

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

RÉDUIRE LA DÉPENDANCE AUX SACS DE SABLES : PISTES D'ADAPTATION DURABLES DES
MAISONS RIVERAINES EXPOSÉES AUX INONDATIONS AU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN DESIGN DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

JOELLE KELZI

SEPTEMBRE 2025

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Ce mémoire marque la fin d'un long parcours, jalonné de doutes, d'apprentissages, de remises en question et de compréhensions nouvelles. Il n'aurait pas vu le jour sans l'accompagnement et le soutien de plusieurs personnes que je tiens à remercier.

Merci à mon directeur, Carlo Carbone, pour son accompagnement depuis le début de ce mémoire. Son regard critique, sa rigueur et sa franchise m'ont poussée à aller plus loin dans ma réflexion. Ses conseils et ses encouragements ont grandement contribué à structurer le projet.

Merci à ma codirectrice, Élène Levasseur, pour son écoute attentive, sa disponibilité et la richesse de ses commentaires tout au long du processus. Son expertise et sa compréhension fine des réalités de terrain ont joué un rôle essentiel dans l'évolution et l'enrichissement de ce mémoire.

Merci à mes professeurs de la maîtrise pour leur enseignement et leurs conseils qui ont contribué à mon développement académique et professionnel.

Merci aux personnes rencontrées sur le terrain d'étude, ainsi qu'à toutes celles et ceux qui continuent de partager leur vécu face aux inondations. Leurs témoignages, leurs observations et leurs réflexions ont enrichi ma compréhension du sujet, permis d'ancrer ce mémoire dans la réalité du terrain et de mieux en saisir les enjeux.

Merci à ma famille sans qui rien de cela n'aurait été possible. Sevan et Georges (Mamito et Pap), merci de m'avoir soutenue de toutes les manières possibles pour que je puisse terminer ce mémoire et vivre confortablement à 8760 kilomètres de vous, malgré tout. Gaëlle, merci de m'avoir portée dans les moments de doute, de m'avoir inspirée à avancer et de toujours croire en moi. Tu es une personne en or et je suis chanceuse de t'avoir comme sœur. Anthony, merci pour ta présence discrète mais précieuse. Je suis fière de t'avoir comme frère, mais surtout de l'homme que tu es devenu.

Merci à ma seconde famille, celle que j'ai trouvée à Montréal, pour m'avoir entourée dans les moments doux comme dans les plus difficiles. Mon expérience à Montréal n'aurait pas été la même sans vous. Joharout, Varouj et Garo, ma famille de sang d'ici, merci de m'avoir facilité mon intégration à Montréal

et d'avoir été à mes côtés lorsque j'en avais besoin. Marianne et Nanor, merci d'être à mes côtés depuis le premier jour et de m'avoir soutenue inconditionnellement. Marie-Lynn, merci de m'avoir accompagnée pendant les nuits blanches de fin de mémoire et les phases de panique. Karen, merci de m'avoir écoutée, de m'avoir accueilli chez toi et de m'avoir aidé lors des moments les plus bas. Charlotte, merci pour tout, surtout les derniers mois. Jana, merci d'avoir été là pendant les mois les plus durs, d'avoir tout partagé avec moi, même quand toi aussi tu traversais une période compliquée. Nancy, merci pour ta façon de penser, de poser les bonnes questions et de m'aider à avancer quand j'étais perdue. Chloé, Elena et Léa, merci pour les soirées légères, les fous rires et les moments partagés qui m'ont fait du bien quand j'en avais besoin. Valentine, Mathilde, Marie et Célia, merci pour votre écoute, votre présence et ce soutien mutuel qui nous a portées jusqu'au bout. Merci aussi à toutes les autres personnes, proches ou de passage, qui m'ont offert un mot, un geste ou une présence au bon moment : tout cela a compté plus que vous ne l'imaginez.

Merci à Camille, Rhéa, Clara, Séreina, Angélique, Caroline, Douna, Nathalie et Stéphanie, mes amies du Liban, d'être restées présentes malgré la distance. Merci d'avoir été à l'écoute, curieuse et bienveillante.

À toutes celles et ceux qui m'ont soutenue, de près ou de loin, dans ce travail comme dans les moments autour : merci.

DÉDICACE

À toutes les familles éloignées les unes des autres,
non par volonté, mais par nécessité.

À ma sœur, pour son courage qui m'inspire chaque jour.

À mon ange gardien, *Nanino*, qui veille sur nous avec tendresse.

Et à moi, pour avoir persévéré, malgré les moments de doute.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE	iv
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	x
RÉSUMÉ	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : Mise en contexte et problématique.....	4
1.1 Les inondations et le Québec.....	4
1.1.1 Les types d'inondations	5
1.1.2 Les conséquences et actions des inondations	6
1.1.3 Les inondations vécues au Québec.....	10
1.2 Le contexte québécois de la construction en zone inondable.....	14
1.2.1 Les bâtiments résidentiels existants en zone inondable au Québec.....	14
1.2.2 Les mesures existantes contre les inondations à l'échelle des maisons québécoises	17
1.3 L'évolution du cadre réglementaire encadrant les inondations au Québec	19
1.4 Problématique.....	23
1.4.1 Pourquoi s'adapter en zones inondables?.....	23
1.4.2 Question de recherche	25
CHAPITRE 2 : État des connaissances	27
2.1 La résilience et l'adaptation dans le contexte des inondations.....	27
2.1.1 La résilience	27
2.1.2 L'adaptation	29
2.1.3 Deux concepts complémentaires, mais distincts.....	30
2.2 Stratégies d'adaptation aux inondations	32
2.2.1 Stratégies d'adaptation à l'échelle urbaine	33
2.2.2 Stratégies d'adaptation à l'échelle du bâtiment.....	36
2.3 Diversification et adaptation : choix des stratégies pour une meilleure résilience.....	40

2.4 Exemples pratiques de mesures d'adaptation des bâtiments à l'internationale	51
2.4.1 États-Unis	52
2.4.2 Royaume-Uni	55
2.4.3 France	57
2.4.4 Australie	58
2.5 Éléments de synthèse	62
CHAPITRE 3 : Méthodologie	65
3.1 L'approche méthodologique	65
3.1.1 La recherche-crédation	65
3.1.2 Les scénarios prospectifs	69
3.2 Étude de terrain	73
CHAPITRE 4 : Scénarios.....	80
4.1 Imaginer des scénarios d'adaptation	80
4.2 Enjeux et limites des stratégies proposées.....	86
4.3 Au-delà des scénarios : analyse comparative des dispositifs de protection.....	90
CONCLUSION	93
ANNEXE 1 FICHE DE PRODUIT DES DISPOSITIFS ALTERNATIFS	99
ANNEXE 2 SCÉNARIOS PROSPECTIFS.....	127
ANNEXE 3 PROCESSUS DE CONCEPTION DU SYSTÈME FLOTTANT PÉRIPHÉRIQUE	143
BIBLIOGRAPHIE.....	149

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Retranscription du tableau présentant les dommages causés par une inondation sur une résidence typique, tiré du rapport <i>Cohabiter avec l'eau</i> (Levasseur, 2021) qui est une adaptation du tableau <i>Possible flood damage for a typical residential property</i> (Bowker et al., 2007)	8
Figure 1.2 Carte interactive des inondations printanières au Québec depuis 30 ans (Radio-Canada, 2017) https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1032722/historique-inondations-quebec-portrait-carte	12
Figure 1.3 Exemple de digue mobile modulaire installée en contexte résidentiel : une alternative plus rapide et réutilisable aux sacs de sable (Normandin, 2018)	18
Figure 1.4 Schéma récapitulatif des trois périodes principales de développement du cadre réglementaire au Québec (crédit : Joelle Kelzi).....	22
Figure 2.1 Tableau des dimensions de la résilience identifiées dans l'étude RAMSES (Kallaios <i>et al.</i> , 2015) avec des exemples tiré du livre <i>Retrofitting for Flood Resilience</i> (Barsley, 2020) (crédit : Joelle Kelzi)	31
Figure 2.2 Illustrations schématiques des six stratégies d'adaptation à l'échelle urbaine, tirées du livre <i>Retrofitting for Flood Resilience</i> (Barsley, 2020)	34
Figure 2.3 Tableau tiré de <i>Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your Home From Flooding</i> , illustrant les critères à respecter pour les services des professionnels du design et des entrepreneurs (FEMA P-312, 2014).....	42
Figure 2.4 Logigramme partie 1 : considération de stratégies d'évitement (crédit : Joelle Kelzi)	44
Figure 2.5 Logigramme partie 2 : considération de stratégies de résistance (crédit : Joelle Kelzi)	45
Figure 2.6 Logigramme partie 3 : considération de stratégies d'accueil (crédit : Joelle Kelzi)	46
Figure 2.7 Tableau comparatif des dispositifs présentés dans les fiches (crédit : Joelle Kelzi)	50
Figure 2.8 Fiche d'étude résidence pour une ou deux familles, tiré du guide <i>Coastal Flood Resilience Design Guidelines</i> (McGuinness <i>et al.</i> , 2019)	54
Figure 2.9 Coupes en 3D illustrant les changements réalisés pour rendre une maison résiliente, simulées selon un scénario « avant-après » inondation, tirées de <i>Retrofitting for Flood Resilience</i> (Barsley, 2020).....	55
Figure 2.10 De gauche à droite, exemples réels de résilience de maisons britanniques, tirés respectivement du <i>Homeowners' Guide to Property Flood Resilience</i> (Dhonau <i>et al.</i> , 2018) et de <i>Property Flood Resilience</i> (Dhonau et Kehoe, 2020)	56

Figure 2.11 Étude de cas 1 : Amélioration de la sécurité des occupants d'un pavillon individuel en cas d'inondation, tiré du <i>Référentiel de travaux de prévention de l'inondation dans l'habitat existant</i> (CEPRI et CSTB, 2012)	57
Figure 2.12 Exemple concret de mesures d'adaptation pour une maison détachée, tiré du guide <i>Flood Resilient Guide to Retrofitting Your Home</i> (Melbourn Water, 2020)	59
Figure 2.13 Coupe en perspective d'une maison détachée à construction légère en bois ou acier, tiré de <i>Flood Resilient Building Guidance for Queensland Homes</i> (The State of Queensland, 2019)	61
Figure 2.14 Coupe en perspective d'une maison détachée à construction sur dalle de béton avec un revêtement en briques, tiré de <i>Flood Resilient Building Guidance for Queensland Homes</i> (The State of Queensland, 2019)	61
Figure 3.1 Localisation du terrain d'étude sur la carte de Montréal (crédit : Joelle Kelzi)	73
Figure 3.2 Cartographie des typologies des maisons existantes dans le secteur d'étude (crédit : Joelle Kelzi)	76
Figure 3.3 Image représentative du cas 1 : maison unifamiliale à 2 étages avec sous-sol et garage accolé (crédit : <i>Google Street View</i> , mai 2019 et Joelle Kelzi)	77
Figure 3.4 Image représentative du cas 2 : maison unifamiliale à 2 étages avec vide sanitaire et garage intégré (crédit : <i>Google Street View</i> , mai 2019 et Joelle Kelzi)	78
Figure 3.5 Image représentative du cas 3 : maison unifamiliale du style bungalow avec sous-sol (crédit : <i>Google Street View</i> , mai 2019 et Joelle Kelzi)	78
Figure 3.6 Image représentative du cas 4 : maison jumelée avec vide sanitaire et garage intégré (crédit : <i>Google Street View</i> , mai 2019 et Joelle Kelzi)	79
Figure 4.1 Diagramme en barres : nombre de sacs de sable requis par cas pour un épisode et pour 6 épisodes sur une durée de 15 ans (crédit : Joelle Kelzi)	92

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ARIAction – Adaptation – Résilience – Innovation – Action

ASFQ – Architecture Sans Frontières Québec

CEPRI – Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation

CMM – Communauté métropolitaine de Montréal

FEMA – *Federal Emergency Management Agency*

GIEC – Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

GRI – *Grantham Research Institute*

MAMH – Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation

MELCCFP – Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faune et des Parcs

Systèmes MEP – Systèmes Mécaniques, Électriques et de Plomberie

MRC – Municipalité régionale de comté

MSP – Ministère de la Sécurité Publique

PRDI – Programme National de Réduction des Dommages causés par les Inondations

PPRLPI – Politique de Protection des Rives, du Littoral et des Plaines Inondables

RIISQ – Réseau Inondations InterSectoriel du Québec

SLR-DFE – *Sea Level Rise-Design Flood Elevation*

UNDRR – Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes

RÉSUMÉ

Les inondations représentent un enjeu majeur pour les villes riveraines du Québec en raison de leur fréquence croissante, de l'ampleur des dommages causés aux bâtiments résidentiels et des conséquences sur la santé physique et mentale des personnes affectées. Malgré une sensibilisation croissante et des ajustements réglementaires, les mesures mises en œuvre demeurent souvent temporaires et peu adaptées aux réalités du bâti existant. Le recours systématique aux sacs de sable pour créer des barrières temporaires, bien que largement répandu, illustre les limites des approches actuelles. Face aux défis d'adaptation durable imposés par les changements climatiques, ce mémoire explore des alternatives concrètes pour renforcer la résilience des maisons existantes en zones inondables. S'appuyant sur un état des connaissances en matière de résilience et d'adaptation, la recherche propose un inventaire des dispositifs spécialisés, une présentation de cas d'adaptation à l'international et une analyse critique du contexte résidentiel québécois. À partir de cas réels de maisons riveraines à Montréal, une série de scénarios prospectifs a été développée afin d'illustrer des stratégies durables et applicables à l'échelle du bâtiment et de son entourage. L'objectif est de dépasser les pratiques d'urgence ponctuelles en proposant des mesures de protection plus pérennes, accessibles aux occupants et adaptées aux réalités locales. Ainsi, ce mémoire vise à faire évoluer les pratiques de gestion du risque d'inondation en contexte résidentiel, en encourageant l'émergence de mesures durables et transférables.

Mots clés : design de l'environnement, inondations, zones inondables, résilience, stratégies d'adaptation, sacs de sable, dispositifs de protection, bâtiments résidentiels riverains, scénarios prospectifs

ABSTRACT

Flooding has become a major issue for riverside cities in Quebec due to its increasing frequency, the extent of damage to residential buildings, and its impacts on the physical and mental health of affected populations. Despite growing public awareness and regulatory adjustments, the measures implemented remain largely temporary and poorly adapted to the realities of the existing built environment. The widespread reliance on sandbags to create temporary barriers illustrates the limitations of current risk management approaches at the residential scale. Faced with the challenges of sustainable adaptation imposed by climate change, this thesis explores concrete alternatives to strengthen the resilience of existing homes in flood-prone areas. Building on a review of current knowledge in resilience and adaptation, the research proposes an inventory of specialized protection devices, presents international adaptation case studies, and offers a critical analysis of Quebec's residential context. Based on real cases of riverside houses in Montreal, a series of prospective scenarios illustrate durable and applicable strategies at the scale of individual buildings and their immediate surroundings. The objective is to move beyond short-term emergency measures by proposing sustainable protection measures that are accessible to homeowners and adapted to local realities. This thesis thus aims to contribute to the evolution of flood risk management practices in residential contexts by encouraging the development of durable, and replicable measures.

Keywords : environmental design, floods, flood-prone areas, resilience, adaptation strategies, sandbags, flood protection device, riverside residential buildings, prospective scenarios.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, mon intérêt s'est porté sur la manière dont les environnements bâtis peuvent mieux résister et s'adapter aux catastrophes, qu'elles soient d'origine naturelle ou humaine. Cet intérêt est issu d'une expérience personnelle marquante, qui a renforcé ma sensibilité aux enjeux liés à l'adaptation des milieux de vie afin de mieux faire preuve de résilience face à ces événements.

À mon arrivée à Montréal en 2021, cet intérêt s'est précisé. Lors de ma première année de maîtrise, j'ai été confrontée à l'ampleur du défi que représentent les inondations dans le contexte québécois. Le territoire, marqué par une forte présence d'eau – comme les fleuves, rivières, lacs et zones humides – est régulièrement exposé à des crues, dont la fréquence et la gravité se sont accentuées au cours des dernières années (Ouranos, 2024). Les inondations survenues notamment en 1996, 2011, 2017 et 2019 ont mis en lumière la vulnérabilité persistante des maisons riveraines, ainsi que les limites des mesures actuelles de protection (Commission de l'aménagement, 2017).

Cette problématique, également observée dans d'autres contextes internationaux, a conduit au développement de nouvelles façons de cohabiter avec le risque d'inondation. Ainsi, au début du XXI^e siècle, la philosophie de « vivre avec l'eau » a émergé, entraînant une nouvelle approche de la résilience des bâtiments résidentiels (Barsley, 2020). Les expériences répétées d'inondations majeures et les longs processus de rétablissement ont encouragé la recherche et les investissements dans ce domaine. Ce développement a permis d'acquérir une compréhension plus approfondie des stratégies visant à assurer la sécurité des personnes, réduire les dommages matériels et diminuer les délais de rétablissement (Proverbs et Lamond, 2017).

Au Québec, malgré des efforts récents pour sensibiliser les populations et fournir des outils d'information sur les risques d'inondation, l'application concrète de stratégies adaptées aux maisons existantes demeure encore limitée (Levasseur, 2021). De nombreuses initiatives visent à mieux documenter les risques et à proposer des mesures générales d'adaptation, mais elles s'arrêtent souvent à des recommandations génériques. Celles-ci incluent la surélévation des objets de valeur, l'installation d'une pompe de puisard, le scellement des fissures dans les fondations, l'entreposage sécurisé des matériaux dangereux, ou encore la mise en place de clapets anti-retour sur les conduites d'égout. D'autres conseils, plus organisationnels, recommandent de conserver une trousse d'urgence, de

s'informer des alertes météo, de prévoir un plan d'évacuation familial ou de vérifier sa couverture d'assurance en cas d'inondation. En pratique, l'utilisation de sacs de sable pour bloquer l'accès de l'eau aux bâtiments résidentiels constitue la mesure la plus fréquemment mise en œuvre par les gouvernements locaux à chaque période de crue. Des milliers de sacs sont fournis aux citoyens, mobilisant chaque année d'importantes ressources publiques pour leur achat, leur transport, leur installation et leur élimination (Corriveau, 2020). Bien qu'ils offrent une protection ponctuelle, ces dispositifs temporaires, remis en place d'une année à l'autre, ne sont ni économiques ni durables et s'avèrent exigeants en temps et en main-d'œuvre

Bien que le recours aux sacs de sable ait initialement été associé à des contextes d'urgence, leur présence demeure aujourd'hui bien visible sur le terrain, où des palettes de sacs sont entreposées à chaque coin de rue lors des périodes de crues. La disponibilité accrue de ces dispositifs reflète une prise en charge largement portée par les municipalités et perçue par plusieurs citoyens comme une réponse automatique de la Ville. Cette attente renforce l'idée que la Ville serait seule responsable de la protection contre les crues, contribuant à une forme de déresponsabilisation individuelle (Bouchard-Bastien, 2023). Ce décalage entre les attentes citoyennes et les responsabilités réelles peut freiner l'adoption de mesures individuelles d'adaptation. Cela se manifeste par le maintien de pratiques qui rendent vulnérables, telles que l'occupation ou la rénovation de sous-sols exposés (Gagné, 2017).

Chaque déploiement de sacs de sable s'accompagne d'importants défis logistiques, de coûts élevés (extraction du sable, achat, transport, remplissage, installation et gestion des déchets et des matières dangereuses), ainsi que de risques d'échec liés à la variabilité de la mise en œuvre sur le terrain (Corriveau, 2020). L'intérêt d'explorer des alternatives durables aux sacs de sable ne réside donc pas uniquement dans la fréquence des événements, mais bien dans la recherche d'une stratégie de protection plus fiable, plus efficace et plus pérenne. Dans un contexte où les changements climatiques tendent à accroître l'intensité et l'imprévisibilité des crues, il devient essentiel de proposer des options d'adaptation capables de réduire à la fois l'exposition des habitations aux dégâts matériels et la vulnérabilité organisationnelle des occupants (Levasseur, 2021 ; Ouranos, 2024).

Face à l'absence d'alternatives pratiques et durables aux solutions d'urgence traditionnelles, une question centrale se pose : comment favoriser la protection des maisons existantes contre les inondations de manière plus résiliente et durable ? Et, dans cette perspective, comment les citoyens

peuvent-ils agir à l'échelle de leur propriété, en complément des mesures mises en place par les autorités publiques ? Pour y répondre, il est essentiel de passer de recommandations générales à des exemples concrets, variés et contextualisés, capables de favoriser des adaptations reproductibles et adaptées aux réalités locales. Dans un contexte marqué par l'augmentation des événements climatiques extrêmes et l'urbanisation des milieux riverains, le développement de telles mesures constitue un pilier essentiel pour renforcer la résilience des communautés et réduire les impacts futurs.

Dans ce contexte, ce mémoire propose une démarche visant à franchir le passage du théorique au pratique, en imaginant des scénarios d'adaptation basés sur des cas existants et mettant en œuvre des mesures durables de protection. Il ne traite pas des transformations architecturales majeures ni de la reconstruction du bâti en zone inondable, mais s'intéresse plutôt à des alternatives concrètes et accessibles aux traditionnels sacs de sable, afin de favoriser la protection des maisons existantes. L'objectif est d'identifier et d'illustrer des stratégies durables, adaptées au contexte québécois, qui peuvent être mises en œuvre par les occupants eux-mêmes pour mieux se protéger contre les inondations. Ces stratégies visent également à pouvoir être reprises et adaptées par d'autres occupants confrontés à des situations comparables à celles explorées dans les scénarios.

La démarche adoptée repose sur la réalisation d'un inventaire des dispositifs de protection existants, l'analyse de maisons riveraines et sur l'élaboration de scénarios prospectifs, afin d'explorer différentes stratégies d'adaptation. La structure du mémoire s'organise en plusieurs parties. Un premier chapitre présente la mise en contexte, les enjeux et la problématique des inondations au Québec. Le deuxième chapitre expose l'état des connaissances sur les concepts de résilience et d'adaptation et sur les différentes stratégies de protection contre les inondations. Il dresse également un inventaire des dispositifs de protection contre les inondations, accompagnés d'exemples de cas de stratégies d'adaptation appliqués à l'échelle internationale. Le troisième chapitre décrit la méthodologie utilisée pour identifier des cas réels de maisons riveraines et élaborer des scénarios d'adaptation. Le dernier chapitre propose une analyse critique des dispositifs spécialisés et des pistes concrètes pour encourager l'adoption de mesures alternatives durables aux sacs de sable dans les zones inondables. Enfin, la conclusion revient sur le parcours de recherche, les apprentissages réalisés, les limites identifiées, ainsi que les perspectives ouvertes, tant sur le plan théorique que pratique, pour penser autrement la protection des maisons existantes face aux inondations.

CHAPITRE 1 :

Mise en contexte et problématique

Ce chapitre introduit la problématique des inondations au Québec, en explorant leurs causes, leur récurrence croissante et leurs conséquences sur les bâtiments et la santé des résidents. Il présente ensuite les spécificités du cadre bâti en zones inondables, en insistant sur la vulnérabilité des maisons existantes, souvent dotées de sous-sols, ainsi que sur l'évolution historique du territoire, qui a contribué à accentuer leur exposition aux inondations. Le chapitre aborde également les mesures de protection utilisées actuellement, notamment les digues de sacs de sable, en exposant leurs limites pratiques et environnementales. Enfin, il retrace l'évolution du cadre réglementaire québécois et mène à la formulation de la problématique et de la question de recherche du mémoire.

1.1 Les inondations et le Québec

Les inondations constituent l'un des aléas climatiques dont les conséquences sont catastrophiques dans de nombreux pays. Les personnes, les communautés, les entreprises et les gouvernements touchés subissent des impacts sociaux, économiques, physiques, psychologiques et environnementaux. Au Canada, les inondations sont devenues les catastrophes naturelles les plus coûteuses, entraînant une hausse des fonds d'aide d'urgence accordés par les gouvernements fédéraux, provinciaux et territoriaux, ainsi qu'une augmentation des sinistres assurés et non assurés (Moudrak et Feltmate, 2020). D'ailleurs, 80% des villes canadiennes sont implantées sur des plaines inondables, les exposant davantage aux risques d'inondations (Golnaraghi *et al.*, 2020).

Au Québec, les inondations sont le type de catastrophe naturelle le plus fréquent (Institut national de santé publique du Québec, 2012). Cette situation s'explique en partie par l'omniprésence de l'eau sur le territoire, que ce soit l'océan à l'est, le fleuve Saint-Laurent, ou encore les innombrables lacs, rivières, cours d'eau, ruisseaux, zones humides et marécages. Parmi les inondations observées au Québec, celles en eau libre, les embâcles, les submersions côtières et les inondations urbaines sont les plus courantes, avec une récurrence particulièrement élevée des inondations en eau libre (Ouranos, 2024). Ces événements peuvent se produire pendant les crues printanières causées par la fonte des neiges et les pluies de printemps, ainsi que lors des crues estivales, ou crues éclairées, causées par les fortes précipitations en été. Ces crues causent des périodes d'inondations qui peuvent s'étaler sur des semaines, faisant des inondations saisonnières le long des rives une préoccupation majeure.

1.1.1 Les types d'inondations

La compréhension des types d'inondations, ainsi que de leurs causes sous-jacentes est essentielle pour définir des stratégies de prévention et de gestion adaptées. Cela permet de minimiser leurs impacts et d'estimer leur récurrence (Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2021). Les types d'inondations mentionnés ci-dessus, en complément aux autres types d'inondations recensés au Canada, sont détaillés ci-dessous (Environnement et Changement climatique Canada, 2013 ; Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2021):

- **Inondations en eau libre** surviennent lorsque le débit des rivières et des cours d'eau dépasse leur capacité normale, entraînant un débordement sur les terrains environnants. Elles sont généralement causées par des précipitations abondantes et prolongées, la fonte des neiges ou une combinaison des deux.
- **Inondations dues au ruissellement causé par la fonte des neiges** surviennent au printemps lorsque la neige fond rapidement, souvent combinée avec des pluies, saturant le sol et les systèmes de drainage. Elles peuvent durer plusieurs semaines et sont exacerbées par des températures élevées. Contrairement aux inondations en eau libre, elles peuvent survenir même sans débordement de cours d'eau, en raison d'une infiltration excessive et d'un ruissellement incontrôlé sur des surfaces imperméabilisées ou mal drainées.
- **Inondations dues aux tempêtes et aux fortes pluies** peuvent provoquer des crues éclair et submerger les infrastructures de drainage, surtout en milieu urbain. Elles peuvent aussi exacerber d'autres types d'inondations, comme celles liées à la fonte des neiges.
- **Inondations dues aux embâcles** se produisent lorsque la glace ou des débris bloquent temporairement l'écoulement des rivières, créant des barrages naturels. Lorsqu'ils cèdent, des inondations soudaines peuvent survenir en amont et en aval.
- **Inondations dues aux barrages naturels** créés par des glissements de terrain, des débris ou des glaciers peuvent bloquer les rivières, et leur rupture provoque des inondations rapides et localisées, souvent très destructrices.
- **Inondations dues à des défaillances structurelles** se produisent lorsque des infrastructures comme des barrages ou des digues échouent sous l'effet d'une surcharge ou de mauvais entretien. Elles peuvent entraîner des inondations rapides et graves, surtout en raison de la vitesse des eaux. Des inondations peuvent aussi être causées par des défaillances des systèmes de plomberie ou des conduites d'eau, comme les ruptures de tuyaux d'alimentation, les fuites

des appareils ménagers, ou les défaillances d'infrastructures publiques, provoquant des dégâts au niveau de la propriété ou à l'échelle de la communauté.

- **Inondations côtières** résultent de l'action des vagues, des marées, des ondes de tempête et des tsunamis, souvent exacerbées par l'élévation du niveau de l'eau. Elles affectent principalement les zones côtières et les grands lacs.
- **Inondations urbaines** causées par un excédent de ruissellement sur des surfaces imperméables. Elles surviennent souvent après des pluies abondantes et peuvent saturer les systèmes de drainage, entraînant des inondations localisées et des dégâts matériels.
- **Inondations par les eaux souterraines** surviennent lorsque la nappe phréatique monte trop haut. L'eau peut infiltrer les sous-sols à travers des fissures dans les fondations, surtout après de longues périodes de pluie ou de fonte des neiges.

1.1.2 Les conséquences et actions des inondations

1.1.2.1 Sur les bâtiments

Les dommages matériels causés par les inondations touchent la structure, les matériaux et les équipements mécaniques, électriques et de plomberie d'un bâtiment. Edward Barsley, spécialiste en design environnemental en architecture et directeur de *The Environmental Design Studio* (TEDS), explique dans son livre *Retrofitting for flood resilience : a guide to building and community design* (2020) que l'ampleur des dommages varie en fonction du type d'inondation, du contexte et de toutes les conditions économiques et environnementales du milieu. Voici quelques éléments à considérer :

- le volume et la profondeur de l'eau d'inondation ;
- la vitesse à laquelle elle se déplace ;
- la température de l'eau ;
- les substances présentes dans l'eau, si elle est salée, contaminée ou remplie de débris ;
- l'ampleur (la hauteur, la longueur et la fréquence des vagues) ;
- la vitesse du vent et les forces dues aux charges éoliennes ;
- la direction du vent ;
- le temps d'avertissement d'inondation ;
- les conditions topographiques ;
- la présence d'autres risques (par exemple, l'effet cascade des bâtiments effondrés) ;
- l'âge et l'état de l'infrastructure.

Ainsi, quand un bâtiment est inondé, il est soumis à plusieurs forces (Barsley, 2020 ; Levasseur, 2021) :

- l'impact des vagues (force hydrodynamique) ;
- la pression latérale sur les fondations et les murs (poussée hydrostatique) ;
- le soulèvement (poussée hydrostatique d'Archimède) ;
- l'érosion des fondations (force hydrodynamique) ;
- l'impact des débris (force hydrodynamique) ;
- la vitesse élevée du courant (force hydrodynamique) ;
- la montée par capillarité de l'eau dans les matériaux au-delà du niveau des eaux.

Les dommages potentiels pouvant affectés un bâtiment résidentiel sont divers. Dans le guide *Improving the Flood Performance of New Buildings*, Bowker, Escameia et Tagg établissent une liste de ces dommages en fonction de différentes profondeurs et hauteurs de submersion (Bowker *et al.*, 2007). Cette liste est présentée dans le tableau (figure 1.1) qui suit tiré du rapport *Cohabiter avec l'eau* (Levasseur, 2021).

De plus, l'eau constitue une menace directe pour les bâtiments et les biens qu'ils abritent. Les risques ne proviennent pas seulement des courants et des forces du flux, mais aussi des éléments indésirables présents dans l'eau d'inondation. La plupart des eaux de crue contiennent des contaminants et dangers divers, comprenant l'acide de batterie des voitures inondées, des hydrocarbures, des objets tranchants, des eaux usées, des sédiments, du sel, des chocs électriques, ainsi que d'autres débris (Barsley, 2020 ; Bowker *et al.*, 2007). Ces éléments peuvent potentiellement affecter la santé des occupants et compromettre la performance des bâtiments. Les voies par lesquelles cette eau peut s'infiltrer dans les maisons sont multiples (Bowker *et al.*, 2007 ; Levasseur, 2021) :

- les joints et fissures dans les murs extérieurs ;
- les événements à briques et les trous dans le mortier des murs de maçonnerie ou de pierre ;
- les joints à la rencontre de différents matériaux de construction dans les murs ou entre la dalle de plancher et le mur ;
- le plancher du rez-de-chaussée par suintement à travers la fondation du sous-sol ;
- les dispositifs de ventilation naturelle ;
- les joints au pourtour des portes et fenêtres ;
- les seuils de porte et ouvertures de fenêtres ;

- les entrées de service, par ex. tuyaux utilitaires, conduits de ventilation, câbles électriques et téléphoniques ;
- les clapets anti-retour d'un système de drainage surchargé.

HAUTEUR DE SUBMERSION	DOMMAGES AU BÂTIMENT	DOMMAGES AUX ÉQUIPEMENTS
Sous le niveau du RDC	Érosion possible sous les fondations, provoquant instabilité et tassement Corrosion possible des composants métalliques (par exemple: supports de poutrelles) Absorption d'humidité excessive dans le bois, provoquant un gauchissement Fissuration des fondations due aux poussées latérales ou à la pression de soulèvement (au Québec, nous avons également observé le soulèvement de bâtiments entiers lors de submersion de fondations imperméabilisées) Accumulation de limon contaminé Faiblesses structurelles et matérielles dues à un séchage inapproprié Pourriture et moisissure	Dommages aux prises électriques et autres services dans les sous-sols Dommages aux équipements mécaniques, électriques et de plomberie situés dans les sous-sols
Niveau du RDC jusqu'à 0,5 mètres au-dessus	Accumulation d'eau et de limon dans les parois de la cavité, avec une réduction potentielle des propriétés isolantes, pour certains matériaux L'isolant d'un plancher immergé peut avoir tendance à flotter et provoquer le décollement de la chape Dommages aux finitions internes, telles que les revêtements muraux et les revêtements en plâtre Les sols et les murs peuvent être affectés à des degrés divers et peuvent nécessiter un nettoyage et un séchage Matériaux à base de bois susceptibles de nécessiter un remplacement Dommages aux portes intérieures et extérieures et aux plinthes Corrosion des fixations métalliques Pourriture et moisissure	Dommages aux compteurs d'eau, d'électricité et de gaz Dommages aux chaudières de bas niveau et à certains systèmes de chauffage par le sol Dommages au câblage et aux services de communication Les tapis et les revêtements de sol peuvent devoir être remplacés Les comptoirs de cuisine en bois devront probablement être remplacés Les appareils électriques doivent peut-être être remplacés L'isolation de la tuyauterie peut devoir être remplacée
	Augmentation des dégâts aux murs Augmentation des dommages structurels due aux pressions différentielles (voire dislocation du bâtiment de ses fondations) Dommages aux fenêtres dues aux pressions différentielles Érosion de la surface du sol Endommagement de la structure par de gros éléments de débris flottants	Dommages aux unités et cabinets supérieurs, aux services électriques et aux appareils

Figure 1.1 Retranscription du tableau présentant les dommages causés par une inondation sur une résidence typique, tiré du rapport *Cohabiter avec l'eau* (Levasseur, 2021) qui est une adaptation du tableau *Possible flood damage for a typical residential property* (Bowker et al., 2007)

1.1.2.2 Sur la santé des résidents

En plus de causer des dommages potentiels à la structure d'un bâtiment, les inondations peuvent également avoir des impacts directs ou indirects sur la santé des personnes qui y habitent. Pendant l'évacuation, le nettoyage ou la restauration des maisons, les personnes concernées peuvent subir des lésions. Le courant d'eau rapide ou les structures affaiblies pourraient causer de graves blessures, voire la mort des résidents. Si l'eau d'inondation est contaminée ou si le bâtiment est réoccupé avant qu'il ne soit séché correctement, les personnes peuvent développer des problèmes respiratoires et des infections en raison de l'insalubrité. Les inondations peuvent aussi aggraver des problèmes physiques préexistants et causer l'apparition de nouveaux problèmes de santé sur le long terme comme l'hypertension, l'épuisement physique, les problèmes dermatologiques, les complications gastro-intestinales, les douleurs musculaires et osseuses, les problèmes aux articulations, les affections virales, les maux de tête, etc. (Bowker *et al.*, 2007 ; Cirnu, 2021).

Ces événements causent aussi une dégradation de la santé mentale des résidents dans les jours, semaines, mois ou années qui suivent. Selon l'enquête nationale sur les impacts socio-sanitaires des inondations de 2019 réalisée dans le cadre du *Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques* du gouvernement du Québec, les personnes inondées présentent 4 à 5 fois plus de problèmes de santé mentale que celle dont la maison a été épargnée (Généreux *et al.*, 2020). Les problèmes de santé mentale les plus souvent documentés sont la présence d'anxiété, de panique, d'angoisse, de dépression et de stress post-traumatique. Le pourcentage des personnes présentant différents types de troubles est influencé par l'ampleur des pertes humaines, matérielles et économiques subies, de la durée du sinistre et le stress perçu par la perturbation du mode de vie pendant et après l'inondation (Cirnu, 2021).

Les problèmes de santé, qu'ils soient physiques ou psychologiques, peuvent persister chez les sinistrés pendant une période prolongée, parfois pendant plusieurs années. Plus la menace vécue et les pertes matérielles et affectives étaient importantes, plus les sinistrés risquent de développer des troubles divers de santé (Cirnu, 2021).

1.1.3 Les inondations vécues au Québec

Au cours des dernières années, le Québec a été témoin de plusieurs inondations, entraînant des conséquences tant au niveau des bâtiments que de la santé des sinistrés. En raison de sa position géographique, la province est sujette à une grande variabilité climatique ce qui rend les inondations un problème périodique (Ouranos, 2024). Son climat nordique se distingue par des hivers rigoureux, accompagnés de froids intenses et de fortes accumulations de neige, tandis que les étés deviennent de plus en plus synonymes de chaleurs extrêmes et de précipitations torrentielles (Bégin, 2022). De plus, selon les régions, la province connaît entre 50 à 70 cycles de gel et dégel par an, ce qui fragilise les sols et les infrastructures (Atlas climatique du Canada, 2019). Ce phénomène limite l'infiltration de l'eau et accentue le ruissellement, augmentant ainsi les risques d'inondation.

En raison de phénomènes météorologiques extrêmes causés par les changements climatiques, les inondations sont plus fréquentes et plus intenses ces dernières années (Oxfam International, 2022). Selon le *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Bush et Lemmen, 2019),

« [...] le moment de pointe saisonnier de l'écoulement fluvial a changé en raison du réchauffement des températures. Au cours des dernières décennies au Canada, la pointe printanière de l'écoulement fluvial après la fonte des neiges s'est produite plus tôt, avec des écoulements plus élevés en hiver et au début du printemps [...] les températures plus élevées prévues entraîneront un changement vers les inondations précoces associées à la fonte des neiges printanières, aux embâcles et aux événements de pluie sur neige. »

La problématique des inondations, au Québec comme dans d'autres régions du monde, n'est pas uniquement attribuable aux phénomènes naturels et aux changements climatiques, mais également au développement urbain du territoire. La majorité de la population québécoise habite à proximité des réseaux hydrographiques. Ces aires d'activités humaines denses provoquent une pression importante sur les environnements fluviaux (Boivin, 2017).

À cause de l'étalement urbain, de la densification croissante des quartiers et de la minéralisation des sols, il existe de moins en moins de milieux humides pour capter et retenir les crues d'eau provenant des perturbations météorologiques (Borde, 2017). Selon *Canards Illimités Canada* (Kaumeyer, 2022), 70% à 90% des milieux humides sont disparus dans la province. D'ailleurs, Hachem Agili, co-fondateur de la société Géosapiens, estime que 700 municipalités québécoises seront exposées à des risques d'inondations dans les années à venir (Croteau, 2019).

Ces dernières décennies, le Québec a été touché par plusieurs inondations majeures (figure 1.2), parmi lesquelles les plus marquantes sont décrites ci-dessous :

- En **1996**, la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean a été frappée par des inondations dévastatrices, connues sous le nom de « déluge du Saguenay ». Des pluies torrentielles ont entraîné des crues soudaines, causant des dommages considérables aux infrastructures et aux habitations. Plus de 16 000 personnes ont été évacuées, 488 maisons détruites et 1 230 endommagées. Tragiquement, cette catastrophe a causé la perte de dix vies. Les dommages matériels ont été estimés à plus d'un milliard de dollars, affectant gravement l'économie locale (Radio-Canada, 2016).
- En **2005**, des pluies diluviennes ont provoqué des crues soudaines des rivières et des réseaux d'égouts, submergeant de nombreuses villes et infrastructures importantes. À Montréal, un refoulement d'égout massif a provoqué la fermeture complète de l'autoroute 40. Près de 700 maisons ont été inondées et 25 voitures ont été endommagées (Croteau, 2009).
- En **2011**, à cause d'une fonte rapide de la neige et de fortes précipitations, de nombreuses rivières sont sorties de leur lit. Au sud de Montréal, les riverains de la vallée de Richelieu ont été parmi les plus touchés. Plus de 2500 maisons ont été endommagées et 1600 résidents ont dû évacuer leur maison en raison des risques pour leur santé (Bedard, 2021).
- En **2017**, de l'Outaouais à la Gaspésie, en passant par Montréal, plusieurs régions du Québec ont subi des inondations sans précédent. La combinaison de plusieurs facteurs climatiques a favorisé une crue historique et plusieurs glissements de terrain. 291 municipalités, réparties dans 15 régions administratives du Québec, ont été touchées et plus de 400 résidences principales ont été détruites (Cabinet du ministre de la Sécurité publique, 2017).
- En **2019**, la province a été touchée par des inondations de moindre envergure qu'en 2017, mais qui ont néanmoins causé des dégâts importants. À travers le Québec, plus de 6400 maisons ont été inondées et 3500 maisons ont été isolées par l'eau (Paré, 2019).
- En **2024**, la tempête Debby a provoqué d'importantes inondations dans le sud du Québec, particulièrement à Montréal, en raison de pluies torrentielles enregistrant jusqu'à 157 mm en 24 heures à l'aéroport de Dorval, un record pour la région. Ces précipitations extrêmes ont causé des refoulements d'égouts, des routes submergées et des pannes d'électricité touchant plus de 550 000 foyers (Lavoie, 2024).

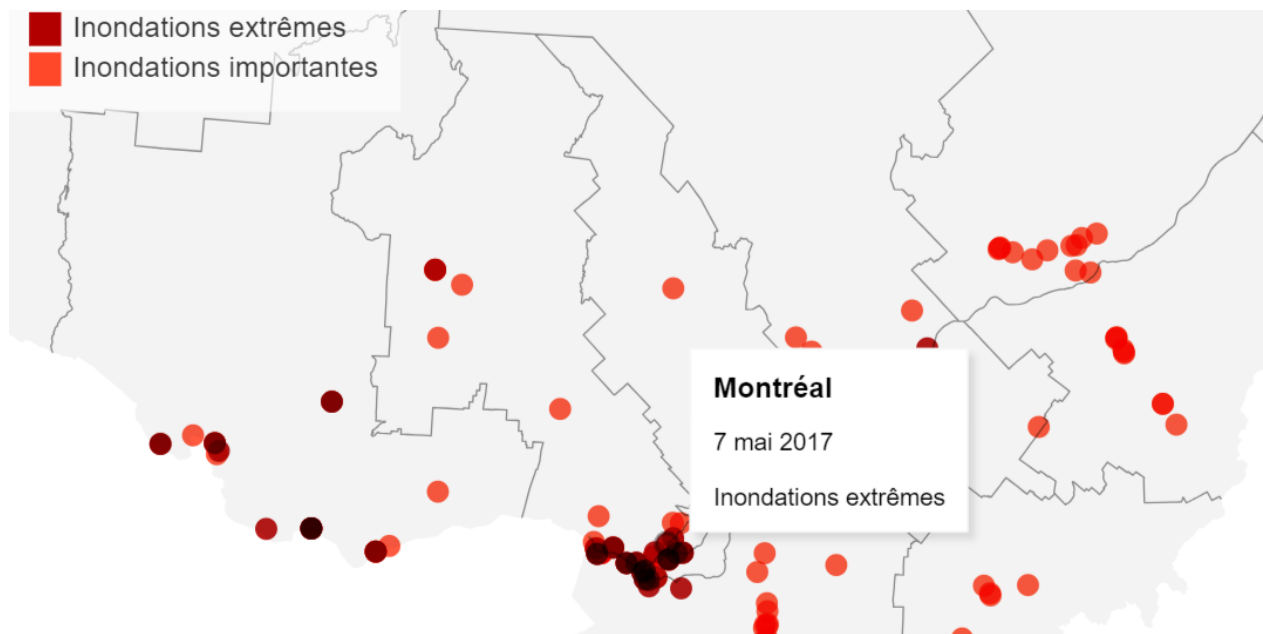


Figure 1.2 Carte interactive des inondations printanières au Québec depuis 30 ans (Radio-Canada, 2017)
<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1032722/historique-inondations-quebec-portrait-carte>

À la suite de ces évènements majeurs, les municipalités et le ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs (MELCCFP) ont cartographié et mis à jour la configuration et la dimension des zones affectées. Les zones inondables répertoriées sont définies comme étant « des espaces qui peuvent être occupés par l'eau d'un lac ou d'un cours d'eau lorsque le niveau de l'eau monte (crue) » (Gouvernement du Québec, 2023a). Sur ces cartes, deux types de zones inondables sont identifiées, selon la probabilité d'être inondées : les zones de faible courant et les zones de grand courant. Les zones de faible courant sont les zones qui ont une chance sur 100 (1 % de chance) d'être inondées chaque année. Les inondations y sont peu fréquentes. Les zones de grand courant sont celles qui ont une chance sur 20 (5 % de chance) d'être inondées chaque année. Les inondations y sont plus courantes et présentent dans certains cas un risque plus important pour les résidents (Gouvernement du Québec, 2023a). Selon le MELCCFP, de nouvelles zones devraient être identifiées chaque année. À cause des changements climatiques et de la disparition des milieux humides évoqués précédemment, des régions n'étant jamais inondées au-paravant sont ajoutées à cette liste croissante de zones inondables.

Bien que les zones inondables identifiées soient généralement situées à proximité des rivières et des lacs, des inondations se produisent également dans les zones urbaines. En effet, au-delà de la cartographie établie, il arrive que des secteurs soient inondés en raison de l'accumulation d'eau de pluie dans les systèmes d'égouts causant un refoulement d'un égout de surface ou la défaillance du système de drainage par pompage. De plus, il arrive que d'autres secteurs soient auto-inondés en raison d'une mauvaise gestion de l'eau sur un toit plat ou d'installation de gouttières mal orientées qui n'éloigne pas efficacement l'eau de la structure de la maison. Il est donc important de noter que les inondations peuvent avoir lieu à tout moment, à tout lieu et indépendamment de la présence de corps d'eau.

En conclusion, les inondations représentent un défi majeur pour toute personne, communauté ou organisation exposée, avec des conséquences qui vont bien au-delà des pertes financières. En plus des dommages matériels, les inondations ont des répercussions significatives sur le bien-être social et sur la santé publique et personnelle qui sont difficiles à quantifier. Elles affectent également le patrimoine, l'environnement et les budgets municipaux consacrés à la gestion des risques (Ouranos, 2023). Les multiples incidents dévastateurs survenus au Québec au cours des dernières décennies ont conduit à une prise de conscience croissante des risques liés aux inondations. Les municipalités affectées, les ministères impliqués (MELCCFP, MAMH, MSP), les organismes et les laboratoires de recherche québécois (ASFQ, RIISQ, ARIAction) continuent de se mobiliser pour éduquer les citoyens, préparer les communautés, prévenir les risques et améliorer la gestion des inondations futures.

Cependant, malgré cette vigilance accrue, la vulnérabilité des citoyens ne cesse d'évoluer et les inondations continuent de menacer les maisons québécoises. L'ampleur de ces événements souligne la nécessité de renforcer les mesures de protection, d'adaptation et de gestion pour rendre les populations plus résilientes. Ainsi, cette recherche se concentrera sur les maisons situées en zones inondables près des cours d'eau, affectées par le type d'inondation le plus fréquent au Québec : les inondations en eau libre¹ (Dauphin, 2021).

¹ Ce phénomène, causé par le débordement des rivières, est historiquement associé aux crues printanières et demeure préoccupant dans les secteurs riverains. Toutefois, les inondations pluviales, provoquées par des précipitations intenses, tendent à affecter un plus grand nombre de personnes, en particulier en milieu urbain, en raison de la densité du bâti et de la forte imperméabilisation des sols (INSPQ, 2024).

Ainsi, cette recherche se concentrera sur les maisons situées en zones inondables près des cours d'eau, principalement exposées aux inondations dites en eau libre. Ce type d'inondation, causé par le débordement de rivières, constitue l'un des phénomènes les plus courants dans les secteurs riverains du Québec, bien que les inondations pluviales en milieu urbain puissent toucher un plus grand nombre de personnes à l'échelle des grandes villes.

1.2 Le contexte québécois de la construction en zone inondable

1.2.1 Les bâtiments résidentiels existants en zone inondable au Québec

Historiquement, les communautés du Québec se sont implantées près des cours d'eau pour faciliter l'accès aux ressources et au transport. Cet attrait des bords de l'eau a conduit à une urbanisation croissante et au développement de bâtiments résidentiels dans les zones riveraines, souvent sans tenir compte des risques d'inondation. Cela a aggravé la vulnérabilité de la société québécoise. Cependant, l'implantation des bâtiments en zones inondables n'est pas le seul facteur contribuant à cette vulnérabilité. La structure même de ces constructions, notamment la présence de sous-sol, constitue un élément crucial augmentant encore les risques. Ce problème remonte à plusieurs décennies (Gagné, 2017).

Avant le XX^e siècle, la densité des populations le long des rivières était relativement faible. Les berges étaient utilisées pour l'agriculture, le commerce, les activités de loisirs saisonnières et les résidences secondaires. Ces dernières ont émergé comme des lieux de villégiature estivale offrant aux familles un refuge pour passer l'été. Ces chalets construits en bordure de l'eau étaient conçus pour être des résidences saisonnières. Au début du XX^e siècle, l'urbanisation s'accélère avec le développement du réseau ferroviaire, l'essor de l'automobile et l'implantation d'institutions diverses le long des cours d'eau. Ces développements contribuent à l'augmentation de la population riveraine. En effet, la population, d'abord vacancière, s'installe graduellement de façon permanente. De ce fait, de nombreuses propriétés riveraines sont converties en résidences permanentes, transformant ainsi les chalets en bordure de l'eau (Dagenais, 2020 ; Division du patrimoine, 2013).

Cette évolution a marqué un changement dans la perception et la gestion des risques, notamment des inondations. L'arrivée de nouveaux résidents permanents, souvent moins familiers avec les dynamiques naturelles locales, a contribué à une rupture dans la transmission de la mémoire collective et des savoirs traditionnels essentiels à la coexistence avec les milieux riverains (Bouchard-Bastien, 2023). Aujourd'hui,

ce changement entraîne des problèmes. Gérard Beaudet, urbaniste québécois et ancien professeur à l'école d'urbanisme et d'architecture de paysage à l'Université de Montréal, l'explique ainsi (Gagné, 2017) :

« à l'époque, la très grande majorité des chalets construits en bordure de plans d'eau étaient sur pilotis. Une partie du problème est apparu lorsque les propriétaires de ces demeures ont commencé à transformer leur chalet en résidence permanente en y ajoutant un sous-sol. Cela avait l'avantage de hausser la valeur de leur propriété. »

Bien que les sous-sols soient couramment intégrés dans les constructions au Québec, ils se révèlent être un point de vulnérabilité majeur dans les zones d'inondations (Laroche, 2023). La montée des eaux peut rapidement les inonder, voir les submerger, entraînant d'importants dégâts matériels et des problèmes structurels, atteignant parfois les niveaux supérieurs. De plus, ces espaces sont généralement aménagés pour servir de lieu de vie ou de chambres à coucher. Ils sont propices à l'accumulation d'humidité et de moisissures, ce qui peut entraîner à long terme des problèmes de santé pour les habitants. Les mauvaises pratiques de revêtements pour les sous-sols, telles que l'utilisation de matières organiques et de gypse, sont principalement responsables de l'augmentation de l'humidité et de la destruction complète des sous-sols lors d'inondations (Paradis Bolduc, 2021). De ce fait, ces zones conçues à la base pour offrir un espace supplémentaire pour les habitants et une zone de fraîcheur augmentent la vulnérabilité des maisons face à leur contexte environnemental.

Les maisons présentes aujourd'hui sont le produit d'une évolution graduelle, où des résidences plus anciennes ont été rénovées, agrandies, modernisées, démolies et reconstruites au fil du temps pour répondre aux besoins changeants des habitants. Cela peut inclure des améliorations structurelles, des ajouts de commodités modernes ou des rénovations esthétiques. Mais vu le contexte d'urgence climatique actuel, les habitations doivent aussi évoluer pour répondre aux nouvelles contraintes climatiques.

Avec le changement du contexte environnemental, la majorité des bâtiments résidentiels autrefois considérés comme sûrs sont confrontés à de nouveaux défis. De nombreuses maisons situées aujourd'hui dans des zones inondables n'ont pas été initialement conçues pour faire face à ces risques, obligeant leurs occupants à affronter des inondations de plus en plus fréquentes et dévastatrices ces dernières années. Par conséquent, un bon nombre des maisons existantes sont le résultat de travaux de reconstruction ou de rénovation à la suite de ces événements. Certaines maisons reconstruites sont

restées fidèles à leur conception initiale, avec sous-sol aménagés servant d'espaces de vie, sans tenir compte des risques d'inondations à l'avenir (Gagné, 2017). D'autres ont été rénovés en adoptant des stratégies adaptatives, comme la construction sur pilotis ou sans sous-sol, afin de réduire les risques d'inondations futures. Selon André Bourassa, architecte et ancien président de l'Ordre des architectes du Québec, les maisons sans sous-sol réduisent de 25% les risques de dommages causés par l'eau. Toutefois, il souligne l'importance de surélever les maisons dans tel cas pour assurer le passage de l'eau (Gagné, 2017). De plus, certains résidents ont envisagé d'utiliser les sous-sols non aménagés comme espaces amphibies où l'eau peut s'accumuler et s'évacuer selon la montée des crues sans créer des dommages matériels importants (Bouchard-Bastien, 2023).

D'autres experts suggèrent que la meilleure solution serait de relocaliser les habitants. Cependant, ces alternatives de relocalisation sont très coûteuses et complexes à réaliser (Biron, 2019). En effet, selon une recension d'écrits internationaux réalisée par Emmanuelle Bouchard-Bastien, conseillère scientifique de l'Institut national de santé publique du Québec, divers facteurs suscitent le souhait des habitants à demeurer sur place : l'attachement au milieu de vie et le lien identitaire ou économique avec le milieu, les contraintes financières et la sous-estimation des risques. De plus, elle souligne l'existence de plusieurs difficultés quant à la mise en œuvre des programmes de relocalisation. Bien que l'idée de relocalisation soit issue d'une bonne intention, plusieurs facteurs impactent négativement les habitants concernés soit l'ambiguïté des critères d'admissibilité, les lacunes dans la diffusion d'information, les longs délais du processus de rachat et les compensations financières insuffisantes (Bouchard-Bastien, 2022). La perte involontaire de son chez-soi cause des effets sociaux (fragmentation des quartiers, changement des modes de vie), des effets économiques (appauvrissement, perte des services de proximité) et des effets individuels (sentiment de perte de contrôle, d'injustice) importants (Bouchard-Bastien, 2022). La relocalisation ne devrait pas et ne pourrait pas être le premier recours de gestion des inondations. D'après Nicolas Milot, conseiller en recherche pour la CMM, au moins 75% des zones inondables de la CMM sont déjà développées. Selon les estimations de l'organisme, la relocalisation de ces habitants pourrait coûter entre 1,5 et 2 milliards de dollars canadiens (Lepage, 2019). Ainsi, dans certains cas, la meilleure approche semble être d'adapter et de protéger les maisons existantes pour faire face aux risques d'inondation.

1.2.2 Les mesures existantes contre les inondations à l'échelle des maisons québécoises

Le cadre bâti québécois actuel est ancré dans des zones exposées à divers degrés de risques d'inondation. Certaines communautés ne sont pas préparées à affronter ces risques et ne sont pas protégées adéquatement par des infrastructures de défense à l'échelle du territoire. Ces lacunes s'expliquent par des contraintes économiques, techniques ou environnementales, mais aussi par le principe d'équité, qui vise à éviter le transfert des risques vers d'autres zones (Levasseur, 2021).

Face à cette réalité, les autorités locales encouragent la responsabilité individuelle des résidents pour assurer leur propre sécurité (Arrondissement de Pierrefonds-Roxboro, 2021). Avant les périodes de crues, des recommandations, fournies pour aider les citoyens à mieux se préparer et à limiter les conséquences des inondations, sont mises en pratique. Bien que les périodes de crues ne durent que quelques semaines par an, elles exigent beaucoup de préparation pour réduire les dégâts matériels. Parmi les mesures suggérées figurent des pratiques de bases essentielles, telles que la préparation de trousse d'urgence, la définition d'un plan d'urgence et l'entreposage des documents importants à un étage supérieur (Gouvernement du Québec, 2022b).

Concernant les bâtiments résidentiels, des mesures spécifiques sont proposées pour réduire les risques d'inondation, notamment l'étanchéisation et l'installation de barrière physique. L'efficacité de ces approches varie, avec une réduction estimée du risque allant de 10 à 30 % pour l'étanchéisation et de 15 à 60 % pour les barrières physiques (Institut national de santé publique du Québec, 2024). L'étanchéisation comprend plusieurs actions ciblées : le renforcement des murs pour résister à la pression de l'eau, l'utilisation de matériaux hydrofuges, l'installation de valves anti-retours et de pompes submersible à sens unique, ainsi que l'entreposage des éléments vulnérables à l'eau aux étages supérieurs. Par ailleurs, l'installation de barrières physiques inclut des mesures, telles que l'utilisation de sacs de sables et de membranes de polyéthylène devant chaque entrée et ouverture (porte, garage, fenêtre sous-sol), le calfeutrage des portes et fenêtres et l'installation de batardeaux. Parmi ces recommandations, la construction de digues de sacs de sable figure parmi les mesures de protection les plus couramment adoptées à l'échelle individuelle au Québec. À cet effet, des guides pratiques sont régulièrement partagés pour aider les citoyens à mettre en œuvre ces digues de manière efficace (Organisation de la sécurité civile du Québec, 2011).

Malgré leur omniprésence dans les stratégies municipales et individuelles, les sacs de sable présentent des inconvénients majeurs. Leur installation exige beaucoup de temps, d'efforts et de main-d'œuvre. Par exemple, construire une barrière en sacs de sables, équivalente à deux digues mobiles (figure 1.3), nécessiterait entre 300 et 400 sacs, mobiliserait une vingtaine de personnes et prendrait cinq à six heures. En comparaison, ces digues mobiles, des modules rigides préfabriqués qui s'emboîtent pour former une barrière étanche, pèsent 12 kg par bloc et peuvent être assemblées en une heure par une équipe de trois personnes (Normandin, 2018). En situation d'urgence, le manque de sacs pré-remplis peut retarder les interventions, aggravant ainsi les risques. Le démantèlement des sacs de sable et leur gestion après les inondations demandent des ressources humaines et matérielles considérables.



Figure 1.3 Exemple de digue mobile modulaire installée en contexte résidentiel : une alternative plus rapide et réutilisable aux sacs de sable (Normandin, 2018)

Toutes ces contraintes engendrent des coûts importants pour les gouvernements locaux. À titre d'exemple, la ville de Montréal a dépensé environ 17 millions de dollars en 2019 pour faire face aux inondations printanières, couvrant des dépenses telles que l'achat de matériaux, la main-d'œuvre pour la distribution, l'installation et le ramassage des équipements de protection, le paiement des heures supplémentaires du personnel mobilisé, ainsi que d'autres coûts liés à la gestion de la crise. Sur ce montant, près de 2 millions ont été consacrés à l'achat de matériaux comme les sacs de sable (Corriveau, 2020). En plus, les sacs de sable posent des défis environnementaux et sanitaires. Le sable peut être contaminé par des substances nocives et après leur utilisation, les sacs souillés par des eaux usées deviennent difficiles à éliminer de manière sécuritaire. Leur réutilisation pour de futures inondations est impossible : le contact avec l'eau les rend inutilisables, car ils se détériorent rapidement et présentent un risque élevé de contamination (Bouchard, 2019).

Il est essentiel de commencer à envisager l'adoption de nouvelles approches adaptées et durables pour renforcer la résilience des maisons québécoises aux inondations, tout en prenant en compte les défis environnementaux, économiques et sociaux. C'est précisément sur ce sujet que cette recherche se concentre, en explorant des stratégies alternatives et mieux adaptées aux réalités actuelles et futures des maisons québécoises présentes en bord d'eau.

1.3 L'évolution du cadre réglementaire encadrant les inondations au Québec

L'évolution du cadre bâti en zones inondables a largement été influencée par les réglementations mises en place au fil des années. Face à l'augmentation des inondations et à leurs impacts croissants sur les habitations, le gouvernement québécois a progressivement instauré des mesures visant à limiter les risques et à encadrer la construction en zones vulnérables.

Historiquement, les approches adoptées par les gouvernements du Québec et du Canada ont oscillé entre l'indemnisation des sinistrés, la construction d'infrastructures de protection (digues, barrages) et des tentatives de réglementation des constructions en zones inondables. Toutefois, ces efforts ont engendré un faux sentiment de sécurité et, dans certains cas, ont encouragé le développement urbain dans ces zones, contribuant à une plus grande vulnérabilité face aux inondations (Commission de l'aménagement, 2017).

À partir des années 1970, le gouvernement a commencé à structurer ses interventions en mettant en place des programmes de prévention et de cartographie des zones inondables. Les crues historiques d'une grande ampleur² ont souvent agi comme des déclencheurs, entraînant une prise de conscience et des ajustements réglementaires successifs visant à protéger la population et les biens, ainsi qu'à mieux comprendre et prévenir les inondations (Commission de l'aménagement, 2017).

L'évolution du cadre réglementaire (figure 1.4) peut être divisée en trois grandes périodes, chacune marquée par des ajustements visant à mieux gérer les risques d'inondation et à encadrer l'aménagement des territoires riverains.

1. **1975-1994** : Début de la cartographie et premières restrictions (Commission de l'aménagement, 2017) :

- Mise en place du Programme National de Réduction des Dommages causés par les Inondations (PRDI), visant à cartographier les zones inondables et à limiter le développement dans ces secteurs.
- Introduction de premières normes, mais avec une application non uniforme selon les municipalités.

2. **1996-2011** : Renforcement des règles et interdiction de nouvelles constructions (Commission de l'aménagement, 2017) :

- Adoption de la Politique de Protection des Rives, du Littoral et des Plainnes Inondables (PPRLPI), qui encadre plus strictement l'aménagement du territoire.
- En 2005, interdiction des nouvelles constructions en zones de récurrence 0-20 ans.
- Production de nouvelles cartes des zones inondables, qui bénéficient de modélisations à deux dimensions à l'aide de logiciels spécialisés.

² Les inondations historiques de 1974-75, 1987, 1966, 2011, 2017 et 2019 ont marqué la province du Québec. En 1974-1975, les inondations ont été causées par la fonte rapide des neiges et des pluies abondantes, qui ont saturé les rivières et les sols encore gelés. En 1987, une série d'orages à Montréal a déversé plus de 100 mm de pluie en peu de temps, provoquant des routes inondées, des égouts saturés, des automobilistes piégés, des pannes de courant touchant 350 000 foyers et des sous-sols inondés. En 1996, les inondations du Saguenay ont été provoquées par deux semaines de pluies incessantes, qui ont engorgé les rivières, réservoirs et sols, avec l'équivalent de l'eau des chutes du Niagara en quatre semaines tombant en seulement deux jours. En 2011, 2017 et 2019, des crues récurrentes ont affecté diverses régions de la province, avec des niveaux d'eau atteignant des records, entraînant des évacuations et des pertes matérielles importantes.

3. **2012-2023** : Vers une réglementation plus stricte et des contraintes d'adaptation

- Les inondations exceptionnelles de 2011, 2017 et 2019 marquent un tournant avec une prise de conscience accrue des risques et une volonté gouvernementale de renforcer la résilience du territoire (MELCCFP, 2022).
- Une cartographie plus précise des zones inondables est réalisée pour mieux identifier les zones à risque (MELCCFP, 2022).
- En 2022, le Régime transitoire de Gestion des zones inondables, des Rives et du Littoral est mis en place pour harmoniser les pratiques (Gouvernement du Québec, 2022a) et impose de nouvelles exigences pour les bâtiments existants, dont (Gouvernement du Québec, 2022d) :
 - interdiction d'aménager des sous-sols habitables en zones inondables ;
 - élévation minimale des ouvertures à au moins à 30 centimètres au-dessus de la cote de crue de récurrence de 100 ans ;
 - interdiction de construire des murets de protection permanents, d'installer des clôtures (dans une zone d'inondation par embâcle avec ou sans mouvement de glaces) et d'aménager des remblais pour immuniser le bâtiment.

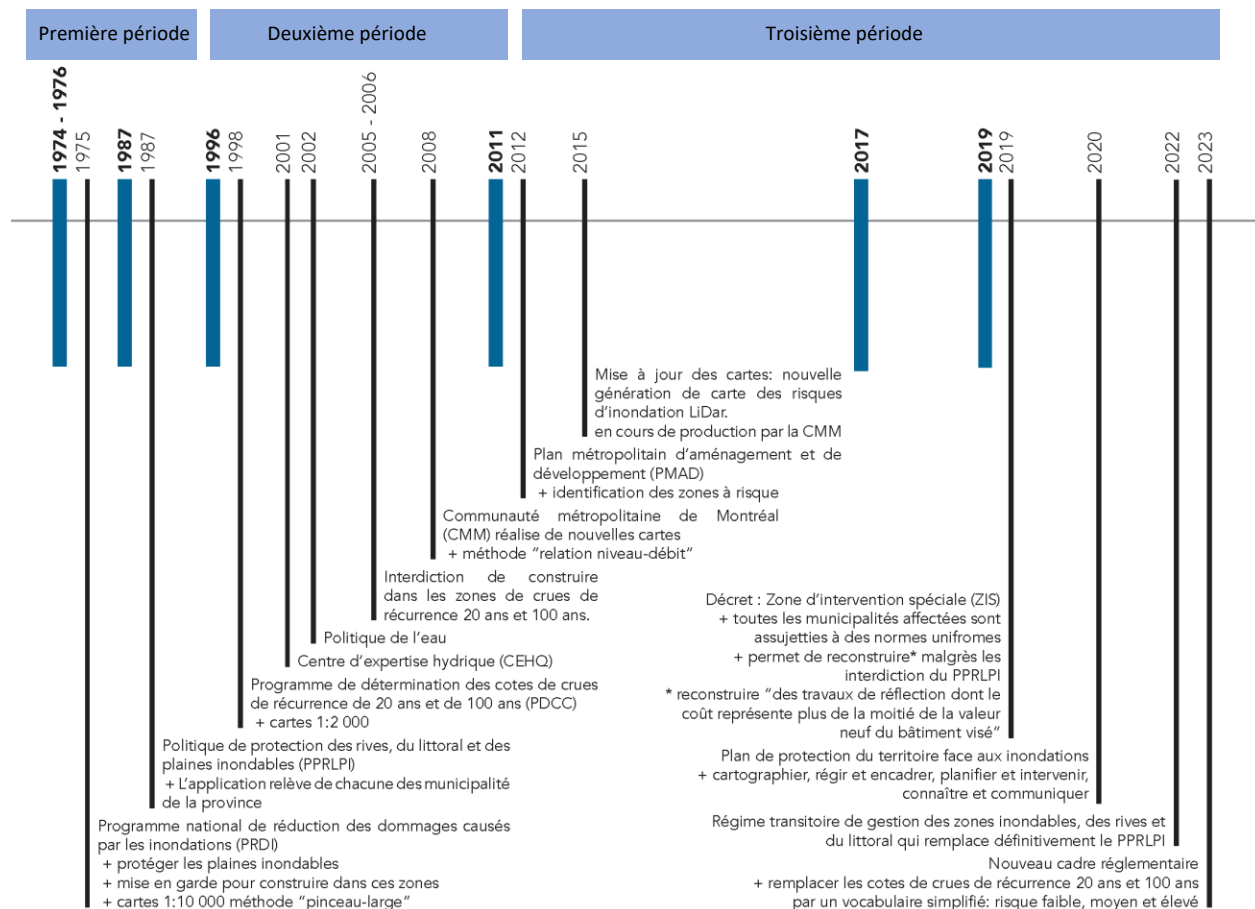


Figure 1.4 Schéma récapitulatif des trois périodes principales de développement du cadre réglementaire au Québec (crédit : Joelle Kelzi)

Au cours de l'année 2025, un nouveau cadre réglementaire remplacera graduellement le régime transitoire, principalement en matière de gestion des zones inondables. Ces zones seront cartographiées selon une méthodologie harmonisée. Il est envisagé qu'une nouvelle classification des zones soit établie sur la base de cette cartographie, en fonction du niveau d'exposition aux inondations, avec des catégories telles que faible, modéré et élevé (Gouvernement du Québec, 2022c). En parallèle, le gouvernement travaille à l'élaboration d'un cadre réglementaire spécifique aux ouvrages de protection contre les inondations. Ces ouvrages de protection qui peuvent être constitués de digues en remblai, de murs de protection, de blocs en béton, de palplanches, de maçonnerie ou d'enrochement, réduisent le risque d'inondation, mais ne l'éliminent pas. Le cadre réglementaire en cours d'élaboration définira les types d'ouvrages visés et établira les normes applicables, par exemple les normes touchant la conception,

l'entretien et la surveillance de ces dispositifs de protection et la planification des mesures à mettre en place pour mieux faire face à une éventuelle défaillance (Gouvernement du Québec, 2023b).

L'évolution du cadre réglementaire en zone inondable met en lumière l'absence de directives précises pour le développement d'approches techniques adaptées à l'échelle du bâtiment. Bien que des mesures aient été prises pour réglementer et limiter les constructions dans les zones à risque, les normes minimales en construction et les pratiques actuelles de protection, comme la mise en place de barrière de sacs de sable autour des maisons, ne suffisent pas à rendre les bâtiments résilients aux inondations, ni à offrir une protection durable. De ce fait, il est important de développer des stratégies avancées de construction qui prennent en compte la situation actuelle des maisons québécoises et qui proposent des manières d'adaptations règlementaires. D'ailleurs, plusieurs organismes québécois réalisent des travaux pour initier des changements dans le cadre réglementaire et pratique comme en témoignent le rapport *Cohabiter avec l'eau* (Levasseur, 2021) et les fiches pratiques de mesures d'adaptation résidentielles réalisées par Architecture Sans Frontières Québec (ASFQ) nommées *Habitations + Inondations : Mesures d'adaptation résidentielles* (ASFQ, 2022). De plus, étant donné que les réglementations récentes mettent l'accent sur la mise en place de dispositifs de protection à l'échelle territoriale, il est pertinent de commencer à envisager des approches similaires à l'échelle des maisons individuelles.

1.4 Problématique

1.4.1 Pourquoi s'adapter en zones inondables?

Au cours des dernières années, une expression a émergé et s'est répandue au sein de la communauté scientifique internationale : « les catastrophes ne sont pas naturelles » (Bacigalupe, 2019). Cette phrase rappelle que derrière chaque catastrophe se trouvent des décisions humaines qui ont façonné des environnements vulnérables. Les inondations sont souvent présentées comme des désastres, mais en réalité, ce sont des processus naturels essentiels à de nombreux écosystèmes. En adaptant les environnements pour qu'ils soient plus résilients, il est possible de réduire ou d'éviter les conséquences négatives de ces événements. Plutôt que de les considérer comme des catastrophes inévitables, il est essentiel de les voir comme des perturbations temporaires ou des moments qui obligent à s'adapter (Barsley, 2020).

Dans certains cas, la stratégie idéale pourrait être de se relocaliser et reconstruire des maisons résilientes à l'eau. Gonzalo Lizarralde, professeur à l'Université de Montréal et auteur du livre *Unnatural Disasters* affirme que c'est la partie facile tant que les consignes de construction résiliente sont respectées (surélever les maisons, pas de sous-sol, pas de panneaux électriques dans les parties basses, etc.). Cependant, « la partie difficile, c'est : quoi faire maintenant avec les maisons actuelles construites aux mauvais endroits ? » (Laroche, 2023).

Il existe deux alternatives : soit de rester et d'adapter la maison, soit de la relocaliser vers des zones hors risques. Bien que cette dernière soit une stratégie idéale pour les zones à risque très élevé, elle est souvent irréalisable pour diverses raisons, telles que les coûts élevés, la complexité de sa mise en œuvre et les contraintes sociales et administratives, comme expliqué plus en détail dans la section précédente. De ce fait, les stratégies d'adaptation peuvent convenir à la majorité des citoyens concernés par les inondations, surtout dans les cas où le risque est résiduel, faible ou modéré (Levasseur, 2021). D'ailleurs, l'adoption de ces mesures renforce la résilience face aux aléas climatiques et présente de nombreux avantages potentiels (Levasseur, 2021) :

- l'augmentation de la sécurité et du sentiment de sécurité des personnes ;
- la préservation du bien-être mental et physique des personnes ;
- la diminution du délai de rétablissement ;
- la protection des biens ;
- la préservation de la santé et du dynamisme communautaire ;
- la préservation du tissu urbain ;
- la diminution du coût global d'exploitation tout au long du cycle de vie du bâtiment (si les événements anticipés se produisent) ;
- la réduction potentielle de la prime d'assurance ;
- l'augmentation de la valeur foncière de la propriété et les avantages fiscaux reliés pour les municipalités ;
- la réduction de la facture de l'État ;
- l'augmentation de la qualité des espaces partagés ou publics dans une communauté ;
- l'augmentation des avantages environnementaux, sociaux et économiques, conformément aux principes de développement durable.

1.4.2 Question de recherche

Aujourd'hui, les enjeux liés à la gestion et à la construction dans les zones inondables du Québec suscitent des discussions entre divers experts. Une problématique soulevée dans ce mémoire concerne l'utilisation répandue des sacs de sable pour ériger des barrages et protéger les ouvertures des maisons contre les crues. Cette approche demeure populaire parce qu'elle est simple à mettre en place, rapidement mobilisable et accessible lors des urgences. Elle représente aussi une solution relativement peu coûteuse à court terme. Bien qu'elle soit largement promue par les municipalités comme une mesure de protection efficace, cette méthode présente des limites importantes (Corriveau, 2020). Son coût élevé, son impact environnemental négatif et le temps requis pour sa mise en place en font une solution peu adaptée aux besoins à long terme. Par exemple, en 2017, la Ville de Saint-Jean-sur-Richelieu, ayant tiré des leçons de l'inondation de 2011, encourageait encore l'accumulation de sacs de sable en prévision de futures crues (Gagné, 2017).

Les autorités publiques, guidées par des cadres scientifiques et réglementaires, privilégient des solutions standardisées, telles que les digues en sacs de sable ou la cartographie des zones inondables, axées sur la prévention et la sécurité collective. Ces derniers ont pour objectif principal la réduction des pertes économiques et des impacts environnementaux à grande échelle (Bouchard-Bastien, 2023). Bien que ces méthodes semblent efficaces sur le court terme, elles ne prennent pas en compte les avancées récentes ni les nouvelles stratégies de gestion des risques et d'adaptation qui pourraient mieux répondre aux enjeux actuels. Ainsi, aujourd'hui, le sac de sable reste encore le principal moyen de lutte contre les crues printanières dans les zones inondables au Québec, illustrant une stagnation dans les politiques d'adaptation. Ces constats soulèvent une question clé :

Quelles sont les alternatives aux traditionnels sacs de sables d'urgence, afin de favoriser la résilience dans le contexte des maisons existantes en zones inondables en bordure d'eau au Québec?

Ce questionnement s'inscrit dans une volonté de dépasser les approches traditionnelles pour explorer des solutions novatrices, durables et déjà éprouvées à l'échelle internationale, dans le but de renforcer les capacités d'adaptation des propriétaires et des occupants. Les sacs de sable, bien qu'encore largement utilisés par les municipalités, représentent une stratégie temporaire et mobilisent d'importantes ressources publiques. L'adoption de mesures adaptées à l'échelle du bâtiment permettrait non seulement d'améliorer la résilience matérielle des habitations, mais aussi de soutenir le bien-être

psychologique des résidents. Comme le souligne Bouchard-Bastien (2023), l'accès à des solutions adaptées et personnalisées renforce le sentiment d'efficacité personnelle, un facteur déterminant dans la résilience psychologique face aux inondations.

L'adaptation de ces approches au contexte spécifique des maisons existantes en zones inondables au Québec constitue désormais un enjeu central. Les inondations marquantes des dernières décennies au Québec montrent la nécessité urgente de mettre en place des mesures d'adaptation réactualisées. Ces mesures, qui doivent être déployées à l'échelle provinciale, requièrent la coordination et la collaboration de divers acteurs, qu'ils soient communautaires, institutionnels ou privés.

CHAPITRE 2:

État des connaissances

Ce chapitre dresse un état des connaissances relatives à la question de recherche. Cette question traite des alternatives aux sacs de sables dans les zones inondables. Le chapitre explore donc différentes stratégies d'adaptation plus durables du bâtiment et de son périmètre. Comprendre les concepts et les principes sous-jacents à leur élaboration et à leur application est nécessaire. Ce chapitre aborde donc le lien entre les concepts de résilience et d'adaptation dans le contexte des inondations, les stratégies d'adaptation aux inondations à l'échelle urbaine et du bâti, un inventaire de dispositifs de protection alternatifs ainsi que quelques exemples internationaux de pratiques alternatives innovantes et durables. L'état des connaissances nous permet aussi d'identifier les limites de la recherche et de préciser la portée de notre étude.

2.1 La résilience et l'adaptation dans le contexte des inondations

La résilience et l'adaptation sont deux concepts clés dans la gestion des risques liés aux inondations, ainsi que dans la conception et la mise en œuvre de nouvelles stratégies adaptatives visant à réduire la vulnérabilité des systèmes, des bâtiments, des communautés et des personnes.

2.1.1 La résilience

La résilience est un concept largement débattu et à multiples connotations selon les domaines d'application. Dans un rapport partagé en 2010, l'organisation des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe (UNDRR) propose une nouvelle définition de la résilience dans le contexte de la gestion des risques de catastrophe. Selon cette définition, la résilience est « la capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société exposés à des dangers à résister, absorber, s'accommoder et se rétablir efficacement et rapidement des effets d'un danger, notamment par la préservation et la restauration de ses structures et fonctions essentielles » (UNDRR, 2010) Cette définition reste pertinente de nos jours, surtout lorsqu'il s'agit de la résilience d'un cadre bâti ou d'une communauté face aux risques liés aux inondations. Elle met en avant la capacité à anticiper et absorber les impacts environnementaux, mais aussi à s'adapter et à se reconstruire pour renforcer les systèmes structurels, humains, naturels et financiers.

Pour évaluer la résilience d'un élément, trois types de capacité ont été identifiées (Hegger *et al.*, 2016). Ces capacités sont particulièrement pertinentes dans le contexte de la résilience aux inondations :

1. **La capacité à résister** réfère à la capacité de supporter les perturbations (Mens *et al.*, 2011). Cela implique généralement d'augmenter la capacité de seuil, c'est-à-dire la quantité de perturbation nécessaire pour causer des dommages. Elle est liée à la mise en place efficace de stratégies de défense contre les risques liés aux inondations (Hegger *et al.*, 2016). Cependant, cette capacité peut limiter la capacité d'absorption et de récupération.
2. **La capacité à absorber et à récupérer** réfère à la capacité d'une zone exposée à encaisser les perturbations sans se retrouver dans une situation moins favorable. Contrairement à la capacité de résister qui vise à ne pas être affecté par une perturbation, la capacité à absorber et à récupérer fait référence aux situations où un système est touché mais qu'il est toujours capable de récupérer après les perturbations (Mens *et al.*, 2011).
3. **La capacité à se transformer et à s'adapter** se définit comme la capacité d'un système à s'ajuster, par exemple aux inondations et aux risques causés par ces événements, afin d'atténuer les dommages potentiels, de saisir les opportunités ou de faire face aux conséquences (Hegger *et al.*, 2016). Pour cela, le système doit se préparer à affronter divers types d'incertitudes et être capable d'initier des changements réfléchis. Ces transformations, souvent réalisées à petite échelle, visent à garantir une stabilité à long terme (Folke *et al.*, 2010). L'apprentissage joue un rôle essentiel dans le développement de cette capacité (Folke, 2006).

Ces trois capacités interagissent de manière complexe à différents niveaux, allant de l'individuel au communautaire. Il est rare qu'une intervention ayant pour but d'augmenter la résilience ne touche qu'un seul aspect des trois capacités sans influencer les autres. Une forte capacité de résistance peut parfois nuire à la faculté d'absorption et de rétablissement, tandis que les aptitudes à l'adaptation et à la transformation peuvent constituer des conditions préalables à l'ensemble des autres formes de capacité. De ce fait, renforcer la capacité à gérer de manière proactive et positive les changements est essentiel pour réduire la vulnérabilité³ des communautés et des systèmes (Jeans *et al.*, 2017).

³ La vulnérabilité et la résilience sont des concepts liés mais pas nécessairement opposés. Dans le cadre de ce mémoire, les situations vulnérables qui ont été adaptées sont désignées comme résilientes.

2.1.2 L'adaptation

Dans le contexte de changements climatiques et de gestion des risques, le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) propose une interprétation de l'adaptation qui est vaguement répandue et adoptée par d'autres experts du domaine. Selon cette définition, l'adaptation est « le processus d'ajustement au climat actuel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation vise à modérer les dommages ou à exploiter les opportunités bénéfiques. Dans les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'ajustement au climat attendu et à ses effets » (UNFCCC, 2021).

De ce fait, l'adaptation réfère à des actions spécifiques visant à ajuster les systèmes écologiques, socio-économiques ou structurels en réponse à des changements environnementaux réels ou attendus, comme la construction de digues pour se protéger des inondations. L'adaptation implique des changements dans les processus, les pratiques et les structures pour atténuer les dommages potentiels ou pour tirer des opportunités liées au changement avant qu'il ne soit plus possible de s'adapter (Mehryar, 2022).

Les mesures d'adaptation peuvent prendre de nombreuses formes, en fonction du contexte d'application que ce soit à l'échelle d'un bâtiment, d'une communauté, d'une région ou d'un pays. Il n'existe pas de solution universelle (McCarthy, 2021) : l'adaptation aux inondations peut aller de la construction de digues pour protéger les systèmes contre la montée du niveau de la mer à la création de zones tampons pour absorber et ralentir l'écoulement de l'eau, ou encore, à l'élévation des bâtiments pour éviter les infiltrations lors des inondations dans les zones riveraines.

Dans ce cadre, il est important de préciser que la protection est une forme d'adaptation. La protection est définie comme « un processus consistant à appliquer des mesures conçues pour modifier les conditions physiques d'un bien en le préservant de toute détérioration, perte ou attaque, ou à protéger le bien d'un danger ou d'un dommage » (UNESCO, 2020) donc, dans le cas des bâtiments exposés aux inondations, cela se traduit par l'installation de batardeaux, de digues ou de murs anti-crues. Dans le contexte des changements climatiques, ces deux concepts sont liés : s'adapter, qui vise à réduire les risques et à renforcer la résilience face aux aléas climatiques, implique l'adoption de mesures de protection. Comme le souligne le Programme des Nations Unies pour le développement (UNDP), la construction de défenses contre les inondations illustre une mesure de protection qui constitue aussi

une adaptation au changement climatique (UNDP, 2024). Dans ce mémoire, la protection est donc comprise comme une déclinaison particulière de l'adaptation, ancrée dans des mesures directes et concrètes de réduction des risques.

L'adaptation est un élément critique de la réponse mondiale à long terme aux changements climatiques, notamment face aux inondations, pour protéger les personnes, les moyens de subsistance et les écosystèmes. Le succès de l'adaptation dépend non seulement des gouvernements, mais aussi de l'engagement actif et soutenu des parties prenantes, y compris les communautés locales, les organisations nationales, régionales, multilatérales et internationales, les secteurs public et privé, la société civile et d'autres acteurs pertinents, ainsi qu'une gestion efficace des connaissances. L'adaptation est un défi mondial auquel tous sont confrontés, avec des dimensions locales, nationales et internationales (UNFCCC, 2021).

2.1.3 Deux concepts complémentaires, mais distincts

La résilience et l'adaptation sont fréquemment employées de façon complémentaire dans les discours politiques et académiques. Toutefois, bien qu'ils le soient, ils renvoient à des notions distinctes qui méritent d'être différenciées. Dans l'article intitulé *What is the difference between climate change adaptation and resilience?*, Sarah Mehryar, chercheuse au *Grantham Research Institute (GRI) de London School of Economics* explique comment ces concepts se renforcent mutuellement malgré leurs différences (Mehryar, 2022).

L'adaptation a des implications directes sur la résilience, comme le montre le tableau suivant (figure 2.1) que nous avons développé en croisant les notions de Kallaios et Barsley. Ce tableau⁴ regroupe les différentes dimensions de la résilience qui peuvent être affectées par les mesures d'adaptation. Dans ce sens, Mehryar souligne que l'adaptation peut augmenter ou diminuer la capacité de résilience, en fonction de la manière dont elle est mise en place. Par exemple, la mise en œuvre de projets d'adaptation aux inondations à grande échelle et coûteux peut entraîner une réduction de la diversité de réponses possibles. En concentrant les ressources sur une seule solution, ils limitent le nombre d'options

⁴ Les dix dimensions centrales de la résilience proviennent du tableau des principales caractéristiques des systèmes résilients, identifiées dans l'étude RAMSES (Kallaios *et al.*, 2015). Chaque dimension présentée dans le tableau (figure 2.1.3) a été contextualisée pour la résilience aux inondations grâce à un exemple concret - lié aux inondations - tiré du livre *Retrofitting for Flood Resilience* (Barsley, 2020).

disponibles pour répondre efficacement à une catastrophe. D'autre part, l'augmentation de la capacité à s'adapter à un certain type de perturbation peut diminuer la capacité de résilience générale face à de nouvelles perturbations ou à des perturbations encore inconnues. Par exemple, la construction de grandes barrières contre les inondations crée souvent un faux sentiment de sécurité et, par conséquent, conduit à une diminution des autres activités de réduction des risques d'inondation et de résilience. Dans ce scénario, compte tenu du risque de défaillance ou de rupture des défenses face à l'augmentation de la probabilité d'occurrence d'inondation, il est crucial de maintenir une gamme de mesures diversifiées.

Dimensions	Exemple	Dimensions	Exemple
Performance <i>La capacité d'atteindre un haut degré de fonctionnalité dans un système.</i>	Tester les barrières anti-inondation sous des conditions réelles et les surveiller pendant leur installation pour garantir leur efficacité.	Adaptabilité / Flexibilité <i>La capacité à changer tout en maintenant ou améliorant la fonctionnalité.</i>	Concevoir des espaces, bâtiments et infrastructures multifonctionnels capables de résister et de se rétablir lorsque les seuils critiques, comme des barrières anti-inondations submergées, sont dépassés.
Rapidité / Réactivité <i>La capacité à rebondir et à se réorganiser.</i>	Installer des systèmes d'alarme, d'alerte et de secours automatisés pour avertir les utilisateurs de la présence d'eaux de crue permettant ainsi une réactivité accrue. Évaluer également dans quelle mesure un bâtiment est « récupérable » après une inondation.	Connectivité / Échec sécurisé <i>La capacité à faire face aux chocs progressivement sans défaillance instantanée.</i>	Prévoir des bassins de rétention et des drains pour limiter les conséquences si une barrière anti-inondation échoue.
Redondance / Modularité <i>La capacité des éléments à perdre leur fonction sans créer de problèmes plus larges au sein d'un système.</i>	Concevoir certains éléments pour échouer intentionnellement dans certaines conditions (afin de limiter les défaillances en cascade) ou pour être modulaire afin qu'ils puissent être facilement remplacés après une inondation.	Dépendance aux écosystèmes locaux <i>La capacité à maintenir l'intégrité des infrastructures bleues-vertes.</i>	Investir dans et mettre en œuvre des stratégies de gestion naturelle des inondations car elles offrent des avantages plus larges et aident à la rétention, au transport et à la filtration de l'eau. Passer d'une mentalité de défense côtière à une gestion côtière, gérer le littoral de manière dynamique plutôt que statique.
Ingéniosité (Resourcefulness) <i>La capacité à identifier rapidement les problèmes, évaluer et mettre en œuvre des plans pour contrer les menaces.</i>	Utiliser la planification et les protocoles pour réagir rapidement et limiter les perturbations à plusieurs échelles.	Diversité spatiale/fonctionnelle <i>La capacité à inclure un large éventail de mesures pour fournir une variété de façons de répondre à un événement donné.</i>	S'assurer que les infrastructures critiques (hôpitaux, écoles...) sont bien situées, prévoir des systèmes de secours efficaces et leur permettre d'assumer des fonctions secondaires en cas de besoin.
Robustesse <i>La capacité de faire face à une charge donnée.</i>	Considérer les capacités structurelles d'une propriété et la possibilité de la rendre résistante aux inondations ou à la force de l'eau.	Apprentissage, mémoire, prévoyance <i>La capacité à établir une planification préventive et à apprendre des expériences passées.</i>	Considérer dans quelle mesure la résilience aux inondations des propriétés peut être améliorée à la suite d'une inondation, ou comment une nouvelle construction peut être conçue en tenant compte des conditions d'inondation futures. Cela inclut la planification de la continuité telle que la sauvegarde des données et les exercices d'évacuation.
Co-bénéfice <i>La capacité à offrir plusieurs avantages.</i>	Utiliser une conception bioclimatique pour réduire la demande énergétique et intégrer des espaces bleu-vert dans les villes pour réduire les inondations et apporter des avantages plus larges (comme l'amélioration de l'aménagement, de la biodiversité, de la qualité de l'air...).		

Figure 2.1 Tableau des dimensions de la résilience identifiées dans l'étude RAMSES (Kallaios *et al.*, 2015) avec des exemples tiré du livre *Retrofitting for Flood Resilience* (Barsley, 2020) (crédit : Joelle Kelzi)

Mehryar précise qu'il faut comprendre les subtilités de chaque concept et comment ils fonctionnent ensemble. L'adaptation se caractérise par un ensemble d'actions et de processus qui aident les sociétés à s'ajuster aux impacts des changements climatiques défavorables. L'adaptation peut donc être à court ou à long terme, graduelle ou transformative, une action unique ou un programme intégral, réactive et tournée vers le passé ou proactive et tournée vers l'avenir. La résilience est davantage associée à une perspective et une manière de penser qui proposent des changements à l'échelle du système, incluant : une gamme de solutions pour améliorer les capacités sociales, humaines, naturelles, physiques et financières, une planification prospective et anticipative pour le renforcement des capacités à long terme et l'amélioration de la capacité à absorber les chocs et à se remettre de leurs impacts.

En reprenant l'explication de Mehryar, l'intégration du concept de résilience dans les projets et politiques d'adaptation encourage un passage des approches réactives, à court terme, graduelle et centrées sur des projets, vers une planification qui est à long terme, transformative, intégrale et tournée vers l'avenir. Enfin, et en lien avec le sujet de ce mémoire, retenons que les approches de résilience appliquées aux stratégies d'adaptation aux inondations pourraient impliquer une variété d'actions visant à réduire les risques avant les inondations, ainsi qu'à améliorer les capacités de préparation, de réponse et de récupération lors de ces événements.

2.2 Stratégies d'adaptation aux inondations

Les changements climatiques ont un impact sur la conception et la configuration des bâtiments et des villes. Pour s'adapter aux risques d'inondation, de nombreux pays et communautés doivent adopter des approches stratégiques à différentes échelles, allant de l'échelle urbaine et communautaire à celle des bâtiments et des individus. Dans ce contexte, il est possible de parler en termes de conception résiliente aux inondations (*flood resilient design*). La ville de Boston a ainsi élaboré en 2019 le guide *Coastal Flood Resilience Design Guidelines* qui identifie quatre principes clés de la conception résiliente des bâtiments (McGuinness *et al.*, 2019). Ces principes, reformulés par Levasseur, sont les suivants (Levasseur, 2021) :

1. **Stratégies d'adaptation prospective** : les stratégies d'adaptation doivent être tournées vers l'avenir et doivent incorporer les meilleures pratiques de résilience adaptées aux types de constructions.
2. **Amélioration de l'espace public** : les stratégies d'adaptation à l'échelle des bâtiments doivent contribuer également à l'amélioration des espaces publics environnants.

3. **Durabilité** : les stratégies d'adaptation doivent améliorer la durabilité globale des bâtiments par l'amélioration de la gestion des eaux pluviales, des aménagements paysagers environnants et de l'efficacité énergétique.
4. **Intégration avec les infrastructures de prévention des inondations à l'échelle du district** : les améliorations apportées à chaque bâtiment doivent être en cohésion avec les investissements dans les infrastructures de prévention des inondations à l'échelle du quartier.

Ce mémoire se concentre principalement sur les stratégies visant les bâtiments résidentiels existants. Cependant, comme l'a souligné Edward Barsley lors d'un entretien avec Ravenscroft, « les architectes ont la capacité d'influencer et de provoquer des changements à diverses échelles. Il est donc essentiel qu'ils soient conscients des nombreuses stratégies différentes qui peuvent être utilisées pour améliorer la résilience de l'environnement naturel et bâti » (Ravenscroft, 2020). Ainsi, les stratégies à l'échelle urbaine seront brièvement expliquées en raison de leur importance et de leur impact sur les communautés. Ces stratégies sont complémentaires aux mesures adoptées à l'échelle des bâtiments.

2.2.1 Stratégies d'adaptation à l'échelle urbaine

La mise en place de stratégies d'adaptation à l'échelle urbaine permet d'augmenter la capacité de résilience des communautés face aux inondations, à condition qu'elles préservent une diversité de réponses et évitent une dépendance excessive à une seule solution. Cette approche peut considérablement réduire l'exposition et la vulnérabilité des communautés ainsi que des environnements naturels et bâtis aux impacts des inondations. Elle peut aussi contribuer à un rétablissement plus rapide des personnes touchées. Barsley spécifie, toujours en entretien avec Ravenscroft (2020), que la conception résiliente aux inondations ne devrait pas seulement être perçue comme une nécessité, mais également comme une opportunité de fournir des avantages environnementaux et socio-économiques, tels que l'amélioration de la biodiversité et de la qualité de l'aménagement urbain dans des communautés à l'échelle mondiale.

Dans son livre *Retrofitting for Flood Resilience*, Barsley (2020) présente six stratégies clés pour créer des environnements urbains et naturels adaptés afin de réduire l'impact des inondations. Chaque stratégie peut être ajustée en fonction de différentes échelles et situations. Ces stratégies énumérées, définies et illustrées schématiquement (figure 2.2) à partir de dessins extraits de cet ouvrage, sont présentées ci-dessous.

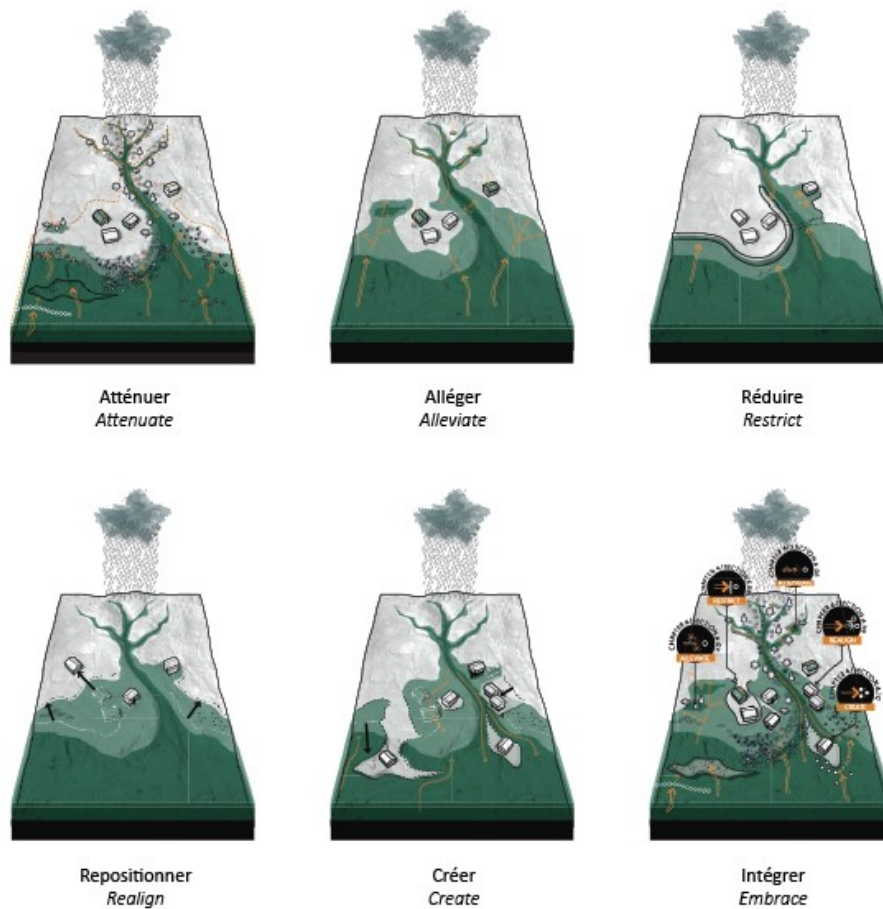


Figure 2.2 Illustrations schématiques des six stratégies d'adaptation à l'échelle urbaine, tirées du livre *Retrofitting for Flood Resilience* (Barsley, 2020)

1. **Atténuer** (*Attenuate*) : utiliser des structures et des espaces naturels ou artificiels pour réduire la vitesse et/ou la densité de l'eau. Cela augmente le temps nécessaire à un volume donné d'eau pour se déplacer le long du parcours et offre davantage d'opportunités d'infiltration.
2. **Alléger** (*Alleviate*) : augmenter la capacité d'un système hydrique et/ou créer des zones supplémentaires pouvant être inondées pour réduire les niveaux de crue maximale et limiter l'étendue de l'exposition des zones vulnérables au risque d'inondation.
3. **Réduire** (*Restrict*) : réduire l'exposition d'une communauté au risque d'inondation en empêchant l'entrée d'eau grâce à l'utilisation de mesures/dispositifs de gestion des risques d'inondation.

4. **Repositionner** (*Realign*) : réduire l'exposition au risque d'inondation en repositionnant le récepteur (par exemple : la communauté, les infrastructures critiques, les propriétés) ou en modifiant la classification d'utilisation des sols.
5. **Créer** (*Create*) : concevoir ou générer de nouvelles formes de terrain/structures dans ou près des plans d'eau sur lesquels des développements et/ou des utilisations alternatives des terres peuvent être envisagés.
6. **Intégrer** (*Embrace*) : utiliser une conception résiliente aux inondations pour organiser l'environnement bâti et naturel. Une gamme de stratégies peut être appliquée pour répondre à un contexte particulier, une échelle ou une échelle de temps donnée (par exemple, en utilisant plusieurs stratégies de gestion des risques d'inondation pour réduire la gravité des conditions et concevoir l'environnement bâti et naturel pour fonctionner en présence d'eau).

Barsley souligne qu'il n'existe pas de stratégie miracle unique. Dans un lieu ou une communauté particulière, divers types d'inondations peuvent se présenter et il est peu probable qu'une seule approche soit utilisée exclusivement ou maintenue constante au fil du temps (Barsley, 2020). Cette nécessité d'adapter et de combiner différentes solutions ne concerne pas seulement les mesures d'adaptation aux inondations, mais également les stratégies globales de gestion des risques.

En effet, la littérature et la pratique montrent qu'une diversification des stratégies renforce la résilience des communautés, des villes et des pays face aux inondations. Un groupe de chercheurs européens analyse cette notion dans l'article de revue *Toward more flood resilience: Is a diversification of flood risk management strategies the way forward?* publié dans le journal *Ecology and Society* (Hegger et al., 2016). En se basant sur les résultats du projet STAR-FLOOD du 7^e programme cadre de l'Union Européenne (EU FP7), ils évaluent le degré de diversification des stratégies de gestion des risques d'inondations de six pays européens (Belgique, Angleterre, France, Pays-Bas, Pologne et Suède) selon les trois capacités de résilience nommées dans la partie 2.1.1 (la capacité de résister, la capacité d'absorber et de se rétablir, et la capacité de transformer et de s'adapter). L'étude conclue qu'une diversification de stratégies contribue à la résilience des communautés. Ils notent qu'il existe différentes façons d'être résilient et qu'il existe des complexités dans la réalisation de la résilience à cause des compromis entre les trois capacités de résilience.

Ainsi, l'adoption d'une combinaison de stratégies, ajustée aux spécificités de chaque contexte, est fondamentale. Cette approche plurielle permet une réponse adaptée au contexte, flexible, réversible et ajustée aux évolutions des conditions et des besoins. L'objectif ultime est de mettre en place des mesures qui non seulement réduisent les risques d'inondation, mais évitent également d'aggraver le problème ou de le déplacer ailleurs (Barsley, 2020).

2.2.2 Stratégies d'adaptation à l'échelle du bâtiment

Pour permettre la sécurité des occupants et augmenter la résilience, les bâtiments situés en zones exposées aux risques d'inondation doivent adopter des mesures d'adaptation. Ces mesures peuvent être classées en trois catégories principales : les stratégies d'évitement, les stratégies de résistance et les stratégies d'accueil de l'eau (Barsley, 2020).

2.2.2.1 Stratégie d'évitement (*flood avoidance*)

Selon Élène Levasseur, directrice recherche et éducation chez ASFQ, les stratégies d'évitement « visent à éviter au maximum les dommages matériels causés par une inondation et à réduire au maximum la vulnérabilité des personnes. L'évitement consiste à se soustraire le plus possible à la submersion des composantes vulnérables du bâtiment » (Levasseur, 2021). L'évitement représente l'approche la plus sécuritaire en matière de gestion des risques d'inondation et se traduit par diverses mesures (Barsley, 2020 ; Levasseur, 2021) :

1. **Rehausser le niveau du rez-de-chaussée**, au-dessus d'une cote de référence⁵, pour réduire l'exposition des zones habitables à l'eau. Bien que toutes les maisons n'aient pas la hauteur sous plafond nécessaire pour réaliser cela, l'important est de s'assurer que le rez-de-chaussée soit situé au-dessus de la ligne haute des eaux ou de la cote de référence, afin de réduire les risques.
2. **Relocaliser les espaces habitables** (par exemple la cuisine ou les chambres) à l'étage supérieur. Dans certains cas, cela implique l'abandon d'un plancher exposé ou son utilisation pour des fonctions à faible risque (stationnement, accès, entreposage).

⁵ Une cote de crue représente le niveau d'eau maximal atteint lors d'une inondation de référence. Elle est généralement associée à une probabilité théorique d'occurrence. Par exemple, une cote de crue de 100 ans correspond au niveau atteint par une inondation ayant 1 % de chance de se produire chaque année (CMM, 2006).

3. **Ajout d'un étage supplémentaire** en modifiant la fonction et la matérialité des espaces exposés aux inondations au rez-de-chaussée.
4. **Élever le bâtiment** au-dessus du niveau du sol à l'aide de différentes techniques, telles que des pilotis (ou pieux), des piliers (ou colonnes) ou un rehaussement de fondation. Cette option est surtout envisageable dans les zones inondables, avec une élévation qui varie de quelques centimètres à plusieurs mètres en fonction du niveau de risque et des contraintes spécifiques du site.
5. **Construction amphibie** conçue pour se soulever lors d'une crue grâce à des mécanismes de flottaison intégrés. Les maisons amphibies sont équipées de rails de guidage et d'un ancrage pour éviter le déplacement horizontal lors de la montée.
6. **Relocaliser le bâtiment** hors une zone à risque. Cette stratégie est adoptée dans des zones où les inondations ont lieu souvent et à forte intensité ou dans des contextes où l'érosion côtière menace les propriétés existantes, les obligeant à se réaligner ou à se déplacer vers des zones moins exposées aux dangers naturels.

Lorsque l'évitement n'est pas une option, il est possible de recourir à des mesures de résistance à l'échelle du terrain ou de la communauté, telles que des aménagements paysagers, la construction de buttes ou de murets anti-inondation (Levasseur, 2021). Toutefois, si ces solutions ne sont pas réalisables en raison de leur coût élevé, de leur non-conformité avec le niveau de risque du contexte d'ancrage du bâtiment ou toutes autres raisons, il devient envisageable d'adopter des stratégies de résistance et/ou des stratégies d'accueil de l'eau.

2.2.2.2 Stratégie de résistance (*dry-floodproofing*)

Les stratégies de résistance - ou le *dry-floodproofing* - « impliquent l'adoption de mesures structurelles et non-structurelles visant à empêcher le passage de l'eau à l'intérieur d'une structure adéquatement ancrée » (Levasseur, 2021). Ces stratégies reposent sur des mesures qui travaillent ensemble et en parallèle pour rendre le bâtiment étanche (FEMA P-312, 2014). Elles incluent les actions suivantes (ASCE, 2015 ; Levasseur, 2021) :

1. **Limiter les infiltrations**, consiste à fermer les issues, boucher les voies d'eaux (issues, fissures, etc.), installer des membranes imperméables sur la fondation et utiliser des matériaux à faible perméabilité. Étant donné que ces murs sont exposés aux eaux de crue et aux pressions qu'elles

exercent, les surfaces intérieures des murs et du plancher doivent être solidifiés. Malgré l'adoption de ces mesures, l'eau peut tout de même s'infiltrer à l'intérieur du bâtiment à travers de petites ouvertures dans le système d'étanchéité ou à travers le refoulement des égouts.

2. **Protéger l'intérieur du bâtiment**, implique d'installer des clapets anti-retour contre les refoulements du réseau d'égout public, d'aménager des systèmes de pompage, d'imperméabiliser les fondations, de remplacer les portes et les fenêtres par des modèles résistants à l'eau et de fixer des couvercles pour les événements à briques et les fenêtres de sous-sols.
3. **Protéger l'extérieur du bâtiment**, consiste à installer des dispositifs de protection temporaires ou permanentes pouvant être déployés manuellement (par l'intervention humaine) ou indépendamment (par un mécanisme automatisé). Il est préférable d'intégrer des dispositifs permanents, qui offrent une protection continue, plutôt que de dépendre de mesures temporaires nécessitant l'intervention des occupants pour être installées, stockées et entretenues (Bowker *et al.*, 2007).
 - Pour les mesures de **protection permanentes**, la fondation d'un bâtiment peut fonctionner comme une barrière de protection seulement si les fondations, les éléments structuraux et leurs connexions sont conçus pour résister aux charges d'inondation (FEMA P-312, 2014 ; Levasseur, 2021). D'autres mesures permanentes peuvent inclure la construction de murs bas ou des buttes autour des propriétés, l'aménagement du terrain pour détourner l'eau ou l'installation de portes étanches. Souvent, des pompes sont nécessaires pour gérer les eaux de pluie et toute petite quantité d'eau contournant les défenses. Les barrières contre les inondations doivent être conçues pour résister à différentes pressions d'eau, selon la profondeur prévue de l'eau et les dommages potentiels causés par les débris flottants (Bowker *et al.*, 2007).
 - Pour les mesures de **protection temporaires**, il est possible de se prévenir avant l'arrivée d'une crue en installant des barrières anti-inondation autour de la maison comme des digues de sacs de sable et d'autres dispositifs d'étanchéité amovibles dont des batardeaux devant les portes et les fenêtres et des couvercles sur les conduits de service. Tant que la structure du bâtiment existant est capable de supporter les charges d'inondation et tant que les paramètres de la crue de référence sont respectés, ces dispositifs temporaires peuvent être efficaces.

Dans le cas de la protection extérieur du bâtiment, l'utilisation de dispositifs (temporaires et/ou permanents) sur un bâtiment fragile peut causer de sérieux dommages à son système de fondation et à sa structure, mettant en danger les occupants. Dans ce contexte, il est préférable de permettre le passage contrôlé de l'eau grâce à l'application des mesures d'accueil (Levasseur, 2021).

2.2.2.3 Stratégie d'accueil (*wet-floodproofing*)

Les stratégies d'accueil de l'eau - ou le *wet-floodproofing* - « impliquent le passage contrôlé de l'eau à l'intérieur d'une structure adéquatement ancrée et faite de matériaux résistants à l'eau ou se rétablissant rapidement » (Levasseur, 2021). Les stratégies d'accueil sont une alternative lorsque les stratégies d'évitement et de résistance sont soit trop coûteuses, soit impossibles à mettre en œuvre. Toutefois, elles ne conviennent pas aux zones où une montée rapide du niveau de l'eau est combinée à un débit élevé, car cela pourrait compromettre la stabilité des bâtiments et la sécurité des personnes (Levasseur, 2021).

Les stratégies d'accueil consistent à **adapter les parties de la maison situées sous la cote de référence**, afin de permettre aux eaux de crue d'y pénétrer sans causer de dommages importants, ni à la maison, ni à son contenu. Ces mesures sont conçues pour gérer une inondation sur une durée limitée (quelques heures) et pour un volume modéré d'eau (généralement inférieur à 0,6-1 mètre) (FEMA P-312, 2014). Le rapport *Cohabiter avec l'eau* cite des mesures concrètes pour atteindre cet objectif (Levasseur, 2021), notamment :

1. la conception des murs intérieurs et des planchers permettant de résister à la poussée hydrostatique ou aux forces exercées par l'eau ;
2. l'utilisation de matériaux de construction résistants aux inondations à l'intérieur (les qualités recherchées sont, en particulier, la capacité de séchage, la stabilité dimensionnelle, la facilité de nettoyage, la facilité de réparation ou de remplacement en cas de dommages) afin de prévenir le risque de moisissures;
3. l'installation de vannes d'arrêt automatiques sur les canalisations d'égout et de carburant pour prévenir des dommages dus aux réseaux de drainage des eaux pluviales et des eaux usées ;
4. l'installation d'évents d'inondation, ou la création d'ouvertures permanentes, qui permettent à l'eau de s'écouler dans et/ou hors de la structure de façon contrôlée ;
5. l'installation de pompes pour évacuer progressivement les eaux de crue hors de la structure ;

6. l'installation des appareils électroménagers et la localisation des objets de valeur dans des lieux plus élevés ou leur protection en place ;
7. la prémunition des équipements mécaniques, électriques et de plomberie (MEP), dont la protection des équipements de climatisation, la modification des circuits électriques, la mise hors d'eau des tableaux de répartition (boîte électrique), la protection des ascenseurs.

Les stratégies d'accueil contribuent à réduire les pressions hydrostatiques sur le bâtiment en équilibrant les pressions intérieures et extérieures. Cela diminue significativement le risque de défaillance des murs et de dommages structurels, grâce à l'ajout d'évents d'inondation ou d'ouvertures dans les fondations. Bien que ces stratégies protègent contre les pressions hydrostatiques, elles ne préservent pas des pressions hydrodynamiques, ni des débris transportés par les inondations (FEMA P-312, 2014).

Pour minimiser les perturbations dues, par exemple, à l'impact des courants rapides et des débris en mouvement, il est essentiel de surélever l'équipement de service au-dessus du niveau de crue anticipé, d'utiliser des matériaux résistants à l'eau pour les murs des zones inhabitées (comme le sous-sol ou le vide sanitaire) et d'opter pour des éléments sacrificiels faciles et peu coûteux à remplacer. En limitant les dommages causés par l'eau à l'intérieur d'un bâtiment, ces mesures rendent le processus de récupération moins long, moins invasif et moins coûteux (Barsley, 2020 ; FEMA P-312, 2014).

2.3 Diversification et adaptation : choix des stratégies pour une meilleure résilience

En prenant en compte les différents matériaux de construction, les types de maisons, les conditions du sol, les politiques de conservation et les préférences des habitants, il est évident que chaque approche doit être développée en fonction d'un contexte spécifique (Ravenscroft, 2020). Une diversification des échelles et des mesures d'adaptation au niveau du cadre bâti permet de répondre de manière plus efficace aux défis variés et uniques de chaque situation, en assurant une adaptation multi-échelle et une protection durable contre les risques.

Afin de déterminer les mesures les mieux adaptées à une situation, il est important de prendre en considération plusieurs facteurs soient les aléas auxquels la maison est exposée, le degré de vulnérabilité du bâtiment, les exigences en matière de permis de construction/rénovation, les limitations techniques des mesures d'adaptations et le coût. D'autres considérations peuvent inclure l'apparence finale de la

maison après la mise en place des changements et tout inconvénient résultant de l'adaptation de la maison (Calyxis, 2019b). Ainsi, la prise de décision implique quatre étapes (FEMA P-312, 2014) :

1. **Identifier les caractéristiques de l'aléa** : si un bâtiment a été inondé au paravent ou s'il se trouve dans une zone inondable, il faut connaître toutes les caractéristiques de l'aléa potentiel. En les analysant, il est possible de déterminer les éléments qui influencent la forme des maisons adaptées (Bowker *et al.*, 2007). Ces dernières sont nommées ci-dessous :
 - les sources potentielles des inondations (nommées dans la partie 1.1.1) ;
 - la hauteur moyenne de l'eau et les côtes de crues (en se référant aux données des précédentes inondations et des modélisations/projections) ;
 - la durée moyenne des inondations ;
 - les fréquences de récurrences ;
 - les périodes d'inondations (en analysant les données historiques).
2. **Inspecter la propriété** à l'aide d'une personne qualifiée : un diagnostic de la propriété permet de clarifier les caractéristiques suivantes qui sont déterminatrices lors de la mise en place d'une mesure d'adaptation (FEMA P-312, 2014) :
 - le type de construction (maisons en bois, en maçonnerie, en béton, préfabriquées) ;
 - le type de fondation (dalle sur sol, vide sanitaire, sous-sol, fondation ouverte) ;
 - le niveau du plancher le plus bas (et la différence avec le niveau de crue estimé) ;
 - l'état général du bâtiment (si le bâtiment a eu recours à des travaux de rénovation, s'assurer qu'ils sont conformes aux mesures de résilience) ;
 - le type du sol (sableux, argileux, tourbeux, rocaillieux).
3. **Examiner les cadres normatifs et réglementaires** : l'examen des cadres normatifs locaux garantit que toute adaptation aux inondations respecte les réglementations en matière de sécurité, de zonage et de construction. En les respectant, toute modification ou construction apportée à une propriété est réalisée de manière sûre et conforme aux exigences légales, tout en éliminant les mesures qui ne peuvent pas être appliquées à la situation (FEMA P-312, 2014).

4. **Consulter un professionnel** : l'identification des mesures d'adaptation à mettre en place permet de déterminer les professionnels requis, tels qu'un entrepreneur, un designer, un architecte ou un ingénieur spécialisé dans l'adaptation des maisons en zones inondables. Le tableau suivant (figure 2.3) tiré du guide *Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your Home From Flooding* résume les professionnels nécessaires pour chaque catégorie de mesure (FEMA P-312, 2014).

Method	Need for Design Professional and/or Contractor	Primary Services
Elevation 	Design Professional	Evaluating the condition, stability, and strength of the existing foundation to determine whether it can support the increased load of the elevated home, including any wind and seismic loads, or designing a new foundation
	Contractor: Home Elevation Contractor	Disconnecting utilities, jacking the home up, increasing the height of the foundation or building a new foundation, and connecting utilities
Wet Floodproofing 	Design Professional	Designing any necessary replacements of vulnerable structural materials and relocated utility systems
	Contractor: General Construction Contractor	Replacing vulnerable structural and finish materials below the DFE with flood damage-resistant materials, raising utilities and appliances to a location above the DFE, and installing openings required to allow the entry of floodwaters
Relocation 	Design Professional	Designing any new building, foundation, and site improvements that may be required, such as new utility systems
	Contractor: Home Moving Contractor	Jacking the home up, moving it to the new site, and installing it on the new foundation
	Contractor: General Construction Contractor	Preparing the new site (including grading, foundation construction, and utilities) and restoration of the old site (including demolition)
Dry Floodproofing 	Design Professional	For masonry walls to be dry floodproofed, evaluating the condition, stability, and strength of the existing walls to verify whether they can withstand the pressure from floodwaters at the DFE; designing or selecting flood shields for doors or other openings
	Contractor: General Construction Contractor	Applying waterproof sealants and membranes, installing flood shields over openings below the DFE, installing backflow valves in sewer and water lines, and, if necessary, bracing or modifying walls so that they can withstand the pressure from floodwaters at the DFE
Levees and Floodwalls 	Design Professional	Assessing the adequacy of soils at the site, preparing the engineering design to ensure that the levee or floodwall, including any closures required, will be structurally stable under the expected flood loads and will be able to resist erosion, scour, and seepage
	Contractor: General Construction Contractor	Constructing the levee or floodwall
Mitigation Reconstruction 	Design Professional	Designing any new building, foundation, and site improvements that may be required, such as new utility systems
	Contractor: Demolition Contractor	Disconnecting and capping utility lines, tearing down the damaged home, hauling away debris, and restoration of the site
	Contractor: General Construction Contractor	Building the new home on the restored site or new site; this contractor may also be able to do all demolition work

DFE = design flood elevation

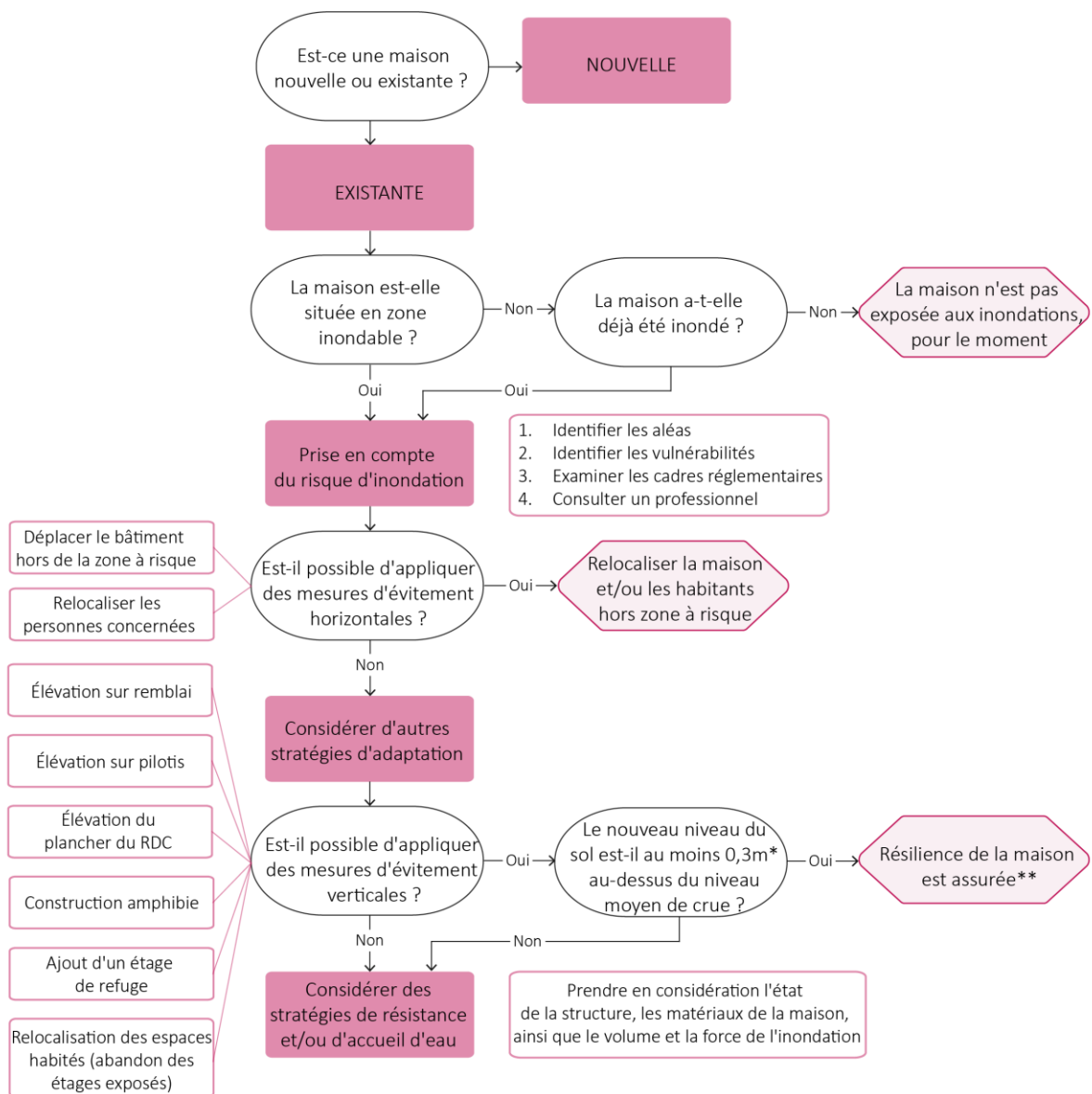
Figure 2.3 Tableau tiré de *Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your Home From Flooding*, illustrant les critères à respecter pour les services des professionnels du design et des entrepreneurs (FEMA P-312, 2014)

Ces étapes de prise de décision s'inscrivent dans un processus complexe qui vise à identifier les mesures d'adaptation les plus appropriées en fonction de divers contextes d'inondation. Le logigramme suivant constitue une tentative de représentation de ce processus en intégrant les différentes étapes qui influencent la prise de décision, ainsi que les stratégies d'adaptation envisageables selon chaque situation.

Pour une lecture plus claire, le logigramme a été divisé en trois parties interconnectées (figure 2.4 à 2.6), permettant une progression logique des idées. Ce travail, que nous avons réalisé, est une adaptation de plusieurs modèles développés à l'international⁶, intégrant des informations pertinentes issues de diverses sources, mises en relation de manière cohérente.

Ces logigrammes ne se limitent pas à une représentation graphique du processus, mais offrent une vision globale et structurée des mesures envisageables selon le contexte local. Ils visent à clarifier les questions clés qui guident la réflexion, telles que la nature du bâtiment (existant ou nouveau), sa localisation par rapport à la zone inondable et la profondeur d'eau anticipée. Ils mettent également en évidence les aspects déterminants du choix, comme la capacité structurelle du bâtiment, les seuils critiques de crue ou encore la faisabilité des mesures d'évitement et de résistance. À ce titre, le schéma identifie notamment les mesures d'adaptation en fonction de la profondeur de l'inondation attendue et de la capacité du bâtiment à résister aux charges hydrodynamiques. Une telle structuration permet de comprendre rapidement les critères qui orientent la décision vers une stratégie d'adaptation plutôt qu'une autre.

⁶ Parmi ces références figurent : *Approaches to property flood resilience* de Barsley (Barsley, 2020), *Rational for design strategies* et *Design strategies; decision flowchart – Avoidance, Resistance/Resilience* de Bowker, Escameia et Tagg (Bowker et al., 2007) et *Scéma du principe du diagnostic* de Boutet, Faucheux et Lalanne (Boutet et al., 2004).



* Valeur à titre indicatif qui peut être ajustée selon les situations et cas donnés
 **Prendre conscience que des niveaux de crue plus élevés peuvent subvenir et endommagés la structure

Figure 2.4 Logigramme partie 1 : considération de stratégies d'évitement (crédit : Joelle Kelzi)

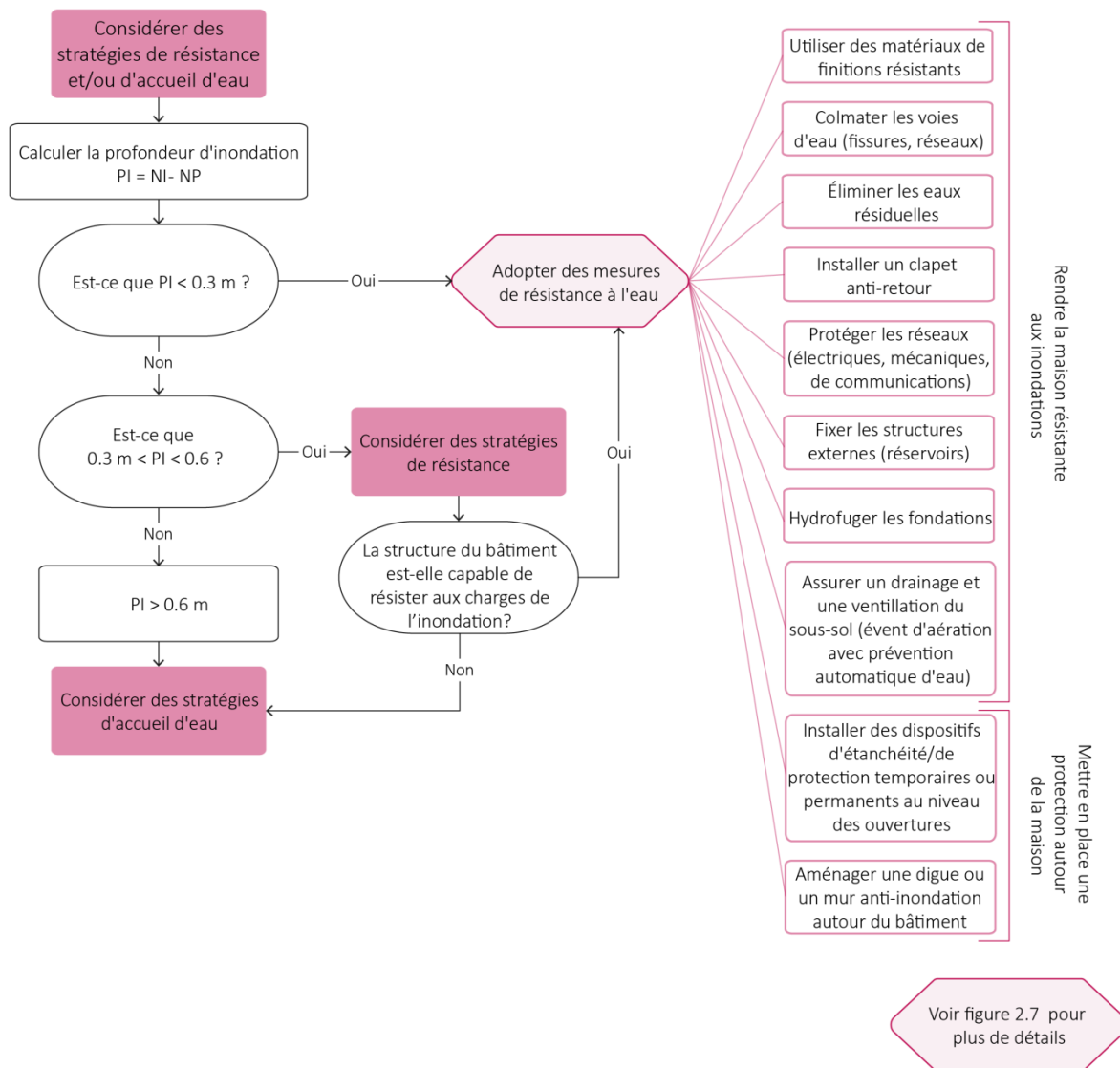


Figure 2.5 Logigramme partie 2 : considération de stratégies de résistance (crédit : Joelle Kelzi)

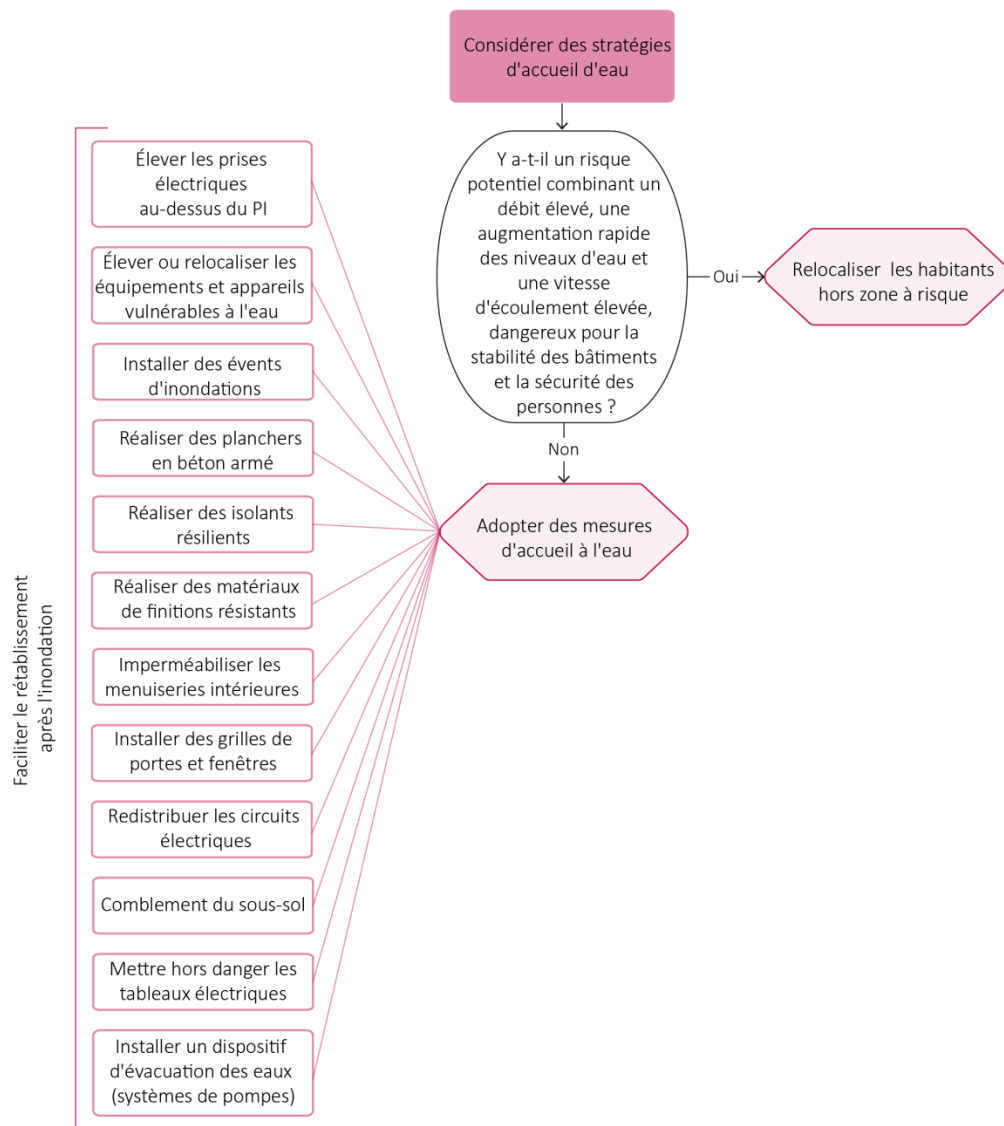


Figure 2.6 Logigramme partie 3 : considération de stratégies d'accueil (crédit : Joelle Kelzi)

Dans le cadre de ce mémoire, ces logigrammes permettent de cibler l'échelle d'intervention qui nous intéresse : les alternatives aux sacs de sable. Les stratégies d'adaptation aux inondations étant multiples et applicables à différents niveaux, cette recherche se concentre spécifiquement sur les options visant la mise en place de protections permanentes ou temporaires autour du bâtiment et sur le bâtiment lui-même, considérées comme une stratégie de résistance à l'eau (figure 2.4). Ce travail explore donc différents dispositifs de protection du bâtiment et de son périmètre, qu'ils soient permanents, semi-permanents ou temporaires.

Des fiches d'information (figure 2.7) ont été réalisées sur une vingtaine de types de dispositifs existants, utilisés à travers le monde. Ce travail vise à rassembler des données clés afin de dresser un portrait structuré des dispositifs existants, en les catégorisant selon leurs caractéristiques techniques, dans l'objectif d'identifier des alternatives aux sacs de sable, en privilégiant des solutions durables et performantes, capables d'assurer une protection optimale des habitations face aux inondations récurrentes.

Dans la réalisation des fiches, nous avons constaté un manque d'homogénéité des données disponibles : selon les sources, certaines informations étaient précises (par exemple les matériaux, le mode de déploiement, etc.), alors que d'autres restaient générales (par exemple la hauteur de protection ou le coût). Nous avons tenté de rassembler les informations les plus précises et pertinentes pour chaque dispositif, malgré les limites imposées par la disponibilité et la variabilité des données.

De plus, les fiches ne sont pas exhaustives. Elles présentent les dispositifs identifiés dans le cadre de cette recherche, à partir des ressources disponibles et des exemples les plus pertinents pour le contexte étudié. D'autres modèles ou variantes de dispositifs existent, mais les principes de fonctionnement et les logiques d'implantation restent généralement comparables à ceux décrits dans les fiches présentées. Ces dernières permettent de saisir les principes de fonctionnement essentiels de chaque type de dispositif.

L'ensemble des fiches est présenté en annexe 1, accompagné d'un guide de lecture. Le lecteur est invité à s'y référer pour en apprendre davantage.

Voir annexe 1.

10

Batardeau vissable

Floodguard screw-in barrier
<https://aquobex.com/products-list/floodguard-screw-in-barrier/>

Contexte d'utilisation

- *Recommandé pour* : les crues progressives

Composition et caractéristique

- *Matériaux* : aluminium renforcé, acier inoxydable, panneaux composites étanches, joints en caoutchouc compressibles
- *Poids* : 5 à 30 KG

Déploiement et usage

- *Activation* : manuelle, en fixant le dispositif par des vis de serrage sur le cadre préinstallé
- *Temps de déploiement* : quelques minutes
- *Nombre de personnes* : 1 personne
- *Fonctionnement* : se fixe solidement sur le cadre préinstallé en serrant les vis, ce qui compresse les joints d'étanchéité et bloque les infiltrations d'eau

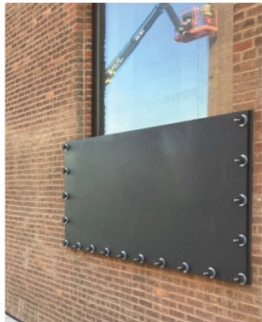
Performance et entretien

- *Hauteur d'eau maximale* : 0,6 m à 0,9 m
- *Durée de vie* : jusqu'à 20 ans
- *Durée d'utilisation* : quelques heures à 72 heures
- *Entretien* : modéré, vérification des joints d'étanchéité et des fixations et nettoyage des panneaux après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Installation du cadre de fixation par un professionnel est recommandée
- Installation sur mesure possible pour s'adapter à tout taille d'ouverture






19

Barrière modulaire auto-portante ballastée

Floodstop modular flood barrier
<https://www.empteezy.co.uk/collections/floodstop>

Contexte d'utilisation

- *Recommandé pour* : les crues progressives

Composition et caractéristique

- *Matériaux* : modules en polyéthylène haute densité, joints en caoutchouc
- *Poids* : 5 à 65 KG vide

Déploiement et usage

- *Activation* : manuelle, en assemblant les modules et en les remplissant d'eau
- *Temps de déploiement* : jusqu'à 2 heures pour un déploiement sur 20 m
- *Nombre de personnes* : 2 à 3 personnes
- *Fonctionnement* : chaque module est connecté aux autres pour former une barrière continue, puis remplie d'eau pour renforcer la stabilité face à la pression de l'inondation

Performance et entretien

- *Hauteur d'eau maximale* : 0,5 m à 0,9 m
- *Durée de vie* : jusqu'à 15 ans
- *Durée d'utilisation* : quelques heures à quelques jours
- *Entretien* : faible, vérification des connexions et joints d'étanchéité avant installation et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Modularité totale et possibilité d'utilisation sur différentes surfaces (asphaltes, sols naturels, béton)





Figure 2.7 Exemples de fiches de produit, présentés dans l'annexe 1 (crédit : Joelle Kelzi)

L'analyse des fiches a permis de dégager plusieurs constats importants. Leur organisation en trois catégories principales (permanent, semi-permanent et temporaire) met d'abord en évidence la variété des mesures existantes. Chaque fiche décrit les caractéristiques propres du dispositif : matériaux, poids, mode d'activation, temps de déploiement, nombre de personne requis, fonctionnement, hauteur de protection maximale, durée de vie, durée d'utilisation et entretien. Chacune repose sur des principes d'utilisation différents, selon les besoins à couvrir et la manière dont elles sont mises en place et utilisées. Ainsi, lorsqu'elles sont considérées séparément, la comparaison est difficile.

De ce fait, le tableau à la figure 2.8 propose une synthèse comparative. Il regroupe, pour chaque dispositif, des informations relatives à son échelle d'intervention (PROP pour la propriété ou le périmètre, BAT pour le bâtiment), à son mode de déploiement (M pour manuel, A pour automatique), à son coût estimé (\$ = > 500, \$\$ = 500 à 2 000, \$\$\$ = 2 000 à 8 000, \$\$\$+ = 8 000 <), à la hauteur maximale de protection, ainsi qu'à la nécessité ou non d'une installation par un professionnel. Ce tableau permet d'identifier les différences majeures entre les dispositifs étudiés, en offrant une vue d'ensemble des caractéristiques techniques et pratiques de chacun.

Au-delà de cette description, le tableau joue un rôle essentiel pour l'analyse : il uniformise les informations et rend possible une comparaison directe entre les dispositifs. Il constitue également un outil d'aide à la décision, puisqu'il permet d'écarter rapidement les options qui ne répondent pas aux critères retenus et de concentrer l'attention sur les solutions les plus adaptées au contexte étudié.

Cette mise en perspective a permis d'identifier certains contrastes récurrents : les solutions temporaires apparaissent comme plus accessibles financièrement et faciles à déployer, mais leur performance demeure limitée en termes de hauteur d'eau et de durée d'utilisation. À l'inverse, les dispositifs permanents ou semi-permanents se distinguent par leur robustesse et leur durabilité, mais nécessitent des investissements plus importants et, dans plusieurs cas, l'intervention de professionnels pour l'installation. Ces enseignements montrent que les alternatives aux sacs de sable ne doivent pas être envisagées comme une mesure unique, mais plutôt comme un éventail de possibilités à adapter en fonction du contexte local, du type de bâtiment et des ressources disponibles. Ces constats constituent une base essentielle pour la suite de ce travail, puisqu'ils orientent l'analyse vers l'identification des mesures les plus réalistes et pertinentes dans le cadre résidentiel québécois, marqué par la récurrence des crues.

Permanent	Porte anti-inondation	BAT	M	\$\$\$	0,9	x
	Porte de garage anti-inondation	BAT	M/A	\$\$\$	1,6	x
	Fenêtre anti-inondation	BAT	M	\$\$	1,2	x
	Portail anti-inondation pivotant	BAT	M/A	\$\$\$	1,2	x
	Barrière auto-déployante hydraulique	PROP	A	\$\$\$+	1,8	x
	Membrane périmétrique auto-déployante	PROP	A	\$\$\$+	1,5	x
	Portail anti-inondation	PROP	M/A	\$\$\$+	1,2	x
	Mur anti-inondation	PROP	-	\$\$\$+	3	x
Semi-permanent	Batardeau vissable pour fenêtre de sous-sol	BAT	M	\$\$	N/A	
	Batardeau vissable	BAT	M	\$\$	0,9	
	Batardeau encastré	BAT	M	\$\$\$	1,2	
	Mur anti-inondation à module empilable	PROP	M	\$\$\$+	2	x
Temporaire	Batardeau à expansion pneumatique	BAT	M	\$\$	0,7	
	Batardeau à ancrage par pression	BAT	M	\$\$\$	0,8	
	Batardeau gonflable	BAT	M	\$\$\$	1,5	
	Batardeau à ancrage latéral	BAT	M	\$\$	0,6	
	Batardeau à expansion manuelle	BAT	M	\$\$	0,8	
	Batardeau ballasté	BAT	M	\$	0,5	
	Barrière modulaire ballastée	PROP	M	\$\$	0,9	
	Barrière modulaire auto-portante inclinable	PROP	M	\$\$\$	1,8	
	Barrière modulaire auto-portante rigide	PROP	M	\$\$	0,5	
	Barrière modulaire auto-portante emboîtée	PROP	M	\$\$\$	1,5	
	Barrière auto-portante auto-déployante	PROP	M	\$\$\$	1,5	
	Barrière tubulaire auto-portante ballastée	PROP	M	\$\$\$	0,7	
	Barrière tubulaire auto-portante gonflable	PROP	M	\$\$\$	0,9	
	Barrière tubulaire ballastée	PROP	M	\$\$\$	1+	
		Échelle d'intervention	Déploiement	Coût	Hauteur maximal en m	Installation par un professionnel

Figure 2.8 Tableau comparatif des dispositifs présentés dans les fiches (crédit : Joelle Kelzi)

2.4 Exemples pratiques de mesures d'adaptation des bâtiments à l'internationale

Au cours de la dernière décennie, de nombreux guides et ouvrages de référence sur la construction dans les zones inondables ont été publiés, notamment⁷ aux États-Unis, au Royaume-Uni, en France et en Australie. Dans son rapport *Cohabiter avec l'eau*, Élène Levasseur met en évidence les approches privilégiées par les États-Unis, le Royaume-Uni et la France, en s'appuyant sur une analyse approfondie de la littérature et des divers guides publiés dans chacun de ces pays (Levasseur, 2021). Les stratégies d'adaptation aux inondations varient selon les pays, mais convergent vers des objectifs communs de renforcement de la résilience des bâtiments et des communautés. Ces approches se distinguent par leurs stratégies adaptées aux contextes locaux et aux types d'inondations rencontrés (Levasseur, 2021) :

- Aux **États-Unis**, la stratégie privilégiée dans la plupart des cas est l'élévation du plancher habité au-dessus de la hauteur d'eau d'une crue de base, appelée *Base Flood Elevation* (BFE). Cette hauteur d'eau de base correspond à celle d'une inondation ayant 1 % de chances de se produire ou de dépasser ce niveau chaque année (FEMA, 2020). Cette cote de référence est différente selon les régions et zones d'ancrages.
- Au **Royaume-Uni**, les approches favorisent l'entrée contrôlée de l'eau dans les bâtiments, en fonction des particularités du cadre bâti et des types d'inondations. Cette stratégie est souvent combinée avec des mesures visant à protéger ou relocaliser les équipements sensibles, afin de limiter les dommages et d'améliorer la résilience à différentes échelles.
- En **France**, l'accent est mis sur la sécurité et le confort des occupants. Bien que les mesures de résistance et d'accueil soient recommandées, l'accent est d'avantage mis sur la réduction de la vulnérabilité des bâtiments et des habitants par la prévention, l'éducation et la sensibilisation. Des outils et des méthodes d'autodiagnostic de niveau de vulnérabilité, accessible à tous, permettent de proposer des mesures d'adaptation en fonction du niveau de vulnérabilité identifié.

En **Australie**, l'analyse des documents et guides sur l'adaptation aux inondations, tels que le *Flood Resilient Guide to Retrofitting Your Home* de la ville de Port Phillip (Melbourn Water, 2020) et le *Flood Resilient Building Guidance for Queensland Home* (The State of Queensland, 2019), révèle que la

⁷ Les pays sélectionnés possèdent des constructions comparables à celles trouvées au Québec, notamment les structures en bois. Les critères de sélection incluent la matérialité, le type de construction, le climat et les types d'inondations.

stratégie principale de résilience repose sur une combinaison de techniques de *wetproofing* (accueil) et de *dryproofing* (résistance). Elle inclut également l'aménagement de zones de refuge à l'intérieur des bâtiments et la création de surfaces perméables à l'extérieur. Ces mesures visent à protéger les résidents tout en renforçant leur sensibilisation aux risques spécifiques liés aux inondations.

Levasseur relève que les documents analysés pour l'ensemble des pays mettent en avant des mesures pratiques de résilience à l'échelle des bâtiments pour minimiser les dégâts matériels, réduire les risques pour les personnes et atténuer les impacts financiers pour les particuliers, entreprises et gouvernements. Ils offrent également une explication des différents types d'inondations, des dommages potentiels, des options de financement et des matériaux résistants à l'eau (Levasseur, 2021). Ces ouvrages proposent en outre des exemples pratiques montrant l'application de ces mesures dans des contextes réels, spécifiques à chaque ville ou pays. Ces travaux sont présentés dans les sections suivantes.

2.4.1 États-Unis

Aux États-Unis, la ville de Boston s'est appuyée sur les informations fournies par la Federal Emergency Management Agency⁸ (FEMA) pour développer des recommandations spécifiques dans son guide intitulé *Coastal Flood Resilience Design Guidelines*. Ce guide propose des études de cas illustrant des exemples concrets d'adaptation selon les types de bâtiments résidentiels et commerciaux (McGuinness *et al.*, 2019).

Le document présente des lignes directrices pour les rénovations résilientes et les stratégies d'adaptation à appliquer, organisées autour de cinq catégories principales : la forme du bâtiment, l'enveloppe et l'accessibilité, les systèmes du bâtiment, les stratégies à l'échelle du quartier, ainsi que les stratégies de soutien. Les études de cas incluent des exemples pratiques démontrant comment ces diverses stratégies peuvent être combinées pour améliorer la résilience des bâtiments face aux inondations. Elles s'appuient sur six typologies de bâtiments courants dans les zones inondables de Boston : résidences pour une ou deux familles, triplex, maisons en rangée, bâtiments multifonctionnels, bâtiments industriels, nouveaux triplex et nouveaux bâtiments à usage mixte (résidentiel et commercial).

⁸ La FEMA est majoritairement responsable de la littérature autour de l'adaptation des bâtiments résidentiels aux inondations aux États-Unis. En tant qu'agence gouvernementale spécialisée dans la gestion des urgences et des catastrophes, elle base ses études sur le développement de cas réels d'adaptation et de transformation de longue date (FEMA, 2023).

Chaque fiche d'étude (figure 2.9) décrit les vulnérabilités de l'état actuel du bâtiment, puis propose des stratégies à adopter à long terme. Si ces dernières ne sont pas réalisables en raison des coûts, des codes de construction ou d'autres contraintes, des stratégies progressives ou intermédiaires d'adaptation sont identifiées pour minimiser les dommages à moyen terme, en attendant qu'une stratégie à long terme devienne réalisable. Cette approche méthodique fournit des exemples concrets et reproductibles, tenant compte des besoins spécifiques des bâtiments et de leurs contextes urbains, tout en mettant en avant les co-bénéfices durables tels que l'efficacité énergétique et l'amélioration des espaces publics.

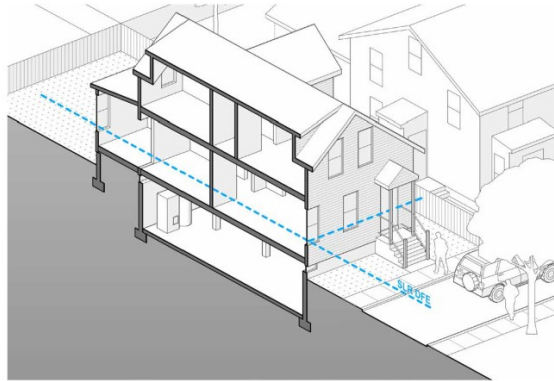
Les mesures de résilience proposées, qu'il s'agisse de stratégies à long terme ou à moyen terme, sont toutes centrées sur le respect du Sea Level Rise-Design Flood Elevation (SLR-DFE), qui détermine la hauteur minimale à laquelle un bâtiment ou ses systèmes critiques doivent être situés pour être protégés contre les inondations projetées (McGuinness *et al.*, 2019). Les stratégies à long terme incluent l'élévation des bâtiments au-dessus du SLR-DFE, la relocalisation des systèmes mécaniques, électriques et de plomberie (MEP) à des niveaux sécurisés, l'utilisation de matériaux résistants aux dégâts causés par l'eau, la production d'énergie autonome par des systèmes comme les panneaux solaires, l'aménagement des espaces environnants pour une meilleure gestion des eaux et l'intégration des changements à l'échelle des quartiers pour une résilience collective. Les stratégies à moyen terme, conçues comme des étapes intermédiaires ou des mesures temporaires, comprennent l'élévation progressive des systèmes MEP, l'installation de systèmes de drainage internes, l'ajout de dispositifs de protection temporaires et réutilisables (comme des boucliers anti-inondation), la conversion des espaces habitables en zones non habitables (comme en stockage ou stationnement) et l'ajout de ventilations pour inondations dans les murs du sous-sol.

One- and Two-Family Residential

Existing Conditions

This type is commonly found in Dorchester within the Overlay neighborhoods. Structures are typically one or two-story wood-framed structures with pitched roofs and fieldstone foundations. They are commonly free-standing

and often set back a few feet from the sidewalk, with porches covering raised stoops. Because of the scale of these buildings and their separation from adjacent structures, elevating the building is a viable adaptation measure.



Case Study Location



Sea Level Rise Conditions

SLR-BFE 19.5' BCB

SLR-OFE 23.5' BCB

FEMA BFE 18.4' BCB

Other Neighborhoods

Dorchester, East Boston

Building Characteristics

Grade elevation	approx. 14.3' BCB
Lowest occupiable floor	approx. 17.5' BCB
Center elevation	Unknown
Critical systems location	Basement
Construction type	Wood frame
Year built	Late 19th–early 20th century
Stories	2
Units	1
Sidewalk width	4'
Zoning district	Two-family Residential

66 DRAFT — September 2019



Long-term Strategy

Building Systems

Protect Critical Systems

Locate water heater and critical systems above the SLR-OFE.

Evaluate life of systems and upgrade where possible. Consider upgrading heating to high-efficiency mini-split heat pump system with equipment mounted outside and above the SLR-OFE.

Building Form

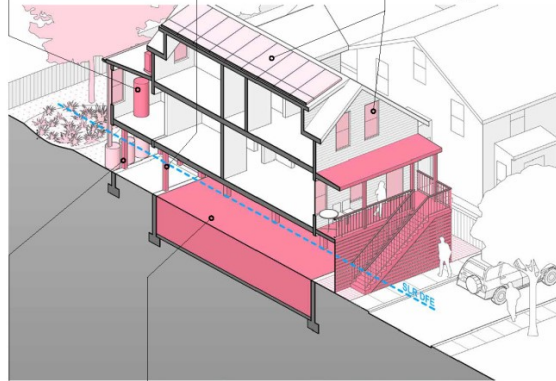
Elevate on Open Foundation

Elevate house on posts above SLR-OFE on new foundation system. Consider elevating higher to accommodate storage and/or parking. Abandon basement and fill it to the lowest adjacent grade. When elevating, incorporate screens, porches, and stairs to integrate with the public sidewalk.

Supporting Strategy

Enhanced Envelope

Conduct energy audit and blower door test. Air-seal at windows, doors, and penetrations. Upgrade windows to low-e, low-U-factor units. Install blown-in cellulose insulation to wall cavities; add roof insulation outboard of deck. Install hardenable, grid-connected solar PV system on the roof for on-site energy generation.



Building Envelope and Access

Flood-Damage-Resistant Materials

Use saltwater-damage-resistant materials below SLR-OFE.

Building Form

Repurpose / Relocate Ground Floor Use

Abandon basement and ground floor. Fill basement to the lowest adjacent grade. Convert ground floor use to storage, parking, or access. Eliminate any habitable spaces below SLR-OFE. Repurpose lost FAD at roof addition.

When filling basement, consider structure and envelope to prevent wicking of moisture up into building after flooding.



View from the street

DRAFT — September 2019

67

Incremental Strategy

Floodproofing the basement and protecting the components of critical systems are priority short-term measures.

Building Systems

Protect Critical Systems

Locate systems above SLR-OFE. Consider mini-split system with condenser routed to the side of house above SLR-OFE.

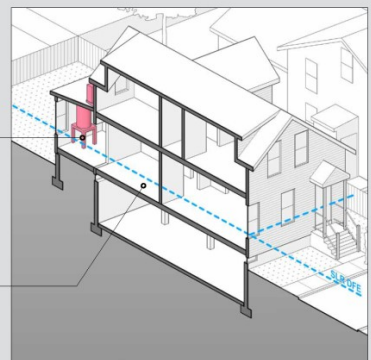
Backup Systems

Install backflow preventers to limit wastewater backup and sump pumps to provide internal drainage.

Building Envelope and Access

Flood-Damage-Resistant Materials

Use flood-damage-resistant materials below SLR-OFE.



DRAFT — September 2019

69

Figure 2.9 Fiche d'étude résidence pour une ou deux familles, tiré du guide *Coastal Flood Resilience Design Guidelines* (McGuinness et al., 2019)

2.4.2 Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, *Retrofitting for Flood Resilience* met l'accent sur les stratégies pour améliorer la résilience face aux inondations, non seulement dans un contexte britannique, mais aussi applicable à l'échelle internationale (Barsley, 2020). Edward Barsley utilise des illustrations en coupe 3D pour présenter ces stratégies de manière pédagogique. Il simule des scénarios « avant-après » d'une inondation (figure 2.10). Ces représentations permettent de visualiser clairement l'impact des interventions proposées, telles que l'installation de barrières anti-inondation, le rehaussement des seuils ou l'utilisation de matériaux résistants à l'eau.

A VULNERABLE HOUSE (BEFORE)

Houses can be vulnerable to flooding when:

Position:

- ❶ Power sockets are located at low level
- ❷ Wiring is fed from the bottom up
- ❸ TV and electrical items are at low level or placed on freestanding furniture
- ❹ Ovens and fridges are at low level
- ❺ Radiators are at low level

Materials:

- ❶ Loose-fill or fibre insulation is used
- ❷ Floors are covered in porous materials
- ❸ Furniture is bulky, fixed in place, difficult to deconstruct or heavy
- ❹ Lower stair treads are covered in carpet
- ❺ Walls are lined with standard plasterboard
- ❻ Party walls are not tanked
- ❼ Kitchen units and rooflofts are made of standard compressed woodchip

Devices:

- ❶ Standard air bricks are used
- ❷ Standard front door is used
- ❸ Drainage networks do not have non-return valves on them

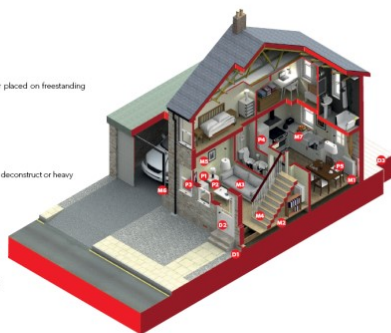


Figure 5.58: A vulnerable house (before)

Retrofitting for Flood Resilience

254

A VULNERABLE HOUSE (DURING/AFTER)

Both during and after a flood, the vulnerable house is in a damaged condition. The fabric of the building, furniture, fixtures and cherished items will all be contaminated and affected by flood water. Reinstatement of the vulnerable house will require the affected items to be removed and disposed of. Slips like the stairs, and the sound of dehumidifiers and construction works fill the air. During this time the family are living in temporary accommodation. It will take considerable time, energy and cost to reinstate the property to a habitable condition.

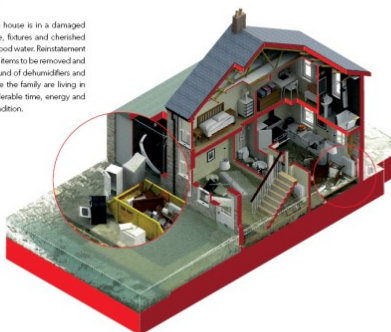


Figure 5.60: A vulnerable house (during/after)

Retrofitting for Flood Resilience

254

A RESILIENT HOUSE (BEFORE)

The following setup and strategies can be used to improve or make a home flood resilient.

Position:

- ❶ Power sockets positioned at high level
- ❷ White goods (ovens/fridges) are raised to higher levels
- ❸ Increased storage/cabinets mounted on the wall
- ❹ Radiators and boilers are raised to higher level
- ❺ Fume hoods are positioned higher
- ❻ Use kitchen cabinets and doors/drawers that are easy to remove
- ❼ Use tables and chairs that are easy to disassemble/fold and move
- ❽ Car moved to a safe location prior to the flood event
- ❾ Valuable items positioned on high-level shelves
- ❿ TV mounted on the wall

Materials:

- ❶ Resilient kitchen worktop/carcases
- ❷ Tanked walls with perimeter drain
- ❸ Closed-cell insulation
- ❹ Removable paving
- ❺ Resilient tiled floor with slating and drain
- ❻ Vertically oriented resilient plasterboard
- ❼ Green roof
- ❽ Disconnected downpipe and planter

Devices:

- ❶ Flood door
- ❷ Sump and pump (plus back-up power)
- ❸ Non-return valves



Figure 5.59: A resilient house (before)

Building-Level Strategies

A RESILIENT HOUSE (DURING/AFTER)

For a flood of similar depth to those that affected the vulnerable house (Figure 5.60), the resilient house (Figure 5.61) would be flood 'resilient', with the flood door and other dry-proofing measures restricting water from entering the building. If flood depths exceed 600 mm, flood water can enter the building through flood vents. However, the latter box in the flood door but has little impact on the property that has been made flood 'recoverable' and had a flood plan enacted. Reinstatement will require decontamination (and potentially drying/repair and replacement of any soffit elements) but will take days/weeks/months, rather than months/years.



Figure 5.61: A resilient house (during/after)

Building-Level Strategies

Figure 2.10 Coupes en 3D illustrant les changements réalisés pour rendre une maison résiliente, simulées selon un scénario « avant-après » inondation, tirées de *Retrofitting for Flood Resilience* (Barsley, 2020)

De plus, d'autres documents mettent en avant des études de cas basées sur des applications réelles de ces mesures à l'échelle résidentielle, commerciale et communautaire. Par exemple, le guide *Homeowners guide to property flood resilience* présente une gamme de mesures, allant des dispositifs de résistance temporaire et permanente aux solutions auxiliaires pour renforcer la résilience des espaces intérieurs habités, en passant par des stratégies communautaires et des solutions de drainage durable (Dhonau *et al.*, 2018). Le guide inclut des études de cas illustrant des propriétaires ayant mis en place ces mesures de résilience efficaces, ainsi qu'un répertoire de fabricants et de fournisseurs des produits de protection contre les inondations. Par ailleurs, l'initiative *Property Flood Resilience* vise à inspirer les victimes d'inondations à adopter des mesures d'adaptation en s'appuyant sur des cas concrets de réussite (Dhonau et Kehoe, 2020). Ce document présente 25 exemples d'adaptation de bâtiments résidentiels (figure 2.11), montrant comment diverses mesures ont permis aux occupants de se rétablir plus rapidement.

Karen and Ken in Lancashire Semi-detached house. Flooded 2017

Karen and her husband Ken have lived in their semi-detached home for 32 years. Prior to the flood of November 2017, they had never flooded and didn't consider themselves at risk of flooding.

When the flood water came rushing down the road (which they believe to be due to a blocked culvert and increased development), they didn't think for one moment that they'd flood. It was only when their bin was knocked over by the water that they began to worry. Immediately, Ken moved his car as high up the incline of their driveway as he could and the next morning, realised that he was the only person on the street not to lose his car to the flood water. They tried to move as much as they could in the short time they had, before the water came in through both doors and air bricks. It also came in via their washing machine and dishwasher. The whole of their ground floor was flooded 'up



Flood Barrier to basement door and window.

to the 3rd step' on their stairs. Karen recalled being devastated to find that all her memories that were stored in a pine chest, (including children's first shoes, baby toys and photos of their late parents) were destroyed. She advises that everyone should keep precious memories and documents upstairs. As the couple witnessed how the water got into their home, they decided to try to keep it out. The work included:

- Installing 'self-closing' airbricks.
- Flood barriers to both doors.

- Non-return valves to washing machine and dishwasher.
- Plug sockets higher up the wall.



Raised plug sockets and non-return valves to washing machine and dishwasher

Top Tip

Karen had kept all the receipts for new purchases upstairs and said how handy that was when making a flood insurance claim.

Single dwelling case study 5.1

Resilient home in Buckinghamshire

A Victorian terraced house on four floors, situated on a steeply sloping site with a major river below. The current owners were not been aware of flood risk to the basement area at the time of purchase and had a new concrete floor creating a living room and kitchen. Experiencing two floods within five years then prompted them to make their home resilient instead.

The kitchen is built from Marine Ply, allowing the cupboards to be washed out and disinfected, and the kickboards are removable, so that under-unit areas can dry out after a flood (Fig 2). The Aga has no damage-prone parts in bottom 4" and is also on a steel plinth, yet looks normal to a casual observer. The internal doors are made from pitch pine and have successfully survived two floods without damage, the stair-carpet has a separate, removable section covering the bottom three steps - this can be taken upstairs when a flood warning is received.

All sentimental items kept upstairs. A non return valve (NRV) has been installed in the foul-water sewer, to prevent backflow of sewage into the downstairs toilet.

The owners make a point of unplugging all electrical equipment is unplugged when a flood warning received, as this prevents short-circuiting damaging any appliances when the water comes in. In the lounge, an automatic pump in a sump is sited in a corner (Fig 4), and this now keeps the floodwater to around 1-2" depth, which does minimal damage.

The sump-pump socket is supplied from the upper floor, so continues to operate when the electricity is disconnected from the basement area. Carpet tiles, which are relatively cheap and can be regarded as 'sacrificial', are laid on top of the concrete floor. The owners also chose a sofa that has legs (rather than castors) which can easily be raised on blocks, and the gas fire is also on legs such that the shallow water depth causes no damage.

"You can't keep the water out, but you CAN manage the water when it comes in... so it doesn't cause damage."



Figure 1 Kitchen during the flood

Figure 2 Same kitchen after washing and disinfecting: "one afternoon's work and it's done"



Figure 3 Boiler supplying CH & hot water has been moved upstairs

Figure 4 Sump pump (supplied from upper floor) and sump on legs in the lounge



Figure 5 Furniture raised on bricks wrapped in plastic bags - this stops the water seeping up into legs

Figure 2.11 De gauche à droite, exemples réels de résilience de maisons britanniques, tirés respectivement du *Homeowners' Guide to Property Flood Resilience* (Dhonau *et al.*, 2018) et de *Property Flood Resilience* (Dhonau et Kehoe, 2020)

2.4.3 France

En France, le *Référentiel de travaux de prévention de l'inondation dans l'habitat existant* établit un cadre national pour homogénéiser et formaliser les mesures de prévention contre les inondations dans les habitations existantes en France, en mettant l'accent sur l'importance de la sécurité et l'éducation des personnes atteintes (professionnels et civiles) par les inondations (CEPRI et CSTB, 2012).

Pour s'y faire, le document présente cinq études de cas (figure 2.12) pour illustrer des situations spécifiques de rénovations de bâtiments, représentatives du contexte métropolitain français. Le référentiel détaille plusieurs étapes pour la mise en œuvre de travaux de prévention : s'informer sur les risques, diagnostiquer la vulnérabilité de la construction, sélectionner les travaux pertinents avec l'aide d'un professionnel et enfin, réaliser ces travaux. Les études de cas permettent de comprendre l'application pratique du référentiel et montrent comment dérouler les étapes successives pour sélectionner les travaux pertinents en fonction de chaque situation. Elles expliquent également les choix des travaux à entreprendre selon les contextes, tout en évaluant les aspects financiers et économiques des solutions envisagées.



Figure 2.12 Étude de cas 1 : Amélioration de la sécurité des occupants d'un pavillon individuel en cas d'inondation, tiré du *Référentiel de travaux de prévention de l'inondation dans l'habitat existant* (CEPRI et CSTB, 2012)

2.4.4 Australie

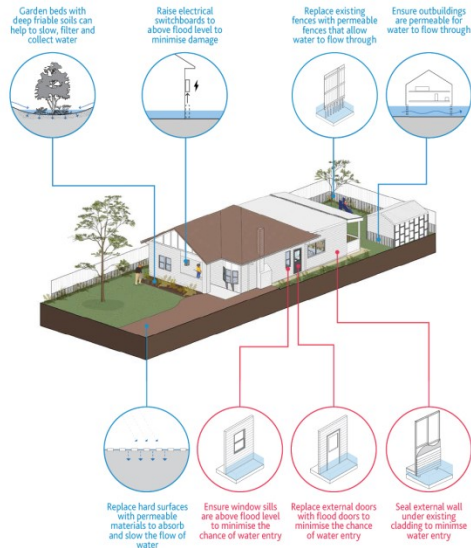
En Australie, de nombreux guides proposent des exemples d'application des mesures d'adaptation aux inondations. Parmi eux, le guide *Flood Resilient Guide to Retrofitting Your Home* élaboré par la ville de Port Phillip (Melbourn Water, 2020). Ce guide pratique vise à aider les propriétaires de maisons existantes qui n'ont pas été construites selon les normes de protection contre les inondations. Il illustre des exemples concrets de maisons résistantes aux inondations et met en avant des mesures de design, de matériaux et de construction adaptées à trois types de maisons couramment trouvés dans les zones inondables : détachées (maisons individuelles), semi-détachées (maisons jumelées) et attachées (maisons en rangées).

En plus des approches classiques, d'évitement, de résistance et d'accueil, mises en avant dans ces exemples, illustrés à travers des schémas détaillés, des dessins en coupe et des explications en plan (figure 2.13), le guide insiste sur une quatrième approche : l'absorption. Celle-ci repose sur une vision intégrée où le bâtiment et le terrain autour sont une entité qui travaille ensemble. Le guide explique qu'il est important de considérer la propriété comme une « éponge » capable de recevoir et d'absorber lentement l'eau dans les surfaces du sol. En augmentant les surfaces perméables sur une propriété, il est possible de réduire la quantité d'eau s'écoulant vers les bâtiments, vers d'autres propriétés et dans les rues.

7.1 Detached

Concrete slab on ground floors and timber framed walls with timber external cladding

Legend
 ● Wet proofing strategies
 ● Dry proofing strategies

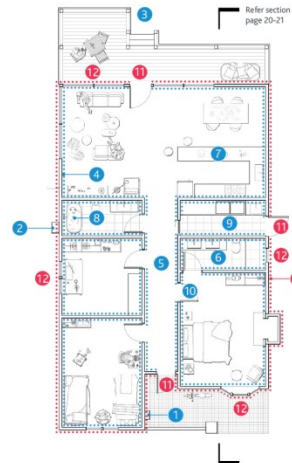


Wet proofing

- 1 Raise electrical switchboard to above flood level to minimise damage.
- 2 Raise gas hot water unit to above flood level onto a concrete plinth, steel brackets or stainless steel framed bench to minimise damage.
- 3 Replace existing stairs with open stairs made from flood resilient materials to minimise damage.
- 4 Replace internal wall linings with flood resilient wall linings to minimise damage.

- 5 Replace flooring with flood resilient flooring to minimise damage.
- 6 Seal existing tiled areas to minimise the chance of mould.
- 7 Replace cabinetry with flood resilient materials to minimise damage.
- 8 Replace built-in bathtubs with freestanding bathtubs or showers.
- 9 Raise washing machine and dryer above flood level onto a flood resilient cabinetry or a stainless steel framed bench to minimise damage.

- 10 Replace hollow core doors with solid core doors to minimise damage.
- 11 Replace external doors with flood doors to minimise the chance of water entry.
- 12 Ensure window sills are above flood level to minimise the chance of water entry.
- 13 Seal external wall under existing cladding to minimise the chance of water entry.

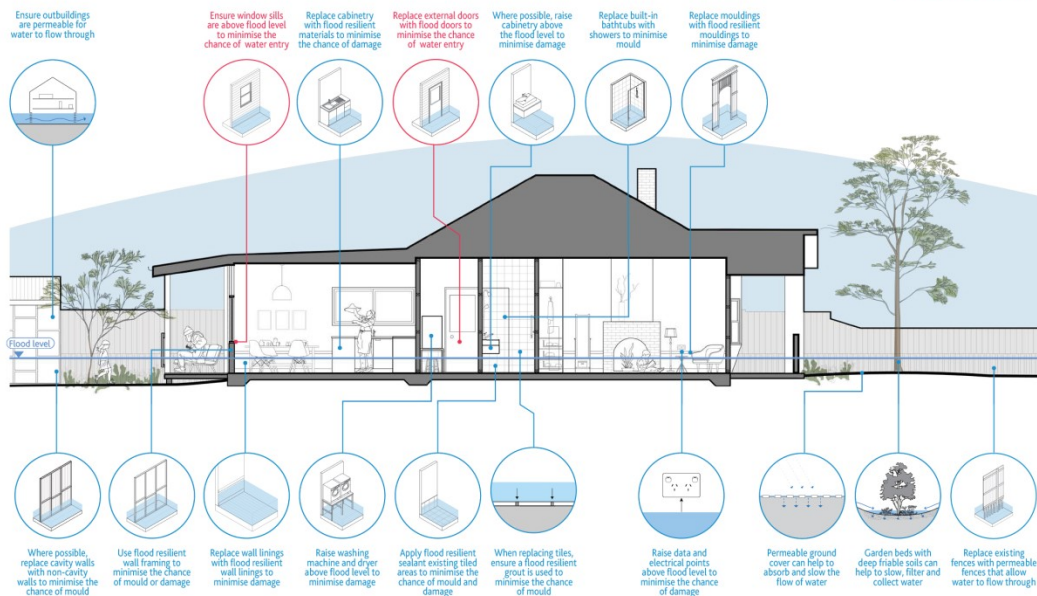


7.1 Detached

Concrete slab on ground floors and timber framed walls with timber external cladding

Melbourne Water | JDA Co. 17

Legend
 ● Wet proofing strategies
 ● Dry proofing strategies



Melbourne Water | JDA Co. 18

Figure 2.13 Exemple concret de mesures d'adaptation pour une maison détachée, tiré du guide *Flood Resilient Guide to Retrofitting Your Home* (Melbourn Water, 2020)

Dans le même courant d'idées, le guide *Flood Resilient Building Guidance for Queensland Homes*, publié par l'État du Queensland, se concentre exclusivement sur les maisons détachées qui représentent les formes de bâtiments les plus courantes dans cette région (The State of Queensland, 2019). Ce guide propose des coupes en perspectives illustrant les différentes configurations courantes de ces maisons. Elles sont classées en deux grandes catégories : construction légère et maçonnerie. La principale différence entre ces configurations réside dans les matériaux utilisés pour les cloisons et la structure, ainsi que dans le fait que les maisons soient surélevées ou non. Basé sur les leçons tirées de la consultation avec l'industrie de la construction, les gouvernements locaux et les agences gouvernementales, ce guide présente une variété de stratégies de résilience, de détails de construction, de matériaux et de produits locaux adaptés au contexte d'inondations.

Pour les maisons légères (figure 2.14), construites avec des charpentes en bois ou en acier, l'approche se concentre sur le remplacement des matériaux non résistants à l'eau, l'ajout de systèmes de ventilation pour éviter les moisissures et la protection des structures en bois par des membranes étanches. Les sols, souvent vulnérables, sont remplacés par du béton poli, du carrelage ou du vinyle avec membranes imperméables.

En revanche, les maisons en maçonnerie (figure 2.15), construites avec des briques ou des blocs de béton, nécessitent des ajustements comme l'ajout de trous d'aération pour faciliter le drainage, l'utilisation de matériaux résistants à l'eau pour les murs et des finitions adaptées pour protéger les zones basses contre les infiltrations. Les structures internes, telles que les escaliers, sont conçues sans cavités et en matériaux durables pour un nettoyage facile après une inondation.

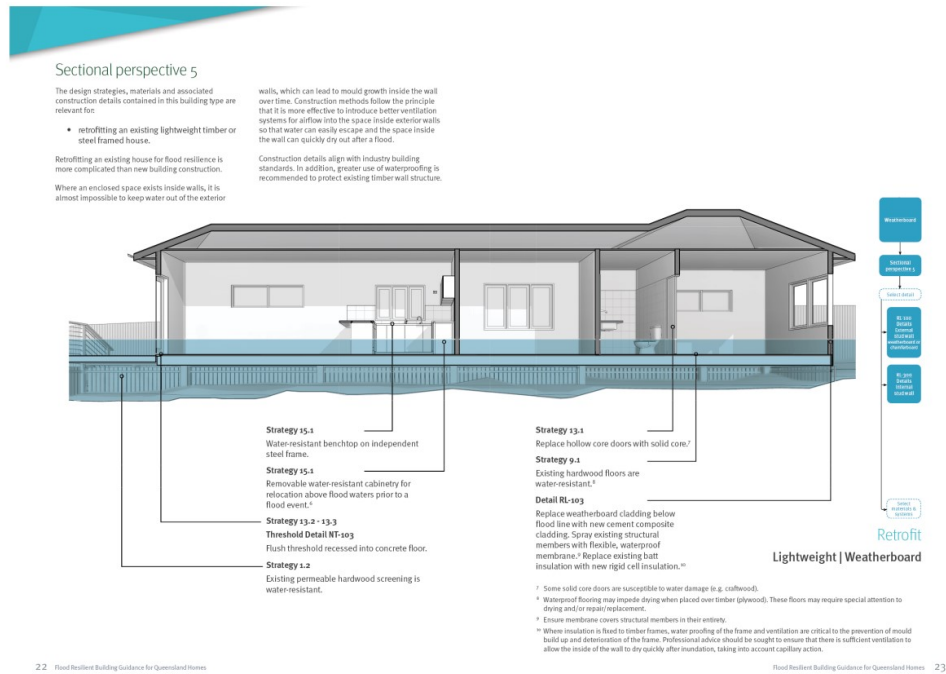


Figure 2.14 Coupe en perspective d'une maison détachée à construction légère en bois ou acier, tiré de *Flood Resilient Building Guidance for Queensland Homes* (The State of Queensland, 2019)

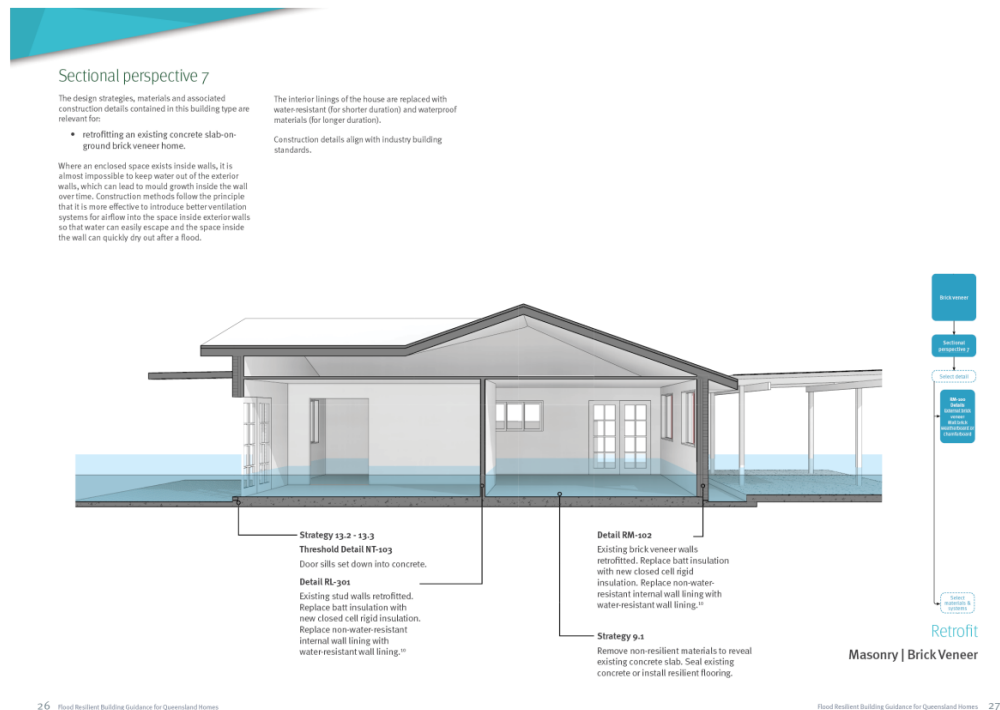


Figure 2.15 Coupe en perspective d'une maison détachée à construction sur dalle de béton avec un revêtement en briques, tiré de *Flood Resilient Building Guidance for Queensland Homes* (The State of Queensland, 2019)

2.5 Éléments de synthèse

L'examen des notions de résilience et d'adaptation a montré qu'elles constituent toutes deux des cadres essentiels pour comprendre les réponses aux inondations. Toutefois, leur usage dans la littérature demeure parfois trop général ou théorique. Dans la pratique, l'enjeu n'est pas seulement de définir ces concepts, mais de les traduire en mesures concrètes et adaptées au bâti existant. Ce passage de l'abstrait au concret soulève une difficulté majeure : la résilience et l'adaptation sont le plus souvent abordées à l'échelle des systèmes ou des villes, alors que la réalité des maisons riveraines impose des interventions simples, rapides et accessibles. C'est dans cet écart entre discours global et application locale que s'inscrit la pertinence de cette recherche, qui cherche à réinterpréter ces notions à l'échelle de la maison individuelle.

L'analyse des stratégies d'adaptation existantes nous a conduit à mieux comprendre les différentes approches pouvant être mises en place pour protéger les maisons contre les inondations. À travers cette exploration, nous avons constaté qu'aucune mesure ne constitue, à elle seule, une réponse suffisante. C'est bien par la combinaison de différentes approches – qu'elles soient permanentes, comme la surélévation du bâtiment ou l'utilisation de matériaux résistants à l'eau, ou temporaires, comme les batardeaux amovibles et les barrières anti-inondation – que nous pouvons assurer une protection plus durable. À travers le développement des logigrammes, nous avons précisé la portée de ce mémoire. Comme l'un des objectifs est de proposer des alternatives à l'utilisation traditionnelle des sacs de sable, ce travail se concentre sur l'adoption de mesures de résistance. Les logigrammes mettent en évidence comment ces mesures s'inscrivent parmi l'ensemble des stratégies d'adaptation et servent de référence pour définir les contextes réels qui seront retenus pour l'élaboration des scénarios d'adaptation présentés par la suite.

L'élaboration des fiches de produit nous a permis de dresser un inventaire structuré des dispositifs existants à l'international, en précisant pour chacun des caractéristiques techniques et pratiques telles que les matériaux, le poids, le mode d'activation, le temps de déploiement, la hauteur de protection maximale, la durée de vie ou encore les besoins en entretien. Au-delà de cet inventaire, nous avons constaté qu'il serait pertinent d'examiner comment ces dispositifs pourraient être utilisés en réalité dans le contexte québécois, en tenant compte des particularités climatiques et de la récurrence des inondations.

Le tableau comparatif (figure 2.8) a servi à synthétiser les informations clés en les uniformisant autour de critères communs : échelle d'intervention, mode de déploiement, coût estimé, hauteur maximale de protection et nécessité d'un professionnel pour l'installation. Cet outil de mise en perspective a constitué une étape essentielle puisqu'il a rendu possible une comparaison directe entre les dispositifs et, par conséquent, une hiérarchisation plus claire des mesures. L'analyse du tableau nous a montré que les dispositifs temporaires sont accessibles et faciles à utiliser mais limités en performance, tandis que les dispositifs permanents ou semi-permanents sont plus durables et robustes, mais aussi plus coûteux et complexes à mettre en place.

Les exemples internationaux analysés ont illustré la diversité des réponses développées selon les contextes et nous ont permis de mieux saisir les conditions de mise en œuvre des stratégies, ainsi que les principes communs qui les sous-tendent, dans une perspective de diminution des dommages et de renforcement de la sécurité des occupants. Nous avons aussi observé que plusieurs guides proposent des pistes qui portent principalement sur des interventions permanentes et structurelles, comme la modification des fondations. Des organismes comme la FEMA, le CEPRI ou ASFQ ont produit des ressources utiles à cet effet. Toutefois, malgré la richesse de ces références, peu d'entre elles abordent de manière détaillée la question de la protection temporaire des ouvertures (portes, fenêtres, garages) et des composantes vulnérables des maisons existantes. Pourtant, ces éléments jouent un rôle clé dans la capacité d'une habitation à résister à une inondation, surtout lorsqu'il n'est pas possible d'engager des travaux majeurs. Ce manque d'outils concrets à l'échelle des habitations déjà construites rend difficile la mise en place de stratégies adaptées par les occupants eux-mêmes.

Pour ce mémoire, l'accent est mis sur les dispositifs temporaires et adaptatifs, applicables rapidement et à moindre coût, afin d'offrir des alternatives concrètes aux sacs de sable. Toutefois, certains changements permanents mais relativement légers sur le bâti existant, comme le rehaussement des ouvertures (portes, fenêtres, seuils), seront également considérés. Ces interventions, bien qu'impliquant une modification structurelle, demeurent accessibles et peuvent significativement réduire la vulnérabilité des habitations sans nécessiter une transformation majeure. Cependant, certaines pistes seront volontairement écartées. Les solutions de relocalisation, par exemple, bien qu'efficaces dans certains cas extrêmes, s'avèrent irréalistes à grande échelle en raison des contraintes financières, sociales et administratives. De même, les stratégies strictement organisationnelles (plans d'évacuation,

sensibilisation) ne seront pas au cœur de cette recherche, car elles dépassent l'échelle du bâtiment et ont déjà fait l'objet de nombreuses publications.

À partir de ces constats, nous avons choisi d'orienter la suite de la recherche vers une approche plus appliquée, en développant des scénarios d'adaptation concrets à partir de maisons réelles situées en zones inondables. Cette démarche vise à illustrer comment certaines stratégies, principalement les dispositifs de protection temporaires et reproductibles ainsi que certaines interventions permanentes simples et accessibles, peuvent être mises en œuvre à l'échelle du bâtiment et de son entourage. Elle nous permettra d'explorer des solutions réalistes et transférables, pouvant être déployées à court comme à long terme, en remplacement aux sacs de sable. En passant du cadre théorique à des propositions ancrées dans la réalité du terrain, ce mémoire contribuera à mieux cerner les conditions d'implantation de ces stratégies et à l'émergence de mesures d'adaptation durables pour les maisons existantes en zones inondables au Québec.

CHAPITRE 3 :

Méthodologie

Ce chapitre présente la méthodologie adoptée pour explorer des scénarios d'adaptation plus durables aux inondations. Il introduit l'approche de recherche-crédation et l'utilisation de scénarios prospectifs comme outils de conception. Le chapitre décrit la sélection et l'analyse d'un quartier riverain de Montréal comme terrain d'étude, ainsi que la démarche ayant permis d'identifier quatre cas de maisons représentatives. Il explique ensuite comment ces cas ont servi de base pour élaborer des scénarios d'adaptation, intégrant différentes mesures de protection.

3.1 L'approche méthodologique

3.1.1 La recherche-crédation

3.1.1.1 Fondements théoriques

Ce mémoire s'inscrit dans une approche de recherche-crédation, qui mise sur le développement de propositions visant à explorer de nouvelles pistes d'adaptation. Au Québec, la recherche-crédation est un concept qui s'est développé dans le milieu académique lors de la mise en place de programme d'études supérieures en arts (Paquin et Noury, 2020). Elle pourrait être définie, simplement, comme « une sorte de croisement entre la recherche universitaire et la création artistique qui vise un double objectif : la production d'une œuvre (matérielle ou immatérielle), [...] ainsi que la production de connaissances » (Paquin et Noury, 2020).

La recherche-crédation s'articule entre théorie et pratique, combinant réflexion et production. En design, elle ne se limite pas à la création d'un artefact, mais intègre une analyse critique du processus de conception (Paquin et Noury, 2020). Dans ce contexte, les chercheurs utilisent leur pratique de designer comme un outil d'exploration et de réflexion, contribuant ainsi à la production de savoirs, en s'appuyant sur un cadre théorique rigoureux (Barnes, 2012 ; Sevaldson, 2010).

Le processus de la recherche-crédation se distingue par son caractère exploratoire, où les chercheurs ne savent pas toujours à l'avance ce qu'ils vont découvrir. La création joue un rôle clé dans le dévoilement de nouvelles connaissances (Paquin, 2014). Cette perspective s'inscrit dans l'approche de la recherche

par le design (*research by design*) qui considère le design comme un outil d'exploration et de production de savoirs (Sevaldson, 2010).

Plutôt que de s'appuyer uniquement sur des modèles théoriques, cette approche adopte une méthodologie expérimentale qui s'appuie sur la diversité des pratiques du design, un domaine en constante évolution (Hirt, 2015). Elle repose sur un cycle de création et d'expérimentation où la création et la manipulation de formes et d'idées participent activement à l'émergence de nouvelles connaissances (Paquin, 2014). En plus de produire des formes et des modèles, la recherche-crétion en design vise à enrichir les pratiques existantes. Elle favorise de nouvelles dynamiques d'interaction avec l'environnement et stimule l'émergence d'esthétiques et d'usages inédits, en intégrant des savoir-faire non académiques (Collectif Tapiskwan, 2022 ; Raïche-Savoie et Déméné, 2022).

Ainsi, la recherche-crétion en design se positionne comme un cadre méthodologique hybride, permettant d'associer sensibilité créative et exigence académique, tout en contribuant au renouvellement des pratiques et des discours dans ce domaine. Diverses approches permettent d'aboutir à un projet de recherche-crétion, chacune offrant un regard spécifique sur l'interaction entre théorie et pratique.

3.1.1.2 Démarche de recherche-crétion

Dans le contexte de ce mémoire, qui vise à proposer des alternatives durables aux sacs de sable pour les maisons existantes en zones inondables, la recherche-crétion permet d'explorer, structurer et illustrer des pistes concrètes d'adaptation. Cette approche mobilise des outils propres au design, tels que la cartographie, la documentation, la schématisation et le dessin. Dans une telle démarche, ces outils ne sont pas seulement des moyens de représentation : ce sont aussi des instruments de réflexion, d'exploration et de communication. Ils permettent d'articuler théorie et pratique, en donnant forme aux idées tout en générant de nouvelles connaissances, ancrées dans une approche critique et contextuelle (Martin et Hanington, 2012).

Le recours à ces outils a guidé le cheminement méthodologique de ce mémoire. À l'origine, notre question portait sur la manière d'intégrer des systèmes résilients pour améliorer l'adaptation des habitations face aux inondations futures au Québec. Ce point de départ nous a conduit à découvrir la notion de stratégies d'adaptation du bâtiment, que nous avons approfondie dans le chapitre 2, et qui

s'est révélée centrale pour repenser la résilience à cette échelle. C'est dans cette perspective que nous nous sommes d'abord intéressés à des stratégies d'évitement.

Une première piste a consisté à explorer des approches centrées sur les fondations des bâtiments, notamment à travers l'exploration de systèmes d'ancrage inspirés des fondations amphibies ou flottantes utilisées à l'étranger. Toutefois, ces solutions, bien que pertinentes dans d'autres contextes, se sont révélées difficilement transférables dans les réalités climatiques et constructives du Québec.

Dans cette démarche, le *Buoyant Foundation Project*, développé par Elizabeth English, professeure d'architecture à l'Université de Waterloo, a été consulté. Ce projet propose d'adapter des maisons existantes en structures amphibies capables de flotter temporairement lors de crues (English *et al.*, 2016). Conçue pour des habitations modestes situées sur des terrains plats dans des régions chaudes et humides, comme le sud des États-Unis, cette approche repose sur des techniques relativement simples et abordables dans ce contexte spécifique. Ces conditions sont rarement réunies au Québec, où les contraintes climatiques, topographiques et réglementaires complexifient considérablement la mise en pratique de telles solutions. Comme le souligne Barsley (2020), la mise en œuvre de fondations flottantes dans des contextes non planifiés ou soumis à des cycles de gel-dégel intenses pose des défis importants, notamment liés à la poussée hydrostatique, à l'érosion des fondations et aux conditions hivernales (Barsley, 2020). De plus, la majorité des maisons construites dans les zones riveraines au Québec repose sur des fondations rigides, souvent accompagnées de sous-sols, ce qui rend l'adaptation à des systèmes mobiles particulièrement coûteuse, techniquement exigeante et peu réaliste. Ces constats rejoignent ceux formulés par Bouchard-Bastien, qui note que certaines formes partielles d'adaptation amphibie, comme l'utilisation volontaire des sous-sols comme zones d'accueil de l'eau, ont été explorées à l'échelle de la province, mais restent marginales et difficilement transposables à l'échelle d'un quartier résidentiel typique (Bouchard-Bastien, 2023).

Cette meilleure compréhension des enjeux nous a permis à mieux définir les limites de ce travail et nous a progressivement orientés vers une autre piste : celle des stratégies d'adaptation de résistance en contexte inondable, plus cohérentes avec les réalités constructives, économiques et sociales des maisons québécoises. Dans le prolongement de cette réflexion, nous nous sommes intéressés au processus de création d'un dispositif de protection permanent, directement intégré à l'architecture du bâtiment résidentiel concerné.

L'idée initiale s'inspirait du principe de zone tampon périphérique, visant à protéger l'ensemble du périmètre de la maison contre les entrées d'eau. Pour rendre cette hypothèse plus concrète, nous avons choisi comme base une maison typique présente dans les zones inondables de Montréal et réalisé des maquettes exploratoires. C'est dans ce cadre qu'a émergé une première proposition : celle d'un bac à fleurs ceinturant la maison, pensé comme un dispositif multifonctionnel. Il devait à la fois jouer un rôle de protection contre les inondations, s'intégrer esthétiquement à l'enveloppe bâtie et peut-être servir d'espace de rangement en dehors des périodes de crue.

En développant cette idée, nous avons tenté de lui donner différentes formes et profils, tout en nous inspirant du principe de flottation utilisé dans les maisons amphibies. Plutôt que d'appliquer ce mécanisme à l'échelle de l'ensemble du bâtiment, nous avons cherché à le transposer à un objet périphérique qui accompagne et protège la maison, comme une structure modulaire flottante. Cela nous a menés à imaginer un système de quais flottants adaptables, qui s'articuleraient autour du bâtiment selon ses caractéristiques, tout en conservant une vocation multifonctionnelle. Ces modules, pensés comme adaptables, permettent à la bande périphérique de changer de forme et de fonction selon les besoins. À l'arrière, elle peut s'élargir pour devenir une terrasse tandis que sur les côtés, elle se rétrécit sous les fenêtres pour accueillir des jardinières intégrées. À l'entrée, le dispositif peut se fondre dans la volumétrie des escaliers, renforçant ainsi l'intégration architecturale du système. Pour mieux visualiser cette approche et le cheminement du processus de création, le lecteur est invité à consulter l'annexe 3, qui présente en quelques pages l'évolution de cette idée et les premiers essais de matérialisation réalisés dans le cadre de cette recherche. *Voir annexe 3.*

Cette démarche s'est développée en parallèle d'une réflexion sur des mesures d'atténuation de l'eau à l'échelle de la propriété. Ce processus de création, d'un dispositif de protection intégré, a progressé par étapes, jusqu'à ce que la compréhension des enjeux mette en évidence des limites techniques, qui ont conduit à réorienter la réflexion. Malgré son potentiel conceptuel, la proposition s'est révélée difficile à concrétiser en raison de nombreux défis techniques : jonction entre le dispositif et la maison, faisabilité structurelle, contraintes d'usage... Étant donné que le développement du dispositif était encore à un stade exploratoire et ne permettait pas une analyse suffisamment aboutie pour une intégration pertinente dans le mémoire, nous avons décidé de recentrer notre travail sur des dispositifs applicables à des habitations existantes, en privilégiant des approches plus réalistes, accessibles et concrètement mobilisables.

Ce constat a marqué un tournant méthodologique dans ce mémoire. Il nous a conduits à prendre du recul pour effectuer une synthèse critique de l'ensemble des analyses menées jusqu'ici : observations de terrain, étude du contexte bâti et réglementaire, ainsi qu'une analyse des mesures appliquées à l'échelle des maisons en zone inondable. Cette relecture nous a permis de recentrer notre attention sur la problématique concrète des sacs de sable, encore largement utilisés comme solution d'urgence au Québec malgré leurs nombreuses limites. Elle découle d'une volonté de questionner une pratique encore dominante, mais souvent limitée, coûteuse et peu pérenne, et met en évidence le besoin de recourir à une démarche exploratoire permettant d'imaginer et de représenter des alternatives plus durables, adaptées aux réalités des maisons existantes en contexte d'inondation.

3.1.2 Les scénarios prospectifs

Dans le cadre de ce projet de maîtrise, la dimension créative prend la forme de scénarios élaborés à partir d'une approche prospective. La prospective est une approche qui permet d'anticiper l'avenir afin d'éclairer les décisions du présent (Tabarly *et al.*, 2009). Les scénarios prospectifs en sont un outil central, permettant de représenter différentes trajectoires possibles entre le présent et un futur donné. Toutefois, selon Michel Godet, ils ne sont pas « la réalité future, mais un moyen de se la représenter en vue d'éclairer l'action présente à la lumière des futurs possibles et souhaitables » (Godet, 2006).

Ce choix méthodologique permet de répondre à la complexité et à l'incertitude entourant l'adaptation des maisons riveraines en zones inondables. Contrairement à d'autres approches plus linéaires ou centrées sur l'analyse du présent, la démarche prospective invite à explorer plusieurs futurs plausibles et à mettre en lumière les mesures disponibles selon différents contextes d'évolution. Dans le cadre de ce mémoire, cette démarche se traduit par la construction de scénarios qui ne se limitent pas à illustrer des hypothèses de conception, mais qui visent à représenter des futurs souhaitables pour les habitations riveraines. Ces scénarios fonctionnent ainsi comme un outil méthodologique : ils permettent d'explorer la faisabilité, les limites et les implications de différentes mesures de protection, en éclairant les choix d'adaptation possibles dans le présent. Le recours au scénario prospectif favorise ainsi une réflexion stratégique située, qui s'aligne avec l'objectif du mémoire : proposer des alternatives de protection durables et adaptées à la réalité québécoise.

Les scénarios prospectifs ne visent pas à orienter la prise de décision stratégique, mais servent plutôt de supports immersifs permettant aux acteurs de se projeter dans un environnement transformé par des changements majeurs (Gozé-Bardin, 2008). Dans cette recherche, des scénarios appliqués aux typologies de maisons situées en zones inondables à Montréal sont développés, afin d'explorer des alternatives aux sacs de sable, dont l'usage, bien qu'efficace en situation d'urgence, demeure temporaire, peu durable et peu adapté aux enjeux de résilience à long terme. Ces scénarios illustrent l'impact de diverses mesures de protection et offrent ainsi aux parties prenantes - habitants, architectes et décideurs - une vision des possibilités d'adaptation, favorisant une réflexion prospective sur la résilience des bâtiments exposés aux inondations.

Il existe plusieurs types de scénarios prospectifs, parmi lesquels la distinction la plus courante oppose les scénarios exploratoires aux scénarios normatifs. Les scénarios exploratoires (*forecasting*) permettent d'imaginer différentes évolutions possibles d'une situation en partant du présent et en projetant ses tendances dans le futur. Ils servent à comprendre ce qui pourrait arriver si aucun changement majeur n'intervient. À l'inverse, les scénarios normatifs (*backcasting*), aussi appelés scénarios d'anticipation ou stratégiques, commencent par une vision souhaitée du futur et remontent jusqu'au présent pour identifier les actions nécessaires à sa réalisation (Julien *et al.*, 1975 ; Tabarly *et al.*, 2009). Ces derniers sont au cœur de l'approche prospective, car ils permettent non seulement de visualiser un avenir désiré, mais surtout d'élaborer un plan pour y parvenir (Julien *et al.*, 1975).

Les scénarios développés dans ce projet relèvent du type normatif, car ils ne visent pas à prédire ce qui arrivera, mais à imaginer des futurs souhaitables pour les maisons riveraines en zones inondables. Ils permettent de définir une série de mesures d'adaptation à mettre en place pour atteindre cet objectif. Concrètement, ces scénarios partent d'une vision souhaitée, celle de maisons plus résilientes et moins dépendantes de solutions temporaires comme les sacs de sable, et remontent vers le présent pour identifier les étapes, dispositifs et transformations nécessaires afin d'y parvenir. En ce sens, le travail ne consiste pas simplement à anticiper des tendances, mais bien à concevoir un chemin méthodologique qui relie un futur souhaité aux choix d'adaptation actuels. Ces scénarios constituent dès lors un outil de conception qui soutient l'élaboration de solutions d'adaptation durables, en rupture avec les réponses d'urgence traditionnelles comme les sacs de sable.

La méthode des scénarios prospectifs se déroule en trois phases : d'abord, la construction de la base de référence, suivie de l'élaboration des scénarios à partir de cette base, menant ensuite à une phase d'analyse et d'implications stratégiques (Godet, 1983). Comme cette méthode est utilisée, nous expliquons le déroulement de chacune de ces trois phases dans les sous-parties suivantes. Le processus concret d'élaboration des scénarios proposés, appliqué aux typologies de maisons étudiées, sera détaillé au chapitre 4, où seront présentées les hypothèses retenues, les critères de faisabilité et les choix qui ont guidé la construction des scénarios.

3.1.2.1 Construction de la base

La construction de la base est la première phase de la scénarisation. Elle consiste à collecter et organiser les connaissances relatives à l'adaptation des maisons aux inondations. À partir de la recherche menée sur les notions de résilience et d'adaptation présentée dans le chapitre 2, nous avons établi une base théorique servant de fondement aux scénarios à venir. Ensuite, l'analyse des différentes stratégies d'adaptation aux inondations nous a permis d'élaborer un logigramme, identifiant ainsi l'échelle d'intervention sur laquelle les scénarios seront construits. Enfin, l'analyse de cas internationaux nous a permis de mettre en évidence la diversité des formes que peuvent prendre les stratégies d'adaptation, tant dans leur modélisation que dans leur mise en œuvre concrète, selon les spécificités contextuelles.

Sur la base des connaissances rassemblées dans le chapitre 2, nous avons établi un inventaire de fiches produits, détaillant les caractéristiques de divers dispositifs de protection permanents, semi-permanents et temporaires. Ces fiches, regroupées en annexe 1, sont accompagnées par un tableau de comparaison qui offre une vue d'ensemble des informations pratiques pour orienter la prise de décision.

Après cette phase de collecte et de structuration des données, nous avons procédé à l'analyse du contexte des maisons situées en zones inondables à Montréal. L'étude d'un secteur à Pierrefonds-Roxboro a permis d'identifier quatre typologies de maisons, ainsi que les vulnérabilités qui doivent être prises en compte dans les scénarios prospectifs.

Cette analyse de terrain, en complément des compréhensions présentées dans le chapitre 2, constitue une base solide pour l'élaboration des scénarios, car elle permet d'ancrer la réflexion prospective dans la réalité concrète du territoire étudié. En combinant théorie et observations issues du terrain, cette démarche permet de développer des scénarios mieux adaptés aux enjeux spécifiques des zones inondables.

3.1.2.2 Élaboration des scénarios

Cette phase vise à construire plusieurs scénarios possibles pour l'évolution des stratégies de protection. En adoptant une approche normative, les scénarios développés partiront d'un futur souhaité – des maisons mieux protégées et plus résilientes aux inondations – pour remonter jusqu'au présent afin d'identifier une programmation d'interventions adaptées.

Les scénarios développés prennent en compte diverses stratégies d'adaptation, intégrant à la fois des dispositifs temporaires et permanents et s'adaptant aux différents types d'inondations observés sur le terrain. Chaque scénario est élaboré en tenant compte de plusieurs facteurs clés, notamment le niveau maximal d'eau atteint lors des inondations passées ainsi que les niveaux projetés dans un contexte de changements climatiques, les caractéristiques architecturales des maisons, ainsi que la faisabilité des interventions à mettre en place.

Pour faciliter leur compréhension et leur comparaison, les scénarios sont représentés graphiquement. Les supports visuels mettent en évidence différentes étapes d'évolution de chaque proposition, en soulignant les mesures mises en œuvre et leur effet sur la résilience des habitations. Ils constituent un outil clé pour analyser les implications de chaque scénario et orienter les décisions en matière d'adaptation aux inondations.

3.1.2.3 Analyse et implications stratégiques

Cette phase consiste à évaluer les scénarios proposés en montrant ce qu'ils impliqueraient concrètement. L'objectif est de mieux comprendre les limites et les possibilités de chaque option. Toujours dans la logique de la problématique du mémoire, soit l'identification d'alternatives durables aux traditionnels sacs de sable, un retour critique vise à guider la conception future de stratégies adaptées aux maisons existantes dans les zones inondables au Québec. Il permettra de faire ressortir des idées concrètes et prometteuses d'aménagement ou de transformation, durables et adaptées au contexte.

3.2 Étude de terrain

L'exploration contextuelle des maisons situées en zone inondables s'appuie sur l'étude d'un quartier résidentiel montréalais modeste affecté par des inondations saisonnières. Le terrain choisi pour cette analyse se situe dans l'arrondissement de Pierrefonds-Roxboro, à Montréal, à proximité immédiate de la Rivière des Prairies (figure 3.1). Ce secteur a été retenu en raison de sa localisation dans une zone officiellement désignée comme inondable, selon la CMM. Plus précisément, il se trouve à l'intérieur du périmètre couvert par des côtes de crue de 2, 20 et 100 ans, où la profondeur de submersion peut atteindre jusqu'à 2 mètres lors des crues printanières.

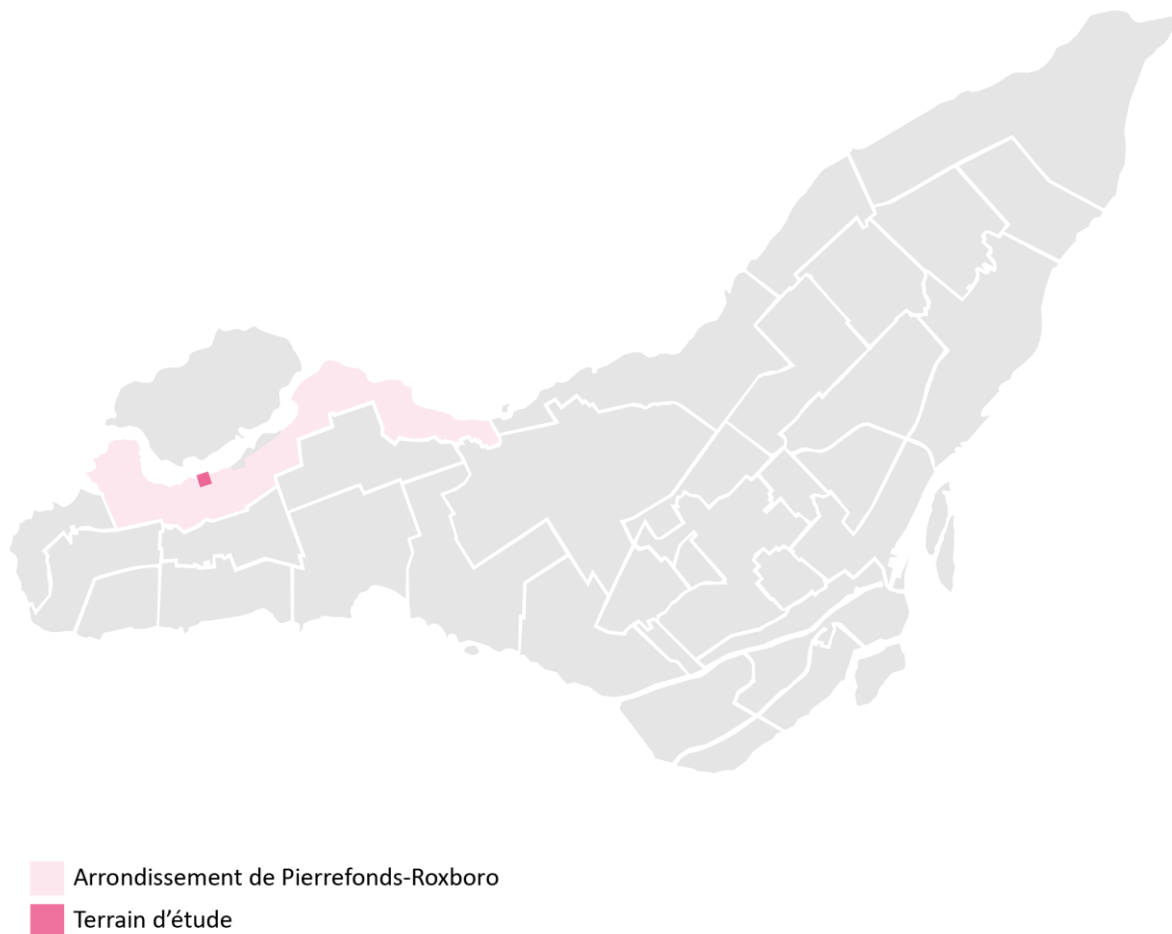


Figure 3.1 Localisation du terrain d'étude sur la carte de Montréal (crédit : Joelle Kelzi)

Cependant, bien que les cartes de la CMM indiquent une profondeur maximale pouvant aller jusqu'à 2 mètres, la topographie du terrain atténue souvent le risque perçu sur le terrain. La majorité des maisons du secteur sont légèrement surélevées par rapport à la chaussée, ce qui limite la hauteur d'eau atteignant les seuils ou fondations. Dans les cas observés, cette hauteur s'établit généralement entre 0,5 et 1,2 mètre lors des événements majeurs. Ce décalage entre les estimations théoriques et la réalité topographique du terrain constitue un élément important dans l'analyse des vulnérabilités du bâti.

Le quartier a été fortement affecté par les inondations majeures survenues au printemps 2017 et 2019. L'analyse d'images satellites et panoramiques issues de *Google Earth* et *Google Street View* révèle que plusieurs propriétés du secteur ont eu recours à des sacs de sable comme dispositif de protection contre la montée des eaux. Ce constat met en lumière la vulnérabilité du bâti existant et l'absence de mesures durables de protection. Ainsi, ce secteur offre un contexte idéal pour montrer les limites des approches d'urgence actuelles en explorant des scénarios prospectifs d'adaptation aux inondations.

Historiquement, le quartier étudié était initialement composé de terrains agricoles, puis s'est transformé progressivement en secteur de villégiature au cours du XX^e siècle. De nombreux chalets saisonniers y ont été construits, principalement pour des usages estivaux ou liés à la pêche. À partir des années 1960, dans un contexte d'expansion urbaine, le secteur a connu une densification résidentielle marquée par l'apparition de bâtiments permanents. Plusieurs anciens chalets ont été transformés ou démolis pour faire place à de nouvelles habitations plus imposantes, incluant parfois des sous-sols habitables et des garages intégrés ou accolés. Cette évolution, souvent réalisée en l'absence d'un encadrement réglementaire suffisant, a engendré une plus grande vulnérabilité aux inondations, notamment en raison de l'implantation de sous-sols dans une zone sujette à la submersion.

Dans le cadre de ce projet, nous avons réalisé une cartographie (figure 3.2), construite à partir de différentes sources documentaires, pour repérer et documenter les caractéristiques spécifiques des habitations présentes dans le périmètre inondable. Des vues de rue datées de mai 2019 (issues de *Google Earth*), des données issues de sites d'agences immobilières et des visites de terrain nous ont permis d'identifier les types d'habitations, la présence de sous-sols ou de garages, ainsi que le recours aux sacs de sable lors des inondations de 2019.

Sur les 73 maisons localisées dans cette zone, nous avons recensé 48 habitations dotées d'un sous-sol. De plus, grâce à l'observation des images de *Google Street View*, nous avons identifié au moins 36 propriétés ayant eu recours à des sacs de sable comme moyen de protection contre l'eau. Cette observation souligne l'absence de dispositifs structurels efficaces à long terme et confirme la tendance à adopter des stratégies d'urgence, même dans un contexte où les inondations sont récurrentes avec une montée des eaux généralement lente et progressive lors des crues printanières. Notre analyse a permis de distinguer quatre grands types de maisons dans le secteur :

- les maisons unifamiliales de 1,5 ou 2 étages, avec sous-sol et garage
- les maisons unifamiliales, sur vide sanitaire avec garage
- les maisons unifamiliales de type bungalow, avec sous-sol
- les maisons jumelées, avec ou sans garage



Figure 3.2 Cartographie des typologies des maisons existantes dans le secteur d'étude (crédit : Joelle Kelzi)

Afin d'illustrer visuellement ces différentes typologies, chaque type de maison est représenté par un cas réel situé dans le secteur étudié. Ces exemples visuels (figure 3.3 à 3.6) offrent un aperçu concret permettant de mieux saisir la réalité actuelle des dispositifs de préparation, ou de leur absence, en zone inondable. Ils permettent également de mettre en lumière les vulnérabilités potentielles propres à chaque configuration architecturale face aux inondations. Les numéros civiques ont été masqués sur les images et les noms de rues ont été omis sur la carte, afin de recentrer l'analyse sur les caractéristiques physiques des habitations, tout en préservant la neutralité et en évitant toute identification superflue.



Figure 3.3 Image représentative du cas 1 : maison unifamiliale à 2 étages avec sous-sol et garage accolé (crédit : Google Street View, mai 2019 et Joelle Kelzi)



Figure 3.4 Image représentative du cas 2 : maison unifamiliale à 2 étages avec vide sanitaire et garage intégré
(crédit : *Google Street View*, mai 2019 et Joelle Kelzi)



Figure 3.5 Image représentative du cas 3 : maison unifamiliale du style bungalow avec sous-sol (crédit : *Google Street View*, mai 2019 et Joelle Kelzi)



Figure 3.6 Image représentative du cas 4 : maison jumelée avec vide sanitaire et garage intégré (crédit : *Google Street View*, mai 2019 et Joelle Kelzi)

Cette analyse de terrain constitue une étape essentielle dans la compréhension des dynamiques spatiales et des enjeux d'adaptation liés aux inondations. En identifiant les vulnérabilités spécifiques associées à chaque type d'habitat, cette démarche nous permet de proposer des stratégies ancrées dans le contexte existant et adaptées aux défis climatiques que connaît déjà ce secteur. Ainsi, cette étape offre une base concrète et localisée sur laquelle seront construits les scénarios prospectifs, expliqués dans la partie suivante.

Ce quartier constitue un exemple représentatif des zones inondables de Montréal. Nous y retrouvons des caractéristiques typiques des secteurs bâtis en bordure de cours d'eau, telles que les types de maisons issues d'une urbanisation progressive sur un territoire autrefois destiné à la villégiature, l'absence de réglementation initiale encadrant l'urbanisation en zone à risque, ainsi que des pratiques de protection ponctuelles comme l'usage de sacs de sable. Ainsi, les stratégies d'adaptation et de protection qui sont développées à partir de ces cas ont le potentiel d'être transposées, adaptées et appliquées à d'autres quartiers similaires du territoire montréalais ou ailleurs au Québec, selon les particularités locales.

CHAPITRE 4 :

Scénarios

Ce chapitre propose un retour critique sur les scénarios d'adaptation développés. Il en évalue les forces, les limites et les conditions de mise en œuvre à travers plusieurs angles : performance des dispositifs, diagnostic global, gestion du temps de déploiement, pressions hydrauliques, enjeux humains et réglementaires. Cette analyse permet de dégager des constats transversaux et d'alimenter une réflexion plus large sur les possibilités et les contraintes liées à l'adaptation des maisons existantes en zones inondables.

4.1 Imaginer des scénarios d'adaptation

Chaque type de maison que nous avons identifié fait l'objet d'un ou deux scénarios prospectifs. Ces scénarios visent à explorer différentes manières d'adaptation permettant de renforcer la résilience des habitations face aux inondations, en dépassant les approches peu durables. L'ensemble des mesures proposées découle directement de la synthèse de l'état de la connaissance : qu'il s'agisse des dispositifs de protection ou des mesures mises en avant, ils ont été retenus grâce à l'analyse des fiches de produits réalisée au chapitre 2 et à l'utilisation du tableau comparatif, facilitant ainsi la justification et la sélection des objets les plus pertinents.

Pour chaque scénario proposé, certains critères sont tenus pour acquis afin de garantir leur faisabilité. Il ne s'agit pas de conditions toujours présentes dans la réalité, mais elles servent de repères théoriques pour encadrer la réflexion sur les mesures envisagées. Ces critères incluent : la présence d'une fondation étanche capable de résister aux chocs hydrauliques, la gestion d'une inondation progressive et non subite, une hauteur d'inondation maîtrisée, des infrastructures existantes susceptibles d'être adaptées, la durabilité des matériaux utilisés et la capacité des résidents à se procurer les dispositifs requis. Ces prérequis permettent de situer les scénarios dans un contexte où les conditions minimales sont réunies pour envisager une adaptation réaliste. L'objectif n'est donc pas de couvrir tous les cas possibles, mais de montrer ce qu'il est possible de mettre en place lorsque certaines conditions de base sont réunies.

Les scénarios agissent à deux échelles complémentaires : à l'échelle du site et à l'échelle du bâtiment. D'une part, nous identifions un ensemble de mesures d'atténuation visant à ralentir ou réduire l'intensité de l'inondation avant même que l'eau n'atteigne le bâtiment. Ces interventions, déployées à l'échelle du terrain, de l'aménagement paysager et de l'enveloppe bâtie, comprennent par exemple : l'ajout de jardins de pluie pour capter l'eau de ruissellement, l'installation de rallonges sur les gouttières afin de diriger les eaux pluviales loin des fondations, l'installation de pavés perméables dans les entrées de garage pour favoriser l'infiltration et l'aménagement de zones tampon dans la périphérie du bâtiment. Ces mesures constituent ce que nous appelons un « scénario 0 » (figure 4.1), c'est-à-dire une base minimale d'intervention à privilégier dans tous les cas, indépendamment des mesures plus poussées. Elles peuvent souvent être mises en œuvre à moindre coût et offrent des bénéfices à la fois hydrologiques, écologiques et esthétiques. Ce socle de mesures préparatoires est essentiel, car il permet de diminuer la pression exercée par l'eau sur le bâtiment, rendant les autres scénarios plus efficaces et cohérents dans une approche intégrée.

D'autre part, nous illustrons un système de mesures de protection qui s'appliquent à l'échelle du bâtiment. Pour chaque cas⁹, nous proposerons d'abord un premier scénario, qualifié de « scénario optimal » (figure 4.2), qui présente une vision idéale de l'adaptation de la maison, en dehors des contraintes financières, techniques ou réglementaires telles que le coût des travaux, la complexité des transformations sur des bâtiments anciens, ou les restrictions imposées par la réglementation locale. Il met en avant les mesures les plus efficaces et durables pour adapter le bâtiment aux inondations. Ces interventions pourront inclure, par exemple, la surélévation complète de la structure, la modification des fondations, l'intégration de matériaux résistants à l'eau, ou encore la reconfiguration des accès et des espaces de vie. Ce scénario a pour objectif d'illustrer ce que serait une adaptation exemplaire, tant sur le plan technique qu'environnemental, dans une logique de long terme, tout en veillant à la sécurité et au bien-être des occupants.

En parallèle, un deuxième scénario, qualifié de « scénario probable » (figure 4.3), présente une vision davantage ancrée dans les capacités d'adaptation concrètes et les réalités contextuelles des résidents du secteur, telles que les contraintes économiques, les caractéristiques physiques des habitations existantes, ou encore les limites en termes de temps, de ressources ou de compétences. Il repose sur des mesures à

⁹ À l'exception du cas 3 qui aura juste un seul scénario, considéré comme scénario probable.

plus faible coût, souvent plus simples à mettre en œuvre, mais tout de même pertinentes dans une optique de réduction des dommages liés aux inondations. Ces stratégies intermédiaires pourront inclure des aménagements ponctuels, des dispositifs démontables, ou des reconfigurations partielles.

L'objectif de cette double modélisation est d'explorer de nouvelles perspectives en matière d'adaptation résidentielle. Ces scénarios ne visent pas uniquement à illustrer des solutions techniques, mais également à alimenter une réflexion plus large sur les trajectoires de transition vers des milieux de vie mieux préparés aux inondations. En proposant des alternatives concrètes, contextualisées et plus écologiques que les dispositifs d'urgence actuellement observés (les sacs de sable), cette approche vise à inspirer des interventions adaptées à la fois aux contraintes du territoire et aux capacités des habitants.

L'ensemble des scénarios illustrés, élaborés pour chaque cas identifié, est présenté en annexe 2. Le lecteur est invité à le consulter avant de poursuivre la lecture, afin de mieux comprendre les limites et les possibilités qu'impliquent les différentes options d'adaptation détaillées dans les parties suivantes. Chaque cas contient une fiche pour :

- le contexte existant détaillé, comprenant les caractéristiques physiques du bâtiment, son implantation sur le terrain, son historique d'exposition aux crues (notamment en 2017 et 2019), ainsi que ses points de vulnérabilité ;
- le scénario 0, correspondant à l'ensemble des mesures d'atténuation pensé à l'échelle du paysage résidentiel ;
- le scénario 1, correspondant à une stratégie d'adaptation optimale ;
- le scénario 2, correspondant à une stratégie d'adaptation probable.

Voir annexe 2.

CAS 1

Maison unifamiliale

avec sous-sol et garage accolé

Scénario 0

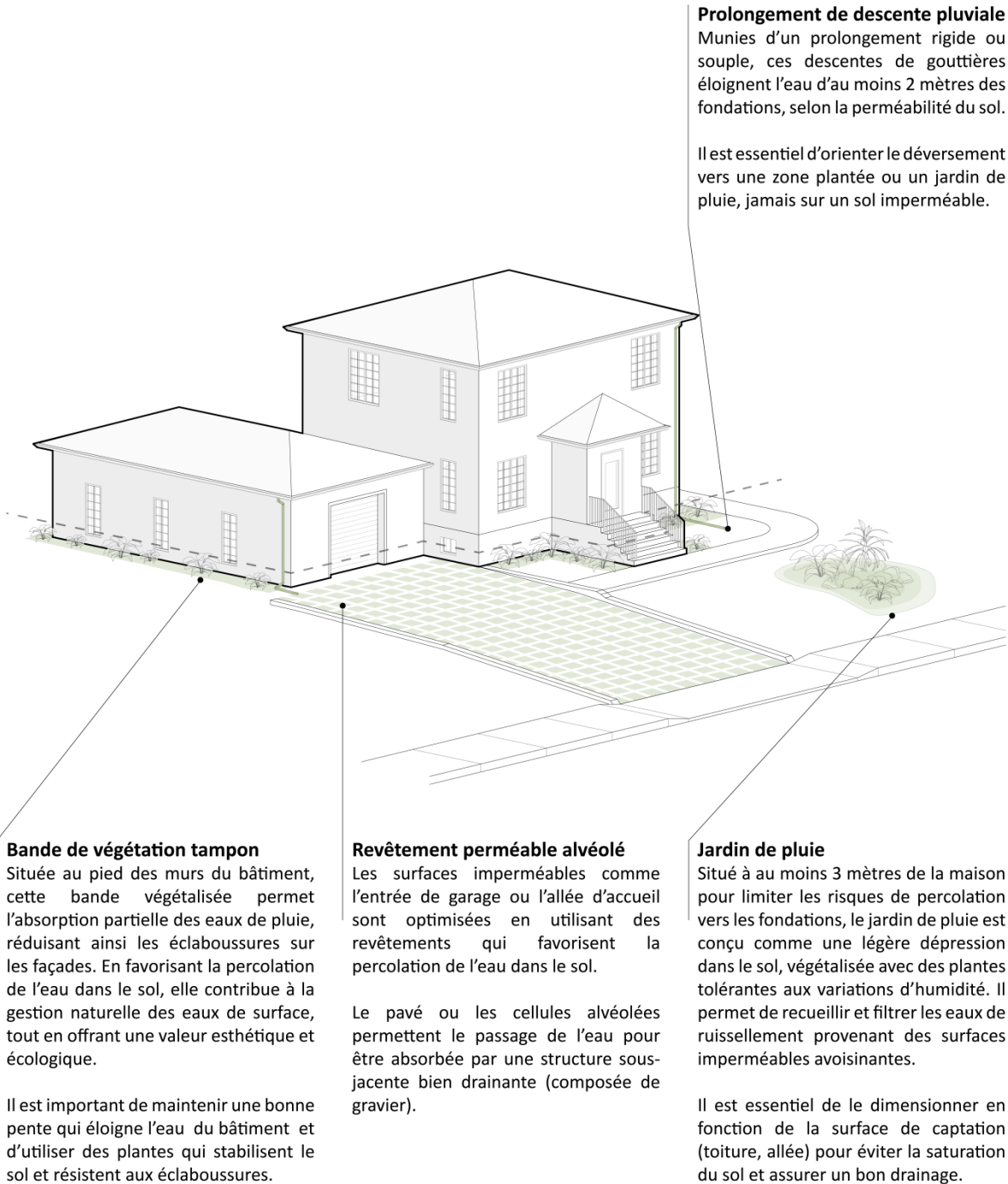


Figure 4.1 Exemple de dessin pour le scénario 0, présenté en annexe 2 (crédit : Joelle Kelzi)

CAS 1

Maison unifamiliale

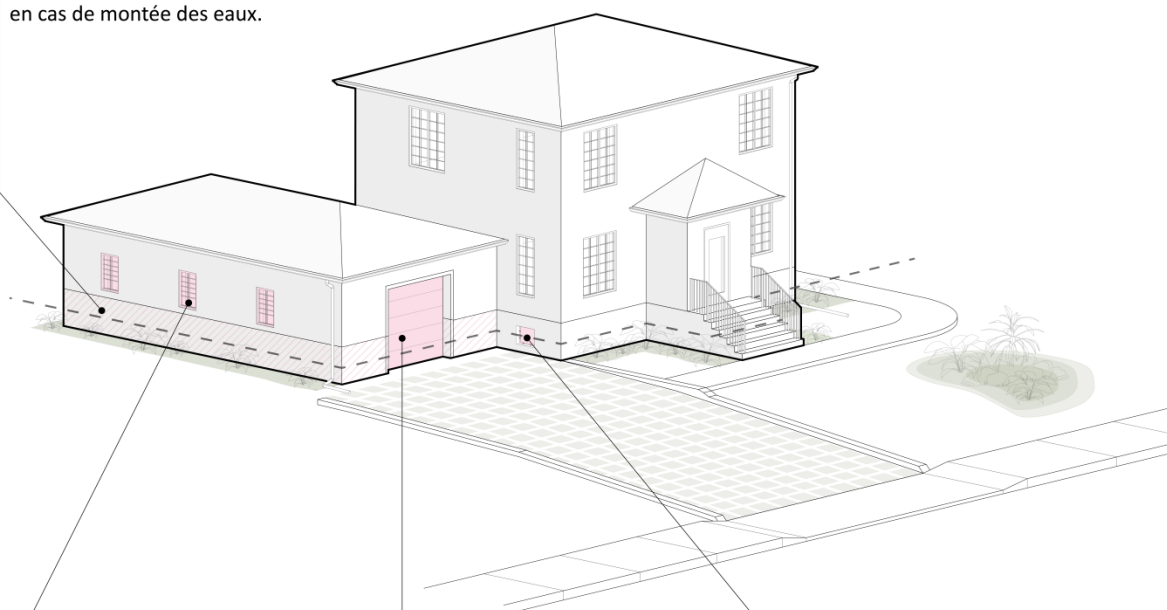
avec sous-sol et garage accolé

Scénario 1

Renforcement du garage renforcé

Le garage accolé est renforcé localement à l'aide d'éléments en béton armé afin d'assurer une continuité structurelle et une meilleure étanchéité avec les fondations de la maison.

Cette intervention vise à limiter les points de faiblesse à la jonction entre le garage et le bâtiment principal, et à améliorer la résistance de l'ensemble en cas de montée des eaux.



Fenêtre surélevée

Les fenêtres existantes sont retirées, puis réinstallées plus haut, au-dessus du niveau d'exposition, afin de réduire les points d'entrée potentiels de l'eau. Les anciennes ouvertures sont obturées de manière étanche.

Porte de garage anti-inondation F2



\$\$\$

Batardeau pour fenêtre de sous-sol F9



\$\$

Figure 4.2 Exemple de dessin pour le scénario 1 ou « scénario optimal », présenté en annexe 2 (crédit : Joelle Kelzi)

CAS 1

Maison unifamiliale

avec sous-sol et garage accolé

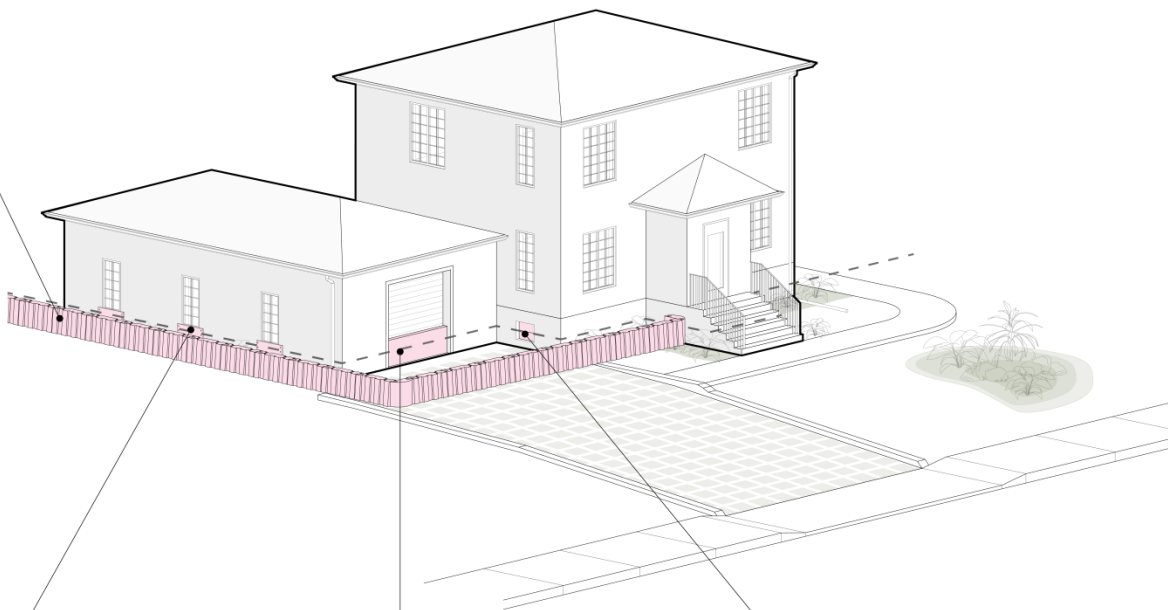
Scénario 2

Barrière modulaire anti-inondation



Possibilité d'utiliser plusieurs types de barrières modulaires (voir fiche de produit) :

- modulaire ballastée **F19**
- modulaire auto-portante inclinable **F20**
- modulaire auto-portante rigide **F21**



Batardeau vissable

F10



Batardeau temporaire



Possibilité d'utiliser plusieurs types de batardeau (voir fiche de produit) :

- à expansion pneumatique **F13**
- à ancrage par pression **F14**
- gonflable **F15**
- à ancrage latérale **F16**
- à expansion manuelle **F17**

Batardeau pour fenêtre de sous-sol **F9**



Figure 4.3 Exemple de dessin pour le scénario 2 ou « scénario probable », présenté en annexe 2 (crédit : Joelle Kelzi)

4.2 Enjeux et limites des stratégies proposées

Les stratégies et dispositifs de protection, proposés à travers les différents scénarios illustrés, constituent des pistes d'intervention pertinentes et inspirantes. Toutefois, certains points critiques méritent d'être examinés afin de mieux cerner les enjeux liés à leur mise en œuvre et les conditions indispensables à leur bon fonctionnement.

Ce retour critique s'inscrit comme la dernière étape de la démarche du scénario prospectif menée dans ce mémoire. Il a pour objectif de traduire les apprentissages issus du processus de recherche-crédation en constats concrets et applicables. En montrant la complexité des choix d'adaptation, cette analyse permet d'enrichir la réflexion sur les stratégies d'adaptation aux inondations, mais aussi de valoriser les connaissances concrètes mobilisées et développées tout au long du processus.

Au fil de l'analyse de ces scénarios, plusieurs constats transversaux ont été dégagés. Ces derniers sont énoncés afin de mieux comprendre les enjeux soulevés, en vue de guider la conception de solutions plus adaptées, durables et réalistes pour les maisons existantes en zones inondables au Québec.

1. Des dispositifs performants, mais jamais infaillibles

Les stratégies proposées dans les scénarios ne sont pas des solutions miracles. Bien que certifiés et testés en laboratoire, l'ensemble des dispositifs de protection analysés présentent des limites lorsqu'ils sont confrontés aux conditions réelles des inondations. Ces systèmes sont généralement conçus pour répondre à des paramètres bien précis (hauteur d'eau, durée d'immersion, vitesse de courant), qui ne sont pas toujours respectés sur le terrain. Aucune stratégie de protection contre les inondations n'est infaillible et le risque d'un dysfonctionnement reste toujours présent.

Des variables imprévues, un enjeu commun à l'ensemble des stratégies de protection, peuvent compromettre l'efficacité de ces dispositifs, même provoquer une défaillance soudaine. Ces situations ont lieu notamment en cas de mauvaise installation, d'absence d'entretien, d'une surcharge hydraulique ou de chemins d'eau non pris en compte.

Cette limite n'est pas uniquement propre aux dispositifs spécialisés : elle existe aussi avec les sacs de sable. Toutefois, ces derniers présentent d'autres inconvénients majeurs, notamment une efficacité souvent inférieure face à la pression de l'eau, une durabilité limitée, ainsi que des impacts

environnementaux liés à l'extraction et au transport du sable et à la gestion des résidus. À l'inverse, les dispositifs spécialisés, lorsqu'ils sont bien choisis et installés, offrent généralement une meilleure résistance, une durée de vie plus longue et une performance accrue.

2. L'importance d'un diagnostic global avant toute intervention

L'efficacité des dispositifs proposés repose sur une condition préalable essentielle : la capacité du bâtiment à résister à la pression de l'eau dans son ensemble. Installer une porte ou une barrière anti-inondation sur une maison dont l'enveloppe est vulnérable (murs poreux, fissures) peut rapidement limiter les bénéfices attendus.

Dans les scénarios présentés, certains dispositifs, comme les portes de garage anti-inondation, fonctionnent de manière optimale uniquement lorsqu'ils sont intégrés à une structure en béton étanche. En l'absence de ces conditions, l'eau risque de s'infiltrer ailleurs et de contourner les mesures mises en place.

Avant d'envisager l'installation de solutions techniques, les résidents doivent donc réaliser un diagnostic global de leur propriété. Idéalement, cette démarche devrait être accompagnée par des professionnels qualifiés (ingénieurs, architectes ou spécialistes en résilience) afin d'assurer la cohérence et l'efficacité du système de protection.

Ce diagnostic doit par ailleurs porter une attention particulière à certains aspects techniques, tels que la nature des murs existants, leur capacité à accueillir des systèmes de fixation, ainsi que la qualité des surfaces pour assurer l'étanchéité des dispositifs. Ces éléments sont essentiels pour garantir l'efficacité des solutions déployées, en particulier pour les batardeaux, qui nécessitent un ancrage solide et durable.

Enfin, cette réflexion sur le choix des dispositifs doit également tenir compte des contraintes d'usage, notamment lorsqu'il s'agit de protéger les accès principaux d'une habitation. Les batardeaux installés au niveau des entrées doivent permettre l'évacuation des occupants en tout temps. Leur hauteur est donc généralement limitée afin de pouvoir être enjambée rapidement en situation d'urgence, ce qui peut restreindre leur capacité de protection en cas de crue importante.

3. Des contraintes d'entreposage, de logistique et d'installation

Certains dispositifs amovibles (batardeaux, barrières modulaires, etc.) nécessitent un espace de stockage adéquat, ainsi qu'une certaine organisation pour être rapidement déployés en situation d'urgence. Leur efficacité dépend donc en partie de la capacité des occupants à les installer correctement et à temps.

La mise en œuvre de ces dispositifs nécessite la présence d'une personne sur place au bon moment, ce qui peut poser un problème dans le cas de résidences secondaires ou occupées de manière occasionnelle. De plus, certaines personnes, en raison de contraintes physiques, d'âge ou de mobilité, pourraient avoir de la difficulté à manipuler des dispositifs parfois lourds ou complexes.

Ces contraintes logistiques, bien que généralement moins problématiques que celle associée aux sacs de sable (stockage, poids, déchets), demeurent un point important à prendre en considération, notamment dans les milieux urbains ou sur de petits terrains.

4. Une responsabilité partagée dans l'adaptation

La responsabilité de l'adaptation aux inondations ne repose pas uniquement sur les résidents et l'échelle individuelle. Si plusieurs mesures présentées dans les scénarios sont spécifiquement pensées pour être mises en œuvre par les occupants eux-mêmes, comme les batardeaux ou les dispositifs amovibles légers, d'autres relèvent davantage d'une logique collective ou de la responsabilité d'acteurs institutionnels, comme les municipalités ou les autorités en gestion des risques. C'est notamment le cas des barrières anti-inondation de grande envergure, souvent utilisées pour protéger plusieurs habitations en même temps, et dont le déploiement est généralement assuré par les municipalités ou d'autres acteurs publics.

Leur présence dans les scénarios proposés ne vise donc pas à suggérer une prise en charge totale par les citoyens, mais plutôt à illustrer la diversité des dispositifs existants et la complémentarité des échelles d'intervention possibles. Une adaptation efficace passe non seulement par des actions individuelles, mais également par des initiatives collectives et un appui accru des instances municipales. Or, les pratiques actuelles continuent majoritairement de reposer sur la distribution de

sacs de sable, une solution temporaire et peu durable. Cette situation reflète un besoin d'évolution des pratiques collectives de gestion des inondations.

5. La gestion des eaux stagnantes et des pressions hydrauliques

Au-delà de la protection physique contre l'entrée de l'eau, l'utilisation de dispositifs spécialisés, en particulier les grandes barrières anti-inondation ou les batardeaux, implique de prendre en compte deux enjeux techniques majeurs : la gestion des infiltrations d'eau et celle des pressions exercées sur l'enveloppe du bâtiment.

Même lorsque ces dispositifs sont bien installés, des infiltrations peuvent survenir, notamment au niveau des points de jonction ou en raison des imperfections des surfaces d'appui. Des systèmes de pompage deviennent alors nécessaires, d'une part pour évacuer ces infiltrations pendant l'événement et d'autre part pour retirer l'eau stagnante qui peut s'accumuler une fois l'inondation terminée. Cette gestion est essentielle pour limiter les risques d'humidité, de dommages aux fondations et de dégradations structurelles liées à l'eau.

Au-delà de ces infiltrations mineures, un autre paramètre important concerne les pressions hydrostatiques¹⁰ générées par l'accumulation d'eau à l'extérieur du bâtiment. Lorsqu'un batardeau permet de retenir une hauteur d'eau inférieure à un mètre, le risque pour la structure demeure limité, à condition que le bâtiment soit en mesure de supporter cette pression. Cependant, au-delà de cette hauteur, les forces exercées deviennent plus importantes et peuvent entraîner des dommages structurels.

Dans ce contexte, les risques associés à la pression exercée sur les murs peuvent devenir plus importants que les dommages liés à une inondation contrôlée des espaces intérieurs. Il est alors préférable d'adopter une stratégie différente, en permettant l'eau d'entrer volontairement dans la maison afin d'équilibrer les pressions de part et d'autre des murs et d'éviter des dommages structurels.

¹⁰ Il n'est pas nécessaire qu'il y ait de l'eau visible en surface pour qu'une pression hydrostatique cause des dommages. Un sol saturé ou une remontée de la nappe phréatique peut suffire à fissurer les murs de fondation, voire à soulever une dalle de béton. D'où l'importance d'un drainage efficace autour et sous la fondation.

Bien que l'intégration de dispositifs de protection contre les inondations soulève plusieurs enjeux techniques, logistiques et organisationnels, ces stratégies demeurent des alternatives pertinentes et prometteuses face aux pratiques actuelles comme le recours aux sacs de sables. Leur efficacité repose avant tout sur une bonne préparation, un choix adapté au contexte et, dans certains cas, un soutien collectif à l'échelle municipale. La partie suivante propose ainsi d'approfondir cette réflexion et d'illustrer leur potentiel durable et les bénéfices qu'elles peuvent offrir à long terme, notamment lorsqu'elles sont comparées aux pratiques traditionnelles fondées sur l'utilisation de sacs de sable.

4.3 Au-delà des scénarios : analyse comparative des dispositifs de protection

Depuis 2010, plusieurs quartiers riverains du Québec ont été confrontés à une fréquence élevée d'alertes de crues et d'inondations. Ces épisodes forcent la population à se préparer à une inondation en mobilisant systématiquement des sacs de sable à titre préventif, parfois sans qu'une crue ne survienne réellement. Au fil du temps, cette pratique révèle ses limites : caractère répétitif, exigence en énergie, forte mobilisation humaine, consommation importante de ressources matérielles pour un résultat temporaire.

Dans ce contexte, remplacer ces mesures temporaires par des dispositifs spécialisés présente des avantages qui dépassent leurs performances techniques, en s'inscrivant dans une logique plus durable, tant sur le plan temporel qu'environnemental. Pour mieux visualiser ces avantages, il est pertinent de comparer la mise en place de ces protections temporaires par rapport à l'installation de dispositifs spécialisés.

D'après les données techniques fournies par les fabricants, un batardeau temporaire à expansion manuel (fiche 17 de l'annexe 2), conçu pour protéger une entrée résidentielle, peut remplacer l'équivalent de 50 sacs de sable, selon sa longueur et sa hauteur (Floodgate, s.d.). D'autre part, une unité de barrière modulaire auto-portante inclinable (fiche 20 de l'annexe 2), destinée à protéger le périmètre d'un bâtiment résidentiel, peut remplacer l'équivalent de 200 sacs de sables, selon les dimensions du dispositif (Aodek, s.d.). À titre indicatif, un sac de sable standard pèse entre 12 et 20 kg. Chaque unité nécessite l'extraction de sable, un remplissage manuel, un transport, puis un positionnement un à un sur le terrain, une opération répétée des centaines de fois pour protéger adéquatement une maison.

Au-delà du poids des matériaux utilisés, ce sont surtout l'énergie humaine mobilisée, le temps consacré et les ressources environnementales consommées qui révèlent les limites des sacs de sable. Ceux-ci doivent être installés, surveillés et entretenus, retirés, puis éliminés après chaque épisode de crue, souvent selon des procédures spécifiques en raison des contaminants qu'ils peuvent avoir absorbés. À l'inverse, les dispositifs spécialisés sont conçus pour être installés, retirés, nettoyés puis stockés en vue d'une réutilisation sur plusieurs années, réduisant ainsi les efforts nécessaires et l'impact environnemental à long terme.

En nous appuyant sur les scénarios présentés dans ce mémoire, nous avons estimé le nombre de sacs de sable qui auraient été remplacés par les dispositifs spécialisés. Cette estimation est basée sur les scénarios 2 de chaque cas présenté – correspondant aux scénarios probables. Elle repose sur l'hypothèse de six épisodes de crues ou d'alertes de crues survenus sur une période de 15 ans, durant lesquels les citoyens auraient déployé des sacs de sable par mesure de protection ou de prévention. Cette hypothèse s'appuie sur les tendances observées dans les dernières décennies pour des secteurs similaires en zone inondable¹¹. Le graphe suivant illustre visuellement cette comparaison.

¹¹ Nous avons estimé un total de six épisodes d'inondation, en nous basant sur les années où des inondations ont eu lieu, ou auraient pu survenir, en zone riveraine (2011, 2014, 2017, 2019, 2022, 2024).

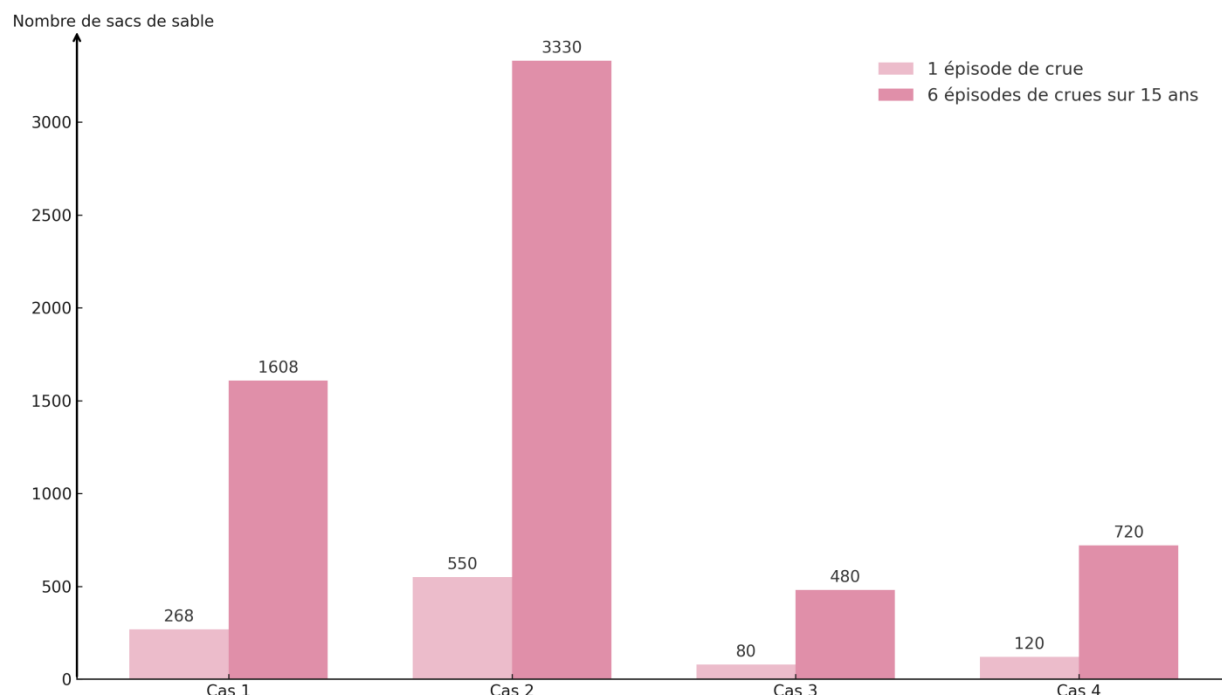


Figure 4.4 Diagramme en barres : nombre de sacs de sable requis par cas pour un épisode et pour 6 épisodes sur une durée de 15 ans (crédit : Joelle Kelzi)

Ce décalage devient particulièrement significatif lorsqu'il est envisagé à l'échelle du temps. Plus les épisodes d'inondation ou les alertes de crue se multiplient, plus l'écart se creuse entre les efforts et les ressources nécessaires à l'utilisation des sacs de sable et celles associées aux dispositifs spécialisés. Ces derniers, bien que plus coûteux à l'achat, deviennent plus avantageux à long terme, en raison de leur réutilisabilité et de la réduction significative des interventions humaines, des matériaux consommés et des déchets produits.

Bien que ce mémoire n'ait pas eu pour objectif de quantifier l'impact environnemental ou l'effort humain associé à l'utilisation répétée des sacs de sable comparativement aux dispositifs spécialisés, il serait pertinent que de futures recherches approfondissent ces dimensions dans le contexte québécois. Une telle analyse permettrait de mieux évaluer l'empreinte écologique réelle des stratégies de protection traditionnellement utilisées, ainsi que la charge matérielle et logistique imposée aux citoyens en situation d'urgence. En intégrant ces éléments, il serait possible d'enrichir les critères de décision, non seulement en termes de coûts économiques immédiats, mais aussi de durabilité, de pénibilité pour les usagers et d'efficacité opérationnelle à long terme. Cela contribuerait ainsi à orienter plus finement les choix d'adaptation vers des stratégies réellement viables et soutenables pour les réalités locales.

CONCLUSION

Alors que les inondations deviennent une réalité de plus en plus fréquente au Québec, la question de l'adaptation des maisons existantes situées en zones à risque devient un enjeu de plus en plus pressant. Ce mémoire s'est inscrit dans un contexte marqué par l'instabilité climatique, la vulnérabilité du cadre bâti et la persistance de l'usage de mesures traditionnelles, comme le recours aux sacs de sable. À travers ce mémoire, nous avons tenté de comprendre comment il est possible de dépasser ces pratiques pour envisager des stratégies de protection plus durables et mieux intégrées au contexte des riverains. Cette conclusion revient sur ce parcours, les apprentissages réalisés, les défis rencontrés, les limites de l'étude, ainsi que les perspectives ouvertes par cette recherche.

Le projet de maîtrise a évolué en plusieurs phases. Il a d'abord exploré la piste des fondations amphibies, avant de se tourner vers la conception d'un dispositif permanent de protection intégré à l'architecture du bâtiment résidentiel. Ces premières tentatives, issues du processus de recherche-crédation, ont constitué une étape importante du cheminement. Elles ont permis d'identifier les limites de la recherche et, par le fait même, de dégager des pistes de recherches futures.

Progressivement, ces premières démarches ont cédé la place à une approche plus réaliste et contextualisée, fondée sur l'analyse de dispositifs de protection déjà existants et éprouvés. Ce choix traduit la volonté de demeurer modeste dans les interventions, en privilégiant des solutions applicables à des maisons et à des quartiers résidentiels déjà construits et situés en zones inondables riveraines. Ainsi, le recentrage de la recherche a permis de mieux l'ancrer dans la réalité et de proposer des solutions directement transférables.

Cela dit, cette première initiative de création d'un objet permanent intégré à l'architecture du bâtiment résidentiel constitue une piste de recherche prometteuse. Elle pourrait être reprise et approfondie dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire, réunissant des expertises en architecture, ingénierie et gestion du risque. Une telle démarche permettrait d'envisager le développement de dispositifs permanents de protection multifonctionnelle intégrés à l'architecture des bâtiments résidentiels existants exposés aux inondations.

La question de recherche, posée en ces termes « Quelles sont les alternatives aux traditionnels sacs de sables d'urgence afin de favoriser la résilience dans le contexte des maisons existantes en zones inondables au Québec ? », a servi de fil conducteur à une démarche de recherche-crédation, ancrée dans le réel. Bien qu'expérimentale, cette approche a offert un cadre pertinent pour imaginer autrement les réponses aux risques d'inondation et a permis d'approfondir notre compréhension des multiples dimensions de l'adaptation des maisons aux inondations : vulnérabilité structurelle, temporalité des interventions, logistique de déploiement, adéquation entre les dispositifs et les caractéristiques du bâti, ainsi que l'importance d'une préparation adéquate en amont.

Cette réorientation a structuré l'ensemble de la recherche et a nourri une réflexion plus large sur les possibilités d'action à l'échelle du bâtiment résidentiel. Elle s'est traduite par la réalisation d'un inventaire de dispositifs de protection alternatifs. Cet inventaire est présenté sous forme de fiches descriptives mettant en lumière leurs caractéristiques techniques, leur mode de fonctionnement et leurs conditions d'installation. Ces fiches ont ensuite servi de base pour imaginer leur applicabilité potentielle dans des contextes types représentatifs du Québec à partir des scénarios prospectifs.

L'apport principal de cette recherche ne réside pas uniquement dans l'inventaire des dispositifs, mais dans l'effort de les mettre à l'épreuve de scénarios concrets. Ces scénarios ont permis d'illustrer leur mise en œuvre, mais aussi à stimuler la réflexion collective autour de nouvelles façons d'aborder la protection résidentielle en zone inondable. Malgré leurs limites, les dispositifs explorés dans ce mémoire apparaissent comme des alternatives plus durables et cohérentes que les sacs de sable. Leur réutilisabilité, leur performance, la réduction des déchets qu'ils permettent et leur potentiel d'intégration à des stratégies d'adaptation plus larges ouvrent des perspectives intéressantes à long terme.

À partir de cette compréhension, nous avons analysé la complexité du contexte québécois, où les solutions techniques ne peuvent être dissociées des réalités économiques, réglementaires et sociales. Cela a permis de faire ressortir plusieurs limites importantes, comme la difficulté de transposer des dispositifs conçus à l'étranger sans adaptation préalable, le manque de ressources disponibles pour accompagner les propriétaires, ainsi que l'insuffisance du cadre réglementaire actuel pour soutenir des stratégies durables à l'échelle résidentielle.

Ce mémoire ne prétend pas offrir une réponse définitive à la problématique de l'utilisation des sacs de sable lors des inondations, mais s'inscrit dans une démarche exploratoire, en proposant des pistes concrètes sous forme de scénarios prospectifs, pour alimenter la réflexion sur d'autres façons de cohabiter avec le risque d'inondation et inspirer des pratiques mieux adaptées au contexte local. Ces scénarios constituent avant tout un outil de projection et de mise à l'épreuve : ils permettent d'explorer la faisabilité et les limites de différentes mesures dans des contextes résidentiels typiques, et de montrer ce qui est réaliste à court terme et ce qui demeure souhaitable à plus long terme. Ils servent ainsi autant aux propriétaires qu'aux municipalités et aux professionnelles de l'urbanisme et du bâtiment, en fournissant une base commune de réflexion et d'action.

Ce mémoire permet également de mettre en lumière un décalage entre les discours sur la résilience et la réalité du terrain. Dans le contexte québécois, si les enjeux d'adaptation sont largement abordés dans les politiques et les discours institutionnels, leur mise en pratique reste encore largement insuffisante à l'échelle des bâtiments résidentiels. Cette recherche souligne ainsi l'importance de passer du principe à l'action.

Enfin, cette recherche ouvre plusieurs pistes à explorer. Sur le plan théorique, elle invite à poursuivre l'analyse des formes de résilience à l'échelle de l'habitat, en intégrant davantage les dimensions sociales et architecturales. Sur le plan pratique, elle appelle à développer des outils de sensibilisation et des programmes de soutien technique pour les résidences à risque. Dans cette optique, certaines initiatives, comme celles portées par l'ASFQ, méritent d'être soulignées. L'organisme travaille activement à évaluer l'efficacité de certains dispositifs nommés dans ce mémoire et à préciser les contextes dans lesquels ils pourraient s'avérer utiles au Québec, en menant des essais de faisabilité en laboratoire et sur le terrain. De la même manière, les fiches produites dans ce mémoire ne se limitent pas à un inventaire descriptif : elles peuvent constituer de véritables outils d'aide à la décision qui mettent en lumière les caractéristiques techniques, les contraintes d'utilisation et les avantages comparatifs des dispositifs. Elles pourraient évoluer vers des versions enrichies intégrant des données pratiques supplémentaires comme la comptabilité réglementaire, la disponibilité dans le marché québécois et des estimations de coûts à court et long terme, ainsi que des retours d'expérience issus d'essais de terrain. Leur utilité est double : accompagner les ménages dans leurs choix et soutenir les institutions dans l'élaboration de programmes d'aide mieux ciblés.

Cette recherche invite également à se tourner davantage vers la pratique, à remettre en question certaines habitudes et à repenser nos manières de se protéger de façon plus durable et pérenne, en lien avec l'environnement qui nous entoure. Dans le contexte québécois, marqué par des particularités climatiques, hydrologiques et bâties spécifiques, il serait pertinent de développer des dispositifs de protection conçus en fonction des réalités locales. Plutôt que de s'appuyer uniquement sur des solutions importées ou standardisées, une réflexion adaptée permettrait de mieux répondre aux défis posés par les inondations ici. Penser des dispositifs à l'échelle du Québec implique notamment de tenir compte de la fréquence et de la nature des crues, des caractéristiques des quartiers riverains, ainsi que de la présence quasi systématique de sous-sols.

La contribution principale de ce mémoire réside donc dans l'articulation entre théorie et pratique : il propose des outils concrets, contextualisés et transférables, qui ouvrent un chemin pour passer du principe à l'action. L'exercice des scénarios a permis d'apprendre que l'efficacité d'une mesure ne dépend pas seulement de sa performance technique, mais aussi du temps de déploiement, de l'acceptabilité sociale et du soutien institutionnel. Toutefois, ces scénarios reposent sur certains prérequis – comme la présence de fondations étanches, une inondation progressive et d'ampleur maîtrisée, ou encore la disponibilité de matériaux durables et la capacité d'acquisition par les ménages – qui limitent leur transférabilité sans adaptations complémentaires. De plus, cette étude n'a pas permis de quantifier l'empreinte environnementale ni l'effort humain comparatif entre sacs de sable et dispositifs spécialisés. Un volet d'analyse intégrant l'évaluation du cycle de vie, la pénibilité et la gestion des déchets viendrait utilement compléter la portée des outils proposés.

Les fiches et scénarios remplissent néanmoins un rôle complémentaire : les fiches servent à préparer et à standardiser les choix avant la crue, tandis que les scénarios traduisent ces choix dans des configurations concrètes, adaptées aux contraintes du bâti québécois, notamment la présence généralisée de sous-sols. Leur intérêt est de dépasser les réponses d'urgence comme les sacs de sable pour encourager des mesures réutilisables, plus performantes et génératrices de moins de déchets, donc plus durables à long terme. Leur limite demeure que, sans cadre d'accompagnement adéquat – financement, appui technique ou acceptation réglementaire –, leur adoption risque de rester inégale.

Ces constats invitent à formuler de nouvelles hypothèses de recherche, par exemple tester l'effet combiné de mesures d'atténuation en lien au site et d'un dispositif modulable, ou encore évaluer sur le long terme le coût réel des dispositifs réutilisables comparés aux sacs de sable. Enfin, dans un contexte

où les changements climatiques accélèrent la fréquence et l'intensité des crues, la réflexion sur l'avenir doit s'accompagner de recommandations générales. Pour les propriétaires, nous pourrions conseiller d'appliquer dès maintenant les mesures d'atténuation du « scénario 0 » — comme gérer le ruissellement, éloigner les gouttières, utiliser des surfaces perméables ou aménager des zones tampons — et de prévoir un dispositif de fermeture pour les ouvertures les plus vulnérables. Pour les municipalités, il s'agit surtout de renforcer la communication avant les crues grâce à des fiches locales simplifiées et des ateliers pratiques, tout en envisageant des programmes de micro-financement qui encouragent l'auto-protection. Pour les professionnels, l'enjeu est de développer ensemble des protocoles clairs de pose et d'entretien, ainsi que des seuils de performance comparables, afin de créer des outils d'aide à la décision fiables. Enfin, pour les chercheurs et organismes, il serait pertinent de lancer des projets pilotes comparant sacs de sable et dispositifs réutilisables, en intégrant des critères comme le cycle de vie, l'effort humain ou le temps de déploiement, afin de mieux guider les choix futurs.

Parmi les caractéristiques à privilégier, il serait judicieux de concevoir des dispositifs légers, modulaires, faciles à installer sans expertise technique, et compatibles avec les ouvertures typiques des maisons québécoises (portes, fenêtres, garages). La réutilisabilité, la rapidité de déploiement et la capacité à être stockés de manière compacte entre deux épisodes sont également essentielles. Ces critères techniques permettraient une appropriation plus large par les occupants, en particulier dans les contextes où le recours à des travaux structurels lourds est peu réaliste.

Certains enjeux devront néanmoins être surmontés, notamment le manque de normes claires encadrant l'efficacité des dispositifs temporaires, l'absence de reconnaissance réglementaire de ces solutions à l'échelle résidentielle, ou encore la difficulté à mobiliser un soutien technique adapté pour leur mise en place. Ces freins limitent aujourd'hui l'adoption de stratégies pourtant prometteuses, surtout dans les quartiers où les crues sont peu profondes mais récurrentes.

À l'inverse, plusieurs opportunités peuvent être saisies pour favoriser l'émergence de dispositifs mieux appropriés : l'essor des technologies (comme les barrières auto-déployantes ou les matériaux composites légers), l'intérêt grandissant des citoyens pour des solutions autonomes, ou encore les programmes publics et communautaires qui soutiennent l'expérimentation et le développement de mesures d'adaptation. Des projets pilotes menés en collaboration avec les collectivités locales pourraient jouer un rôle moteur pour tester ces dispositifs, adapter leur conception aux réalités de terrain et appuyer leur reconnaissance dans les politiques publiques.

Ce mémoire n'avait pas pour objectif de réaliser une analyse de cycle de vie complète des sacs de sable ni d'optimiser leur usage existant. L'enjeu n'était pas d'améliorer une solution temporaire, mais de remettre en question l'idée même de leur utilisation systématique face aux risques d'inondation. L'objectif était d'ouvrir une réflexion orientée vers des stratégies d'adaptation durables, capables de réduire la dépendance aux mesures d'urgence et de favoriser une approche à long terme, mieux intégrée aux réalités du bâti résidentiel québécois. Il s'agissait ainsi de penser autrement la protection contre les inondations, en proposant des alternatives structurelles plus résilientes et cohérentes face aux défis climatiques croissants.

Ainsi, cette recherche peut servir de tremplin, non seulement pour de futures recherches, mais aussi pour des expérimentations concrètes, notamment autour du dispositif imaginé dans cette recherche ou bien sur d'autres solutions qui pourraient être développées spécifiquement pour une utilisation en contexte québécois. Ces démarches pourraient être menées en collaboration avec les communautés riveraines et des équipes pluridisciplinaires réunissant chercheurs, professionnels et institutions.

ANNEXE 1

FICHE DE PRODUIT DES DISPOSITIFS ALTERNATIFS

Guide de lecture des fiches de produit

Nom du dispositif

Nom commercialisé en anglais du dispositif

Lien du dispositif de référence

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : type d'inondation/de crue

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : liste des matériaux principaux
- **Poids** : si applicable, poids de manipulation en KG, selon les modèles

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle ou automatique
- **Temps de déploiement** : en secondes/minutes, ou x minutes pour un déploiement sur 20 m
- **Nombre de personnes** : x personne pour la manipulation
- **Fonctionnement** : description

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : en m, selon les modèles
- **Durée de vie** : estimation en année, selon l'exposition et l'entretien
- **Durée d'utilisation** : en heures/jours, selon la pression de l'eau
- **Entretien** : faible à régulier

Informations supplémentaires

- Explication d'informations importantes relatives au dispositif



permanent



échelle du
bâtiment



professionnel
requis



invisible

\$ > 500



semi-permanent



échelle du
périmètre



professionnel
non-requis



visible

\$\$ 500-2 000



mise en garde
dispositif lourd

\$\$\$ 2 000-8 000

$$$$$ + 8\,000 <$$


temporaire

Porte anti-inondation

Flood door uPVC

<https://aquobex.com/products-list/upvc-flood-door/>



\$\$-\$\$\$

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations soudaines, les crues rapides et de courtes durées

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : uPVC renforcé (avec acier galvanisé), joints en EPDM ou néoprène, seuil en aluminium ou acier inoxydable
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

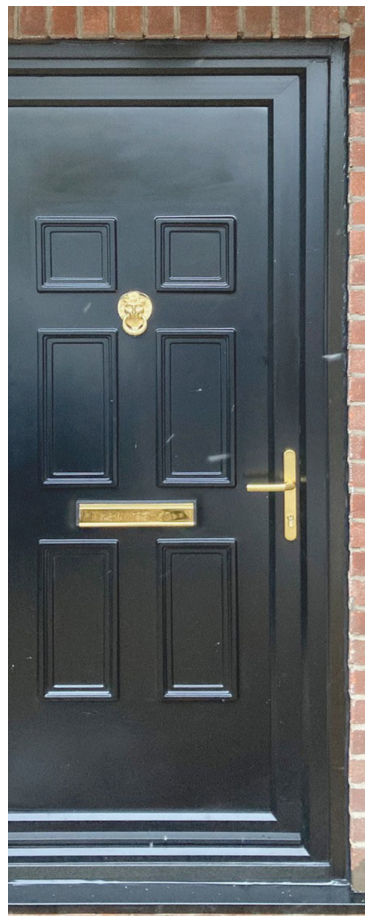
- **Activation** : manuelle
- **Temps de déploiement** : quelques secondes à 1 minute
- **Nombre de personnes** : N/A
- **Fonctionnement** : comme une porte classique, doit être fermée et verrouillée lorsque personne à la maison

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,3 m à 0,9 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 20 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : modéré à régulier, vérification périodique des joints d'étanchéité et du système de fermeture

Informations supplémentaires

- Disponibles en plusieurs styles et finitions, avec une intégration esthétique adaptée à tout type de bâtiment



Porte de garage anti-inondation

AquaLOCK garage door

<https://aqualock.uk/products/upandover-door>



Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations soudaines, les crues rapides

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : acier galvanisé, ou composite étanche, joints d'étanchéité à haute performance
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

- **Activation** : automatique, avec option de manœuvre manuelle en cas de panne
- **Temps de déploiement** : inférieure à 5 minutes
- **Nombre de personnes** : N/A
- **Fonctionnement** : comme une porte sectionnelle, basculante ou à enroulement, doit être fermée lorsque personne à la maison

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : jusqu'à 1,6 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 20 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 24 heures
- **Entretien** : modéré à régulier, vérification périodique des joints d'étanchéité et du système de fermeture

Informations supplémentaires

- Personnalisable selon les dimensions de l'ouverture du garage, avec une intégration esthétique adaptée à tout type de bâtiment



Fenêtre anti-inondation

Flood defender uPVC window

<https://www.m3floodtec.com/shop/products>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations soudaines, les crues rapides

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : châssis en PVC ou en aluminium renforcé, vitrage en verre feuilleté ou acrylique
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle
- **Temps de déploiement** : quelques secondes à 1 minute
- **Nombre de personnes** : N/A
- **Fonctionnement** : comme une fenêtre standard qui est conçue pour résister à une pression d'eau élevée, doit être fermée lorsque personne est à la maison

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,6 m à 1,2 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 20 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : modéré, vérification périodique des joints d'étanchéité et du système de fermeture

Informations supplémentaires

- Installation sur mesure possible pour s'adapter à tout taille de fenêtre
- Personnalisable pour s'intégrer esthétiquement à tout type de bâtiment



Portail anti-inondation pivotant

Swing-hinged flood gate

<https://floodcontrolinternational.com/swing-hinged-flood-gates/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations soudaines, les crues rapides

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : aluminium thermoplaqué, acier inoxydable, ou bois d'ingénierie
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle
- **Temps de déploiement** : quelques secondes à 1 minute
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : comme un portail standard sur charnières latérales avec un système de verrouillage étanche

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,6 m à 1,2 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : faible à modéré, vérification périodique des joints d'étanchéité et du système de fermeture

Informations supplémentaires

- Installation sur mesure possible pour s'adapter à tout taille d'ouverture
- Apparence plus fonctionnelle qu'esthétique, bien que des personnalisations soient possibles



Barrière auto-déployante hydraulique

Self closing flood barrier

<https://www.floodproofing.com/vertical-passive-flood-barriers>



Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations soudaines, les montées des eaux progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : panneaux en mousse de polyuréthane, fibre de verre, joints d'étanchéité à haute performance, cuve en béton ou acier
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

- **Activation** : automatique, à système hydraulique
- **Temps de déploiement** : au rythme de la montée de l'eau
- **Nombre de personnes** : N/A
- **Fonctionnement** : logée dans une caisse souterraine, la barrière se soulève automatiquement sous l'effet de la pression de l'eau et redescend une fois l'inondation terminée

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,8 m à 1,8 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 15 ans
- **Durée d'utilisation** : tant que l'eau exerce une pression suffisante
- **Entretien** : modéré, vérification périodique du système hydraulique, des joints d'étanchéité et du mécanisme de levée

Informations supplémentaires

- Commande manuelle possible pour activer ou désactiver la barrière indépendamment du niveau d'eau



Membrane périmétrique auto-déployante

Floodframe

<https://sedipe.com/floodframe-2/>



\$\$\$-\$\$\$+

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations soudaines, les montées des eaux progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : bâche imperméable renforcée, flotteur intégré, boîte de stockage en acier
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

- **Activation** : automatique, à système hydraulique
- **Temps de déploiement** : au rythme de la montée de l'eau
- **Nombre de personnes** : N/A
- **Fonctionnement** : logée dans un caisson souterrain autour du bâtiment, la membrane étanche se soulève automatiquement grâce à la pression de l'eau, enveloppant la structure

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,6 m à 1,5 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : tant que l'eau exerce une pression suffisante
- **Entretien** : faible à modéré, vérifications périodiques de l'état de la membrane et du mécanisme de déploiement

Informations supplémentaires

- Système flexible et adaptable à la taille de la propriété
- Ne nécessite aucune modification structurelle du bâtiment



Portail anti-inondation

Flood gate

<https://www.stormmeister.com/flood-gates/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues rapides

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : acier galvanisé, aluminium thermoplaqué, ou bois d'ingénierie
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle ou automatique, selon la taille pour portail < 3m, manuel assisté pour portail > 3 m, automatique hydraulique ou électrique
- **Temps de déploiement** : quelques minutes à 15 minutes, selon le mode d'activation
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : comme un portail standard monté sur charnières latérales ou rails coulissants

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,6 m à 1,2 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : modéré à régulier, vérifications périodiques des joints, du système de verrouillage et des mécanismes de pivotement ou de coulissement

Informations supplémentaires

- Disponible en plusieurs largeurs et hauteurs pour s'adapter à différentes configurations de propriété



\$\$\$-\$\$\$+



Mur anti-inondation

Flood wall

<https://www.redi-rock.com/solutions/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : la protection continue

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : béton armé ou hydrofuge, ou acier galvanisé
- **Poids** : N/A

Déploiement et usage

- **Activation** : N/A, le mur est toujours en place
- **Temps de déploiement** : N/A
- **Nombre de personnes** : N/A
- **Fonctionnement** : comme une barrière physique fixe qui bloque totalement l'eau, avec des fondations profondes et des joints étanches pour éviter les infiltrations

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 1,5 m à 3 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 40 ans et plus
- **Durée d'utilisation** : illimitée
- **Entretien** : faible, inspection périodique pour vérifier l'intégrité structurelle et l'absence de fissures

Informations supplémentaires

- Disponible avec des options d'intégration paysagère (mur végétalisé, imitation pierre) pour minimiser l'impact visuel
- Certains cas incluent un système de drainage pour limiter la pression de l'eau sur la structure
- Soumis à la réglementation des autorités locales en raison de son impact sur l'écoulement des eaux



Batardeau vissable pour fenêtre de sous-sol

Flood cover for basement window

<https://www.hochwasserschutz.shop/fr/categorie-produit/>



Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : aluminium ou acier inoxydable, vitrage en verre feuilleté ou acrylique renforcé, joints d'étanchéité en caoutchouc
- **Poids** : 2 à 12 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en fixant le dispositif par des vis de serrage/clipsage sur le cadre préinstallé
- **Temps de déploiement** : quelques minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : se fixe solidement sur le cadre préinstallé en serrant les vis, ce qui compresse les joints d'étanchéité et bloque les infiltrations d'eau

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : N/A
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 24 heures
- **Entretien** : faible, vérification des joints d'étanchéité et des fixations après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Installation du cadre de fixation par un professionnel est recommandée
- Installation sur mesure possible pour s'adapter à tout taille de fenêtre de sous-sol



Batardeau vissable

Floodguard screw-in barrier

<https://aquobex.com/products-list/floodguard-screw-in-barrier/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : aluminium renforcé, acier inoxydable, panneaux composites étanches, joints en caoutchouc compressibles
- **Poids** : 5 à 30 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en fixant le dispositif par des vis de serrage sur le cadre préinstallé
- **Temps de déploiement** : quelques minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : se fixe solidement sur le cadre préinstallé en serrant les vis, ce qui compresse les joints d'étanchéité et bloque les infiltrations d'eau

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,6 m à 0,9 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 20 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : modéré, vérification des joints d'étanchéité et des fixations et nettoyage des panneaux après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Installation du cadre de fixation par un professionnel est recommandée
- Installation sur mesure possible pour s'adapter à tout taille d'ouverture



Batardeau encastré

Floodstop guard

<https://www.m3floodtec.com/shop/products/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : aluminium renforcé, panneaux en composites étanches, joints en caoutchouc compressibles
- **Poids** : 1 à 3 KG, par panneau de 15 cm de hauteur

Déploiement et usage

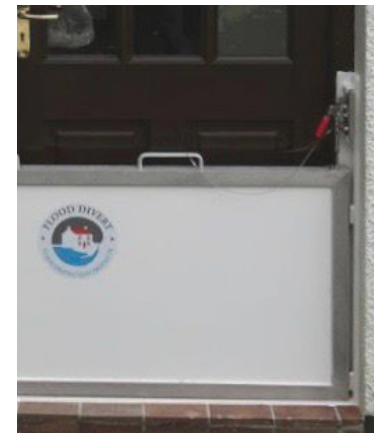
- **Activation** : manuelle, en insérant les panneaux dans les rails de guidage du cadre préinstallé
- **Temps de déploiement** : quelques minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : les panneaux glissent verticalement dans un cadre fixé de manière permanente, ce qui compresse les joints d'étanchéité et bloque les infiltrations d'eau

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,3 m à 1,2 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 50 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : modéré, vérification des joints d'étanchéité et des fixations et nettoyage des panneaux après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Installation du cadre de fixation par un professionnel est recommandée
- Installation sur mesure possible pour s'adapter à tout taille d'ouverture



Mur anti-inondation à module empilable

Demountable flood protection system

<https://www.flood-defenses.com/flood-protection/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues lentes

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : panneaux en aluminium renforcés ou composites étanches, cadre en acier galvanisé, joints en caoutchouc
- **Poids** : 5 à 8 KG, par panneau de 20 cm de hauteur

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en empilant les panneaux modulaires dans les rails de guidage
- **Temps de déploiement** : jusqu'à 4 heures pour un déploiement sur 20 m
- **Nombre de personnes** : 2 à 3 personnes
- **Fonctionnement** : les panneaux glissent verticalement dans un cadre fixé de manière permanente, ce qui compresse les joints d'étanchéité et bloque les infiltrations d'eau

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 1,5 à 2 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 30 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : modéré, vérification périodique des joints d'étanchéité, du cadre et des panneaux

Informations supplémentaires

- Système modulaire et démontable, permettant une hauteur ajustable selon les conditions d'inondation
- Solution discrète lorsqu'elle n'est pas déployée



\$\$\$-\$\$\$+



Batardeau à expansion pneumatique

Dam easy flood barrier

<https://www.ukflooddefencealliance.com/products-services/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations saisonnières, les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : panneaux centraux en polymère robuste, extensions latérales ajustables, joints pneumatiques intégrés
- **Poids** : 13 à 15 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, avec un système d'expansion pneumatique intégré
- **Temps de déploiement** : inférieure à 5 minutes par barrière
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : la barrière est placée dans l'ouverture et fixée en activant un levier, ce qui gonfle un joint pneumatique qui compresse la barrière contre l'encadrement, créant une étanchéité immédiate

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,5 m à 0,7 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 48 heures
- **Entretien** : faible, vérification des joints et du mécanisme d'expansion et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Possibilité d'aligner plusieurs barrières côte à côte
- Installation sans perçage ni cadre fixe



Batardeau à ancrage par pression

Aquastop door guard

<https://www.fluvial-innovations.co.uk/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations saisonnières, les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : aluminium renforcé, joints en caoutchouc compressibles
- **Poids** : 10 à 20 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, avec un système de pression ajustable
- **Temps de déploiement** : inférieure à 5 minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : la barrière est placée dans l'ouverture et ajustée par pression, ce qui compresse les joints d'étanchéité et empêche les infiltrations d'eau

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,5 m à 0,8 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 5 ans garantie
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 48 heures
- **Entretien** : faible, vérification des joints et du mécanisme de pression et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Personnalisable pour s'adapter aux dimensions spécifiques des ouvertures
- Installation sans perçage ni cadre fixe



Batardeau gonflable

Flowstop flood barrier

<https://flowstop.ca/en/technology>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : tissu PVC Dropstitch haute densité, joints en néoprène, valve de gonflage haute pression
- **Poids** : 5 à 20 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, par gonflage avec une pompe manuelle ou électrique
- **Temps de déploiement** : inférieure à 5 minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : la barrière est positionnée devant l'ouverture, puis gonflée à l'aide d'une pompe, ce qui la met en tension et compresse les joints d'étanchéité contre les surfaces d'appui

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,5 m à 1,5 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 15 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : faible, vérification pour détecter dommages ou usures

Informations supplémentaires

- Disponible avec support d'ancrage ou de stabilisation
- Personnalisable en fonction des dimensions spécifiques des ouvertures à protéger



Batardeau à ancrage latéral

Floodshield barrier

<https://floodshield.com/pages/how-the-floodshield-works>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations saisonnières, les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : aluminium renforcé, joints en caoutchouc compressibles, système de verrouillage en métal
- **Poids** : 2 à 5 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, avec fixation latérale sur le cadre de la porte par un système de verrouillage intégré
- **Temps de déploiement** : inférieure à 5 minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : la barrière est placée contre l'ouverture et verrouillée sur les côtés du cadre de la porte, compressant ainsi les joints d'étanchéité pour empêcher les infiltrations d'eau

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : jusqu'à 0,6 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 36 heures
- **Entretien** : faible, vérification des joints et du mécanisme de verrouillage et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Compatible avec de nombreux cadres de porte
- Installation sans perçage ni cadre fixe



Batardeau à expansion manuelle

Floodgate flood barrier

<https://aquobex.com/products-list/floodgate/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : structure en acier, enveloppe en néoprène, joints en caoutchouc compressibles
- **Poids** : 15 à 25 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, avec un système d'expansion horizontale et verticale fixée par des vis à capuchon
- **Temps de déploiement** : inférieure à 5 minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : la barrière est placée dans l'ouverture et fixée en activant le vérin à ciseaux intégré, ce qui exerce une pression contre l'encadrement, créant une étanchéité immédiate

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : jusqu'à 0,8 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 15 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 72 heures
- **Entretien** : faible, vérification des joints et du mécanisme d'expansion et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Possibilité d'aligner plusieurs barrières côte à côte
- Installable par une personne, mais peut-être lourde à manipuler
- Installation sans perçage ni cadre fixe



Batardeau ballasté

Tiger dam homeowners unit kit

<https://usfloodcontrol.com/flood-barrier-kits-for-homes/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations saisonnières, les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : polyéthylène industriel renforcé
- **Poids** : 7 KG vide

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en remplissant la barrière avec de l'eau à l'aide d'un tuyau d'arrosage standard
- **Temps de déploiement** : 5 à 10 minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : la barrière est placée devant l'ouverture à protéger, puis remplie d'eau, ce qui la stabilise et crée une barrière contre l'eau de l'inondation

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : jusqu'à 0,5 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 5 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 24 heures
- **Entretien** : faible, après utilisation, vider l'eau, nettoyer la surface si nécessaire et laisser sécher avant de ranger

Informations supplémentaires

- Rangement compact après usage
- Installation sans perçage ni cadre fixe



Barrière modulaire auto-portante ballastée

Floodstop modular flood barrier

<https://www.empteezy.co.uk/collections/floodstop>



Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : modules en polyéthylène haute densité, joints en caoutchouc
- **Poids** : 5 à 65 KG vide

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en assemblant les modules et en les remplissant d'eau
- **Temps de déploiement** : jusqu'à 2 heures pour un déploiement sur 20 m
- **Nombre de personnes** : 2 à 3 personnes
- **Fonctionnement** : chaque module est connecté aux autres pour former une barrière continue, puis remplie d'eau pour renforcer la stabilité face à la pression de l'inondation

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,5 m à 0,9 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 15 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à quelques jours
- **Entretien** : faible, vérification des connexions et joints d'étanchéité avant installation et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Modularité totale et possibilité d'utilisation sur différentes surfaces (asphaltes, sols naturels, béton)



Barrière modulaire auto-portante inclinable

L shaped portable flood barrier

<https://aodek.com/product-category/flood-barrier/>



Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : panneaux en aluminium ou acier galvanisé, oiles imperméables en PVC renforcé, tructures de support métalliques inclinables
- **Poids** : 37 KG par unité

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle ou semi-automatique, avec déploiement rapide par inclinaison des panneaux de support
- **Temps de déploiement** : jusqu'à 4 heures pour un déploiement sur 20 m
- **Nombre de personnes** : 2 à 3 personnes
- **Fonctionnement** : chaque panneau est stocké à plat et connecté aux autres pour former une barrière continue, puis déployés grâce aux supports inclinables

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,9 m à 1,8 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à quelques jours
- **Entretien** : faible, vérification des connexions et des supports avant installation et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Adaptable à différentes longueurs, offrant une protection flexible



Barrière modulaire auto-portante rigide

Floodfence system

<https://www.fluvial-innovations.co.uk/flood-fence-water-diverter/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations saisonnières, les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : panneaux en plastique rigide ou polypropylène renforcé, joints d'étanchéité intégrés
- **Poids** : 4 KG par unité

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, par emboîtement et ajustement des panneaux modulaires avec pieds stabilisateurs
- **Temps de déploiement** : jusqu'à 1 heure pour un déploiement sur 20 m
- **Nombre de personnes** : 1 à 2 personnes
- **Fonctionnement** : chaque panneau est connecté aux autres pour former une barrière continue

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : jusqu'à 0,5 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 24 heures
- **Entretien** : faible, vérification des joints d'étanchéité avant installation et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Adaptable à différentes longueurs
- Possibilité d'être courbés ou positionnés en ligne droite



Barrière modulaire auto-portante emboîtée

Interlocking flood barrier

<https://www.inero.se/fr/accueil>



Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : panneaux en aluminium de qualité marine, membrane en polyéthylène, pieds de support en aluminium avec poutres coniques
- **Poids** : 7 à 10 KG par unité

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, avec un système d'assemblage modulaire
- **Temps de déploiement** : jusqu'à 25 minutes pour un déploiement sur 20 m
- **Nombre de personnes** : 2 à 4 personnes
- **Fonctionnement** : chaque panneau est connecté aux autres pour former une barrière continue, puis une membrane en polyéthylène est fixée par clips pour assurer l'étanchéité

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,5 m à 1,5 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 30 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à quelques jours
- **Entretien** : faible, vérification des connexions avant installation et nettoyage après chaque utilisation

Informations supplémentaires

- Adaptable à différentes longueurs
- Possibilité d'être courbés ou positionnés en ligne droite



Barrière auto-portante auto-déployante

Watergate barrier

<https://www.hydroresponse.com/water-gate-barrier>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations saisonnières, les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : toile de polymère haute résistance
- **Poids** : variable selon la taille – une barrière de 15 m de long pour une hauteur de protection de 60 cm pèse environ 22 KG

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en déroulant simplement la barrière
- **Temps de déploiement** : quelques minutes pour dérouler, au rythme de la montée de l'eau pour se déployer
- **Nombre de personnes** : 1 à 3 personnes, selon la longueur
- **Fonctionnement** : la barrière est placée sur le sol à l'endroit souhaité avant arrivée de l'inondation, puis la pression de l'eau provoque son déploiement automatique

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,3 m à 1,5 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : tant que l'eau exerce une pression suffisante
- **Entretien** : faible, vérification pour détecter dommages ou usures et nettoyage après utilisation pour éliminer les débris

Informations supplémentaires

- Disponible en plusieurs tailles
- Possibilité d'être courbés ou positionnés en ligne droite



Barrière tubulaire auto-portante ballastée

Tube barrier

<https://floods-barrier.com/product/en/Tube-Barrier.html>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : toile de polymère haute résistance ou polyuréthane thermoplastique, barres de tension en fibre de verre spéciale
- **Poids** : 15 à 20 KG vide

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en déroulant simplement la barrière
- **Temps de déploiement** : quelques minutes pour dérouler, au rythme de la montée de l'eau pour se déployer
- **Nombre de personnes** : 1 à 3 personnes, selon la longueur
- **Fonctionnement** : la barrière tubulaire est placée sur le sol à l'endroit souhaité avant arrivée de l'inondation, puis l'eau pénètre par des ouvertures situées à la base du tube, qui se remplit équilibrant son niveau avec celui de l'inondation

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,3 m à 0,7 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 5 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à 36 heures
- **Entretien** : faible, vérification pour détecter dommages ou usures et nettoyage après utilisation pour éliminer les débris

Informations supplémentaires

- Disponible en plusieurs tailles
- Rangement compact après usage



Barrière tubulaire auto-portante gonflable

Inflatable flood control tube

<https://www.garrisonflood.com/inflatable-flood-control-tubes>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les inondations saisonnières, les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : toile de polymère haute résistance ou polyuréthane thermoplastique
- **Poids** : 25 à 50 KG vide

Déploiement et usage

- **Activation** : manuelle, en déroulant la barrière et la gonflant
- **Temps de déploiement** : 10 à 20 minutes
- **Nombre de personnes** : 1 personne
- **Fonctionnement** : la barrière tubulaire est placée sur le sol à l'endroit souhaité avant l'arrivée de l'inondation, puis est gonflée avec une pompe à air standard

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : jusqu' à 0,9 m
- **Durée de vie** : jusqu'à 5 ans garantie
- **Durée d'utilisation** : plusieurs heures à quelques jours
- **Entretien** : faible à modéré, vérification périodique pour détecter dommages ou usures et nettoyage après utilisation pour éliminer les débris

Informations supplémentaires

- Rangement compact après usage
- Disponible en plusieurs tailles
- Possibilité d'être courbés ou positionnés en ligne droite



Barrière tubulaire ballastée

Tiger dam system

<https://usfloodcontrol.com/flood-barriers/>

Contexte d'utilisation

- **Recommandé pour** : les crues progressives

Composition et caractéristique

- **Matériaux** : polyéthylène renforcé haute résistance ou polyuréthane thermoplastique
- **Poids** : 20 à 30 KG vide

Déploiement et usage

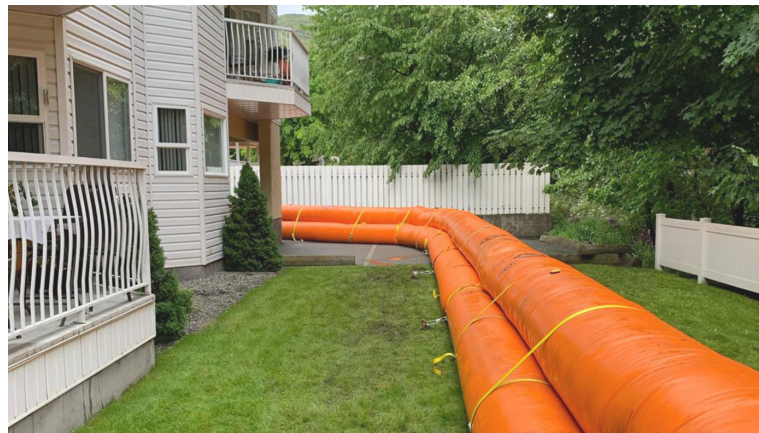
- **Activation** : manuelle, en la remplissant avec de l'eau à l'aide d'un tuyau, d'une pompe ou d'une borne incendie.
- **Temps de déploiement** : 10 à 20 minutes
- **Nombre de personnes** : 1 à 3 personnes, selon la longueur
- **Fonctionnement** : la barrière tubulaire est placée sur le sol à l'endroit souhaité avant l'arrivée de l'inondation, puis est remplie d'eau

Performance et entretien

- **Hauteur d'eau maximale** : 0,5 m à 1 m, par tube individuelle
- **Durée de vie** : jusqu'à 10 ans
- **Durée d'utilisation** : quelques heures à quelques jours
- **Entretien** : faible à modéré, vérification périodique pour détecter dommages ou usures et nettoyage après utilisation pour éliminer les débris

Informations supplémentaires

- Possibilité d'empiler les tubes pour augmenter l'hauteur de protection
- Rangement compact après usage



ANNEXE 2
SCÉNARIOS PROSPECTIFS

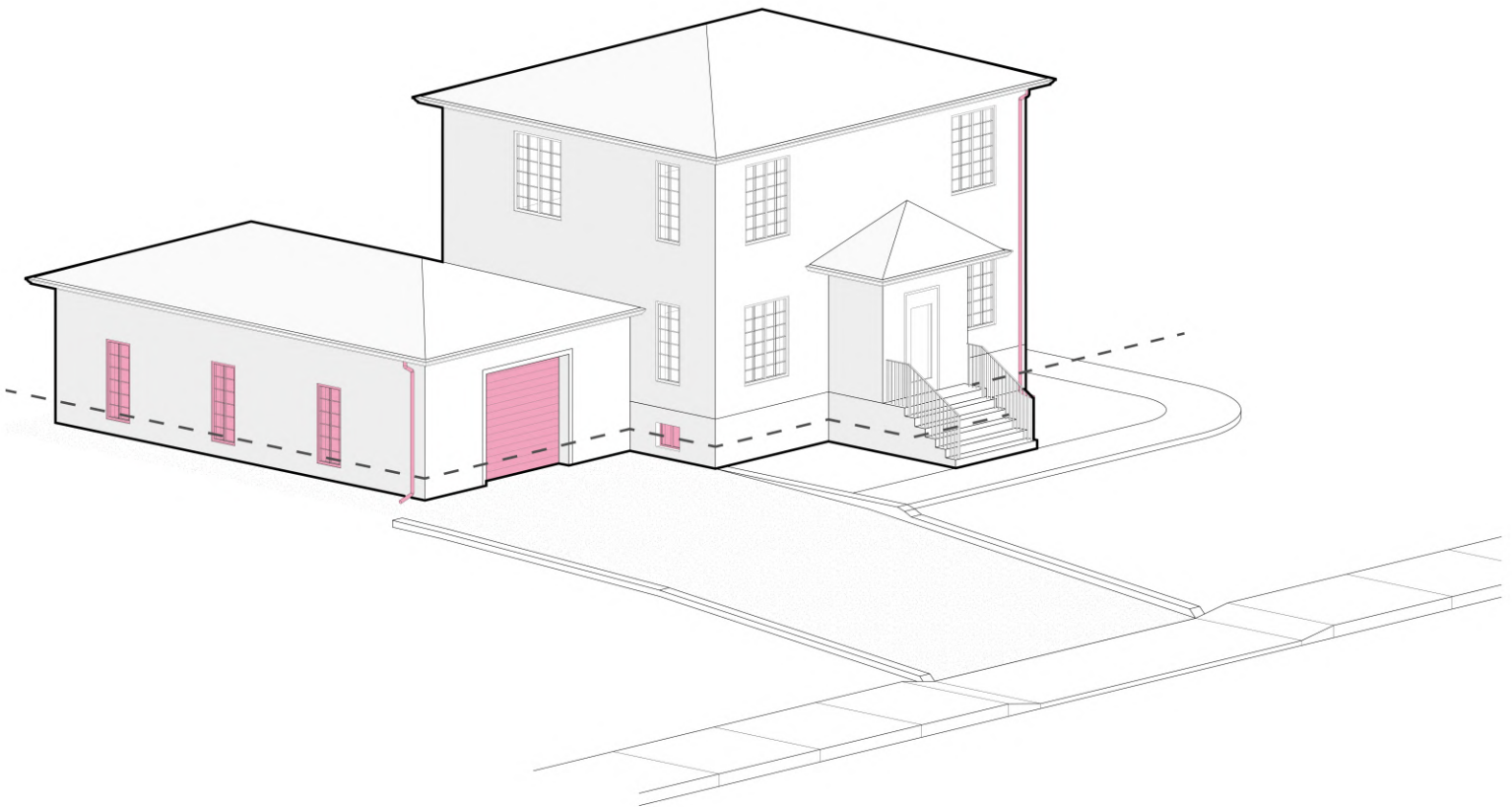
Maison unifamiliale

avec sous-sol et garage accolé

Contexte existant

Informations et caractéristiques du bâtiment

- Type de construction : ossature en bois avec un revêtement extérieur en crépi
- Nombre d'étages : 2
- Présence de sous-sol aménagé : oui
- Niveau du premier plancher hors sol (NP) : 1 m
- Niveau d'inondation à la base de la maison (NI) : 0,5 m
- Profondeur d'inondation (PI=NI-NP) : - 0,5 m



La maison est implantée en retrait par rapport à la rue, sur un terrain présentant un dénivelé ascendant d'environ 1 mètre par rapport à la chaussée. Elle repose sur une fondation en béton surélevée, accessible par un escalier menant à l'entrée principale. Une allée asphaltée mène à un garage accolé, situé directement au sol.

Selon les données recueillies lors des inondations de 2017 et 2019, la montée des eaux provient principalement de la rivière des Prairies, située à 90,5 mètres sur le côté ouest de la propriété. Le niveau de l'eau peut atteindre environ 0,5 mètre, rendant vulnérable plusieurs éléments de l'enveloppe de la maison.

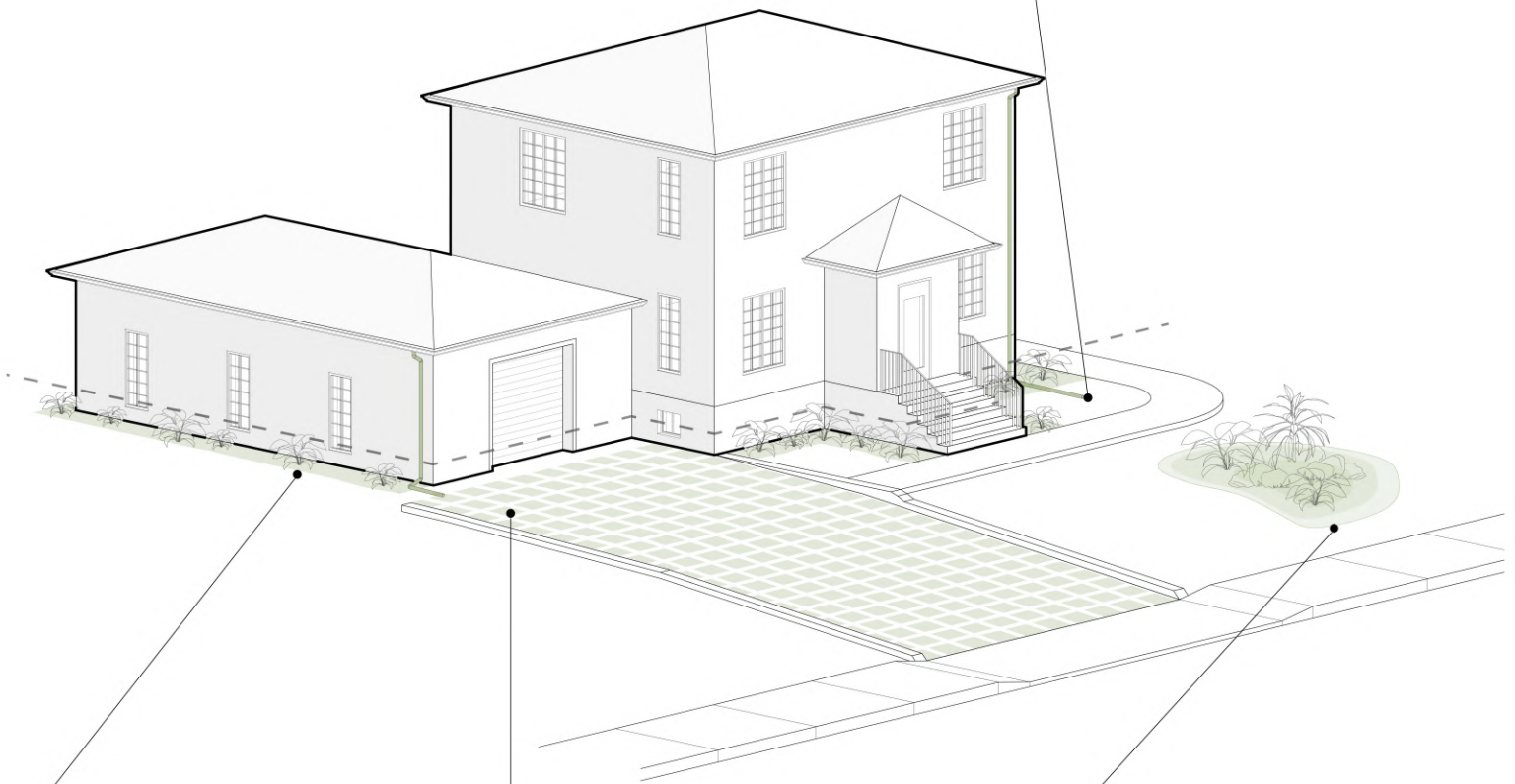
La **fenêtre du sous-sol** en façade se trouve à une hauteur susceptible d'être submergée, tout comme l'**entrée du garage** située de plain-pied. De plus, les **fenêtres latérales basses** du garage constituent des points d'infiltration potentiels.

Le système de gestion des eaux pluviales présente également une faiblesse : la **descente pluviale** visible sur la façade latérale évacue les eaux de toiture à moins de 2 mètres des fondations. Cette configuration favorise l'accumulation d'eau au pourtour du bâtiment et accentue la vulnérabilité aux infiltrations, particulièrement en période de fortes précipitations ou d'inondation.

Prolongement de descente pluviale

Munies d'un prolongement rigide ou souple, ces descentes de gouttières éloignent l'eau d'au moins 2 mètres des fondations, selon la perméabilité du sol.

Il est essentiel d'orienter le déversement vers une zone plantée ou un jardin de pluie, jamais sur un sol imperméable.

**Bande de végétation tampon**

Située au pied des murs du bâtiment, cette bande végétalisée permet l'absorption partielle des eaux de pluie, réduisant ainsi les éclaboussures sur les façades. En favorisant la percolation de l'eau dans le sol, elle contribue à la gestion naturelle des eaux de surface, tout en offrant une valeur esthétique et écologique.

Il est important de maintenir une bonne pente qui éloigne l'eau du bâtiment et d'utiliser des plantes qui stabilisent le sol et résistent aux éclaboussures.

Revêtement perméable alvéolé

Les surfaces imperméables comme l'entrée de garage ou l'allée d'accueil sont optimisées en utilisant des revêtements qui favorisent la percolation de l'eau dans le sol.

Le pavé ou les cellules alvéolées permettent le passage de l'eau pour être absorbée par une structure sous-jacente bien drainante (composée de gravier).

Jardin de pluie

Situé à au moins 3 mètres de la maison pour limiter les risques de percolation vers les fondations, le jardin de pluie est conçu comme une légère dépression dans le sol, végétalisée avec des plantes tolérantes aux variations d'humidité. Il permet de recueillir et filtrer les eaux de ruissellement provenant des surfaces imperméables avoisinantes.

Il est essentiel de le dimensionner en fonction de la surface de captation (toiture, allée) pour éviter la saturation du sol et assurer un bon drainage.

CAS 1

Maison unifamiliale

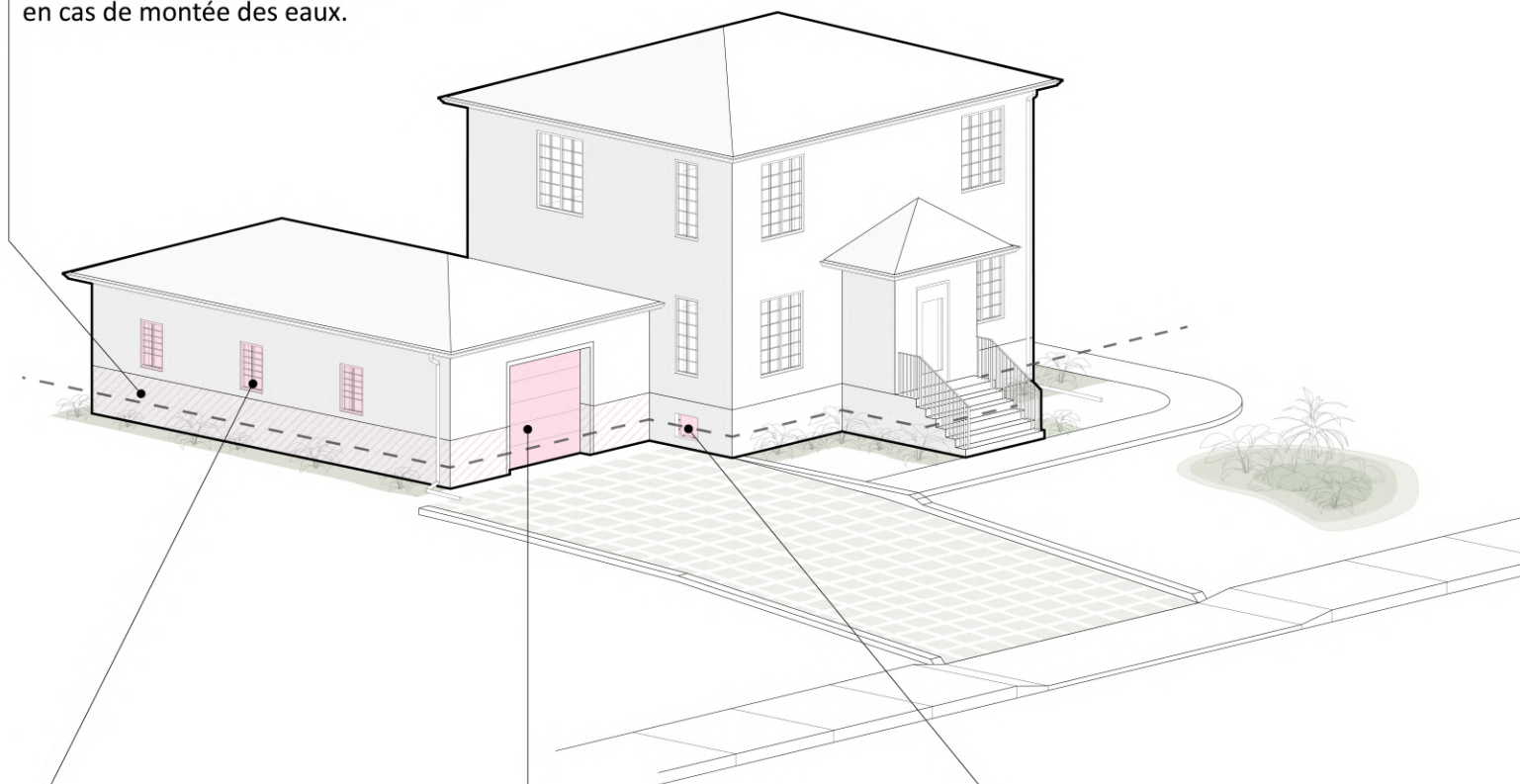
avec sous-sol et garage accolé

Scénario 1

Renforcement du garage renforcé

Le garage accolé est renforcé localement à l'aide d'éléments en béton armé afin d'assurer une continuité structurelle et une meilleure étanchéité avec les fondations de la maison.

Cette intervention vise à limiter les points de faiblesse à la jonction entre le garage et le bâtiment principal, et à améliorer la résistance de l'ensemble en cas de montée des eaux.



Fenêtre surélevée

Les fenêtres existantes sont retirées, puis réinstallées plus haut, au-dessus du niveau d'exposition, afin de réduire les points d'entrée potentiels de l'eau. Les anciennes ouvertures sont obturées de manière étanche.

Porte de garage anti-inondation F2



Batardeau pour fenêtre de sous-sol F9



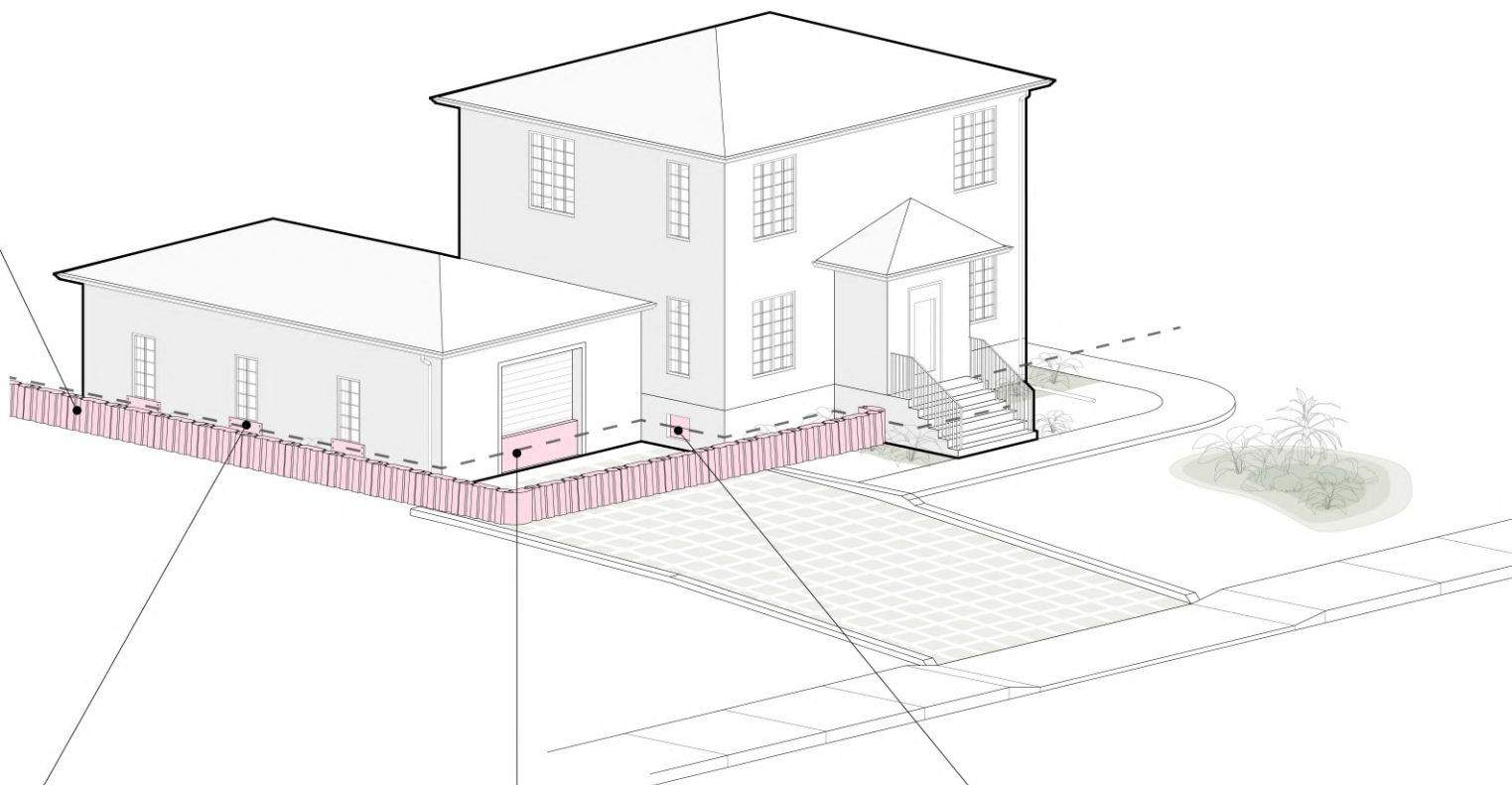
Barrière modulaire anti-inondation



\$\$-\$\$\$

Possibilité d'utiliser plusieurs types de barrières modulaires (voir fiche de produit) :

- modulaire ballastée **F19**
- modulaire auto-portante inclinable **F20**
- modulaire auto-portante rigide **F21**



Batardeau vissable

F10

\$\$

Batardeau temporaire



\$\$-\$\$\$

Possibilité d'utiliser plusieurs types de batardeau (voir fiche de produit) :

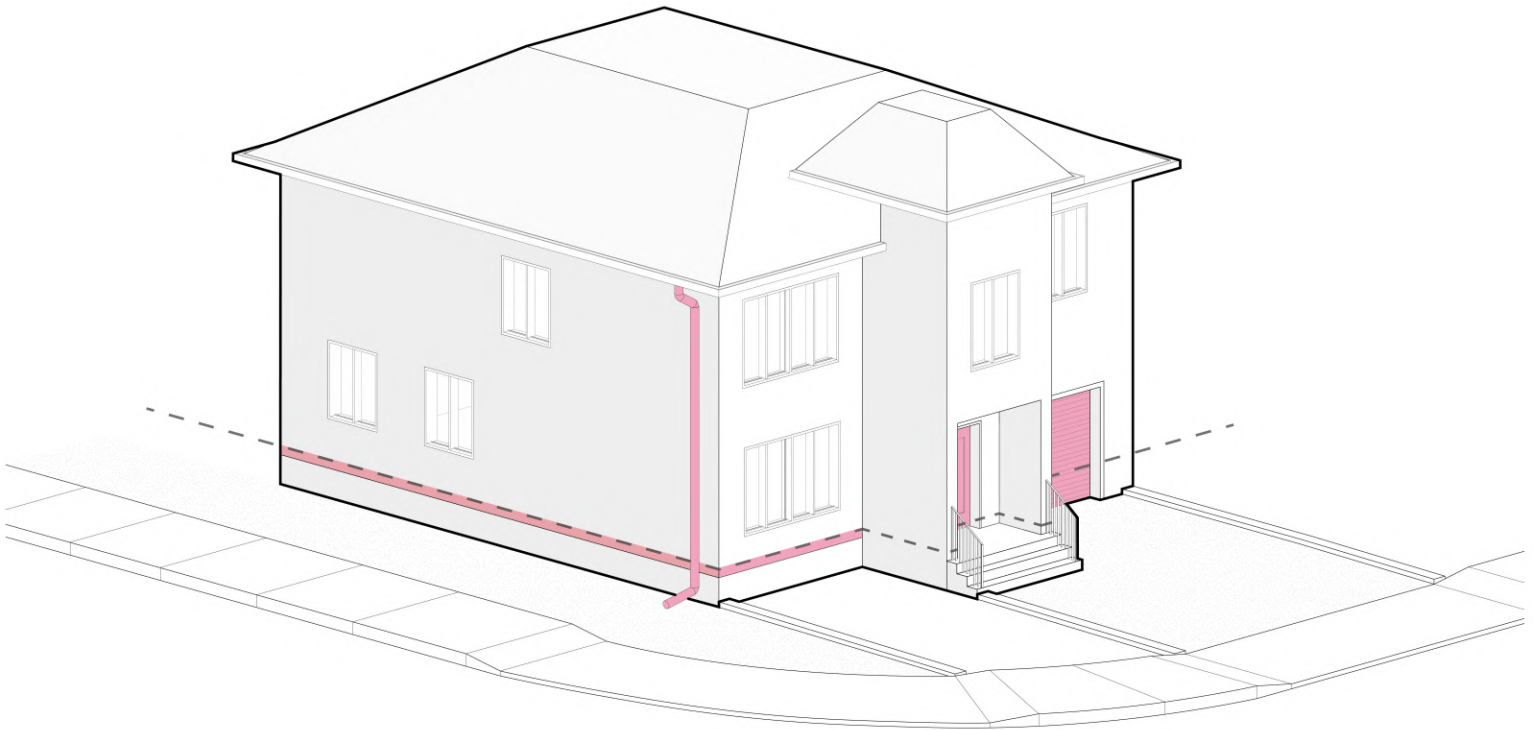
- à expansion pneumatique **F13**
- à ancrage par pression **F14**
- gonflable **F15**
- à ancrage latérale **F16**
- à expansion manuelle **F17**

Batardeau pour fenêtre de sous-sol **F9**

\$\$

Informations et caractéristiques du bâtiment

- Type de construction : ossature en bois avec un revêtement extérieur en brique/pierre
- Nombre d'étages : 2
- Présence de sous-sol aménagé : non
- Niveau du premier plancher hors sol (NP) : 0,6 m
- Niveau d'inondation à la base de la maison (NI) : 0,8 m
- Profondeur d'inondation (PI=NI-NP) : + 0,2 m



La maison est implantée en léger recul à l'extrémité d'une rue, sur un terrain présentant un dénivelé ascendant d'environ 0,5 mètre par rapport à la chaussée. Elle repose sur une fondation en béton, avec un escalier menant à une entrée principale surélevée. Une allée asphaltée mène à un garage intégré, situé directement au sol.

Selon les données recueillies lors des inondations de 2017 et 2019, la montée des eaux provient principalement de la rivière des Prairies, située à 70 mètres sur le côté ouest de la propriété. Le niveau de l'eau peut atteindre environ 0,8 mètre, rendant vulnérable plusieurs éléments de l'enveloppe de la maison.

Le **rez-de-chaussée** constitue la principale zone de vulnérabilité, puisqu'il se trouve sous le niveau estimé de la crue. La jonction entre la fondation en béton et la structure hors-sol, souvent composée d'une ossature en bois, représente une interface critique, susceptible de laisser pénétrer l'eau sous l'effet de la pression hydrostatique. En cas d'infiltration prolongée, le bois peut se détériorer rapidement, compromettant la solidité de la structure. La **porte d'entrée** représente également un autre point d'intrusion potentiel. De plus, la **porte de garage**, implantée directement au niveau du sol, est exposée de manière directe à l'entrée des eaux.

Enfin, la **descente pluviale** visible sur la façade latérale évacue les eaux de toiture à proximité immédiate des fondations, ce qui favorise l'accumulation d'eau au pourtour du bâtiment.

**Bande de végétation tampon**

Située au pied des murs du bâtiment, cette bande végétalisée permet l'absorption partielle des eaux de pluie, réduisant ainsi les éclaboussures sur les façades. En favorisant la percolation de l'eau dans le sol, elle contribue à la gestion naturelle des eaux de surface, tout en offrant une valeur esthétique et écologique.

Il est important de maintenir une bonne pente qui éloigne l'eau du bâtiment et d'utiliser des plantes qui stabilisent le sol et résistent aux éclaboussures.

Prolongement de descente pluviale

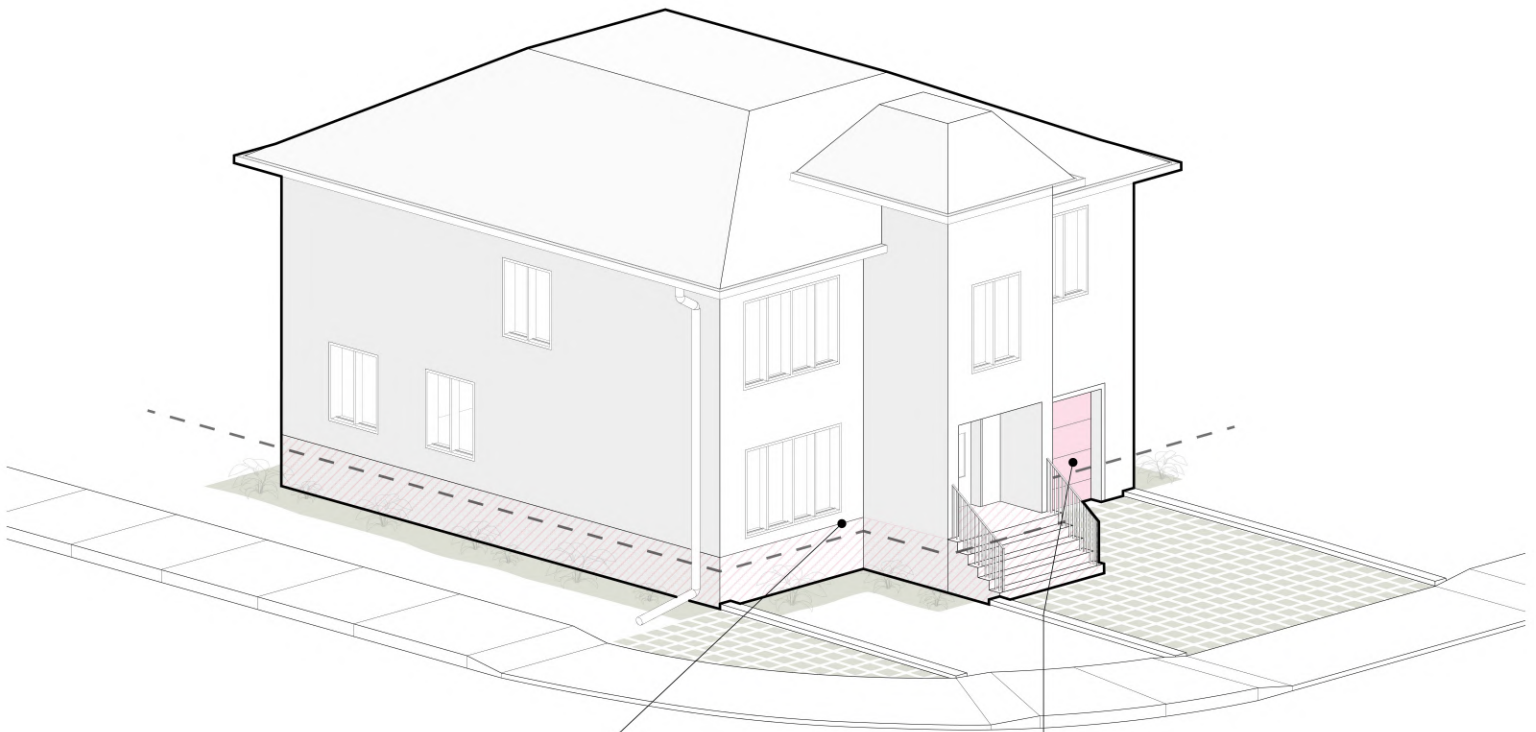
Munies d'un prolongement rigide ou souple, ces descentes de gouttières éloignent l'eau d'au moins 2 mètres des fondations, selon la perméabilité du sol.

Il est essentiel d'orienter le déversement vers une zone plantée ou un jardin de pluie, jamais sur un sol imperméable.

Revêtement perméable alvéolé

Les surfaces imperméables comme l'entrée de garage ou l'allée d'accueil sont optimisées en utilisant des revêtements qui favorisent la percolation de l'eau dans le sol.

Le pavé ou les cellules alvéolées permettent le passage de l'eau pour être absorbée par une structure sous-jacente bien drainante (composée de gravier).

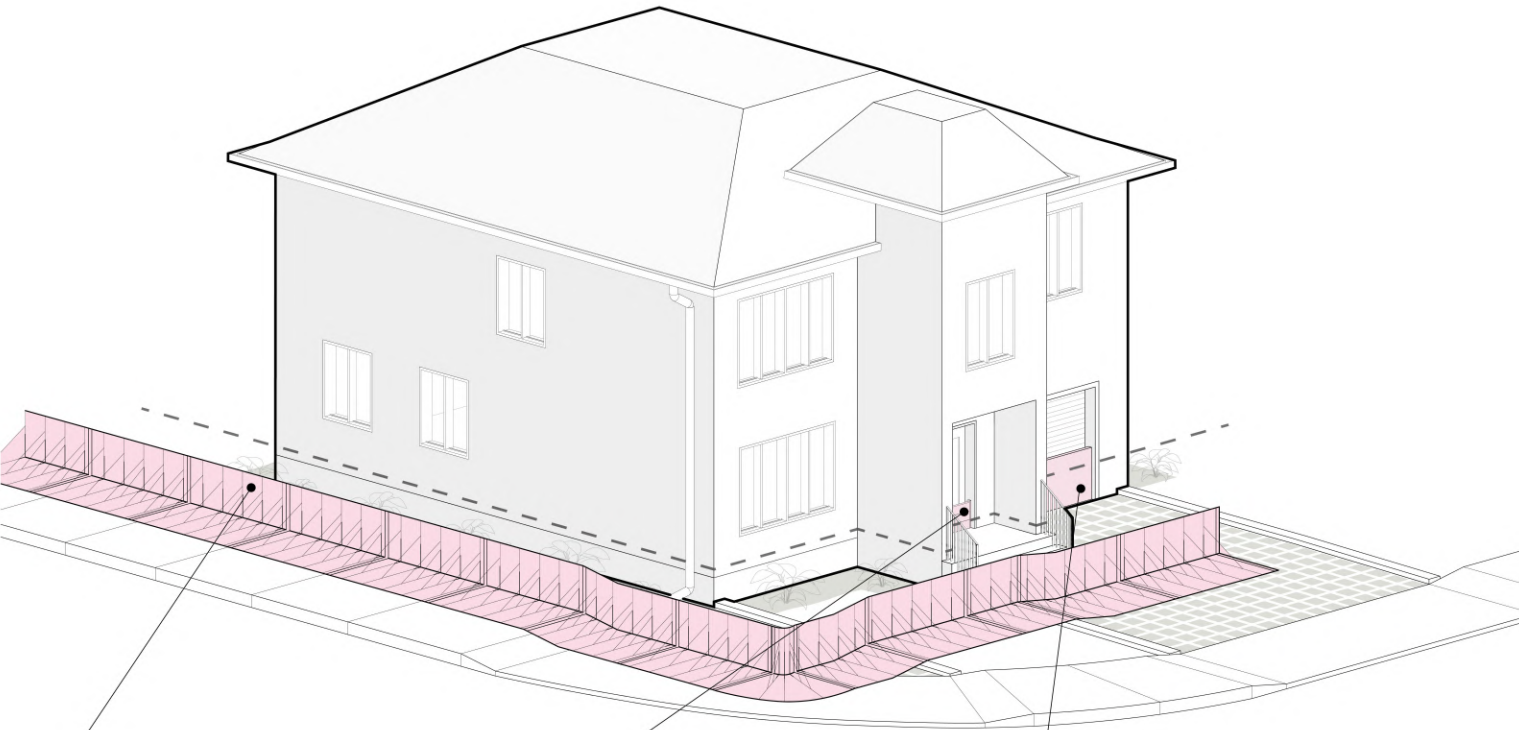
**RDC surélevé**

Le rez-de-chaussée est rehaussé au-dessus du niveau d'exposition afin de réduire les points d'entrée potentiels de l'eau.

Cette élévation nécessite l'ajout de marches permettant l'accès à la nouvelle hauteur du plancher fini.

Porte de garage anti-inondation F2

\$\$\$



Barrière anti-inondation



Possibilité d'utiliser plusieurs types de barrières (voir fiche de produit) :

- modulaire ballastée **F19**
- modulaire auto-portante inclinable **F20**
- modulaire auto-portante rigide **F21**
- modulaire auto-portante emboîtée **F22**
- auto-portante auto-déployante **F23**
- auto-portante ballastée **F24**
- auto-portante gonflable **F25**

Batardeau pour porte d'entrée



Possibilité d'utiliser plusieurs types de batardeau semi-permanent ou temporaire (voir fiche de produit) :

- vissable **F10**
- à expansion pneumatique **F13**
- à ancrage par pression **F14**
- gonflable **F15**
- à ancrage latérale **F16**
- à expansion manuelle **F17**

Batardeau temporaire

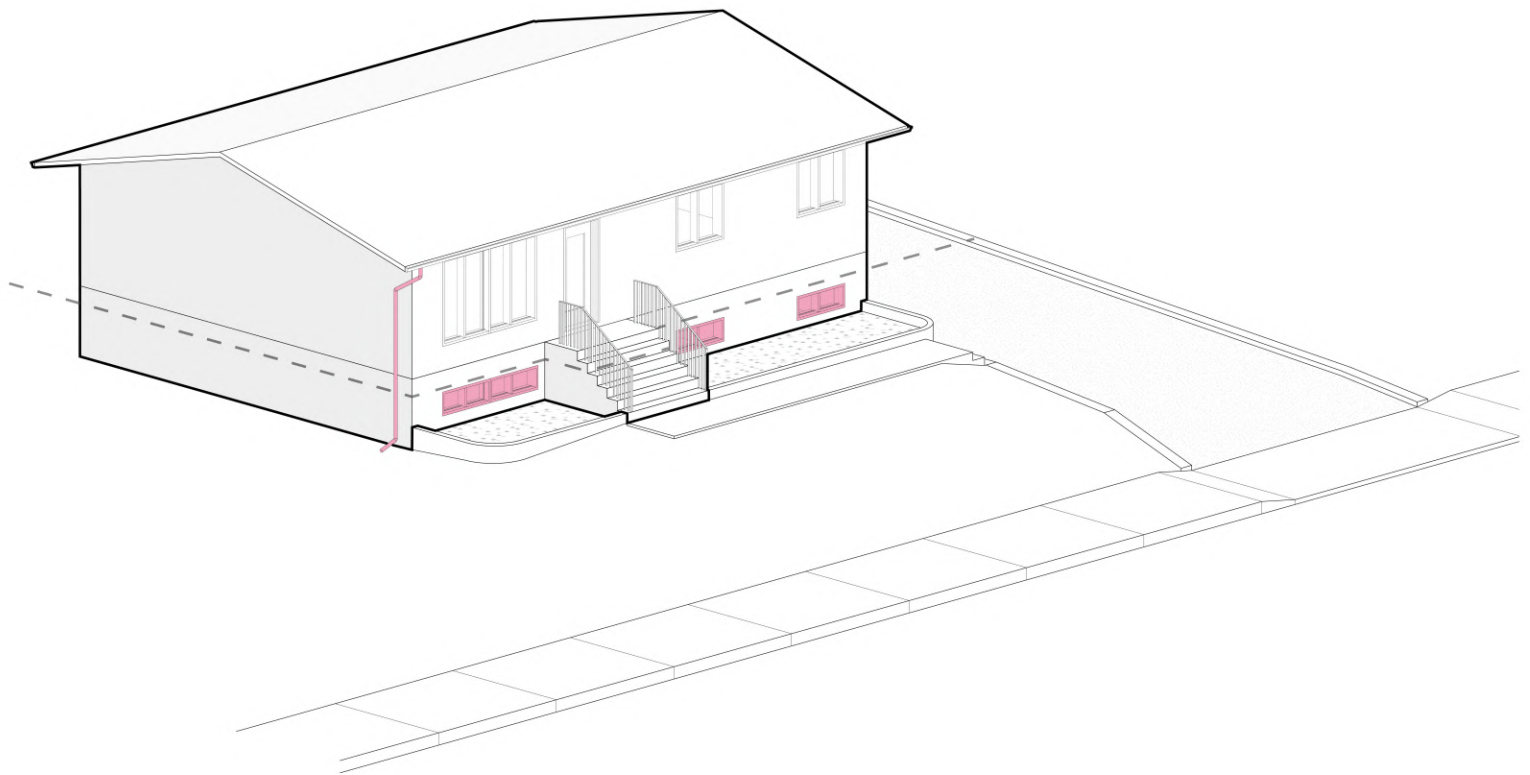


Possibilité d'utiliser plusieurs types de batardeau (voir fiche de produit) :

- à expansion pneumatique **F13**
- à ancrage par pression **F14**
- gonflable **F15**
- à ancrage latérale **F16**
- à expansion manuelle **F17**

Informations et caractéristiques du bâtiment

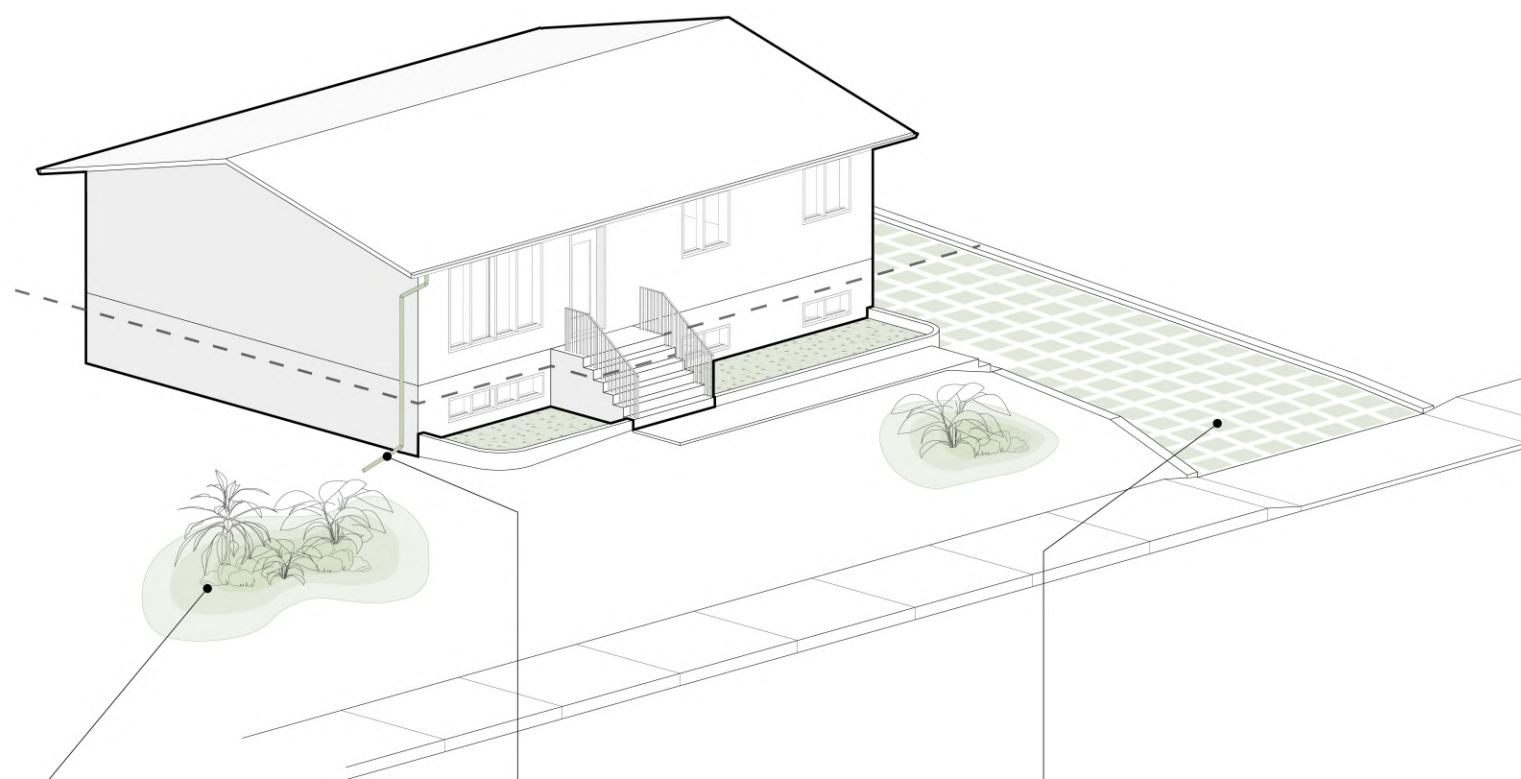
- Type de construction : ossature bois avec un revêtement extérieur en vinyle
- Nombre d'étages : 1
- Présence de sous-sol aménagé : oui
- Niveau du premier plancher hors sol (NP) : 1,4 m
- Niveau d'inondation à la base de la maison (NI) : 1 m
- Profondeur d'inondation (PI=NI-NP) : - 0,4 m



La maison est implantée en retrait par rapport à la rue, sur un terrain présentant un dénivelé ascendant d'environ 1,3 mètre par rapport à la chaussée. Elle repose sur une fondation en béton, avec un escalier menant à une entrée principale surélevée. Une allée asphaltée mène à un stationnement extérieur.

Selon les données recueillies lors des inondations de 2017 et 2019, la montée des eaux provient principalement de la rivière des Prairies, située à 92,5 mètres sur le côté ouest de la propriété. Le niveau de l'eau peut atteindre environ 1 mètre, exposant directement les **fenêtres du sous-sol**. Ces ouvertures, situées sous le niveau estimé de la crue, représentent un risque important d'infiltration en cas de submersion prolongée.

Le système de gestion des eaux pluviales présente également une faiblesse : la **descente pluviale** visible sur la façade latérale évacue les eaux de toiture à moins de 2 mètres des fondations. Cette configuration favorise l'accumulation d'eau au pourtour du bâtiment et accentue la vulnérabilité aux infiltrations, particulièrement en période de fortes précipitations ou d'inondation.

**Bande de végétation tampon**

Située au pied des murs du bâtiment, cette bande végétalisée permet l'absorption partielle des eaux de pluie, réduisant ainsi les éclaboussures sur les façades. En favorisant la percolation de l'eau dans le sol, elle contribue à la gestion naturelle des eaux de surface, tout en offrant une valeur esthétique et écologique.

Il est important de maintenir une bonne pente qui éloigne l'eau du bâtiment et d'utiliser des plantes qui stabilisent le sol et résistent aux éclaboussures.

Prolongement de descente pluviale

Munies d'un prolongement rigide ou souple, ces descentes de gouttières éloignent l'eau d'au moins 2 mètres des fondations, selon la perméabilité du sol.

Il est essentiel d'orienter le déversement vers une zone plantée ou un jardin de pluie, jamais sur un sol imperméable.

Revêtement perméable alvéolé

Les surfaces imperméables comme l'entrée de garage ou l'allée d'accueil sont optimisées en utilisant des revêtements qui favorisent la percolation de l'eau dans le sol.

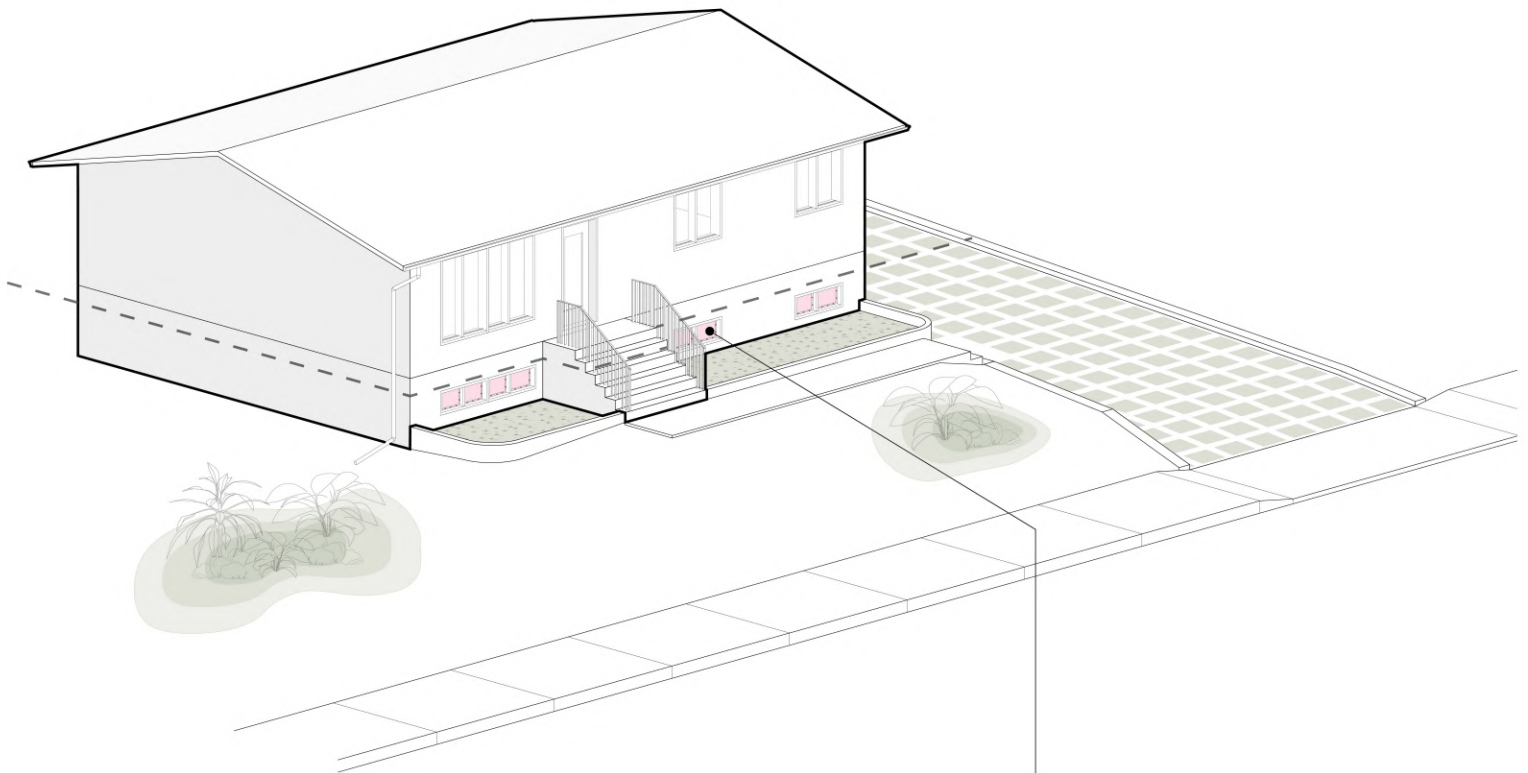
Le pavé ou les cellules alvéolées permettent le passage de l'eau pour être absorbée par une structure sous-jacente bien drainante (composée de gravier).

CAS 3

Maison unifamiliale style bungalow

avec sous-sol

Scénario 1



Batardeau pour fenêtre de sous-sol **F9**



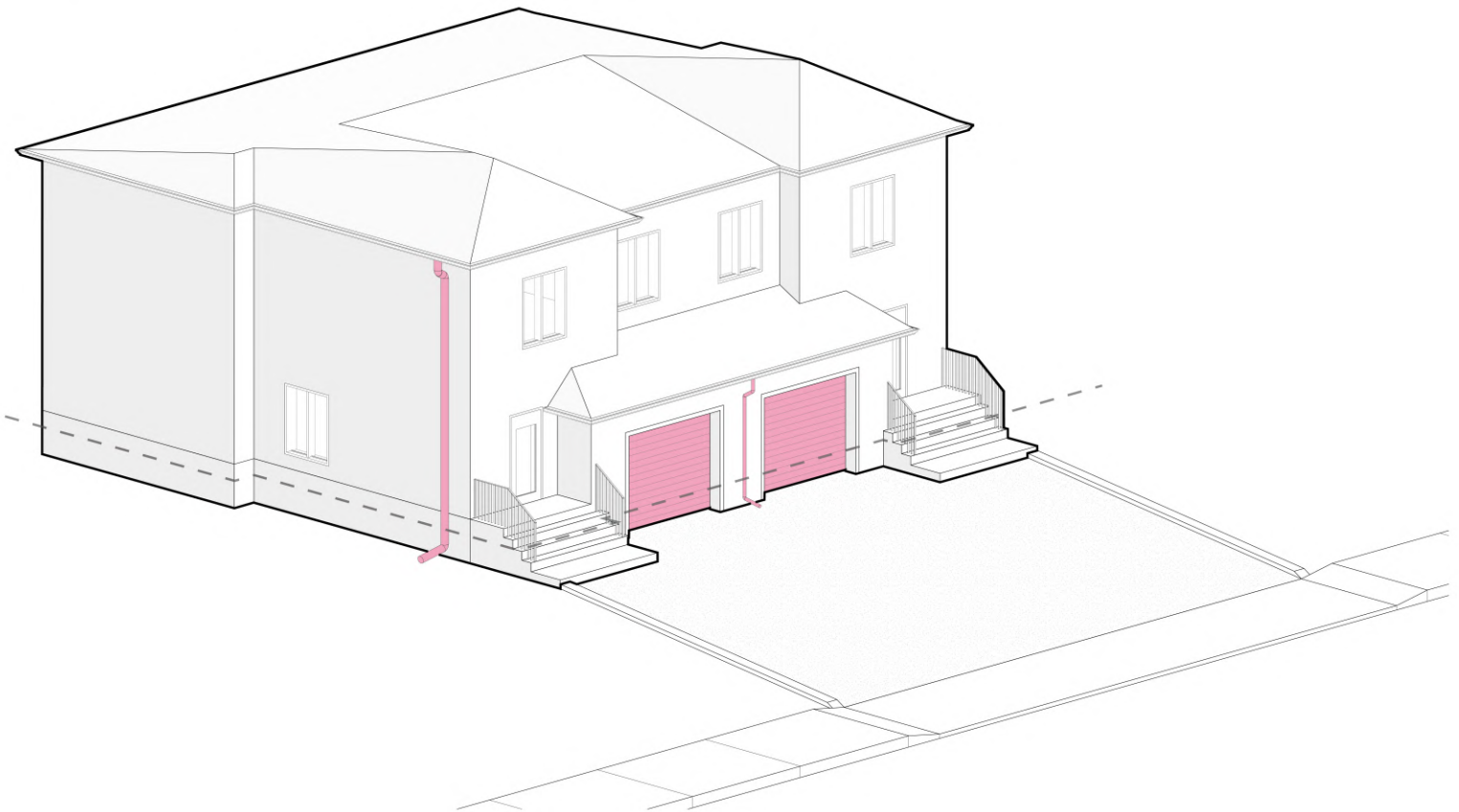
Maison jumelée

avec vide sanitaire et garage intégré

Contexte existant

Informations et caractéristiques du bâtiment

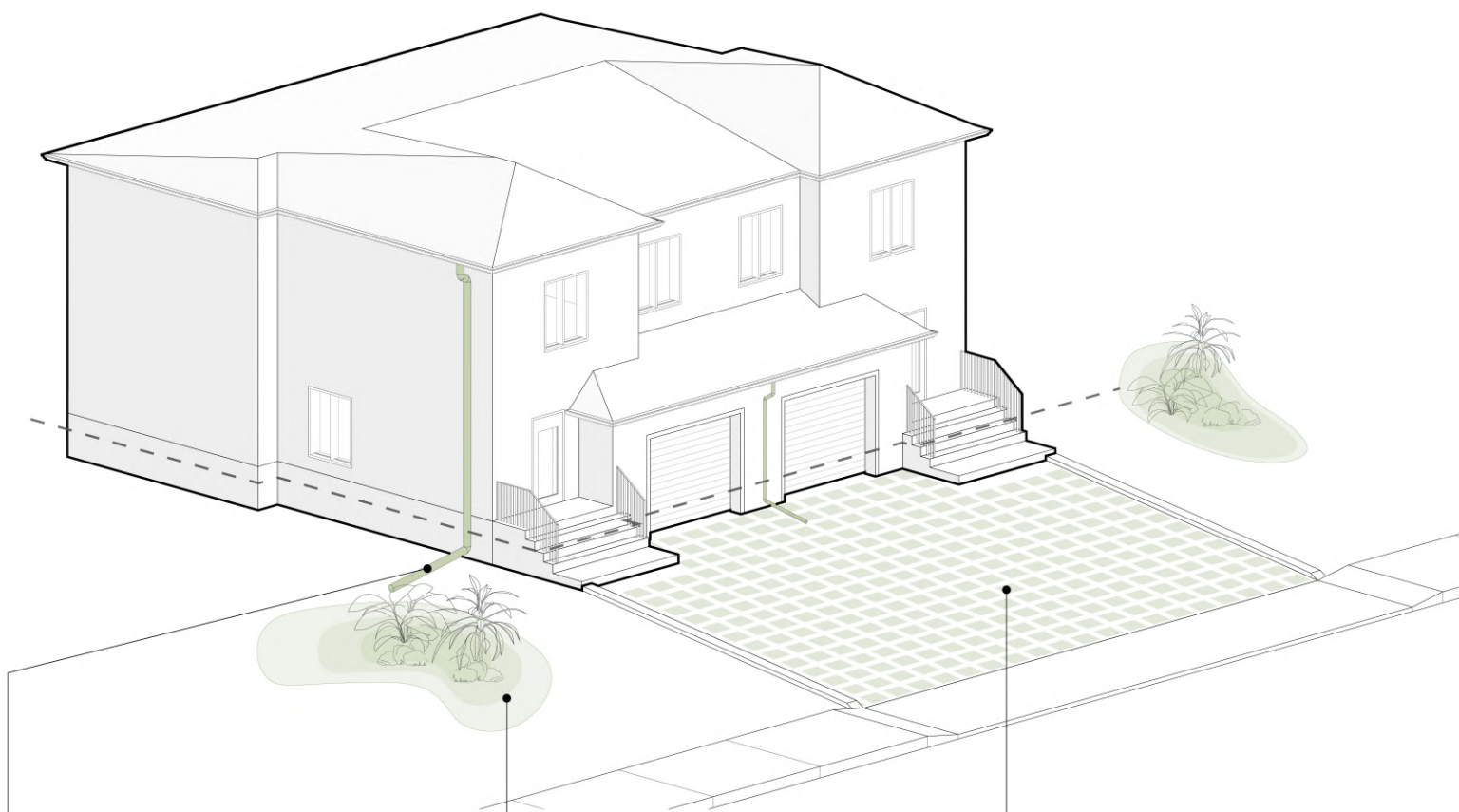
- Type de construction : ossature en bois avec un revêtement extérieur en brique/pierre
- Nombre d'étages : 2
- Présence de sous-sol aménagé : non
- Niveau du premier plancher hors sol (NP) : 0,8 m
- Niveau d'inondation à la base de la maison (NI) : 0,3 m
- Profondeur d'inondation ($PI=NI-NP$) : - 0,5 m



La maison est implantée en retrait par rapport à la rue, sur un terrain présentant un dénivelé ascendant d'environ 0,8 mètre par rapport à la chaussée. Elle repose sur une fondation en béton, avec un escalier menant à une entrée principale surélevée. Une allée asphaltée mène à un garage intégré, situé directement au sol.

Selon les données recueillies lors des inondations de 2017 et 2019, la montée des eaux provient principalement de la rivière des Prairies, située à 135 mètres sur le côté ouest de la propriété. Le niveau de l'eau peut atteindre environ 0,3 mètre, exposant directement la **porte de garage**. Située de plain-pied, cette ouverture est directement exposée à l'entrée des eaux en cas de crue.

Le système de gestion des eaux pluviales présente également une faiblesse : la **descente pluviale** visible sur la façade latérale évacue les eaux de toiture à moins de 2 mètres des fondations. Cette configuration favorise l'accumulation d'eau au pourtour du bâtiment et accentue la vulnérabilité aux infiltrations, particulièrement en période de fortes précipitations ou d'inondation.

**Prolongement de descente pluviale**

Munies d'un prolongement rigide ou souple, ces descentes de gouttières éloignent l'eau d'au moins 2 mètres des fondations, selon la perméabilité du sol.

Il est essentiel d'orienter le déversement vers une zone plantée ou un jardin de pluie, jamais sur un sol imperméable.

Jardin de pluie

Situé à au moins 3 mètres de la maison pour limiter les risques de percolation vers les fondations, le jardin de pluie est conçu comme une légère dépression dans le sol, végétalisée avec des plantes tolérantes aux variations d'humidité. Il permet de recueillir et filtrer les eaux de ruissellement provenant des surfaces imperméables avoisinantes.

Il est essentiel de le dimensionner en fonction de la surface de captation (toiture, allée) pour éviter la saturation du sol et assurer un bon drainage.

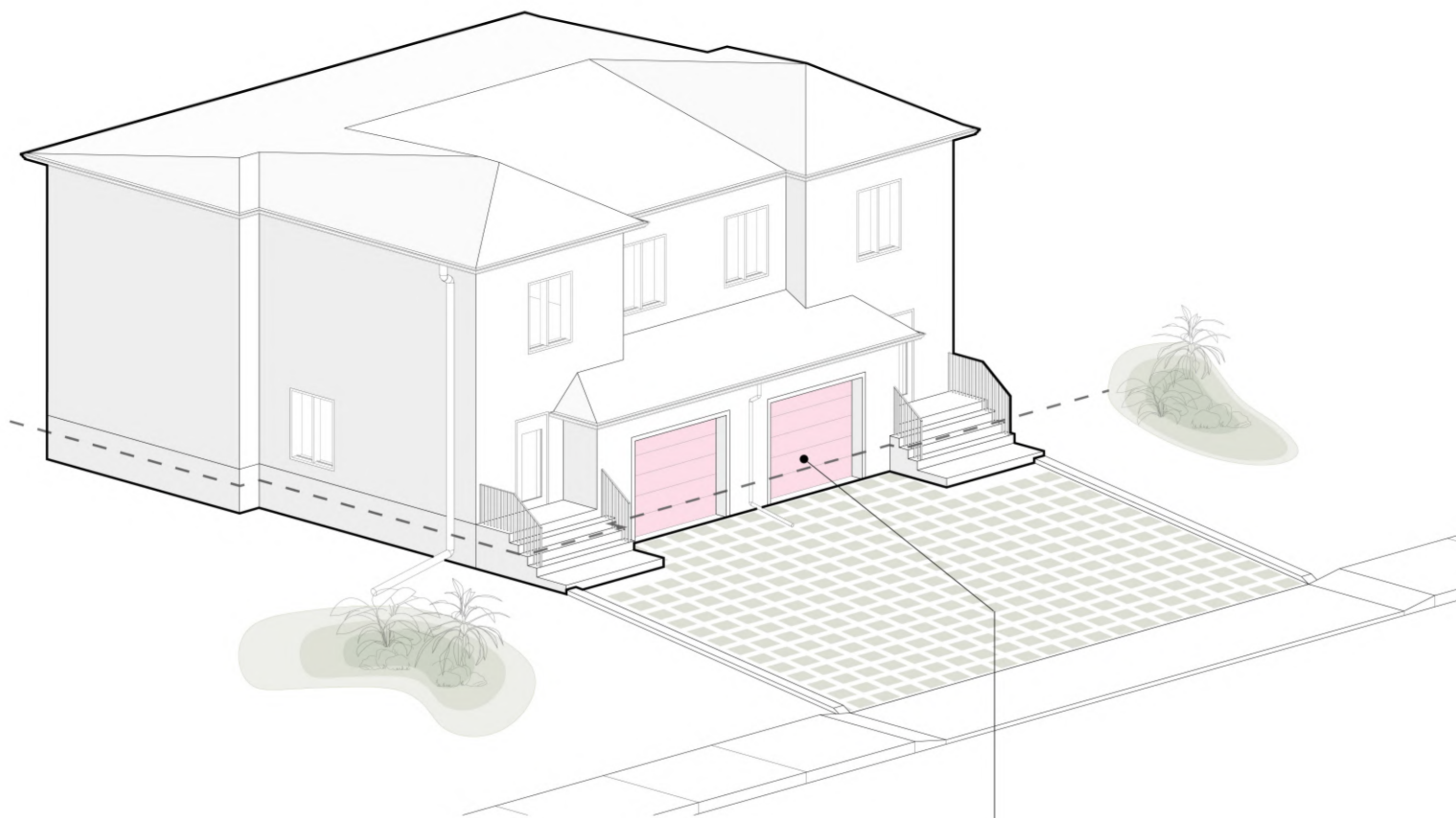
Revêtement perméable alvéolé

Les surfaces imperméables comme l'entrée de garage ou l'allée d'accueil sont optimisées en utilisant des revêtements qui favorisent la percolation de l'eau dans le sol.

Le pavé ou les cellules alvéolées permettent le passage de l'eau pour être absorbée par une structure sous-jacente bien drainante (composée de gravier).

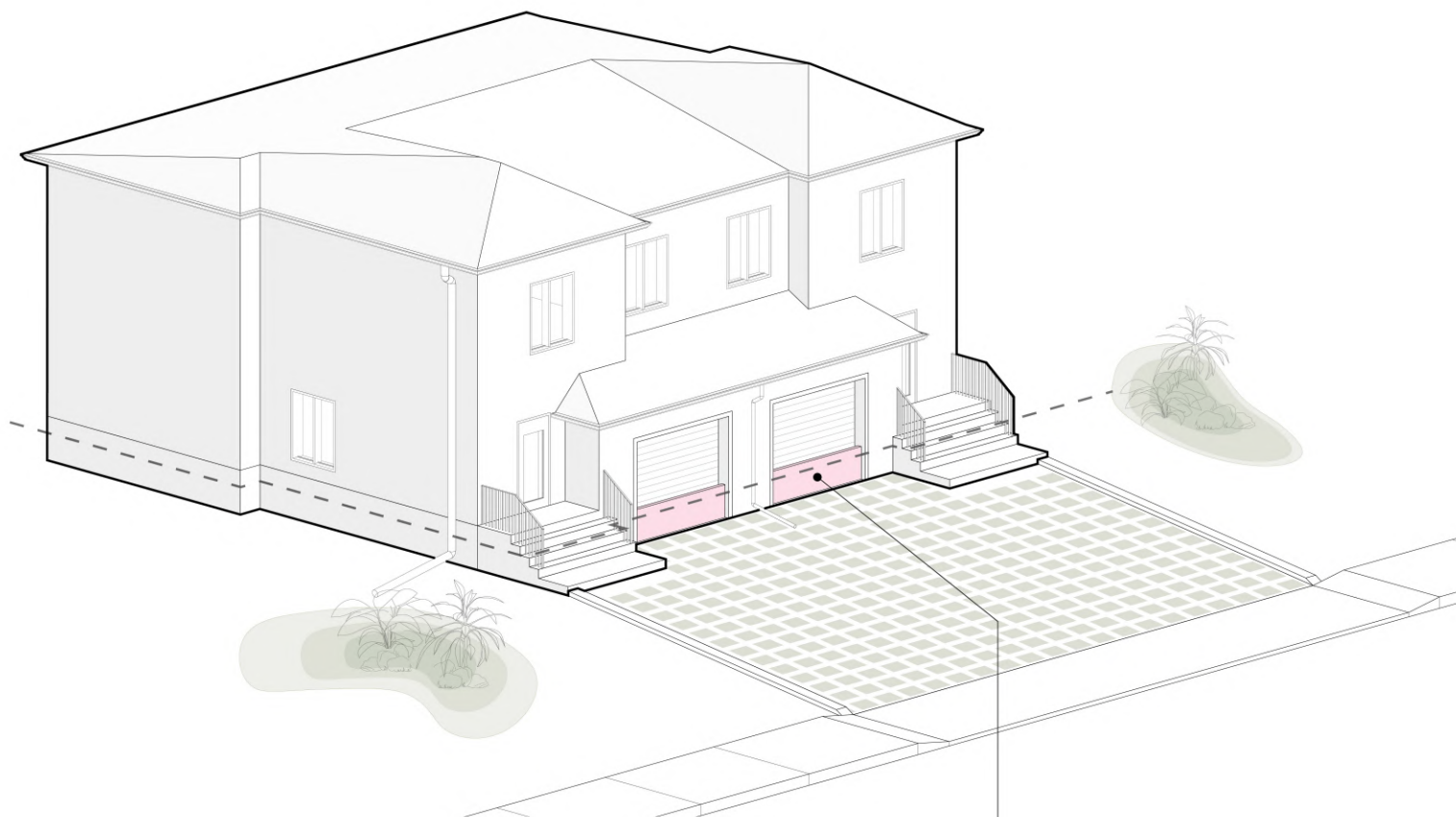
Maison jumelée

avec vide sanitaire et garage intégré



Porte de garage anti-inondation F2



**Batardeau temporaire**

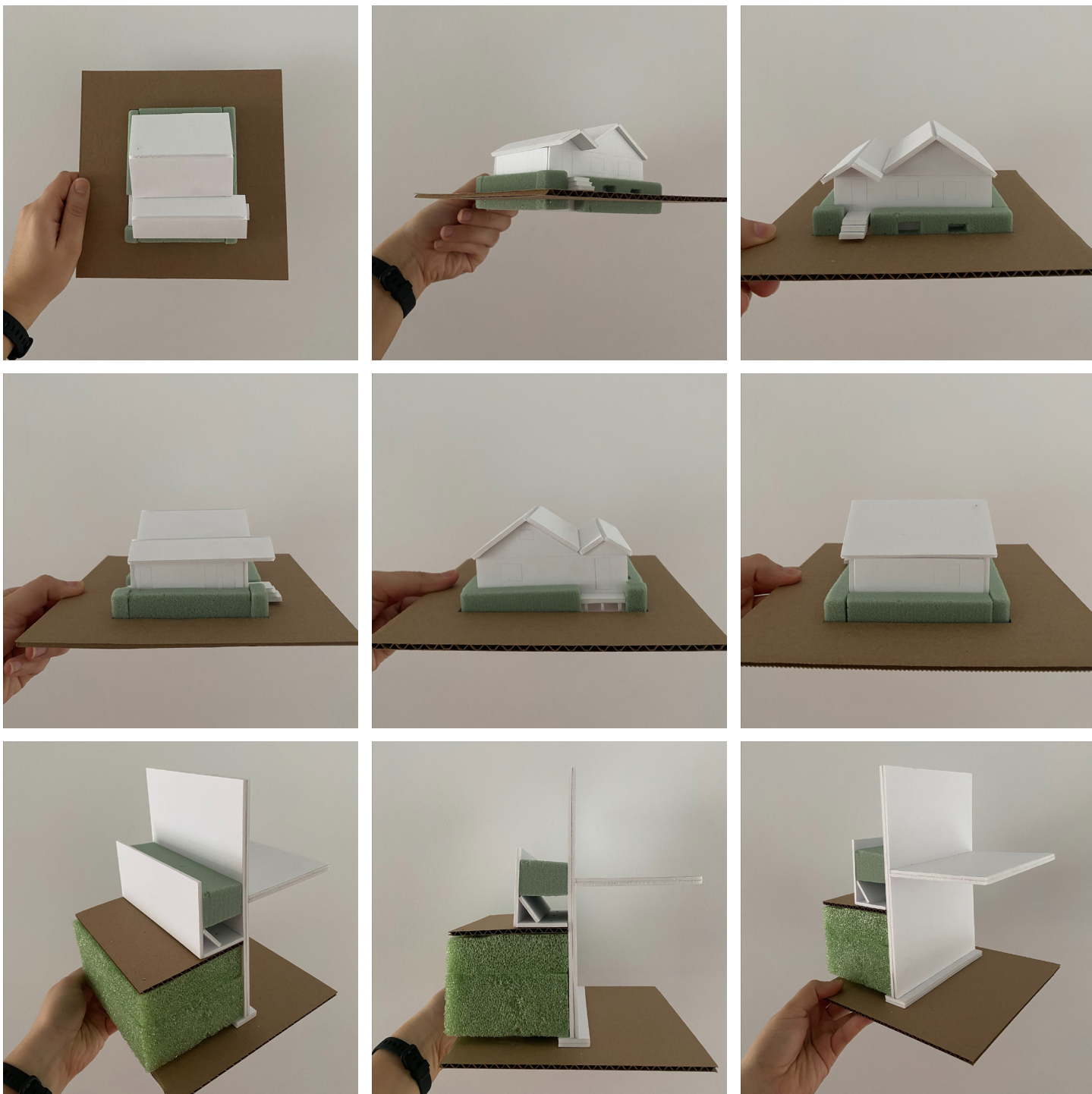
\$\$-\$\$\$

Possibilité d'utiliser plusieurs types de batardeau (voir fiche de produit) :

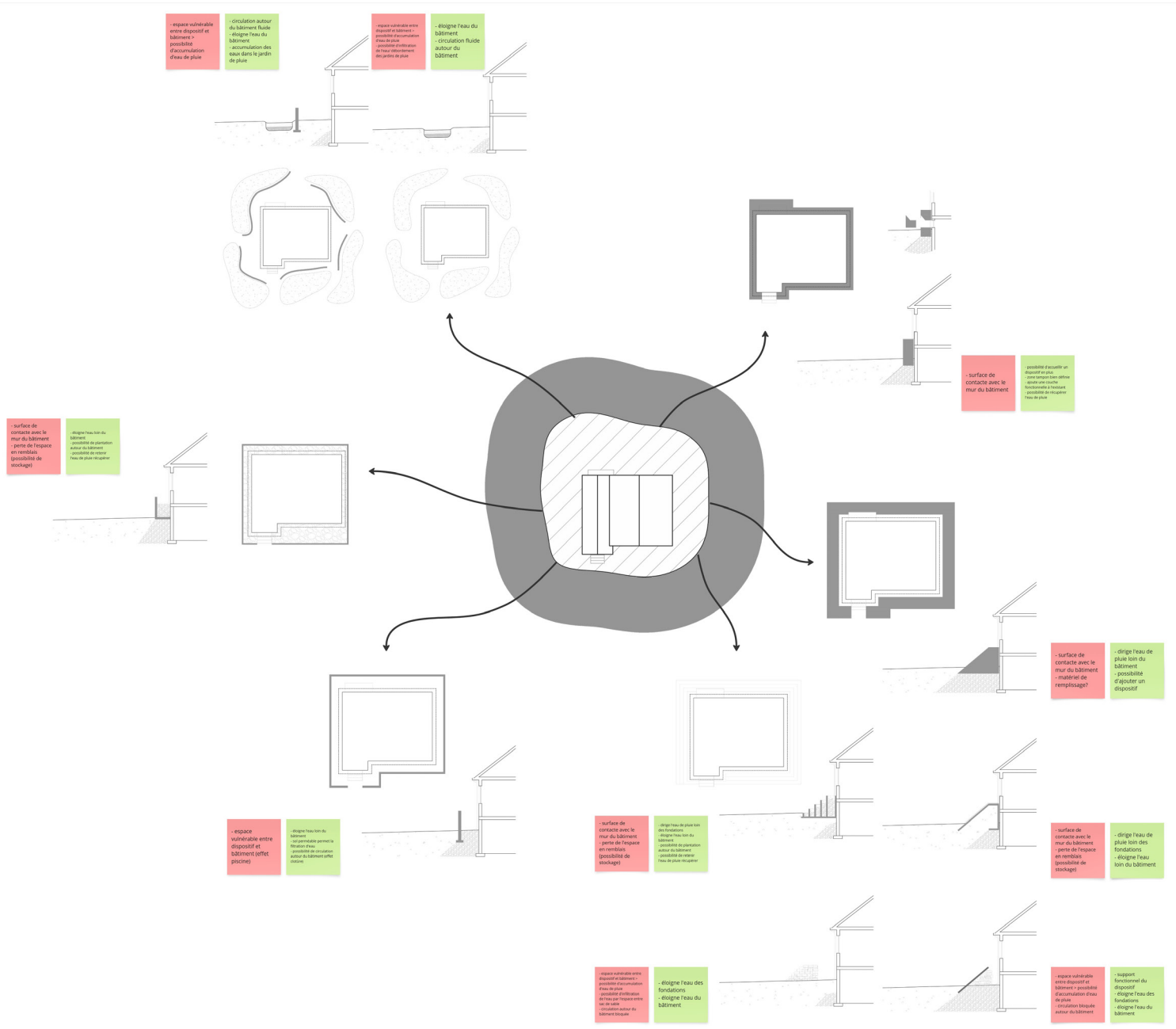
- à expansion pneumatique **F13**
- à ancrage par pression **F14**
- gonflable **F15**
- à ancrage latérale **F16**
- à expansion manuelle **F17**

ANNEXE 3

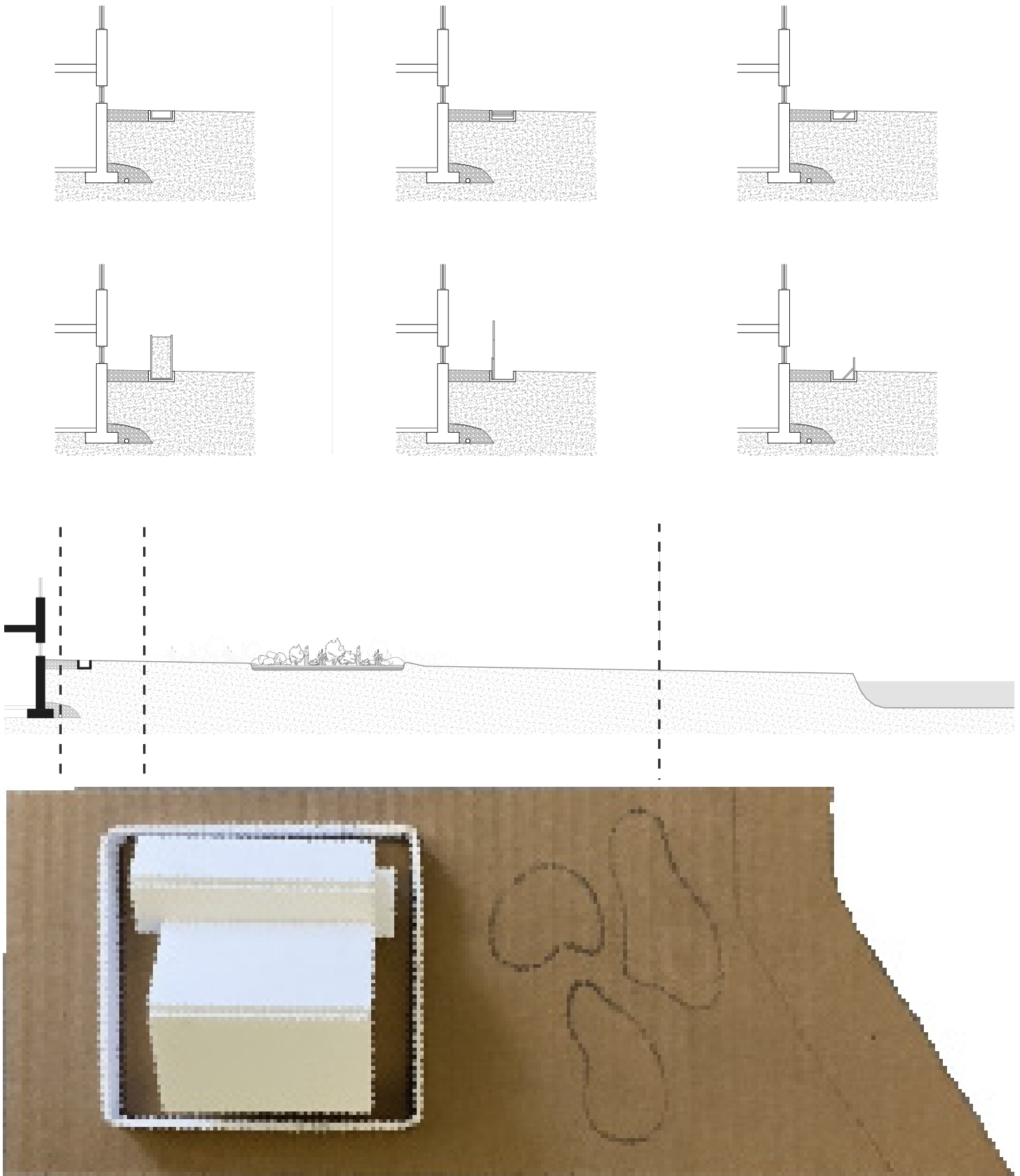
PROCESSUS DE CONCEPTION DU SYSTÈME FLOTTANT PÉRIPHÉRIQUE



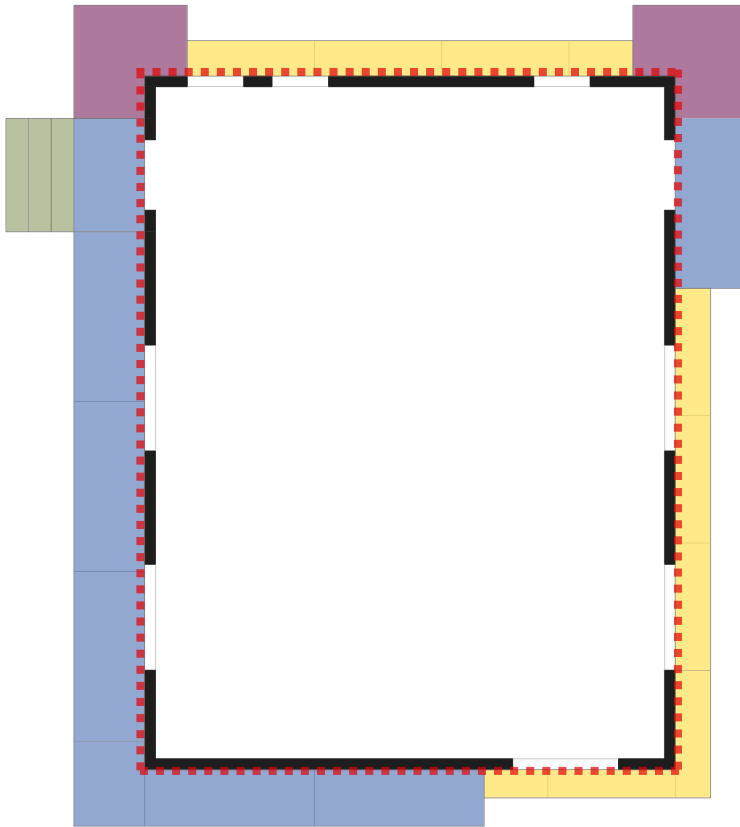
Exploration par maquette du principe de zone tampon périphérique et de l'idée de bac à fleur de protection.



Exploration des différents profils que pourraient prendre la bande de protection ceintuant la maison.



Exploration par dessins et maquette des différents mode de déploiement de la bande de protection et des mesures d'atténuation à l'échelle du paysage.



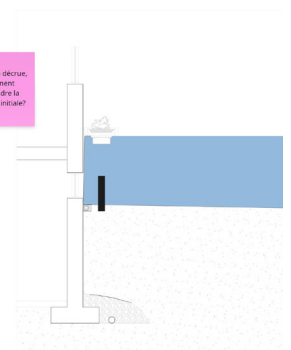
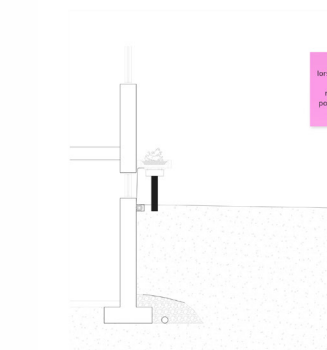
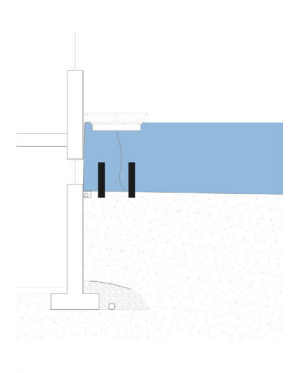
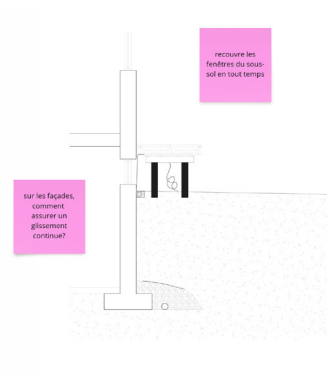
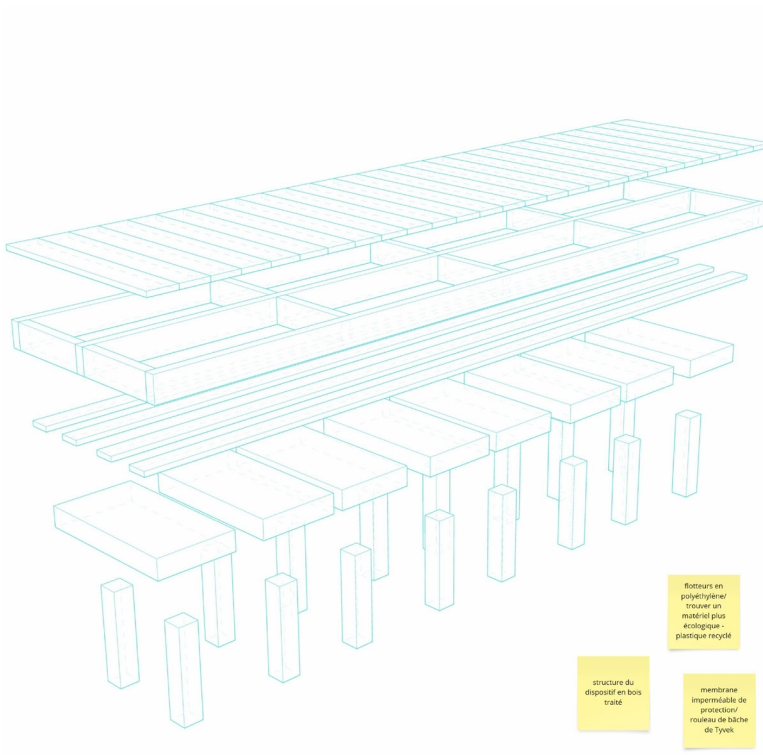
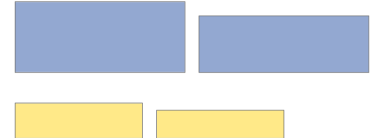
escaliers fixes/
module à part



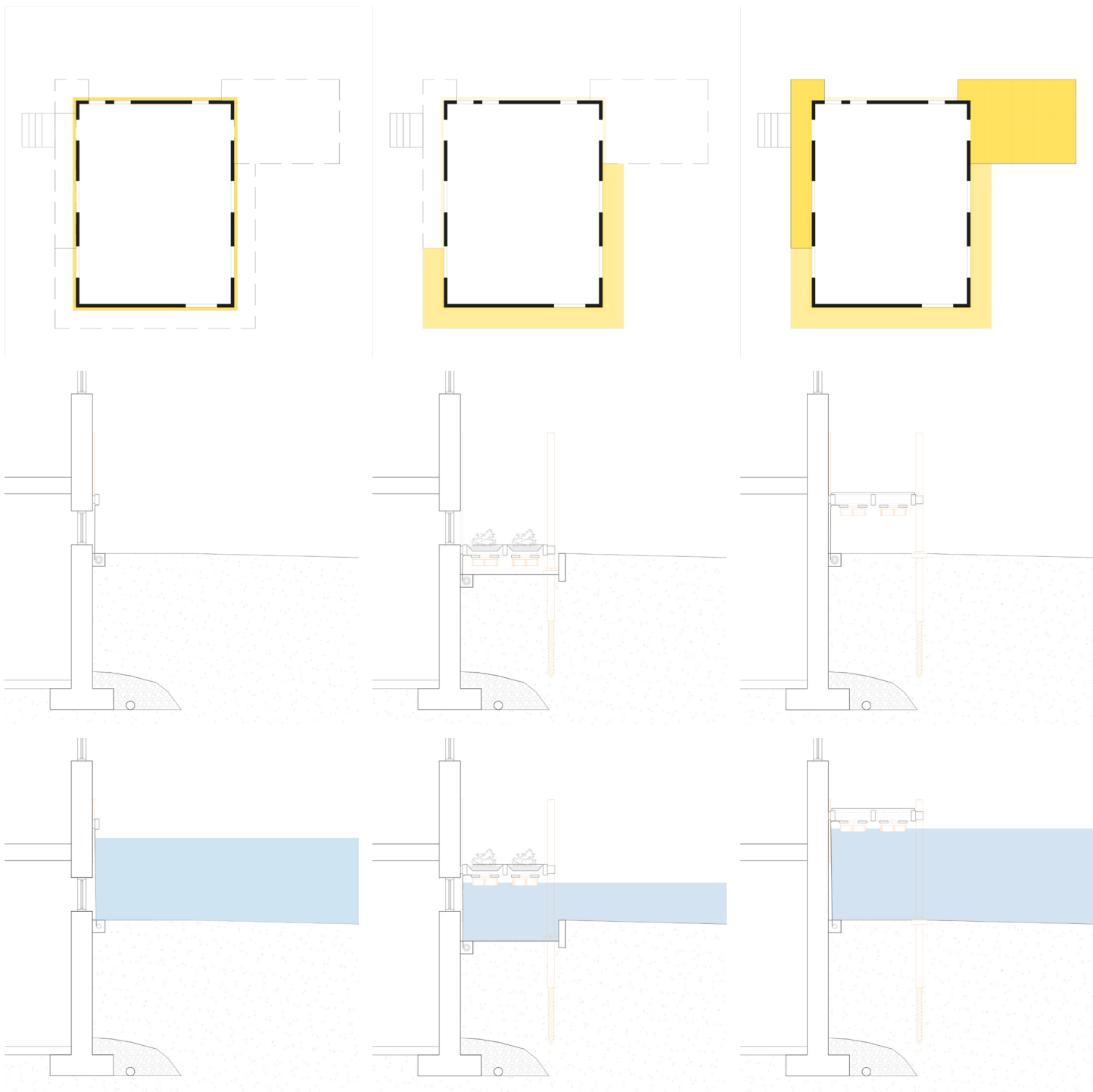
terrasse pour
détente et
circulation/
espaces publics



bacs à fleur pour
plantation sous
les fenêtres/
espaces privés



Exploration par 3D et coupe architecturale de l'idée d'un quai flottant intégré à des bacs de fleurs, avec une adaptation possible par modules.



Développement de l'idée d'un quai flottant multifonctionnel, avec une adaptation possible par modules.

BIBLIOGRAPHIE

- Aodek. (s.d.). *Flood barriers for home, alternative sandbag for rain protection, flood prevention barriers for garage and basement*. Aodek. <https://aodek.com/product/flood-barriers-for-homewater-barriers-for-floodingalternative-sandbag-for-rain-protectionflood-prevention-barriers-for-garage-basement/>
- Arrondissement de Pierrefonds-Roxboro. (2021). *Crue printanière, soyez prêt!* Ville de Montréal.
- ASCE. (2015). *Flood Resistant Design and Construction - ASCE 24*. American Society of Civil Engineers.
- ASFQ. (2022). Habitations + Inondations : Mesures d'adaptation résidentielles. *Architecture Sans Frontières Québec*.
- Atlas climatique du Canada. (2019, 10 juillet). *Carte : cycles de gel/dégel*. Atlas climatique du Canada. https://atlasclimatique.ca/carte/canada/freezethaw_2060_85
- Bacigalupe, G. (2019). Disasters Are Never Natural: Emerging Media to Map Lives and Territories at Risk: Approaches in the Field. Dans L. L. Charlés et G. Samarasinghe (dir.), *Family Systems and Global Humanitarian Mental Health*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03216-6_3
- Barnes, A. (2012). Repositioning the graphic designer as researcher. *Iridescent*, 2(1), 3-17. <https://doi.org/10.1080/19235003.2012.11428500>
- Barsley, E. (2020). *Retrofitting for flood resilience : a guide to building and community design*. RIBA publishing.
- Bedard, L. (2021, 15 avril). Retour sur les inondations historiques de 2011. *Le Canada Français*. <https://www.canadafrancais.com/actualite/retour-sur-les-inondations-historiques-de-2011/>
- Bégin, C. (2022, 18 mai). Inondations au Québec : À quoi s'attendre et que faire? *Nature Québec*. <https://naturequebec.org/inondations-au-quebec-a-quoi-sattendre-et-que-faire/>
- Biron, P.-P. (2019, 21 avril). Inondations récurrentes: la relocalisation pourrait être la seule solution. *Le Journal de Québec*. <https://www.journaldequebec.com/2019/04/21/la-relocalisation-pourrait-etre-la-seule-solution>
- Borde, V. (2017, 15 mai). Pour en finir avec les inondations. *L'actualité*. <https://lactualite.com/sante-et-science/science-friction-pour-en-finir-avec-les-inondations/>
- Bouchard, C. (2019, 22 mai). Inondations : où finiront les sacs de sable distribués à Trois-Rivières? | Crue printanière 2019. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1171068/sacs-de-sable-inondations-2019-trois-rivieres-mauricie-environnement>
- Bouchard-Bastien, E. (2022). *Examen des pratiques de relocalisations et d'expropriations domiciliaires et de leurs impacts d'un point de vue de santé publique*. Institut national de santé publique du Québec.

- Bouchard-Bastien, E. (2023). *Espaces amphibiens, pouvoir et mémoire : les fluctuations de la rivière Sainte-Anne* [Thèse de doctorat en anthropologie, Université de Laval]. Archipel.
- Boutet, L., Fauchoux, F. et Lalanne, M. (2004). *Rendre son habitation moins vulnérable aux inondations*. CEPRI.
- Bowker, P., Escameia, M. et Tagg, A. (2007). *Improving the Flood Performance of New Buildings*. Department for Communities and Local Government: London.
- Bush, E. et Lemmen, D. S. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*.
<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/sciences-technologies/rapport-climat-changeant-canada.html>
- Cabinet du ministre de la Sécurité publique. (2017, 19 décembre). *Inondations 2017 : bilan et perspectives - Améliorer collectivement la résilience du Québec*. Gouvernement du Québec.
<https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/inondations-2017-bilan-et-perspectives-ameliorer-collectivement-la-resilience-du-quebec>
- Calyxis. (2019, 25 mai). *Comment adapter ma maison face au risque d'inondation ?* Calyxis.
<https://www.calyxis.fr/risque-inondation/risque-inondation-en-pratique/adapter-maison-risque-inondation/>
- CEPRI et CSTB. (2012). *Référentiel de travaux de prévention de l'inondation dans l'habitat existant*. Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.
- Cirnu, É. (2021). *Quelles sont les conséquences de l'exposition à une inondation sur la santé physique et mentale?* RIISQ. <https://riisq.ca/fr/2021/04/08/quelles-sont-les-consequences-de-lexposition-a-une-inondation-sur-la-sante-physique-et-mentale/>
- CMM. (2006). *Détermination des côtes de crues*. CEHQ.
- Collectif Tapiskwan. (2022, 9 novembre). *Art atikamekw*. Tapiskwan.
<http://www.tapiskwan.com/accueil-1>
- Commission de l'aménagement. (2017, 15 septembre). *Portrait des inondations printanières de 2017 sur le territoire métropolitain, du cadre légal et des règles applicables en matière d'aménagement de développement du territoire et pour les plaines inondables*. Communauté métropolitaine de Montréal.
- Corriveau, J. (2020, 8 janvier). *Les dernières inondations ont coûté 17 millions à la Ville de Montréal*. Le Devoir. <https://www.ledevoir.com/politique/montreal/570363/les-inondations-du-printemps-2019-ont-coute-17-millions-a-la-ville-de-montreal>
- Croteau, M. (2009, 7 mars). *Les pluies diluviennes de 2005 ont coûté 1,2 million*. La Presse.
<https://www.lapresse.ca/actualites/regional/montreal/200903/07/01-834161-les-pluies-diluviennes-de-2005-ont-coute-12-million.php>

- Croteau, M. (2019, 27 avril). Le Québec paie le prix d'un demi-siècle de laxisme. *La Presse*.
<https://www.lapresse.ca/actualites/2019-04-27/inondations-le-quebec-paie-le-prix-d-un-demi-siecle-de-laxisme>
- Dagenais, D. (2020, 22 juin). La transformation des berges. *Encyclopédie du MEM*.
<https://ville.montreal.qc.ca/memoiresdesmontrealais/la-transformation-des-berges>
- Dauphin, K. (2021). Rés-Alliance : Résilience et adaptation face aux inondations. *Regroupement des organismes de bassins versants du Québec*. <https://robvq.qc.ca/res-alliance-inondation/>
- Dhonau, M. et Kehoe, D. (2020). Property Flood Resilience 2020 Update. *The flood hub*.
- Dhonau, M., Wilson, G., McHugh, A., Burton, R. et Rose, C. (2018). Homeowners guide to property flood resilience. *Know your flood risk*.
- Division du patrimoine. (2013, 17 février). *Le parcours riverain : histoire des territoires riverains*. Ville de Montréal.
https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8817,99646055&_dad=portal&_schema=PORTAL
- English, E., Klink, N. et Turner, S. (2016). Thriving with water: Developments in amphibious architecture in North America. *E3S Web of Conferences*, 7, 13009.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160713009>
- Environnement et Changement climatique Canada. (2013). *Les causes des inondations* [Gouvernement du Canada]. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-apercu/volume/causes-inondation.html>
- FEMA. (2020, 5 mars). *Base Flood Elevation (BFE)*. FEMA. <https://www.fema.gov/node/404233>
- FEMA. (2023). *FEMA's Disaster Mitigation Knowledge is at Your Fingertips*. FEMA.
<https://www.fema.gov/fact-sheet/femas-disaster-mitigation-knowledge-your-fingertips>
- FEMA P-312. (2014, juin). *Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your Home From Flooding*. Federal Emergency Management Agency.
https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_homeowners-guide-to-retrofitting_guide.pdf
- Floodgate. (s.d.). *La barrière anti-inondation qui protège votre domicile en quelques minutes*. Floodgate.
<https://floodgate.fr>
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. et Rockström, J. (2010). Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, 15(4).
<https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>

- Gagné, S. (2017, 31 mai). Construire en zones inondables, est-ce sensé? *La Maison du 21e siècle*.
<https://maisonsaine.ca/actualites/construire-en-zones-inondables-est-ce-sense>
- Généreux, M., Maltais, D. et Gachon, P. (2020). *Inondations 2019 : des impacts psychosociaux importants, mais évitables*. Université de Sherbrook, Université du Québec à Chicoutimi, Université du Québec à Montréal. <https://www.usherbrooke.ca/actualites/nouvelles/details/42622>
- Godet, M. (1983). Méthode des scénarios. *Futuribles*, (71), 11.
- Godet, M. (2006, 29 novembre). Trois scénarios qui posent question. *Les Echos*.
<https://www.lesechos.fr/2006/11/trois-scenarios-qui-posent-question-1072577>
- Golnaraghi, M., Thistlethwaite, J., Henstra, D. et Stewart, C. (2020). *Flood Risk Management in Canada: Building flood resilience in a changing climate*. The Geneva Association.
https://www.genevaassociation.org/sites/default/files/research-topics-document-type/pdf_public/frm_canada_web.pdf
- Gouvernement du Québec. (2022a). *À propos du régime transitoire de gestion des zones inondables, des rives et du littoral*. Gouvernement du Québec.
<https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/plan-de-protection-du-territoire-face-aux-inondations/gestion-rives-littoral-zones-inondables/regime-transitoire/a-propos>
- Gouvernement du Québec. (2022b). *En cas d'inondation*. Gouvernement du Québec.
- Gouvernement du Québec. (2022c). *Gestion des rives, du littoral et des zones inondables*. Gouvernement du Québec. <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/plan-de-protection-du-territoire-face-aux-inondations/gestion-rives-littoral-zones-inondables>
- Gouvernement du Québec. (2022d). *Se conformer aux exigences applicables en zone inondable*. Gouvernement du Québec. <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/plan-de-protection-du-territoire-face-aux-inondations/gestion-rives-littoral-zones-inondables/regime-transitoire/interventions/se-conformer-exigences-applicables>
- Gouvernement du Québec. (2023a). *Identifier et délimiter une zone inondable, une rive et un littoral*. Gouvernement du Québec. <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/plan-de-protection-du-territoire-face-aux-inondations/gestion-rives-littoral-zones-inondables/regime-transitoire/interventions/identifier-delimiter>
- Gouvernement du Québec. (2023b). *S'informer sur les ouvrages de protection contre les inondations et planifier des interventions*. Gouvernement du Québec.
<https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/plan-de-protection-du-territoire-face-aux-inondations/gestion-rives-littoral-zones-inondables/regime-transitoire/interventions/informer-ouvrages-protection-inondations-planifier-interventions>
- Gozé-Bardin, I. (2008). Le scénario prospectif, outil d'exploration de l'intention stratégique ? *Management & Avenir*, 17(3), 298-318. <https://doi.org/10.3917/mav.017.0298>
- Hegger, D., Driessen, P., Wiering, M., van Rijswijk, H., Kundzewicz, Z., Matczak, P., Crabbé, A., Raadgever, G., Bakker, M., Priest, S., Larrue, C. et Ek, K. (2016). Toward more flood resilience: Is a

- diversification of flood risk management strategies the way forward? *Ecology and Society*, 21(4). <https://doi.org/10.5751/ES-08854-210452>
- Hirt, L. L. (2015). Recherche-création en design à plein régime : un constat, un manifeste, un programme. *Sciences du Design*, 1(1), 37-44. <https://doi.org/10.3917/sdd.001.0037>
- INSPQ. (2024). *Inondations*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/changements-climatiques/menaces/inondations>
- Institut de prévention des sinistres catastrophiques. (2021). Gros plan sur les types d'inondations. *Programme pour des habitations plus sûres*. <https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1040458>
- Institut national de santé publique du Québec. (2012, 12 septembre). *Inondations : des catastrophes coûteuses*. Mon climat, ma santé. <http://www.monclimatmasante.qc.ca/inondations.aspx>
- Institut national de santé publique du Québec. (2024, 3 avril). *Mesures d'adaptation populationnelles aux inondations / INSPQ*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/changements-climatiques/menaces/inondations/mesures-populationnelles>
- Jeans, H., Castillo, G. E. et Thomas, S. (2017). Absorption, adaptation et transformation : Les capacités de résilience. *Oxfam*.
- Julien, P.-A., Lamonde, P. et Latouche, D. (1975). La méthode des scénarios en prospective. *L'Actualité économique*, 51(2), 253-281. <https://doi.org/10.7202/800621ar>
- Kallaos, J., Acre Pacheco, F., Lobaccaro, G., Landa, N., Ferrara, F. F. et Wyckmans, A. (2015). Adaptation measures and corresponding indicators for resilient architecture and infrastructure. *RAMSES*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30635.85286>
- Kaumeyer, L. (2022, 26 janvier). Qu'advient-il des milieux humides qui disparaissent au Canada? Sans un bon inventaire, nous ne le saurons pas vraiment. *Canards Illimités Canada*. <https://www.canards.ca/recits/milieux-humides/quadvient-il-des-milieux-humides-qui-disparaissent-au-canada/>
- Laroche, A. (2023, 13 mai). Bâtir à l'abri de l'eau. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/maison/immobilier/2023-05-13/batir-a-l-abri-de-l-eau.php>
- Lavoie, L. (2024, 9 août). La tempête de vendredi au Québec entre dans l'histoire: quantité de pluie «sans précédent» à Montréal et ailleurs. *Le Journal de Montréal*. <https://www.journaldemontreal.com/2024/08/09/inhabituelle-et-plutot-rare-plusieurs-records-de-pluie-bientot-battus-dans-le-grand-montreal>
- Lepage, G. (2019, 27 avril). Reconstruire ou relocaliser? *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/societe/transports-urbanisme/553093/inondations-reconstruire-ou-relocaliser>
- Levasseur,   . (2021). Cohabiter avec l'eau :   tats des connaissances en matière d'adaptation des bâtiments aux inondations. *Architecture Sans Frontières Québec*, 56.

- Martin, B. et Hanington, B. (2012). *Universal methods of design : 100 ways to research complex problems, develop innovative ideas, and design effective solutions*. Beverly, MA : Rockport Publishers.
<http://archive.org/details/universalmethods0000mart>
- McCarthy, J. (2021). Qu'est-ce que l'adaptation au climat et pourquoi est-elle essentielle à notre survie ? *Global Citizen*. <https://www.globalcitizen.org/fr/content/what-is-climate-adaptation/>
- McGuinness, R., Busch, C., Christo, J., Brizius, A. et Pegan, A. (2019). Coastal Flood Resilience Design Guidelines. *City of Boston*.
- Mehryar, S. (2022). What is the difference between climate change adaptation and resilience? *Grantham Research Institute on climate change and the environment*.
<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-the-difference-between-climate-change-adaptation-and-resilience/>
- Melbourn Water. (2020). Flood Resilient Guide to Retrofitting Your Home. *Melbourne Water Corporation*.
- MELCCFP. (2022). *Règlement concernant la mise en oeuvre provisoire des modifications apportées par le chapitre 7 des lois de 2021 en matière de gestion des risques liés aux inondations*. Gouvernement du Québec.
- Mens, M. J. P., Klijn, F., de Bruijn, K. M. et van Beek, E. (2011). The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1121-1131.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.003>
- Moudrak, N. et Feltmate, D. B. (2020). Sous un même parapluie : stratégies de réduire les risques d'inondations. *Centre Intact d'adaptation au climat, Université de Waterloo*.
- Normandin, P.-A. (2018, 4 mai). Des digues mobiles pour remplacer les sacs de sable. *La Presse*, Grand Montréal. <https://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201805/03/01-5171511-des-digues-mobiles-pour-remplacer-les-sacs-de-sable.php>
- Organisation de la sécurité civile du Québec. (2011). Protection contre les crues. *Urgence Québec*.
- Ouranos. (2023). *Crues et inondations*. Ouranos. <https://www.ouranos.ca/fr/eau/inondations-impacts>
- Ouranos. (2024). *Inondations | Synthèse des connaissances de l'évolution du climat*. Ouranos.
<https://www.ouranos.ca/fr/trousse-inondations>
- Oxfam International. (2022, 25 mai). *Changement climatique : cinq catastrophes naturelles qui demandent une action d'urgence*. Oxfam International. <https://www.oxfam.org/fr/changement-climatique-cinq-catastrophes-naturelles-qui-demandent-une-action-durgence>
- Paquin, L.-C. (2014). *Méthodologie de la recherche création* [Notes de cours]. Université du Québec à Montréal, Faculté de communication. http://lcpaquin.com/metho_rech_creat/index.html
- Paquin, L.-C. et Noury, C. (2020). Petit récit de l'émergence de la recherche-crédation médiatique à l'UQAM et quelques propositions pour en guider la pratique. *Communiquer : revue de*

- communication sociale et publique*. <https://www.erudit.org/fr/revues/communiquer/2020-communiquer05245/1068861ar/>
- Paradis Bolduc, L. (2021, 16 septembre). Rénover les sous-sols par l'intérieur pour enrayer les infiltrations et les moisissures. *Écohabitation*. <https://www.ecohabitation.com/guides/1216/renover-les-sous-sols-par-linterieur-pour-enrayer-les-infiltrations-et-les-moisissures/>
- Paré, É. (2019, 28 avril). Deux fois plus d'évacuations qu'en 2017. *Le Journal de Montréal*. <https://www.journaldemontreal.com/2019/04/28/inondations-plus-de-sinistres-quen-2017>
- Proverbs, D. et Lamond, J. (2017). Flood Resilient Construction and Adaptation of Buildings. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.111>
- Radio-Canada. (2016, 18 juillet). Il y a 20 ans : le déluge du Saguenay. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/793158/deluge-saguenay-20-ans-1996-inondation>
- Radio-Canada. (2017, 12 mai). Où ont frappé les pires inondations au Québec? La réponse en carte. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1032722/historique-inondations-quebec-portrait-carte>
- Raïche-Savoie, G. et Déméné, C. (2022). La pluralité de la recherche en design : tentative de clarification et de modélisation de la recherche-action, de la recherche-crédation et de la recherche-projet. *Sciences du Design*, 16(2), 10-29. <https://doi.org/10.3917/sdd.016.0010>
- Ravenscroft, T. (2020, 17 août). *Six strategies for creating flood-resilient environments*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2020/08/17/retrofitting-for-flood-resilience-edward-barsley/>
- Sevaldson, B. (2010). Discussions & Movements in Design Research: A Systems Approach to Practice Research in Design. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/313576125_Discussions_Movements_in_Design_Research_A_Systems_Approach_to_Practice_Research_in_Design
- Tabarly, S., de, avec la collaboration et Honegger, A. (2009). Prospective et scénarios : des méthodes pour simuler et préparer l'avenir. *Géococonfluences*, ISSN : 2492-7775. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/DevDur/DevdurFaire4.htm>
- The State of Queensland. (2019). Flood Resilient Building Guidance for Queensland Homes. *Queensland Reconstruction Authority*.
- UNDP. (2024, 30 janvier). What is climate change adaptation and why is it crucial? *UNDP*. <https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-climate-change-adaptation-and-why-it-is-crucial>
- UNDRR. (2010). *Making Cities Resilient: My City is Getting Ready* [World Disaster Reduction Campaign 2010-2011].
- UNESCO. (2020, 22 juin). *Glossaire - Définition de Protection*. UNESCO. <https://uis.unesco.org/fr/glossary-term/protection>

UNFCCC. (2021). Adaptation and resilience. *UNFCCC*. <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction>

