personnes. L'intervention menée par plusieurs experts permet notamment une plus grande exhaustivité dans l'inventaire des détériorations et une confrontation des points de vue lors de l'évaluation subjective des risques pour la pérennité de l'OPI. Les types de détérioration qui peuvent être observés varient en fonction du type d'ouvrage et des matériaux dont il est constitué. L'inspection devrait donc être adaptée au type d'OPI.

Conditions de réalisation

Idéalement, les inspections devraient être menées dans différentes conditions, notamment en charge hydraulique et à sec, afin d'évaluer de manière exhaustive l'état et le comportement de l'OPI. Lorsque l'ouvrage est soumis à une charge hydraulique, la détection des infiltrations d'eau par l'ingénieur est facilitée. Cependant, cette approche ne permet pas d'identifier les défaillances possibles de l'OPI sous le niveau de l'eau. Il est donc recommandé d'effectuer une inspection complète de l'ouvrage dans des conditions sèches afin de garantir une évaluation globale de son intégrité.

La réalisation d'inspections au printemps, après la fonte des neiges, mais avant le développement du couvert végétal, facilite l'identification des détériorations, car à ce stade, la végétation n'entrave ni la visibilité, ni l'accès aux zones problématiques des ouvrages. Cette pratique est particulièrement recommandée pour les ouvrages entourés d'une végétation dense et variée. La tenue d'une inspection tard à l'automne, soit après la chute des feuilles, peut être une autre solution, mais ce n'est pas une pratique optimale en raison des feuilles tombées au sol qui peuvent cacher certaines détériorations. C'est au printemps que la visibilité des différentes parties de la structure est la meilleure pour repérer les signes visuels de détérioration.

Itinéraire ou cheminement

Un parcours méthodique devrait être emprunté lors d'une inspection. Ce parcours devrait être inspiré de la segmentation de l'OPI en plusieurs tronçons et cohérent avec celle-ci (section 4.4.2).

Une fois les tronçons établis, il est recommandé de faire un premier aller-retour en crête, pendant lequel des repères longitudinaux peuvent être implantés (jalons, peinture, etc.) afin de mieux situer les détériorations observées.

Un deuxième aller-retour peut ensuite être effectué pour observer les détériorations sur l'un des côtés/talus, sans omettre l'examen du pied de l'ouvrage, de la berge et du cours d'eau s'ils se trouvent à proximité.

Un dernier aller-retour peut être effectué de manière similaire pour relever l'état de l'autre côté de l'OPI. L'examen peut nécessiter des allées et venues supplémentaires si les talus ont une taille importante (présence de bermes multiples) et si des dispositifs connexes ou des empiétements ne peuvent être évalués lors des premiers trajets.

Relevé des anomalies

L'équipe d'inspection devrait être munie d'un plan à l'échelle de l'OPI dans son ensemble ou de ses différents tronçons, sur lequel elle devrait identifier les détériorations observées. Des fiches d'inspection spécifiques à la nature ou aux caractéristiques de l'ouvrage devraient être prévues afin de recenser les informations importantes associées aux observations effectuées et aux détériorations notées.

La documentation technique concernant les barrages, notamment le bulletin technique « Surveillance des installations des barrages (2007) » de l'ACB, peut servir de référence pour la préparation de fiches d'inspection de l'OPI.

Sur les fiches d'inspection, il est recommandé d'inscrire, entre autres, une description des observations effectuées lors de l'inspection, une description des anomalies observées et leur emplacement sur l'ouvrage (chaînage et élément affecté) ainsi que les numéros de photos correspondants. Des codes qui correspondent aux différents défauts possibles et aux éléments observés peuvent être utilisés afin d'alléger l'information contenue dans ces documents. Des informations complémentaires devraient se retrouver sur ces fiches, telles que la date et l'heure de l'inspection, la température et les conditions météorologiques ainsi que le nom des membres de l'équipe. Chaque tronçon devrait être inspecté individuellement selon cette méthode. Les fiches d'inspection permettront d'alimenter le rapport de l'étude de caractérisation et

serviront à la formulation des recommandations de mesures à prendre pour corriger les anomalies ou en assurer le suivi.

Si les ressources le permettent, l'utilisation d'équipements d'arpentage (GPS, station totale, niveau optique, etc.) peut s'avérer pertinente lors des inspections. Cela permet de relever précisément l'emplacement et la géométrie des défauts observés et de recenser d'autres éléments importants tels que les niveaux d'eau et l'élévation des marques de crues.

L'emploi de ces équipements permet également d'enregistrer le déplacement spatial des éléments d'auscultation présents sur certaines parties de l'OPI (indicateurs de tassement, développement de fissures, etc.). Toutefois, la réalisation de tels relevés nécessite des connaissances spécialisées en géodésie. Ainsi, elle devrait toujours être confiée à du personnel qualifié afin de minimiser le risque d'arriver à des conclusions erronées.

Médias visuels

La prise de photos et de vidéos est indispensable lors des inspections. Elle permet non seulement l'appréciation visuelle des différents éléments relevés pendant l'inspection, mais aussi la comparaison avec des clichés pris antérieurement ou ultérieurement aux mêmes endroits lors d'autres inspections. Ces photographies et vidéos devraient être géoréférencées afin d'en faciliter la consultation subséquente.

De nos jours, la majorité des téléphones portables permettent le géoréférencement des photographies directement par leur système d'exploitation ou par le biais d'applications. L'azimut de visée peut aussi être extrait, ce qui permet de mieux interpréter le contenu de la photographie. De l'information complémentaire peut également être saisie directement sur les clichés, ce qui peut être utile afin de mieux décrire ce que l'on veut montrer sur les photos.

La narration des vidéos constitue aussi une autre bonne pratique lorsque l'ingénieur désire verbaliser de l'information supplémentaire. Les photos devraient toujours être prises de façon à en optimiser la qualité (cadrage, mise au point, utilisation du flash lorsque l'environnement est sombre ou à contre-jour, etc.) et un objet devrait être disposé de façon à donner une indication de l'échelle. L'angle de prise de vue et les coordonnées devraient être notés lorsque le matériel technologique ne le permet pas. Tout le contenu photographique devrait être consigné sur un serveur et rendu accessible aux différents intervenants immédiatement après l'inspection afin d'en prévenir la perte.

Caractéristiques complémentaires

D'autres informations peuvent être facilement recueillies à l'aide d'outils simples sans trop compliquer la reconnaissance visuelle, ce qui contribue à l'établissement d'un modèle plus complet de l'OPI. Par exemple, la mesure des niveaux d'eau à l'aide d'une sonde électronique dans les piézomètres en place permet d'obtenir des informations sur les conditions hydrostatiques auxquelles l'ouvrage est exposé. La description des matériaux granulaires constituant l'ouvrage et la prise d'échantillons à l'aide d'une pelle ou d'une tarière manuelle permettent une caractérisation rapide de la composition d'un OPI. Il est essentiel de ne pas effectuer cette dernière opération dans une zone déjà apparemment plus vulnérable, car de telles excavations créent des points de faiblesse supplémentaires.

Les riverains rencontrés pendant la visite devraient être interrogés par les membres de l'équipe d'inspection. Ces personnes peuvent divulguer des informations importantes sur le fonctionnement de l'OPI, son historique, ainsi que certains travaux de réparation et d'entretien non répertoriés. Les informations tirées de ces témoignages devraient être consignées dans les fiches d'inspection.

Consignation des données

La restitution des informations collectées sur le terrain est un travail qui peut demander beaucoup de temps et qui est essentiel à la production du rapport d'inspection (section 4.5.1.8). Il est recommandé que cette mise au propre soit effectuée par la ou les personnes responsables de la prise de notes sur le terrain. L'information devrait être consignée dans des tableurs informatiques ou des bases de données simples qui pourront être mis à jour plus rapidement lors des examens subséquents. L'idéal reste de formater une application informatique préprogrammée permettant de structurer et d'homogénéiser la saisie des informations. Le développement de cette pratique requiert cependant des efforts initiaux considérables, mais qui peuvent être bénéfiques à long terme lorsque le groupe d'utilisateurs est suffisamment grand.

4.5.1.4. Type et caractéristiques des fondations de l'OPI

Une revue des dépôts meubles (suivant les cartes géologiques) devrait être faite pour la caractérisation de la fondation probable d'un OPI ainsi que du milieu environnant. L'inspection visuelle du terrain en amont et en aval de l'OPI permet également de porter un premier jugement sur le type et les caractéristiques du terrain de fondation.

4.5.1.5. Anomalies à observer sur les ouvrages

Les OPI présentent une grande diversité en termes de composition. Selon qu'ils sont homogènes ou zonés, ou encore construits avec des remblais granulaires ou de manière composite (intégrant des éléments rigides tels que des murs en béton/maçonnerie, un rideau de palplanche, etc.), les OPI réagissent de manière différente aux conditions de leur environnement. Ces conditions peuvent déclencher divers mécanismes de détérioration, comme l'érosion externe et interne, l'instabilité générale du talus, ainsi que d'autres processus tels que des mouvements structuraux et des détériorations locales spécifiques aux matériaux de construction. Des signes de l'amorce de ces mécanismes peuvent être observés lors d'une inspection.

Dans plusieurs cas, les OPI se ferment sur des structures anthropiques ou des éléments topographiques naturels (colline, etc.). Le comportement de ces éléments de fermeture ainsi que l'intégrité du contact avec l'OPI devraient être évalués lors des inspections. Une attention particulière devrait être portée à tout élément qui agit comme prolongement de la protection qu'offre l'OPI. L'inspection et la vérification de l'intégrité de ces éléments devraient être adaptées à la nature de ceux-ci.

Lors d'une inspection, une attention spéciale devrait également être portée aux transitions entre les structures qui ont des configurations géométriques ou compositionnelles différentes. Ces zones de liaison sont spécialement vulnérables à l'érosion externe et interne. Les sollicitations hydrauliques exploitent préférentiellement le contraste entre les propriétés mécaniques des matériaux de part et d'autre de la zone de transition. Cette discontinuité concentre notamment les écoulements internes au contact entre les différents matériaux, ce qui augmente la susceptibilité à l'érosion interne. L'érosion externe est également favorisée à ce contact puisque la cohésion entre les matériaux est moindre.



Figure 32 Zone de transition entre deux tronçons.

Source : CEREMA (2019)

Indicateurs visuels de détérioration observés sur les digues en terre

Sur les digues en terre ou en enrochement, les détériorations peuvent être repérées au sommet de la crête, le long des talus, à leur base, ainsi que sur le terrain entre le lit mineur et le pied de l'ouvrage comme sur le terrain en aval de l'ouvrage. Le tableau ci-dessous **Tableau 5** présente un guide d'examen visuel des digues en terre. Les différents indicateurs de détérioration qui peuvent être observés sont énumérés (liste non exhaustive) et la manière dont ils doivent être mesurés lors de l'inspection est décrite. Le tableau synthétise également les emplacements sur les digues où les détériorations peuvent être observées, ainsi que le type de défaillance associé. L'annexe E présente une série d'exemples pour les différents types de détériorations pouvant être observées sur les digues en terre.

Tableau 5 Indicateurs visuels de détérioration des digues en terre

Type de détérioration, anomalie ou autre élément à observer	Indicateurs/éléments	À caractériser		Localisation						Défaillances			
		Qualitatif	Quantitatif	Terrain naturel amont (côté eau)	Talus amont (côté eau)	Crête	Talus aval (côté zone protégée)	Terrain naturel aval (côté zone protégée)	Autre	Surverse	Érosion externe	Érosion interne	Instabilité d'ensemble
Déformations	Ornière/nid-de-poule		Profondeur, longueur, largeur, densité	x	x	x	x	x			x		
	Tassements	Ordre de grandeur	Relevé topographique, instrumentation			x							x
	Affaissement / cône d'affaissement		Superficie, profondeur	x	x	x	x	x				x	
	Changement de pente	Irrégulière, concave, convexe ou vallonnée	Pente, relevé topographique		x		x				x		x
Érosion	Élimination du couvert végétal	Type de végétation éliminée	Superficie	x	x	x	x	x		x	x		
	Élimination/déplacement du couvert granulaire	Granulométrie, origine (anthropique, animale, hydraulique, glaces)	Profondeur, superficie, tailles des particules érodées	x	x	x	x	x		x	x		
	Anses d'érosion	Mineure, modérée, majeure	Longueur, profondeur	x	x	x	x				x		
	Sillons d'érosion		Longueur, largeur, profondeur	x	x	x	x	x		x	x		
	Affouillement	Degré d'avancement	Largeur, hauteur, profondeur	x	x		x				x		
	Déplacement du perré	Mineure, majeure, terrasse	Hauteur, profondeur, dimension des éléments déplacés		x	x	x				x		x
	Terriers	Espèce	Densité, diamètre, profondeur	x	x	x	x	x				x	x
Instabilité	Glissement	Planaire, circulaire, profond, superficiel	Hauteur, largeur	x	x		x				x		x
	Fissuration	Tension, cisaillement, fissure longitudinale, transversale, fermée ou ouverte, présence d'un décrochement, retrait	Longueur	x	x	x	x						x
	Bourrelet au pied aval	Indices sur la date de l'événement (végétation, consolidation, etc.)	Volume approximatif déplacé	x	x		x	x					x
	Courbures à la base des troncs d'arbres	Intensité		x	x		x						x
Infiltration active	Zone humide / nappe d'eau	Asséchée, saturée, stagnante, déversante, claire, brouillée, boueuse	Superficie, débit	x	x		x	x				x	x
	Venue d'eau	Simple ou multiple, Asséchée, jaillissante, claire, submergée, brouillée, boueuse, bouillonnante, gelée	Superficie, débit	x	x		x	x				x	x
	Boulance		Superficie	x			x	x				x	x
	Dépôt sédimentaire finement grenu	Granulométrie du dépôt	Volume approximatif	x	x		x	x				x	
	Renards hydrauliques		Superficie, profondeur	x	x		x	x				x	
	Points chauds	Ponctuels, linéaires	Dimension	x	x	x	x	x				x	x
	Vortex à la surface du bief		Nombre, diamètre						x			x	

Type de détérioration, anomalie ou autre élément à observer	Indicateurs/éléments	À caractériser		Localisation						Défaillances			
		Qualitatif	Quantitatif	Terrain naturel amont (côté eau)	Talus amont (côté eau)	Crête	Talus aval (côté zone protégée)	Terrain naturel aval (côté zone protégée)	Autre	Surverse	Érosion externe	Érosion interne	Instabilité d'ensemble
	Présence de souches, racines	Type, espèce, niveau de décomposition	Diamètre, densité	x	x	x	x	x				x	
Interventions humaines	Augmentation de fortune du niveau de la crête	Sac de sable, remblai granulaire, bois, etc.	Hauteur, longueur			x				x			x
	Exploitation des matériaux constituant la digue		Superficie ou volume excavés	x	x	x	x	x		x	x	x	x
	Modification de la géométrie et/ou des constituants de la digue	Pour répondre à quelle fonction		x	x	x	x	x		x	x	x	x
	Vandalisme	Nature		x	x	x	x	x		x	x	x	x
Végétation	Présence de végétation ligneuse	Type, état (morte ou vivante), maturité, densité		x	x	x	x	x			x	x	x
	Entretien déficient	Qualité, type		x	x	x	x	x					
	Signes de surverse (rabbattue, sédiments sur les feuilles)				x	x	x			x			
Bief amont et aval	Élévation (échelle limnimétrique/géodésique)	Accumulation de débris, turbidité	Niveau d'eau	x	x	x	x	x	x	N/A			
Caractéristiques de l'écoulement	Régime hydraulique	Sec, permanent, transitoire, turbulent	Direction, vitesse	x						N/A			

Note : Ce tableau présente de manière générale les différents éléments et indicateurs d'un comportement potentiellement déficient dans un ouvrage en remblai et devrait être utilisé comme guide de bonnes pratiques pour la réalisation des inspections, mais ne se veut pas prescriptif ou limitatif dans l'étendue des observations à effectuer.

Indicateurs visuels de détérioration observés sur les murs de protection contre les inondations

Les éléments rigides composant un mur de protection contre les inondations sont aussi susceptibles de se détériorer au fil du temps. Leur évaluation est donc essentielle afin d'assurer la sécurité de l'OPI. Ces éléments rigides peuvent être constitués de matériaux très variés (béton, pierre maçonnée, acier, bois, etc.). Ils peuvent également être complémentaires à un ouvrage en remblai et avoir une fonction de soutènement du remblai granulaire, de protection du remblai contre les sollicitations hydrauliques, d'imperméabilisation afin de ralentir et dévier l'écoulement interne, de rehaussement de la crête, ou de filtration afin de prévenir la migration de la fraction fine du remblai. Les indicateurs visuels associés à la défaillance de ces éléments rigides sont observés au sein même de la structure et, le cas échéant, au point de contact avec la digue qu'il complète.

Le **Tableau 6** tableau ci-dessous présente un guide d'examen visuel des éléments rigides. Les indicateurs de détérioration qui peuvent être observés sont énumérés ainsi que la manière dont ils doivent être mesurés lors de l'inspection. Le tableau synthétise également les emplacements sur l'ouvrage où les détériorations peuvent être observées, ainsi que le type de défaillance associé. L'annexe F présente une série d'exemples pour les différents types de détériorations pouvant être observées sur les murs de protection.

Tableau 6 Indicateurs visuels de détérioration des murs de protection contre les inondations

Type de détérioration, anomalie ou autre élément à observer	Indicateurs/élément	À caractériser		Élément affecté				Défaillances			
		Qualitatif	Quantitatif	Mur de béton	Pierres maçonnées	Palplanches	Autre	Intrinsèque	Érosion externe	Érosion interne	Mouvements structuraux
Érosion	Affouillement	Degré d'avancement	Largeur, hauteur, profondeur	x			x		x		
	Usure	Locale, pervasive, degré		x	x	x	x		x		
	Marque de choc	Origine, degré de détérioration	Dimensions de la marque	x	x	x	x		x		
	Déjointement	Mineur, modéré, majeur		x	x	x			x		x
	Arrachement	Local, global, partiel, complet	Densité, taille des éléments arrachés		x		x				
Instabilité	Poinçonnement	Local, étendu, mineur, modéré, majeur	Relevé, instrumentation	x							x
	Glissement	Nature, degré d'avancement	Hauteur, largeur	x	x	x	x				x
	Renversement	Orientation, local, global	Degré d'inclinaison, relevé, instrumentation	x		x	x				x
	Soulèvement	Local, global, mineur, modéré, majeur	Relevé, instrumentation	x	x	x	x				x
	Mauvaise connexion de la structure rigide avec le remblai	Local, global, mineur, modérée, majeur, présence d'eau, point bas	Longueur, profondeur	x	x	x	x		x	x	x
	Fissures	Traversante, rejet, ouverte, fermée, patron	Longueur, ouverture, profondeur	x	x						x

Type de détérioration, anomalie ou autre élément à observer	Indicateurs/élément	À caractériser		Élément affecté				Défaillances			
		Qualitatif	Quantitatif	Mur de béton	Pierres maçonnées	Palplanches	Autre	Intrinsèque	Érosion externe	Érosion interne	Mouvements structuraux
Actions chimiques	Solubilisation	Locale, pervasive, degré, origine		x	x			x			
	Gonflement/écaillage/éclatement	Local, étendu, mineur, modéré, majeur		x	x			x			
	Corrosion	Degré d'avancement, locale, étendue		x		x		x			
	Fissure de retrait	Locale, étendue	Densité	x				x			
Actions biologiques	Végétation	Type, état (mort ou vivant), maturité, densité		x	x	x	x				x
	Colonisation par des espèces incrustantes	Espèce, locale, étendue		x	x	x	x				
	Moisissure	Degré d'avancement, origine					x	x			
Interventions humaines	Vandalisme	Nature	Dimensions	x	x	x	x				
	Réparations	Nature, qualité	Dimensions	x	x	x	x				
Niveau d'eau	Élévation (échelle limnimétrique/géodésique)		Niveau								
Caractéristiques de l'écoulement	Régime hydraulique	Sec, permanent, transitoire, turbulent	Direction, vitesse								

Note : Ce tableau présente de manière générale les différents éléments et indicateurs d'un comportement potentiellement déficient dans un ouvrage en remblai et devrait être utilisé comme guide de bonnes pratiques pour la réalisation des inspections, mais ne se veut pas prescriptif ou limitatif dans l'étendue des observations à effectuer.

Indicateurs visuels de détérioration observés sur les dispositifs connexes

L'inspection des dispositifs connexes peut s'avérer plus complexe que celle des tronçons de l'ouvrage puisque les dispositifs connexes peuvent être ennoyés (ex. : vanne de fond, pertuis, etc.) ou difficiles d'accès, en plus d'être constitués de plusieurs pièces, composantes et dispositifs mécaniques. Les activités d'inspection devraient être adaptées afin de permettre une appréciation visuelle de l'état des dispositifs. À l'étape de l'étude de caractérisation, il n'est donc pas requis de faire une inspection mécanique, électrique ou structurale, ni de procéder à des tests de performance. Ce type de vérification dépasse le cadre de la caractérisation de l'OPI et relève davantage d'une étude de performance.

Étant donné la nature de ces systèmes, toutes les anomalies présentées plus haut pourraient être observées lors de l'inspection. La fiche d'inspection devrait être adaptée précisément au type de dispositif ainsi qu'à ses caractéristiques physiques.

Des exemples d'observations à effectuer en présence de certains dispositifs connexes sont présentés ci-dessous.

Tableau 7 Exemples d'éléments à examiner lors de l'inspection des dispositifs connexes

Dispositif connexe	Éléments devant faire l'objet d'une attention particulière
Conduite de drainage	Subsidence
Vanne	Affouillement
Ponceau	Érosion autour de l'élément
Puisard	Fuite ou suintement autour ou à l'intérieur de l'élément
Regard	Intégrité compositionnelle et structurale
Salle mécanique	État des raccords
	Tassements différentiels
	Soulèvement

Lorsqu'il s'agit de dispositifs passifs assurant l'évacuation ou la retenue des eaux, une attention particulière doit être portée à tout encombrement ou débris pouvant limiter l'action du système ou nuire à son fonctionnement. Comme l'illustre la figure ci-dessous, un clapet anti-retour est considéré comme un dispositif connexe et la présence de débris ou de sédiments pourrait empêcher sa pleine ouverture ou sa fermeture en cas de sollicitation.



Figure 33 Conduites d'évacuation traversant un OPI, munies d'une vanne clapet en acier ou en bois.

Source : WSP

Sur les dispositifs connexes en lien avec le drainage, les observations lors de l'inspection devraient être effectuées de manière à noter toute forme d'obstruction à l'écoulement, par exemple. La figure ci-dessous présente une digue munie d'un tel dispositif connexe et montre la présence d'empiétements (remblais ou ponts) menant à la crête à partir de la zone aval.



Figure 34 Fossé de drainage de la zone aval et ponceaux sous des accès à la crête dans l'axe longitudinal de l'OPI.

Source : WSP

Lors de l'inspection des dispositifs connexes d'un OPI, une manipulation des éléments et composantes devrait être effectuée pour en vérifier la fonctionnalité. Dans le cas de systèmes mécanisés (pompe, vanne, poutrelles), l'inspection doit permettre de confirmer le bon fonctionnement de ceux-ci et de vérifier l'alimentation électrique, le cas échéant. L'inspection de systèmes mécaniques pourrait inclure par exemple une inspection du moteur, des courroies et des poulies ainsi que la vérification des dispositifs d'alarme afin de voir, par exemple, s'il y a des signes visuels d'usure ou de défectuosité importants, des bruits inhabituels ou des fuites d'huile.

Dans le cas des systèmes amovibles, il est recommandé d'effectuer l'inspection lorsqu'ils sont installés afin de vérifier, par exemple, leur étanchéité et l'état des systèmes d'ancrage. Des tests d'installation des systèmes pourraient aussi être réalisés pour s'assurer que l'assemblage et la fixation du système sont toujours fonctionnels et que toutes les composantes sont disponibles et en bon état.

4.5.1.6. Identification des empiétements pouvant représenter un risque pour l'OPI ou une contrainte à la circulation et à l'inspection d'un OPI

Tout élément et toute structure pouvant représenter un risque pour l'OPI ou une contrainte à la circulation et à l'inspection de l'OPI, qu'ils se trouvent directement sur ou dans l'ouvrage ou dans la bande de 3 mètres de part et d'autre de ses pieds, devraient être identifiés lors des inspections. Un empiétement correspond à une infrastructure ajoutée dans l'assiette de l'ouvrage après sa construction et qui est non essentielle au fonctionnement de l'OPI tout en ayant un caractère permanent. Parce que son implantation n'a pas été prévue lors de la conception et de la construction de l'ouvrage, l'empiétement peut représenter un enjeu sur le plan de la stabilité et de l'intégrité de celui-ci.

Ces empiétements résultent normalement de travaux divers, de constructions ou d'usages particuliers par le public. Ces empiétements peuvent être internes, pénétrant dans l'ouvrage ou ses fondations, ou externes, affectant les conditions environnementales autour de l'ouvrage ou sur celui-ci. Leur nature interne ou externe est associée à des modes de défaillance différents.

Par exemple, l'installation de structures pénétrantes telles que des conduites souterraines nécessite l'excavation d'une partie du remblai de la digue. Le fait d'excaver et de remblayer une courte section de l'OPI rend l'ouvrage hydraulique plus vulnérable à l'érosion interne si des précautions particulières n'ont pas été prises lors des travaux.

Les empiétements en surface peuvent quant à eux modifier les conditions d'écoulement sur les digues et à proximité de celles-ci, augmentant localement le potentiel d'érosion externe. La stabilité de l'ouvrage peut aussi être compromise par l'ajout de contraintes supplémentaires n'ayant pas été prévues lors de sa conception. Par exemple, la modification de la géométrie d'un ouvrage peut changer la stabilité des pentes et, le cas échéant, fragiliser l'ouvrage et le rendre vulnérable.

Par ailleurs, les empiétements peuvent aussi restreindre l'accès à certaines sections des ouvrages, ce qui peut limiter non seulement la portée des inspections, mais également la mise en œuvre de travaux d'entretien ou de réparation.

Les empiétements doivent être identifiés lors de la mise en plan de l'ouvrage (voir la section 4.5.1.6).

Quelques exemples de différents empiétements pouvant être observés sur un OPI sont présentés ci-dessous. Les informations à noter et à décrire durant l'inspection y sont également regroupées.

Tableau 8 Exemples d'éléments à examiner lors de l'inspection des empiétements

Types	Éléments	Limite l'accès	Éléments devant faire l'objet d'une attention particulière
Internes	Conduite		Subsidence
	Ponceau		Affouillement
	Servitudes publiques		Érosion autour de l'élément
	Puisard		Fuite ou suintement autour ou à l'intérieur de l'élément Intégrité compositionnelle et structurelle État des raccords Tassements différentiels Soulèvement
Externes	Bâtiment résidentiel, cabanon, piscine, terrasse	x	Érosion aux interfaces sol-structure
	Bâtiment non résidentiel	x	Suintement aux interfaces sol-structure
	Poteau d'électricité ou de télécommunication		Accès limité
	Clôture	x	Intégrité compositionnelle et structurelle
	Escaliers, passerelles	x	Tassements différentiels
	Rebut anthropriques	x	Soulèvement
	Entreposage de matériaux	x	Nature
	Chemins pédestres, pour vélos ou pour véhicules motorisés		Étendue
	Route		Érosion superficielle
	Mise à l'eau		Glissements
	Excavation/remblai		Érosion superficielle
			Fissuration



Figure 35 Terrasse installée en crête de l'OPI restreignant la visibilité pour l'inspection.
Source : MELCCFP



Figure 36 Cabanon restreignant l'inspection du pied de l'OPI.
Source : MELCCFP



Figure 37 Escalier et passerelle joutés à un OPI.

Source : WSP (2021)

4.5.1.7. Description de la végétation

L'incursion de végétation sur les OPI est fréquemment observée et parfois inhérente à la nature même de ces structures. Les dimensions étendues de ces ouvrages, le souhait des communautés de les rendre esthétiquement agréables ainsi que le manque d'entretien contribuent tous à expliquer la présence de végétation sur les OPI.

Les OPI demeurent avant tout des structures d'ingénierie dont la fonction première de protection doit être assurée tout au long de leur durée de vie. Afin de garantir la stabilité et l'efficacité des OPI, les avantages potentiels de la végétation ne compensent pas les risques encourus par leur présence.

La fiabilité des ouvrages – notamment ceux en remblai – repose, entre autres, sur un entretien rigoureux des composantes (absence de végétation sur les parements et la crête pour permettre l'inspection visuelle complète) et l'élimination des sources potentielles de dégradation (systèmes racinaires, arbres, milieux favorables aux animaux fouisseurs).

L'état optimal d'une digue en terre est caractérisé par la présence d'une végétation herbacée dense et basse (entretenu). Cette situation n'est que rarement rencontrée en réalité sur les OPI. La densité et la nature du couvert végétal peuvent varier de façon importante le long de l'ouvrage. Quelques éléments peuvent être examinés lors de l'inspection afin de vérifier que la présence du couvert végétal ne cause, a priori, pas de préjudice à l'intégrité d'une digue :

- absence de végétation ligneuse sur tout l'ouvrage et dans la bande de 3 mètres à partir de son pied amont et de son pied aval;
- absence de végétation ligneuse sur les sections déversantes;
- absence de végétation ligneuse sur les talus, sous la ligne naturelle des hautes eaux;
- absence d'arbres sur la crête de la digue.

De bonnes pratiques concernant l'entretien, le maintien et le contrôle de la végétation sont présentées à l'annexe G.

Risques et bénéfices associés

Un risque fondamental associé à la présence de végétation sur les OPI réside dans le fait qu'un couvert végétal, lorsqu'il n'est pas suffisamment entretenu, rend la surveillance de l'ouvrage difficile en dissimulant les signes visuels de détérioration. Dans certains cas, la végétation crée à la fois un masque et un obstacle, ce qui empêche l'ingénieur de repérer les détériorations et d'y accéder pour suivre leur évolution.

D'autres risques sont associés à la présence d'arbres matures. Ces arbres possèdent un système racinaire imposant qui tente de faire son chemin à travers les OPI et dans leurs fondations, ce qui crée un chemin préférentiel pour les eaux interstitielles. Les arbres sont également exposés aux vents, ce qui induit l'application de forces dans les sols via le système racinaire et tend à diminuer la compaction des sols. Les sollicitations éoliennes et hydrauliques, de même que le vieillissement des arbres, peuvent causer leur déracinement, ce qui peut sérieusement endommager les OPI. La végétation favorise aussi la colonisation par les animaux fouisseurs, qui creusent des terriers qui contribuent à plusieurs mécanismes de détérioration.

Toutefois, la végétation ligneuse joue un rôle dans l'amélioration de la stabilité de la surface des talus. En plus d'assurer une protection efficace contre l'érosion, la végétation et son système racinaire offrent un ancrage aux sols constituant le talus. La présence de racines dans un talus composé de matériaux cohérents peut aussi contribuer à son drainage.

Indicateurs visuels de détérioration associés à la végétation

La description de la végétation doit être intégrée dans les notes lors de l'inspection visuelle. Ci-dessous, sont énumérés les éléments qui devraient être décrits par l'équipe d'inspection :

- type et étendue de la végétation existante;
- éléments de l'ouvrage affectés par le couvert végétal;
- indicateurs visuels de détérioration associés à la végétation;
- qualité de l'entretien de la végétation;
- développement depuis la dernière inspection.

Plusieurs symptômes associés à la végétation peuvent être identifiés sur les OPI. Ces indicateurs visuels de détérioration sont listés ci-dessous :

- déracinement d'arbres;
- arbres cassés;
- colonisation de la végétation au sein des éléments de protection ou des dispositifs connexes;
- déplacement d'éléments de protection (enrochement, maçonnerie, béton, etc.) par les racines;
- détériorations sur les arbres (maladies, pourriture apparente, développement de champignons² à la base du tronc ou au niveau des racines principales apparentes, présence de cavités humides, fissuration du tronc, suintements colorés, écoulement de résine, forte inclinaison, rapport hauteur/diamètre trop élevé, etc.);
- présence de terriers;

² La présence de champignons a une influence variable sur la longévité des arbres. Certains types peuvent causer la mort ou la chute de l'arbre à court terme tandis que d'autres n'ont pas d'impacts significatifs sur son intégrité. Certains champignons s'attaquent seulement au tronc ou aux racines et d'autres, aux deux.

- présence de débris retenus par les strates arborescente et arbustive;
- présence de tourbillons érosifs associés à la présence de végétation dans le cours d'eau;
- perforation de l'ouvrage par les racines, ou racines à proximité de dispositifs connexes ou en contact avec ceux-ci;
- présence de végétation caractéristique des milieux humides à la base des talus.



Figure 38 Déracinement d'un arbre sur une digue.

Source : IRSTEA (2015)



Figure 39 Colonisation d'un enrochement de protection par la strate arborescente.

Source : IRSTEA (2015)



Figure 40 Soulèvement d'une importante masse de terre causé par le déracinement d'un arbre sur une digue.

Source : IRSTEA (2015)



Figure 41 Champignon sur un arbre.

Source : IRSTEA (2015)

4.5.1.8. Rapport d'inspection

L'inspection visuelle de l'ouvrage doit se traduire par un rapport d'inspection transmis à la municipalité. Ce rapport n'a pas à être intégré dans le rapport de l'étude de caractérisation. Seuls les faits saillants de l'inspection visuelle doivent être rapportés, comme le précise la section 4.5.1.1. Ce rapport devrait aborder, sans s'y limiter, et selon le jugement de l'ingénieur responsable, les sujets suivants :

- portée des travaux;
- système de localisation utilisé durant l'inspection (repère, borne, chaînage, etc.);
- étendue et caractéristiques principales de l'OPI;
- mesures correctives mises en œuvre par le gestionnaire depuis la dernière inspection;
- appréciation de l'état physique et structural de chaque tronçon de l'ouvrage et de ses dispositifs connexes, selon la cote correspondante prévue à l'annexe 1 du ROPI;
- description de la végétation en place – et, s'il y a lieu, des risques associés à celle-ci – et conseils sur l'entretien requis afin de minimiser les risques;
- description des empiétements qui pourraient présenter un risque pour l'ouvrage ou une contrainte pour sa surveillance, son entretien ou la réalisation de travaux;
- liste des anomalies observées pouvant avoir un impact sur l'intégrité de l'ouvrage ou qui sont susceptibles d'évoluer;
- recommandations quant à la surveillance des détériorations, aux correctifs à apporter (ainsi qu'au délai maximal pour effectuer ces correctifs), à la mise en place d'un dispositif de surveillance, à la conduite d'évaluations approfondies, dont les investigations, ou à l'installation d'équipement d'auscultation;
- rapport photographique détaillé illustrant l'état actuel des lieux et l'envergure des anomalies identifiées.

4.5.2 Relevés complémentaires (s'ils sont jugés requis)

Les relevés complémentaires pour les OPI peuvent inclure, sans s'y limiter, les éléments suivants : relevé topographique (LiDAR, etc.), relevé bathymétrique, étude géotechnique (forages, puits d'exploration, etc.), relevé géophysique, vérification du dimensionnement d'un perré, relevé des fissures dans des ouvrages en béton, inspection d'un ponceau ou d'un système mécanique par caméra (ce qui inclut le relevé d'épaisseur d'un élément), relevé de jaugeage du débit, etc.

Ces relevés complémentaires peuvent être jugés requis, par exemple, si l'élévation de la crête ou d'un élément étanche doit être mesurée avec plus de précision.

La présence de certaines anomalies observées lors de l'inspection pourrait aussi mener à la réalisation de relevés complémentaires, tels qu'une étude géotechnique. La section 5 du présent guide fournit davantage d'informations concernant les investigations visant à analyser le comportement et la performance d'un ouvrage.

4.5.3 Identification des aléas pouvant engendrer des risques pour l'OPI

Dans le cadre de l'étude de caractérisation de l'OPI, l'identification des aléas autres que la crue en eau libre pouvant représenter un risque pour l'OPI est requise. Les différents aléas pouvant généralement affecter un OPI sont présentés (de façon non exhaustive) dans la présente section. L'impact précis de ces aléas sur la performance de l'ouvrage n'a pas à être évalué dans le cadre de l'étude de caractérisation. Au besoin, une telle évaluation devra être réalisée dans le cadre de l'étude de performance de l'OPI, qui permettra une analyse approfondie des effets potentiels des autres aléas sur l'efficacité de l'ouvrage.

4.5.3.1. Aléas hydrauliques externes

Vents et vagues associées

Les vents et les vagues causées par le vent sont un aléa hydraulique externe qui peut représenter un risque pour les OPI. Dans le cas d'une digue en terre ou un enrochement de protection, les vagues peuvent entraîner l'érosion du matériel en place. Dans le cas d'un mur vertical, l'impact des vagues peut conduire à la formation d'une fosse d'affouillement au pied de l'ouvrage et ainsi compromettre la stabilité du mur. Enfin, les vagues peuvent provoquer une surverse (débordement) si le niveau d'eau dépasse le sommet de l'ouvrage, ce qui peut entraîner l'inondation de la zone derrière l'ouvrage, qu'il y ait ou non rupture de l'OPI.

Pour un OPI situé en milieu côtier ou sur les berges d'un lac, cet aléa doit systématiquement être identifié. Par ailleurs, pour un OPI situé sur les berges d'un cours d'eau, cet aléa doit être identifié dans la mesure où la configuration du cours d'eau et la position de l'OPI sur ses berges peuvent permettre la génération de vagues significatives.

Marées

Les marées peuvent entraîner des rehaussements significatifs des niveaux d'eau. Dans ces conditions, cet aléa est susceptible de contribuer à l'endommagement ou à la rupture d'un OPI en entraînant notamment de l'érosion ou une submersion. Par conséquent, pour les OPI situés en milieu côtier, il est nécessaire d'identifier cet aléa.

Batillage

Le déplacement linéaire d'un navire à la surface de l'eau génère un ensemble de mouvements transitoires de l'eau appelé batillage. Les vagues créées par le passage des navires sont susceptibles d'entraîner l'érosion des ouvrages. L'intensité des vagues varie en fonction de la configuration du milieu dans lequel évoluent les navires, de leur type, de leur vitesse et de la distance entre le navire et la rive.

Pour des cours d'eau et des lacs, en règle générale, l'action du batillage doit être identifiée comme un aléa s'il y circule des bateaux de plaisance. Par ailleurs, pour un OPI côtier situé sur les berges du fleuve Saint-Laurent, le batillage doit être identifié étant donné la circulation des bateaux de plaisance et de navires commerciaux (vraquiers, pétroliers, porte-conteneurs, etc.).

Glace

En fonction du type d'OPI et de sa position sur les berges d'un cours d'eau, la glace peut solliciter l'ouvrage selon différents mécanismes (Carter, 2001). Ainsi, la glace peut déstabiliser un ouvrage en remblai et un enrochement de protection selon les trois mécanismes suivants :

- l'arrachement des pierres de protection lorsque de la glace qui est soudée au perré est délogée par un déplacement du couvert de glace;
- le cisaillement, qui est associé à l'action des glaces se déplaçant le long des rives. En glissant sur la structure, la glace est susceptible de déloger des pierres de protection;
- l'effet « béliet », soit le déplacement d'une section importante de l'ouvrage. Ce troisième mécanisme peut être associé à la rupture d'un embâcle (**Figure 42**).



Figure 42 Endommagement d'une digue en terre à la suite de la rupture d'un embâcle.

Source : Kruger (2014)

Par ailleurs, pour un mur de protection contre les inondations, la glace peut déstabiliser ce type d'ouvrage selon les deux mécanismes suivants :

- la poussée statique qui se développe lorsqu'un ouvrage déjà en contact avec un champ de glace continu s'oppose à son déplacement. Cette poussée peut, par exemple, résulter de l'expansion thermique du couvert de glace, de l'action soutenue du vent et du courant, ou de la variation du plan d'eau;
- la poussée dynamique qui est causée par l'impact d'un morceau de glace qui, transporté par le courant ou le vent, vient percuter la structure.

Dans la mesure où la glace est présente sur l'ensemble des cours d'eau du Québec, l'ingénieur doit systématiquement se demander si les glaces peuvent représenter des contraintes pour l'OPI, quel que soit le type d'environnement.

Embâcles de glace

Un embâcle de glace est formé par l'amoncellement de glace flottante (pouvant également contenir des débris ligneux ou anthropiques) qui limite la circulation de l'eau et crée un refoulement d'eau vers l'amont. Dans ces conditions, le rehaussement des niveaux en amont peut entraîner des inondations et le débordement du cours d'eau. La surcote du niveau d'eau générée par l'embâcle en amont peut modifier les conditions hydrauliques auxquelles les OPI sont exposés, ce qui peut influencer l'occurrence de surverses.

Un embâcle représente également un risque pour le bief situé en aval. En faisant monter le niveau d'eau à l'amont de l'embâcle, des contraintes se développent et lorsque celles-ci sont plus élevées que le lien entre les débris accumulés, une rupture de l'embâcle peut survenir. Cette débâcle peut générer une vague importante qui est fonction des caractéristiques du milieu dans lequel elle se propage et du volume d'eau retenu par l'embâcle. La surcote du niveau d'eau générée par l'embâcle peut modifier les conditions hydrauliques auxquelles les OPI sont exposés, ce qui peut faire augmenter le risque de glissement. Par ailleurs, l'onde causée par la débâcle est susceptible de contribuer à l'érosion des talus le long du cours d'eau et, potentiellement, des structures et fondations des OPI qui s'y trouvent.

Les études visant la prévision des embâcles, des débâcles et des niveaux d'eau associés sont ponctuées de nombreuses incertitudes. Par conséquent, l'ingénieur doit vérifier si des embâcles ont été recensés au site à l'étude. La base de données sur les embâcles du ministère de la Sécurité publique peut notamment être utilisée. Des entrevues avec les responsables de la surveillance et les riverains pourraient s'ajouter à l'étude des embâcles pour un ouvrage donné. Cette revue des événements peut notamment conduire à établir des niveaux d'eau associés.

Ce type d'aléa doit être identifié pour les OPI situés sur les berges des cours d'eau connus pour ces problématiques.

Transport de débris

Lors de crues importantes, des quantités significatives de débris, ligneux notamment, peuvent être transportées. Le transport des débris ligneux peut aggraver les conséquences des crues en raison de l'accumulation de matière au droit des ouvrages, qui favorise en plus les sapements de berge et les débordements sur les propriétés riveraines (PIÉGAY et coll., 2004). Par ailleurs, comme les glaces, ces débris peuvent entraîner l'érosion des digues en terre. Pour les murs de protection, une poussée dynamique peut être causée par l'impact des débris transportés par le courant qui percutent la structure.

Dans ces conditions, le rehaussement des niveaux en amont peut entraîner des inondations et le débordement du cours d'eau. La surcote du niveau d'eau générée par les débris en amont peut modifier les conditions hydrauliques auxquelles les OPI sont exposés, ce qui peut accroître le risque de surverse. L'ingénieur devrait vérifier si de tels événements ont déjà été observés par le passé sur le site à l'étude.



Figure 43 Transport de débris ligneux à la suite d'une crue.

Source : Bernier, E. (2023)

4.5.3.2. Aléas associés à la végétation

La présence de végétation ligneuse sur les OPI constitue un risque substantiel. Elle contribue à développer ou à alimenter tous les modes de défaillance qui peuvent mener à la rupture de l'ouvrage. Les principaux mécanismes associés à la présence de végétation sont énumérés et brièvement expliqués ci-dessous.

Déracinement des arbres

Les masses de terre soulevées par le déracinement des arbres sur un OPI ou en bordure de celui-ci peuvent être très importantes (cercle d'arrachement pouvant atteindre plusieurs mètres de diamètre et profondeur). En plus de l'érosion externe, ce déplacement de sol modifie la géométrie de l'ouvrage, ce qui peut nuire à sa stabilité générale et réduire la taille de la section transversale de la digue. Ce changement de géométrie peut faire augmenter les gradients hydrauliques dans l'ouvrage (diminution de la longueur de l'ouvrage). Il en résulte une augmentation du potentiel de déclenchement de certains processus liés à l'érosion interne.

Diminution de la capacité d'écoulement

Le volume qu'occupe la végétation dans le lit majeur du cours d'eau augmente la résistance à l'écoulement d'un cours d'eau. Cette entrave à l'écoulement peut entraîner une surcote significative lors d'une crue, menant potentiellement à une surverse de l'OPI. Ce phénomène s'observe spécialement dans les cours d'eau de plus petite dimension, où le rapport entre le volume du lit et celui de la végétation est moindre.

Cette augmentation du niveau de l'eau peut influencer la stabilité des ouvrages ou avoir un impact sur le risque de surverse. L'érosion causée par ce phénomène ou simplement la végétation en place peut être à l'origine de tourbillons érosifs locaux le long du cours d'eau. Ces tourbillons peuvent contribuer à augmenter le potentiel d'érosion externe et conduire à des glissements subséquents.

La végétation en rive du cours d'eau contribue aussi à stopper les débris ligneux, les glaces ou tout autre objet anthropique emporté par le débit lors d'épisodes de crue. Il en résulte une augmentation du risque de création d'un embâcle au droit de surfaces densément végétalisées. Ces mêmes arbustes et arbres qui obstruent l'écoulement peuvent être emportés dans le courant et alimenter d'autres embâcles plus en aval.

Création d'un habitat pour les animaux fouisseurs

Les animaux fouisseurs contribuent à la formation d'un réseau de cavités au sein de la structure et des fondations d'un OPI. La présence de ces conduits multiples entraîne de l'érosion externe en surface, mais

favorise aussi le développement d'autres modes de défaillance comme l'érosion interne et l'instabilité des ouvrages en remblai. Il existe une relation étroite entre la présence de ces animaux et celle des végétations arbustive et arborescente, car ces dernières fournissent un habitat approprié à ces espèces.

Pénétration des racines

Le système racinaire des strates arbustive et arborescente est susceptible d'endommager les éléments de protection, d'étanchéité, de filtration et de drainage composant les digues, mais également tout autre dispositif connexe qui assure le fonctionnement adéquat de l'ouvrage (vanne, système de pompage, murs de béton, etc.). La pénétration des racines dans le corps des digues et leurs fondations crée des chemins préférentiels pour l'eau, ce qui favorise l'écoulement interne, particulièrement lorsque les racines se décomposent.

Augmentation des contraintes

La masse supplémentaire créée par la présence d'arbres, vivants ou morts, sur les talus d'une digue augmente les contraintes à l'intérieur de l'ouvrage et au sein de ses fondations, ce qui peut contribuer à causer des glissements.

Limitation de la croissance du tapis herbacé

La végétation ligneuse peut limiter la croissance de l'herbe ou du tapis herbacé en interceptant la lumière du soleil, en compétitionnant pour les éléments nutritifs et l'eau, ou en diffusant des substances chimiques qui agissent comme herbicides, rendant ainsi les sols plus susceptibles à l'érosion externe (lorsque ceux-ci n'ont pas de système de protection contre l'érosion externe).

4.5.3.3. Aléas anthropiques

Empiétements

La présence d'empiétements de nature anthropique pourrait engendrer une zone de plus grande vulnérabilité sur un ouvrage ou rendre non visibles certains éléments critiques à observer lors des inspections. Ces éléments et les risques associés devraient être évalués en fonction du type d'empiétement (nature, propriétés, géométrie, etc.) et du type d'OPI. Ces éléments doivent avoir été identifiés lors de l'inspection (voir la section 4.5.1.6).

La présence d'un chemin (pédestre, pour vélos, ou pour véhicules automobiles, etc.) sur un OPI ou à proximité de celui-ci peut poser un risque pour la stabilité de l'ouvrage, notamment par la perturbation de la surface et l'érosion associée. Le passage répété de véhicules cause l'arrachement des particules de sol ou du revêtement en place (végétation, enrobé bitumineux, maçonnerie). Les particules sont remobilisées et un abaissement du niveau de la crête des digues augmentant le risque de surverse est souvent observé. Les digues qui sont dotées de chemins au sein ou à la base de leurs talus sont quant à elles plus sujettes à l'instabilité à cause de la modification des pentes engendrée par l'érosion.

Navigation

Le déplacement d'embarcations sur les cours d'eau bordant les OPI peut causer des courants, formés par la force de propulsion des embarcations, qui peuvent contribuer à l'érosion des berges ou de l'OPI. D'autre part, la présence de rampes de mise à l'eau est fréquente le long des OPI et le passage des véhicules servant à mettre à l'eau les embarcations peut stimuler l'érosion de l'ouvrage et de la berge.

Perturbation du sol (excavation ou remblai)

Toute perturbation de la structure granulaire d'un OPI, de ses fondations ou des sols environnants peut altérer les conditions de stabilité et le comportement hydraulique de l'ouvrage. Lorsqu'il y a excavation des

sols, les changements géométriques qui en résultent peuvent favoriser l'instabilité de l'ouvrage et l'érosion interne en réduisant la longueur des chemins d'écoulement (augmentation des gradients hydrauliques). La présence de remblais sur les talus ou en crête de l'ouvrage peut exercer une contrainte supplémentaire sur les sols, ce qui augmente le risque de glissements. Si ces remblais sont situés du côté eau, ils peuvent modifier le régime d'écoulement et favoriser l'érosion externe, notamment en générant des contre-courants et en augmentant localement les vitesses d'écoulement.

4.5.3.4. Aléas associés à l'évolution de la géomorphologie

Milieu fluvial

Le dynamisme hydraulique d'un cours d'eau tend à modifier la forme et la nature du cours d'eau, particulièrement lors d'événements hydrauliques exceptionnels. Plusieurs mécanismes peuvent être responsables de cette évolution géomorphologique :

- Érosion des berges par les sollicitations hydromécaniques : les berges du lit mineur peuvent s'éroder, ce qui peut réduire la stabilité des OPI lorsqu'ils se situent à proximité.
- Mobilité du cours d'eau : le déplacement du lit mineur des cours d'eau ayant un potentiel de mobilité modifie le tracé du cours d'eau, ce qui peut rapprocher le lit mineur de l'OPI, le rendant plus vulnérable aux modes de défaillance.
- Modification du profil en long : l'érosion verticale du lit d'un cours d'eau, soit l'incision du cours d'eau dans son encaissant, peut modifier les conditions de stabilité des digues à proximité. Ce phénomène peut aussi modifier le fonctionnement des déversoirs des digues et créer de nouvelles zones potentielles de surverses.
- Accumulation locale de sédiments : l'aggradation de zones le long du profil du cours d'eau peut aussi modifier le fonctionnement des déversoirs et créer de nouvelles zones de surverse.

Ces processus, autrement que par le transport de particules solides, peuvent être alimentés par le transport de débris ligneux ou anthropiques qui se déposent et forment des zones d'accumulation sur les berges et les talus d'un OPI. Le resserrement du lit mineur d'un cours d'eau par l'endiguement causé par la présence d'un OPI peut contribuer à amplifier ou modifier complètement l'évolution géomorphologique du cours d'eau. En revanche, la présence d'un espace (ségonnal) entre le lit mineur et un OPI diminue le risque que l'ouvrage soit affecté par ces changements géomorphologiques.

Milieu côtier

Dans les zones côtières, le dynamisme hydraulique est influencé par divers facteurs tels que les marées, les courants et les vagues. Ces phénomènes, constants et cycliques, entraînent continuellement la mise en suspension des sédiments, ce qui conduit à la formation de zones d'érosion par endroits et de zones d'accumulation dans d'autres. Localement, les sédiments peuvent être remobilisés pour former des épis naturels qui protègent davantage certaines sections des OPI des sollicitations hydrauliques. À l'inverse, une régression des berges peut être observée en raison de la remobilisation des sédiments.

La remobilisation des sédiments peut aussi modifier la morphologie du fond marin, ce qui modifie les conditions de formation de vagues. Le caractère cyclique des processus érosifs associés aux marées et aux vagues peut permettre une érosion préférentielle à la base des talus ou d'autres composantes des OPI.

Les affouillements sont souvent observés au sein de ce milieu à la base des talus et sous les éléments rigides. Compte tenu de l'évolution rapide de la géomorphologie en milieu côtier, un suivi de l'état de l'OPI est nécessaire assez fréquemment.

4.5.4 Identification du niveau de protection apparent de l'OPI

Suivant l'article 2 du ROPI, lorsqu'un OPI est situé en bordure d'un lac, le niveau de protection apparent correspond au niveau de l'eau, exprimé en mètres, à partir duquel une surverse ou un contournement de l'ouvrage survient. Le niveau de protection apparent pour un OPI situé en bordure d'un lac est établi à l'aide du relevé topographique réalisé sur l'ouvrage en se basant sur l'élévation minimale de sa crête.

Dans le cas d'un OPI situé en bordure d'un cours d'eau avec un dénivelé plus prononcé, le niveau de protection apparent est exprimé par un débit en mètres cubes par seconde et est représenté par un profil longitudinal des niveaux d'eau associés au niveau de protection. Cette façon de faire vise à tenir compte de la variabilité du niveau d'eau le long du tronçon. Dans le cadre de l'étude de caractérisation, ce débit pourra être estimé en prenant en compte notamment l'historique des interventions et les différentes informations disponibles sur l'OPI. Les diverses études hydrologiques et hydrauliques associées à la délimitation des zones inondables, par exemple, pourront être mises à contribution.

4.6 Éléments nécessaires à l'élaboration du Plan particulier en présence d'un OPI

Le ROPI introduit l'obligation pour une municipalité locale d'intégrer ou d'annexer à son plan de sécurité civile des mesures de préparation adaptées aux aléas en présence d'un OPI. Le guide Élaboration d'un plan particulier en présence d'un ouvrage de protection contre les inondations décrit le contenu du plan particulier en présence d'un OPI.

L'étude de caractérisation fournit les intrants nécessaires à l'élaboration de ce plan en définissant la zone à laquelle doit s'appliquer ce plan, en identifiant les secteurs et les éléments vulnérables dans cette zone et en précisant les seuils de mobilisation des intervenants et les seuils d'alerte de la population.

4.6.1 Délimitation de l'étendue de la zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement de l'ouvrage

Dans le cadre de l'étude de caractérisation, l'étendue maximale du territoire situé en aval qui pourrait être inondée si une défaillance, une surverse ou un contournement de l'ouvrage survient doit être délimitée. Cette zone doit inclure l'évaluation des profondeurs d'eau advenant une inondation complète de la zone exposée. La délimitation de cette zone doit être transmise sous la forme d'un polygone réalisé en utilisant le système NAD83 CSRS Québec Lambert et être disponible en format numérique.

La zone exposée en cas de surverse, de contournement ou de défaillance ne doit pas être confondue avec les zones inondables délimitées dans le cadre de la cartographie des zones inondables. Les zones inondables sont celles qui doivent être prises en considération afin de connaître les normes d'aménagement applicables à un territoire et de déterminer si une activité peut ou non y être réalisée. La production de la carte de la zone exposée vise plutôt à aider une municipalité dans l'élaboration de son plan particulier afin que celui-ci couvre l'ensemble du territoire susceptible d'être affecté lors d'une inondation.

Pour délimiter la zone exposée, une méthode simple et qui fonctionne dans de nombreuses situations est suggérée à l'annexe H. Selon cette méthode, les frontières de la zone exposée sont déterminées par une projection horizontale de la cote d'élévation de la crête de l'ouvrage sur la topographie derrière l'OPI.

Une municipalité peut néanmoins choisir une autre méthode, mieux adaptée ou plus précise, pour réaliser cet exercice. En effet, la réalisation d'analyses complexes peut fournir des informations plus précises sur la façon dont l'inondation se propagerait derrière l'ouvrage : le volume d'eau qui pénétrerait sur le territoire et sa vitesse, la vitesse à laquelle la montée des niveaux d'eau surviendrait, le laps de temps qui s'écoulerait entre le début d'une brèche dans l'ouvrage et l'arrivée de l'eau à un endroit particulier, ou le nombre d'heures ou de jours que durerait l'inondation, par exemple. Ces informations, lorsqu'elles sont fiables et disponibles, permettent d'avoir une meilleure idée des caractéristiques de l'inondation et elles peuvent être utilisées par une municipalité pour bonifier les mesures de son plan particulier en présence

d'un OPI. De telles études ne sont pas exigées par le ROPI. Le choix d'analyser un ou plusieurs scénarios à intégrer au plan particulier doit être fait au regard des particularités de l'ouvrage et du territoire qu'il pourrait affecter. Bien que des études poussées permettent d'obtenir des données précises et utiles pour mieux comprendre la dynamique d'une inondation, elles ne doivent pas se substituer à l'exercice fondamental de délimiter la zone maximale d'inondation. Dans un tel cas, le rapport de l'étude de caractérisation doit préciser les raisons qui justifient ce choix et décrire en quoi consiste la méthode retenue.

La carte de la zone exposée présentée dans le rapport de l'étude de caractérisation doit également inclure les profondeurs d'eau estimées sur celle-ci. La Figure 44 présente un exemple d'une carte de la zone exposée.

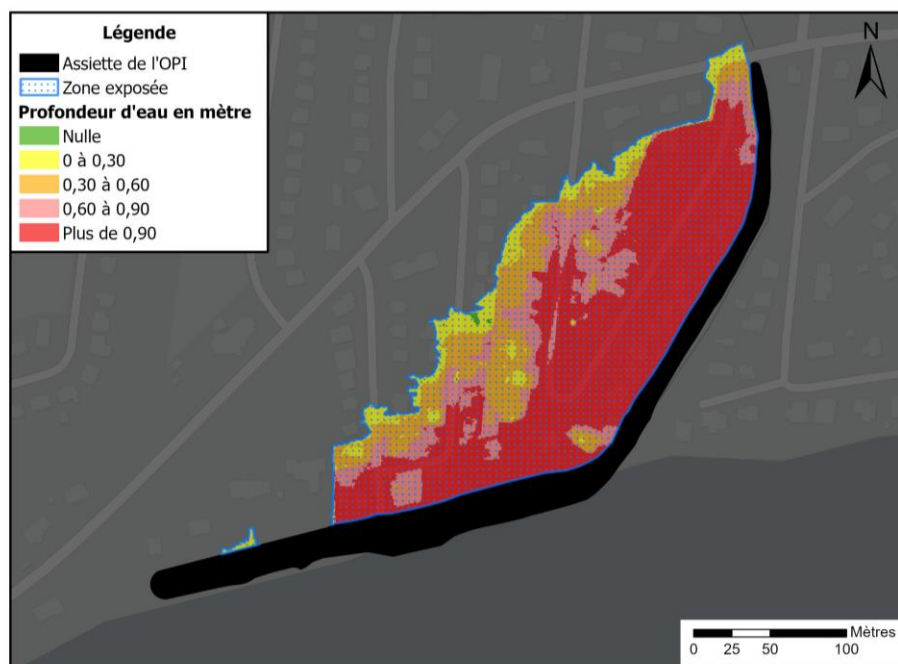


Figure 44 Exemple d'une carte de la zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement.

Source : MELCCFP

4.6.2 Identification et caractéristiques des éléments vulnérables aux inondations dans la zone exposée

La vulnérabilité est définie comme la « condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages » (MSP, 2008, p. 44). Le niveau de vulnérabilité d'un milieu à un aléa est fonction de son degré d'exposition à l'aléa³, de la valeur ou de l'importance stratégique des éléments exposés⁴ ainsi

³ Le degré d'exposition correspond à l'importance de l'exposition à un aléa et à ses effets. Il se rapporte principalement au nombre et à la concentration d'éléments exposés, à la proximité du point d'origine de l'aléa et à la durée de l'exposition (MSP, 2008).

⁴ La valeur ou l'importance stratégique des éléments exposés est associée à ce que représente l'élément en cause pour les personnes et la collectivité. La vie humaine est incontestablement l'aspect prédominant. S'ajoutent à celui-ci les éléments importants pour le milieu tels que les infrastructures essentielles, les activités économiques vitales ou encore les sites patrimoniaux de grande valeur (MSP, 2008).

que de la sensibilité⁵ des éléments exposés. Le tableau ci-dessous illustre ces éléments au moyen d'exemples.

Tableau 9 Caractéristiques de la zone exposée en cas de surverse, de contournement ou de défaillance affectant sa vulnérabilité

Éléments influençant le niveau de vulnérabilité des éléments exposés		Exemples
Degré d'exposition	Zones situées à proximité de l'OPI	En cas de surverse ou de défaillance, les zones situées à proximité de l'OPI seront les premières à être inondées. Une vitesse d'écoulement de l'eau élevée dans ces zones mettrait en danger les personnes et en péril la structure de certains bâtiments ou infrastructures. Par exemple, la zone située à proximité de l'OPI pourrait être la zone à l'intérieur des 100 premiers mètres derrière un OPI. Une distance différente pourrait également être établie en fonction de la hauteur de l'ouvrage.
	Zones d'eau plus profondes	En fonction de sa topographie, un territoire sera touché par des profondeurs d'eau plus ou moins importantes lors d'une inondation. Plus le niveau d'eau sera élevé, plus l'eau sera susceptible de pénétrer dans des bâtiments occupés, d'inonder le réseau routier et les voies de circulation et de nuire au déplacement des personnes et des véhicules. Une profondeur d'eau de plus de 30 cm peut rendre la circulation difficile pour les véhicules légers et les piétons et poser des risques pour la sécurité.
	Zones isolées	Certains sites sont susceptibles de se retrouver isolés lors d'une inondation. Ces zones ne seront pas inondées, mais elles seront entourées d'eau ou inaccessibles par le réseau routier et les voies de circulation. Même lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau dans la zone inondée n'est pas élevée, il n'est pas toujours possible d'évacuer le territoire. L'inondation peut alors représenter un danger pour la santé humaine, en particulier pour les personnes les plus fragiles.
	Zones de concentration de population	Lors d'une inondation rapide, les zones de concentration de population telles que les centres commerciaux, les marchés, les foires, les expositions ou les rassemblements divers peuvent poser des problèmes d'évacuation, ce qui aurait des conséquences sur la sécurité des personnes. Il peut également s'agir de secteurs densément peuplés (avec plusieurs édifices à logement, par exemple) où les chemins d'évacuation sont peu nombreux.
Sensibilité	Caractéristiques du cadre bâti	Le degré d'adaptation du cadre bâti peut fortement influencer la vulnérabilité d'un territoire aux inondations. Certaines caractéristiques peuvent aggraver les impacts des crues, tandis que d'autres peuvent en limiter les dommages. Par exemple, une inondation similaire aura des conséquences différentes sur un quartier de maisons mobiles, sur des appartements situés au sous-

⁵ La sensibilité est la proportion dans laquelle un élément exposé est susceptible d'être touché par la manifestation d'un aléa (MSP, 2008).

		sol et sur des bâtiments en béton de plusieurs étages. En cas d'arrivée d'eau, la présence de pièces habitables au sous-sol ou l'absence d'un étage refuge peuvent représenter un réel danger pour les personnes.
	Caractéristiques de la population	Lors d'une inondation, certains secteurs peuvent être plus vulnérables en raison des caractéristiques de la population. Un secteur comportant une proportion importante de personnes âgées ou de jeunes enfants en est un exemple. La faible sensibilisation de la population d'un secteur aux risques d'inondation est également un facteur aggravant.
Valeur ou importance stratégique des éléments exposés	Infrastructures essentielles et actifs clés	L'impact d'une inondation est aggravé lorsque des infrastructures essentielles ou des actifs clés sont touchés par une inondation. La présence d'établissements publics, d'établissements de sécurité publique ou d'autres infrastructures dont la perturbation des activités ou du fonctionnement pourrait avoir des conséquences graves pour la population accroît la vulnérabilité d'un territoire.

En plus de circonscrire le territoire qui serait touché par une surverse, le contournement de l'OPI ou une défaillance de l'OPI, l'étude de caractérisation exigée par le ROPI requiert d'identifier, minimalement, les éléments suivants :

- le nombre de personnes qui résident sur un territoire, le nombre de bâtiments, leur usage et leur valeur foncière, ainsi que les infrastructures, les ouvrages et les aménagements dont la perturbation des activités ou du fonctionnement engendrerait des conséquences importantes sur le territoire compte tenu de leur importance stratégique :
 - les établissements publics, soit les établissements d'enseignement (y compris les centres de la petite enfance et les garderies), les établissements de détention et les établissements de santé et de services sociaux (hôpitaux, services d'hébergement pour personnes âgées, etc.);
 - les établissements de sécurité publique (ex. : garage d'ambulances, centre d'urgence 9-1-1, service de police, sécurité incendie, etc.);
 - les infrastructures ou actifs clés ayant une importance stratégique pour le milieu (ex. : infrastructures liées à l'approvisionnement en eau, infrastructures énergétiques, infrastructures de télécommunications, infrastructures industrielles, etc.).

Le Tableau 10 présente des exemples d'éléments vulnérables du milieu qui doivent minimalement être identifiés dans le plan particulier.

Tableau 10 Exemples d'éléments du milieu vulnérables à identifier dans le plan particulier

Bâtiments et infrastructures	Nombre total	Valeur foncière estimée	Inaccessibilité ⁶ en cas de sinistre
Bâtiments résidentiels	N ^{bre} de bâtiments N ^{bre} de logements	Valeur (M\$)	N ^{bre} de bâtiments N ^{bre} de logements

⁶ L'inaccessibilité peut être déterminée en utilisant un indice de danger combinant les facteurs de profondeur, de vitesse et de débris. En l'absence de modélisation permettant de préciser la vitesse des courants, une hauteur d'eau de 30 cm sur une voie publique est un seuil sécuritaire pour qualifier la perte d'accessibilité pour les piétons et les véhicules. Toutefois, en présence de courants, la profondeur d'eau sécuritaire peut être moindre.

	N ^{bre} d'habitants		N ^{bre} d'habitants
Bâtiments non résidentiels - commerciaux - industriels	N ^{bre} de bâtiments	Valeur (M\$)	N ^{bre}
Bâtiments institutionnels - établissements publics - établissements de sécurité publique - autres	N ^{bre} d'écoles N ^{bre} d'hôpitaux N ^{bre} de centres de détention, etc.	Valeur (M\$)	N ^{bre}
Infrastructures de transport	N ^{bre} de voies ferrées N ^{bre} de routes principales N ^{bre} de gares d'autobus, etc.	Valeur (M\$)	Routes ou voies ferrées inaccessibles Gares d'autobus ou de train inaccessibles
Autres infrastructures ou actifs clés ⁷	N ^{bre} de stations de traitement des eaux usées, etc.		

Pour faciliter le déploiement des mesures, certains de ces éléments peuvent également être inclus dans la carte de la zone exposée afin de visualiser la répartition des bâtiments, particulièrement ceux qui constituent des infrastructures essentielles ou des actifs clés sur le territoire.

4.6.3 Détermination des seuils de mobilisation des intervenants et des seuils d'alerte de la population et d'alerte de toute autre municipalité locale pouvant être touchée

En s'appuyant sur les observations et les conclusions de la vérification fonctionnelle de l'OPI et de ses dispositifs connexes, l'ingénieur responsable de l'étude de caractérisation doit recommander des niveaux d'eau ou des débits à partir desquels les interventions identifiées au plan particulier doivent se réaliser. Si l'OPI est situé sur les berges d'un lac, le seuil de mobilisation pourra être établi en fonction d'un niveau d'eau anticipé. Par ailleurs, si l'OPI est situé aux abords d'un cours d'eau, ce seuil pourra être établi à partir d'un débit et des niveaux d'eau associés.

Les seuils de mobilisation et d'alerte sont différents niveaux de gradation de l'aléa ou d'évolution des anomalies observées sur l'ouvrage. Pour que la méthode soit efficace, il est généralement recommandé d'utiliser entre trois et cinq niveaux d'aléa. Il est également possible d'établir un niveau de surveillance et planification (niveau 0) incluant les activités à réaliser lorsqu'aucun indicateur ne permet d'anticiper une mobilisation, ainsi qu'un niveau de rétablissement incluant les activités à déployer pour favoriser le retour à la normale. Le niveau de rétablissement ne vient pas nécessairement après que le plus haut niveau de mobilisation ait été atteint lors d'un événement, puisque le niveau de mobilisation peut varier à la hausse ou à la baisse lors d'un même événement.

⁷ Actif clé : Élément ou ensemble d'éléments d'une collectivité qui, d'un point de vue social, économique ou environnemental a une valeur particulière, constitue un atout, un attrait ou un symbole reconnu ou a une importance stratégique pour le milieu. Les actifs clés sont des éléments dont la destruction, l'endommagement important ou l'interruption prolongée ou permanente des activités leur étant associées représenteraient une perte importante pour la collectivité (MSP, 2014).

Le passage d'un seuil à un autre peut être prédéterminé par les changements dans les niveaux ou débits d'un lac ou d'un cours d'eau, de même que par la présence d'anomalies observées sur l'ouvrage. Les différents niveaux sont en relation avec l'ampleur des conséquences d'un événement : un niveau supérieur peut donc être atteint sans passer par les niveaux inférieurs. De même, les activités décrites au premier niveau où elles apparaissent peuvent se poursuivre aux niveaux supérieurs, sans y être répétées.

La détermination de seuils de mobilisation et d'alerte quantitatifs et l'installation d'équipements (échelle de mesure de niveau d'eau, sonde) permettent d'assurer un suivi rigoureux et d'éviter la prise de décisions arbitraires.

Les seuils de mobilisation identifiés doivent être accompagnés des opérations à réaliser à chaque étape. Le tableau ci-dessous présente un exemple de seuils qui pourraient être établis et des activités à réaliser en fonction de chacun de ceux-ci. Inspiré du document *Levee Owner's Manual for Non-Federal Flood Control Works* (United States Army Corps of Engineers [USACE, 2006]), ce tableau peut être considéré comme un point de départ. Les activités auxquelles il fait référence ne sont toutefois ni exhaustives, ni détaillées et elles ne sont pas nécessairement transposables à toutes les situations.

Tableau 11 Exemple de seuils de mobilisation des intervenants et d'activités à prévoir

Seuils de mobilisation et d'alerte	Déclencheurs		Activités
	Niveau d'eau ou débits	Anomalies observées	
Niveau 0	Les prévisions hydrométriques ou la période de l'année ne permettent pas d'anticiper un début de sollicitation de l'ouvrage	Aucune anomalie observée sur l'ouvrage	Surveillance de l'ouvrage - Assurer les activités régulières de surveillance et de maintenance. - Réviser et mettre à jour les plans et les procédures. - Former et exercer les équipes de patrouille afin qu'elles connaissent les règles de sécurité à suivre et les équipements de sécurité à avoir en leur possession.
			Interventions terrain - Réaliser l'inventaire des matériaux et des outils (vérifier les lieux d'entreposage, l'état du matériel, la quantité, etc.). Communications - Préparer et faire autoriser les messages à diffuser à la population et déterminer leur moyen de diffusion, pour chaque niveau d'alerte et de mobilisation. - Tester et ajuster le schéma d'alerte des intervenants et des municipalités ou communautés en amont ou en aval. - Les moyens de communication (ex. : émetteurs radio, téléphones) sont vérifiés.
Niveau 1	Les prévisions hydrométriques ou la période de l'année permettent d'anticiper un début de sollicitation de l'ouvrage	Aucune anomalie observée sur l'ouvrage	Surveillance de l'ouvrage - Les équipes de patrouille sont prêtes, elles ont la liste des éléments à surveiller pour vérifier l'intégrité de l'OPI et elles ont tous les accès requis (ex. : station de pompage, vannes, etc.). - Une patrouille initiale de l'OPI est effectuée pour s'assurer de l'absence de débris ou d'actes de vandalisme sur l'ouvrage et du dégagement des voies d'accès, vérifier le bon fonctionnement et la fermeture des vannes et des clapets et vérifier l'état des réparations réalisées sur l'ouvrage. Interventions terrain - Si l'OPI ou ses dispositifs connexes sont situés sur des terrains privés, les propriétaires sont avisés des patrouilles. Communications - Le coordonnateur municipal de la sécurité civile est informé et les intervenants affectés à l'OPI sont intégrés dans la structure de coordination de la municipalité. - Une ligne de communication est établie avec les municipalités ou communautés concernées en amont et en aval afin de coordonner les efforts. - Le Centre des opérations gouvernementales (COG) est informé de la situation.
			Surveillance de l'ouvrage - Une patrouille de l'ouvrage est réalisée afin de détecter les indicateurs d'anomalies sur l'ouvrage (ex. : traces d'affouillement, d'érosion, d'affaissement, etc.) et sur les dispositifs connexes (ex. : zones humides à proximité d'une station de pompage, etc.). - Des observations et, au besoin, des photos sont consignées dans un journal de bord. Interventions de terrain - Réalisation des réparations requises : Tout problème de maintenance urgent est pris en charge afin d'y donner suite avant que la situation ne s'aggrave. - L'ouvrage est fermé au public. Communications - Les équipes de patrouille ont en leur possession des instructions à communiquer aux résidents vivant à proximité de l'ouvrage. - Les citoyens sont informés du potentiel d'inondation.
Niveau 2	Les prévisions hydrométriques permettent d'anticiper que l'ouvrage sera sollicité de façon modérée	Anomalies mineures non évolutives	Surveillance en continu de l'ouvrage - Une patrouille de l'ouvrage est effectuée en continu sur l'ouvrage (24/7) en surveillant les différents points critiques (sites avec anomalies, dispositifs amovibles, mécanismes de fermeture, accès, débris, etc.). - Les changements dans l'inventaire des équipements, matériaux et fournitures de lutte contre les inondations sont surveillés.
			Activités de terrain - Tout problème d'érosion et d'infiltration identifié lors des patrouilles est réparé dans les plus brefs délais. Communications - Le public est informé de la situation critique. - Il est recommandé aux gens : - de se tenir prêts pour une évacuation potentielle; - de se tenir informés de la situation via les sources officielles (ex. : site Web ou médias sociaux de la municipalité) et de s'abonner aux alertes de la municipalité (ex. : automate d'appel, abonnement aux SMS);
Niveau 3	Les prévisions hydrométriques permettent d'anticiper que l'ouvrage sera sollicité de manière importante	Anomalies importantes observées ou anomalies évolutives	

			○ d'adopter des comportements pour accroître leur protection; ○ de contacter les personnes qui pourraient être difficiles à joindre; ○ de déplacer les personnes, les biens de valeur et les animaux de compagnie en lieu sûr.
Niveau 4	Les prévisions hydrométriques permettent d'anticiper une surverse ou un contournement	Signes d'une rupture prochaine de l'ouvrage	Surveillance de l'ouvrage • Arrêt des activités de patrouille sur l'ouvrage. Activités de terrain • Mise en application de la procédure d'évacuation (ou de mise à l'abri, le cas échéant). Communications • Les instructions sont communiquées au public pour procéder à l'évacuation du territoire.
Rétablissement	Les prévisions hydrométriques permettent d'anticiper une décrue continue et le retour à un niveau de sollicitation de l'ouvrage peu élevé	Anomalies importantes ou évolutives corrigées ou résorbées	Surveillance de l'ouvrage • Reprise des patrouilles sur l'ouvrage (vérifier l'état général, évaluer les travaux à effectuer, etc.). Activités de terrain • Réouverture des voies de circulation. • Mise en œuvre de la procédure de réintégration des personnes évacuées ou fin de la mise à l'abri, le cas échéant. • Démobilisation progressive des effectifs. Communications • Communiquer les instructions au public pour procéder à la réintégration des personnes évacuées ou concernant la fin de la mise à l'abri.

4.7 Recommandations

Comme le prévoit l'article 6 du ROPI, toutes recommandations jugées pertinentes doivent être intégrées à l'étude de caractérisation de l'ouvrage.

4.7.1 Caractérisation de l'ouvrage

Des recommandations peuvent être formulées en lien avec l'acquisition d'informations additionnelles, certaines étant manquantes ou incomplètes, pour améliorer la connaissance des caractéristiques et de la nature des constituants de l'OPI d'ici la prochaine mise à jour de l'étude de caractérisation ou d'ici la réalisation d'une étude de performance, le cas échéant. Ce volet pourrait mener à des recommandations sur la réalisation d'investigations particulières sur le terrain par des méthodes non destructives ou non intrusives, le tout selon l'avis de l'ingénieur.

4.7.2 Inspection visuelle

Des recommandations peuvent être formulées en lien avec l'inspection visuelle de l'OPI. En général, ces recommandations peuvent être classées en trois catégories, soit :

- la sécurité, ce qui inclut notamment les recommandations sur la sécurité du public ainsi que sur toute observation (anomalie, problème aux dispositifs connexes, dommage, etc.) pouvant indiquer une potentielle perte ou limitation de l'efficacité de l'ouvrage, de même que des recommandations d'investigations supplémentaires pour évaluer les risques liés à une anomalie;
- la maintenance et l'entretien, ce qui inclut les recommandations sur toute action jugée requise pour assurer le maintien du fonctionnement de l'OPI et de la capacité d'effectuer une inspection visuelle adéquate (ex. : contrôle de la végétation, retrait de débris, systèmes mécaniques, etc.);
- la surveillance, ce qui inclut les activités spécifiques au suivi du comportement (ex. : recommandation particulière concernant l'évolution d'une anomalie) et de la pérennité de l'ouvrage. Ces recommandations pourraient par exemple inclure l'ajout d'inspections spéciales/particulières pour un niveau d'eau ou de précipitation préétabli, une tempête de vent ou toute autre condition potentiellement critique jugée pertinente.

4.8 Résumé non technique

Le résumé non technique est un document qui reprend, de manière simple et vulgarisée, les points importants de l'étude de caractérisation. Il doit être révisé à la suite d'une mise à jour d'une étude de caractérisation ou de toute modification substantielle de l'ouvrage. Son objectif est de permettre aux citoyens et aux autres personnes concernées de connaître les principales caractéristiques des OPI présents sur le territoire, de même que les risques d'inondation qui demeurent malgré la présence de l'ouvrage.

Le contenu et l'étendue du résumé non technique peuvent varier d'un ouvrage à l'autre, notamment en fonction du nombre de tronçons que comprend l'ouvrage. Une municipalité peut également choisir de présenter plus d'information sur un ouvrage que ce qui est exigé par le ROPI. Le MELCCFP recommande toutefois de demeurer concis dans la présentation de l'information. Le résumé non technique d'un OPI pourrait compter entre 2 et 5 pages, par exemple.

Une municipalité doit s'assurer que les informations détaillées ci-dessous sont couvertes par le résumé non technique, comme le prescrit l'article 11 du ROPI :

- Une description sommaire de l'ouvrage et de ses dispositifs connexes. Cette description doit inclure l'année de construction (lorsqu'elle est connue), la méthode construction et les matériaux utilisés

(en se référant à la typologie des ouvrages de la section 4.3.1). Cette information peut notamment être présentée sous la forme d'une carte du territoire sur laquelle ces différents éléments sont localisés;

- Parfois, l'année précise de la construction de l'ouvrage est inconnue, mais la revue des informations disponibles peut permettre de l'estimer. Dans un tel cas, une information telle que « vers 1950 » ou « avant 1950 » peut être écrite;
- Le résultat de l'évaluation de l'état de chaque tronçon avec l'une ou l'autre des cotes suivantes : « très bon », « bon », « acceptable », « pauvre », « indéterminé ». Cette évaluation doit inclure les considérations quant à l'état des dispositifs connexes. Une cote doit également être attribuée à l'ouvrage dans son ensemble, correspondant à la cote la plus basse donnée à un tronçon de l'ouvrage;
- L'identification du niveau de protection apparent de l'ouvrage, c'est-à-dire l'élévation à partir de laquelle la zone derrière l'ouvrage commencera à être inondée en raison de la surverse au point bas de l'ouvrage ou en raison d'un contournement de l'ouvrage. Cette élévation est exprimée en mètres ou en débit selon que l'ouvrage est situé sur le bord d'un lac ou d'un cours d'eau avec un dénivelé prononcé;
- Une carte présentant la zone exposée de l'ouvrage en cas de surverse, de contournement ou de défaillance. Cette carte n'a pas de valeur réglementaire. Elle vise plutôt à aider les citoyens et la municipalité à visualiser le territoire maximal qui pourrait être touché s'il devait y avoir une inondation malgré la présence de l'OPI. Sur cette carte, sont également localisés les zones vulnérables et les éléments vulnérables. L'identification de ces secteurs et des éléments vulnérables permet de mieux organiser les interventions en situation d'urgence;
- Des photos de l'ouvrage pour aider le lecteur à bien reconnaître l'ouvrage dont il est question;
- Une synthèse des recommandations.

L'annexe I présente un exemple de table des matières d'un résumé non technique.

5. Étude de performance de l'OPI

Le contenu de ce chapitre est en cours de rédaction. Il sera intégré dans une prochaine mise à jour du guide.

6. Conclusion

La réalisation des études de caractérisation ou de performance constitue une démarche structurante qui s'inscrit dans une logique d'amélioration continue de la connaissance et de la gestion des OPI sur le territoire. En s'appuyant sur les balises techniques et les bonnes pratiques proposées dans ce guide, les municipalités seront mieux outillées pour répondre aux obligations du ROPI tout en contribuant à des interventions plus efficaces, sécuritaires et durables sur le territoire.

Aidez-nous à améliorer cet outil en prenant une minute pour nous donner votre avis!

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CANADIAN DAM ASSOCIATION (CDA). *Technical Bulletin: Hydrotechnical considerations for Dam Safety*, 2007a.
- CANADIAN DAM ASSOCIATION (CDA). *Technical Bulletin: Structural Considerations for Dam Safety*, 2007b.
- CANADIAN DAM ASSOCIATION (CDA). *Technical Bulletin: Geotechnical considerations for Dam Safety*, 2007c
- ALBERTA. *Alberta's river forecast centre fact sheet: Ice jam flooding*. Government of Alberta, 2018, 2 p.
- AMEC FOSTER WHEELER ENVIRONMENT & INFRASTRUCTURE. *Guidelines for the design, construction and rehabilitation of coastal and estuarine dykes in New Brunswick and Nova Scotia*. Rapport final préparé pour le Nova Scotia Department of Agriculture, Truro (NS), et le New Brunswick Department of Transportation & Infrastructure, Moncton (NB), juin 2018, 112 p.
- ATUKORALA, U., HAWSON, H., MYLLEVILLE, B., WILLIAMS, R. *Seismic design guidelines for dikes*. 2^e édition. Préparé pour le Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, Flood Safety Section - Province of British Columbia, juin 2014, 89 p.
- BERNIER, E. *Nettoyage des berges après les inondations : plus de questions que de réponses*. Le Charlevoisien, 2023. [En ligne]. [<https://www.lecharlevoisien.com/2023/05/22/nettoyage-des-berges-apres-les-inondations-plus-de-questions-que-de-reponses/>] (Consulté le 15 mars 2024)
- CALIFORNIA. *Urban levee design criteria*. Natural Resources Agency, Department of Water Resources, State of California, mai 2012, 98 p. [En ligne] [https://cawaterlibrary.net/wp-content/uploads/2017/05/ULDC_May2012.pdf] (consulté le 18 septembre 2025).
- CANADA. ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA. *Un guide pratique d'interventions sur les rives en eau douce : Chapitre 3 - Milieux en eau douce ou dulcicole*, 2023a. [En ligne]. [<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-aperçu/proteger-eau-douce/guide-pratique-interventions-sur-rives-eau-douce/chapitre-3.html>] (Consulté le 2025-09-17)
- CANADA. ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA. *Un guide pratique d'interventions sur les rives en eau douce. Chapitre 7. Gouvernement du Canada*, 2023b. [En ligne]. [<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-aperçu/proteger-eau-douce/guide-pratique-interventions-sur-rives-eau-douce/chapitre-7.html>] (Consulté le 2025-09-17)
- Carter. D. *Guide pratique pour le calcul des forces exercées par la glace*. Rapport d'étude préparé pour Hydro-Québec – Direction ingénierie – Hydraulique et géotechnique, 2001.
- CEREMA, CENTRE D'ÉTUDES ET D'EXPERTISE SUR LES RISQUES, L'ENVIRONNEMENT, LA MOBILITÉ ET L'AMÉNAGEMENT. *Guide international sur les digues – The international levee handbook, version française (traduction de : CIRIA, The International levee handbook, 2013)*, Cerema, 2019, 1485 p. (Collection Références)
- COMITÉ FRANÇAIS DES BARRAGES ET RÉSERVOIRS (CFBR). *Recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai – Guidelines for the justification of embankments dams and levees*, Savoie Technolac, 2016, 264 p. ISBN 979-10-96371-01-3.

COMITÉ FRANÇAIS DES BARRAGES ET RÉSERVOIRS (CFBR). *Recueil de méthodes et de techniques de confortement et réparation des digues de protection en remblai – Cadre général*, Savoie Technolac, 2021, 159 p. ISBN 979-10-96371-17-4.

CIRIA, CUR, CETMEF. *Guide Enrochement - L'utilisation des enrochements pour les ouvrages hydrauliques*. Version française du Rock Manual, CETMEF, Compiègne, 2009. ISBN 978-2-11-098518-7.

COMMITTEE ON RIVER ICE PROCESSES AND THE ENVIRONMENT (CRIPE). *A primer on hydraulics of ice-covered rivers*. Canadian Geophysical Union – Hydrology Section ; Environmental Citizenship; Committee on River Ice Processes and the Environment, 1996.

DAS, A. & LINDENSCHMIDT, K.-E. *Modelling climatic impacts on ice-jam floods: a review of current models, modelling capabilities, challenges, and future prospects*. Environmental Reviews, vol. 29, no 3, 2021, p. 378-390.

DWA. *Advisory Guideline DWA-M 507-1E. Levees built along watercourses. Part 1: Planning, construction and operation*. German Association for Water, Wastewater and Waste, 2011, 114 p.

GENIVAR. *Contrôle de l'érosion de la plage de l'Île Saint-Quentin - Caractérisation des causes de l'érosion*. Rapport d'étude préparé pour la Ville de Trois-Rivières, Rapport final de GENIVAR inc. à la Ville de Trois-Rivières, 2014, 98 p. et annexes.

HYDRO-QUÉBEC. *Guide de conception des aménagements hydroélectriques. Guide technique*, 2000.

HYDRO-QUÉBEC. *Guide de conception des ouvrages hydrauliques – Encadrements et critères à appliquer pour le dimensionnement des ripraps lors de la réfection de barrages et de digues*. Hydro-Québec, 2009a.

HYDRO-QUÉBEC. *Guide de conception des ouvrages hydrauliques – Encadrements et critères à appliquer pour le calcul des revanches hydrauliques*. Hydro-Québec. 2009b.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). *Flood evaluation and dam safety*. Bulletin 170, 2018.

QUÉBEC. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS. *Stations hydrométriques*, [En ligne]. [<https://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/stations-hydrometriques/index.htm>] (Consulté le 2025-09-10)

QUÉBEC. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS. *Données climatiques*, [En ligne]. [<https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/OQCarte.asp>] (Consulté le 2025-09-10)

MÉRIAUX, P., ROVET, P., FOLTON, C. *Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations: Guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires*. Nouvelle édition, Antony: CEMAGREF, 2004.

QUÉBEC. MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE. *Vigilance – Surveillance de la crue des eaux*, [En ligne]. [<https://vigilance.geo.msp.gouv.qc.ca/>] (Consulté le 2025-09-10)

QUÉBEC. MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE. *Concepts de base en sécurité civile*. 2008. 60 p.

QUÉBEC. MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE. *Politique québécoise de sécurité civile 2014-2024*. 2014. 92 pages.

- O'Leary, T.-M. *USACE best practices and tools to estimate hydraulic gradients and likelihood of internal erosion*. Association canadienne des barrages, Congrès annuel 2022 de l'ACB, 17 au 19 octobre 2022.
- PIÉGAY, H. LE LAY, Y-F. & MOULIN, B. « Les risques liés aux embâcles de bois dans les cours d'eau : état des connaissances et principes de gestion ». Dans : VALLAURI, D., ANDRÉ, J., DODELIN, B., EYNARD-MACHET, R. et RAMBAUD, D. (coord.). *Bois mort et à cavité, une clé pour des forêts vivantes*. Paris : Lavoisier et Éditions Tec & Doc, 2005, p.193-202.
- QUÉBEC. MINISTÈRE DES TRANSPORTS. *Manuel de conception des ponceaux*, décembre 2020 (inclut la révision de novembre 2021). Collection Ouvrages routiers - Guides et Manuels.
- CANADIAN GEOTECHNICAL SOCIETY (CGS). *Canadian Foundation Engineering Manual (CFEM)*. 2023.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Design and construction of levees*. États-Unis, United States Army Corps of Engineers, Manual No. 1110-2-1913, 2000, 164 p.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Engineering and design: slope stability*. États-Unis, United States Army Corps of Engineers, Manual No. 1110-2-1902, 2003, 205 p.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Coastal engineering manual*, EM 1110-2-1100. CECW-CE, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington (DC), 2011.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS & FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (USACE&FEMA). *National levee safety guidelines — A step towards a more aware, prepared, and flood resilient nation*. Draft 1^{ère} édition, avril 2024. [En ligne] [<https://www.leveesafety.org/pages/nlsg>] (consulté le 2025-09-18)
- VAN, M.A., ROSENBRAND, E., TOURMENT, R., SMITH, P. AND ZWANENBURG, C. *Failure paths for levees*, International Society of Soil mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) – Technical Committee TC201 « Geotechnical aspects of dikes and levees », février 2022. [En ligne]. [<https://doi.org/10.53243/R0006>] (consulté le 2025-09-17)
- VENNETIER M., MÉRIAUX P., ZANETTI C. *Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai*. Cardère éditeur, Irstea Aix-en-Pce, 2015, 232 p.

ANNEXE A : AIDE-MÉMOIRE SUR LES LIVRABLES D'UNE ÉTUDE DE CARACTÉRISATION

Étude de caractérisation d'un OPI (réf. ROPI, art. 6)

D'ici le 1^{er} mars 2029, les municipalités doivent transmettre le rapport de l'étude de caractérisation. Ce rapport devra être accompagné des fichiers numériques exigés (voir l'annexe C). Le rapport de l'étude et les données numériques attendus doivent comprendre les informations ci-dessous et être transmis par courriel au MELCCFP à l'adresse info-digues@environnement.gouv.qc.ca.

En transmettant ces informations, le responsable de l'étude de caractérisation d'un OPI atteste que l'étude a été réalisée en respectant les balises établies dans le présent guide, lesquelles sont résumées ci-dessous :

Thème : Définition d'OPI

Section du guide	Éléments à respecter
3.1 et 3.2	L'ouvrage étudié correspond à la définition d'un OPI du ROPI. Il ne correspond pas à un type d'ouvrage exclu de la définition d'OPI du ROPI.
3.4	L'étude porte sur les autres infrastructures ou éléments de l'environnement qui assurent une protection cohérente du territoire, si applicable.

Thème : Revue de l'information disponible

Section du guide	Éléments à respecter
4.2.1	Une revue aussi exhaustive que possible des informations disponibles sur l'OPI a été réalisée. Le rapport de l'étude de caractérisation en présente une synthèse.
4.2.2	Les informations disponibles relativement aux interventions effectuées au fil des années sur l'OPI et ses dispositifs connexes ont été rassemblées. Le rapport de l'étude de caractérisation en présente une synthèse.

Thème : Description générale de l'OPI

Section du guide	Éléments à respecter
4.3.1	Pour chacun des tronçons de l'ouvrage, le type d'OPI est identifié dans le rapport conformément à la typologie présentée dans le guide.
4.3.2	Pour chacun des tronçons de l'ouvrage, les autres vocations sont identifiées dans le rapport conformément aux indications présentées dans le guide.
4.3.3	Les voies d'accès à l'OPI et les voies de circulation sur l'OPI ont été identifiées et sont répertoriées dans le rapport de l'étude de caractérisation.

Thème : Localisation et délimitation de l'OPI

Section du guide	Éléments à respecter
4.4.2	L'OPI a fait l'objet d'une segmentation en tronçons si nécessaire. Le rapport de l'étude de caractérisation explique sur quelles bases ce découpage a été fait. Si l'OPI est constitué d'un seul tronçon, le rapport l'indique.
4.4.3	La crête de l'OPI a été localisée. Si la localisation des hauts de talus amont et aval est également requise, ceux-ci ont été localisés.
4.4.4	Les pieds amont et aval de l'OPI ont été localisés.
4.4.5	Une distance de 3 mètres de part et d'autre de l'OPI a été ajoutée à partir de ses pieds. Elle est réduite du côté amont si le pied est situé à l'intérieur de la limite d'une crue de récurrence de 2 ans ou à moins de 3 mètres de celle-ci.
4.4.6	Un relevé topographique a été réalisé en s'assurant que : - des coupes transversales ont été réalisées perpendiculairement à l'ouvrage permettant de relever le positionnement du pied amont, du pied aval ainsi que de la crête et, le cas échéant, des hauts de talus de l'OPI; - la distance entre les coupes transversales permet de bien représenter la géométrie de l'ouvrage; - chacun des points inclut les coordonnées X, Y et Z (élévation); - les points relevés sont intégrés dans la classe d'entité pertinente, conformément aux indications de l'annexe C du guide; L'assiette de l'OPI a été délimitée sous la forme d'un polygone avec les caractéristiques suivantes : - L'assiette de l'OPI est composée d'un seul polygone. Celui-ci est de type multipolygone au besoin. - Le polygone de l'assiette de l'OPI comprend une bande supplémentaire d'une largeur de 3 mètres (sauf exception) de part et d'autre de l'ouvrage ainsi qu'à ses extrémités. - Il n'y a aucune discontinuité à l'intérieur du polygone de l'assiette de l'OPI. - Le polygone de l'assiette de l'OPI a été intégré dans la classe d'entité pertinente, conformément aux indications de l'annexe C du guide. Le cas échéant, le polygone de l'assiette de l'OPI a été découpé en différents polygones pour représenter la segmentation de l'OPI en tronçons. Ces polygones ont les caractéristiques suivantes : - Le polygone, ou l'ensemble des polygones des tronçons si l'assiette de l'OPI est composée de plusieurs tronçons, se superpose parfaitement au polygone de l'assiette de l'OPI. - En présence de plusieurs tronçons, chacun de ceux-ci partage une frontière commune avec un autre tronçon. - En présence de plusieurs tronçons, les polygones de ceux-ci ne se superposent pas. - Le polygone ou les polygones des tronçons de l'OPI ont été intégrés dans la classe d'entité pertinente, conformément aux indications de l'annexe C de ce guide.
4.4.7	Les dispositifs connexes nécessaires au bon fonctionnement de l'ouvrage sont listés dans le rapport, conformément à la typologie du guide. Les points relevés correspondant à ceux-ci sont intégrés dans la classe d'entité pertinente, conformément aux indications de l'annexe C du guide. En cas d'impossibilité de lister ou de relever l'entièreté des dispositifs connexes, les raisons sont expliquées dans le rapport de l'étude.

4.4.9	Un profil longitudinal a été réalisé à partir des valeurs d'élévation de chaque transect. Il affiche les variations d'élévation des pieds amont et aval et de la crête sur l'ensemble du linéaire de l'OPI. Le profil longitudinal est intégré au rapport de l'étude.
4.4.10	Des profils transversaux ont été réalisés (minimalement un par tronçon), notamment aux endroits jugés plus critiques pour la sécurité de l'ouvrage, tels que les changements de tronçon ou les points bas. À partir des valeurs d'élévation d'un transect, chacun des profils transversaux positionne les points correspondant aux pieds, aux hauts de talus (le cas échéant) et au sommet de la crête. Les profils transversaux sont intégrés au rapport de l'étude.
4.4.11	Le rapport de l'étude inclut une mise en plan de l'OPI et de ses tronçons illustrant : • l'assiette de l'OPI; • la segmentation de l'OPI en tronçon; • la localisation des transects; • la présence des empiétements identifiés sur l'ouvrage; • la localisation du profil de la crête, des hauts de talus (dans le cas d'une digue en terre ou en enrochement) et des pieds amont et aval; • les dispositifs connexes.

Thème : Inspection visuelle de l'OPI

Section du guide	Éléments à respecter
4.5.1.1	Le rapport de l'étude de caractérisation présente : • une synthèse des anomalies observées sur l'OPI; • une synthèse des problématiques associées aux dispositifs connexes; • une synthèse des problématiques associées à la végétation; • Une synthèse des problématiques associées aux empiétements sur l'OPI.
4.5.1.2	Le rapport comprend une appréciation de l'état physique et structurel de l'OPI, de chacun de ses tronçons et de ses dispositifs connexes, sur la base des cotes prévues à l'annexe I du ROPI. S'il est impossible de se prononcer sur l'état de l'ouvrage, d'un tronçon ou des dispositifs connexes (cote « indéterminé »), les raisons sont expliquées dans le rapport de l'étude. La cote globale associée à l'OPI correspond à la cote la moins élevée attribuée à un tronçon.
4.5.1.4	Le terrain de fondation de l'OPI et de ses tronçons a été caractérisé. Les caractéristiques de fondations de l'OPI sont détaillées (ou résumées) dans le rapport de l'étude.
4.5.1.5	À l'aide d'indicateurs visuels de détérioration appropriés, les anomalies observées sur l'ensemble du linéaire de l'OPI et sur ses dispositifs connexes lors de l'inspection visuelle ont été consignées dans un rapport d'inspection.
4.5.1.6	Les empiétements pouvant représenter un risque pour l'OPI ou une contrainte à la circulation et à l'inspection de l'OPI ont été relevés sur l'ensemble du linéaire de l'ouvrage.
4.5.1.7	La végétation présente sur l'ensemble du linéaire de l'ouvrage a été décrite, ainsi que les risques associés à celle-ci, le cas échéant, et des conseils d'entretien sont formulés s'il y a lieu.
4.5.1.8	Un rapport d'inspection a été produit.

Thème : Identification des aléas pouvant représenter des risques pour l'OPI

Section du guide	Éléments à respecter
4.5.3	Les aléas pouvant représenter un risque pour l'OPI (autres que la crue en eau libre) ont été identifiés dans le rapport de l'étude. Il peut notamment s'agir d'aléas hydrauliques externes, d'aléas associés à la végétation, d'aléas anthropiques ou d'aléas associés à l'évolution de la géomorphologie.

Thème : Niveau de protection apparent de l'ouvrage

Section du guide	Éléments à respecter
4.5.4	Le niveau de protection apparent de l'OPI est identifié dans le rapport de l'étude. • Dans le cas d'un OPI situé en bordure d'un lac, le niveau de protection apparent est exprimé en mètres. • Dans le cas d'un OPI situé en bordure d'un cours d'eau avec un dénivelé prononcé, le niveau de protection apparent est exprimé par un débit.

Thème : Éléments nécessaires à l'élaboration du plan particulier en présence d'un OPI

Section du guide	Éléments à respecter
4.6.1	La zone exposée a été délimitée sous la forme d'un polygone avec les caractéristiques suivantes : • Il existe une seule zone exposée pour un OPI. Toutefois, la zone exposée d'un OPI peut être composée de plusieurs secteurs distincts qui, le cas échéant, forment une seule entité. Ainsi, dans le cas d'un OPI qui protège deux secteurs qui ne sont pas hydrauliquement connectés entre eux, ils ont été intégrés dans un seul et même polygone de type multipolygone. • Il ne doit y avoir aucune discontinuité à l'intérieur du polygone de la zone exposée, pour permettre d'inclure des secteurs qui ne seraient pas inondés en cas de défaillance de l'ouvrage, mais qui seraient potentiellement entourés d'eau et isolés. • Une portion de territoire ne peut être située à la fois sur l'assiette de l'OPI et dans la zone exposée. Par conséquent, le polygone de la zone exposée ne se superpose pas au polygone de l'assiette de l'OPI. • Le polygone de la zone exposée doit partager au moins un segment de frontière limitrophe avec l'assiette de l'OPI afin qu'il y ait une connexion entre l'assiette de l'OPI et la zone exposée. • Le polygone de la zone exposée a été intégré dans la classe d'entité pertinente, conformément aux indications de l'annexe C du guide. La source du MNT utilisé est précisée dans le rapport de l'étude. Si la méthode utilisée pour délimiter la zone est différente de la méthode exposée à l'annexe H, des explications sont fournies. Une carte de la zone exposée en cas de surverse, de contournement ou de défaillance de l'OPI est présente dans le rapport de l'étude.

4.6.2	Les éléments vulnérables de la zone exposée sont identifiés. Il s'agit minimalement des éléments suivants : - Le nombre de personnes qui résident sur un territoire, le nombre de bâtiments, leur usage et leur valeur foncière, ainsi que les infrastructures, les ouvrages et les aménagements dont la perturbation des activités ou du fonctionnement engendrerait des conséquences importantes sur le territoire compte tenu de leur importance stratégique : - les établissements publics, soit les établissements d'enseignement (y compris les centres de la petite enfance et les garderies), les établissements de détention et les établissements de santé et de services sociaux (hôpitaux, services d'hébergement pour personnes âgées, etc.); - les établissements de sécurité publique (ex. : garage d'ambulances, centre d'urgence 9-1-1, service de police, sécurité incendie, etc.); - les infrastructures ou actifs clés ayant une importance stratégique pour le milieu (ex. : infrastructures liées à l'approvisionnement en eau, infrastructures énergétiques, infrastructures de télécommunications, infrastructures industrielles, etc.).
0	Le rapport de l'étude recommande des seuils de mobilisation des intervenants et des seuils d'alerte de la population et de toute autre municipalité locale sur le territoire de laquelle s'étend la zone exposée de l'ouvrage, notamment sur la base de niveaux d'eau ou de débits à partir desquels les interventions identifiées au plan particulier en présence d'un OPI doivent se réaliser. La recommandation est accompagnée d'une liste des mesures à appliquer en fonction des seuils préétablis.

Thème : Recommandations

Section du guide	Éléments à respecter
4.7	Le rapport comprend des recommandations. Celles-ci peuvent porter, par exemple, sur l'acquisition d'informations additionnelles sur l'ouvrage ou sur des mesures à mettre en place pour accroître la sécurité de l'ouvrage, assurer la maintenance, l'entretien ou la surveillance de l'ouvrage. Si aucune recommandation n'est jugée requise, le rapport le spécifie.

Thème : Résumé non technique

Section du guide	Éléments à respecter
4.8	Un résumé non technique, simple et vulgarisé, accompagne le rapport de l'étude. Il contient les informations suivantes : - Une description sommaire de l'ouvrage et de ses dispositifs connexes, incluant l'année de construction (si elle est connue), la méthode construction et les matériaux utilisés; - La cote attribuée à l'état de chaque tronçon ainsi que la cote générale attribuée à l'état de l'ouvrage dans son ensemble (c'est-à-dire la cote la plus basse attribuée à un tronçon ou à un dispositif connexe);

	• L'identification du niveau de protection apparent de l'ouvrage exprimé en mètres, c'est-à-dire l'élévation à partir de laquelle la zone derrière l'ouvrage commencera à être inondée en raison de la surverse au point bas de l'ouvrage ou en raison d'un contournement de l'ouvrage; • Une carte présentant la zone exposée de l'ouvrage en cas de surverse, de contournement ou de défaillance. Sur cette carte, sont également localisés les zones vulnérables et les éléments vulnérables; • Des photos de l'ouvrage; • Une synthèse des recommandations.
--	--

ANNEXE B : AIDE-MÉMOIRE SUR LES LIVRABLES D'UNE ÉTUDE DE PERFORMANCE

Le contenu de cette annexe est en cours de rédaction. Il sera intégré dans une prochaine mise à jour du guide.

ANNEXE C : INFORMATIONS SUR LES DONNÉES À TRANSMETTRE AU MELCCFP

La trousse présentant les outils géomatiques à utiliser et spécifiant la façon de transmettre les données géographiques au Ministère est en cours d'élaboration. Elle sera prochainement disponible.

Dans le cadre d'une étude de caractérisation ou de performance d'un OPI, plusieurs données géographiques doivent être transmises au Ministère. Voici les classes d'entités pour lesquelles des données doivent être transmises :

- le relevé topographique réalisé dans le secteur de l'OPI;
- l'assiette de l'OPI;
- les tronçons;
- les dispositifs connexes nécessaires au fonctionnement de l'OPI;
- la zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement de l'ouvrage.

Les transects peuvent également être intégrés dans une classe d'entité. Cette information n'est pas obligatoire mais elle est recommandée puisque, dans l'éventualité où une zone protégée à risque résiduel devait être délimitée derrière un OPI, elle serait utile pour la réalisation de la cartographie des zones inondables.

Gabarit

Le gabarit des données est disponible sous deux formes dans une trousse de référence accessible sur le site Web du gouvernement du Québec :

- FGDB;
- Shapefile.

Il est fortement recommandé de privilégier le format FGDB. Celui-ci assure une meilleure conformité des données puisqu'il permet, notamment, d'utiliser des listes déroulantes pour sélectionner des domaines de valeurs dans certains champs.

Système de référence

Les données doivent être transmises sous forme de fichiers numériques à l'aide du système de référence NAD83 CSRS Québec Lambert (EPSG : 6622). Si l'acquisition des données sur le terrain peut être réalisée dans un autre système de protection, celles-ci devront être reprojetées dans le système exigé pour être intégrées au gabarit.

Le système de référence altimétrique doit être le système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28), avec le modèle hybride du géoïde HTv2.0 époque 1997,0.

Schéma des données

Le schéma des données de chacune des classes d'entités est disponible dans le fichier Excel de la trousse de référence. Il permet de connaître l'ensemble des champs attributaires de chaque classe d'entités, leur

description et les domaines de valeurs à respecter, le cas échéant. Il est important de consulter ces informations puisque le schéma des données de chaque classe d'entités doit être respecté intégralement.

Règles topologiques

Les données transmises doivent respecter les règles topologiques présentées dans l'aide-mémoire de l'annexe A.

Transmission

Les données doivent être transmises OPI par OPI. Ainsi, une municipalité ayant plusieurs OPI sur son territoire devra réaliser une étude différente pour chacun d'entre eux, et les données annexées à chaque étude devront être spécifiques à chaque OPI.

Les données doivent être compressées (zippées) et transmises à l'adresse courriel suivante : info-digues@environnement.gouv.qc.ca. Si les fichiers excèdent la taille maximale autorisée par courriel, une plateforme de transfert de fichiers peut être utilisée. Ce type de service permet de téléverser vos documents, puis d'envoyer un lien de téléchargement par courriel.

Le MELCCFP veillera à ce que les données fournies respectent le schéma des données et les règles topologiques de chacune des classes d'entités demandées. Si des ajustements sont nécessaires, les données seront retournées à la municipalité afin qu'elle puisse les modifier en conséquence. L'information concernant l'OPI d'une municipalité pourra être intégrée à la base de données uniquement si elle est conforme.

Mise à jour

Lors de la mise à jour d'une étude de caractérisation ou de performance, les données de toutes les classes d'entités devront être retransmises au MELCCFP, sauf si aucune de celles-ci n'a subi de modification de nature géométrique ou attributaire. Dans ce contexte, les municipalités sont encouragées à conserver une copie des données transmises en prévision de la prochaine mise à jour de l'étude.

Usage des données par le MELCCFP

Les données transmises par une municipalité à la suite d'une étude de caractérisation ou de performance seront intégrées dans une base de données qui alimentera à la fois la cartographie des zones inondables et le registre public des OPI.

ANNEXE D : DÉLIMITATION D'UN OPI

Cette annexe présente les balises à suivre pour délimiter l'assiette d'un OPI et ses tronçons et les représenter sous la forme de polygones.

Étape 1 : Réaliser le relevé topographique

La première étape pour délimiter un OPI requiert de se rendre sur le terrain pour réaliser un relevé topographique de l'ouvrage. Le relevé topographique inclut les coordonnées X, Y et Z (élévation) de chaque point relevé.

Des coupes transversales sont réalisées perpendiculairement à l'ouvrage et permettent de relever les pieds amont et aval ainsi que la crête et les hauts de talus (voir les sections 4.4.3 et 4.4.4).

Il est recommandé de prévoir le positionnement des coupes transversales avant le levé terrain, pour que les coupes correspondent le plus souvent possible aux transects qui seront nécessaires pour déterminer le profil longitudinal et les profils transversaux de l'ouvrage (voir les sections 4.4.9 et 4.4.10). La distance qui sépare chaque coupe transversale doit être suffisamment courte pour permettre de bien représenter la géométrie de l'ouvrage. Une distance de 20 mètres entre les coupes transversales est suggérée. Il s'agit d'une orientation générale et les professionnels responsables de délimiter l'ouvrage ont toute la latitude pour déterminer le nombre de coupes transversales et la distance entre celles-ci. Il doit notamment y avoir une coupe transversale aux points bas, aux extrémités de l'OPI et aux changements de tronçon.

Pour obtenir le meilleur positionnement possible des points à relever sur l'ouvrage, il est recommandé de réaliser le relevé topographique directement sur le terrain à l'aide d'un GPS ou d'une station totale. L'utilisation d'un drone peut également permettre de réaliser ou de bonifier le relevé, par exemple si l'OPI est sur un territoire inaccessible ou plus difficile d'accès.

Tableau 12 Exemple de points issus d'un relevé topographique

	FID	Shape *	X	Y	Z	Info
1	0	Point ZM	363122,45	241064,12	9,031	Pied aval
2	1	Point ZM	400846,56	200136,04	7,143	Pied amont

Étape 2 : Définir le polygone de l'OPI

Les points correspondant au pied amont et au pied aval sont ceux qui permettent de définir le polygone de l'OPI. La Figure 45 donne un exemple de points correspondant aux pieds d'un ouvrage.

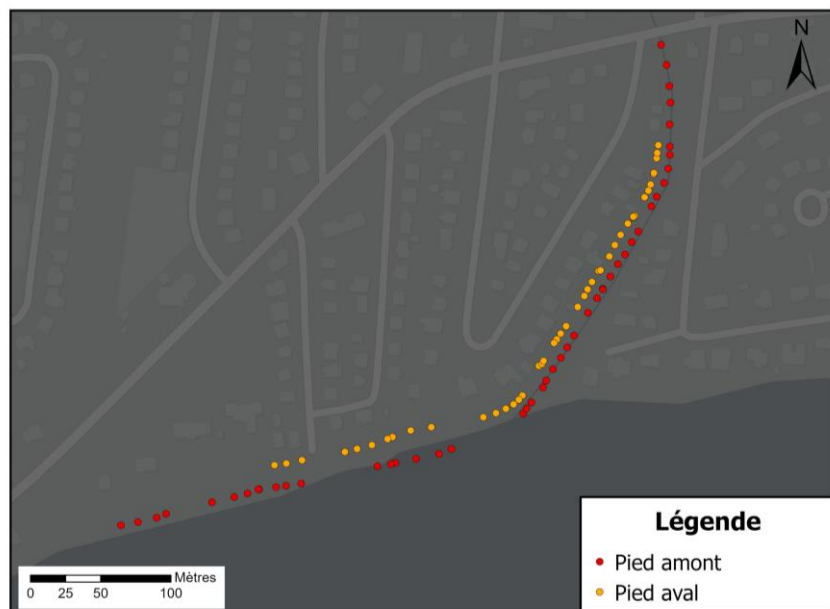


Figure 45 Localisation des points du relevé topographique correspondant aux pieds amont et aval d'un OPI.

Source : MELCCFP

Il peut arriver que certains points correspondant aux pieds de l'ouvrage ne puissent être relevés sur le terrain en raison de la présence de remblai derrière l'ouvrage ou lorsque des contraintes physiques limitent l'accès ou la visibilité. Dans un tel cas, il faut tout de même identifier les pieds de l'ouvrage pour pouvoir délimiter le polygone de l'OPI. Par exemple, il pourrait être possible d'obtenir la position des pieds grâce au géoréférencement d'un plan ou à des photographies aériennes historiques, conformément aux indications de la section 4.4.4.

Les points de mesure des pieds amont et aval, une fois reliés entre eux, forment le polygone de l'ouvrage.

Étape 3 : Définir le polygone de l'assiette de l'ouvrage

Au polygone obtenu à l'étape précédente, il faut ajouter une bande supplémentaire de 3 mètres de largeur afin d'obtenir l'assiette de l'OPI, comme le prévoit l'article 3 du ROPI (voir la section 4.4.5 de ce guide). Cette bande supplémentaire peut être ajoutée directement autour du polygone de l'ouvrage délimité à l'étape précédente en ayant recours à une zone tampon. Il est suggéré que les extrémités de cette extension soient de forme arrondie comme l'illustre la Figure 46.

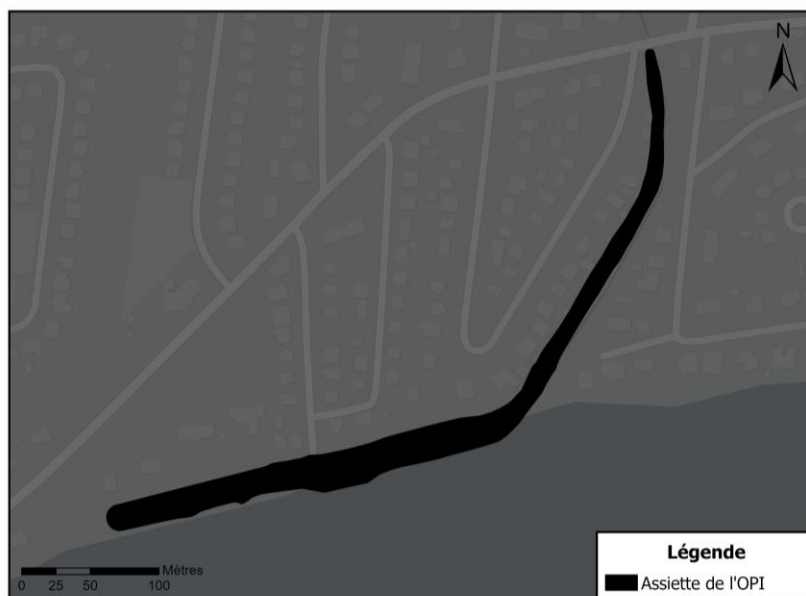


Figure 46 Polygone de l'assiette d'un OPI.

Source : MELCCFP

Des ajustements à la zone tampon de 3 mètres peuvent être nécessaires pour un OPI situé à proximité du littoral d'un lac ou d'un cours d'eau. En effet, l'article 3 du ROPI précise que lorsque le pied amont d'un OPI se situe à l'intérieur de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans, l'assiette de l'OPI se termine au niveau du pied amont. Dans le cas où le pied amont est situé à moins de 3 mètres de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans, l'assiette de l'OPI se termine à la limite de récurrence de 2 ans.

La géométrie de ce polygone doit être intégrée à la classe d'entité « Assiette de l'OPI », et ce, avec toutes les informations attributaires pertinentes, conformément aux indications de l'annexe C.

Étape 4 : Définir le polygone des tronçons de l'OPI

Il est possible que le polygone de l'assiette de l'OPI doive faire l'objet d'une segmentation si l'ouvrage est composé de plusieurs tronçons (voir la section 4.4.2). Tout changement de tronçon doit avoir été repéré préalablement par l'ingénieur et une coupe transversale doit avoir été relevée à l'emplacement du changement. De plus, un transect et un profil transversal doivent être produits à l'emplacement du changement de tronçon.

Les géométries de chacun des polygones des tronçons doivent être intégrées à la classe d'entité « Tronçon », et ce, avec toutes les informations attributaires pertinentes, conformément aux indications de l'annexe C.

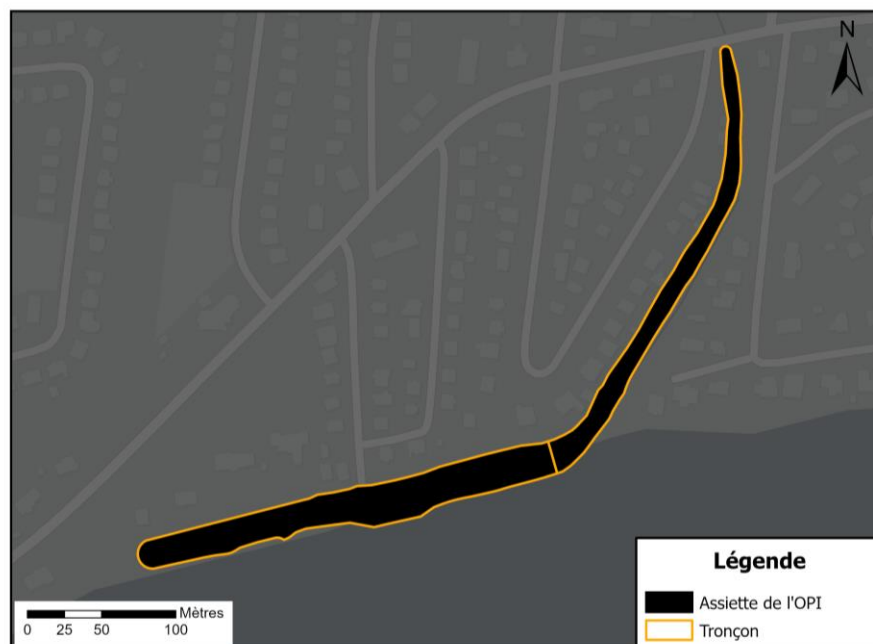


Figure 47 Segmentation de l'assiette d'un OPI en deux tronçons.
Source : MELCCFP

ANNEXE E : EXEMPLES D'ANOMALIES POUVANT ÊTRE OBSERVÉES SUR UNE DIGUE EN TERRE

Déformations

Les indicateurs visuels de déformation peuvent prendre les formes suivantes :

- ornière;
- nid-de-poule;
- tassement en crête;
- affaissement;
- cône d'affaissement.

La présence de revêtements de surface (dalle de béton, chaussée bitumineuse, parement, enrochement) peut cacher la présence de ces indicateurs visuels. Les figures suivantes illustrent la façon dont certaines de ces détériorations peuvent se manifester.



Figure 48 Affaissement avec présence de fissures en surface.

Source : USACE & FEMA (2024)



Figure 49 Affaissement en crête d'une digue.

Source : USACE & FEMA (2024)



Figure 50 Zone de tassement localisée au niveau de la crête d'une digue.

Source : USACE & FEMA (2024)

Érosion

Les indicateurs visuels d'érosion peuvent se présenter sous ces formes :

- élimination du couvert végétal;
- élimination/déplacement du couvert granulaire (activité motorisée, pédestre, cycliste);
- anses d'érosion;
- sillons d'érosion;
- affouillements;

- déplacement du perré;
- terriers.

Les figures suivantes montrent comment peuvent se manifester certaines de ces détériorations.



Figure 51 Anse d'érosion mineure du parement amont d'une digue.
Source : MELCCFP



Figure 52 Sillon d'érosion sur la pente aval d'une digue.
Source : WSP



Figure 53 Érosion de perré.
Source : CFBR (2021)



Figure 54 Cavités créées par des animaux fouisseurs dans le talus d'une digue.
Source : CEREMA

Instabilité

Les indicateurs visuels d'instabilité d'une digue peuvent prendre les formes suivantes :

- glissement;
- fissuration;
- bourrelet au pied aval;
- courbure à la base des troncs d'arbres.

Une fissure est considérée comme une seule observation si elle ne présente pas d'interruption longitudinale de plus de 10 m, ou de 1 m perpendiculairement à son orientation principale. Les fissures dans les matériaux plus grossiers (gravier, enrochement) sont souvent plus difficiles à observer. Seulement les plus importantes sont visibles. Des mécanismes tels que le retrait de l'eau interstitielle au sein des matériaux cohérents, les cycles de gel/dégel ou la présence d'un état de contrainte particulier auquel les matériaux granulaires sont exposés (ex. : trafic lourd, empiètement, etc.) peuvent causer la création de fissures. Souvent, ces fissures n'ont pas de répercussions sur la stabilité de l'ouvrage en profondeur.

Les figures suivantes montrent comment ces indicateurs visuels peuvent être observés sur les digues.



Figure 55 Digue montrant l'amorce d'un glissement par la présence de fissures ouvertes en crête.

Source : R. Tourment



Figure 56 Fissure longitudinale en crête d'une digue.

Source : WSP



Figure 57 Glissement du talus aval avec perte partielle de la crête.

Source : USACE & FEMA (2024)



Figure 58 Arbres courbés sur la pente du talus d'une digue.

Source : WSP

Infiltration active

Bien que de nombreux signes de détérioration liés à l'infiltration puissent être visibles par temps sec, l'observation des signes visuels d'infiltration nécessite souvent que l'OPI soit soumis à une charge hydraulique. Il est donc recommandé de procéder à l'inspection de l'ouvrage à la fois sous charge

hydraulique et en conditions sèches pour obtenir une évaluation complète des défaillances associées à ce mécanisme.

Les indicateurs visuels d'infiltration active peuvent prendre les formes suivantes :

- présence d'une zone humide ou d'une nappe d'eau;
- venue d'eau;
- boullance;
- dépôt sédimentaire finement grenu;
- renard hydraulique;
- point chaud;
- vortex à la surface du bief;
- présence de souches et de racines au sein de la digue.

L'eau constituant les zones humides et les nappes d'eau peut provenir de la fonte des neiges ou des précipitations. Néanmoins, cette saturation des sols à la base ou au sein du talus peut représenter un risque considérable pour sa stabilité. Des points chauds peuvent aussi être associés aux mouvements convectifs induits par les gradients de température au sein des enrochements des digues de dimensions importantes, ce qui ne représente aucun risque pour leur stabilité structurelle.

L'infiltration de l'eau est un phénomène normal au sein d'une digue en terre soumise à des charges hydrauliques. Bien qu'elle puisse affecter la stabilité de la digue, l'exfiltration d'une eau claire, sans particules en suspension, ne pose généralement pas de problème lié à l'érosion interne. En revanche, lorsque l'eau d'exfiltration est chargée en sédiments, cela peut indiquer qu'un processus d'érosion interne est amorcé dans l'ouvrage.

Les figures suivantes illustrent comment les indicateurs d'infiltration active se manifestent sur le terrain.



Figure 59 Nappe d'eau stagnante et claire à l'aval d'une digue en terre.

Source : WSP



Figure 60 Sol porté à l'état de boue par une venue d'eau, avec transport de particules.

Source : USACE & FEMA (2024)



Figure 61 Venue d'eau en aval d'une digue en terre.

Source : WSP



Figure 62 Transport de particules, par le biais d'une installation piézométrique endommagée, lors d'une inondation.

Source : USACE & FEMA (2024)



Figure 63 Zone humide avec accumulation d'eau au pied aval d'une digue en terre.
Source : WSP



Figure 64 Renard hydraulique.
Source : Mériaux et collab. (2004)



Figure 65 Souche laissée en place après la coupe d'un arbre.
Source : CEREMA (2019)

Interventions humaines

Les indicateurs visuels d'une détérioration qui peut être causée par l'intervention humaine sont les suivants :

- rehaussement ou remblayage non autorisé en crête;
- exploitation des matériaux constituant la digue;
- modification de la géométrie;
- vandalisme.

Toute intervention humaine non approuvée sur une digue constitue une menace pour son intégrité et doit être caractérisée. Les figures suivantes montrent des exemples pouvant être observés sur le terrain.



Figure 66 Accumulation de débris qui font obstruction à l'écoulement dans un canal de drainage.

Source : USACE & FEMA (2024)



Figure 67 Activité humaine (feu) en crête et intervention en amont (aménagement d'un quai) d'une digue en terre.

Source : WSP



Figure 68 Sillons d'érosion causés par le passage d'un véhicule tout-terrain sur le talus aval d'une digue en terre.

Source : WSP

Végétation

Les indicateurs visuels de détérioration pouvant associés à de la végétation incluent les suivants :

- détérioration par les racines;
- entretien déficient;
- présence de terriers;
- déracinement d'arbres;
- présence d'arbres matures/malades.

La présence de végétation sur les digues et à proximité de celles-ci nuit à l'intégrité de l'ouvrage. Les risques associés à la végétation sont abordés aux sections 4.5.1.7 et 4.5.3.2. De bonnes pratiques d'entretien sont également présentées à l'annexe G. De plus, la présence de végétation abondante sur une digue peut nuire à l'inspection visuelle et limiter l'accès à l'ouvrage.

Autres éléments à observer

Le cas échéant, les éléments suivants doivent aussi être observés et relevés lors de l'examen des digues en terre :

- niveaux d'eau amont/aval;
- caractéristiques hydriques et physiques du plan d'eau;
- état du contact avec les mécanismes de fermeture ou amovibles;
- état de tout contact avec des structures rigides, des dispositifs connexes, des empiétements, etc.;
- présence de laisses de crues (débris, marques de glaces, etc.).

ANNEXE F : EXEMPLES D'ANOMALIES POUVANT ÊTRE OBSERVÉES SUR UN MUR DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

Érosion

Les indicateurs visuels liés à l'érosion qui peuvent être observés sur les murs de protection contre les inondations sont les suivants :

- affouillement;
- usure;
- marques de chocs;
- déjointement;
- arrachement;
- délaminage;
- exposition de l'armature.

Les figures suivantes montrent des exemples de certaines de ces détériorations.



Figure 69 Érosion d'un mur de béton avec armature apparente, ouvrage rigide.

Source : WSP



Figure 70 Délaminage d'une structure de béton, ouvrage rigide.

Source : WSP



Figure 71 Érosion au droit des appuis de murs d'aile en béton d'un dispositif connexe, fissuration, clapet côté eau.

Source : WSP

Instabilité

Les indicateurs visuels liés à l'instabilité qui peuvent être observés sur les murs de protection contre les inondations sont les suivants :

- poinçonnement;
- glissement;
- renversement;
- soulèvement;
- mauvaise connexion avec le remblai;
- fissures.

La figure suivante montre des exemples de certaines de ces détériorations.



Figure 72 Instabilité d'un mur d'un ouvrage rigide, accumulation de débris.

Source : WSP

Actions physico-chimiques

Les indicateurs visuels liés aux actions chimiques qui peuvent être observés sur les murs de protection contre les inondations sont les suivants :

- solubilisation;
- gonflement/écaillage/éclatement;
- corrosion;
- fissures de retrait.

Les figures suivantes montrent des exemples de certaines de ces détériorations.



Figure 73 Éclats de béton et fissuration polygonale d'un mur.
Source : WSP



Figure 74 Dégradation d'un mur de béton par réaction alcali-granulat.
Source : WSP

Actions biologiques

Les indicateurs visuels liés aux actions biologiques qui peuvent être observés sur les murs de protection contre les inondations sont les suivants :

- végétation;
- colonisation par des espèces incrustantes;
- moisissure.

Les figures suivantes montrent des exemples de certaines de ces détériorations.



Figure 75 Intrusion de racines dans une dalle de béton.

Source : Vennetier et coll. (2015)



Figure 76 Endommagement par la végétation d'un parement amont en maçonnerie.

Source : Vennetier et coll. (2015)

Interventions humaines

Les indicateurs visuels liés aux interventions humaines qui peuvent être observés sur les murs de protection contre les inondations sont les suivants :

- réparations;
- modification de composantes;
- vandalisme.

Autres éléments à observer

Les éléments suivants devraient aussi être observés et caractérisés lors de l'examen des murs de protection contre les inondations:

- niveau d'eau;
- caractéristiques hydriques du plan d'eau;
- état du contact avec les éléments de fermeture;
- présence de laisses de crues (débris, marques de glaces, etc.).

ANNEXE G : GESTION DE LA VÉGÉTATION

Les aléas, les mécanismes de détérioration et les défauts associés à la présence de végétation sont abordés aux sections 4.5.1.7 et 4.5.3.2 du présent guide. Cette annexe présente de façon plus détaillée les bonnes pratiques associées à la gestion de la végétation sur les OPI.

Un contrôle de la végétation sur les OPI est indispensable afin de préserver leur intégrité. Cette gestion doit viser quatre objectifs :

- Protéger l'OPI face à l'érosion externe;
- Optimiser les conditions terrain lors des inspections et des exercices de surveillance;
- Prévenir les détériorations associées au développement de la végétation;
- Respecter la biodiversité.

De nombreux guides et documents techniques encadrent les bonnes pratiques en matière de gestion de la végétation sur les OPI et les barrages. Les pratiques adoptées pour l'entretien des OPI devraient être en accord avec les principes et recommandations présentés notamment dans les documents suivants :

- National Levee Safety Guidelines (USACE & FEMA, 2024);
- The International Levee Handbook (CEREMA, 2013 [VF:2019]);
- Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai - Guide technique (Vennetier et al. 2015).

Un entretien régulier de la végétation sur les OPI est indispensable pour favoriser leur bon fonctionnement et leur fiabilité. Il permet de maintenir une accessibilité suffisante pour les inspections, les opérations d'entretien et les interventions d'urgence. Cet entretien de la végétation contribue également à garantir une visibilité adéquate de l'ouvrage pour la détection des détériorations par les ingénieurs. Enfin, la gestion de la végétation permet de limiter les effets négatifs liés à une végétation non contrôlée, tels que la présence accrue d'animaux fouisseurs, le développement de systèmes racinaires au sein des ouvrages ainsi que les dommages causés par la présence et le vieillissement des arbres.

Les considérations associées à l'acceptabilité sociale et à la cohabitation avec le milieu (notamment en milieu urbain) peuvent engendrer des difficultés en matière de gestion de la végétation. Cet aspect devrait être pris en considération dès la conception d'un ouvrage, mais ne doit en aucun cas nuire à la sécurité ni à la stabilité d'un OPI existant. Lorsqu'il est jugé que la végétation présente une menace à l'intégrité ou à la pérennité de l'ouvrage, sa gestion devrait être priorisée ou des mesures de confortement de l'ouvrage devraient être entreprises.

La gestion de la végétation sur un OPI devrait tenir compte des considérations environnementales. Elle doit notamment être réalisée dans le respect des lois et règlements en vigueur. La prise en compte des considérations environnementales peut également se manifester par un choix approprié d'espèces floristiques présentes sur l'ouvrage et par le choix du type d'intervention à réaliser pour contrôler la végétation et du moment pour le faire. Par exemple, les espèces floristiques présentes sur un ouvrage peuvent être typiques des habitats présents sur les rives des cours d'eau. Il est possible de prévoir l'entretien de la végétation à des moments permettant de limiter les impacts négatifs sur la floraison des espèces végétales ou encore sur la nidification et les différents stades de développement des espèces animales.

L'entretien de la végétation devrait également prendre en compte la présence ou non d'espèces envahissantes pour éviter de favoriser leur dissémination à d'autres endroits.

Fréquence de l'entretien de la végétation

L'entretien du couvert végétal sur les OPI devrait être effectué minimalement une fois par année, ou selon les recommandations d'un ingénieur et préalablement aux activités d'inspection si elles sont requises.

Types de végétation (strates)

La nature du couvert végétal a des implications variées au sein des différentes parties des digues en terre, des murs de protection contre l'inondation et des dispositifs connexes composant les OPI. Les sections suivantes présentent les types de végétation qui peuvent être rencontrés sur les OPI.

Couvert végétal herbacé

La strate herbacée est composée de plantes à tiges vertes et souples, non ligneuses. Leur enracinement est superficiel. À maturité, les espèces de cette catégorie atteignent généralement de 0,50 à 1,50 m de hauteur. On compte aussi dans cette catégorie la quenouille, l'ancolie du Canada, l'osmonde cannelle et d'autres espèces rencontrées au sein des milieux humides qui possèdent des tiges creuses et rigides et qui peuvent atteindre jusqu'à 4 m de hauteur.

Lorsque le couvert végétal n'est pas déjà en place, le choix de l'herbacée à planter devrait être adapté au climat et au type de sol. L'ensemencement et la plantation d'espèces floristiques envahissantes, comme la renouée du Japon par exemple, sont interdits.

Les sols dépourvus de végétation, lorsqu'aucun autre dispositif de protection (enrochement, béton, etc.) n'est présent, sont particulièrement vulnérables à l'érosion externe causée par les précipitations, le vent, la circulation des véhicules ou toute autre sollicitation externe. La mise en place ou le maintien d'un couvert végétal herbacé demeure un moyen souvent efficace et économique de limiter ces détériorations à la surface des OPI.

Les herbacées sont des plantes non ligneuses pouvant être soit individuelles, soit associées à d'autres espèces en mélange, et capables de former une carapace dense, continue et durable. Les systèmes racinaires de ces végétaux sont généralement de faible profondeur et se fixent au sol au fil de leur croissance, formant ainsi un tapis qui résiste à l'érosion. Il faut généralement attendre quelques années pour que le couvert se développe à sa pleine capacité, et parfois plus longtemps sur des sols sableux.

Ce type de végétation devrait être privilégié et préservé sur les talus, en crête et à proximité des OPI pour plusieurs raisons :

- Il offre une bonne résistance à l'érosion.
- Il ne favorise pas la présence d'animaux fouisseurs.
- Il ne cause pas les dommages associés à la végétation ligneuse.
- Il ne gêne pas la visibilité ni les accès physiques.

Néanmoins, si l'entretien de ce type de végétation est négligé, les détériorations peuvent se dissimuler sous l'herbe et favoriser en outre le développement de la végétation ligneuse. Plusieurs méthodes existent quant à l'entretien des OPI présentant un tapis herbacé. La méthode la plus utilisée, pour des raisons logistiques, sociales et environnementales, demeure le fauchage mécanique. Il est préférable de synchroniser ces fauchages pour qu'ils soient menés avant les inspections de l'OPI.

Couvert végétal ligneux

La végétation ligneuse comprend les espèces arbustives et arborescentes.

La strate arbustive est composée d'arbustes ou de buissons. Leur hauteur atteint moins de 7 m à maturité. Leur système racinaire peut atteindre des profondeurs de plus de 1 m. Ces espèces comptent un ou

plusieurs troncs ligneux, dont le diamètre est souvent inférieur à 7,5 cm. Le cornouiller hart-rouge, la spirée à larges feuilles, le myrique baumier, le saule sp. et l'aulne sp. sont des exemples de ce type de végétation.

La strate arborescente est composée d'arbres. Leur tronc souvent unique est bien différencié des ramifications qui apparaissent à partir d'une certaine hauteur à partir de leur base. Leur enracinement atteint généralement des profondeurs de 1 à 5 m. On compte dans cette catégorie les espèces variées d'érable, de chêne ou d'épinette. La végétation arbustive, lorsqu'elle a une hauteur de plus de 7 m, devrait être considérée comme arborescente.

Les risques associés à la présence de ce type de végétation sont essentiellement liés à l'étendue de leur système racinaire, qui peut favoriser l'occurrence de mécanismes de détérioration tels que l'érosion interne et dont la pénétration peut endommager des éléments structuraux, d'étanchéité ou de drainage, ainsi qu'à l'hébergement potentiel d'animaux fouisseurs dont les terriers s'étendent dans la structure des ouvrages.

La présence d'arbres matures peut aussi mener à des enjeux de perte de crête ou d'étanchéité en cas de déracinement lors de tempêtes, par exemple. Il en va de même pour des arbres morts dont la putréfaction des racines pourrait créer des canaux d'écoulement, des instabilités locales ou encore des déplacements en crête.

Les solutions suivantes sont généralement employées afin de limiter les risques associés à la présence de végétation ligneuse :

- Permettre la présence de végétation ligneuse uniquement à certains endroits sur l'ouvrage, notamment lorsque l'ouvrage est surdimensionné ou qu'il y a présence d'un élément étanche rigide au sein de l'ouvrage;
- Prioriser la suppression des arbres qui présentent une menace évidente pour l'intégrité de l'ouvrage, comme les arbres de grande taille, instables ou situés aux endroits où l'ouvrage est de plus faible dimension;
- Élaguer ou éclaircir la végétation ligneuse à certains points de façon à optimiser la visibilité et l'accès;
- Supprimer le couvert végétal ligneux selon une approche progressive ou par phases, afin d'échelonner les travaux sur une longue période;
- Effectuer un retrait des souches et systèmes racinaires tout en assurant le maintien de la stabilité de l'ouvrage lors de ces opérations.

Lorsque la végétation ligneuse doit être supprimée, l'approche la plus efficace consiste à couper la végétation, retirer les souches et l'ensemble du système racinaire et restaurer les excavations à l'aide d'un apport en matériaux jusqu'à l'obtention d'un état semblable aux surfaces non perturbées. Lors de travaux d'essouchage, l'avis d'un ingénieur est requis pour définir les mesures à mettre en place pour que les travaux n'affectent pas la stabilité et la sécurité de l'ouvrage pendant leur réalisation et à plus long terme.

Dans certaines situations, les aléas associés à la présence de végétation ligneuse peuvent être mitigés en instaurant des mesures d'atténuation du risque lors de la conception, mais aussi par le biais de travaux de confortement sur un ouvrage existant.

La liste suivante présente quelques solutions techniques qui peuvent être mises en place à cette fin :

- Scellement de la digue et de la fondation perméable (palplanches, mur diaphragme, etc.);
- Barrière perméable en matériaux grossiers sous le système racinaire d'un arbre;
- Berme en remblai au pied de talus ou surlargeur de la crête, dont la présence n'est pas requise pour la stabilité de l'ouvrage;
- Mise en place d'éléments rigides pour confiner le système racinaire.

ANNEXE H : DÉLIMITATION DE LA ZONE EXPOSÉE EN CAS DE DÉFAILLANCE, DE SURVERSE OU DE CONTOURNEMENT

Cette annexe présente une méthode simple pour délimiter le polygone d'une zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement (ci-après, zone exposée). Selon cette méthode, les frontières de la zone exposée sont déterminées par une projection horizontale de la cote d'élévation de la crête de l'ouvrage sur la topographie derrière l'OPI.

Les exigences minimales suivantes doivent être respectées, et ce, peu importe la méthode utilisée.

- Il existe une seule zone exposée associée à un OPI. Toutefois, la zone exposée peut être composée de plusieurs secteurs distincts qui, le cas échéant, forment une seule entité. Ainsi, dans le cas d'un OPI qui protège deux secteurs qui ne sont pas hydrauliquement connectés entre eux, ces secteurs doivent être intégrés dans un seul et même polygone de type multipolygone.

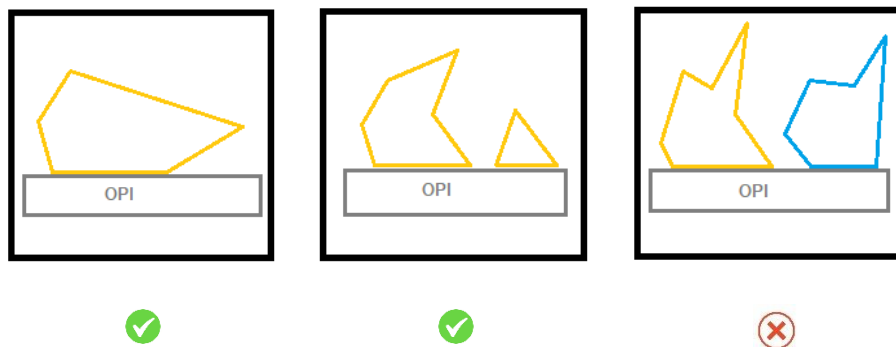


Figure 77 Exemples de polygones qui représentent un ou plusieurs secteurs associés à une même zone exposée.

Source : MELCCFP

- Il ne doit y avoir aucune discontinuité à l'intérieur du polygone. Le polygone inclut donc des secteurs qui ne seraient pas forcément inondés en cas de surverse, de contournement ou de défaillance de l'ouvrage, mais qui pourraient être entourés d'eau et isolés.

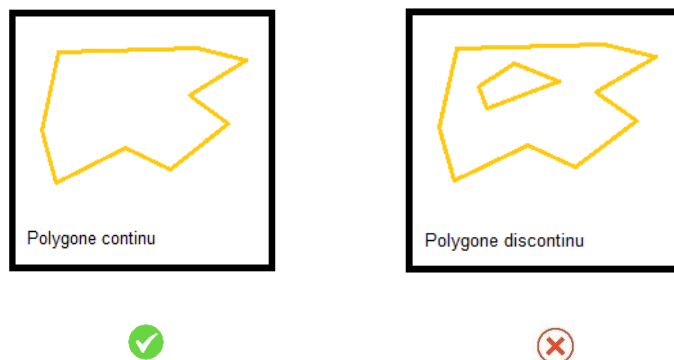


Figure 78 Exemples d'un polygone continu et d'un polygone discontinu associés à une zone exposée.

Source : MELCCFP

- Une portion de territoire ne peut être située à la fois sur l'assiette de l'OPI et dans la zone exposée. Par conséquent, le polygone de la zone exposée ne se superpose pas au polygone de l'assiette de l'OPI.

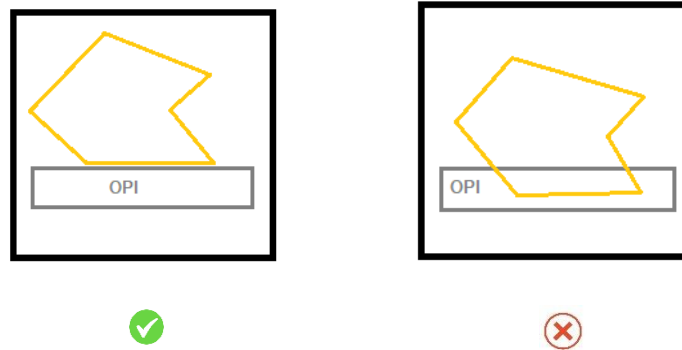


Figure 79 Exemples d'un polygone contigu à l'assiette d'un OPI et d'un polygone superposé à l'assiette d'un OPI associés à une zone exposée.

Source : MELCCFP

- Le polygone de la zone exposée doit partager au moins un segment de frontière limitrophe avec l'assiette de l'OPI afin qu'il y ait une connexion entre l'assiette de l'OPI et la zone exposée.

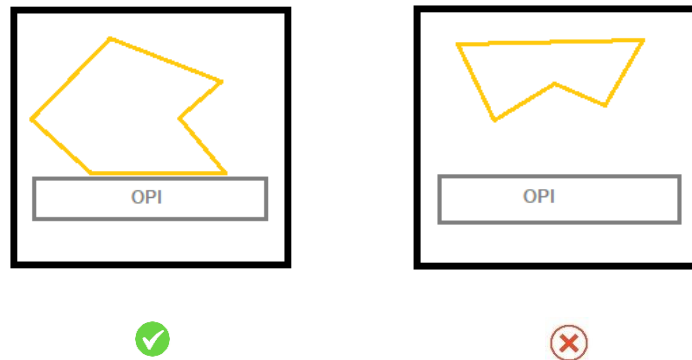


Figure 80 Exemples de polygones associés à une zone exposée, l'un connecté à l'assiette d'un OPI et l'autre non connecté à l'assiette d'un OPI.

Source : MELCCFP

Méthode recommandée

Étape 1 : Obtenir un modèle numérique de terrain (MNT)

Plusieurs simulations peuvent être nécessaires pour identifier l'élévation de la crête de l'OPI qui permet de bien définir le polygone de la zone exposée. Ces simulations peuvent être réalisées à partir de données matricielles, par exemple avec un MNT qui permet de projeter sur le territoire derrière l'ouvrage la cote d'élévation de la crête de l'OPI. La résolution du MNT devrait minimalement être de 4 mètres et il est suggéré de privilégier un MNT d'une résolution de 1 mètre ou moins s'il en existe un, en particulier si l'assiette de l'OPI est de faible largeur (par exemple lorsque l'ouvrage est constitué d'un mur de protection contre l'inondation). De plus, le MNT doit être le plus récent possible pour tenir compte des dernières modifications au relief du territoire.

Étape 2 : Générer des simulations de zone exposée à partir de différentes élévations de la crête de l'OPI

Pour obtenir la zone la plus étendue possible, une première simulation s'effectue en utilisant l'élévation maximale de la crête de l'ouvrage inscrite sur le profil longitudinal de l'OPI (voir la section 4.4.9). Celle-ci est de 10,7 mètres dans l'exemple qui suit.

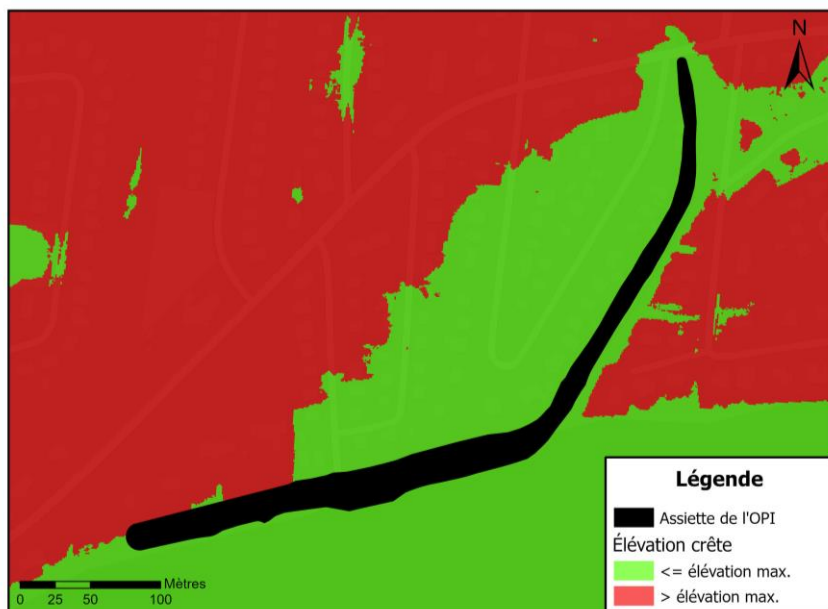


Figure 81 Aperçu de la zone exposée délimitée en utilisant l'élévation maximale de la crête.

Source : MELCCFP

Le secteur principal n'a qu'un seul point d'intersection entre l'élévation projetée et l'assiette de l'OPI, soit celui à l'extrémité sud du secteur. À l'extrémité nord, il n'y a aucun point d'intersection, ce qui ne permettrait pas de définir convenablement le polygone.

Dans un tel cas, l'utilisation d'une élévation inférieure à l'élévation maximale de la crête peut être préférable. Il est suggéré de faire d'autres simulations jusqu'à l'atteinte de la première élévation permettant de bien définir le polygone de la zone exposée, et ce, en restant au-dessus de l'élévation minimale de la crête de l'ouvrage inscrite sur le profil longitudinal de l'OPI. Dans le cas de l'exemple présenté dans ce guide, c'est la cote d'élévation de 10,4 mètres qui permettrait de définir un tel polygone.

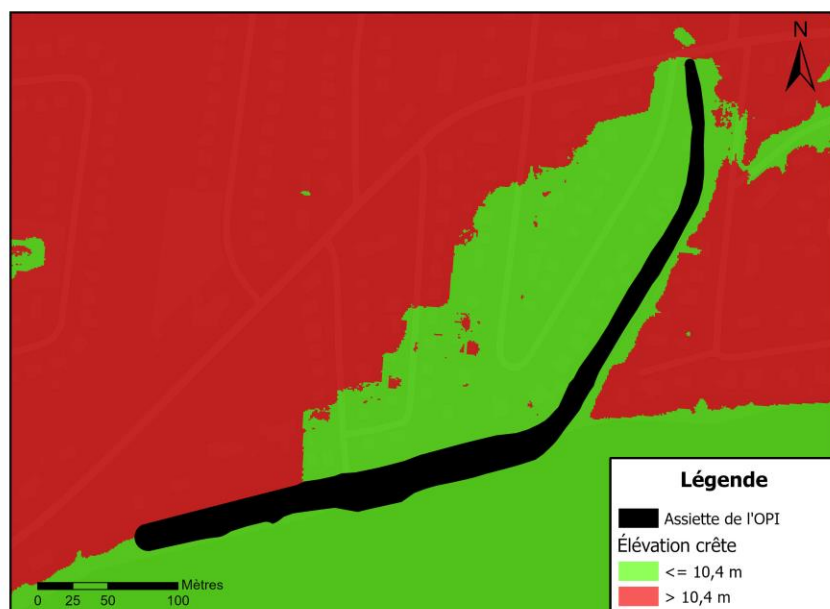


Figure 82 Aperçu de la zone exposée délimitée en utilisant une élévation de 10,4 m.

Source : MELCCFP

La Figure 82 permet de constater qu'en considérant une élévation de 10,4 mètres, il y a deux intersections entre l'élévation projetée et l'assiette de l'ouvrage. Cela permet de définir un polygone, contrairement à l'utilisation de l'élévation maximale.

Étape 3 : Générer des courbes de niveau

Une fois que l'élévation adéquate est déterminée à partir des données matricielles, il reste à esquisser le polygone de la zone exposée en format vectoriel. Pour ce faire, il est proposé de générer des courbes de niveau à partir du MNT tous les 5 cm et de ne conserver que celles qui sont significatives, soit celles d'une longueur de 50 mètres ou plus. La courbe de niveau correspondant à l'élévation retenue est sélectionnée pour délimiter les frontières de la zone exposée.

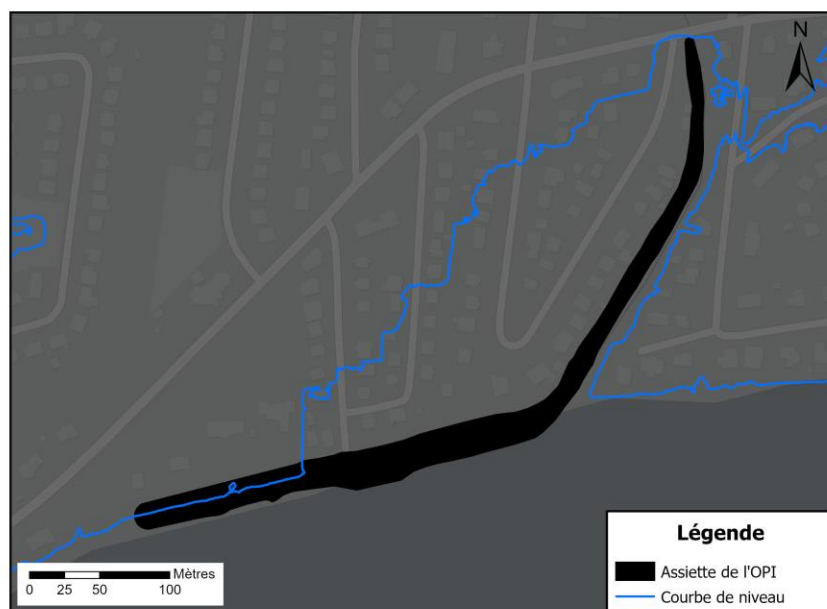


Figure 83 Courbes de niveau correspondant à une élévation de 10,4 m.

Source : MELCCFP

Étape 4 : Esquisser le polygone de la zone exposée

Le polygone est délimité en suivant la courbe de niveau correspondant à l'élévation retenue, et ce, jusqu'aux points d'intersection de celle-ci avec le côté aval de l'assiette de l'ouvrage. À ce moment, il est important de suivre la ligne du côté aval du polygone de l'assiette de l'ouvrage jusqu'à ce qu'un polygone complet soit formé.



Figure 84 Polygone de la zone exposée délimitée à partir d'une élévation de 10,4 m.

Source : MELCCFP

Autres méthodes

Bien que la méthode proposée dans ce guide fonctionne dans de nombreuses situations, en raison de la topographie derrière certains ouvrages, il peut tout de même être difficile de former le polygone d'une zone exposée. En cas de difficulté, voici quelques options possibles :

Prendre en compte des valeurs d'élévation différentes en crête

L'exemple présenté précédemment est celui d'un OPI de faible longueur sur un terrain naturel dont le profil topographique est relativement stable. En présence d'un OPI de plus grande longueur ou situé le long d'un cours d'eau avec un fort dénivelé, l'élévation de la crête peut varier fortement.

Dans un tel cas, le professionnel responsable de l'étude de caractérisation peut prendre en considération le profil descendant du terrain naturel pour délimiter le polygone de la zone exposée. Il peut ainsi segmenter l'ouvrage afin d'avoir recours à plusieurs cotes d'élévation différentes.

Dans l'exemple, il est possible d'utiliser des valeurs différentes d'élévation pour chacun des tronçons de l'ouvrage pour définir le polygone de la zone exposée. Pour le tronçon de l'extrémité sud, il est possible d'utiliser l'élévation maximale de 10,7 mètres, puisqu'elle a un point d'intersection avec l'assiette de l'ouvrage (Figure 81). Pour le tronçon de l'extrémité nord, c'est l'élévation de 10,4 mètres qui permet de bien délimiter le polygone puisqu'elle croise le polygone de l'ouvrage contrairement à celle de 10,7 mètres (Figure 82). Pour connecter les courbes de niveau d'élévation différentes entre elles, il est suggéré de prolonger la ligne de transect présente à la frontière commune des deux tronçons de l'assiette de l'OPI, comme l'illustre la Figure 85.

Source : MELCCFP

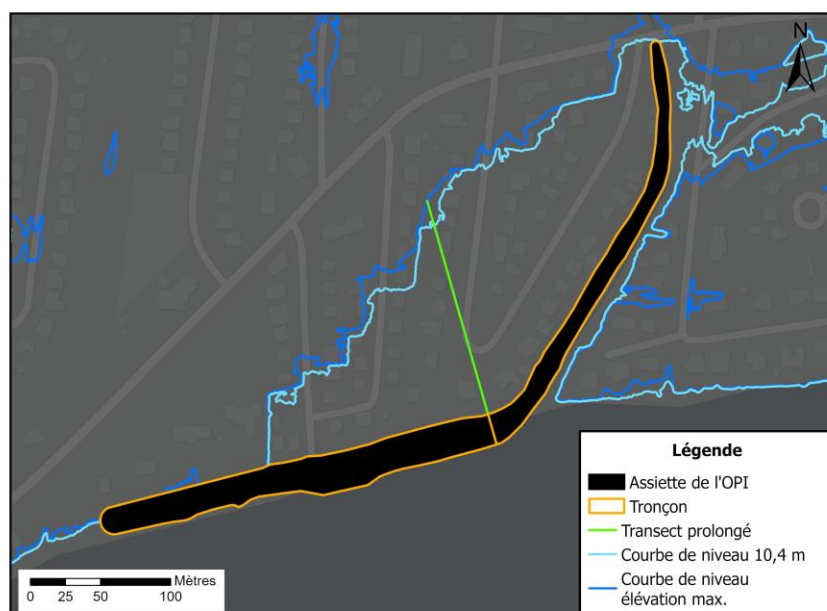


Figure 85 Courbes de niveau correspondant aux élévations de 10,7 m et de 10,4 m et intersection avec la prolongation du transect correspondant au changement de tronçon
Source : MELCCFP

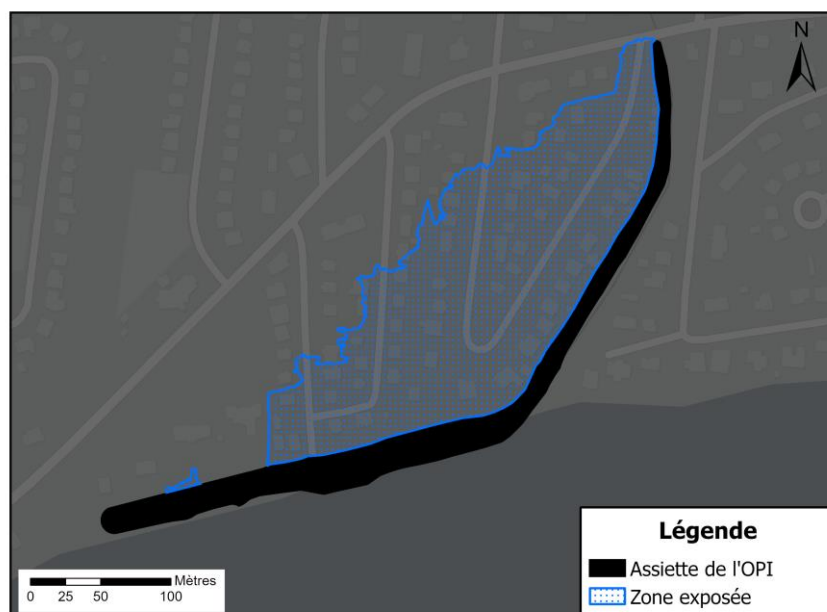


Figure 86 Polygone de la zone exposée délimité à partir d'une élévation variable
Source : MELCCFP

Prendre en compte une marge d'erreur

Dans certains cas, il pourrait s'avérer impossible de délimiter le polygone d'une zone exposée de la manière expliquée précédemment si aucune courbe de niveau correspondant à une élévation de la crête de l'OPI ne croise l'assiette de l'ouvrage. Cela peut notamment être le cas en raison de la résolution du MNT.

Dans un tel cas, le responsable de l'étude de caractérisation pourrait tout de même décider d'avoir recours à l'élévation de la crête de l'OPI en déterminant une marge d'erreur lui permettant de définir le polygone de la zone exposée. Cette marge d'erreur doit être expliquée dans le rapport de l'étude de caractérisation et doit être raisonnable afin d'éviter la délimitation d'une zone exposée exagérément étendue.

En considérant le même exemple que précédemment, la Figure 81 permet de constater qu'il n'y a pas de point d'intersection entre l'élévation maximale de la crête de l'ouvrage et l'assiette de l'OPI à l'extrémité nord. À cet endroit, la ligne de la courbe de niveau correspondant à cette élévation se situe à environ 15 mètres du polygone de l'assiette de l'ouvrage. Le responsable de l'étude pourrait juger que cette distance est raisonnable et placer manuellement une ligne qui lui permet de compléter le polygone de la zone exposée en rejoignant le polygone de l'assiette de l'ouvrage, comme l'illustre la Figure 87. Le responsable pourrait également juger que dans une telle situation, la route pourrait servir de frontière à la zone exposée, ce qui lui permettrait de compléter son polygone.

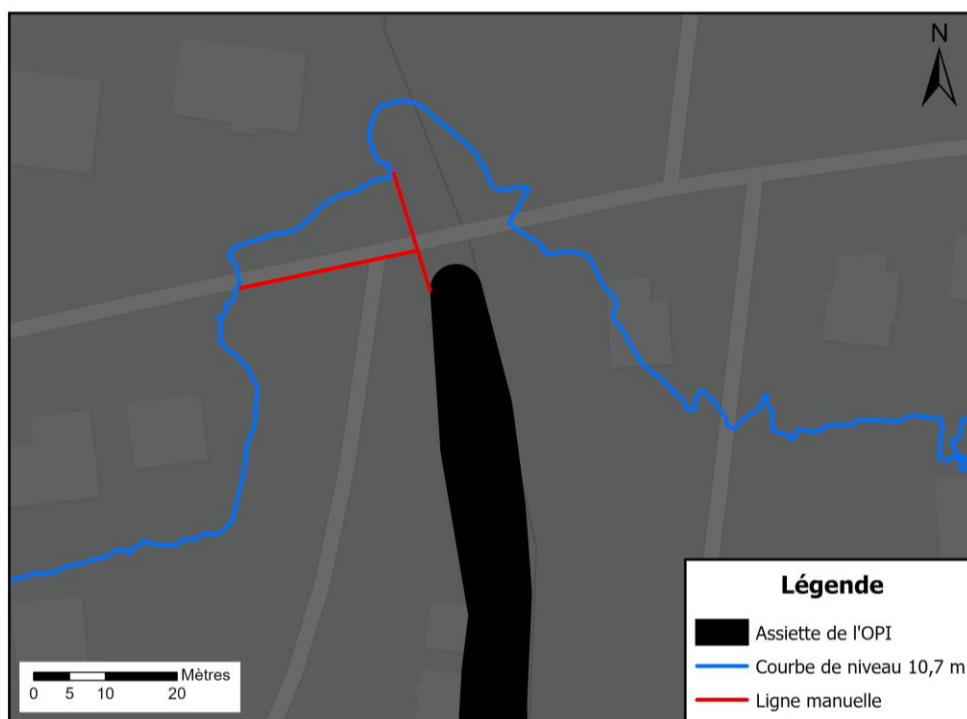


Figure 87 Exemple d'une marge d'erreur raisonnable utilisée pour délimiter une zone exposée.

Source : MELCCFP

La Figure 88 présente un exemple d'un polygone d'une zone exposée qui prend en compte une marge d'erreur raisonnable et le placement d'une ligne manuelle.

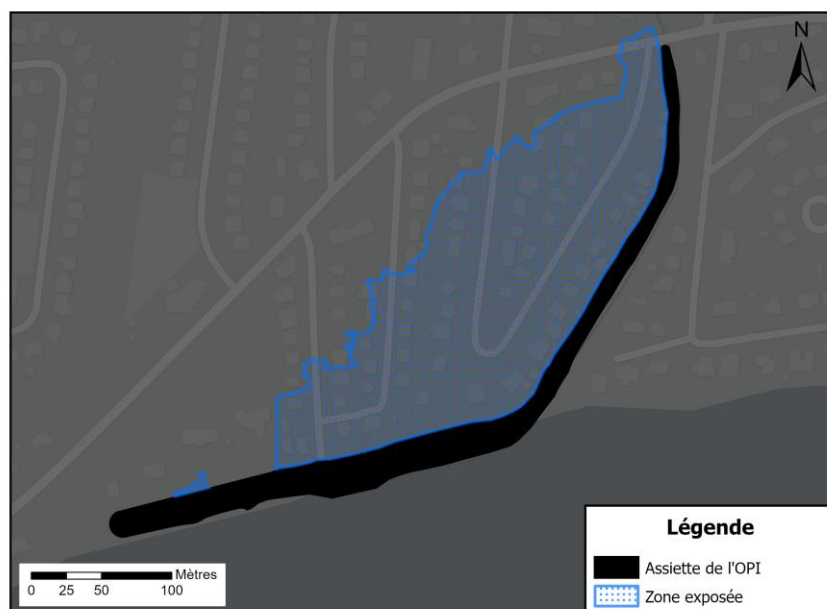


Figure 88 Polygone de la zone exposée délimitée en utilisant l'élévation maximale de la crête de l'OPI de 10,7 m, en prenant en compte une marge d'erreur de 15 m.

Source : MELCCFP

Il est intéressant de constater que dans ce dernier exemple, le polygone résultant de la zone exposée est composé de deux territoires distincts. Dans un tel cas, il est important de combiner ces deux polygones pour former une seule entité, chaque OPI n'ayant qu'une seule zone exposée.

Cartographie finale de la zone intégrant les profondeurs d'eau

La carte finale de la zone exposée doit inclure les profondeurs d'eau estimées sur toute sa superficie. Dans le cas de la méthode proposée, la profondeur d'eau est déterminée à l'aide des valeurs d'élévation du MNT en calculant, pour chaque pixel, la différence par rapport à l'élévation retenue pour délimiter la zone exposée. La Figure 89 présente un exemple d'une carte finale de la zone exposée.

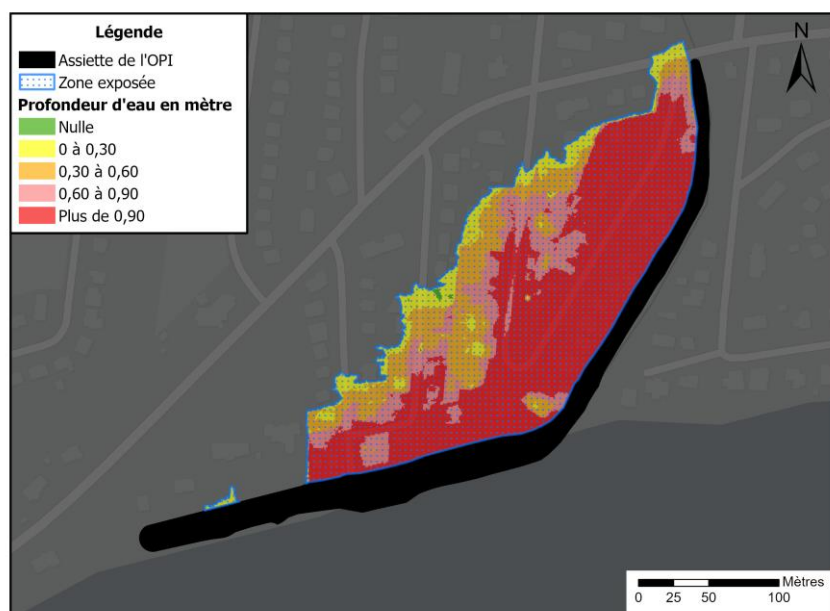


Figure 89 Carte finale de la zone exposée délimitée avec l'élévation maximale de 10,7 m.

Source : MELCCFP

Précisions supplémentaires

Dans certains cas, il pourrait être impossible de délimiter une zone exposée selon la méthode proposée dans ce guide. Ce pourrait être le cas d'un territoire situé à l'embouchure de deux cours d'eau pour lequel la topographie du territoire derrière l'OPI suit un long profil descendant. Dans un tel cas, le professionnel responsable de l'étude de caractérisation doit trouver la manière la plus appropriée pour délimiter la zone exposée, et des études plus poussées pourraient alors être requises. Le rapport de l'étude de caractérisation doit alors expliquer la démarche retenue. Le polygone résultant de cette démarche doit respecter les exigences minimales de la zone exposée.

De plus, si le responsable de l'étude de caractérisation a des raisons de croire que le polygone résultant de la zone exposée n'est pas suffisamment représentatif du risque associé à la surverse, au contournement ou à la défaillance possible de l'ouvrage, il peut modifier le polygone pour y inclure les bâtiments ou territoires qu'il juge manquants. Lorsqu'il procède de cette manière, le responsable de l'étude de caractérisation doit tout de même s'assurer de respecter l'ensemble des exigences minimales concernant la zone exposée.

ANNEXE I : EXEMPLE D'UNE TABLE DES MATIÈRES DÉTAILLÉE D'UN RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

Le résumé non technique des caractéristiques d'un OPI est un document qui doit être produit lors de la réalisation d'une étude de caractérisation ou de performance (ROPI, art. 5) et après la construction d'un OPI (ROPI, art. 54). Ce document est destiné à être diffusé via le registre public des OPI.

Les informations ci-dessous peuvent être incorporées dans le résumé technique. À noter que les informations signalées par d'un astérisque (*) sont exigées en vertu du ROPI et doivent nécessairement se retrouver dans le résumé non technique.

Titre du document / Résumé non technique de [nom de l'OPI]

1. Introduction (contexte)

- Objectifs du document, par exemple : présenter les faits saillants d'une étude de caractérisation ou de performance, présenter de manière simple et compréhensible les caractéristiques de l'ouvrage, sensibiliser les citoyens aux risques résiduels et aux mesures prises pour les réduire.

2. Contexte

- Présentation générale du lac ou du cours d'eau
- Historique des inondations sur le territoire (dates, niveaux d'eau, conséquences)

3. Description de l'OPI

- Description générale de l'ouvrage et de chacun des tronçons (type d'OPI, matériaux utilisés, année de construction lorsque celle-ci est connue) *
- Longueur de l'ouvrage et de ses tronçons
- Description des dispositifs connexes nécessaires au fonctionnement de l'ouvrage *
- Toute autre particularité de l'ouvrage (ex. : autres vocations)
- Photos de l'ouvrage *

4. Capacité de protection

- Élévation maximale (en mètres) de la crête de l'OPI *
- Élévation (en mètres) du niveau de protection apparent de l'ouvrage, c'est-à-dire l'élévation à partir de laquelle la zone derrière l'ouvrage commencera à être inondée en raison d'une surverse à un point bas de l'ouvrage ou en raison d'un contournement de l'ouvrage *
- Élévation (en mètres) du niveau de protection réel, si celui-ci a été déterminé dans le cadre d'une étude de performance *
- Récurrences associées aux élévations (si elles sont connues)

5. Territoire qui serait touché par une surverse, un contournement ou une défaillance

- Identification des phénomènes qui pourraient mener à l'inondation du territoire (surverse par un point bas, contournement, mauvais fonctionnement d'un dispositif, brèche)
- Carte⁸ de la zone exposée (qui doit inclure les profondeurs d'eau estimées), soit l'équivalent de la superficie maximale du territoire qui serait touché par une surverse, un contournement ou une défaillance *
- Nombre de personnes qui résident sur le territoire couvert par la zone exposée *

⁸ Il est suggéré aux municipalités d'indiquer dans le résumé non technique que cette carte n'a pas de valeur réglementaire et qu'elle vise plutôt à aider la municipalité et les citoyens à se préparer à une situation d'urgence.

- Nombre de bâtiments présents sur le territoire couvert par la zone exposée, leur usage et leur valeur foncière *
- Infrastructures, ouvrages, aménagements et établissements publics et de sécurité publique dont la perturbation des activités ou du fonctionnement engendrerait des conséquences importantes sur le territoire compte tenu de leur importance stratégique *

6. État de l'ouvrage et recommandations

- Date de la dernière inspection ou de la dernière étude de caractérisation ou de performance
- Appréciation de l'état physique et structural de chacun des tronçons et cote globale associée à l'OPI (correspondant à la cote la plus basse attribuée à un tronçon) *
- Résumé des principales recommandations formulées au sujet de l'ouvrage ou de ses dispositifs connexes *

7. Mesures mises en place par la municipalité pour réduire les risques

- Travaux ou entretien réalisés sur l'ouvrage
- Surveillance et alerte

ANNEXE J : GLOSSAIRE

Aléa de référence de conception et de performance : Récurrence de la crue ou de l'inondation pour laquelle un OPI prévient l'inondation de la zone située en aval et présente une faible probabilité de défaillance susceptible de compromettre sa stabilité.

Aléa de résistance à la rupture : Récurrence de la crue ou de l'inondation pour laquelle il est démontré que, même en situation de surverse ou de contournement, il n'y a pas de rupture de l'OPI.

Amont : Côté d'un OPI où se situe le lac ou le cours d'eau dont il vise à limiter l'expansion naturelle (c.-à-d. côté eau).

Assiette : Surface de terrain occupée par un OPI et comprenant la surface de terrain nécessaire à l'entretien, à la surveillance et au maintien de l'intégrité de l'ouvrage (soit une distance de 3 mètres de part et d'autre de l'OPI ou, en amont, jusqu'à concurrence de la limite d'inondation de récurrence de 2 ans)

Aval : Côté d'un OPI où se situent les personnes et les biens que l'ouvrage doit protéger contre l'inondation (c.-à-d. côté terre).

Contournement : Passage de l'eau par une section de plus faible élévation, non surmontée d'un OPI. Le contournement d'un OPI par l'eau entraîne une inondation du territoire situé derrière un ouvrage.

Crête : Partie supérieure de l'OPI située entre les hauts de talus amont et aval.

Défaillance : Inaptitude d'un ouvrage à atteindre un seuil de performance défini et attendu. Il en résulte l'inondation du territoire situé derrière l'ouvrage. La rupture d'un OPI correspond à l'état ultime de la défaillance.

Dispositifs connexes : Ouvrages, bâtiments et équipements nécessaires au fonctionnement de l'OPI considérés comme faisant partie intégrante de l'ouvrage.

Empiètement : Ouvrage, bâtiment ou infrastructure permanents situés à l'intérieur de l'assiette de l'OPI mais ne faisant pas partie de l'ouvrage lui-même.

Niveau de protection apparent : Pour un OPI situé en bordure d'un lac, niveau de l'eau (exprimé en mètres) à partir duquel une surverse ou un contournement de l'ouvrage survient. Pour un OPI situé en bordure d'un cours d'eau, ce niveau d'eau est exprimé par un débit en mètres cubes par seconde et représenté par un profil longitudinal des niveaux d'eau associés au niveau de protection. Dans les deux cas, une cote de récurrence peut être associée au niveau de protection apparent.

Niveau de protection réel : Pour un OPI situé en bordure d'un lac, niveau de l'eau (exprimé en mètres) auquel une surverse ou un contournement ne peut se produire et auquel est peu probable qu'une rupture de l'ouvrage se produise. Pour un OPI situé en bordure d'un cours d'eau, ce niveau de l'eau est exprimé par un débit en mètres cubes par seconde et représenté par un profil longitudinal des niveaux d'eau associés au niveau de protection. Dans les deux cas, une cote de récurrence doit être associée au niveau de protection réel.

Pied : Point d'intersection entre l'OPI et le terrain naturel.

Revanche hydraulique : Distance verticale entre l'élévation de la crue de conception et l'élévation de la crête de l'OPI.

Surverse : Passage de l'eau par-dessus la crête d'un ouvrage par une section non prévue à cette fin. La surverse entraîne une inondation du territoire situé derrière un ouvrage.

Système amovible : Dispositif de fermeture ou autre dispositif démontable intégré dans la conception d'un OPI et utilisé pendant les périodes d'inondation pour sécuriser l'ouvrage.

Tronçon : Partie de l'OPI dont les caractéristiques physiques et structurelles ou les caractéristiques du milieu dans lequel il se situe se distinguent de la ou des parties adjacentes.

Zone exposée en cas de défaillance, de surverse ou de contournement : Espace qui se situe en aval d'un OPI et qui est susceptible d'être inondé si une défaillance, une surverse ou un contournement de l'ouvrage survient en période de crue.



**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 