

Le 10 février 2021

DESTINATAIRE : Danielle Hubert, Municipalité des Îles-de-la-Madeleine
EXPÉDITRICE : Josée Desgagné, Direction du soutien à la réduction des risques de sinistres
DATE : Le 10 février 2021
OBJET : Appréciation des risques relatifs aux aléas côtiers du secteur de la falaise rocheuse à Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine

1. MISE EN CONTEXTE

À la suite de la transmission d'une demande de soustraction qui vise le projet de protection de la falaise du secteur de Cap-aux-Meules aux Îles-de-la-Madeleine, la Fédération québécoise des municipalités (FQM), représentant la municipalité des Îles-de-la-Madeleine, a sollicité une rencontre le 2 février 2021 avec le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le ministère de la Sécurité publique (MSP). Lors de cette rencontre, le MSP a proposé la production d'un avis technique, afin de préciser les informations relatives au niveau de risque en lien avec les aléas côtiers et de justifier la réalisation des travaux sur l'ensemble du secteur visé.

Cette analyse tient compte du contexte unique des Îles-de-la-Madeleine, qui a fait l'objet d'une reconnaissance par le gouvernement du Québec (Décret 354-2016, 4 mai 2016). Ce statut particulier oblige les ministères à moduler leurs interventions afin de tenir compte des enjeux et des contraintes spécifiques liés au caractère insulaire des Îles-de-la-Madeleine, à leur isolement et à la fragilité des milieux.

Étant donné la nature friable de la falaise rocheuse et au rythme auquel progresse l'érosion, les cavités alors formées constituent un danger important pour la sécurité des personnes et des biens. Les terrains concernés par le projet de protection contre l'érosion côtière sont des propriétés publiques et privées situées au centre administratif et commercial des Îles-de-la-Madeleine. Les bâtiments sont majoritairement commerciaux, publics et résidentiels. La valeur totale des bâtiments et des infrastructures municipales essentielles à protéger est de plus de 48,7 M\$.

Le 7 septembre 2019, la tempête tropicale Dorian a touché les Îles-de-la-Madeleine, affectant sévèrement le secteur de la falaise de Cap-aux-Meules. Les conséquences de cette tempête rendent urgente la mise en œuvre de travaux de protection, afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens. Des avis techniques préparés par le ministère des Transports du Québec (MTQ) et le MSP ont permis de documenter la sévérité des aléas d'érosion côtière et le danger d'effondrements rocheux, qui nécessitent une intervention en urgence derrière le bâtiment abritant le cinéma pour assurer la sécurité des personnes et

des biens (annexes 8, 9 et 10 de la demande de soustraction). En raison du niveau élevé d'exposition aux différents aléas et de la compréhension de la dynamique côtière, l'ouvrage de protection proposé a été conçu par Consultant Ropars inc., de manière à protéger l'ensemble du secteur. Ainsi, pour bien remplir son rôle, l'ouvrage ne peut être scindé en plusieurs parties. L'intervention sur le littoral vise la protection du cœur admiratif et commercial des Îles-de-la-Madeleine, afin de se prémunir contre des aléas difficiles à prévoir et dont les conséquences peuvent être désastreuses, tout en minimisant les impacts sur l'environnement. La figure 1 présente la zone visée par les travaux de protection côtière.

2. IDENTIFICATION DES RISQUES

Description du site

Le secteur de Cap-aux-Meules est caractérisé par des falaises rocheuses de grès rouge stratifié et mal consolidé, très sensibles à l'érosion et au recul préférentiel le long de fractures ou de discontinuités, ce qui donne un trait de côte en dents de scie (figure 2). Les cicatrices d'érosion forment des échancrures et des grottes qui évoluent rapidement, dont certaines atteignent même jusqu'à 100 m de profondeur dans l'archipel (figure 3).

Le secteur des travaux se situe dans la cellule hydrosédimentaire de la Grande Échouerie (figure 4). La cellule est délimitée par une pointe rocheuse au sud et par des infrastructures portuaires au nord. La section sud de la cellule de la Grande Échouerie est caractérisée par la présence de plage sableuse à la base des falaises rocheuses et par leur absence dans la section nord où les travaux de stabilisation de la falaise rocheuse sont prévus (figure 5).

Aléas

Les falaises rocheuses de Cap-aux-Meules sont affectées par une combinaison de plusieurs aléas : érosion côtière, écroulement rocheux, affaissement et effondrement.

Érosion

Le secteur de Cap-aux-Meules est très vulnérable à l'érosion côtière, particulièrement lorsque des conditions de grandes marées sont combinées au passage d'un système météorologique dépressionnaire ou à de forts vents, ce qui génère une onde de tempête, puis de très hauts niveaux d'eau. De manière globale et générale, l'analyse historique du recul de la falaise depuis 1963 souligne que le taux moyen de recul est de l'ordre de 0,31 m/an, ce qui a généré une perte de terrain au sommet de la falaise de plus de 34 m sur l'ensemble de la zone des travaux (figure 6). L'attaque par les vagues de tempête (soit du nord-est ou du sud-est) est le processus dominant, ce qui est susceptible de provoquer des reculs préférentiels et des effondrements soudains. D'ailleurs, la période d'érosion la plus importante (1977-1983) correspond à une période de fortes tempêtes du sud-est (Bernatchez, 2008).

Par contre, le recul de la côte est plus rapide aux endroits où la formation rocheuse est plus friable, fragilisée par des discontinuités ou des fractures. Ce recul préférentiel forme de grandes échancrures et creuse des grottes par l'action répétée des vagues et des différents agents de météorisation, comme les cycles de gel/dégel et les infiltrations d'eau. Dans ces

zones plus friables, le taux maximal de recul observé et mesurable a atteint 0,61 m/an depuis 1963, ce qui a généré une perte de terrain jusqu'à 44 m et même jusqu'à 70 m où il y a des grottes profondes (Bossé, 2012 ; MSP, 2016). La figure 6 montre l'ampleur des reculs mesurables à la suite de l'effondrement du toit des grottes formant des échancrures à différents endroits sur l'archipel. Dans le secteur des travaux, le recul maximal enregistré en une année s'élève à plus de 7 m, à la suite du passage de la tempête post-tropicale Dorian.

L'érosion des falaises de grès est fortement influencée par les processus cryogéniques qui regroupent l'ensemble des processus liés au gel/dégel, comme la gélifraction et la disjonction. L'intensité de ces phénomènes est déterminée par l'exposition des falaises aux rayonnements solaires directs, aux nombres de redoux hivernaux, à la fréquence des pluies hivernales et aux cycles de gel/dégel. Enfin, les pluies diluviennes et les précipitations de pluie hivernale favorisent le déclenchement de chutes de pierres le long des hautes falaises. D'ailleurs, la période d'érosion la plus importante (1977-1983) est aussi caractérisée par des hivers plus chauds, avec le plus grand nombre de redoux hivernaux et la plus grande quantité de pluies hivernales (Bernatchez, 2008).

Écroulement rocheux

Les niveaux d'eau atteints combinés à la hauteur des vagues de tempête sont des éléments importants à prendre en compte, puisqu'ils déterminent l'intensité de l'attaque érosive de la falaise et de l'évolution des reculs préférentiels. Ces facteurs sont déterminants dans la formation d'échancrures et de grottes, puis de zones en porte-à-faux. La profondeur de l'ensemble des échancrures et la dimension des grottes de la falaise de Cap-aux-Meules sont actuellement inconnues et pour plusieurs non mesurable.

Le niveau de la mer à Cap-aux-Meules atteint une élévation de 1,14 m (NMM) pour une récurrence de un an, de 1,27 m (NMM) pour une récurrence de 2 ans, de 1,48 m (NMM) pour une récurrence de 10 ans et de 1,75 m pour une récurrence de 50 ans. Si on ajoute la remontée des vagues, le niveau de récurrence de 50 ans atteint une élévation de 3,33 m (figures 7 et 8) (Roche et al. 2011). Ces hauteurs d'eau permettent à la mer d'atteindre régulièrement la falaise et de l'exposer au sapement par les vagues. Ces conditions sont favorables à l'érosion préférentielle à la base de la falaise, laissant des blocs rocheux de différentes tailles en porte-à-faux. Ces blocs finissent par se détacher et à s'écrouler soudainement, emportant ce qui est au sommet de la falaise et écrasant ce qui est à la base.

Affaissement et effondrement

Lors des événements de tempête, les vagues s'engouffrent dans les grottes avec force et contribuent à l'accélération des reculs par l'érosion de celles-ci. Ainsi, les grottes s'agrandissent sous l'effet des vagues et de l'abrasion causée par les débris qui tourbillonnent dans les ouvertures à marée haute. De plus, les effets des différents agents de météorisation, comme le ruissellement de surface et les processus de gel/dégel, viennent contribuer à l'évolution des grottes. L'agrandissement des grottes entraîne l'amincissement de leur toit, qui finit par s'affaisser ou s'effondrer subitement. Les affaissements sont des mouvements lents et progressifs causés par le fléchissement des terrains, avec ou sans fractures ouvertes, consécutifs à l'évolution de cavités

souterraines (figure 9). Les effondrements sont des ruptures brutales de voûtes de cavités souterraines, sans atténuation par les terrains de surface (figure 9). Il peut également se produire un effondrement du plafond des grottes à une bonne distance de la côte, soit plusieurs dizaines de mètres selon Bernatchez (2008). Selon les informations historiques recueillies et les observations faites, la falaise de Cap-aux-Meules est soumise principalement à l'effondrement subit des toits de grosses cavités. Pour un secteur de centre-ville comme celui visé par les travaux, ce phénomène constitue un aléa catastrophique extrêmement préoccupant pour la sécurité des personnes et des biens et constitue un sinistre appréhendé notamment en raison des conséquences potentielles.

Vulnérabilité

Les éléments considérés dans cette analyse de risque se situent dans le centre-ville de Cap-aux-Meules, derrière la zone des travaux projetés pour stabiliser la falaise de grès rouge (figure 16). L'usage de chacun des bâtiments est indiqué dans le tableau 1. On retrouve aussi une rue municipale, un réseau d'aqueduc et d'égout, ainsi qu'un sentier multifonctionnel fortement achalandé, spécialement durant la période touristique. Avec la présence de l'hôpital ainsi que des nombreux commerces à proximité, il y a un fort achalandage de piétons dans le secteur. Le secteur visé par les travaux constitue le cœur économique, institutionnel, touristique et commercial de l'archipel.

Tableau 1. Bâtiments les plus exposés situés dans la zone des travaux de protection

Adresse	Utilisation
215, chemin Boudreault	Résidence principale
205, chemin Boudreault	Maison mobile
0, chemin Boudreault	Usine de traitement des eaux usées
260, chemin Principal	Centre d'appels téléphoniques
270, chemin Principal	Résidence principale
284, chemin Principal	Motel
410, chemin Principal	Résidence principale
380, chemin Principal	Cinéma
350, chemin Principal	Immeuble commercial
360, chemin Principal	Établissement avec service de boissons alcoolisées
310, chemin Principal	Bureau de poste
330, chemin Principal	Immeuble à bureau
368, chemin Principal	Restaurant et établissement avec service com
430, chemin Principal	Service d'hôpital

Plusieurs facteurs de vulnérabilité de ces bâtiments et de ces infrastructures ont été considérés. Dans ce contexte, le processus d'appréciation des risques doit tenir compte de ces facteurs et des profils de vulnérabilité, notamment au niveau des conséquences

appréhendées (MSP, 2008). De plus, à l'étape de l'analyse de risque, l'évaluation de l'exposition des bâtiments et des infrastructures aux aléas côtiers comprend notamment la détermination de la distance des éléments par rapport au sommet de la falaise mis en relation avec le nombre d'années estimé, à partir de la connaissance existante, avant que ceux-ci soient directement affectés par l'érosion côtière. Par contre, dans le cas des falaises de grès de Cap-aux-Meules, l'analyse de risque doit tenir compte de l'exposition à des aléas mixtes (érosion, écoulement rocheux, affaissement et effondrement) qui combinés constituent une menace à la sécurité des personnes, étant donné le caractère soudain et imprévisible.

À titre d'exemple, l'établissement du profil de vulnérabilité fait ressortir que l'hôpital situé dans le secteur visé par l'analyse est très vulnérable relativement aux aléas en cause, notamment par sa mission et les conditions physiques des personnes qui y sont hébergées ou soignées. Aussi, advenant la manifestation d'un des aléas côtiers, les conséquences sont jugées catastrophiques. De plus, l'analyse des conséquences doit prendre en compte le nombre de personnes pouvant être directement affectées par des blessures ou de la mortalité par l'effondrement d'une grotte ou d'une échancrure. Les commerces, l'hôpital et le sentier multifonctionnel sont fréquentés par une grande partie de la population, soit en tant que patient, visiteur, client, employé ou résident, ce qui augmente leur exposition. Ces infrastructures sont également visitées ou utilisées par un grand nombre de touristes. Le contrôle des personnes y est également très difficile.

3. ANALYSE DES RISQUES

Mesures de protection existantes

Historiquement, il y a eu de nombreuses interventions en urgence pour protéger la falaise de Cap-aux-Meules, au fur et à mesure que des infrastructures étaient menacées (figure 10). Ces interventions en urgence, à la pièce, consistaient principalement à déverser des blocs de pierres ou de béton pour protéger rapidement la falaise. Ces interventions réalisées sans calibrages et sans études hydrauliques ralentissent l'évolution des reculs à court terme localement. Ce mode d'intervention est considéré comme des interventions inappropriées au sens des orientations gouvernementales en érosion côtière. De plus, elles compromettent l'esthétisme du secteur, estimé par le milieu comme la porte d'entrée des Îles-de-la-Madeleine en raison de la proximité du port.

Conséquences potentielles

Les falaises rocheuses de Cap-aux-Meules sont affectées par une combinaison de plusieurs aléas interreliés : érosion côtière, écoulement rocheux, affaissement et effondrement. Ces aléas menacent l'intégrité des bâtiments et des infrastructures exposés. L'évolution rapide et l'intensité de ces aléas présents dans ce secteur, ainsi que la probabilité de leur manifestation combinées aux conséquences, pourraient s'avérer catastrophiques, étant donné la possibilité d'un écoulement ou d'un effondrement soudain. Ils constituent un niveau de risque majoritairement extrême ou élevé (MSP, 2008). De plus, comme l'intensité de ces aléas est fortement liée au climat et que les Îles-de-la-Madeleine est la région du Québec maritime qui subit le plus fortement les impacts des changements

climatiques, le risque de « sinistre majeur », tel que défini par la *Loi sur la sécurité civile* (chapitre S-2.3, article 2, paragraphe 1), s'amplifie rapidement avec le temps.

Sinistre réel

La falaise rocheuse du secteur de Cap-aux-Meules est très sensible à l'érosion côtière, particulièrement lorsque des conditions de grandes marées sont combinées au passage d'un système météorologique dépressionnaire ou à de forts vents. Durant ces événements, l'attaque par les vagues de tempête est susceptible de provoquer des reculs préférentiels et des effondrements soudains qui sont difficiles à prévoir, mais dont les conséquences peuvent être désastreuses pour la sécurité des personnes et des biens. Selon Roche et al. (2011), ces événements se sont produits à plusieurs reprises au cours des années avant la rédaction de cette étude, soit le 4 décembre 2007, le 22 décembre 2008, le 2 janvier 2010, le 21 décembre 2010 et le 27 décembre 2010. On peut supposer que des événements de la même ampleur se sont produits avec la même fréquence par la suite, jusqu'à aujourd'hui.

Récemment, il y a eu le passage de la tempête post-tropicale Dorian les 7 et 8 septembre 2019, qui a provoqué des reculs de plus de 7 m derrière le bâtiment du cinéma (380, ch. Principal), lorsque le toit d'une grotte s'est effondré (figures 11 et 12). En effet, le secteur est caractérisé par la présence de grottes souterraines qui se forment et se creusent rapidement sous l'action des vagues de tempête. D'ailleurs, une des cavités mesurées par les ingénieurs du MTQ atteint une profondeur d'environ 8,1 m, derrière le bâtiment du cinéma. Cette cavité a d'ailleurs progressé d'environ 3 m lors de la tempête post-tropicale Dorian. C'est l'effondrement du toit de cette grotte qui a provoqué un recul de plus de 7 m. Le fond de cette cavité est maintenant à une distance approximative de 3 m des fondations du bâtiment. Le niveau de risque (ou de danger) lié à l'érosion et à l'effondrement a été considéré comme imminent par les spécialistes du MTQ et du MSP, ce qui nécessiterait des travaux d'urgence temporaires pour sécuriser les lieux, jusqu'à la mise en place de la solution permanente prévue à l'automne 2021.

Sinistres appréhendés

Les impacts appréhendés d'un sinistre sont de deux types. Les premiers englobent les impacts directs associés aux aléas côtiers (érosion, écoulement rocheux, affaissement et effondrement). Ils comprennent essentiellement l'ensemble des dommages causés aux terrains, aux bâtiments et aux infrastructures, mais surtout les impacts liés à la sécurité des personnes. Le second type d'impacts découlent principalement des effets collatéraux des impacts directs. Ces impacts peuvent être également de nature économique, environnementale ou sociale.

Si aucune mesure n'est prise, l'évolution de ces aléas va assurément causer des dommages aux bâtiments et aux infrastructures dans le secteur, des pertes importantes de terrain, ainsi qu'un danger réel et appréhendé pour la population.

Conséquences associées aux aléas côtiers

Tel que décrit précédemment, la falaise de Cap-aux-Meules est très sensible à l'érosion côtière et plusieurs bâtiments et infrastructures ont été évalués très vulnérables aux effondrements rocheux, et ce, particulièrement lors d'événements d'onde de tempête. Durant ces événements, les vagues de tempête provoquent de l'érosion préférentielle dans la partie inférieure de la falaise, laissant des blocs rocheux de différentes tailles en porte-à-faux. Ces blocs finissent par se détacher et à s'écrouler soudainement, emportant ce qui est au sommet de la falaise et écrasant ce qui est à la base. L'écroulement rocheux est un aléa qui représente un danger considérable pour la sécurité des citoyens et constitue un sinistre appréhendé au sens de la *Loi sur la sécurité civile*, avec des conséquences potentiellement désastreuses pour l'ensemble de la zone faisant l'objet des travaux de protection (figure 13).

Lors de ces événements de tempête, les vagues s'engouffrent dans les grottes avec force et contribuent à leur agrandissement rapide, qui entraîne l'amincissement du toit de la grotte, qui finit par s'affaisser ou s'effondrer brutalement. Les effondrements sont très dangereux et préoccupants pour la sécurité des personnes et des biens puisqu'ils peuvent se produire à plusieurs dizaines de mètres de la côte, ce qui constitue un sinistre appréhendé pour l'ensemble de la zone faisant l'objet des travaux de protection. Il s'avère d'ailleurs difficile d'évaluer la progression des cavités souterraines, puis de prévoir l'occurrence et l'étendue des effondrements, ce qui pose des enjeux importants pour la sécurité publique.

Ce qui surprend le plus avec ces aléas côtiers, c'est la grande vitesse à laquelle ils peuvent modifier la configuration des falaises par la formation d'échancrures, de grottes et de pointes rocheuses. La figure 14 montre bien la vitesse importante à laquelle la formation des grottes et les agrandissements se sont effectués derrière le cinéma.

Conséquences associées aux changements climatiques

Les falaises rocheuses de Cap-aux-Meules sont particulièrement vulnérables aux épisodes d'ondes de tempête, qui entraînent des reculs considérables de la falaise, tout en augmentant rapidement la profondeur des grottes. La combinaison de niveaux d'eau extrêmes et de vagues de tempête décuple leur impact sur l'érosion côtière. Dans un contexte de changements climatiques, la hausse rapide du niveau marin relatif (hausse du niveau moyen des océans et affaissement isostatique des îles), l'augmentation des épisodes de très hauts niveaux d'eau, l'augmentation de la fréquence des tempêtes, de même que la diminution de la couverture de glace, sont des facteurs qui contribuent à accroître les taux d'érosion des falaises, qui sont déjà rapides. De plus, la hausse des températures moyennes hivernales provoquera une augmentation de la fréquence des redoux hivernaux et des pluies hivernales, ce qui favorisera encore plus l'instabilité des falaises rocheuses, sensibles aux processus cryogéniques et hydrogéologiques. Finalement, la réduction de la couverture de neige, qui agit comme un isolant thermique sur les falaises, peut aussi augmenter l'intensité de ces phénomènes. La diminution de la couverture de glace littorale, qui permet à la neige de s'accumuler sur le littoral, va aussi entraîner une réduction de la capacité de la neige à protéger les falaises des variations importantes de température. Ainsi, l'impact des changements climatiques est donc un facteur aggravant pour les aléas côtiers et pour le risque de sinistre appréhendé.

Conséquences associées à la sécurité publique

Considérant l'intensité des aléas et les impacts des changements climatiques, les préjudices potentiels aux personnes, ainsi que les dommages aux bâtiments et aux infrastructures, sont de plus en plus importants.

Pour l'ensemble de la zone nécessitant des travaux de protection, le niveau de risque extrême et élevé, qui a été démontré à la section 3 du rapport, s'avère une préoccupation constante pour la sécurité des personnes, puisque les bâtiments sont très fréquentés par la population et que le secteur est fortement achalandé par des piétons ou des cyclistes. Ces citoyens sont ainsi exposés à des écroulements rocheux et des effondrements catastrophiques, dont on ne peut prévoir le déclenchement ni l'étendue. Ces aléas sont dangereux pour la population et potentiellement mortels.

Conséquences de nature économique

Le secteur de Cap-aux-Meules est le cœur municipal, administratif et commercial des Îles-de-la-Madeleine. Il a été priorisé par la communauté maritime des Îles-de-la-Madeleine parmi tous les autres secteurs touchés de l'archipel, étant donné l'importance économique de l'endroit. Ces actifs incluent notamment le Centre intégré de santé et de services sociaux (CISSS) de l'archipel, l'hôtel de ville, une route municipale, des immeubles commerciaux et de services, ainsi que des immeubles locatifs et résidentiels. La valeur des actifs protégés par l'ouvrage envisagé est estimée à 48 694 600 \$.

Tous les terrains concernés par le projet de protection sont des propriétés publiques ou privées. L'ensemble des bâtiments du secteur est desservi par les services publics d'aqueduc et d'égout, dont les infrastructures souterraines sont situées dans l'emprise du chemin Principal.

Le projet de stabilisation de la falaise vise la conservation de la valeur des bâtiments, ainsi que le maintien et la consolidation des activités économiques et touristiques du secteur. Il vise également la réduction des impacts économiques associés aux événements d'érosion côtière, d'écroulement rocheux, d'affaissement et d'effondrement. En effet, les délais et les coûts associés à la remise en état des lieux suite aux épisodes de tempête seront grandement réduits par la réalisation de ce projet de protection, ce qui diminue les risques pour la sécurité des personnes et des biens.

Les pertes ou dommages à ces actifs conduisent également à la perte de revenus commerciaux, à des pertes d'emplois et à des pertes d'usage du littoral ou des actifs présents en bord de mer.

Le secteur à protéger comprend également un lien unique pour accéder aux installations de traitement des eaux usées de la municipalité, ainsi qu'à des résidences principales. Une portion du sentier multifonctionnel longeant le littoral a également été détruite par les effondrements survenus lors de la tempête post-tropicale Dorian. Ce sentier est un attrait majeur aux Îles-de-la-Madeleine pour les touristes.

De plus, la fragilité du milieu côtier et le caractère insulaire des Îles-de-la-Madeleine, éléments soulignés dans le décret adopté par le gouvernement du Québec, constituent des facteurs qui amplifieraient les conséquences économiques advenant un sinistre impactant directement le cœur économique de l'archipel.

Conséquences de nature sociale

L'influence des tempêtes sur la qualité de vie des gens vivant dans les zones à risque constitue une problématique bien documentée (voir notamment Brisson et Richardson, 2009). Cependant, il est extrêmement difficile de chiffrer la valeur de cette perte de jouissance en termes économiques. Les travaux de protection côtière dans le secteur de Cap-aux-Meules devraient, par rapport à la non-intervention, améliorer la qualité de vie des résidents en diminuant l'insécurité induite par la perte de territoire en plein cœur du centre-ville des Îles-de-la-Madeleine.

L'insécurité et le stress associés au risque pour la sécurité des personnes et des biens lors des épisodes de tempête sont des phénomènes de plus en plus documentés chez les résidents en zone côtière. Les tempêtes successives qui entraînent la perte de territoire réduisent la qualité de vie des propriétaires fonciers du secteur. Pour les personnes qui résident, travaillent ou fréquentent le secteur de Cap-aux-Meules, les événements de tempête s'avèrent des moments de grande insécurité et de stress pouvant affecter leur qualité de vie, comme cela a été documenté sur la Côte-Nord (Séguin-Aubé, 2013). Une amélioration de la protection des berges du cœur de l'archipel aurait pour effets d'accroître le sentiment de sécurité et de bonifier la qualité de vie des résidents.

La dégradation du littoral de Cap-aux-Meules par les épisodes de tempête successifs entraîne une perte de la valeur d'usage accordée au site par les touristes et les résidents, de même que des variations au niveau des comportements touristiques. Si rien n'est fait pour protéger le littoral, l'érosion entraînera la perte du sentier multifonctionnel emprunté tant par les cyclistes que par les piétons. Cette infrastructure constitue un atout important pour l'industrie touristique de l'archipel compte tenu de sa proximité par rapport au quai de Cap-aux-Meules et aux nombreux commerces et services dans le secteur. La valorisation marginale du sentier multifonctionnel du littoral pour les résidents et les touristes est respectivement de 355 382 \$ et de 209 059 \$ pour un total de 564 442 \$. La valeur d'usage correspond à la valeur accordée par chacun des visiteurs lorsqu'ils se rendent au site pour profiter de l'atmosphère, des commerces et du paysage.

Niveaux de risque

La figure 15 montre un exemple de matrice de classification des risques selon quatre niveaux, tirée du guide *Gestion des risques en sécurité civile* (MSP, 2008). Cette grille permet de classer le risque selon leur importance relative, en fonction d'une évaluation des probabilités d'occurrence de l'aléa et de ses conséquences potentielles.

Cette matrice traduit le fait que même si un aléa a une probabilité d'occurrence qualifiée de *peu probable*, le niveau de risque est considéré comme *élevé* si les conséquences sont majeures ou comme *extrême* si celles-ci sont catastrophiques.

Le niveau de risque (ou le danger) pour la sécurité des personnes et des biens a été évalué à la lumière de cette grille de classification des risques développée et reconnue par le gouvernement du Québec.

À court, moyen et long termes, les conséquences liées aux aléas côtiers se traduisent par un risque sévère pour la sécurité des citoyens et pour des dommages aux bâtiments, aux équipements et aux infrastructures. Pour démontrer le résultat du niveau de risque relatif aux aléas côtiers pour le secteur de Cap-aux-Meules, les trois niveaux de risque les plus

élevés ont été retenus pour l'ensemble de la zone faisant l'objet des travaux de protection, auxquels a été superposé le cadre bâti (figure 16).

Niveau de risque extrême

Le niveau de risque extrême correspond à une bande de 10 m, déterminée par le recul événementiel potentiel, recul attendu en un seul événement de tempête, dans les zones de discontinuité où il y a des reculs préférentiels. Dans cette bande, la probabilité d'occurrence d'un effondrement ou d'un écroulement rocheux est considérée comme probable ou presque certain, mais avec des conséquences potentielles majeures (blessures graves et infrastructures et bâtiments endommagés ou emportés) ou même catastrophiques (morts). Cette bande comprend le bâtiment commercial qui loge le cinéma, de même que la majeure partie de la piste multifonctionnelle.

Niveau de risque élevé

Le niveau de risque élevé correspond à une bande de 45 m, qui comprend la première bande de 10 m + une bande de 35 m supplémentaire, déterminée par le recul maximal projeté d'ici 2070. Dans cette bande, la probabilité d'occurrence d'un effondrement est considérée comme peu probable, mais avec des conséquences majeures (blessés graves et infrastructures endommagées). Cette bande comprend six bâtiments, ainsi que l'infrastructure de traitement des eaux usées et le chemin Boudreau pour s'y rendre, à l'extrémité sud de la zone faisant l'objet des travaux de protection.

Niveau de risque modéré

Le niveau de risque modéré correspond à une bande de 70 m, correspondant à la profondeur maximale des échancrures dans les falaises de grès, aux Îles-de-la-Madeleine. Dans cette bande, la probabilité d'occurrence d'un effondrement est considérée comme rare, mais avec des conséquences modérées. Cette bande comprend six bâtiments.

4. ÉVALUATION DES RISQUES

L'analyse des risques a permis de mieux comprendre les enjeux de sécurité civile et de les quantifier. Elle a aussi permis d'établir que le niveau de risque pour le secteur de la falaise de Cap-aux-Meules soumis aux aléas côtiers varie d'extrême à élevé. L'examen de ces résultats a été effectué sur la base des critères de sélection et de priorisation des demandes de financement du *Cadre pour la prévention de sinistre* adopté par le gouvernement du Québec en 2013. Le traitement des secteurs identifiés à risque élevé à extrême nécessite une intervention à court terme.

C'est pourquoi la demande de financement pour la réalisation de travaux de protection de la falaise de Cap-aux-Meules par la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine a été jugée prioritaire sur la base de ces analyses, et ce, pour l'ensemble de la zone de 820 m identifiée à la figure 1. La signature d'une entente de financement a été recommandée par le Comité sur la prévention des sinistres naturels aux autorités du MSP.

5. TRAITEMENT DES RISQUES

Solution envisagée pour réduire les risques

Trois solutions envisagées pour réduire les risques sur l'ensemble de la zone des travaux, soit un enrochement (figure 17) ou soit un riprap (figure 18) ou soit une recharge de plage avec des matériaux grossiers. Un enrochement pourrait s'avérer plus dispendieux, mais aurait probablement une durabilité plus grande, un empiètement dans le littoral moins important, mais une hauteur de crête plus haute. Quant au riprap, il devrait s'avérer moins coûteux, mais il aura probablement une durabilité moins longue, un empiètement plus grand et une hauteur de crête plus basse, ce qui par contre diminue l'impact visuel.

Zone visée par les travaux (justificatif)

L'analyse et l'évaluation des risques ont démontré que les niveaux de risque extrême et élevé sont présents sur l'ensemble de la zone de 820 m analysée et qu'une intervention est nécessaire pour réduire le risque pour l'ensemble de celle-ci, afin d'éviter des situations de sinistres réels et appréhendés, qui pourraient potentiellement causer la mort. Les travaux permettant de réduire le risque ne peuvent pas se découper en morceau, en protégeant par petit bout.

Il est recommandé que les travaux de stabilisation de la falaise de Cap-aux-Meules se déroulent en une seule phase de réalisation, c'est-à-dire par la mise en place des matériaux sur le site sur 820 m de longueur. Ils visent à protéger l'ensemble de la section nord de la cellule hydrosédimentaire de la Grande Échouerie, afin de ne pas intervenir à la pièce comme cela s'est fait à plusieurs reprises dans ce secteur, avec des ouvrages hétéroclites. En milieu côtier, il est recommandé d'intervenir à l'échelle d'une cellule hydrosédimentaire ou d'une section de celle-ci bien définie par des limites où l'ouvrage peut s'appuyer pour éviter les effets de bout. Dans le cas présent, l'ouvrage peut s'accrocher à un riprap existant qui protège les étangs aérés au sud (figure 19). À l'autre extrémité, l'ouvrage pourra s'appuyer à un contact géologique où l'on passe à un calcaire plus résistant au nord (figure 20).

Le contexte géologique qui évolue très rapidement rend très difficile la stabilisation des falaises rocheuses, en raison de la présence de nombreuses échancrures profondes, de grottes et de pointes. Plus le temps passe et plus les échancrures et les grottes se creusent, rendant encore plus compliquée la mise en place d'une protection. D'une année à l'autre, les changements sont parfois impressionnants, au gré des événements toujours plus fréquents de hauts niveaux d'eau et de tempêtes, comme le démontre la figure 14. Dès qu'une conception est terminée, il faut la mettre en place le plus rapidement possible, sans quoi, elle ne sera plus adéquate et en concordance avec les modifications morphologiques très rapides de la falaise. C'est pour cette raison que les travaux doivent se faire rapidement, quelques semaines après que la conception soit terminée, ce qui n'est pas possible sans décret de soustraction à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement. Il y aurait aussi une grande difficulté à mettre en place des chemins d'accès si les travaux n'étaient pas faits en une seule fois, pour l'ensemble de la zone des travaux.

6. RECOMMANDATIONS

À la lumière des résultats de l'appréciation des risques réalisée pour le secteur de la falaise de Cap-aux-Meules, il est recommandé de procéder à la réalisation des travaux de protection de berge proposés par Consultant Ropars inc. dans les plus brefs délais pour l'ensemble de la zone visée par les travaux de protection sur 820 m. De plus, des travaux temporaires en urgence doivent être effectués derrière le cinéma, comme il est demandé par les ingénieurs du MTQ et par le propriétaire, pour stabiliser la falaise temporairement (pour quelques mois) d'ici la mise en place de l'ouvrage permanent et uniforme pour l'ensemble de la zone des travaux.

7. RÉFÉRENCES

Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A., 2008. Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium OURANOS et au FACC, 256 p.

Bossé, F., 2012. Avis technique sur les marges de sécurité en érosion côtière pour les Îles-de-la-Madeleine. Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports du Québec. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique.

Ministère de la Sécurité publique (MSP), 2008. Gestion des risques en sécurité civile, 78 p.

Ministère de la Sécurité publique (MSP), 2016. Cartographie des zones de contraintes relatives à l'érosion côtière et aux mouvements de terrain le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, agglomération des Îles-de-la-Madeleine. Guide d'utilisation des cartes de zones de contraintes et du cadre normatif visant le contrôle de l'utilisation du sol, Direction de la prévention et de la planification. MSP

Roche, Consultants Ropars inc. et Lasalle, 2011, Analyse des solutions en érosion côtière dans la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine (étude en hydraulique maritime), pour la municipalité des Îles-de-la-Madeleine.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction du rapport :	Jean-Denis Bouchard Conseiller en gestion des risques naturels
Révision :	Simon Massé Conseiller en gestion des risques
Révision & validation :	Josée Desgagné Chef d'équipe, Aléas côtiers et mouvements de terrain
Soutien cartographique :	Simon Benoît Technicien en géomatique
Correction et mise en page :	Joannie Petit Adjointe administrative



Jean-Denis Bouchard, géo., Océanographie, M.Sc., n° OGQ 829



Josée Desgagné, géo. M.A.P., n° OGQ 1745

ANNEXE DE FIGURES



Figure 1. Localisation des travaux



Figure 2. Falaise de grès rouge en dents de scie

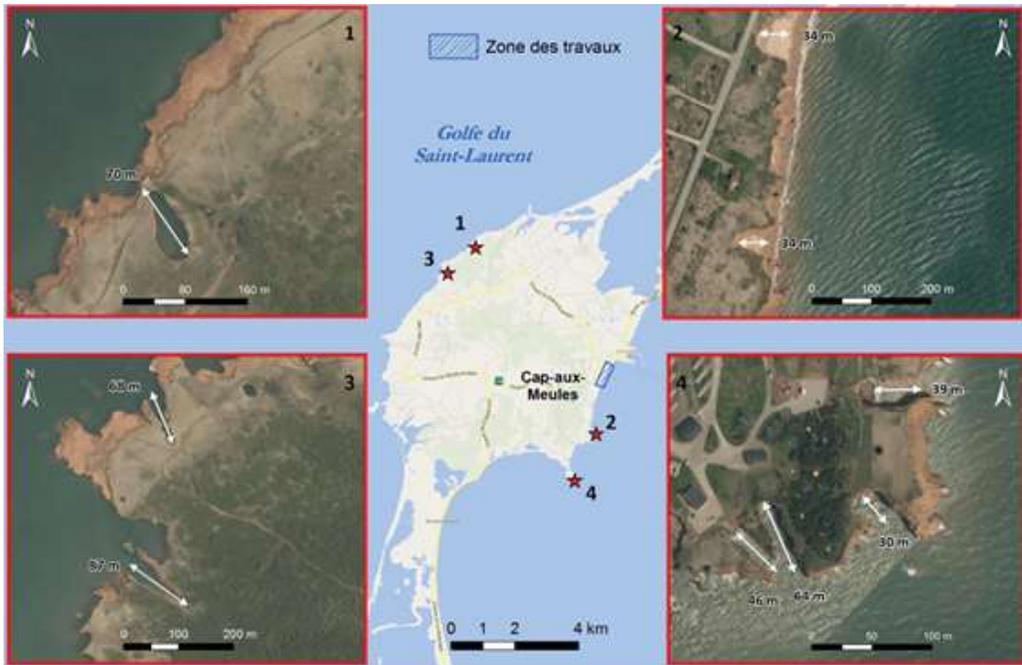


Figure 3. Profondeur des échancrures aux Îles-de-la-Madeleine

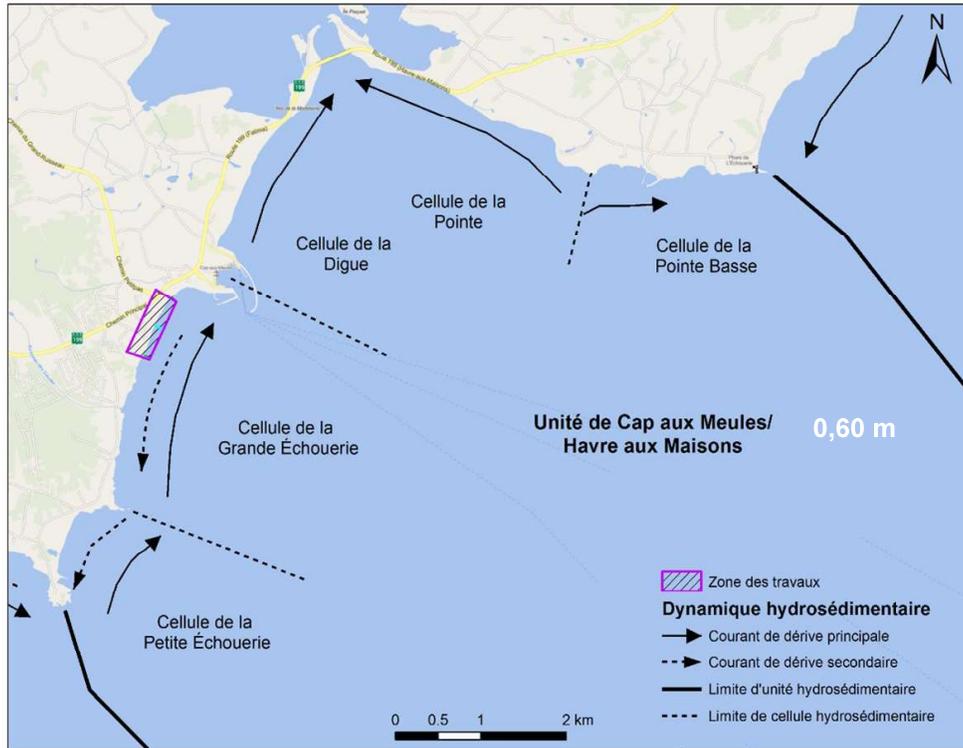


Figure 4. Cellules hydrosédimentaires

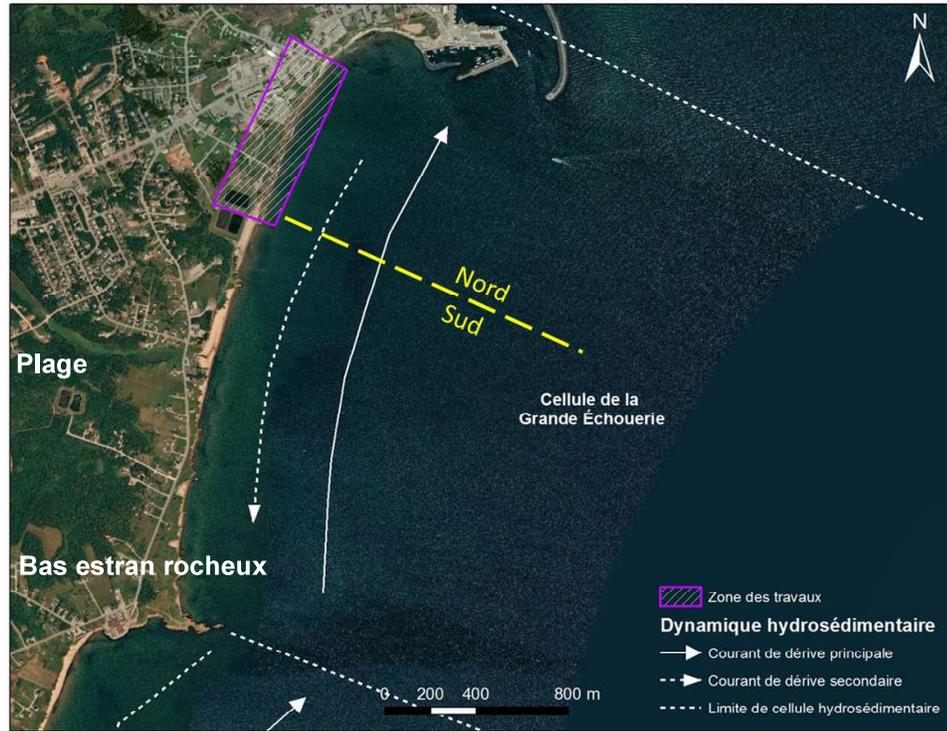


Figure 5. Cellule hydrosédimentaire de la Grande Échouerie

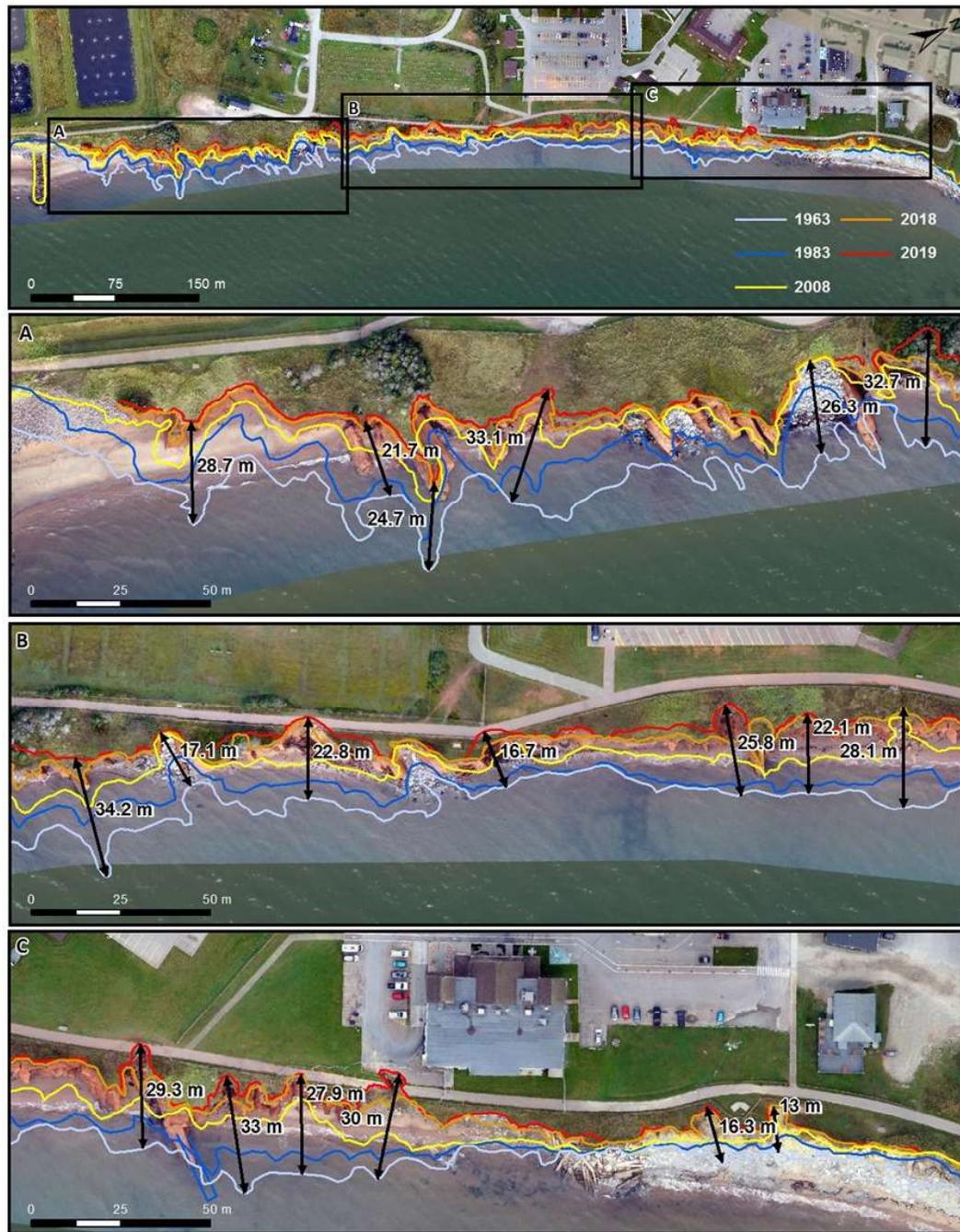


Figure 6. Recul du trait de côte entre 1963 et 2019 dans le secteur visé par les travaux

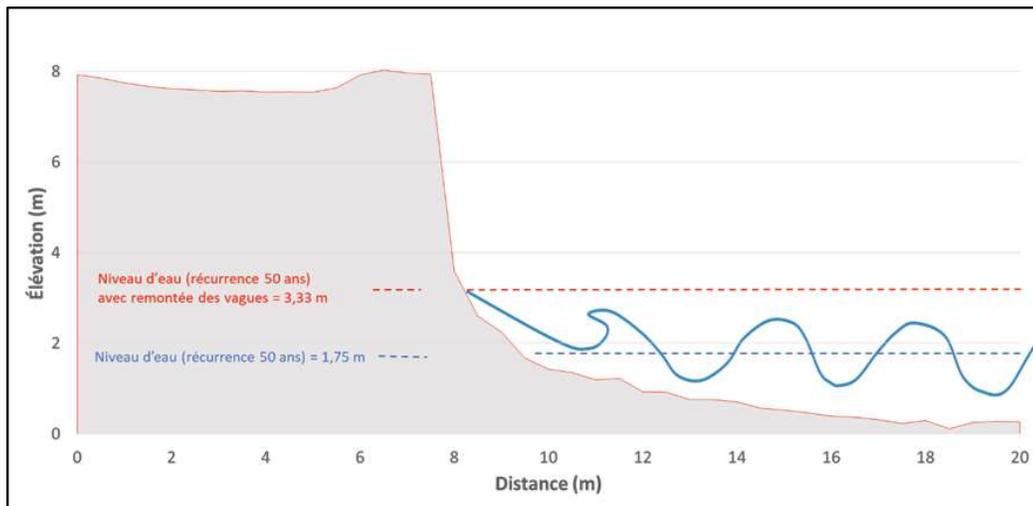


Figure 7. Profil de la falaise avec niveau d'eau de récurrence 50 ans et remontée de vagues



Figure 8. Vue oblique de la falaise devant le bâtiment du 380, chemin Principal (cinéma) avec niveau d'eau de récurrence 50 ans (ligne bleue) et remontée de vagues (ligne rouge)

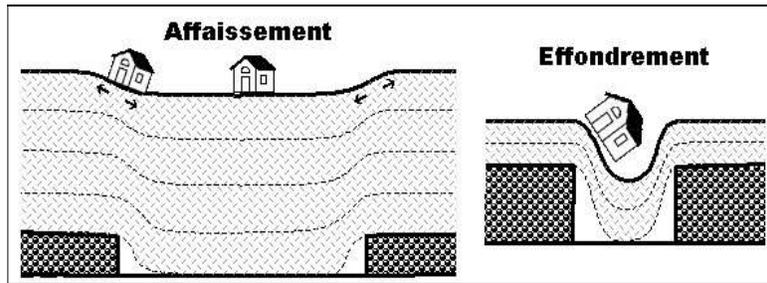


Figure 9. Affaissement et effondrement (Source : Bernatchez 2008)



Figure 10. Interventions passées pour stabiliser la falaise en urgence

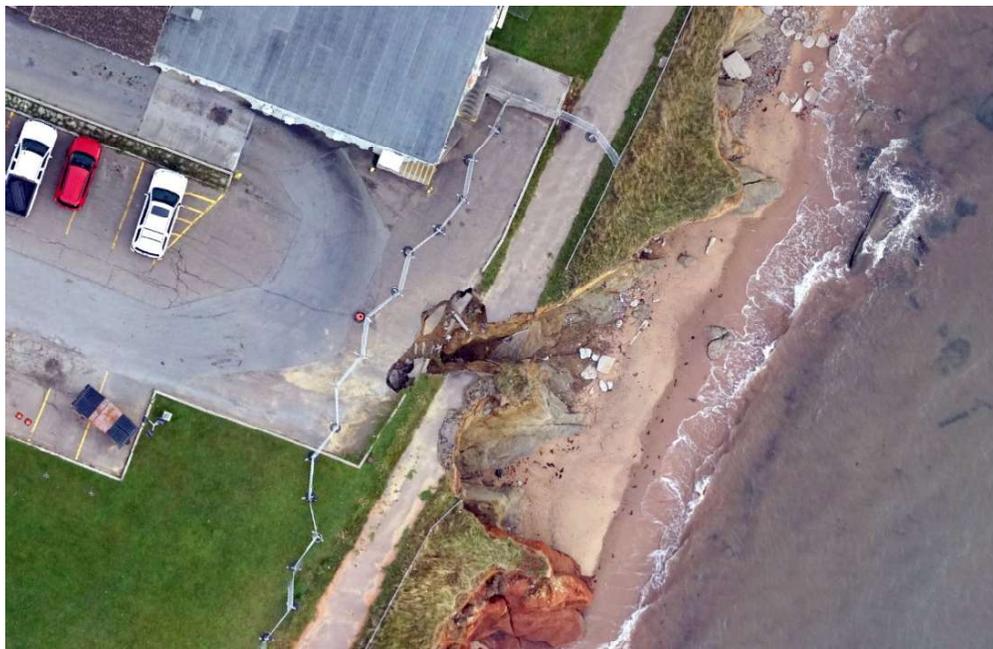


Figure 11. Vue en plan de l'effondrement derrière le cinéma



Figure 12. Effondrement derrière le cinéma

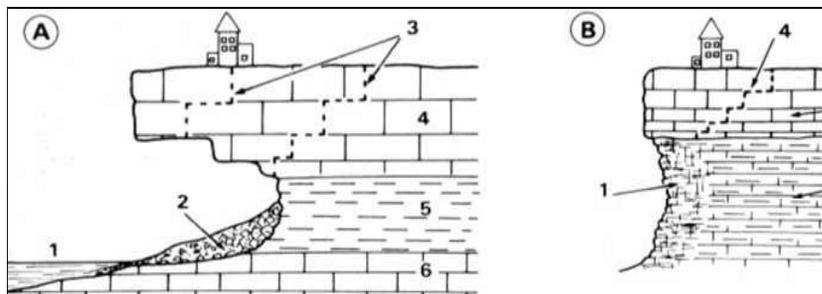


Figure 13. Écroulement rocheux (Source : Bernatchez, 2008)

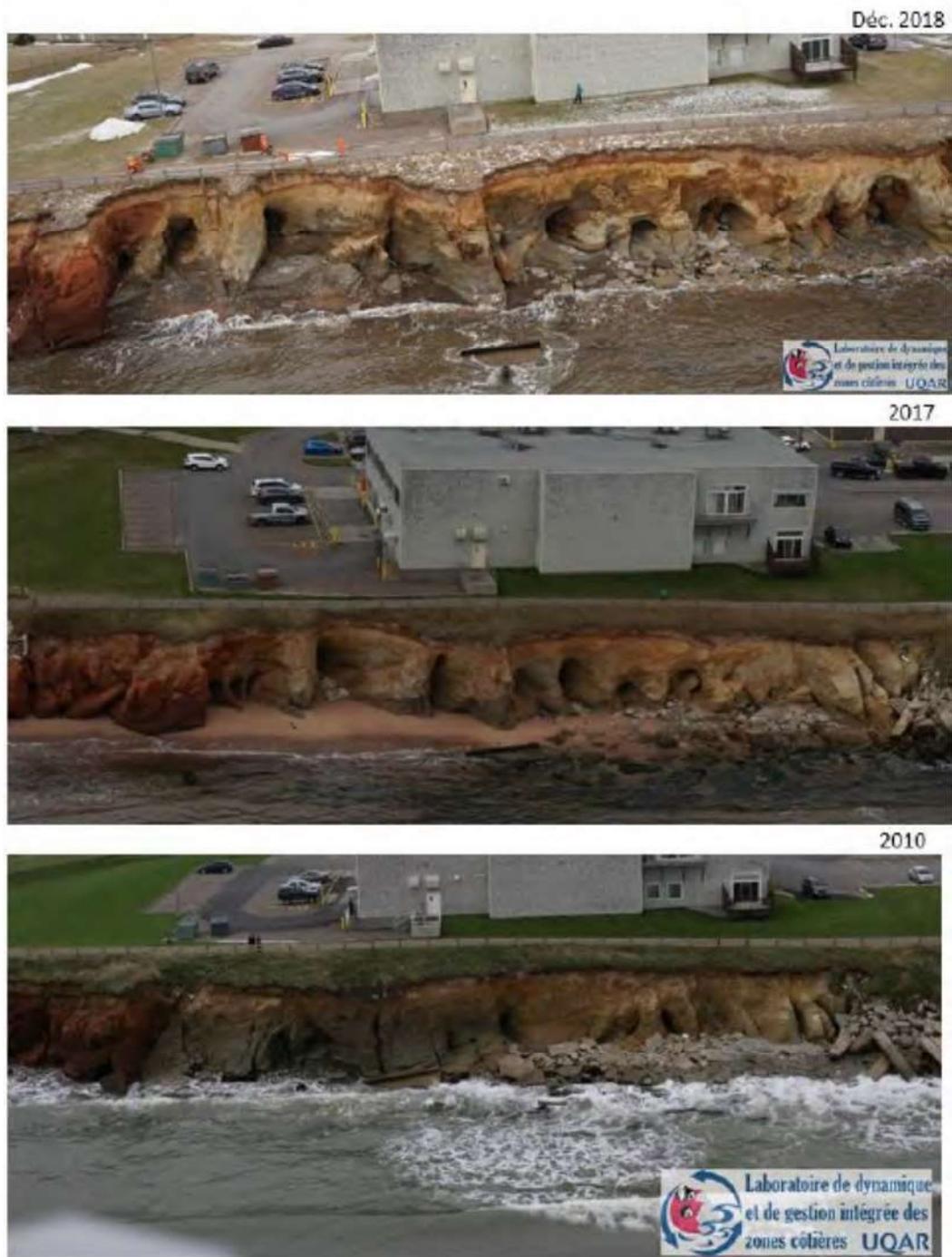


Figure 14. Évolution des grottes à la base de la falaise entre 2010, 2017 et 2018

PROBABILITÉS D'OCCURRENCE	CONSÉQUENCES				
	1 Négligeables	2 Mineures	3 Modérées	4 Majeures	5 Catastrophiques
A Presque certain	M	É	EX	EX	EX
B Probable	M	É	É	EX	EX
C Possible	F	M	É	EX	EX
D Peu probable	F	F	M	É	EX
E Rare	F	F	M	É	É

NIVEAU DE RISQUE

EX : Extrême

É : Élevé

M : Modéré

F : Faible

Figure 15. Matrice de classification des risques

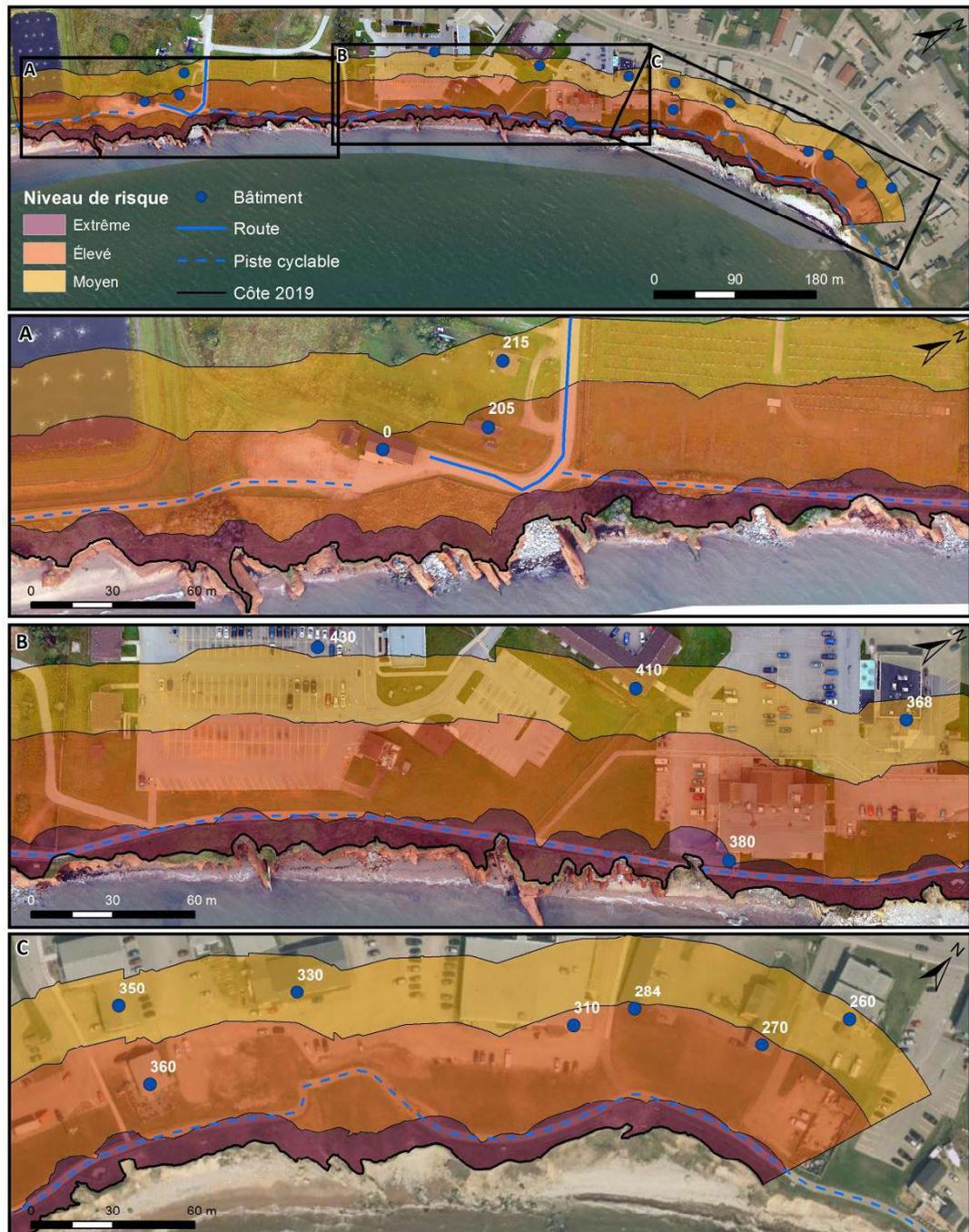


Figure 16. Niveaux de risque dans le secteur des travaux



Figure 19. Riprap au sud devant les étangs aérés



Figure 20. Falaise de calcaire au nord