

# COHABITER AVEC L'EAU

## État des connaissances en matière d'adaptation des bâtiments aux inondations

Avril 2021


ARCHITECTURE SANS FRONTIÈRES QUÉBEC

Communauté métropolitaine de Montréal

## À propos d'Architecture sans frontières Québec

Architecture sans frontières Québec (ASFQ) est un organisme de bienfaisance spécialisé dans l'assistance architecturale aux populations dans le besoin, travaillant tant à l'international qu'au niveau local. Fondé en 2007 par l'Ordre des architectes du Québec (OAQ), l'organisme compte parmi ses membres les 4150 architectes de la province, dont elle porte la responsabilité sociale. L'organisme est membre du réseau Architecture Sans Frontières International et de l'Association québécoise des organismes de coopération internationale.

### Mission

Renforcer les capacités des communautés vulnérables en engageant le secteur de l'architecture.

### Vision

Un monde où toutes les communautés ont accès à un environnement bâti de qualité.

ASFQ réalise sa mission en apportant son expertise et ses services d'architecture dans des domaines d'intervention prioritaires, liés à ses programmes d'assistance. Ceux-ci combinent des activités de recherche, de conception, de consultation, de formation et de gestion de projets, en s'adaptant aux problématiques spécifiques et en collaboration avec les partenaires concernées. Son équipe met aussi en œuvre des programmes pour mobiliser gratuitement des ressources du secteur de l'architecture permettant à l'organisme d'accroître son impact.

**Pour en savoir plus**

Site web : https://www.asf-quebec.org/
Programmes : https://www.asf-quebec.org/nos-programmes/
Page de l'OAQ dédiée à ASFQ : https://www.oaq.com/ordre/a-propos/organisme-humanitaire/

## À propos de la Communauté métropolitaine de Montréal

La Communauté métropolitaine de Montréal est un organisme de planification, de coordination et de financement qui regroupe 82 municipalités, lesquelles comptent une population de 4 millions de personnes réparties sur un territoire de 4 360 kilomètres carrés. La Communauté exerce des compétences en aménagement du territoire, en développement économique, en logement social, en matière d'équipements, d'infrastructures et d'activités à caractère métropolitain, en transport métropolitain (transport en commun et réseau artériel) et en environnement. En vertu de sa loi constituante, la Communauté est dirigée par un conseil composé de 28 élus provenant des municipalités membres. La mairesse de Montréal est d'office présidente du conseil.

Depuis 2018, la Communauté est mandatée par le gouvernement du Québec afin de procéder à la mise à jour de la cartographie des zones inondables. Elle collabore également à diverses actions liées à la mise en place d'un nouveau cadre de gestion provinciale. Dans ce contexte, la Communauté a initié une démarche visant à réfléchir aux améliorations à apporter aux normes d'adapatation du cadre bâti aux inondations et a confié à ASFQ la réalisation d'une étude sur le sujet.

**Pour en savoir plus**

Site web : https://cmm.qc.ca/
Crues Grand Montréal : https://www.cruesgrandmontreal.ca/
Plan Archipel : https://cmm.qc.ca/planification/plan-archipel/

**Par Élène Levasseur**
Ph.D. Aménagement, M.Sc. Environnement
Coordonnatrice de recherche, ASFQ

**Sous la direction de Bruno Demers**
Directeur général, ASFQ

Dans le cadre d'un mandat octroyé par la
**Communauté métropolitaine de Montréal**

**Direction artistique**
David-Alexandre Calmel, ASFQ

**Conception graphique**
Vincent Potvin, graphiste

**Illustrations**
Sarah Bengle, ASFQ

**Photo page couverture**
Paul McKinnon, *Gatineau 2019* / Stutterstock.com

**Citation**
Levasseur, Élène. 2021. *Cohabiter avec l'eau : État des connaissances en matière d'adaptation des bâtiments aux inondations.* Architecture sans frontières Québec (Montréal, Québec).
https://www.asf-quebec.org/cohabiter-avec-leau-2021/

Pour en savoir plus sur ce rapport, communiquer avec Élène Levasseur à **elevasseur@asf-quebec.org**

ARCHITECTURE SANS FRONTIÈRES QUÉBEC

ORDRE DES ARCHITECTES DU QUÉBEC

Communauté métropolitaine de Montréal

# Table des matières


Introduction ..... 5

1. Présentationde l'étude ..... 6
   - 1.1. Contexte de l'étude ..... 7
   - 1.2. Pourquoi concevoir la résilience des bâtiments aux inondations ? ..... 9
   - 1.3. Contexte québécois de la construction en zones inondables ..... 10

2. État des connaissances ..... 11
   - 2.1. Consultation d'experts ..... 12
   - 2.2. Sondage ..... 13
   - 2.3. Revue de la littérature : Canada ..... 14
   - 2.4. Revue de la littérature : International ..... 18

Recommandations relatives au transfert de connaissances ..... 21

3. Adaptationdes bâtimentsaux inondations ..... 22
   - 3.1. Les actions et conséquences d'une inondation sur un bâtiment ..... 23
   - 3.2. Stratégies d'adaptation des bâtiments aux inondations ..... 25
     - 3.2.1. Stratégies d'évitement *(flood avoidance)* ..... *26*
     - 3.2.2. Stratégies de résistance *(dry-floodproofing)* ..... *28*
     - 3.2.3. Stratégies d'accueil de l'eau *(wet-floodproofing)* ..... *30*

Synthèse des mesures d'adaptation ..... 32

4. Processus d'évaluation technique des mesures d'adaptation ..... 33
   - 4.1. Caractériser l'aléa d'inondation potentiel ..... 34
   - 4.2. Évaluer la vulnérabilité du bâtiment et de ses occupants ..... 36
   - 4.3. Caractériser le bâtiment ..... 38
     - 4.3.1. Forme ..... 39
     - 4.3.2. Structure et fondation ..... 41
     - 4.3.3. Matériaux et assemblages ..... 41
     - 4.3.4. Systèmes du bâtiment et systèmes de soutien ..... 43

Recommandations relatives à l'évaluation des mesures d'adaptation ..... 44

5. Vers un futur cadre réglementaire ..... 45
   - 5.1. Cadre réglementaire et les normes en vigueur au Québec ..... 46
   - 5.2. Modernisation des cadres réglementaires à l'international ..... 48
   - 5.3. Innovation par le projet d'architecture ..... 50

Recommandations relatives à la réglementation ..... 52

Conclusion : vers la résilience du cadre bâti ..... 53

Synthèse des recommandations ..... 54

Bibliographie ..... 55

# Liste des figures


Figure 1 Maisons, Cap Diamant, Québec, Qc, vers 1907 ..... 15

Figure 2 Actions des inondations sur un bâtiment ..... 23

Figure 3 Trois stratégies d'adaptation des bâtiments aux inondations ..... 25

Figure 4 Exemples de stratégies d'évitement ..... 26

Figure 5 École Marguerite d'Youville, Saint-Raymond de Portneuf, Québec ..... 27

Figure 6 Maison amphibie, Buckinghamshire, Royaume-Uni ..... 27

Figure 7 NRC Pavilion, Waterloo, Ontario ..... 27

Figure 8 Stratégies de résistance à l'échelle du bâtiment ou de son enceinte ..... 28

Figure 9 Soulèvement d'une maison aux fondations hydrofugées ..... 28

Figure 10 San Giobe +160 Project, Venise, Italie ..... 29

Figure 11 Installation de batardeaux ..... 29

Figure 12 Flood Resilient Repair Home, Watford, Angleterre ..... 30

Figure 13 Prémunition des systèmes mécaniques, électriques et de plomberie (MEP) ..... 30

Figure 14 Fonctionnement des évents d'inondation ..... 31

Figure 15 Mesures d'atténuation du risque d'inondation à l'échelle du bassin versant et des communautés ..... 35

Figure 16 Profondeur d'inondation ou hauteur de submersion ..... 39

Figure 17 Outil d'aide à la décision : Stratégies de résistance (exclusion) et d'accueil ..... 40

Figure 18 Exemples de systèmes de soutien à l'échelle du bâtiment : toit vert, recouvrement de sol perméable, mur végétalisé, réservoir pluvial ..... 43

Figure 19 La Cité Fluviale de Matra, Romorantin-Lanthenay, France ..... 50

Figure 20 La Cité Fluviale de Matra pendant l'inondation de 2015 ..... 50

Figure 21 Coupes du projet, seuils de plancher et d'inondation, École Saint-Vincent-de-Paul, Bordeaux Métropole ..... 51


# Liste des tableaux


Tableau 1 Dommages causés par une inondation sur une résidence typique ..... 24

Tableau 2 Tableau synthèse des mesures d'adaptation des bâtiments aux inondations ..... 32

Tableau 3 Définition des zones d'inondation au Royaume-Uni ..... 34

Tableau 4 Compatibilité des catégories de développement et des zones d'inondation ..... 37

Tableau 5 Performance de résilience des matériaux ..... 42

# Introduction

Ce document d'information a été produit par Architecture sans frontières Québec (ASFQ) – le bras humanitaire de l'Ordre des architectes du Québec (OAQ) – dans le cadre d'un mandat que lui a confié la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM). Souhaitant appuyer les réflexions relatives à une mise à jour des mesures d'adaptation du cadre bâti en zone inondable, la CMM a demandé que soit fait un état des connaissances et des bonnes pratiques en la matière, afin de mieux cerner les critères de la résilience aux inondations à l'échelle du bâtiment.



Shutterstock

Le présent document :

- présente des recommandations, formulées par ASFQ, concernant le transfert de connaissances sur l'adaptation des bâtiments au Québec; le processus d'évaluation et de choix des mesures d'adaptation dans un contexte donné; et la modification du cadre réglementaire;
- propose une définition du concept de la résilience des bâtiments aux inondations;
- présente des arguments en faveur de l'augmentation de la capacité de résilience des bâtiments aux inondations;
- identifie des références utiles à la réalisation de la résilience à l'échelle du bâtiment;
- expose les actions et les conséquences d'une inondation sur un bâtiment;
- informe sur les différentes stratégies d'adaptation des bâtiments, lesquelles sont classées en trois catégories : stratégies d'évitement, stratégies de résistance et stratégies d'accueil;
- informe sur le processus d'évaluation et de choix des mesures d'adaptation;
- propose des modalités d'intégration de ces manières de construire dans le cadre réglementaire québécois;
- présente des cas exemplaires en matière d'adaptation des bâtiments aux inondations;
- identifie différents enjeux réglementaires, techniques, environnementaux, sociaux et financiers à considérer lors de l'évaluation des stratégies à adopter;
- propose des actions concrètes à prendre afin d'assurer une intégration adéquate de mesures de résilience à la réglementation existante;
- propose quelques pistes de réflexions supplémentaires sur la conception et la réalisation de la résilience des bâtiments aux inondations.

Ce document d'information trouve sa pertinence devant l'urgence d'adapter l'environnement bâti du Québec aux inondations – qui risquent de continuer de sévir dans les décennies à venir – en mobilisant le point de vue de l'architecture, un secteur qui, jusqu'à présent, n'a pas pu apporter sa pleine contribution dans l'éventail des différentes manières d'intervenir que requiert une problématique aussi complexe.

# 1. Présentation de l'étude

Dans le cadre d'un mandat réalisé avec le gouvernement du Québec, la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) travaille sur les aspects réglementaires liés à la gestion des risques d'inondation. Notamment, elle considère pertinemment une éventuelle révision des mesures d'adaptation à appliquer au cadre bâti afin d'en assurer une plus grande résilience. Dans ce contexte, la CMM a retenu les services d'ASFQ pour produire le préseant avis d'expertise externe où des actions adaptatives et des critères d'architecture résiliente aux inondations sont exposés.

Ce chapitre présente le contexte de l'étude, puis il introduit à l'importance de concevoir la résilience à l'échelle du bâtiment et au contexte québécois actuel de la construction dans les plaines inondables.



Shutterstock

# 1.1. Contexte de l'étude

La CMM, depuis 2018, est mandatée par le gouvernement du Québec pour réaliser diverses actions en matière de gestion des zones inondables. Elle a notamment produit une mise à jour de la cartographie des zones inondables pour les cours d'eau de l'archipel de Montréal et mis en ligne, au printemps 2021, le site Crues Grand Montréal permettant un suivi en temps réel des inondations de même que l'accès à des prévisions pour les citoyens et les intervenants des municipalités.

Voir : https://www.cruesgrandmontreal.ca/

Quant à sa réflexion sur les actions adaptatives à privilégier pour accroître la résilience du cadre bâti, la CMM considère essentiel que soient mises au jour de nouvelles connaissances et techniques développées ici et à l'étranger afin d'envisager de recourir, au Québec, à des pratiques architecturales et d'ingénierie innovantes et d'élargir les manières d'habiter les zones inondables constructibles. Cette vision de la CMM s'aligne d'ailleurs parfaitement avec un objectif du programme de *résilience diluvienne* d'ASFQ, c'est-à-dire, de valoriser le rôle de l'architecture dans la protection du cadre bâti contre les impacts des changements climatiques.

Plus largement, elle concorde aussi avec des objectifs du conseil d'administration de l'OAQ qui, dans le cadre de ses principales activités touchant aux affaires publiques et relations externes, avait résolu en 2012 :

> *[…] de sensibiliser les gouvernements, la Régie du bâtiment du Québec et le public en général aux risques liés à la reconstruction des habitations situées en zones inondables et à l'importance d'avoir recours, dans les cas où la reconstruction est autorisée, aux techniques de construction appropriées.* (OAQ 2012, 11)

En avril 2019, dans le cadre de travaux visant à doter le Québec d'une *Stratégie québécoise de l'architecture*, l'OAQ est par ailleurs devenu partenaire des ministères de la Culture et des Communications et de celui des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH). Dans cette foulée, l'OAQ a notamment organisé le même mois la *Conférence Esquisses* portant sur l'architecture résiliente, tenue à Montréal. Cette conférence réunissait les experts suivants :

- CATHERINE DUBOIS
  Conseillère en développement durable à la Société québécoise des infrastructures (SQI);
- GONZALO LIZARRALDE
  Professeur à l'École d'architecture de l'Université de Montréal et titulaire de la Chaire Fayolle-Magil Construction;
- NICOLAS MILOT
  Conseiller en recherche au bureau de projet de gestion des risques d'inondation à la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM);
- BERNARD SICOTTE
  Architecte et directeur de la planification stratégique de la SQI.

L'architecture s'est ainsi officiellement invitée, au Québec, dans la discussion sur la résilience des communautés aux inondations. C'est aussi à cette occasion qu'un premier rapprochement a été effectué entre la CMM et ASFQ.

Pour en savoir plus sur la *Stratégie québécoise de l'architecture*, consulter : https://www.oaq.com/ordre/salle-de-presse/strategie-gouvernementale-en-architecture/

Consulter aussi le dossier consacré à l'architecture résiliente dans le magazine Esquisses, Vol 30 n.1 ou visionner la conférence au : https://vimeo.com/335909803

Collatéralement, les objectifs communs de la CMM et d'ASFQ s'inscrivent dans les sillages d'initiatives au palier municipal et de politiques provinciales. Par exemple, le Bureau de la résilience de la Ville de Montréal – qui fait maintenant partie du Bureau de la transition écologique et de la résilience (BTER) – a dévoilé en juin 2018 la *Stratégie montréalaise pour une ville résiliente*. La Ville, également membre du Réseau mondial C40 de la Fondation Rockefeller, souhaite notamment « *assurer une meilleure prise en compte des risques dans la planification du territoire et des infrastructures* » (Montréal 2018, 35).

De plus, la Ville de Montréal, en tant que ville UNESCO du design, a adopté une démarche exemplaire vers la réalisation de la résilience du bâti. Cette démarche a été présentée en 2019 dans l'*Agenda Montréalais 2030 pour la qualité et l'exemplarité de design et en architecture*. La Ville, soulignant la contribution indéniable de l'architecture à la résilience climatique, s'engage « à mettre à profit le design et l'architecture dans toutes ses actions ayant une incidence sur la qualité des milieux de vie », afin de concevoir, notamment, une ville plus responsable écologiquement et plus résiliente aux changements climatiques (Montréal 2019, 35). Il est d'ailleurs question, dans l'Agenda, de l'importance de concevoir des aménagements et bâtiments pouvant résister à différents aléas climatiques, dont les inondations (Montréal 2019, 46). On y souligne en revanche que le cadre réglementaire en urbanisme est peu adapté à l'évolution des pratiques en architecture et qu'il est dépourvu de vision globale (Montréal 2019, 52).

Au niveau provincial, le Ministère de la sécurité publique (MSP) du Gouvernement du Québec a reconnu il y a quelques années déjà, dans la *Politique québécoise de sécurité civile 2014-2024 : vers une société québécoise plus résiliente aux catastrophes* publiée en 2014, la discipline et le domaine professionnel de l'architecture pour leur rôle dans la réflexion et les actions entourant l'accroissement du partage d'information et le développement des compétences en matière de résilience aux inondations et dans les actions de la prévention (MSP 2014, 48, 54, 63).

En 2018, dans le *Plan d'action en matière de sécurité civile relatif aux inondations : vers une société québécoise plus résiliente aux catastrophes* le MSP a ensuite établi 24 mesures, classées selon 3 thèmes, pour assurer une gestion plus efficace et efficiente des risques liés aux inondations au Québec. Bien que l'architecture ne soit jamais nommée comme secteur d'activité pouvant participer à la mise en œuvre de ce plan d'action et que le mot bâtiment n'y apparaisse jamais, il n'en demeure pas moins que l'architecture est concernée par plusieurs enjeux soulevés. L'architecture, comme champ disciplinaire, peut notamment contribuer à l'accroissement de la préparation aux sinistres, de la prévention et de la connaissance (Thème 1) ; à la définition d'une nouvelle approche de la gestion du rétablissement (Thème 2) et à la réflexion et au partage d'information entourant l'évolution des pratiques (Thème 3).

En avril 2020, le gouvernement provincial rendait public le *Plan de protection du territoire face aux inondations : des solutions durables pour mieux protéger nos milieux de vie*. Le Plan de protection a été élaboré par Mme Andrée Laforest, la ministre au MAMH, M. Jonatan Julien, ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), et le ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), M. Benoit Charette, en collaboration avec les divers acteurs concernés. L'objectif de la mesure 10 de ce plan est de soutenir la mise en place de mesures de résilience et d'adaptation face aux inondations et celui de la mesure 11, de soutenir la mise en place de mesures visant la relocalisation de bâtiments hors de secteurs jugés à risque élevé d'inondations. Il est également spécifié que l'investissement prévu au volet Planifier et intervenir du *Plan* pourrait couvrir :

> *[…] l'immunisation préventive de certains bâtiments, notamment ceux ayant une valeur patrimoniale dans une perspective de prise en compte des enjeux à l'échelle des secteurs à risque. Ultimement, les mesures réduiront le nombre de résidences exposées à des risques liés aux inondations dans les bassins versants* (MAMH 2020, 20).

Au niveau canadien, les initiatives se multiplient également afin d'assurer la résilience du cadre bâti face au changement climatique. Le budget fédéral de 2021 propose notamment « de fournir un financement de 1,4 milliard de dollars sur 12 ans […] pour bonifier le Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes » et « d'investir 11,7 millions de dollars sur cinq ans […] pour renouveler le Programme de normes pour des infrastructures résilientes ». Une partie de ces montant seraient consacré à la construction de bâtiments et d'autres infrastructures plus résilients au changement climatique.

Voir le « Un environnement sain pour une économie saine » du budget fédéral 2021 : https://www.budget.gc.ca/2021/report-rapport/p2-fr.html#chap5

Dès lors, qu'en est-il des dispositifs envisagés pour adapter les bâtiments aux inondations ? À ce jour, peu de recommandations et de stratégies pratiques, à l'échelle du bâtiment, ont été émises ou identifiées dans les plans d'action et de protection du gouvernement québécois. Pourtant, devant le nombre important de bâtiment déjà situé en plaine inondable sur le territoire québécois, les stratégies d'adaptation sont celles qui pourront servir à accompagner la vaste majorité des citoyens concernés par l'aléa d'inondation ; une stratégie de retrait de ces secteurs n'étant pas envisageable économiquement – ou pour d'autres raisons – dans bien des cas où le risque d'inondation est résiduel, faible ou modéré.

Le présent rapport rassemble en ce sens des informations utiles afin de favoriser le renforcement de la résilience des bâtiments par l'adoption de mesures d'adaptation aux inondation et, éventuellement, d'initier des changements profonds dans les cadres réglementaires.

Et si on construisait autrement ? Et si on apprenait à cohabiter avec l'eau ? Il faut toutefois faut garder en tête, comme le soulignait l'architecte Nathalie Dion (2019), présidente de l'OAQ de 2013 à 2019, que « rien ne sert d'intervenir à l'échelle du bâtiment si la société et les infrastructures environnantes ne sont pas adaptées ».



Flickr

## 1.2. Pourquoi concevoir la résilience des bâtiments aux inondations ?

Catherine Dubois, conseillère en développement durable à la Société québécoise des infrastructures (SQI) a proposé, dans un rapport déposé en juin dernier, une définition du concept de résilience des infrastructures et des bâtiments. Cette définition suggère qu'un bâtiment résilient doit pouvoir « demeure[r] en fonction avant, pendant et après une perturbation sans encourir de dommages sérieux » et pouvoir « maintenir ses occupants en sécurité jusqu'à ce que la situation revienne à la normale » (Dubois 2020, 12). Ainsi, la résilience des bâtiments aux inondations ne concerne pas seulement la protection du bâtiment lui-même.

Les **avantages** potentiels de la conception résiliente aux inondations sont nombreux :

- l'augmentation de la sécurité des personnes;
- l'augmentation 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.

Enfin, la capacité de résilience d'un bâtiment peut être évaluée à partir de ses aptitudes à **résister** à un aléa, à **minimiser** ou **atténuer** les impacts de l'aléa et à se **rétablir** ou se **réparer** facilement.



Shutterstock

# 1.3. Contexte québécois de la construction en zones inondables

Jusqu'à maintenant, au Québec, il a toujours été possible de construire un bâtiment dans les zones de récurrence 20-100 ans à condition que soient respectées les « règles d'immunisation » énoncées dans l'annexe 1 de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) datant de 1987 (MDDELCC 2015). Les règles mentionnées dans la PPRLPI actuelle sont les suivantes :

1. Aucune ouverture (fenêtre, soupirail, porte d'accès, garage, etc.) ne peut être atteinte par la crue de récurrence de 100 ans;

2. Aucun plancher de rez-de-chaussée ne peut être atteint par la crue à récurrence de 100 ans;

3. Les drains d'évacuation sont munis de clapets de retenue;

4. Pour toute structure ou partie de structure sise sous le niveau de la crue à récurrence de 100 ans, qu'une étude soit produite démontrant la capacité des structures à résister à cette crue, en y intégrant les calculs relatifs à :

   - l'imperméabilisation;
   - la stabilité des structures;
   - l'armature nécessaire;
   - la capacité de pompage pour évacuer les eaux d'infiltration;
   - la résistance du béton à la compression et à la tension.

5. Le remblayage du terrain doit se limiter à une protection immédiate autour de la construction ou de l'ouvrage visé et non être étendu à l'ensemble du terrain sur lequel il est prévu; la pente moyenne, du sommet du remblai adjacent à la construction ou à l'ouvrage protégé, jusqu'à son pied, ne devrait pas être inférieure à 33 % (rapport 1 vertical : 3 horizontal).

Les québécois héritent donc d'un cadre bâti déjà bien implanté en zone inondable et la très vaste majorité de ce bâti est là légalement et dans le respect des politiques gouvernementales. Or, ces constructions et leurs occupants sont exposés, à divers degrés, à l'inondation. Dans d'autres cas, l'urbanisation de secteurs de villégiature situés dans des zones inondables a permis à de nombreux riverains de disposer d'un droit acquis d'occupation résidentielle et de transformer des chalets de faible valeur en résidence principale. Ainsi, l'ampleur des conséquences potentielles liées à l'inondation augmente.

Pour différentes raisons économiques, techniques ou environnementales – dont le souci de ne pas déplacer le risque d'inondation ailleurs (l'équité du risque) – plusieurs de ces communautés d'ici et d'ailleurs ne sont ni adéquatement protégées par des ouvrages de défense à l'échelle territoriale, comme des digues ou des ouvrages de retenue, ni préparées à faire face aux risques d'inondations. À ce sujet, un groupe de chercheurs du Centre Intact d'adaptation au climat de l'Université de Waterloo (Centre Intact) a évalué le niveau de préparation de 16 grandes villes canadiennes (Felmate et Moudrak 2021), dont Québec et Montréal, et des provinces et territoires canadiens (Felmate et al. 2020) aux risques d'inondations. La cote moyenne de préparation aux inondations du Québec, selon le Centre Intact est de *C*, tout comme celle de Montréal et la moyenne canadadienne.

Préparation des villes : https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2021/02/Ie-niveau-de-preparation-de-16-villes-aux-risques-dinondations-1.pdf

Préparation des provinces et territoires : https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2021/01/Provinces-Territories-Flood-Report-French.pdf

De plus, là où des systèmes de défense existent, des inondations peuvent également survenir en cas de défaillance d'un ouvrage de protection en place ou d'une crue sévère le dépassant. Pensons, par exemple, à la rupture de la digue de Sainte-Marthe-sur-le-Lac au Québec et aux conséquences de l'ouragan Katrina dans certains secteurs de la Nouvelle-Orléans, aux États-Unis.

Outre les zones inondables connues, d'autres secteurs peuvent être inondés suite à la défaillance d'un système de drainage par pompage ou au blocage/refoulement d'un égout de surface. C'est ce qu'on appelle le risque résiduel. La résilience des bâtiments aux inondations concerne ainsi la construction hors des zones à risque d'inondation côtière ou fluviale déjà bien identifiés. Voilà pourquoi il est important de la mettre à l'ordre du jour.

# 2. État des connaissances

Les informations colligées et analysées dans le cadre de l'étude réalisée par ASFQ ont permis de dresser un portrait des connaissances sur l'adaptation des bâtiments aux inondations, de cerner les lignes directrices existantes et d'identifier les critères, les précédents et les meilleures pratiques d'adaptation aux inondations en contextes géographiques et climatiques similaires à ceux du Québec. Les informations recueillies proviennent de la consultation d'un groupe d'experts multidisciplinaire par visioconférence, de la consultation par sondage des parties prenantes et d'une revue de la littérature, au Canada et à l'international.



Pexels

# 2.1. Consultation d'experts

Un groupe d'experts locaux et internationaux a été consulté par visioconférence, au cours de l'année 2020. Leurs connaissances sur divers enjeux liés à la résilience du cadre bâti aux inondations et des stratégies d'atténuation des risques propres ou transposables au Québec ont été colligées et documentées. Certains des contributeurs ont révisé et bonifié le contenu de ce rapport et sa structure. Ceux-ci ont également approuvé les recommandations émises, offrant ainsi une validation par les pairs. ASFQ remercie tous ces intervenant pour leur temps et leurs conseils.

## Membres ayant lu et révisé le rapport

### BRUNO BARROCA

Architecte DPLG, Professeur à l'Université Gustave Eiffel, Paris

A participé à la rédaction de divers guides et recommandations sur la résilience dont les travaux dans le groupe d'experts de l'AFNOR/ISO pour la normalisation de la résilience au sein de la commission, en France, « Villes et Territoires Durables et Intelligents ».

https://normalisation.afnor.org/thematiques/villes-et-territoires-durables-et-intelligents/

### LAURIE CANTIN-TOWNER

M. ATDR, conseillère environnement bâti, SHQ

A assuré la coordination entre les équipes terrain de la SHQ (architectes, ingénieurs et techniciens) et les autres intervenants (pompiers, SQ, intervenants psychosociaux, municipalité) participant aux mesures d'urgence à Sainte-Marthe-sur-le-Lac.

http://www.habitation.gouv.qc.ca/inondations.html

### ERIC DANIEL-LACOMBE

Architecte DPLG, Paris

Possède une expertise, en architecture, axée sur les risques naturels, en particulier, l'aléa diluvien et a conçu et construit des logements et des équipements ayant déjà démontré, à Romorantin, France, leurs qualités de résilience lors d'inondations.

https://www.edl-architecte.com/

### THIERRY DIETRICH

Conseiller, formateur en sécurité civile

Possède une expertise en gestion des risques d'inondations majeures; a participé aux inspections de propriétés touchées par la ZIS de 2017, au Québec, et a appuyé des citoyens à piloter leur dossier auprès du MAMET (MAMH maintenant) et du MSP.

### JOANNA EYQUEM

P.Geo. CWEM. CEnv. Directrice, Programmes d'adaptation aux changements climatiques, Centre Intact d'adaptation au climat

Possède une expertise en adaptation aux changements climatiques, surtout la gestion des inondations de d'érosion, de l'échelle du bâtiment jusqu'à l'échelle du bassin versant. Connaissance des lignes directrices en matière de résilience aux inondations au Canada et au Royaume-Uni.

https://www.centreintactadaptationclimat.ca/

### MICHEL LECLERC

Ing., D. Ing., hydrologue-cadre MRC Vaudreuil-Soulanges, professeur associé-honoraire de l'INRS Centre Eau, Terre et Environnement, président-fondateur de l'OBV Charlevoix-Montmorency

Possède une expertise en analyse et cartographie du risque et en caractérisation des aléas hydrologiques pour mieux gérer les risques d'inondations. Il a contribué au développement de politiques et participé à des interventions opérationnelles liées aux inondations dans des secteurs principalement résidentiels.

https://charlevoixmontmorency.ca/

### CATHERINE PERRAS

M. Urb. Conseillère en aménagement et urbanisme, Vivre en ville

Accompagne des municipalités dans la transformation durable des milieux touchés par les inondations. A réalisé des travaux de recherche, à l'UdeM, sur le réaménagement des plaines inondables à la suite des inondations de 2017 et, à l'ENAP, sur la prévention des sinistres à l'échelle locale et régionale.

https://vivreenville.org/

## Autres experts consultés

### CATHERINE DUBOIS

Ph.D Ambiances physiques architecturales et urbaines, D. Sc. Génie civil, M.Sc Architecture, Conseillère en développement durable, SQI

Possède une expertise en évaluation de vulnérabilité des bâtiments aux changements climatiques et une expertise en intégration de stratégies d'adaptation aux changements climatiques à la conception de projets urbains et architecturaux.

https://www.sqi.gouv.qc.ca/vision/Pages/dev_durable_politique.aspx

### YVONICK HOUDE

Ingénieur en construction, M. Ing., Vice-président et associé chez HBGC ingénieurs

Possède une expertise dans le domaine des fondations spéciales, pieux, soutènement des terres et des structures, en conception géotechnique et en conception en zones inondables.

https://www.hbgc.ca/

### DANIEL PEARL

Architecte OAQ, Professeur titulaire à l'École d'architecture de l'Université de Montréal

Possède une expertise dans les domaines de l'architecture durable et environnementale et s'intéresse aux manières de concevoir et d'isoler thermiquement les fondations pour les rendre résilientes aux inondations.

https://amenagement.umontreal.ca/professeurs/fiche/in/in14598/sg/Daniel%20Pearl/

### STEVE POTVIN

M. Sc. Études urbaine, Directeur du secteur urbanisme, design urbain et architecture de paysage, Stantec Québec

Possède une bonne connaissance de la réglementation des constructions dans les secteurs d'inondations et a participé à la préparation du premier code d'urbanisme illustré en Haïti afin d'encadrer, par exemple, les constructions à l'intérieur des plaines inondables.

https://www.stantec.com/fr/markets/urban-places

### JOHN DALZELL

Architecte AIA, LEED Fellow, Responsable de la durabilité à la Boston Planning and Development Agency

A dirigé les programmes E+ Green Building et E+ Green Communities de la ville. A contribué au *City of Boston Coastal Flood Resilience Design Guidelines*. A dirigé le concours Living with Water.

http://www.bostonplans.org/

### NICOLE OLIVIER

Architecte OAQ, Chef de service – Formations, Technorm

Représente l'OAQ dans des comités consultatifs de la Régie du Bâtiment du Québec sur l'élaboration de la nouvelle réglementation du *Code de construction* et de sécurité du Québec. Intervient comme conseillère technique dans l'analyse de l'application des exigences réglementaires de construction.

https://technorm.ca/

# 2.2. Sondage

Un sondage distribué à un vaste réseau de professionnels du bâtiment, à l'été 2020, a permis de réaliser un portrait global de la connaissance sur les diverses stratégies d'adaptation des bâtiments aux inondations et des perceptions face aux enjeux techniques, sanitaires, culturels ou paysagers de la construction résiliente aux inondations. Le sondage a aussi contribué à identifier des difficultés réglementaires rencontrées lors de travaux de prévention du risque d'inondation ou de construction en zone inondable.

Plus de cinquante personnes concernées par le secteur de la construction ont répondu au questionnaire.

**Près de 75 % des répondants**
affirment avoir des connaissances générales au sujet des stratégies d'évitement.

**Près de 70 % des répondants**
affirment avoir des connaissances générales au sujet des stratégies de résistance.

**Moins de 40 % des répondants**
affirment avoir des connaissances générales au sujet des stratégies d'accueil.

**Près de 50 % des répondants**
affirment n'avoir aucune connaissance au sujet des stratégies d'accueil.

**Près de 70 % des répondants**
sont en désaccord ou fortement en désaccord avec l'aménagement d'une pièce de vie dans un sous-sol pouvant être atteint par une crue **MOINS** de 1 fois par 20 ans.

**Plus de 85 % des répondants**
sont en désaccord ou fortement en désaccord avec l'aménagement d'une pièce de vie dans un sous-sol pouvant être atteint par une crue **PLUS** de 1 fois par 20 ans.

**Plus de 75 % des répondants**
sont en accord ou fortement en accord avec un certain assouplissement des règlements de zonage et de construction qui permettrait l'expérimentation encadrée de mesures innovantes d'adaptation des bâtiments en zone inondable construisaibles.

# 2.3. Revue de la littérature : Canada

Proverbs et Lamond (2017) ont fait la généalogie des publications pionnières sur l'adaptation des bâtiments aux inondations. Le 3e écrit le plus ancien recensé, après deux autres publiés aux États-Unis en 1967 et 1972, est un rapport élaboré par un bureau de consultants à la demande du Ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada en 1978. Le rapport *Flood-proofing of buildings* a été traduit en 1979 (Williams 1978, 1979). Dans la version francophone intitulée *Protection des immeubles contre les inondations*, Williams résume :

> *Par l'étanchement des immeubles existants ou par la conception d'immeubles à l'épreuve des inondations, il devient possible de réduire les dégâts structurels éventuels dans les zones inondables […]. Si des raisons d'ordre économique s'opposent à la construction d'ouvrages de protection, il est alors possible de prévoir la protection d'un immeuble contre les inondations* ***dès le stade de sa conception****, répondant ainsi aux besoins d'un programme régissant l'ensemble des zones inondables.* (Williams 1979, 1)

Dans son rapport, Williams énonce cinq « méthodes de protection possibles » dont **2 stratégies d'évitement** (construction sur remblai et construction sur piliers, pieux, colonnes ou murs porteur), **2 stratégies de résistance** (imperméabilisation des niveaux inférieurs d'un bâtiment et construction d'un mur étanche ou d'un accotement) et **1 stratégie d'accueil de l'eau** (par confinement des dégâts). Voici la description des stratégies évaluées par Williams dans les années 1970 :

### Construction sur remblai

> *Remblais portés à un niveau supérieur au niveau théorique de crue. Cette méthode est souvent utilisée au Canada lorsqu'on veut établir de nouveaux lotissements ou construire un immeuble détaché. Elle présente l'avantage de ne nécessiter aucune modification spéciale lors de la conception et, si jamais la crue des eaux dépassait le niveau théorique, elle serait sans importance et de courte durée. Toutefois, cette méthode ne convient pas dans le cas de bâtiments existants.*

### Construction sur piliers, pieux, colonnes ou murs porteurs

> *Cette méthode de construire les immeubles sur des fondations permettant de les placer au-dessus du niveau théorique de crue assure une bonne protection et améliore l'utilisation du sol. Elle ne contribue pas à élever le niveau des crues et elle n'a que peu d'effets sur la force du courant. Il sera par contre nécessaire de prévenir l'endommagement des fondations par les objets charriés par le courant et de prévoir un passage suffisant pour ceux-ci. Cependant, cette méthode ne peut pas s'appliquer dans le cas de grands bâtiments existants et son utilisation dans le cas de structures petites et légères reste difficile.*

### Imperméabilisation des niveaux inférieurs d'un bâtiment

> *Cette méthode nécessite la consolidation des niveaux protégés contre les infiltrations afin de les rendre capables de résister à la pression horizontale et verticale des eaux. D'où [la nécessité d'une] grande rigueur dans la conception du système de drainage, des dalles de plancher, des murs, fenêtres et entrées du sous-sol. Cette méthode peut s'appliquer aux structures existantes, suffisamment résistantes et construites sur des sols à faible perméabilité. À prévoir, aussi, un dispositif d'alerte en cas de crue et des moyens d'évacuation au cas où le niveau des crues devait dépasser le niveau théorique car, dans ce cas, les dégâts risquent d'être importants. Cette méthode toutefois ne peut protéger contre les inondations prolongées ou contre une montée importante des eaux.*

### Construction d'un mur étanche ou d'un accotement

> *Cette méthode fait appel aux techniques généralement utilisées dans la conception de petits barrages. Ses inconvénients sont nombreux, notamment l'éventualité d'un effondrement de l'ouvrage, outre la difficulté de sa mise en œuvre pour protéger chaque immeuble en milieu urbain.*

### Par confinement des dégâts

> *Ces méthodes de protection se distinguent des méthodes par mise au sec du fait qu'elles prévoient l'inondation d'une partie de l'immeuble tout en y minimisant les dégâts par l'utilisation de matériaux de construction résistant aux attaques de l'eau. Souvent, ce sont les seules méthodes de protection qui permettent de réduire les dégâts dans les immeubles existants, construits dans des régions inondables.* (Williams 1979, 2-3)

Williams conclut qu'il est moins coûteux d'adapter un bâtiment dès sa conception que de le modifier ultérieurement; que le coût d'adaptation d'un bâtiment, lorsque rapporté à l'unité de surface, est moindre pour un bâtiment de grandes dimensions; que la construction au-dessus de la cote de référence est la méthode de protection la plus économique (1979, 5).

Voir : https://doi.org/10.4224/40001072

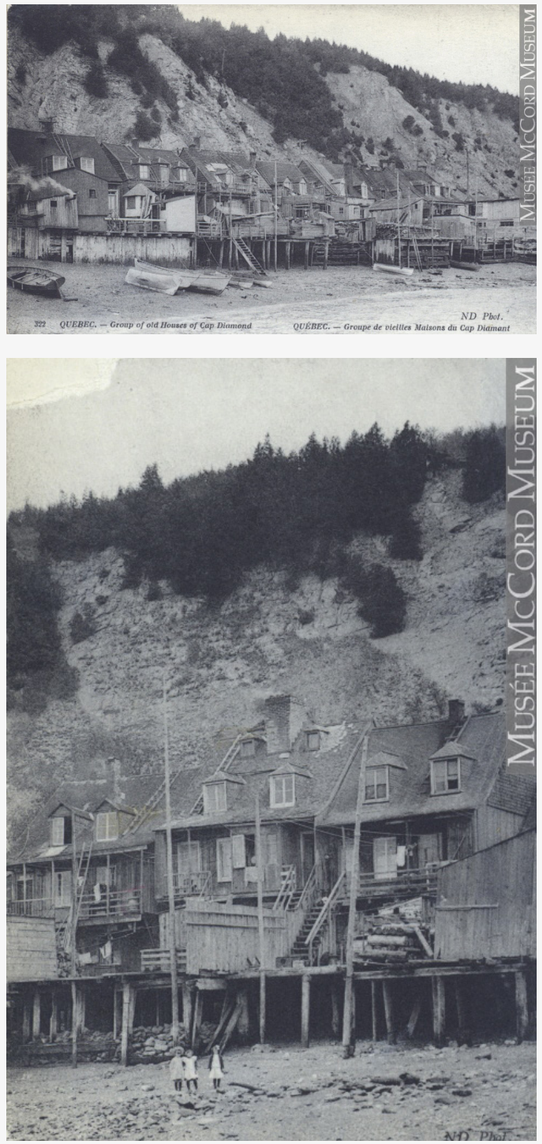



FIGURE 1
Maisons, Cap Diamant, Québec, Qc, vers 1907
© Musée McCord, nºMP-0000.1154.12 et MP-0000.1154.21 (Domaine public)

À l'aube des années 1980, on avait déjà identifié, au Canada, les avantages indéniables du rehaussement des rez-de-chaussée, le potentiel prometteur des stratégies d'entrée d'eau pour protéger les bâtiments existants et l'importance capitale d'un système de drainage efficace et de la grande résistance des murs et planchers d'un bâtiment hydrofugé. Qui plus est, une recherche dans les archives photographiques du Québec montre qu'au début du XXe siècle, on savait construire sur pilotis dans les zones de submersion côtière soumises à la marée. Aurait-on perdu la mémoire ?

Malgré ce savoir-faire vernaculaire et d'autres connaissances techniques vraisemblablement développées dans les années 1970, l'adaptation des bâtiments est aujourd'hui un sujet pratiquement absent des discussions sur la résilience de l'environnement bâti aux inondations. Par exemple, dans la documentation diffusée par le carrefour de l'information gouvernementale *Urgence Québec* (Urgence-Québec 2021), jamais n'est conseillé, lorsqu'il est question de rénover suite à une crue, de s'informer auprès d'un architecte ou d'un autre spécialiste de la construction en vue de mieux reconstruire pour d'assurer la pérennité de son domicile.

Voir : https://www.quebec.ca/securite-situations-urgence/urgences-sinistres-risques-naturels/inondation

Plus récemment, au niveau canadien, le Centre Intact d'adaptation au climat de l'Université de Waterloo (Centre Intact) a produit de nombreuses ressources dans le but de favoriser la résilience du bâti aux inondations : pour les résidences individuelles, les immeubles commerciaux, les communautés existantes et les nouveaux développements résidentiels. À l'échelle des résidences, le Centre Intact a notamment développé un programme de protection des habitations contre les inondations. Ce programme a pour buts de sensibiliser les résidents et les encourager à passer aux actions afin d'éviter les inondations de sous-sol; de former les professionnels conseillant les résidents (courtiers d'assurance, agents d'immobilier, inspecteurs de bâtiment, employées des municipalités); et d'évaluer le degré de résilience des maisons aux inondations. Suite à plus de 500 visites sur le terrain, les faiblesses les plus couramment observées sur des bâtiments ont été identifiées. Des fiches d'informations pratiques ont alors été développées dans le but de contribuer à la réduction des dommages liés aux inondations, spécifiquement, de sous-sol.

Le Centre Intact propose aux propriétaires des actions qu'ils peuvent entreprendre eux-mêmes pour mieux se prémunir face au risque d'inondation et ce, en 3 étapes :

1. **Entretenez les lieux au moins deux fois par année :**
   - nettoyer les gouttières;
   - tester la pompe de puisard;
   - nettoyer le clapet anti-retour;
   - etc.

2. **Effectuez des mises à niveau simples :**
   - prolonger les descentes pluviales et les tuyaux d'évacuation des puisards à au moins 2 m des fondations;
   - entreposer les objets de valeur et les matières dangereuses dans des contenants étanches et sécuriser les réservoirs de carburant;
   - enlever les obstructions au drain du plancher;
   - etc.

3. **Effectuer des mises à niveau plus complexes :**
   - débrancher les descentes pluviales, boucher les drains de fondation et prolonger les descentes pluviales pour diriger l'eau à au moins 2 m des fondations;
   - corriger le nivellement pour diriger l'eau à au moins 2 m des fondations;
   - installer un clapet anti-retour d'eau;
   - etc.

Pour consulter le résumé sommaire de ces mesures, voir : https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2021/03/3-Steps-to-Home-Flood-Protection_FR_March-2021.pdf

Pour consulter le rapport complet (Evans et Feltmate 2019), voir : https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads//2019/06/Ontario_HFPP_Report_French_V4-compressed-min-2.pdf

Un autre rapport produit par *l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques* (ICLR 2011) concerne aussi des mesures pour prémunir les sous-sols : colmater les fissures, bon fonctionnement des drains et des systèmes de pompage, installation de valves anti-retour (contre les refoulements du réseau pluvial), entretien des gouttières.

Pour consulter le rapport complet de *l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques* : https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/protect-your-home-from-basement-flooding.pdf

Ce document de l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques et les autres produits par le Centre Intact (Moudrak et Feltmate 2017, 2019a, 2019b) traitent d'étapes d'entretien d'une propriété et, également, de mesures d'atténuation à l'échelle d'une communauté. De manière particulière, le rapport *Faire face aux inondations : orientations pour renforcer la résilience des immeubles commerciaux au Canada* (Moudrak et Feltmate 2019a) propose une liste de mesures clés pour accroître la résilience aux inondations des bâtiments commerciaux dotés d'ascenseurs. Soulignons également que tous ces travaux ont contribué à la publication, en 2018 par le CSA Group de *Z800-F18 – Lignes directrices sur la protection des sous-sols contre les inondations et la réduction des risques*. Les lignes directrices présentées dans ce document ont été préparées pour aider les intervenants concernés à atténuer les risques d'inondation des sous-sols pour le nouveau Code national du bâtiment du Canada (CNBC), Partie 9, bâtiments résidentiels, et le Code existant.

Voir: https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/10/Faire-face-aux-inondations-1.pdf + https://www.csagroup.org/fr/store/product/Z800-18/

En novembre 2019, paraissait *Reducing the Risk of Inflow and Infiltration (I/I) in New Sewer Construction* (Robinson, Sandink, et Lapp 2019), un rapport produit conjointement par l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Norton Engineering et Ingénieurs Canada en vue de la modernisation des Normes nationales du Canada en matière de construction. Nous remarquons que des mesures de prémunition aux inondations – que nous jugeons de base – pourraient être intégrées aux normes canadiennes. Par exemple, il est question :

- de raccorder l'égout du bâtiment au drain sanitaire au-dessus des nappes phréatiques saisonnières élevées;
- de placer les systèmes de drainage des fondations au-dessus des nappes phréatiques saisonnières élevées;
- d'installer des systèmes de secours de pompe de puisard;
- de concevoir le nivellement et le drainage du site pour éloigner l'eau des bâtiments et des fondations;
- d'éviter les escaliers extérieurs menant au sous-sol;
- d'éviter les allées qui sont susceptibles de causer ou de contribuer à l'entrée ou à l'accumulation d'eau de ruissellement à proximité ou contre un garage, un bâtiment et / ou une fondation (p. Ex., Les allées à pente inversée);
- d'éviter de trop creuser les fondations;
- de sceller les fissures dans les murs de fondation et / ou les planchers de sous-sol.

Ces normes contribueraient certainement à augmenter la capacité de résilience de tout bâtiment, y compris ceux situés hors des zones inondables confrontés néanmoins à un risque résiduel d'inondation ou d'inondation urbaine, par exemple par les aléas de refoulement des égouts pluviaux. Toutefois, il n'est pas question dans ce rapport de la construction en zone inondable en tant que telle, sauf lorsqu'on recommande, au point 5.3.3, d'éloigner les bâtiments des risques d'inondation / d'eaux pluviales par voie terrestre.

Voir : https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2019/11/SCC_RPT_Norton-ICLR-EC-SCC-II-in-New-Sewer-Construction-2019-11-20_ENG.pdf

Par ailleurs, le Centre Intact a rassemblé les lignes directrices de la conception résiliente à l'échelle communautaire et du bâtiment qui ont contribué à l'élaboration de la norme *CSA W204:F19 – Conception résiliente aux inondations pour les nouveaux secteurs de développement résidentiel* et au développement actuel de la norme *CSA W210 – Hiérarchisation des travaux de résilience aux inondations dans les communautés résidentielles existantes* (en élaboration). Ces lignes directrices sont compilées dans le rapport *Sous un même parapluie : Stratégies concrètes pour réduire les risques d'inondation au Canada (Moudrak et Feltmate 2020).* Quant aux stratégies de réduction des risques d'inondation à adopter à l'échelle des propriétés, il est mentionné :

Dans les plaines inondables, protéger les propriétés contre les inondations en les construisant en hauteur, en utilisant des matériaux résilients à l'eau, et en plaçant l'équipement mécanique et électrique en hauteur pour ramener le risque d'inondation à un niveau tolérable selon les autorités locales, régionales, provinciales ou territoriales. (Moudrak et Feltmate 2020, 34)

Le document du Centre Intact, en nommant des mesures concrètes d'adaptation des bâtiments, marque un important jalon de la conception résiliente du cadre bâti au Canada. En revanche, il n'explique pas davantage ce qu'impliquent techniquement de telles mesures.

Voir : https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2020/11/Sous-un-meme-parapluie-1.pdf

Ailleurs au Canada, le livret *Protection contre les inondations : Protégez votre maison et son contenu contre les inondations* publié en 2016 et révisé en 2019 par le Ministère de la Sécurité publique et le Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick offre un aperçu des plus courantes mesures d'adaptation aux inondations.

Voir : https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Flooding-Inondations/ProtectionContreLesInondations.pdf

D'autres initiatives ont aussi été prises en Colombie-Britannique où l'organisation BC Housing, dirigeant le projet *Mobilizing Building Adaptation and Resilience* (MBAR), a mené à la réalisation de MBAR – Flood Events, une fiche qui énonce des stratégies d'adaptation des bâtiments aux inondations. Ces stratégies concernent trois aspects d'une propriété : son site, sa conception et son opération (système, entretien, assurance). Le coût et l'impact relatifs de chacune des mesures sont également catégorisés.

Voir : https://www.bchousing.org/research-centre/library/residential-design-construction/MBAR + https://www.bchousing.org/publications/MBAR-Flood-Events.pdf

Parmi les documents recensés, aucun ne guide les choix à faire lors d'une rénovation d'un bâtiment afin de mieux le prémunir face au risque d'inondation fluviale ou côtière et n'inclut pas des notes éducatives pour engager une véritable prise de conscience face au danger des inondations. Ainsi, en n'abordant pas l'ensemble des stratégies de résilience durables, les documents d'information recensés, bien que nécessaires, peuvent procurer un faux sentiment de sécurité aux occupants qui appliquent strictement les mesures de base. Cela peut avoir l'effet pervers de les rendre encore plus vulnérables si, par exemple, la propriété est confrontée à un risque d'inondation fluviale subite ou côtière, ou encore suite à un embâcle de glace.

Enfin, au Québec, il n'existe pas, à notre connaissance, de guide pratique de la construction résiliente aux inondations. Selon ASFQ, il est pertinent, voire essentiel, de développer au Québec un tel outil comparable. À titre d'exemple, ce nouvel outil pourrait être comparable au guide pratique développé par la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) pour encadrer la construction de toitures vertes – la dernière mise à jour date de juin 2015. Ce guide qui s'adresse, tel qu'il est mentionné sur le site de la RBQ, « aux concepteurs, entrepreneurs et professionnels impliqués dans un projet de construction de toit vert, ainsi qu'aux propriétaires du bâtiment sur lequel il est construit » traite des conditions de bases pour construire une toiture verte, des composantes requises et de l'étanchéité, des charges structurales, de la résistance au soulèvement dû au vent et à l'érosion, du calcul hydraulique, des dégagements nécessaires et de la protection contre la propagation de l'incendie, de l'entretien et des directives d'ordre administratif.

Voir : https://www.rbq.gouv.qc.ca/domaines-dintervention/batiment/les-mesures-equivalentes-et-les-mesures-differentes/construction-de-toitures-vegetalisees.html



Flickr

# 2.4. Revue de la littérature : International

Plusieurs guides et ouvrages de référence traitant de la construction en zone inondable ont été produits à partir des années 2000, en particulier, au Royaume-Uni, en France et aux États-Unis. Soulignons que les Pays-Bas sont également riches d'une longue tradition en matière de gestion des eaux et des inondations. Toutefois, étant donné que leur approche de gestion capitalise principalement sur l'implantation de dispositifs de défense et de protection à l'échelle territoriale, les stratégies néerlandaises ne sont pas (ou peu) discutées dans ce rapport. Les écrits retenus et présentés dans ce rapport exposent des mesures pratiques de résilience à l'échelle du bâtiment pour minimiser les dommages matériels causés par les crues, réduire les risques pour les personnes, ainsi que pour minimiser les implications financières pour les particuliers, entreprises et gouvernements.

Si certains documents sont davantage techniques et s'adressent aux professionnels de la construction, d'autres vulgarisent les informations, présentent des matériaux résilients ou résistants à l'eau et offrent des fiches d'aide à la décision pour les propriétaires et occupants. En règle générale, le lecteur est également introduit aux différents types d'inondations, aux dommages qu'elles peuvent occasionner, aux possibilités de financement, à la terminologie relative à la construction, etc. Une courte sélection est **présentée ici en ordre chronologique de date de publication**. S'y retrouvent des écrits ou outils techniques (tech.), de vulgarisation (vulg.) et des ouvrages de référence plus intégrateurs (réf.). Plusieurs de ces documents et ces outils sont bièvement présentés dans les pages suivantes, selon leur provenance (les États-Unis, la France et le Royaume-Unis), de même que quelques écrits scientifiques.

Par le Cabinet du vice-premier ministre (ODPM) du Royaume-Unis :

(vulg.) ODPM. 2003. *Preparing for Floods : Interim Guidance for Improving the Flood Resistance of Domestic and Small Business Properties*. Office of the Deputy Prime Minister (ODPM) (Londres).
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/11485/2187544.pdf

Par le Département de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales (DEFRA) du gouvernement britannique :

(tech.) Bowker, Pam, Manuela Escarameia, et Andrew Tagg. 2007. *Improving the Flood Performance of New Buildings : Flood Resilient Construction*. RIBA Publishing.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7730/flood_performance.pdf

Par le Centre Européen de Prévention du Risque d'inondation (CEPRI), en France :

(tech.) CEPRI. 2010. *Le bâtiment face à l'inondation : Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité – Guide méthodologique*. Centre Européen de Prévention du Risque d'inondation (CEPRI) (Orléans, France).
https://www.cepri.net/tl_files/pdf/guidevulnerabilite.pdf

(vulg.) CEPRI. 2010. *Le bâtiment face à l'inondation : Vulnérabilité des ouvrages – Aide-Mémoire*. Centre Européen de Prévention du Risque d'inondation (CEPRI) (Orléans, France).
https://www.cepri.net/tl_files/pdf/aidememoire.pdf

Par le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) de la France :

(vulg.) MEDDE. 2012. *Référentiel de travaux de prévention de l'inondation dans l'habitat existant*. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, République Française (La Défense).
http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/675358

Par la Société américaine des ingénieurs civils (ASCE) :

(tech.) ASCE. 2014. *Flood Resistant Design and Construction (ASCE 24-14)*. American Society of Civil Engineers.
https://sp360.asce.org/PersonifyEbusiness/Merchandise/Product-Details/productId/233129242

Par l'Agence fédérale des situations d'urgence (FEMA) du gouvernement américain :

(réf.) FEMA . 2014. *Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your Home From Flooding*. Federal Emergency Management Agency (Washington, DC).
https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_homeowners-guide-to-retrofitting_guide.pdf

(tech.) FEMA . 2015. *Reducing Flood Risk to Residential Buildings That Cannot Be Elevated*. Federal Emergency Management Agency (Washington, DC).
https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_P1037_reducing_flood_risk_residential_buildings_cannot_be_elevated_2015.pdf

Par l'organisme britannique *Know Your Flood Risk :*

(vulg.) Dhonau, Mary, et Carly Rose. 2018. *Homeowners guide to flood resilience : A living document (5th edition))*. Know Your Flood Risk.
http://www.knowyourfloodrisk.co.uk/sites/default/files/FloodGuide_ForHomeowners.pdf

Par la Ville de Boston :

(réf.) Boston. 2019. *City of Boston Coastal Flood Resilience Design Guidelines*
http://www.bostonplans.org/getattachment/d1114318-1b95-487c-bc36-682f8594e8b2

Par le centre français d'expertise dédié à la prévention des risques à la personne *Calyxis* :

(vulg.) CALYXIS. 2019. *Fiche d'autodiagnostic de vulnérabilité de mon habitat*. Calyxis – Pôle d'expertise du risque.
http://www.bassindulay.fr/uploads/PDF/Kit_autodia_habitations/AUTODIAG_PPRL_80_modif.pdf

Par Edward Barsley, chercheur expert en design environnemental et architectural :

(réf.) Barsley, Edward. 2020. *Retrofitting for Flood Resilience : A Guide to Building* (réf.)& *Community Design*. Newcastle upon Tyne : RIBA Publishing
https://www.t-e-d-s.com/retrofitting-for-flood-resilience

Par l'Observatoire de l'immobilier durable (OID) de la France :

(tech.) OID . 2020. *Bat-ADAPT- Outil d'analyse de vulnérabilité climatique*. Observatoire de l'immobilier durable (OID) (Paris, France).
https://www.taloen.fr/bat-adapt

(réf.) OID. 2021. *Guide des actions adaptatives au changement climatique: Le bâtiment face aux aléas climatiques*. Observatoire de l'immobilier durable (OID) (Paris, France).
https://www.taloen.fr/ressources/92bbfc83-dc9b-45d2-a9f2-43d0e5569989

Aux **États-Unis**, plusieurs outils ont été développés afin d'encourager et d'encadrer les travaux d'adaptation aux inondations, dont *Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your Home From Flooding* (FEMA, 2014). Comme les normes fédérales actuelles limitent le recours aux mesures d'accueil de l'eau aux stationnements, aux zones d'accès et de stockage, et limitent la possibilité d'adopter des mesures de résistance seulement aux espaces non résidentiels, les bâtiments résidentiels ne peuvent être protégés que par l'adoption d'une stratégie d'évitement. D'autres outils existent toutefois pour guider les travaux d'adaptation des bâtiments qui ne peuvent pas être élevés, dont *Reducing Flood Risk to Residential Buildings That Cannot Be Elevated* (FEMA 2015).

Des municipalités ont rendu plus accessibles et agréable à consulter les informations diffusées par la FEMA. Notamment, le guide produit par la ville de Boston est présenté comme ressource pour aider les propriétaires et les promoteurs immobiliers de Boston à prendre des décisions éclairées en matière de protection contre les inondations pour les bâtiments existants et les nouvelles constructions. D'abord, dans le résumé du document (Boston 2019, 6), sont introduites des stratégies basées sur quatre grands principes de la conception résiliente pouvant contribuer à mieux rénover et construire dans les zones à risque d'inondation. Ces principes de base énoncés dans le guide de Boston sont les suivants :

- Les stratégies d'adaptation, toutes les échelles confondues, doivent être tournées vers l'avenir et s'appuyer sur les meilleures pratiques de résilience qui répondent également aux spécificités des constructions de Boston.
- Les stratégies d'adaptation aux inondations devraient jouer un rôle bénéfique dans la durabilité globale des bâtiments, comme l'amélioration des aménagements paysagers environnants et l'amélioration de la gestion des eaux pluviales et de l'efficacité énergétique.
- Les améliorations de chacun des bâtiments devraient, dans la mesure du possible, être cohérents avec les investissements dans les infrastructures de prévention des inondations à l'échelle du district.
- Les stratégies d'adaptation à l'échelle du bâtiment devraient contribuer à une amélioration globale du domaine public.

Le guide abondamment illustré consacre une trentaine de pages à la présentation d'études de cas où sont présentées des manières de modifier et de concevoir un bâtiment en milieu urbain pour augmenter sa capacité de résilience à l'inondation. Chacun des six cas exposés représente un type d'intervention :

- rénovation d'une résidence pour une ou deux familles;
- rénovation d'un triplex;
- rénovation d'une maison de ville en rangée;
- rénovation d'un bâtiment multifonctionnel;
- rénovation d'un bâtiment industriel;
- construction (neuve) d'un triplex;
- construction (neuve) d'un bâtiment résidentiel et commercial (usage mixte).

Les fiches concernant **les projets de rénovation** présentent l'état actuel d'une construction vulnérable, des étapes intermédiaires d'adaptation à réaliser pour minimiser les dommages à moyen terme, et des stratégies à adopter à long terme pour adapter au maximum le bâtiment aux inondations. Pour **les nouvelles constructions**, des aspects essentiels à considérer, dès les premières étapes de conception, sont soulignés, dont :

- la forme du bâtiment (résistance de la structure, hauteur des RDC, hauteur des accès, etc.);
- l'enveloppe du bâtiment (résistance des matériaux, etc.);
- les systèmes et équipements (leur protection, leur position, etc.).

Enfin, aux États-Unis, le rehaussement du plancher habité au-dessus de la hauteur d'eau d'une crue de base, appelée Base Flood Elevation (BFE), s'avère la stratégie privilégiée dans une vaste majorité des cas. Cette hauteur d'eau de base correspond à celle d'une inondation qui a 1% de chances d'égaler ou de dépasser ce niveau au cours d'une année donnée. Cette cote de référence est accessible au public sur la *Flood Insurance Rate Map* (FIRM).

Voir : https://www.fema.gov/flood-maps/coastal/insurance-rate-maps

En comparaison avec les mesures mises de l'avant aux États-Unis, en **France**, l'élévation du plancher le plus bas n'est pas - ou très rarement - proposée dans les guides. En revanche, l'optimisation de la sécurité des occupants et des éventuels secouristes est généralement mise de l'avant. Par exemple, l'atteinte de cet objectif peut se traduire par l'obligation d'aménager dans les habitations dites à vulnérabilité élevée une zone refuge située au-dessus de la cote de référence prévue pour l'an 2100 (Calyxis 2018, 2019).

De plus, en France, on insiste sur l'éducation et la sensibilisation des personnes aux risques liés aux aléas climatiques. En ce sens, dans la *Fiche d'autodiagnostic de vulnérabilité de mon habitat*, produite par Calyxis - le Centre français d'expertise dédié à la prévention des risques à la personne -, outre les trois objectifs généraux de la résilience des bâtiments (l'augmentation de la sécurité des personnes, la minimisation des dommages matériels et la réduction du délais de rétablissement), on mentionne en premier lieu la prise de conscience du risque encouru (CALYXIS 2019, 3). Audrey Aviotti du groupe Calyxis, lors d'une conversation, nous a mentionné, qu'en général, l'assureur en France n'insiste pas sur l'intégration du risque dans la reconstruction : d'où l'importance, souligne-t-elle, des réseaux extérieurs (dont ceux de la sécurité publique) pour pallier et prendre en charge d'un événement. Le groupe Calyxis se bat en faveur de l'intégration du risque d'inondation dans la conception de l'habitation.

Voir également les initiatives du groupe MAYANE : https://mayane.eu/realisations/

Toujours en France, le guide intitulé *Le bâtiment face à l'inondation : Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité – Guide méthodologique* (CEPRI, 2010), il a pour objet :

- de servir de guide [pour un technicien] d'investigation et de diagnostic de la vulnérabilité d'un bâtiment public ou privé d'habitation ou dans lequel s'exerce une activité particulière (école, gymnase, bureaux, industrie, commerce, etc.);
- de permettre à la personne qui s'en saisit […] de recenser les éléments les plus vulnérables, de détecter les points sensibles et critiques, de faire la liste des dommages potentiels, d'évaluer la vulnérabilité du bâtiment selon chacun des critères énumérés ci-dessus et, le cas échéant, de recommander des dispositions d'aménagement des ouvrages pour diminuer cette vulnérabilité;
- de constituer un support de travail pour les collectivités qui souhaiteraient se lancer dans une démarche de réduction de la vulnérabilité des habitations ou des bâtiments publics situés en zone inondable.

Dans la plus grande continuité avec ces objectifs - et toujours en lien avec la posture française qui vise la prise de conscience des risques et l'accessibilité des informations - l'Observatoire de l'immobilier durable (OID) a mis en ligne, au printemps 2020, l'outil *Bat-ADAPT* qui permet de réaliser un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique d'une propriété grâce à l'adresse civique d'une bâtiment. L'outil  en ligne accessible à tous dresse rapidement un portrait des risques climatiques et offre un aperçu de l'influence des caractéristiques du bâtiment sur la résilience ou la vulnérabilité de celui-ci face aux inondations, à la submersion marine, aux vagues de chaleur, à la séchesse et au retrait et gonglement des argiles. En plus de l'analyse de vulnérabilité, l'outil propose des actions adaptatives pour mieux prémunir le bâtiment aux risques climatiques auxquels il est confronté. En complément, l'OID a publié en avril 2021 le *Guide des actions adaptatives au changement climatique*. Il traite des manières d'adapter les bâtiments non seulement aux inondations, à la submersion marine, aux vagues de chaleur, à la séchesse et au retrait et gonglement des argiles, mais également, aux aux vents violents et au feu. Ce guide a la particularité de ne pas traiter les aléas en silo, mais bien de manière intétégrée. Le guide est structuré selon cinq thématiques :

- structure, composants et matériaux;
- conditions de santé et de confort;
- site et terrain;
- usages et comportements;
- réseaux, services et infrastructures.

ASFQ recommande ce guide qui présente les informations clés sur 41 actions adaptatives concernant les parties du bâtiment ; les étapes du cycle de vie ; l'estimation de coût ; le niveau de compétence requis ; les conseils de mise en œuvre ; les freins et les leviers de la mise en œuvre des diverses actions.

Si en France on accorde une grande place à la sécurité et au confort des personnes dans la discussion sur l'adaptation des bâtiments aux inondations, la littérature produite au Royaume-Uni insiste particulièrement sur les avantages d'approches d'adaptation où l'eau peut entrer dans un bâtiment. David Proverbs et Jessica Lamond, chercheurs collaborant avec le DEFRA, abordent ce sujet dans leur article « Flood Resilient Construction and Adaptation of Buildings » publié en décembre 2017. D'ailleurs, dans le rapport *Supporting the uptake of low cost resilience : Rapid evidence assessment final report* (Lamond et al. 2017), il est démontré que, contrairement aux perceptions antérieures, les mesures impliquant l'entrée des eaux de crue dans un bâtiment sont largement applicables dans le cadre d'une approche intégrée pour limiter le risque. Les données présentées étayent l'efficacité d'une liste sans cesse croissante de stratégies de résilience à faible coût, à l'échelle du bâtiment, pour limiter les dommages dus aux inondations.

En ce sens, dans le guide conçu par l'organisme *Know Your Flood Risk*, les auteures introduisent d'entrée de jeu le lecteur à l'idée qu'il vaut parfois mieux adapter sa maison de manière à laisser entrer les eaux de crue pour réduire les dommages et les coûts liés à la remise en état. Le guide informe aussi au sujet de produits de protection contre les inondations et illustre la variété de façons dont une maison peut être protégée, selon divers paramètres. Un répertoire des fabricants et fournisseurs de produits de protection contre les inondations est également inclus.

L'ouvrage traitant spécifiquement de l'adaptation des bâtiments aux inondations le plus complet consulté dans le cadre de nos travaux provient également du Royaume-Uni. C'est *Retrofitting for Flood Resilience : A Guide to Building & Community Design* de Barsley, publié par le RIBA en janvier 2020. Les six chapitres de cet ouvrage de 334 pages traitent respectivement :

- des différents contextes et des conséquences des inondations (16 p.);
- des différents types de risque d'inondation (26 p.);
- des outils et techniques pour mieux comprendre le risque d'inondation (32 p.);
- de gestion du risque d'inondation aux échelles des bassins versants et des communautés (112 p.);
- des stratégies d'adaptation à l'échelle du bâtiment (118 p.);
- de manières de penser, concevoir et réaliser un avenir résilient aux inondations (10 p.).

En parallèle de la production de cet ouvrage qu'ASFQ recommande, Barsley a multiplié les initiatives innovantes visant la sensibilisation aux risques liés au changement climatique et la communications d'actions adaptatives à adopter pour diminuer la vulnérabilité des bâtiments et de leurs occupants.

Voir : https://www.hazardandhope.com/ + https://www.t-e-d-s.com/

Enfin, tous pays confondus, nous avons constaté que la littérature concernant les réparations post-inondation ou l'adaptation du bâti existant est plus abondante que celle concernant les nouvelles constructions. Parmi les premiers à avoir traité des nouvelles constructions figurent le guide *Improving the Flood Performance of New Buildings : Flood Resilient Construction* de Bowker, Escarameia et Tagg réalisé pour le DEFRA et publié par le RIBA en 2007. Plus récemment, le sujet de la nouvelle construction en zone inondable – sans évacuer celui de la rénovation du parc immobilier existant – a été abordé le guide publié par la Ville de Boston à l'automne 2019 et, également, dans l'ouvrage de Barsley publié en janvier 2020.

# Recommandations relatives au transfert de connaissances

## Recommandation 1

Cesser l'utilisation des termes « mesures d'immunisation » et « solutions » et les substituer respectivement par « mesures d'adaptation » et « stratégies ».

Le terme « mesures d'immunisation » est utilisé dans l'annexe 1 de la PPRLPI et dans divers cadres réglementaires qui reprennent textuellement le contenu de cette annexe. Dans le *Plan de protection du territoire face aux inondations : des solutions durables pour mieux protéger nos milieux de vie*, publié par le MAMH, il est aussi question d'« immunisation préventive de certains bâtiments » (MAMH 2020, 20). L'usage du concept d'immunisation devrait cesser. En tant que telles, les mesures proposées n'immunisent pas les bâtiments; elles augmentent leur capacité de résilience et diminuent leur vulnérabilité en les adaptant à une situation donnée. En substitution à la notion d'immunisation, nous recommandons alors l'usage du concept d'adaptation et, par conséquent, de parler en termes de « mesures d'adaptation ». Dubois (2020), dans un rapport publié par la SQI, utilise d'ailleurs ce terme. En France, on parle aussi de plus en plus d'«actions adaptatives» (OID 2021). Selon Bruno Barroca, le terme « mesure d'immunisation » n'est pas utilisé en France et ailleurs dans la francophonie[1].

Dans le même ordre d'idées, il est souvent question, dans les documents gouvernementaux, de « solutions » à adopter face au risque d'inondation. Or, il est davantage question de « stratégies » pour adapter un bâtiment aux inondations ou pour gérer une situation. Enfin, le choix des mots importe dans la mesure où certains, comme « solution » ou « immunisation », peuvent alimenter un faux sentiment de sécurité chez les personnes ou les communautés qui, par exemple, appliquent lesdites « solutions ». Bien définir le lexique utilisé est crucial pour concevoir la résilience, c'est d'ailleurs un aspect soulevé par Barsley, au paragraphe « Changing Mindsets and Perceptions of Risk » de son ouvrage (2020, 312).

## Recommandation 2

Encourager, en parallèle avec le développement d'outils de la connaissance de l'aléa d'inondation, le développement de nouvelles manières de communiquer le risque d'inondation.

Ceci passe, tel que mentionné dans la **Recommandation 1**, par le choix avisé d'un lexique adéquat. Ceci implique également de développer de nouvelles formes de communication du risque pour conscientiser le public aux risques liés aux inondations. Par exemple, Barsley suggère que la communication par les cartes traditionnelles ne suffit pas (2020, 69). Il a d'ailleurs dirigé le projet « Flood Narratives : Developing new tools for the communication of flood risk » où des manières de communiquer le risque par des modèles numériques 3D ou des paysages sonores, par exemple, ont été considérées. Le groupe français MAYANE a également développé de nouvelles manières de communiquer pour améliorer la résilience des territoires.

Voir : https://www.floodnarratives.com/ + https://mayane.eu/realisations/

## Recommandation 3

Encourager la production, au Québec, d'un document de vulgarisation destiné aux personnes établies dans les zones à risque d'inondation sur l'adaptation des bâtiments incluant un outil d'autodiagnostic de la vulnérabilité de la propriété et des occupants.

À notre connaissance, aucun équivalent aux écrits de vulgarisation présentés dans la revue de littérature internationale n'a été produit au Québec et au Canada. Les documents de vulgarisation devraient inclure à la fois des notes éducatives pour engager une réelle prise de conscience face au risque d'inondation et des conseils pour orienter vers l'adoption de mesures d'adaptation adéquates et durables.

## Recommandation 4

Encourager la production, au Québec, de documents techniques sur l'adaptation des bâtiments destinés aux professionnels de la construction.

Dans la documentation consultée produite et diffusée au Québec et au Canada, il n'est pas (ou peu) question de mesures architecturales pour adapter un bâtiment aux inondations en considérant, notamment, la forme et la structure d'un bâtiment, comme Williams l'avait pourtant fait en 1978. Les documents techniques s'avèrent pourtant être des outils essentiels à la réalisation de la résilience du cadre bâti aux inondations. Ceux-ci contribuent à la mise en application des règles en matière d'adaptation aux inondations et, par le fait même, à l'augmentation de la sécurité des personnes et à la réduction des dommages matériels et des impacts financiers.

Une volonté politique sera donc nécessaire pour faire produire, de manière concertée par un comité intersectoriel, un guide pour les constructeurs. Le comité intersectoriel devrait réunir, par exemple (et non exclusivement), des décideurs, des spécialistes de l'aléa inondation, des membres du Bureau des assureurs et de Chambre de l'assurance de dommages, de l'Association des professionnels de la construction et de l'habitations du Québec, de l'Ordre des architectes du Québec et de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Par exemple, le guide pourrait informer au sujet d'options de conception adaptées à différents types d'inondation en lien avec des variables pertinentes (le débit, le niveau d'eau, la durée caractéristique, etc.) Ce guide devra aussi être bien articulé avec le nouvel outil réglementaire qui remplacera l'annexe 1 de la PPRLPI.

1 Propos recueillis lors d'une conversation entre Bruno Barroca et Élène Levasseur le 4 décembre 2020.

# 3. Adaptation des bâtiments aux inondations

L'inondation est un phénomène fréquent au Québec et au Canada. Ses conséquences sur le cadre bâti sont nombreuses et peuvent entrainer des réparations onéreuses. Non seulement l'eau et les contaminants qu'elle transporte peuvent occasionner d'importants dégâts matériels, mais, également, les forces des crues peuvent causer des bris majeurs à la structure. Lors de la construction ou la rénovation d'un bâtiment, des mesures doivent alors être adoptées pour augmenter la capacité de résilience d'un bâtiment aux inondations. Ces mesures peuvent être classées en trois catégories : **les stratégies d'évitement, les stratégies de résistance, les stratégies d'accueil de l'eau**.



Pexels

# 3.1. Les actions et conséquences d'une inondation sur un bâtiment

Pour mieux comprendre l'importance de prémunir un bâtiment à l'inondation et la pertinence des travaux entrepris dans le cadre de cette étude, il est essentiel de prendre conscience des dommages matériels que peut causer une inondation sur la structure, les matériaux et les équipements mécaniques, électriques et de plomberie d'un bâtiment (MEP).

Premièrement, un bâtiment est soumis à plusieurs forces (Barsley, 2020, 48) :

1. L'impact des vagues (force hydrodynamique)
2. La pression latérale sur les fondations et les murs (poussée hydrostatique)
3. Le soulèvement (poussée hydrostatique d'Archimède)
4. L'érosion des fondations (force hydrodynamique)
5. L'impact des débris (force hydrodynamique)
6. La vitesse élevée du courant (force hydrodynamique)
7. La montée par capillarité de l'eau dans les matériaux au-delà du niveau des eaux

Deuxièmement, l'eau elle-même représente une menace pour le bâtiment et les biens qui s'y retrouvent. Les voies d'accès sont plurielles :

- les joints et fissures dans les murs extérieurs;
- les évents 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 services, par ex. tuyaux utilitaires, conduits de ventilation, câbles électriques et téléphoniques;
- les clapets anti-retour d'un système de drainage surchargé.

Troisièmement, la plupart des eaux de crue transportent des contaminants, tels que des eaux usées, des hydrocarbures, des sédiments, du sel et d'autres substances biologiques et chimiques pouvant affecter la santé des occupants et la performance du bâtiment.

Bowker, Escarameia et Tagg (2007, 33) ont dressé une liste de dommages potentiels sur une résidence typique et ses équipements, selon la hauteur de submersion. Ils sont présentés dans le tableau à la page suivante.

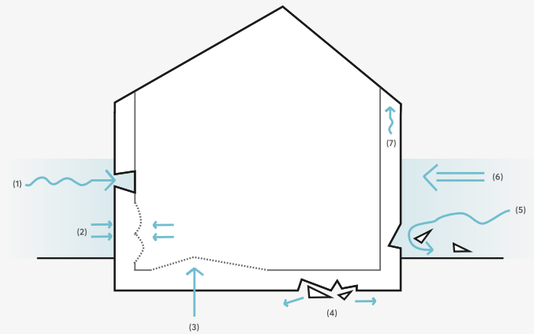



FIGURE 2
Actions des inondations sur un bâtiment
© ASFQ

TABLEAU 1
Dommages causés par une inondation sur une résidence typique
Adaptation du tableau « Possible flood damage for a typical residential property » (Bowker, Escarameia et Tagg, 2007, 33)

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

## 3.2. Stratégies d'adaptation des bâtiments aux inondations

Pour minimiser les dommages matériels causés par une inondation et augmenter la sécurité des personnes, différentes mesures d'adaptation des bâtiments peuvent être adoptées. Les mesures d'adaptation peuvent être classées selon trois catégories : **stratégies d'évitement**, **stratégies de résistance** ou **mesure d'exclusion de l'eau**, **stratégies d'accueil de l'eau** ou **mesures de résilience**.

En somme, l'évitement est l'approche de la gestion des risques d'inondation la plus sécuritaire, car elle vise à minimiser, voire éviter la submersion. Cette approche implique un déplacement horizontal (relocalisation) des bâtiments hors d'atteinte des eaux de crues ou, encore, un déplacement vertical (l'élévation) des espaces de vie au-dessus de la ligne haute des eaux.

S'il n'est pas possible d'éviter la submersion, la seconde approche à envisager, selon Bowker, Escarameia et Tagg (2007), est l'implantation de mesures de résistance à l'échelle du terrain ou de la communauté (ex. : aménagements paysagers, construction de butes et de murets anti-inondation). Les auteurs insistent toutefois sur le fait que, par souci d'équité du risque, tout aménagement ne doit pas accroître ou déplacer le risque dans d'autres secteurs. Idéalement, ces aménagements devraient également contribuer à réduire le risque d'inondation.

Lorsqu'il n'est pas possible d'éviter de cette manière le risque d'inondation, il faut l'accepter, voire l'*embrasser* – terme utilisé par Barsley (2020). Il s'agit alors d'opter pour des mesures de résistance à l'échelle du bâtiment et/ou des mesures d'accueil. Les premières consistent à empêcher l'eau de pénétrer dans un bâtiment et les secondes à augmenter la capacité de résilience d'un bâtiment ou d'une de ses parties où l'eau peut pénétrer de manière contrôlée.

Soulignons qu'en France, lorsqu'il est question de permettre une entrée d'eau, on parle de la stratégie « Céder ». Il est vrai que « céder » peut vouloir dire « céder le passage ». Toutefois, au Québec, le terme est davantage associé à l'idée d'abandonner, de ne pas résister, de fléchir. Dans le souci de mieux faire accepter, dans certains cas, une telle stratégie d'adaptation aux inondations, ASFQ a fait le choix d'opter pour le concept plus positif de l'*accueil*.

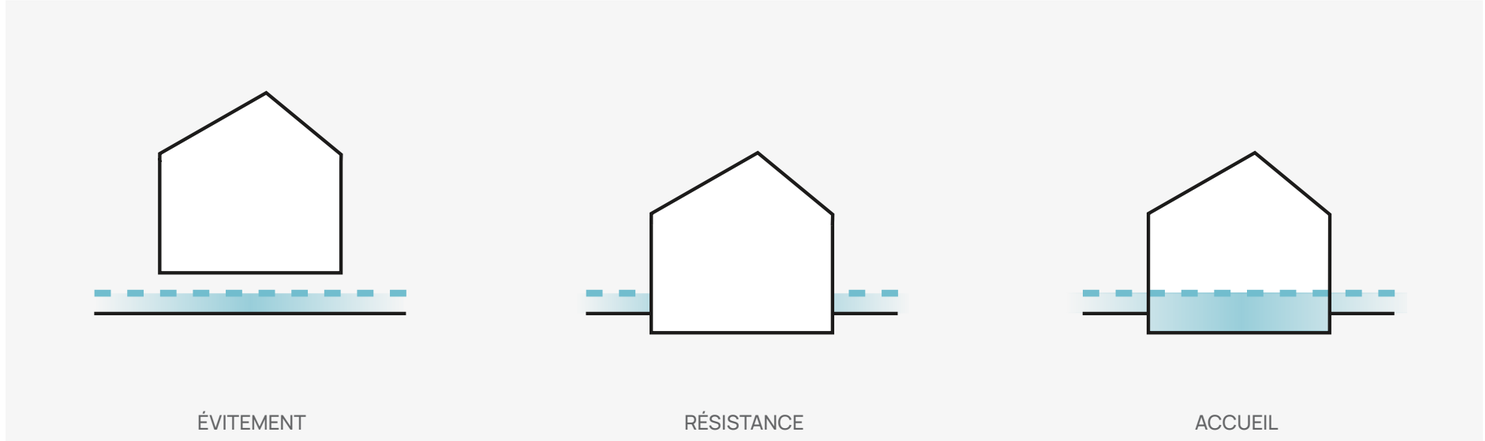



FIGURE 3
Trois stratégies d'adaptation des bâtiments aux inondations
© ASFQ

## 3.2.1. Stratégies d'évitement *(flood avoidance)*

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.

À **l'échelle du quartier ou du territoire**, l'évitement peut prendre la forme de digues de défense ou de barrières entourant un développement ou l'aménagement paysager du sol environnant pour détourner les eaux de crue ou les stocker temporairement. La mise en place d'ouvrages de retenue (réservoirs) et de plans de gestion des débits et des niveaux d'eau répond également à la définition de stratégie d'évitement. Par exemple, les débits du fleuve Saint-Laurent en provenance des Grands-Lacs sont gérés par des barrages (ex : Moses-Saunders à Cornwall) selon les règles du plan CMI-2014 de la Commission mixte Internationale qui prévoit l'évitement des inondations en aval. Il en est de même du barrage Grand-Moulin à la tête de la Rivière-des-Mille-Îles qui écrête les crues en provenance de la rivière des Outaouais (lac des Deux-Montagnes) au bénéfice des riverains en aval.

Diverses mesures d'évitement peuvent aussi être prises à **l'échelle du bâtiment**. Sommairement, deux options s'offrent à cette échelle locale :

- relocaliser le bâtiment ou le projet de construction hors de la zone exposée à la submersion (déplacement horizontal);
- rehausser, de manière permanente ou temporaire, le niveau des planchers habités au-dessus de la ligne haute des eaux (déplacement vertical). **Ceci implique nécessairement que le bâtiment ne comporte pas de sous-sol.**

Plusieurs stratégies d'évitement existent dont (la numérotation correspond à la figure 4) :

1. la construction sur remblai;
2. le rehaussement du rez-de-chaussée;
3. la relocalisation des espaces habitables à l'étage / abandon du RDC;
4. la construction amphibie qui peut se soulever, par flottaison, lors d'une crue;
5. l'ajout d'un étage supplémentaire;
6. l'élévation sur pilotis;
7. la relocalisation hors d'une zone à risque.

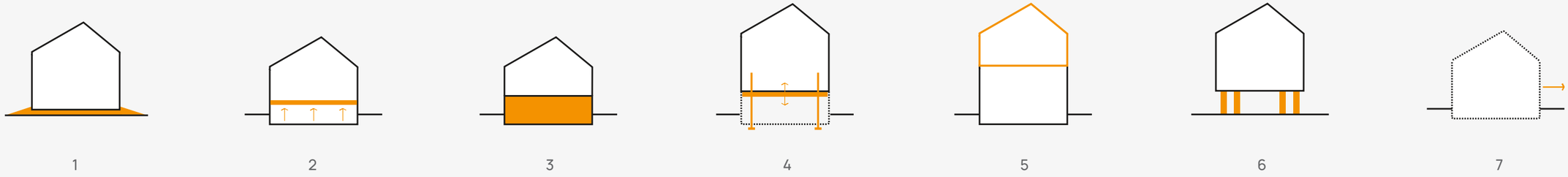



FIGURE 4
Exemples de stratégies d'évitement
© ASFQ







FIGURE 5
École Marguerite d'Youville, Saint-Raymond de Portneuf, Québec
Projet (1961) : Roland Dupéré, architecte. Rénovation (2017) : CCM2 architectes
© David Boyer : https://www.david-boyer.ca/cole-saintraymond
© Nelson Langlois / Urgence Portneuf

Un exemple éloquent, au Québec, de l'efficacité d'une construction sur pilotis – pour le secteur institutionnel – pour éviter au maximum les dommages matériels est l'École Marguerite d'Youville de Saint-Raymond de Portneuf, conçue par l'architecte Roland Dupéré en 1961 et rénovée par la firme CCM2 architecte en 2017. Des embâcles ont régulièrement provoqué la montée des eaux autour et sous le bâtiment sans l'endommager.

À quelques mètres de l'école, se situe la résidence Estacade. Cette dernière a été inondée en 2014. Depuis, le Règlement de construction de la municipalité a intégré plusieurs mesures (section 3.9) pour prévenir le risque d'inondation du bâtiment en prévision de sa rénovation et son agrandissement. Il est notamment souligné qu'« aucun prolongement du rez-de-chaussée de l'immeuble, sauf pour l'accès au bâtiment en cas d'urgence » ne sera permis. De plus, il est stipulé que l'« espace doit rester libre pour l'écoulement des eaux de débordement lors d'une crue des eaux de la rivière ». Ainsi, la construction d'une prochaine phase pourrait impliquer une fondation sur pilotis de manière à réduire la vulnérabilité du bâtiment et de ses occupants et, également, à permettre l'écoulement des eaux.

Voir : https://villesaintraymond.com/wp-content/uploads/2013/11/R%c3%a8glement-de-construction-ADOPT%c3%891.pdf

La construction amphibie est la stratégie d'évitement la moins connue et la moins utilisée en Amérique du Nord. Baca Architects, firme basée à Londres, a construit l'une des premières maisons amphibies occidentales. Munie d'un sous-sol, la maison amphibie se soulève, par flottaison, en cas de crue. Le cas échéant, elle est maintenue en place grâce à des guides d'acier qui minimisent les mouvements latéraux.

La construction amphibie adaptée au climat canadien est actuellement le sujet d'études et de tests techniques à l'Université de Waterloo, financés par le Conseil national de recherche du Canada (CNRC). À la suite du prototypage, l'équipe de la Buoyant Foundation dirigée par Elizabeth English, compte rédiger des lignes directrices pour l'inclusion de la construction amphibie dans le code du bâtiment canadien.



FIGURE 6
Maison amphibie, Buckinghamshire, Royaume-Uni
© BACA Architects
https://www.baca.uk.com/amphibioushouse.html



FIGURE 7
NRC Pavilion, Waterloo, Ontario
© Buoyant Foundation Project
https://www.buoyantfoundation.org/waterloo-ontario-nrc-research-pavilion

## 3.2.2. Stratégies de résistance *(dry-floodproofing)*

À l'échelle du territoire, des mesures de résistance permanentes locales existent, telles que des digues construites autour des communautés. D'autres mesures de résistance temporaires, comme des batardeaux, peuvent être déployées avant et durant l'inondation pour détourner les eaux de crue des bâtiments. Cependant, la dynamique de montée des eaux peut rendre cette stratégie hasardeuse lors des crues subites ou d'aléas glaciels (embâcles et débâcles). De manière analogue, des mesures de résistance permanentes et temporaires peuvent également être prises à l'échelle du bâtiment et de son enceinte pour empêcher les eaux de crue de pénétrer dans un bâtiment et de causer des dommages.

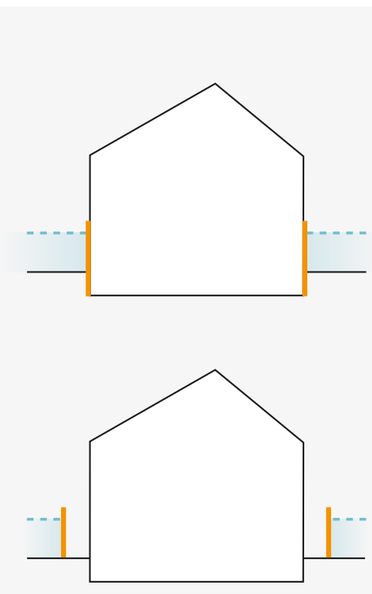


FIGURE 8
Stratégies de résistance à l'échelle du bâtiment ou de son enceinte
© ASFQ

À l'échelle du bâtiment, les stratégies de résistance 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. Tel que mentionné dans le chapitre 6 de *Flood Resistant Design and Construction, Standard by American Society of Civil Engineers,* 2014 (ASCE 24-14), les **stratégies de résistance** – ou le ***dry-floodproofing*** – ces mesures incluent la fermeture des issues, le colmatage définitif des voies d'eaux (issues, fissures, etc.), l'installation de membranes imperméables sur la fondation et l'utilisation de matériaux à faible perméabilité. La structure doit être conçue de manière à résister aux poussées hydrostatiques latérales et verticales de l'eau. Les surfaces intérieures des murs et du plancher sont alors mises en tension, ce qui implique la pose d'armatures pour prendre en charge ces contraintes qui peuvent causer des fissures, voire mener à la rupture. La fondation doit aussi être solidement ancrée contre les poussées verticales (force d'Archimède). Cette force est égale au volume de submersion évité (1 T/m³) ce qui peut devenir considérable (voir les exemples de défaillance ci-après). L'adoption de stratégies de résistance suppose également l'installation de clapets anti-retour contre les refoulements du réseau d'égout public, de systèmes de pompage et d'élimination des eaux résiduelles, de portes et fenêtres résistantes aux inondations et de couvercles pour les évents à briques.

Au Québec, l'hydrofugation – ou l'imperméabilisation – des fondations est pratique courante. Toutefois, l'histoire récente a mis en lumière des dangers liés à l'hydrofugation des fondations de bâtiments exposées à certaines forces d'inondation. Le soulèvement des maisons en Beauce, en 2019, en témoigne. Cette mesure a toutefois démontré son efficacité, si les fondations sont adéquatement ancrées, dans des zones à risque résiduel d'inondation, c'est-à-dire, de récurrence relativement faible.

Voir le reportage d'ICI *Radio-Canada* sur le soulèvement des fondations de maisons, en Beauce, lors des inondations de 2019 : https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1166035/inondations-proteger-maison-mene-perte-hydrofuge-fondation-perte-totale

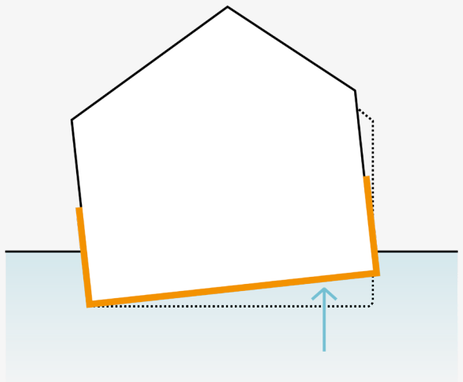


FIGURE 9
Soulèvement d'une maison aux fondations hydrofugées
© ASFQ

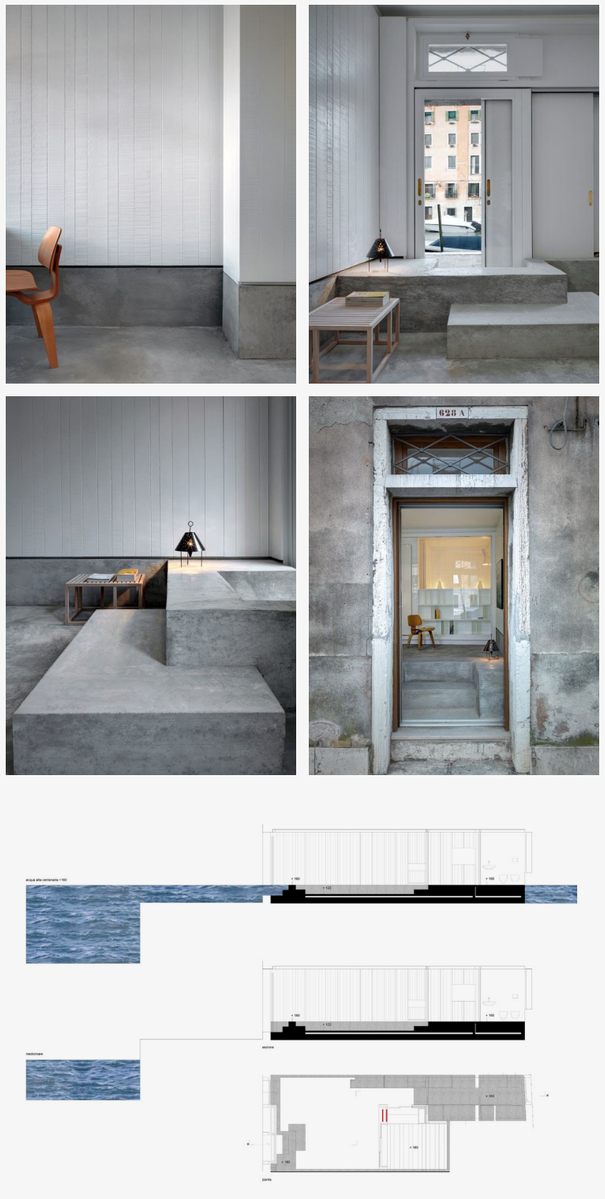


FIGURE 10
San Giobe +160 Project, Venise, Italie
© Act_Romegialli; Photos : © Marcello Mariana
https://www.actromegialli.it/projects-1/san-giobbe-160

Toutefois, lorsqu'il y a adéquation des fondations, des éléments structuraux et de leurs connexions pour résister aux charges d'inondation, il est possible de concevoir la fondation d'un bâtiment comme une barrière de protection. Par exemple, à Venise, la firme d'architecture Act Romegialli, lors de la rénovation d'un appartement, a conçu des fondations faisant office de barrière aux marées hautes périodiques. Les architectes ont travaillé à partir d'une étude sur le niveau moyen des marées entre 1870 et 2000. Cette étude leur a permis de calculer qu'une barrière allant jusqu'à niveau + 160 cm serait suffisante pour protéger l'appartement des marées maximales centennales. Les architectes ont alors conçu un espace de vie dans ce qui pourrait être qualifié de réservoir en béton armé. Ce genre de construction en maçonnerie est toutefois assez rare au Québec où les charpentes claires (en bois structurel) sont privilégiées. Toutefois, cette stratégie pourrait être considérée pour mieux prémunir certains bâtiments patrimoniaux.

En ce qui concerne les mesures de protection temporaires, il est possible d'installer, en prévision d'une crue, des barrières anti-inondation autour de la maison (ex : digues de sacs de sable) et d'autres dispositifs d'étanchéité amovibles dont des batardeaux devant les portes et des couvercles sur les conduits de service.

Bowker, Escarameia et Tagg soulignent que l'installation de dispositifs d'étanchéité temporaires et amovibles de protection contre les inondations, telles que des batardeaux sur les portes ou des couvercles sur les conduits de service, ne convient pas aux nouveaux bâtiments. Il est préférable d'intégrer, dès la conception, des mesures permanentes que de s'appuyer sur des dispositifs temporaires qui nécessitent une intervention humaine pour les installer et les entretenir (2007, 60). En revanche, les dispositifs temporaires peuvent être efficaces, selon certains paramètres d'une crue de référence, pour protéger des bâtiments existants dont la structure peut supporter les charges d'inondation. Cependant, l'exclusion de l'eau par des mesures strictes de résistance appliquées sur un bâtiment plus vulnérable (un bâtiment patrimonial par exemple) peut lourdement endommager ses fondations ou sa structure. Dès lors, il peut s'avérer souhaitable de permettre le passage contrôlé de l'eau vers l'intérieur du bâtiment.

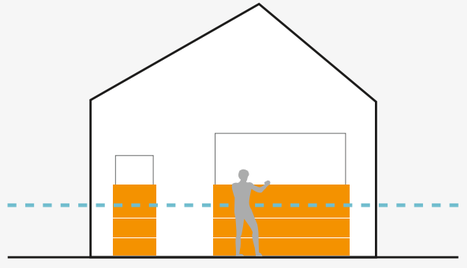


FIGURE 11
Installation de batardeaux
© ASFQ

## 3.2.3. Stratégies d'accueil de l'eau *(wet-floodproofing)*

Les stratégies d'accueil de l'eau 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.

Tel que mentionné dans le chapitre 6 l'ASCE 24-14, les **stratégies d'accueil de l'eau** – ou le **wet-floodproofing** – consistent en l'utilisation de matériaux et de techniques de construction permettant qu'un bâtiment soit inondé ou partiellement inondé de manière contrôlée. L'application de telles stratégies mise sur la capacité de résilience des matériaux et des équipements du bâtiment. Elle implique, dans les parties du bâtiment potentiellement inondées, les actions suivantes :

- la conception des murs intérieurs et des planchers permettant de résister à la poussée hydrostatique;
- l'utilisation de **matériaux de construction résistants aux inondations** à l'intérieur (les qualités recherchées sont, en particulier, la rapidité de séchage, la facilité de nettoyage, la facilité de réparation ou de remplacement en cas de dommages) afin de prévenir le risque de moisissures;
- 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;
- 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;
- l'installation des appareils électroménagers et la localisation des objets de valeur dans des lieux plus élevés ou leur protection en place;
- la prémunition des équipements mécaniques, électriques et de plomberie (MEP), dont la protection des équipements climatiques; la modification des circuits électriques; la mise hors d'eau des tableaux de répartition (boîte électrique); la protections des ascenseurs.



FIGURE 12
Flood Resilient Repair Home, Watford, Angleterre
© BRE Group
www.flickr.com/photos/brewatford/albums/72157678364559220

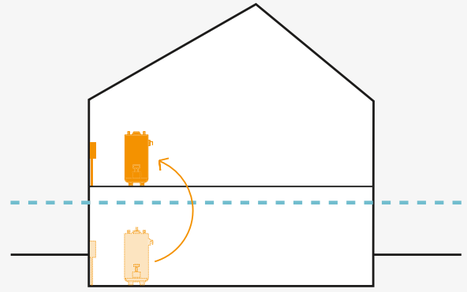


FIGURE 13
Prémunition des systèmes mécaniques, électriques et de plomberie (MEP)
© ASFQ

L'argument premier en faveur de l'adoption de mesures d'accueil est la réduction de la pression hydrostatique sur les bâtiments (ou l'égalisation de la pression intérieure et extérieure) qui assure l'intégrité structurelle du bâtiment. Ceci implique notamment la création d'ouvertures dans la fondation ou l'ajout d'évents d'inondations. Une stratégie impliquant une entrée d'eau peut notamment être considérée pour l'adaptation de bâtiments patrimoniaux munis de fondations moins solides.

Voir : https://smartvent.com

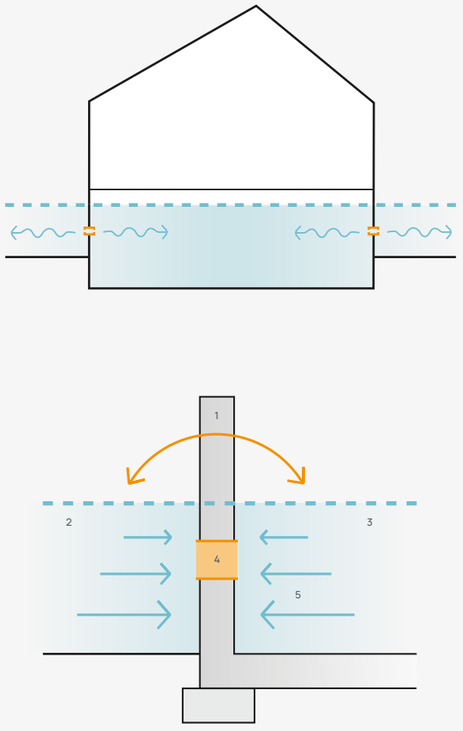
Par ailleurs, la FEMA a émis une mise en garde au sujet du retrait des eaux dans une fondation inondée. Si l'eau s'infiltre en grande quantité dans un sous-sol dont la capacité de résistance aux charges d'inondation n'a pas été vérifiée, la FEMA (2008b, 20) conseille de la retirer graduellement lorsque que l'eau à l'extérieur s'est retirée, puisque le sol gorgé d'eau continue d'exercer une pression sur la fondation et peut la faire fléchir vers l'intérieur ou s'effondrer. L'agence fédérale américaine recommande en ce sens de ne retirer que 30 cm d'eau par jour si le niveau d'eau ne se rétablit pas de façon naturelle. Aux États-Unis, dans les zones inondables, le *National Flood Insurance Program* requiert d'ailleurs que des évents d'inondation soient installés à un pied du sol pour éviter que la pression de l'eau abîme les fondations.

Au Québec, la SHQ émet la même recommandation :

> *Lorsqu'il y a une grande quantité d'eau dans votre sous-sol et que le sol environnant est gorgé d'eau, soyez vigilant(e). Drainer l'eau trop rapidement présente un risque de déformation en raison de la pression exercée sur les fondations ou sur la dalle. Cela est particulièrement vrai pour des fondations qui ne sont pas en béton coulé ou qui sont fragilisées, par des fissures par exemple. Le niveau d'eau devrait être abaissé de 60 cm (2 pieds) à la fois. Si le niveau d'eau remonte, c'est que le sol environnant est encore gorgé d'eau. Dans ce cas, il est recommandé d'attendre 12 heures et de recommencer l'opération.*

Voir « Quoi faire pour votre maison à la suite d'une inondation ? » :
http://www.habitation.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/documents/SHQ/quoi-faire-inondations-guide.pdf

Soulignons qu'une stratégie d'accueil de l'eau n'est pas adaptée aux zones présentant un risque potentiel combinant un risque d'augmentation rapide du niveau des eaux (crue subite) et une vitesse élevée d'écoulement. Un tel aléa serait dangereux pour la stabilité des bâtiments et la sécurité des personnes. De plus, cette stratégie peut s'avérer plus difficile à faire accepter au Québec où les sous-sols sont souvent aménagés comme des étages habitables. D'autres obstacles à l'adaptation des bâtiment aux inondations par des stratégies d'entrée d'eau ont été soulignés dans des écrits produits au Royaume-Uni, dont les coûts élevés des travaux d'adaptation et l'apparence des matériaux résistant à l'eau et des équipements disponibles sur le marché (Proverbs et Lamond 2017).




1 Égalisation des pressions
2 Hauteur d'eau extérieure
3 Hauteur d'eau intérieure
4 Évent d'inondation
5 Pression hydrostatique

FIGURE 14
Fonctionnement des évents d'inondation
© ASFQ

# Synthèse des mesures d'adaptation

Ce tableau synthèse de mesures d'adaptation des bâtiments aux inondations a été réalisé à partir de données recueillies dans de nombreux documents d'information produits principalement en France, au Royaume-Unis et aux États-Unis. Il présente, pour chacune des mesures classées en trois catégories de stratégies (éviter, résister, accueillir) :

- la caractéristique du bâtiment concernée : forme architecturale (**ARCH**), matériaux (**MAT**), système électrique (**ELEC**), systèmes mécaniques et de plomberie (**MEC**), terrain (**TERR**), mesures de protection des personnes ou de défense temporaire contre les inondations (**DEF**);
- le type de règlement concerné (qui limite l'application de la mesure ou qui devrait l'encadrer) : règlement de zonage **Z**, règlement de construction **C**;
- si elle est appropriée au bâti existant E et/ou aux nouveaux projets **N**;
- son ou ses objectifs : augmenter la **sécurité** des personnes, réduire le délai de **rétablissement**, réduire les **dommages** matériels.

Ce tableau ne prétend pas être complet. D'autres mesures non-recensées concernent notamment les balcons, les porches, les garages, les cheminées, les piscines, les réservoirs, les foyers, les cabanons. À ce sujet, nous conseillons de consulter le chapitre 9 du *Standard ASCE 24-14* (2014).

TABLEAU 2
Tableau synthèse de mesures d'adaptation des bâtiments aux inondations

| | MESURES D'ADAPTATION | Caractéristique du bâtiment | Règlement concerné | Nouveau / Existant | Sécurité | Rétablissement | Dommages |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Éviter | Élévation sur un remblais | TERR | **Z** | **E**/N | X | X | X |
| | Élévation sur pilotis | ARCH | C | **E**/N | X | X | X |
| | Rehaussement interne du RDC | ARCH | C | **E** | X | X | X |
| | Ajout d'un étage | ARCH | **Z** | **E** | X | X | X |
| | Construction amphibie | ARCH | C | N | X | X | X |
| | Relocalisation des espaces de vie à l'étage / Abandon d'un plancher | ARCH | C | **E** | X | X | X |
| Résister | Imperméabilisation des menuiseries extérieurs | MAT | C | **E**/N | | X | X |
| | Aménagement d'une butte ou d'un mur anti-inondation | TERR | **Z** | **E**/N | X | X | X |
| | Mise en place de dispositifs d'étanchéité temporaires | DEF | – | **E** | X | X | X |
| | Colmatage définitif des voies d'eau (fissures, réseaux) | MAT | C | **E**/N | X | X | X |
| | Élimination des eaux résiduelles | MEC | C | E/N | X | X | X |
| Accueillir | Installation d'évents d'inondations | MEC | C | E/N | | | X |
| | Réalisation de planchers en béton armé | MAT | C | **E**/N | | X | X |
| | Utilisation d'isolants résistants/résilients | MAT | C | **E**/N | | X | X |
| | Utilisation de matériaux de finition résistants/résilients | MAT | C | **E**/N | | X | X |
| | Imperméabilisation des menuiseries intérieures | MAT | C | **E**/N | | X | X |
| | Création d'espace entre les composants (pour séchage plus rapide) | MAT | C | **E**/N | | X | X |
| | Élévation ou relocalisation des équipements et appareils | ELEC / MEC | C | **E**/N | | X | X |
| | Élévation des prises électriques au-dessus de la cote de référence | ELEC | C | **E**/N | X | X | X |
| | Mise en place de grilles de portes et fenêtres | DEF | C | **E** | | X | X |
| | Redistribution/modifications des circuits électriques | ELEC | C | **E** | X | X | X |
| | Mise hors d'eau des tableaux électriques | ELEC | C | **E**/N | X | X | X |
| | Remplissage du sous-sol | ARCH | C | **E** | | X | X |
| | Protection des ascenseurs | ELEC / MEC | C | **E**/N | X | X | X |
| Sécurité publique | Aménagement d'une zone refuge / sortie de secours | ARCH | C | **E**/N | X | | |
| | Prévention des dommages aux cuves d'hydrocarbures | MEC | C | **E**/N | X | | X |
| | Protection/identification des piscines creusées | DEF | **Z** | **E**/N | X | | X |

# 4. Processus d'évaluation technique des mesures d'adaptation

Pour sélectionner une gamme de mesures d'adaptation qui contribuera à l'augmentation de la capacité de résilience d'un bâtiment, un rigoureux processus d'évaluation technique des diverses options doit être engagé. Des critères qui permettent d'évaluer l'adéquation entre des mesures et un contexte donné sont exposés dans ce chapitre. Ils concernent la caractérisation de l'aléa d'inondation auquel un bâtiment est exposé; l'évaluation de la vulnérabilité du bâtiment et de ses occupants; et la caractérisation du bâtiment, de ses composants architecturaux et de ses systèmes.



Flickr

## 4.1. Caractériser l'aléa d'inondation potentiel

La première étape dans l'évaluation technique et le choix des mesures de résilience et d'adaptation est de **caractériser l'aléa d'inondation** auquel un bâtiment est exposé. Il s'agit alors d'identifier le type d'inondation et ses paramètres de base susceptibles d'avoir un impact sur un site en particulier, tout en considérant les **stratégies d'atténuation du risque** déjà en place ou projetées à l'échelle de la communauté et du bassin versant. Les principaux descripteurs de l'aléa sont le type, la magnitude en lien avec des variables pertinentes (le débit, le niveau d'eau), la fréquence (souvent exprimée en x/année) ainsi que la durée caractéristique. La réglementation de la construction en zone inondable est la plupart du temps basée sur les crues à l'eau libre (fluviales ou marines) dont la récurrence est généralement bien connue. Actuellement, c'est la connaissance de la récurrence qui permet le plus souvent de déterminer quels types de nouveaux développements peuvent être réalisés dans une zone donnée.

À titre d'exemple, le tableau suivant donne à voir que les zones d'inondation sont définies, au Royaume-Uni, selon la récurrence d'une crue potentielle en eaux libres (GOV.UK 2014).

Aux États-Unis, la détermination des zones d'inondation tient en compte, en plus de la récurrence annuelle d'une inondation potentielle, d'autres facteurs dont le type d'inondation, la hauteur des eaux et la vitesse du courant.

Voir : http://www.floodmaps.com/zones.htm

Au Québec, l'approche la plus connue pour caractériser l'aléa d'inondation procède par le calcul des crues vicennales (récurrence 20 ans ou zone de grands courants) ou centennales (récurrence 100 ans ou zone de faibles courants) auxquelles on a ajouté récemment la zone de 350 ans. Or, au Québec, comme les chroniques d'observation des aléas glaciels sont plus rares et moins prévisibles, leur récurrence est très peu documentée. Les aléas d'inondation par embâcle ou consécutive à la débâcle sont pourtant une importante source de dommages.

Outre la caractérisation des aléas d'inondation selon des critères naturels, l'évaluation doit également tenir compte les stratégies d'atténuation des risques d'inondation à l'échelle d'une communauté et d'un bassin versant. À ce sujet, le chapitre 4 de l'ouvrage de Barsley (2020) est consacré à la gestion du risque d'inondation communautaire et à l'échelle du bassin versant. L'auteur expose la nécessité de créer des aménagements voués à réduire l'exposition des communautés existantes aux aléas d'inondation en prévoyant des systèmes de drainage durable – appelés *Sustainable drainage Systemes* (SuDS) (Barsley 2020, 112-46) – et, à l'échelle du bassin versant, en planifiant des mesures d'atténuation, notamment pour favoriser l'infiltration locale des eaux dans le sol, en amont des secteurs bâtis. Dans le même ordre d'idée, le guide de Boston (2019, 27) souligne également l'importance de considérer les stratégies territoriales de défense de soutien :

**Stratégies de défense à l'échelle de la communauté**

> Des mesures à grande échelle intègrent diverses formes de défense contre les inondations à l'échelle d'une communauté et d'un bassin versant.

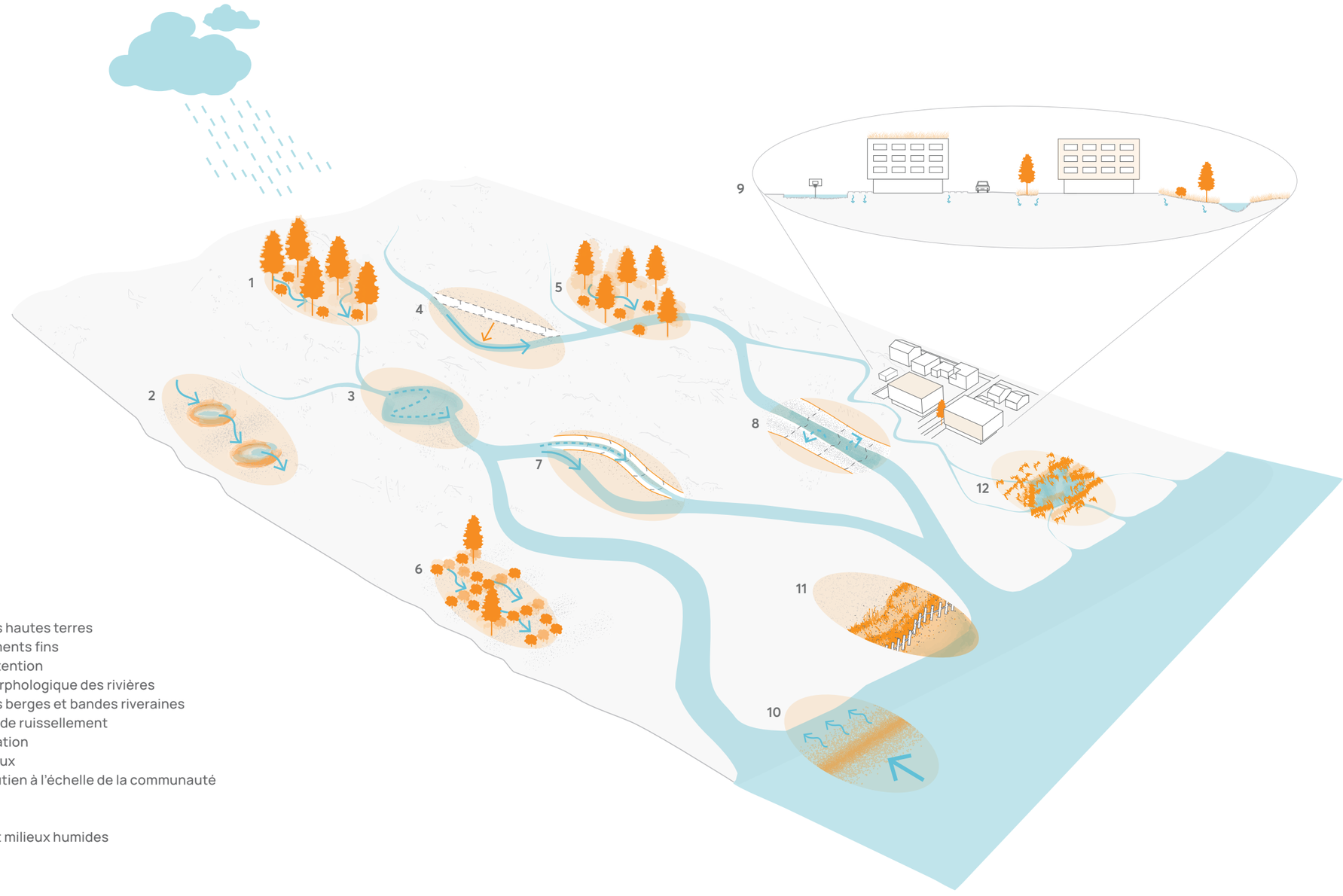
**Stratégies de soutien à l'échelle de la communauté**

> Des stratégies de construction et d'aménagement paysager concernent des risques climatiques qui ne sont pas directement liés aux inondations, telles que la production locale d'électricité sur place, les services de drainage pluvial et sanitaire municipaux ou privés et le traitement des surfaces des places et des voies publiques pour gérer les îlots de chaleur.

Enfin, d'autres facteurs environnementaux doivent être examinés pour orienter le choix des mesures d'adaptation à l'échelle du bâtiment, dont la stabilité des sols et les conditions ambiantes (gel et dégel, impact thermique de l'hiver), etc. Ces facteurs entraînent nécessairement des défis techniques avec lesquels les experts des domaines de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction sont toutefois habitués de composer. Plusieurs collaborateurs consultés dans le cadre de ce travail ont d'ailleurs qualifié les enjeux liés au sol et aux conditions ambiantes de faux problèmes. Différentes techniques de construction ont déjà été éprouvées, par exemple, dans le nord du Québec, où des bâtiments sur pilotis ancrés dans le pergélisol sont exposés au grand froid. Selon ces collaborateurs, les cadres réglementaires, davantage que les conditions ambiantes, représenteraient un frein à l'innovation en matière d'adaptation des bâtiments aux inondations.

TABLEAU 3
Définition des zones d'inondation au Royaume-Uni

| ZONES D'INONDATION | | DÉFINITIONS |
|---|---|---|
| ZONE 1 | Faible probabilité | Terrain dont la probabilité annuelle d'inondation fluviale ou côtière est inférieure à 1 sur 1 000. |
| ZONE 2 | Moyenne probabilité | Terrain ayant une probabilité annuelle d'inondation fluviale de 1 sur 100 à 1 sur 1 000. |
| | | Terrain ayant entre 1 sur 200 et 1 sur 1 000 de probabilité annuelle d'inondation côtière. |
| ZONE 3A | Forte probabilité | Terrain ayant une probabilité annuelle d'inondation fluviale supérieure à 1 sur 100. |
| | | Terrain ayant une probabilité annuelle d'inondation côtière supérieure à 1 sur 200. |
| ZONE 3B | Plaine inondable fonctionnelle | Zone où l'eau doit couler ou être stockée en période d'inondation. |




LÉGENDE

1 Restauration des hautes terres
2 Barrières à sédiments fins
3 Réservoirs de rétention
4 Restauration morphologique des rivières
5 Restauration des berges et bandes riveraines
6 Capteurs d'eaux de ruissellement
7 Canaux de dérivation
8 Canaux à 2 niveaux
9 Systèmes de soutien à l'échelle de la communauté
10 Brise-lames
11 Dunes de sable
12 Marais salants et milieux humides

FIGURE 15
Mesures d'atténuation du risque d'inondation à l'échelle du bassin versant et des communautés
© ASFQ, illustration réalisée en collaboration avec Florence Parent-Beaudin
Adaptation de la figure 4.10 : Natural flood management (Barsley 2020, 87)

## 4.2. Évaluer la vulnérabilité du bâtiment et de ses occupants

L'usage du bâtiment doit également être connu pour évaluer son propre degré de vulnérabilité et celui de ses occupants. Aux États-Unis, par exemple, un système de classification de bâtiments et autres structures a été élaboré pour déterminer les exigences minimales au sujet de la localisation, de la résistance et de la résilience d'un bâtiment ou d'un ouvrage. Les *Flood Design Class* étasuniennes sont présentées dans le Chapitre 1 de l'*ASCE 24-14* (ASCE, 2014) :

- **Classe 1**

  les bâtiments qui ne sont pas occupés en permanence et qui représentent moins de menace pour la sécurité des personnes (les bâtiments agricoles, les entrepôts);

- **Classe 2**

  les maisons individuelles, les immeubles à bureaux, les multi logements;

- **Classe 3**

  les bâtiments où il y a de grands rassemblements (les églises et les écoles);

- **Classe 4**

  les installations essentielles (hôpitaux, casernes de pompiers et bureaux de police).

Plus la valeur numérique attribuée à la classe augmente, plus les exigences en matière de prémunition des ouvrages et des constructions sont élevées. Si les bâtiments de la classe 4 sont des installations dont **la valeur ou l'importance stratégique** est plus élevée (sécurité publique), ceux de la classe 3 sont concernés par des enjeux de sécurité civile.

Quant à la classification au Royaume-Uni (GOV.2014), elle compte cinq catégories regroupant bâtiments et infrastructures selon leur vulnérabilité et celle de leurs occupants :

- **Compatible avec l'eau**

  infrastructures de contrôle des inondations et de transport des eaux usées, aqueducs et stations de pompage; quais et marinas; installations de sports et loisirs de plein air; etc.

- **Infrastructures essentielles qui doivent rester opérationnelles en période d'inondation**

  voies de transport essentielles; infrastructures de services publics essentiels, dont les centrales et réseaux de distribution électriques; les ouvrages de traitement de l'eau; éoliennes; etc.

- **Moins vulnérable**

  magasins; banques; services professionnels; restaurants et cafés; bureaux; industries générales, entrepôts et lieux de distribution; lieux de loisir; bâtiments agricoles; services de traitements des eaux; etc.

- **Vulnérable**

  hôpitaux, résidences pour personnes âgées, refuges, maisons de soins et prisons; maisons unifamiliales; résidences étudiantes; bars et hôtels; établissements d'enseignement; orphelinats; décharges; campings; etc.

- **Très vulnérable**

  postes de police, d'ambulance et de pompiers; installations de télécommunication opérationnelles pendant les inondations; logements au sous-sol; maisons mobiles; lieux d'entreposage de produits dangereux; etc.

Le niveau de risque d'inondation étant défini par une combinaison normée de probabilité d'occurrence (ou fréquence) de l'aléa et de la vulnérabilité (propension ou prédisposition à subir des dommages) voici, sommairement, des lignes directrices publiées sur le site du gouvernement du Royaume-Uni :

- **Dans les zones à probabilité résiduelle, faible ou moyenne d'inondation**

  il est toujours recommandé d'adopter des mesures de résistance et de résilience;

- **Dans une zone à probabilité moyenne d'inondation**

  l'aménagement de postes de police, de casernes ambulancière et de pompiers, d'installations de télécommunication devant être opérationnelles pendant les inondations, de logements au sous-sol, de maisons mobiles et de lieux d'entreposage de produits dangereux n'est pas recommandé. Toutefois, une maison adéquatement ancrée et prémunie peut s'y retrouver. À ce sujet, soulignons la culture typiquement nord-américaine du sous-sol aménagé. **En aucun cas, un sous-sol aménagé devrait se retrouver dans une zone à risque moyen d'inondation.**

- **Dans une zone à forte probabilité d'inondation**

  la construction d'habitations, de résidences, d'institutions académiques et de tous autres bâtiments où des gens peuvent dormir n'est pas encouragée. Une approche séquentielle, avec test d'exception, permet toutefois d'envisager certains développements ou de mieux sécuriser la rénovation d'édifices existants bénéficiant de droits acquis. Le développement dans des zones où le test d'exception est nécessaire n'est justifié que dans les cas où des objectifs plus larges liés au développement durable doivent être atteints. Le cas échéant, le développement doit être sûr, sans augmenter la probabilité

d'inondation ailleurs (principe d'équité du risque), et si possible réduire le risque d'inondation global.

**Dans une plaine inondable fonctionnelle**

seulement les infrastructures essentielles devant être opérationnelles en cas d'inondations et celles compatibles avec l'eau peuvent être construites, et ce, suite à la réalisation des tests séquentiel et d'exception.

Voir : https://www.gov.uk/guidance/flood-risk-and-coastal-change#Table-2-Flood-Risk-Vulnerability-Classification

Le tableau au-bas de cette page montre la compatibilité entre des catégories de développement et des zones d'inondation au Royaume-Uni.

De manière générale, le premier objectif d'une stratégie de gestion du risque d'inondation à l'échelle du bâtiment devrait être d'éviter l'inondation. Si, pour différentes raisons un bâtiment se trouve déjà en zone inondable ou qu'il est souhaitable qu'il y soit construit, au Royaume-Uni, par exemple, les développeurs sont tenus de réaliser un test séquentiel et, si nécessaire, un test d'exception (Bowker, Escarameia, et Tagg 2007, 43-50). Le test séquentiel doit être effectué si le site est dans la zone de moyenne ou de haute probabilité d'inondation. Ce test compare le site à développer avec d'autres sites disponibles pour déterminer celui qui présente la probabilité d'inondation la plus faible.

En bref, l'approche séquentielle sert d'abord à déterminer s'il est possible d'éviter le risque d'inondation en relocalisant le bâtiment ou le projet de développement hors d'une zone à risque. Toutefois, cette option peut ne pas être possible ou souhaitable pour diverses raisons, notamment :

- l'attachement au lieu;
- le dynamisme d'une communauté;
- la préservation du tissu urbain d'un quartier préexistant;
- la préservation de l'assiette fiscale d'une municipalité;
- les programmes d'assurance et d'aide financière en place;
- la valeur foncière et culturelle des bâtiments;
- la capacité de payer des propriétaires;
- l'accès à la propriété aux moins nantis;
- etc.

Une approche séquentielle peut alors mener à l'adoption de techniques d'évitement vertical et de mesures de résistance et de résilience dans certaines zones à faible probabilité d'inondation qui ne peuvent être protégées par les défenses traditionnelles. Toutefois, Bowker, Escarameia et Tagg (2007, 35) insistent sur le principe que des dérogations à l'approche séquentielle, grâce à un « test d'exception », peuvent être justifiées lorsque cela est nécessaire pour atteindre les objectifs plus larges du développement durable.

Un test d'exception – prenant en considération tous les paramètres connus d'une inondation potentielle – sert ensuite à démontrer que les avantages pour la communauté l'emportent sur les risques liés aux inondations et que le développement sera sécuritaire pour les personnes.

Voir : https://www.gov.uk/guidance/flood-risk-assessment-the-sequential-test-for-applicants

Une analyse coûts/avantages (ACA) peut alors s'avérer utile pour statuer sur certains éléments de décision. En revanche, tel que souligné par Barroca (2020, 101), l'évaluation des impacts des inondations sur le bâti ne doit pas se cantonner uniquement dans une logique des coûts et avantages : elle doit mener à débattre de choix collectifs et à approcher la gestion du risque par la notion de résilience communautaire.

Enfin, plusieurs critères doivent être pris en compte pour évaluer la vulnérabilité des bâtiments et de occupants. Leur vulnérabilité est par ailleurs directement liée au niveau de prépation aux inondation des communautés. Outres les critères liés à l'aléa lui-même et au caractéristiques des bâtiments, Felmate et Moudrak (2021) soulignent l'importance de considérer la capacité d'intervenir des villes en cas d'urgence et celle de maintenir en service les infrastructure essentielles.

Voir : https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2021/02/le-niveau-de-preparation-de-16-villes-aux-risques-dinondations-1.pdf

TABLEAU 4
Compatibilité des catégories de développement et des zones d'inondation
Adaptation du tableau 3.0 : *Development vulnerability and flood zones* (Barsley 2020, 66)

| | ZONE 1<br>Faible probabilité | ZONE 2<br>Moyenne probabilité | ZONE 3A<br>Haute probabilité | ZONE 3B<br>Plaine inondable |
|---|---|---|---|---|
| Compatible avec l'eau | ✓ | ● | ● | − |
| Infrastructures essentielles | ✓ | ● | − | − |
| Moins vulnérable | ✓ | ● | ● | ✗ |
| Vulnérable | ✓ | ● | − | ✗ |
| Très vulnérable | ✓ | − | ✗ | ✗ |

LÉGENDE

- ✓ Développement approprié
- ● Développement approprié + Test séquentiel
- − Test séquentiel + Test d'exception
- ✗ Développement non-approprié

# 4.3. Caractériser le bâtiment

Après avoir caractérisé l'aléa d'inondation potentiel, pris connaissance des mesures de mitigation du risque à l'échelle de la communauté et du bassin versant et, aussi, évalué la vulnérabilité du bâtiment et de ses occupants, les prochaines étapes du processus d'évaluation des mesures d'adaptation concernent le bâtiment lui-même.

Déjà, au Québec, des outils de diagnostic de la vulnérabilité des bâtiments résidentiels sont en développement pour mesurer les conséquences moyennes de la submersion sur le bâti et évaluer le risque encouru dans certaines zones exposées selon certaines hypothèses d'implantation. Notamment, un outil empirique est développé à partir des données de coûts d'indemnisation des dommages directs reliés à la submersion des planchers de la résidence, principalement le rez-de-chaussée. Cet outil proposé par Jean et Doyon (2020), pour le compte de la Commission mixte internationale pour les eaux limitrophes, sert principalement à la réalisation d'analyses coûts/avantages (ACA) pour la remédiation aux risques d'inondation. La variable la plus déterminante de ce modèle est liée à la hauteur de submersion – ou profondeur d'inondation du bâtiment. Le modèle ne prend toutefois pas en compte les mesures particulières visant l'amélioration de la capacité de résilience d'un bâtiment (matériaux résistants, assemblages adéquats, systèmes de drainage efficaces, etc.). Ainsi, deux résidences de même type – par exemple deux bungalows avec sous-sol aménagé et un rez-de-chaussée à 80 cm au-dessus d'un terrain – et également exposées à la submersion peuvent présenter des taux d'endommagement très différents. Ce fait observé et mesuré sur plusieurs centaines de résidences dans l'étude de Jean et Doyon peut être expliqué par le recours ou non de mesures contribuant à la résilience globale du bâtiment. Or, l'outil déjà développé n'a malheureusement pas permis d'aller jusqu'à tenir compte de ces facteurs faute de données individuelles suffisantes.

Le processus de caractérisation du bâtiment doit concerner :

- sa **forme** globale, dont la hauteur du plancher du rez-de-chaussée, la présence ou non d'un sous-sol aménagé en espace habitable ou pas;
- la résistance de la **structure** et de la **fondation**, dont leur capacité à résister aux charges hydrostatiques latérales et verticales;
- la capacité de résilience des **matériaux** et **assemblages** entrant dans la composition des murs et des planchers potentiellement atteints par une crue;
- les **systèmes du bâtiment** dont les systèmes mécaniques, électriques et de plomberie essentiels, les ascenseurs, escaliers mécaniques et autres systèmes de transport intérieurs et les mesures d'appoint comme les systèmes de drainage intérieurs;
- les **stratégies de soutien** à l'échelle du bâtiment qui ne sont pas directement liées aux inondations, dont le traitement des surfaces (toit et aménagement paysager) pour gérer les eaux pluviales et les ilots de chaleur.



Unsplash

## 4.3.1. Forme

À l'échelle du bâtiment lui-même, la hauteur du plancher le plus bas s'avère un facteur déterminant dans le processus d'évaluation et de choix de la stratégie d'adaptation. Le premier paramètre à identifier est la **profondeur d'inondation (PI)** ou la hauteur de submersion. La PI est la différence entre la **hauteur d'eau potentielle** ou la **cote de référence** (appelée, aux États-Unis, ***Base Flood Elevation*** – BFE) et la **hauteur du plancher habité le plus bas** d'un bâtiment existant ou à construire dans une zone inondable. Elle ne peut être calculée que si les paramètres de base d'une inondation potentielle sont connus. Il est à mentionner que la BFE, aux États-Unis, correspond à l'élévation d'une inondation qui a 1% de chances d'égaler ou de dépasser ce niveau au cours d'une année donnée. Cette cote de référence est accessible au public sur la Flood Insurance Rate Map (FIRM).

Voir : https://www.fema.gov/flood-maps/coastal/insurance-rate-maps

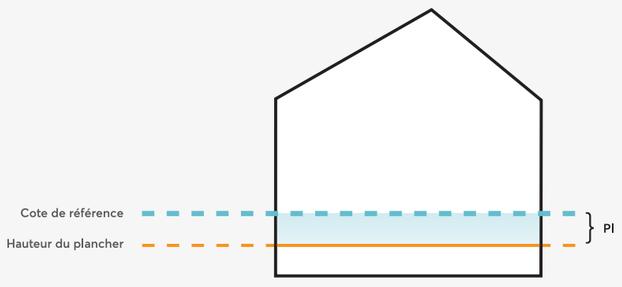



FIGURE 16
Profondeur d'inondation ou hauteur de submersion
© ASFQ

Si le niveau du plancher est inférieur à la hauteur d'eau potentielle (une référence statistique normée), une stratégie d'adaptation aux inondations doit être déterminée. Pour un bâtiment existant, déterminer la meilleure stratégie peut nécessiter un processus itératif, car des enjeux d'accessibilité et de coût doivent être pris en compte (Bowker, Escarameia, et Tagg 2007, 44).

Rappelons que le premier objectif d'une stratégie de gestion du risque d'inondation à l'échelle du bâtiment devrait être d'éviter l'inondation. Donc, si le bâtiment ou le projet de développement ne peut être relocalisé, le risque peut être atténué grâce à l'adoption d'une stratégie d'évitement vertical, c'est-à-dire, en élevant les espaces habités au-dessus de la cote de référence. Pour déterminer l'élévation à laquelle un plancher peut être construit, il faut également additionner, aux États-Unis, une distance verticale supplémentaire à la hauteur d'eau potentielle. Cette distance est nommée ***freeboard*** par la FEMA (Boston 2019, 19) et elle varie d'un secteur à l'autre, allant de quelques pouces jusqu'à quatre pieds au-dessus de la cote de référence. En français, cette notion est traduite par le terme ***revanche hydraulique***. Les stratégies d'évitement verticale sont notamment :

- la construction sur remblais;
- le rehaussement du rez-de-chaussée;
- la relocalisation des espaces de vie à l'étage / l'abandon du RDC et du sous-sol;
- la construction amphibie qui peut se soulever, par flottaison, lors d'une crue;
- l'ajout d'un étage supplémentaire;
- l'élévation sur pilotis;
- l'élévation sur les fondations solides.

Toutefois, lorsqu'il s'agit de rehausser le niveau du rez-de-chaussée, les règlements de construction municipaux deviennent parfois un frein en raison des restrictions sur, par exemple, la hauteur ou le nombre maximal d'étages des bâtiments. L'évitement vertical peut ne pas être possible pour de nombreuses autres raisons :

- le rehaussement sur un remblai pourrait, dans certain cas, accroître le risque d'inondation dans un secteur adjacent;
- la hauteur sous-plafond ne permet pas le rehaussement du plancher à l'intérieur du volume existant;
- le bâtiment, étant donné la manière dont il a été construit (structure et matériaux), ne peut techniquement pas supporter de telles modifications;
- l'abandon d'un étage engendre une perte de superficie habitable et la réduction de la valeur de la propriété;
- l'intégrité d'une construction amphibie peut être compromise par un trop fort débit ou le transport de débris ou de glace se logeant sous le bâtiment;
- le règlement de construction peut ne pas permettre, par exemple, la construction sur pilotis, l'ajout d'un étage, l'élévation sur une fondation solide ou sur un remblai;
- l'accessibilité de plain-pied compromise engendre un enjeu de sécurité publique ou d'accessibilité universelle;
- le projet n'est pas économiquement viable;
- le sol est instable;
- l'action des vagues peut endommager les fondations solides;
- l'esthétique est inacceptable (altération architecturale ou du paysage);
- etc.

Si l'évitement vertical n'est pas possible ou souhaitable, des mesures de résistance et/ou des mesures de résilience à l'échelle du bâtiment doivent être adoptées, et ce, même si des mesures de protection communautaires contre les inondations sont en place. Effectivement, l'histoire montre qu'un risque résiduel demeure. Dès lors, la résistance de la structure et de la fondation, la capacité de résilience des matériaux et des assemblages entrant dans la composition des murs et planchers potentiellement atteints par une crue, la position et la protection en place des systèmes et équipements du bâtiment et les stratégies de soutien à l'échelle du bâtiment doivent être pris en compte. De plus, dans un tel contexte, en France – où l'évitement vertical est rarement privilégié –, l'aménagement d'une sortie de secours située bien au-dessus de la cote de référence ou d'une zone refuge est parfois rendu obligatoire (CALYXIS 2019). Cette mesure est encouragée principalement dans des secteurs menacés par des crues subites. Au Québec, l'aménagement d'une zone refuge pourrait être pertinente dans les zones sujettes aux aléas glaciels (embâcles, débâcles) où le niveau d'eaux peut augmenter subitement.

Voir la fiche « Aménager ou créer une zone refuge » (CALYXIS 2018) :
http://www.bassindulay.fr/uploads/PDF/Kit_autodia_habitations/FICHE%201-%20ZONE%20REFUGE-PPRI.pdf

La figure suivante présente l'ébauche d'un outil d'aide à la décision réalisé à partir de la figure « Design strategies; decision flowchart – Resistance/Resilience » de Bowker, Escarameia et Tagg (2007, 50). Il permet d'évaluer sommairement l'adéquation de stratégies de résistance (ou d'exclusion de l'eau) et d'accueil à une situation donnée, dans les cas où l'évitement de l'inondation n'est pas possible ou souhaitable. Les profondeurs d'inondation (PI) et les hauteurs de plancher quantifiées en mètre – qui sont indiquées à titre indicatif et qui peuvent être modulées en fonction des paramètres d'une inondation donnée – sont le premier critère de ce processus d'évaluation simplifié. Enfin, rappelons qu'une stratégie d'accueil de l'eau n'est pas adaptée aux zones présentant un risque potentiel combinant un débit élevé, un risque d'augmentation rapide des niveaux et une vitesse élevée d'écoulement dangereuse pour la stabilité des bâtiments et la sécurité des personnes.

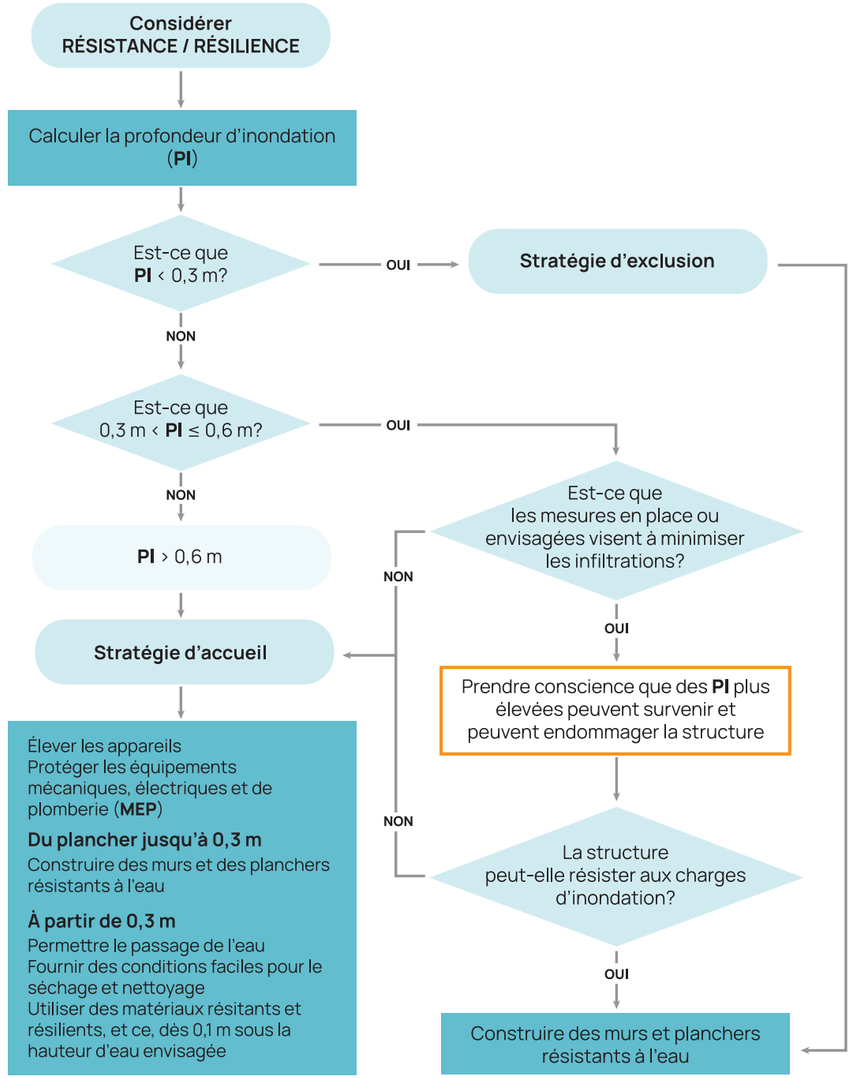



FIGURE 17
Outil d'aide à la décision : Stratégies de résistance (exclusion) et d'accueil
Adaptation de la figure « Design strategies; decision flowchart – Resistance/Resilience » (Bowker, et al. 2007, 50).

## 4.3.2. Structure et fondation

Impérativement, lorsque que la stratégie adoptée implique l'exclusion et/ou l'entrée des eaux de crue dans un bâtiment, sa capacité de résistance aux charges d'inondation doit être évaluée par un ingénieur. Selon Kelman et Spence (2004), les caractéristiques d'une inondation à tenir en compte sont :

- la pression hydrostatique (poussées latérales et verticales);
- l'hydrodynamique (la vitesse du courant, les vagues, les turbulences);
- l'érosion du terrain autour des fondations,
- la poussée verticale globale (capacité d'un aléa à soulever un bâtiment);
- la présence ou non de débris;
- des actions non-physiques (chimiques, nucléaires, sanitaires).

La conception ou la modification des éléments structuraux d'un bâtiment doit assurer des ancrages appropriés pour résister à la flottaison, à l'effondrement ou au mouvement latéral résultant des forces hydrodynamiques et hydrostatiques. Les matériaux structurels utilisés doivent pouvoir résister à l'eau ou aux forces de l'inondation. Les éléments structuraux sont les fondations peu profondes telles que les semelles isolées, les systèmes de fondation profonde comme les pieux, les piliers, les colonnes, les murs de cisaillement, les murs de séparation pour charges d'inondation, etc. Les matériaux structurels sont tous les éléments nécessaires pour assurer le support, la rigidité et l'intégrité d'un bâtiment ou d'un composant, dont la dalle de plancher, les poutres, les sous-planchers, la charpente, les fermes, les panneaux muraux, les poutrelles, les linteaux, etc.

## 4.3.3. Matériaux et assemblages

L'adoption des mesures de résistance et de résilience implique l'utilisation de matériaux et la conception d'assemblages ayant démontré leur bonne performance en situation d'inondation. Un programme d'essais en laboratoire, au début des années 2000, a produit pour la première fois, soulignent Bowker, Escarameia et Tagg (2007, 87), des informations quantitatives de base sur le comportement des matériaux de construction et des assemblages (murs et planchers) lorsqu'ils sont soumis à des conditions d'inondation. Les chercheurs ont ainsi évalué leur « performance globale de résilience ». Les résultats de ces tests réalisés en Angleterre sont disponibles dans *Improving the Flood Resilience of Buildings through Improved Materials, Methods and Details – Report no. WP5C Final report* (CIRIA 2006). Dans ce rapport, le concept de « résilience », en ce qui concerne les matériaux de construction et les méthodes de construction des murs et planchers, est basé sur trois paramètres (2006, 128) :

- la capacité des matériaux et assemblages à minimiser la pénétration de l'eau (ou l'imperméabilité);
- la capacité de séchage des matériaux et assemblages;
- la capacité des matériaux et assemblages à maintenir leurs dimensions d'origine et leur intégrité structurelle (ou la stabilité).

La FEMA, aux États-Unis, a ensuite publié, en 2008, une liste exhaustive de matériaux de construction en lien avec leur performance en condition d'inondation et leur usage pour, d'une part, les planchers et, d'autre part, les murs et plafonds (FEMA 2008a, 7-11).

Voir : https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_tb_2_flood_damage-resistant_materials_requirements.pdf



Shutterstock

Le tableau suivant présente une cote de performance des matériaux telle que déterminée dans le rapport du CIRIA produit en 2006. Les matériaux listés sont également utilisés dans la construction au Québec.

| | MATÉRIAUX | Imperméabilité | Capacité de séchage | Stabilité | Performance globale de résilience |
|---|---|---|---|---|---|
| Briques | Briques d'ingénierie | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Briques de parement | ● | ● | ✓ | ● |
| | Briques artisanales | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Blocs | Béton (3, 5N, 7N) | ✗ | ● | ✓ | ● |
| | Aircrete | ● | ✗ | ✓ | ● |
| Panneaux | OSB2, 11 mm | ● | ✗ | ✗ | ✗ |
| | OSB2, 18 mm | ● | ✗ | ✗ | ✗ |
| | Gypse, 9 mm | ✗ | ■ | ✗ | ✗ |
| Mortiers | 1 : 3 (ciment : sable) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 1 : 6 (ciment : sable) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Isolants | Fibre minérale | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| | Soufflé | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| | Mousse PU rigide | ● | ● | ✓ | ● |
| LÉGENDE | | Bonne ✓ | Moyenne ● | Pauvre ✗ | Pas évalué ■ |

TABLEAU 5
Performance de résilience des matériaux
Adaptation des tableaux 11.1 et 11.3 du rapport du CIRIA (2006, 129, 133-134)

En ce qui a trait à la conception des assemblages et composants architecturaux, il est souligné dans le rapport de la CEPRI que la spécification et l'utilisation de matériaux jugés « bons » pour la face externe des murs est une étape importante vers l'obtention de la résilience, car ceux-ci constituent la première barrière contre l'inondation (2006, 130). Dès qu'une stratégie d'accueil de l'eau est envisagée, la conception des composants architecturaux devient cruciale. Barsley (2020, 234-43) explique et illustre comment les planchers et les murs intérieurs et extérieurs doivent être conçus. Il fait, pour chacun des composants, des recommandations sur deux aspects au minimum : leur positionnement et leur composition matérielle. Parfois, il ajoute des recommandations sur l'ajout d'équipements de soutien. Il est notamment question :

- de la construction du drain français;
- de l'utilisation des membranes d'étanchéité;
- des types de matériaux isolants;
- des éléments en maçonnerie;
- de la conception et la finition des murs intérieurs;
- de la conception et du recouvrement des planchers.

Par exemple, pour un plancher fini en bois ou en stratifié, Barsley (2020, 243) recommande :

- **Position :** ajouter un espace entre les planches pour permettre un certain gonflement;
- **Position :** rehausser le plancher pour minimiser l'exposition des matériaux;
- **Matériaux :** choisir des matériaux peu poreux (bois franc, tuiles scellée);
- **Matériaux :** traiter le parquet avec un scellant pour minimiser les infiltrations d'eau;
- **Matériaux :** ajouter des contreventements supplémentaires pour limiter le gauchissement;
- **Matériaux :** favoriser un revêtement pouvant être enlevé et réinstallé;
- **Équipement :** installer des évents automatiques et un système de pompe pour limiter la surface atteinte par l'eau.

## 4.3.4. Systèmes du bâtiment et systèmes de soutien

Tous les systèmes mécaniques, électriques et de plomberie (MEP) d'un bâtiment construit en zone inondable doivent être protégés en place ou élevés au-dessus de la cote de référence de submersion. S'ajoute la protection des réservoirs d'hydrocarbures qui soulèvent par ailleurs des enjeux de sécurité civile. Plusieurs de ces mesures sont bien connues au Canada et elles sont de plus en plus adoptées. Plusieurs documents d'information ont été produits, notamment par le Centre Intact d'adaptation au climat et par l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques, deux centres de recherche appliquée basés en Ontario. Voir point 2.1 de ce document.

Outre ces mesures de base, surtout dans le cas où des stratégies de résistance et d'accueil sont adoptées, d'autres mesures spécifiques concernent les systèmes des bâtiments. Selon le chapitre 7 (*Attendant Utilities and Equipment)* de l'*ASCE 24-14*, tous les systèmes mécaniques, électriques et de plomberie (MEP) installés sous l'élévation de la crue de référence devraient être placés dans des enceintes étanches et ancrés adéquatement pour résister aux forces hydrostatiques latérales et forces de soulèvement causées par de l'eau stagnante ou en mouvement lent au-dessus de la surface du sol, aux forces hydrodynamiques provenant du courant à vitesse modérée ou de courants rapide et, aussi, de l'action des vagues et aux forces d'impact causées par des débris flottants ou la glace en dévalaison.

Quant aux systèmes de soutien, à l'échelle du bâtiment et de son enceinte, il s'agit d'encourager la création de toitures vertes et de murs végétalisés, l'utilisation de revêtements de sols perméables, des jardins de rétention et l'installation de citernes pluviales (Barsley 2020, 122-26; Boston 2019, 58-61). L'impact de ces mesures locales peut se mesurer surtout à l'échelle du quartier si leur usage y est généralisé. Ainsi, diverses infrastructures vertes peuvent contribuer à minimiser les apports en eaux pluviales aux systèmes de drainage publics, ce qui permet d'éviter une surcharge menant à des refoulements (mise en charge des conduites) qui peuvent affecter les bâtiments non-protégés par des clapets anti-retour[2].

2 La gestion des eaux pluviales dépasse le cadre de ce rapport. Pour plus d'information à ce sujet, consulter « La gestion durable des eaux de pluie : Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable », rédigé en 2010 par Isabelle Boucher pour le Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire du Gouvernement du Québec. https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_complet.pdf

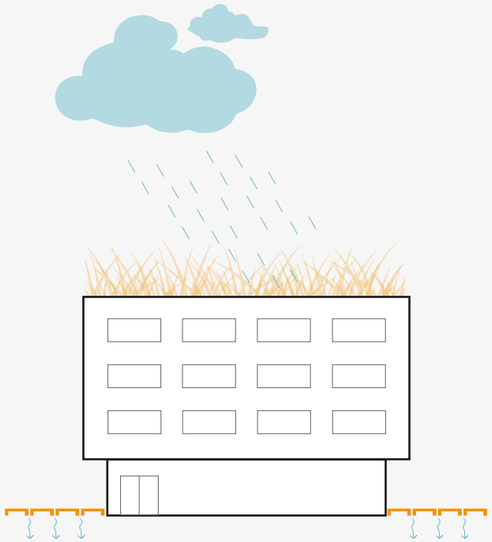


FIGURE 18
Exemples de systèmes de soutien à l'échelle du bâtiment :
toit vert, recouvrement de sol perméable, mur végétalisé, réservoir pluvial
© ASFQ

# Recommandations relatives à l'évaluation des mesures d'adaptation

### Recommandation 5

Encourager le développement d'outils de diagnostic technique de la vulnérabilité des bâtiments.

L'outil de diagnostic technique de la vulnérabilité des bâtiments serait à la fois un outil pour les professionnels de la construction et un document facilitateur pour les inspecteurs. Il devrait prendre en compte les autres paramètres de base d'un aléa – autres que la simple hauteur de submersion – dont le type d'inondation et la vitesse de courant. Aussi, il devrait considérer les paramètres de résilience du bâtiment lui-même, dont l'état de ses fondations, les caractéristiques des différentes ouvertures et leur position, les matériaux de finition et ceux d'isolation, les dispositifs de protection en place, la position des systèmes mécaniques et électriques, etc.

### Recommandation 6

Encourager les projets visant la classification des matériaux de construction selon leur performance de résilience.

Tout comme les matériaux sont classifiés pour leur résistance au feu, il serait pertinent de développer une classification des matériaux en fonction de leur degré d'imperméabilité, leur capacité de séchage et leur stabilité en cas de contact avec l'eau. La réalisation d'un tel projet qui contribuerait à la résilience de son territoire aux inondations est souhaitable. Cette classification justifierait également l'achat de matériaux ayant des performances supérieures et contribuerait à la réduction des coûts de réparation à la suite d'un sinistre et à la diminution des rebuts.



Shutterstock

# 5. Vers un futur cadre réglementaire

Pour aborder les questions liées à la faisabilité réglementaire, à la modification du cadre réglementaire et aux modalités d'intégration des mesures de résilience aux différents dispositifs régissant la construction en zone inondable, ce chapitre présente un aperçu du cadre réglementaire et des normes en vigueur au Québec; des travaux qui ont contribué à la modernisation des politiques à l'étranger; et une courte sélection de projets architecturaux innovants qui ont vu le jour grâce à la modernisation de politiques de planification de la construction en zones inondables.



Unsplash

# 5.1. Cadre réglementaire et les normes en vigueur au Québec

Le cadre réglementaire et les normes en vigueur influencent le choix de la stratégie d'adaptation à l'échelle du bâtiment. Ceux-ci concernent la forme et l'implantation du bâtiment, son intégration architecturale, son accessibilité, sa résistance au froid et au feu, et des normes liées à des enjeux environnementaux.

Au Québec, tel que mentionné sur le site de la Régie du bâtiment du Québec (RBQ), « la réglementation qui s'applique aux travaux résidentiels relève des municipalités », alors que la construction de bâtiments destiné à l'usage public relève de la réglementation adoptée par la RBQ. La RBQ s'assure non seulement de la qualité des travaux de construction par le biais du ***Code de construction***, elle s'assure également de la sécurité du public grâce au ***Code de sécurité***, un outil qui s'adresse plus spécifiquement aux propriétaires des bâtiments, des équipements et des installations publiques.

Voir : https://www.rbq.gouv.qc.ca/vous-etes/citoyen/construire-ou-renover/effectuer-les-travaux-soi-meme/normes-de-construction.html
Voir : https://www.rbq.gouv.qc.ca/lois-reglements-et-codes/code-de-construction-et-code-de-securite.html

Sur le site internet du MAMH, il est mentionné que le ***Code de construction du Québec*** est un outil législatif qui concerne « tous les travaux de construction d'un bâtiment, à un équipement destiné à l'usage du public ». Il a pour objet, d'une part, d'assurer la qualité des travaux de construction d'un bâtiment destiné à l'usage du public et, d'autre part, d'assurer la sécurité du public qui a accès audit bâtiment. En ce sens, à titre d'exemple, l'accessibilité des maisons ne constitue pas un enjeu réglementaire par rapport au Code (voir section 3.8.2 du Code) qui ne réglemente que l'accessibilité des lieux publics. De plus, le *Code de construction du Québec* n'offre actuellement pas de directives spécifiques sur les méthodes de construction ou sur les détails des bâtiments types pour améliorer la résistance aux inondations ou leur capacité de résilience. En fait, il n'est pas écrit dans l'optique de permettre l'accueil de l'eau. Le Code de construction du Québec ne présente pas de section portant sur la performance des matériaux et des assemblages adaptés aux inondations. Le sujet de l'eau n'est abordé qu'à la marge pour la gestion de l'humidité.

Quant au **règlement de construction** – propre à chaque municipalité – toujours sur le site du MAMH, il est écrit qu'il sert à « adopter des normes supérieures ou portant sur des bâtiments ou des éléments non visés par le *Code de construction du Québec* ». Aussi :

> *Il permet à une municipalité d'assujettir les bâtiments auxquels le Code de construction du Québec ne s'applique pas (p. ex. bâtiment résidentiel de huit logements et moins construit sur deux étages et moins; résidences privées de neuf chambres et moins pour personnes âgées.*

Voir : https://www.mamh.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/reglementation/reglement-de-construction/

Ces règlements ne sont toutefois pas uniformisés à l'échelle du Québec. Par exemple, la définition de ce qu'est une fondation varie d'une municipalité à l'autre, ce qui a un impact sur les options disponibles d'adaptation aux inondations. Selon les règlements de construction de certaines municipalités, un bâtiment principal doit reposer sur des fondations continues avec empattements, par exemple, d'au minimum de 25 centimètres d'épaisseur et à au moins 1,2 mètre de profondeur. Dès lors, la construction sur pieux vissés ou pilotis n'est pas admise sauf, parfois, pour la réalisation d'un agrandissement du rez-de-chaussée de plus de 20 mètres carrés et moins, selon les cas. En somme, le fait de vouloir construire mieux en zone inondable au Québec entraîne son lot de défis, sur le plan réglementaire, pour les propriétaires et les développeurs. Si, dans certains cas, une Municipalité peut permettre de tel projet suivant la démonstration par simulation, par exemple, de l'efficacité énergétique d'une construction rehaussée sur des pilotis, il demeure possible que le projet ne puisse être réalisable pour des raisons autres, dont d'intégration architecturale.

De plus, l'écriture des règlements de construction suggère généralement de manière implicite qu'une maison unifamiliale soit dotée d'un sous-sol. Or, la littérature sur l'adaptation des bâtiments aux inondations exclut implicitement la présence du sous-sol aménagé et habité. Dans l'ensemble des documents consultés sur l'adaptation des bâtiments aux États-Unis, en France et au Royaume-Uni, l'utilisation des zones sous la cote de référence doit uniquement servir pour le stationnement et le stockage. Le remplissage du sous-sol est d'ailleurs une stratégie proposée dans le guide de Boston (2019, 67, 71).

Soulignons toutefois que la PPRLPI est appliquée par le biais des **règlements de zonage** des municipalités ou MRC et non par les règlements de construction. Les municipalités ont donc l'obligation de reprendre dans leur réglementation de zonage les zones inondables identifiées au schéma d'aménagement et de développement de sa MRC, ainsi que les normes minimales prescrites par la PPRLPI qui y sont applicables. Ainsi, dans les municipalités concernées par les inondations, les règlements de zonage intègrent le texte de l'annexe 1 de la PPRLPI. Rappelons également qu'en date du 25 mars, est entrée en vigueur la loi n°67 « instaurant un nouveau régime d'aménagement dans les zones inondables des lacs et des cours d'eau, octroyant temporairement aux municipalités des pouvoirs visant à répondre à certains besoins et modifiant diverses dispositions ».

Plus plus d'informations, consulter : http://m.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/projets-loi/projet-loi-67-42-1.html

Certaines municipalités ont engagé le processus de modernisation du cadre réglementaire régissant la construction dans les zones inondables et détaillant davantage les mesures d'adaptation en fonction de la zone de récurrence. Notamment, il est stipulé dans le « Document complémentaire » du *Projet de schéma d'aménagement et de développement révisé* (PSADR) de la MRC Deux-Montagnes (2019) que des constructions, ouvrages et travaux bénéficiant de mesures d'immunisation différentes de celles énoncées dans la PPRLPI peuvent être jugées suffisantes dans les zones de récurrence 20-100 ans si le projet, entre autres critères, assure la sécurité des personnes, la protection des biens, l'écoulement naturel des eaux et l'intégrité de ces territoires en évitant le remblayage. De plus, une évaluation des coûts économiques, et également celle des coûts sociaux et environnementaux associés à la réalisation du projet devront être réalisées pour démontrer la pertinence du projet.

En ce qui a trait à la zone de récurrence 0-20 ans, toujours dans le « Document complémentaire » du PSADR de la MRC Deux-Montagnes, il est prévu, par exemple :

- qu'aucun ajout de nouvelles installations mécaniques ou électriques (chauffage, ventilation, réservoir d'eau, etc.) sous le niveau de la cote d'inondation centennale puisse être réalisé lors de la modification des caractéristiques structurales ou techniques du vide sanitaire ou du sous-sol d'une construction existante;

- qu'aucun nouveau plancher, ouverture ou pièce habitable ne soit localisé sous la cote d'inondation centennale.

La mesure empêchant l'ajout de nouvelles installations mécaniques ou électriques sous le niveau de la cote d'inondation centennale est tout à fait valable. Quant à la seconde mesure, elle pourrait être modulée de manière à permettre l'innovation. Par exemple, des projets d'architecture amphibie ou de construction résiliente devraient être autorisés – tout en étant encadrés – afin de développer les connaissances et de mettre à l'épreuve des stratégies d'adaptation nouvelles.

En somme, il serait essentiel de mieux réglementer la construction dans les zones inondables afin d'augmenter la capacité de résilience du cadre bâti aux inondations en visant la réduction des dommages et du temps de rétablissement en cas d'aléa. Une nouvelle politique de planification en zone inondable devrait également contribuer à mieux protéger les propriétaires actuels et les futurs acheteurs et réduirait la pression sur les services d'intervention d'urgence en cas de sinistre. Par exemple, l'aide financière aux sinistrés pourrait être conditionnelle à l'adoption de certaines mesures. Catherine Perras[3], conseillère en aménagement et urbanisme à Vivre en ville, a soulevé, à la suite d'une étude portant sur la reconstruction et le réaménagement de plaines inondables touchées par d'importantes crues, que certains propriétaires pouvaient recevoir une aide pour réparer à l'identique. Un tel mécanisme ne contribue pas à réduire la vulnérabilité des bâtiments et de leurs occupants. De plus, l'ampleur des conséquences risque d'augmenter si un tel événement se reproduisait, étant donné l'augmentation probable de la valeur de la propriété rénovée.

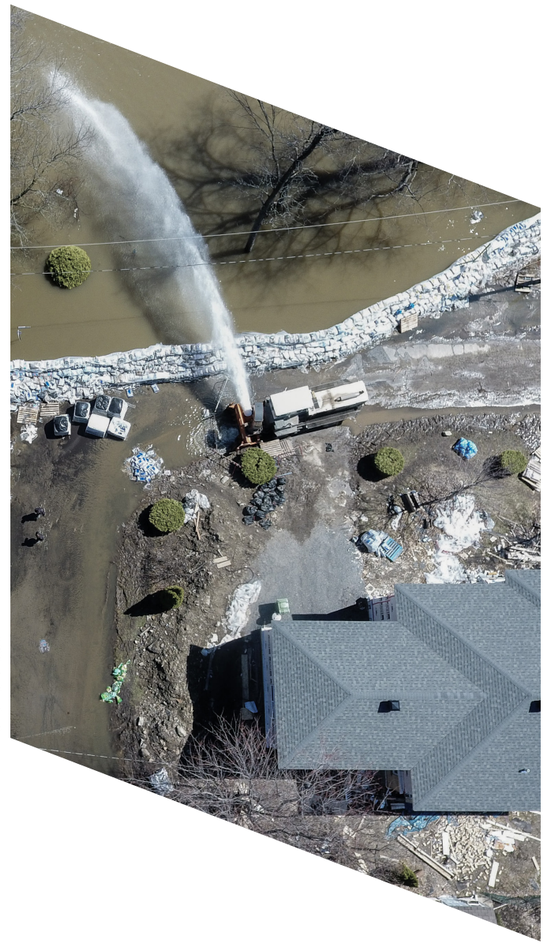
En ce sens, il faudrait que le Québec et le Canada se dotent de politiques porteuses de grands changements, elles-mêmes intimement liées à une stratégie de financement robuste et durable. C'est d'ailleurs un point soulevé dans le rapport ***Force, résilience et durabilité : Recommandations du secteur de la construction du Canada sur les mesures d'adaptation au changement climatique*** de l'Association canadienne de la construction (ACC), publié en mars 2021. On y souligne, entres autres actions à prendre - non exclusivement liées à l'adaptation des bâtiments aux inondations, mais bien à l'adaptation, en général, au changement climatique :

> *Mettre à jour les normes et les règlements à mesure que des matériaux et des approches sont mis à l'essai pour en éliminer les risques, de sorte que les pratiques exemplaires soient intégrées aux normes actualisées qui régissent et orientent les méthodes de construction des infrastructures au Canada. Il s'agit ici d'une responsabilité conjointe des gouvernements et de l'industrie (ACC 2021 3).*

Enfin, il serait également de la responsabilité de chacun des ordres de gouvernements, toujours selon l'ACC (2021 4), « que l'approvisionnement et la conception de projet cadrent dans la vision nationale de la résilience des infrastructures ».

Pour consulter le rapport complet de l'ACC, voir : https://www.cca-acc.com/wp-content/uploads/2021/03/Force-résilience-et-durabilité-FR.pdf

3 Catherine Perras a souligné ce point lors d'une conversation avec Élène Levasseur à l'automne 2020.



Shutterstock

# 5.2. Modernisation des cadres réglementaires à l'international

Dans le rapport *Improving the Flood Performance of New Buildings : Flood Resilient Constructions* pour le DEFRA, Bowker, Escarameia et Tagg (2007, 35) soulignent les principaux objectifs de la politique de planification en zone inondable qui gère l'application des mesures de résilience en Angleterre. Les objectifs de la politique étaient, en 2007 :

- Assurer que le risque d'inondation est pris en compte à toutes les étapes d'un projet de développement;
- Clarifier les types de développement qui peuvent être construits dans des zones présentant une gamme de risques d'inondation afin d'éviter un développement inapproprié;
- Offrir aux communautés des moyens pour restaurer et sauvegarder les plaines inondables;
- Promouvoir plus d'espaces verts et des systèmes de drainage durables dans les zones urbaines;
- Veiller à ce que les nouveaux développements prennent en compte les changements climatiques et n'augmentent pas les inondations ailleurs.

Un rôle clé de la politique de planification en zone inondable en Angleterre était alors de garantir que le risque d'inondation soit pris en compte à l'échelle territoriale, en plus de réglementer toutes les mesures prises pour réduire le risque d'inondation ou le risque résiduel. Toutefois, aucun objectif ne concernait spécifiquement la prémunition des bâtiments. Suite aux importantes crues de l'été 2007, Michael Pitt a été mandaté par le Gouvernement du Royaume-Uni pour émettre des recommandations pour guider la modernisation des cadres réglementaires encadrant la construction en zone inondable. Il a formulé, en 2008, quatre-vingt-douze recommandations classées selon sept catégories :

1. **(Partie 2)**
   Mieux prévoir les inondations
2. **(Partie 3)**
   Mieux planifier et réduire le niveau de risque d'inondation
3. **(Partie 4)**
   Secourir et offrir des soins en cas d'urgence
4. **(Partie 5)**
   Maintenir l'approvisionnement en électricité et en eau; protéger les services essentiels
5. **(Partie 6)**
   Mieux conseiller et aider les gens à protéger leur famille et leur maison
6. **(Partie 7)**
   Rétablissement
7. **(Partie 8)**
   Supervision, mise en œuvre des recommandations et prochaines étapes

Le rapport *The Pitt Review – Learning Lessons from the 2007 Floods* est ainsi un jalon important dans la modernisation de la politique de gestion des risques d'inondation et, spécifiquement, en ce qui a trait pour la conception de la résilience du bâti aux inondations au Royaume-Uni. Au chapitre 5 intitulé « Building and planning » de la Partie 3, cinq recommandations concernent davantage le propos du présent rapport. Celles-ci, ici librement traduites, valent d'ailleurs pour la situation actuelle du Québec et méritent d'être considérées :

- **R-7 :** Il devrait y avoir une présomption contre la construction dans les zones à haut risque d'inondation […], en tenant compte de toutes les sources de risque d'inondation et en veillant à ce que les promoteurs contribuent pleinement aux coûts de construction et d'entretien des défenses nécessaires.
- **R-9 :** Les propriétaires ne devraient plus avoir le droit d'installer des revêtements de sol imperméables sur leur terrain avant et les instances gouvernementales devraient se concerter en vue d'étendre le règlement aux jardins arrières et aux locaux commerciaux.
- **R-11 :** Les règlements de construction devraient être révisés pour garantir que tous les bâtiments neufs ou rénovés dans les zones à haut risque d'inondation soient résistants ou résilients aux inondations.
- **R-12 :** Toutes les autorités locales devraient étendre l'admissibilité aux subventions et aux prêts pour l'amélioration de l'habitat afin d'inclure des produits de résistance aux inondations et de résilience pour les propriétés situées dans les zones à haut risque d'inondation.
- **R-13 :** Les autorités locales […] devraient encourager la prise en charge de la résistance et de la résilience des propriétés aux inondations par les entreprises.

Pour consulter le rapport complet, voir : https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100812084907/http://archive.cabinetoffice.gov.uk/pittreview/_/media/assets/www.cabinetoffice.gov.uk/flooding_review/pitt_review_full%20pdf.pdf

En France, le CEPRI a publié en 2017 le rapport *La réalisation d'opérations d'aménagement résilientes aux inondations : qui gagne quoi ?* Ce document est un outil destiné aux gestionnaires pour les guider dans l'élaboration d'un plan d'action vers la résilience du bâti aux inondations. Par exemple, des obstacles à la réalisation de projets en zone inondable sont énoncés et des stratégies pour les surmonter sont avancées. Parmi les freins identifiés, outre les considérations techniques de la conception de projet résilients ou résistant aux inondations, on nomme les questions de responsabilités associées à la maîtrise foncière, le coût des aménagements résilients et l'opposition de principe au fait de construire dans une zone inondable, et ce, bien que la réglementation française le permette. Au sujet de cette opposition face aux projets innovants et résilients en zone inondable, les auteurs concluent avec une proposition qui remet en question les politiques et les institutions qui désapprouvent le développement des zones inondables :

> *[…] l'objectif consisterait a minima à imposer une diminution de la vulnérabilité du secteur de projet concerné : fixer des conditions de résilience élevées dans les zones aujourd'hui constructibles, définir des contreparties dans le cas d'une zone aujourd'hui inconstructible mais déjà urbanisée et vulnérable (par exemple modalités de gestion de crise, exigence sur l'information aux bons comportements des nouveaux habitants,…). (CEPRI 2017)*

Pour consulter le rapport complet, voir :
https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/Rapport_Qui_gagne_quoi.pdf

Aux Pays-Bas, Tom Raadgever et Dries Hegger ont contribué, avec d'autres auteurs, à plusieurs articles et un ouvrage qui informent sur les bonnes pratiques en matière de gouvernance du risque d'inondation (Hegger et al. 2016; Raadgever et Hegger 2018; Hegger et al. 2020). Dans un contexte où le risque d'inondation dans les pays européens augmente en raison de l'urbanisation et des effets des changements climatiques, les auteurs se sont intéressés à la diversification de stratégies de gestion de ce risque dans le cadre du projet STAR-FLOOD chapeauté par le *Programme-cadre* de 2007-2013, de l'Union Européenne, pour la recherche et le développement technologique. Le projet visait à examiner des stratégies pour faire face aux risques d'inondation dans 18 régions urbaines vulnérables de 6 pays européens : Angleterre, Belgique, France, Pays-Bas, Pologne et Suède. STAR-FLOOD s'est concentré sur les aspects de gouvernance, d'un point de vue administratif et juridique combiné, dans le but de dégager des principes pour une gouvernance appropriée et résiliente des risques d'inondation.

Si l'article publié en 2020 se concentre sur les stratégies française, anglaise et néerlandaise, le rapport publié en 2018 traite de l'ensemble des stratégies examinées. Outre les traditionnelles stratégies de défense contre les inondations, Raadgever et Hegger se sont intéressés à la diversification des stratégies de planification spatiale proactive, d'atténuation des inondations, de préparation face aux inondations et de rétablissement qui ont été implantées ou sont en voie de l'être. Selon eux, bien que la gestion des risques d'inondation en Europe se soit traditionnellement concentrée sur la stratégie de défense contre les inondations, il est de plus en plus reconnu qu'il faut également se préparer à accueillir les inondations et ce, de différentes manières selon les particularités environnementales et culturelles de chaque lieu. Dans leur étude, ils ont d'ailleurs relevé des obstacles à la diversification des stratégies d'adaptation à l'échelle du bâtiment (éviter, résister, accueillir) :

- le manque de ressources intimement lié au manque d'investissements dans la gouvernance des risques d'inondation;
- les engagements pris dans le passé en faveur de stratégies de défense contre les inondations qui rendent une diversification vers d'autres stratégies moins probable et moins souhaitable;
- le discours de la « sécurité d'abord » qui a tendance à renforcer la logique dominante de la défense contre les inondations (Raadgever et Hegger 2018 29-30).

En ce qui a trait plus spécifiquement à la gouvernance liée à la mise en œuvre des stratégies de résilience des bâtiments aux inondations, les auteurs remarquent que ce domaine devrait être traité plus en détail dans des études subséquentes (Raadgever et Hegger 2018, 68). Cela dit, selon les auteurs, une combinaison optimale de stratégies doit être adaptée au contexte physique et sociétal et doit être également basée sur des priorités politiques (Raadgever et Hegger 2018, xvi). Ces stratégies peuvent être évaluées selon trois objectifs ultimes de la gestion des risques d'inondation : la résilience, l'efficacité et la légitimité. Raadgever et Hegger soulignent qu'un des potentiels d'amélioration les plus importants des politiques de planification et de gestion des plaines inondables réside dans les critères d'équité sociale, de participation publique et d'acceptabilité (2018 58-59).

Dans un ordre similaire d'idées, le rapport du DEFRA intitulé *Supporting the uptake of resilient repair in the recovery process (FD2706)* (Lamond et al. 2019), les auteurs suggèrent que le fait d'avoir une meilleure compréhension (partagée par toutes les parties) de l'ensemble du processus avant les travaux de réparation ou de rénovation pourrait conduire à une meilleure intégration de mesures de résilience et d'adaptation aux inondations. La construction d'une relation de confiance entre les parties est aussi essentielle, tout comme l'acceptation, par les assureurs, des mesures de résilience, dans l'éventualité où des mesures ou des orientations de résilience plus flexibles et largement applicables étaient incluses dans les codes et règlements de construction.

Enfin, le rôle des décideurs est essentiel dans tout projet d'aménagement en zone inondable, tel que relevé par Rode, Gralepois et Daniel-Lacombe (2018) dans le cadre d'une étude transversale de quatre projets d'aménagement urbain développés en zone inondable constructible en France : le quartier Rives de Maine à Angers, le quartier Berges de la Robine à Narbonne, le quartier de l'Eure St-Nicolas au Havre et le quartier Matra à Romorantin. Selon les auteurs, les services de l'État ont notamment pour mission :

> *[…] d'élaborer la règle (à travers l'élaboration des Plans de Prévention des Risques d'Inondation) et de s'assurer de son respect. Mais ils doivent aussi faire preuve d'une capacité à intégrer la logique de projet comme un espace-temps propice à une vraie réflexion sur l'intégration du risque d'inondation dans un projet d'aménagement global, c'est-à-dire une opportunité pour inventer des solutions en faveur d'une ville plus résiliente plutôt que comme un simple lieu d'application d'une règle pensée comme intangible. (2018 39)*

Voir en complément les vidéos où l'architecte Eric Daniel-Lacombe présente le projet de Matra et où est souligné les responsabilités de l'État dans la mise en oeuvre de projets d'adaptation aux inondations :
https://vimeo.com/196294514 + https://vimeo.com/196298717

# 5.3. Innovation par le projet d'architecture





FIGURE 19
La Cité Fluviale de Matra, Romorantin-Lanthenay, France
© E D-L, Architecte





FIGURE 20
La Cité Fluviale de Matra pendant l'inondation de 2015
© E D-L, Architecte

Grâce à un assouplissement des règles et à la collaboration des services de l'État, le projet *La Cité Fluviale de Matra* de l'architecte Eric Daniel-Lacombe, a pu voir le jour à Romorantin-Lanthenay, en France. Le projet de métamorphose d'un site industriel de 6 hectares débuté en 2006 a été pensé pour résister aux crues centennales. Ces qualités de résilience ont été soulignées lorsque l'équipe du projet s'est mérité le grand prix d'aménagement 2015, en France, *Comment mieux bâtir en terrains inondables constructibles*? Par ailleurs, en 2016, le projet urbain a été victime de crues qui ont dépassé toutes les prévisions disponibles à ce moment (Vincendon 2016). Le projet a ainsi démontré ses qualités de résilience. Le quartier a ensuite été nettoyé en deux jours grâce à un effort collectif des habitants et des pompiers. Sur le site internet d'Eric Daniel-Lacombe, architecte, il est écrit :

> *L'aménagement des sols et des voiries suivant le plan d'urbanisme que nous avons proposé a permis de réduire l'emprise des bâtiments industriels tout en valorisant leur présence par des équipements publics (la fabrique et la porte). Ils ont aussi permis de créer un ensemble résidentiel (résidence pour personnes âgées « la muraille » et logements sociaux) protégé des risques d'inondation. Si la crue venait à dépasser les cotes d'alerte, le parc public (le jardin de Sologne) sert alors d'alerte visuelle et de bassin de rétention. Le quartier a montré ses qualités de résilience lors des inondations du mois de mai 2016 (hauteurs d'eau supérieures aux plus hautes eaux jamais connues) avec des dégâts minimums alors que d'autres quartiers ont été noyés sous 1,50 m d'eau pendant une semaine.*
>
> *[…] Les appartements des « logements frondaisons » sont tous ouverts sur le parc ouvrant un nouveau lit à la Sauldre en temps d'inondation mais freinant son impétuosité, et les maisons, en forme de « bateau lavoir », s'ouvrent sur la rivière. Presque tous les habitants peuvent donc observer la montée des eaux, comme l'on regarde avec un sentiment d'abri, la tempête, et ainsi s'ouvrir à une nouvelle attention pour la nature en mouvement.*

Voir : https://www.edl-architecte.com/matra

Ce projet démontre que la résilience d'un bâtiment ne doit jamais être traitée en silo à l'échelle de l'ouvrage lui-même. Il est recommandé de travailler de manière intégrée, en tenant compte des autres échelles d'aménagement concentriques et des stratégies de soutien qui peuvent être mises en œuvre à chacune d'elle pour atténuer les impacts finaux sur le bâtiment. Bien que des bâtiments puissent être prémunis face aux inondations, il faut penser la résilience des milieux bâtis à des échelles plus vastes.

En lien avec cette réalisation et l'expertise qu'il a développée, Daniel-Lacombe propose, dans un article publié dans le journal *Le Monde* en 2018, plusieurs principes d'action à court, moyen et long terme, pouvant favoriser l'essor de tels projets :

> ***À court terme**, il pourra s'agir, pour chacun des villages, de diagnostiquer la dynamique potentielle de l'inondation (de la crue éclair à l'inondation lente) et de fournir un service gratuit d'alerte météo; de protéger les infrastructures d'alimentation en énergie, eau et communication, ainsi que les infrastructures d'évacuation des déchets et les accumulations de polluants (industrie, élevage, station d'épuration), sources de risque en aval. On pourra également mettre à disposition des habitants un programme d'aide à l'adaptation des logements dans les zones à risque élevé, afin d'assurer des conditions de vie et/ ou d'évacuation décentes en période d'inondation, et créer, près des secteurs concernés, des lieux d'accueil et de soin pour les personnes contraintes de quitter leur domicile, et lancer des exercices annuels d'évacuation complète. (Daniel-Lacombe 2018).*

Au sujet de lieux d'accueil et de soin pour les personnes contraintes de quitter leur domicile - dispositif nommé par Daniel Lacombe-, présentons en exemple le cas de l'extension de l'École Saint-Vincent-de-Paul, sur la Presqu'île d'Ambès en France - un projet chapeauté par Bordeaux Métropole. Les membres de l'équipe multidisciplinaire[4] mandatés par Bordeaux Métropole ont été chargés de concevoir l'extension de l'école primaire existante comme une zone refuge pouvant accueillir 130 personnes la nuit et plus de 200 le jour. Parmi les mesures adoptées, soulignons d'abord que les nouveaux planchers ont été conçus au-dessus de la cote du seuil d'inondation prescrit. Le bâtiment possède également une certaine capacité d'autonomie énergétique et en eau potable, et ce, même en temps de crise diluvienne. Mentionnons de plus : l'isolement de l'installation électrique dans l'extension (pour maintien du fonctionnement en cas de coupure générale); la mise en place d'un groupe électrogène sur le toit du nouveau bâtiment; la création d'un système de chauffage électrique complémentaire dans les salles d'accueil; la création d'un palier en façade sur cour pour recevoir des toilettes sèches (Bordeaux-Métropole 2019, 2018).

En ce qui concerne les actions **à moyen terme**, Daniel-Lacombe (2018) suggère, toujours dans le journal *Le Monde*, qu' il serait essentiel d'agir de manière à « ralentir la dynamique des inondations en fonction du contexte géographique et hydrologique (bassins de rétention, zones d'épandage, perméabilisation des sols en plaine, conservation des eaux de ruissellement de tout nouvel aménagement) ». En ce qui concerne les mesures à envisager **à long terme**, Daniel-Lacombe imagine une transformation profonde des environnements bâtis en ce qu'il appelle « un nouvel habitat-paysage ». Il parle en termes de « transparence hydraulique »[5], ce qui se traduit, à l'échelle du bâtiment, par :

- la conception de rez-de-chaussée pouvant être inondé – ce qui serait rendu possible par l'adoption de stratégie d'accueil des eaux de crues;
- l'aménagement des espaces de vies aussi haut que possible au-dessus des cotes de référence;
- la démolition progressive des maisons très vulnérables.

Daniel-Lacombe (2018) propose également « le développement des passerelles légères de communication à partir des étages des maisons vers une zone d'accueil ». Cette mesure ne peut effectivement pas être adoptée dans des quartiers et villages québécois moins denses que la ville européenne. Toutefois, une telle mesure pourrait être envisagée dans des centres historiques plus denses. Barsley, dans son ouvrage publié en 2020, mentionne par ailleurs cette manière de faire. Il propose qu'à l'échelle de la communauté des stratégies puissent être développées pour assurer la circulation des piétons en cas d'inondation. Ces stratégies peuvent être temporaires, semi-permanentes ou permanentes (2020, 186-187). Barsley a mis en image une option permanente dans le court métrage *Retrofitting Resilience : A Soundscape Exploration of Existing/Adapted Flood Risk Scenarios.*

Voir : https://www.retrofittingresilience.com/
Voir : https://www.youtube.com/watch?v=JTcjaDSsnO8&feature=emb_title

Ce genre de dispositif pour les piétons existe à Leutesdorf (Allemagne Land Rhénanie-Palatinat). Uniquement ouvertes en cas d'inondation, des passerelles relient la voie publique au second étage de maisons construites sur un terrain à la topographie marquée. Certaines maisons sont d'ailleurs conçues pour accueillir une inondation d'une profondeur de 4 à 5 mètres. Cette stratégie se fonde, outre que sur le réseau secondaire de circulation, sur l'adaptation des réseaux électriques et, aussi, sur la participation citoyenne pour préparer les bâtiments aux inondations en cas d'alerte (Barroca 2020, 110-11). Dans le même ordre d'idées, Daniel-Lacombe (2018) souligne le rôle capital du soutien de la population tout au long du processus de l'adoption des manières de faire et de politiques d'adaptation au changement climatique. Il suggère en ce sens la création d'« un espace de rencontres régulières et d'information sur les coûts et bénéfices des nouveaux régimes climatiques ».

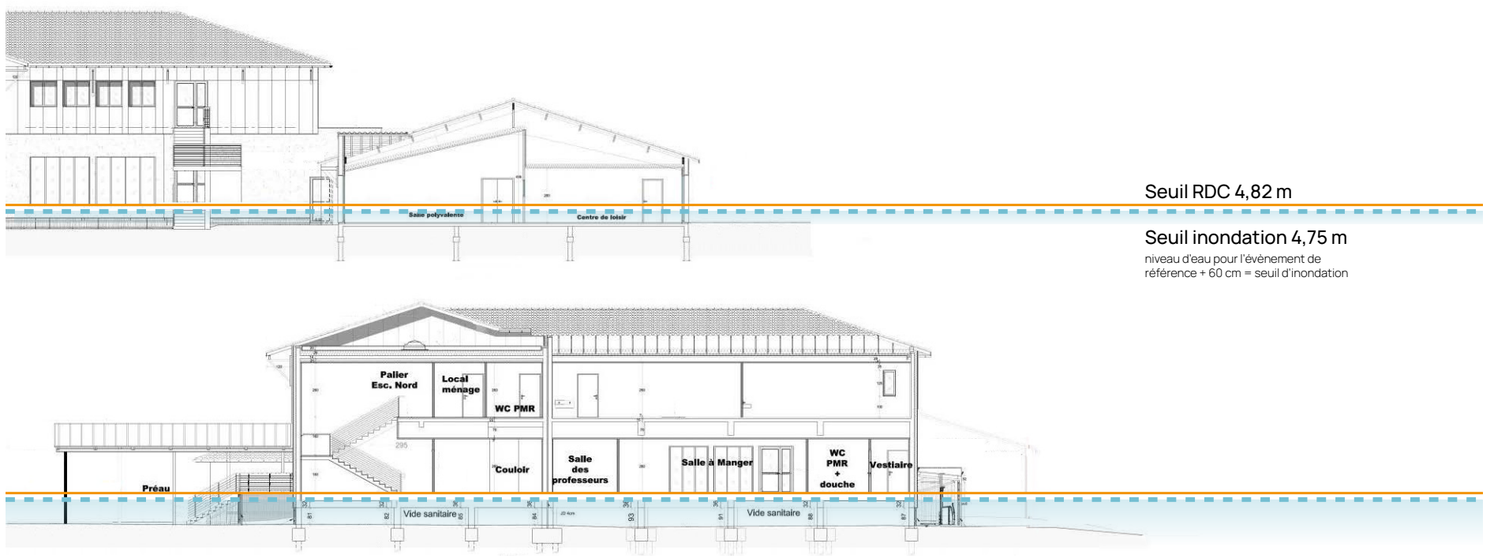



FIGURE 21
Coupes du projet, seuils de plancher et d'inondation, École Saint-Vincent-de-Paul, Bordeaux Métropole
© C+M (Dessins adaptés par ASFQ)

4 Composition de l'équipe multidisciplinaire, École refuge de Saint-Vincent-de-Paul : C+M (architecture), AEI (urbanisme, architecture et paysage), ER.AMP (programmation), ARTELIA (ingénierie hydraulique).

5 Daniel-Lacombe, dans l'article co-rédigé avec Sylvain Rode et Mathilde Gralepois intitulé « Les transactions entre la ville et l'inondation pour un urbanisme plus résilient » et publié en 2018, développe également sur le concept de transparence hydraulique à l'échelle du quartier (Rode, Gralepois, et Daniel-Lacombe 2018).

# Recommandations relatives à la réglementation

### Recommandation 7

- Encourager – hors cadre réglementaire – l'adaptation durable des bâtiments existants situés en zone inondable.

### Recommandation 8

- Envisager l'élaboration d'un règlement encadrant l'adaptation durable des bâtiments existants ayant été inondés et devant être rénovés.

  Il serait essentiel de réglementer la réparation d'un sous-sol à la suite d'un sinistre (application du principe *Built Back Better* – mieux reconstruire) et de décourager la reconstruction à l'identique suite à un sinistre. À ce sujet, l'apport du domaine de l'assurance est primordial.

### Recommandation 9

- Envisager l'élaboration d'un règlement encadrant la rénovation d'un bâtiment ou la modification des caractéristiques structurales ou techniques d'un bâtiment existant situé en zone inondable.

  Il serait essentiel de réglementer la rénovation et la modification des caractéristiques structurales ou techniques d'un bâtiment existant afin de s'assurer que soient principalement utilisés des matériaux ayant une de bonne performance de résilience et qu'aucun nouveau système mécanique, électrique ou de plomberie soient installés sous une cote de référence centennale.

### Recommandation 10

- Exiger des critères de résilience élevés pour toutes les parties d'une nouvelle construction situées sous la cote de récurrence centennale, dont l'obligation d'utiliser de matériaux de construction et de finition ayant une bonne performance de résilience et la mise hors d'eau – ou la protection en place – des systèmes mécanique, électrique ou de plomberie.

### Recommandation 11

- Encourager la modification de la définition de ce qu'est une fondation dans les cadres réglementaires municipaux pour, notamment, y inclure la construction sur pilotis, sur pieux vissés et sur dalle.

  Selon les **règlements de construction actuels** de certaines municipalités, la construction d'un bâtiment principal sur pieux vissés ou pilotis n'est pas admise puisque ce dernier doit reposer sur des fondations continues.

### Recommandation 12

- Obliger les promoteurs à contribuer aux coûts de construction et d'entretien des dispositifs de défense et de soutien nécessaires dans les zones qu'ils développent.

  Il pourrait être envisagé de prolonger la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme qui « permet aux municipalités d'exiger la conclusion d'une entente relative aux travaux municipaux comme condition préalable à la délivrance d'un permis ou d'un certificat » pour inclure des mesures d'atténuation du risque à l'échelle des quartiers. Dans le cadre de la loi existante concernant des équipements comme les aqueducs et les égouts, les municipalités peuvent demander aux promoteurs « d'assurer, en totalité ou en partie, la réalisation et le partage des coûts des travaux réalisés par la municipalité ».

Voir : https://www.mamh.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/financement-et-maitrise-fonciere/reglement-sur-les-ententes-relatives-a-des-travaux-municipaux/

### Recommandation 13

- Envisager un assouplissement réglementaire permettant l'expérimentation et la mise à l'épreuve de stratégies de résistance et de résilience, ainsi que d'autres projets d'architecture innovants.

  Plusieurs collaborateurs consultés ont souligné l'importance de concevoir, par étape, le processus de la modification réglementaire. Par exemple, Catherine Dubois, de la SQI, a souligné lors d'une conversation tenue au printemps 2020, que l'innovation implique des boucles de rétroaction pour permettre à l'ensemble des parties prenantes de tirer des apprentissages et de les intégrer dans la pratique. Une fois que des projets de construction ou d'adaptation de bâtiments existants auront été réalisés suivant des principes nouveaux et que ceux-ci auront été mis à l'épreuve, nous comprendrons mieux la problématique. Dès lors, il est essentiel que les décideurs valorisent l'innovation, qu'ils s'informent et informent la population aux sujets des nouvelles stratégies, qu'ils supportent des activités exploratoires, tel que souligné par John Dalzell, responsable principal de la durabilité à la *Boston Planning and Development Agency*. C'est seulement une fois que nous en savons davantage, suggérait ce dernier lors d'une consultation au printemps 2020, qu'il deviendra envisageable d'imposer de nouvelles règles de construction. En ce sens, un certain assouplissement des règles en vigueur permettrait la recherche et l'innovation par le projet d'architecture.

# Conclusion : vers la résilience du cadre bâti

Ce rapport a recadré la problématique de l'adaptation des bâtiments aux inondations du point de vue des plans et des politiques existantes à l'heure actuelle. Grâce à une revue de littérature et d'une consultation d'experts locaux et internationaux, il a ensuite résumé les stratégies de résilience connues et les principales considérations liées à la sélection de mesures de résilience, lesquelles doivent toujours être adaptées au risque d'inondation dûment caractérisé, notamment en déterminant le type et les paramètres d'un aléa de référence et en évaluant la vulnérabilité d'un bâtiment et de ses occupants. À cet égard, l'architecture résiliente aux inondations est en somme toujours une option appliquée en cohérence avec la connaissance fine des contextes physiques et sociaux locaux de chaque projet – une connaissance que d'autres professionnels et parties prenantes doivent d'abord, en amont, produire et rendre disponible.

Les actions à entreprendre pour améliorer la résilience globale du cadre bâti québécois aux inondations sont nombreuses. ASFQ, appuyé par la CMM, profite de ce rapport pour en énoncer quelques-unes puisqu'elles portent à réfléchir et comprendre que le Québec ne se situe qu'aux prémices d'une grande conversation publique sur l'adaptation de l'environnement bâti. Parmi ces actions à entreprendre ou à poursuivre, mentionnons :

- le développement de lignes directrices sur la construction résiliente aux inondations;
- le financement du changement;
- le développement de nouvelles manières d'évaluer et de communiquer le risque;
- le développement de nouvelles manières de cohabiter avec l'eau.

En ce qui a trait au **développement de lignes directrices sur la construction résiliente aux inondations**, le présent rapport, proposant un inventaire de mesures d'adaptation et de résilience à considérer pour le cadre bâti du Québec méridional, constitue une importante étape.

Un autre enjeu important à aborder et qui a été soulevé lors de notre sondage concerne le **financement du changement**. Celui-ci peut prendre diverses formes dont la création d'un programme de subventions et de prêts[6] pour la réalisation de travaux de rénovation et de construction adaptés aux inondations. Par souci de cohérence, il serait convenable de cesser les indemnisations dans certains cas où les bâtiments ne répondent pas aux nouveaux critères de résilience.

Le besoin de financement concerne également le développement des connaissances sur les aléas d'inondation et sur leurs conséquences potentielles, puis le transfert de ces connaissances aux dirigeants, aux concepteurs, aux constructeurs, aux assureurs et, parallèlement, la sensibilisation de la population en général, y compris celle des plus jeunes. En fait, le **développement de nouvelles manières d'évaluer et de communiquer le risque** est essentiel pour initier un profond changement de mentalité à l'égard des manières d'habiter les zones inondables. Par exemple, au Québec, la culture du sous-sol fini et aménagé constitue un obstacle majeur à l'adaptation du bâti aux inondations. Pourtant, la totalité des experts et une large majorité des répondants consultés par sondage dans le cadre de nos travaux affirment être « fortement en désaccord » avec la finition conventionnelle (avec couvre-plancher, cloison sèche, etc.) d'un sous-sol exposé **plus** d'une fois au 20 ans à un risque d'inondation et ils disent être « en désaccord » ou « fortement en désaccord » s'il est exposé **moins** d'une fois par 20 ans. Il serait donc souhaitable de développer des outils pour communiquer clairement les dangers de maintenir de tels espaces et pour offrir de l'information au sujet de mesures contribuant à minimiser au maximum les conséquences d'une inondation.

Des sujets comme le rehaussement des espaces de vie au-dessus de la cote de référence, les stratégies d'accueil de l'eau et l'emploi de matériaux résistant à l'eau ou résilients et l'élévation ou la protection des équipements et appareils devraient être abordés.

Le **développement de nouvelles manières de cohabiter avec l'eau**, notamment par le projet d'architecture, devra aussi se poursuivre et être appuyé les grands organismes subventionnaires afin de concevoir et de mettre à l'épreuve des typologies architecturales résilientes aux inondations et, plus largement, aux risques multiples liés au changement climatique.

Finalement, les conclusions de ce rapport s'alignent avec la vision initiale de la Communauté métropolitaine de Montréal selon laquelle, étant donné l'importance et la densité du cadre bâti existant sur son territoire, il importe de s'intéresser aux actions adaptatives innovantes et de se donner les moyens de mettre en œuvre de nouvelles approches architecturales en zone inondable. Les objectifs premiers de tous les gestes et mesures identifiés dans ce rapport est l'augmentation durable de la sécurité des personnes et de la capacité de résilience du cadre bâti et des communautés.

6 L'adaptation des bâtiments aux inondations, étant donné les coûts impliqués, peut accroître les inégalités sociales. En ce sens, dans les lignes directrices de la ville de Boston (2019, 6) l'impact négatif potentiel d'investissements sur les populations socialement vulnérables est soulevé. Puisque les améliorations sur le parc immobilier et son environnement peuvent augmenter la valeur des propriétés, l'accès financier au logement et à la propriété pour les résidents, dont les locataires et les étudiants de Boston, pourrait être menacé. La Ville prévoit donc des investissements pour protéger l'accès à l'habitation.

# Synthèse des recommandations

### **Recommandation 1** (transfert de connaissances)

- Cesser l'utilisation des termes « mesures d'immunisation » et « solutions » et les substituer respectivement par « mesures d'adaptation » et « stratégies ».

### **Recommandation 2** (transfert de connaissances)

- Encourager, en parallèle avec le développement d'outils de la connaissance de l'aléa d'inondation, le développement de nouvelles manières de communiquer le risque d'inondation.

### **Recommandation 3** (transfert de connaissances)

- Encourager la production, au Québec, d'un document de vulgarisation destiné aux personnes établies dans les zones à risque d'inondation sur l'adaptation des bâtiments incluant un outil d'autodiagnostic de la vulnérabilité de la propriété et des occupants.

### **Recommandation 4** (transfert de connaissances)

- Encourager la production, au Québec, de documents techniques sur l'adaptation des bâtiments destinés aux professionnels de la construction.

### **Recommandation 5** (évaluation)

- Encourager le développement d'outils de diagnostic technique de la vulnérabilité des bâtiments.

### **Recommandation 6** (évaluation)

- Encourager les projets visant la classification des matériaux de construction selon leur performance de résilience.

### **Recommandation 7** (réglementation)

- Encourager – hors cadre réglementaire – l'adaptation durable des bâtiments existants situés en zone inondable.

### **Recommandation 8** (réglementation)

- Envisager l'élaboration d'un règlement encadrant l'adaptation durable des bâtiments existants ayant été inondés et devant être rénovés.

### **Recommandation 9** (réglementation)

- Envisager l'élaboration d'un règlement encadrant la rénovation d'un bâtiment ou la modification des caractéristiques structurales ou techniques d'un bâtiment existant situé en zone inondable.

### **Recommandation 10** (réglementation)

- Exiger des critères de résilience élevés pour toutes les parties d'une nouvelle construction situées sous la cote de récurrence centennale, dont l'obligation d'utiliser de matériaux de construction et de finition ayant une bonne performance de résilience et la mise hors d'eau – ou la protection en place – des systèmes mécanique, électrique ou de plomberie.

### **Recommandation 11** (réglementation)

- Encourager la modification de la définition de ce qu'est une fondation dans les cadres réglementaires municipaux pour, notamment, y inclure la construction sur pilotis, sur pieux vissés et sur dalle.

### **Recommandation 12** (réglementation)

- Obliger les promoteurs à contribuer aux coûts de construction et d'entretien des dispositifs de défense et de soutien nécessaires dans les zones qu'ils développent.

### **Recommandation 13** (réglementation)

- Envisager un assouplissement réglementaire permettant l'expérimentation et la mise à l'épreuve de stratégies de résistance et de résilience, ainsi que d'autres projets d'architecture innovants.

# Bibliographie


ACC. 2021. *Force, résilience et durabilité : Recommandations du secteur de la construction du Canada sur les mesures d'adaptation au changement climatique*. Association canadienne de la construction (ACC) (Ottawa, Ontario). https://www.cca-acc.com/wp-content/uploads/2021/03/Force-résilience-et-durabilité-FR.pdf

Barroca, Bruno. 2020. « Inondation et résilience urbaine. » Dans *Aménager la ville avec l'eau, pour une meilleure résilience face aux changements globaux*, sous la direction de Martin Seidl, 101-15. Paris : Presses des Ponts.

Barsley, Edward. 2020. *Retrofitting for Flood Resilience : A Guide to Building & Community Design*. Newcastle upon Tyne : RIBA Publishing.

BC Housing, MBAR. *Flood Events*. BC Housing. https://www.bchousing.org/publications/MBAR-Flood-Events.pdf

Bordeaux-Métropole. 2018. « Amenagement d'une zone refuge dans le projet d'extension du groupe : scolaire de St-Vincent-de-Paul – Resume non technique. ». https://www.risques-majeurs.info/sites/default/files/647_-_181214_-_groupe_scolaire_-_resume_non_technique.pdf

—. 2019. *Aménager et construire en zone inondable à Bordeaux Métropole : L'école refuge de Saint-Vincent-de-Paul*. https://www.risques-majeurs.info/sites/default/files/647_-_190129_-_groupe_scolaire_-_panneaux_inauguration_a1_1.pdf

Boston. 2019. *City of Boston Coastal Flood Resilience Design Guidelines*. http://www.bostonplans.org/getattachment/d1114318-1b95-487c-bc36-682f8594e8b2

Boucher, Isabelle. 2010. *La gestion durable des eaux de pluie, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable*. Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (Québec). https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_complet.pdf

Bowker, Pam, Manuela Escarameia, et Andrew Tagg. 2007. *Improving the Flood Performance of New Buildings : Flood Resilient Construction*. RIBA Publishing. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7730/flood_performance.pdf

CALYXIS. 2018. *Aménager ou créer une zone refuge*. Calyxis – Pôle d'expertise du risque. http://www.bassindulay.fr/uploads/PDF/Kit_autodia_habitations/FICHE%201-%20ZONE%20REFUGE-PPRI.pdf

—. 2019. *Fiche d'autodiagnostic de vulnérabilité de mon habitat*. Calyxis – Pôle d'expertise du risque. http://www.bassindulay.fr/uploads/PDF/Kit_autodia_habitations/AUTODIAG_PPRL_80_modif.pdf

CEPRI. 2010a. *Le bâtiment face à l'inondation : Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité – Guide méthodologique*. Centre Européen de Prévention du Risque d'inondation (CEPRI) (Orléans, France). https://www.cepri.net/tl_files/pdf/guidevulnerabilite.pdf

—. 2010b. *Le bâtiment face à l'inondation : Vulnérabilité des ouvrages – Aide-Mémoire*. Centre Européen de Prévention du Risque d'inondation (CEPRI) (Orléans, France). https://www.cepri.net/tl_files/pdf/aidememoire.pdf

—. 2017. *La réalisation d'opérations d'aménagement résilientes aux inondations : qui gagne quoi ?* . Centre Européen de Prévention du Risque d'inondation (CEPRI) (Orléans, France). https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/Rapport_Qui_gagne_quoi.pdf

CIRIA. 2006. *Improving the Flood Resilience of Buildings through Improved Materials, Methods and Details – Report no. WP5C Final report* Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (Londres). http://www.ciria.com/flooding/pdf/WP5%20Lab%20Testing%20Report.pdf

Daniel-Lacombe, Éric. 2018. « Inventer de nouvelles manières de vivre avec le risque d'inondation. » *Le Monde*, no. Débats & Analyses (Jeudi 25 octobre 2018) : 23. https://www.lemonde.fr/idees/article/2018/10/24/il-est-possible-d-inventer-de-nouvelles-manieres-de-vivre-avec-le-risque-d-inondation_5373703_3232.html

Deux-Montagnes. 27 mars 2019. *Projet de schéma d'aménagement et de développement révisé – Document complémentaire*. MRC Deux-Montagnes. https://www.mrc2m.qc.ca/images/uploads/12-Doc_compl_PSADR1_2019-03-27.pdf

Dhonau, Mary, et Carly Rose. 2018. *Homeowners guide to flood resilience : A living document (5th edition)*. Know Your Flood Risk. http://www.knowyourfloodrisk.co.uk/sites/default/files/FloodGuide_ForHomeowners.pdf

Dion, Nathalie. 2019. « ÉDITORIAL : Vivre avec le risque. » *Esquisses, Magazine de l'Ordre des architectes du Québec* 30 (1, Architecture résiliente) : 7.

Dubois, Catherine. 2020. *Les fondements théoriques du Projet VACCIn*. Société québécoise des infrastructures (Québec).

Evans, Cheryl, et Blair Feltmate. 2019. *L'eau monte : protéger les maisons contre la menace croissante d'inondations au Canada*. Centre Intact d'Adaptation au Climat (Université de Waterloo). https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads//2019/06/Ontario_HFPP_Report_French_V4-compressed-min-2.pdf

Feltmate, Blair, Natalia Moudrak et Kathryn Bakos. 2020. *Changements climatiques : le niveau de préparation des provinces et territoires canadiens aux risques d'inondations*. Centre Intact d'Adaptation au Climat (Université de Waterloo). https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2021/01/Provinces-Territories-Flood-Report-French.pdf

Feltmate, Blair, et Natalia Moudrak. 2021. *Changements climatiques : le niveau de préparation de 16 grandes villes canadiennes aux risques d'inondations*. Centre Intact d'Adaptation au Climat (Université de Waterloo). https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2021/02/le-niveau-de-preparation-de-16-villes-aux-risques-dinondations-1.pdf

FEMA. 2008a. *Flood Damage-Resistant Materials Requirements for Buildings Located in Special Flood Hazard Areas in accordance with the National Flood Insurance Program (Technical Bulletin 2)*. Federal Emergency Management Agency (Washington, DC). https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_tb_2_flood_damage-resistant_materials_requirements.pdf

—. 2008b. *Mitigation and Basement Flooding (Presentation)*. Federal Emergency Management Agency (Washington, DC). https://www.fema.gov/pdf/hazard/flood/2010/1935/Basement_Flood_Mitigation.pdf

—. 2014. *Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your Home From Flooding*. Federal Emergency Management Agency (Washington, DC). https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_homeowners-guide-to-retrofitting_guide.pdf

—. 2015. *Reducing Flood Risk to Residential Buildings That Cannot Be Elevated*. Federal Emergency Management Agency (Washington, DC). https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_P1037_reducing_flood_risk_residential_buildings_cannot_be_elevated_2015.pdf

Hegger, Dries, Meghan Alexander, Tom Raadgever, Sally Priest, et Silvia Bruzzone. 2020. « Shaping flood risk governance through science-policy interfaces : Insights from England, France and the Netherlands. » *Environmental Science & Policy* 106 : 157-65. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.002

Hegger, Dries, Peter Driessen, Mark Wiering, Helena van Rijswick, Zbigniew Kundzewicz, Piotr Matczak, Ann Crabbé, Tom Raadgever, Marloes Bakker, Sally Priest, Corinne Larrue, et Kristina Ek. 2016. « Toward more flood resilience : Is a diversification of flood risk management strategies the way forward ? » *Ecology and Society* 21 (4) : 19. https://doi.org/10.5751/ES-08854-210452 https://www.jstor.org/stable/26270030

ICLR. 2011. *Protect your home from Basement flooding*. Institute For Catastrophic Loss Reduction (Toronto). https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/protect-your-home-from-basement-flooding.pdf

Jean, M, et Bernard Doyon. 2020. *Fonctions d'endommagement résidentiel, Étude de la CMI sur le système Lac Champlain – Rivière Richelieu*. Garde-côtière canadienne.

Kelman, Ilan, et Robin Spence. 2004. « An overview of flood actions on buildings. » *Engineering Geology* 73 (3-4) : 297-309. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.01.010. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795204000262

Lamond, Jessica, Tim Harries, Clare Twigger-Ross, Carly Rose, et Mary Dhonau. 2019. *Supporting the uptake of resilient repair in the recovery process (FD2706)*. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) (Londres). http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&ProjectID=19991&FromSearch=Y&Publisher=1&SearchText=FD2706&SortString=ProjectCode&SortOrder=Asc&Paging=10

Lamond, Jessica, McEwen. Lindsey, Clare Twigger-Ross, Carly Rose, Rotimi Joseph, Amanda Wragg, Lisa Papadopolou, Owen White, et David Proverbs. 2017. *Supporting the uptake of low cost resilience : Rapid evidence assessment final report (FD2682)*. Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA) (Londres). http://sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=19221

MAMH. 2020. *Plan de protection du territoire face aux inondations : des solutions durables pour mieux protéger nos milieux de vie*. Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation, Gouvernement du Québec (Québec). https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/plan_protection_territoire_inondations/PLA_inondations.pdf

MDDELCC. 2015. *Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI)*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Direction des politiques de l'eau, Gouvernement du Québec (Québec). http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/guide-interpretationPPRLPI.pdf

Montréal. 2018. *Stratégie Montréalaise pour une ville résiliente*. Ville de Montréal (Montréal). https://resilient.montreal.ca/assets/doc/strategie-montreal-ville-resiliente-fr.pdf

—. 2019. *L'agenda montréalais 2030 pour la qualité et l'exemplarité en design et en architecture*. Ville de Montréal. https://designmontreal.com/sites/designmontreal.com/files/publications/agenda_mtl_2030_v1.12-19_fr_lr.pdf

Moudrak, Natalia, et Blair Feltmate. 2017. *Preventing Disaster Before It Strikes : Developing a Canadian Standard for New Flood-Resilient Residential Communities*. Centre Intact d'Adaptation au Climat (Université de Waterloo). https://www.intactcentre.ca/wp-content/uploads/2017/09/Preventing-Disaster-Before-It-Strikes.pdf

—. 2019a. *Faire face aux inondations : orientations pour renforcer la résilience des immeubles commerciaux au Canada*. Centre Intact d'Adaptation au Climat (Université de Waterloo). https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/10/Faire-face-aux-inondations-1.pdf

—. 2019b. *Surmonter la tempête : élaborer une norme canadienne pour rendre les zones résidentielles existantes résilientes face aux inondations*. Centre Intact d'Adaptation au Climat (Université de Waterloo). https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/01/Surmonter-La-Temp%C3%AAte.pdf

—. 2020. *Sous un même parapluie : stratégies concrètes pour réduire les risques d'inondation au Canada*. Centre Intact d'Adaptation au Climat (Université de Waterloo). https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2020/11/Sous-un-meme-parapluie-1.pdf

MSP. 2014. *La Politique québécoise de sécurité civile 2014-2024 : Vers une société québécoise plus résiliente aux catastrophes*. Ministère de la santé publique, Gouvernement du Québec (Québec). https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/publications/politique_2014-2024/politique_securite_civile_2014-2024.pdf

Nouveau-Brunswick. 2016. *Protection contre les inondations : Protégez votre maison et son contenu contre les inondations*. Ministère de la Sécurité publique, Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux (Nouveau-Brunswick). https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Flooding-Inondations/ProtectionContreLesInondations.pdf

OAQ. 2012. *Rapport annuel*. Ordre des architectes du Québec (Montréal). https://www.oaq.com/wp-content/uploads/2019/11/OAQ-RA_2011-2012.pdf

OID. 2021. *Guide des actions adaptatives au changement climatique: Le bâtiment face aux aléas climatiques*. Observatoire de l'immobilier durable (OID) (Paris, France). https://www.taloen.fr/ressources/92bbfc83-dc9b-45d2-a9f2-43d0e5569989

Pitt, Michael 2008. *The Pitt Review – Learning Lessons from the 2007 Floods*. Bureau du Cabinet du Gouvernement du Royaume-Uni (Londres). https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100812084907/http://archive.cabinetoffice.gov.uk/pittreview/_/media/assets/www.cabinetoffice.gov.uk/flooding_review/pitt_review_full%20pdf.pdf

Proverbs, David, et Jessica Lamond. 2017. « Flood Resilient Construction and Adaptation of Buildings. » *Natural Hazard Science*. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.111

Raadgever, Tom, et Dries Hegger. 2018. *Flood Risk Management Strategies and Governance*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67699-9

Robinson, Barbara, Dan Sandink, et David Lapp. 2019. *Reducing the Risk of Inflow and Infiltration (I/I) in New Sewer Construction, A National Foundational Document for the Development of a National Standard of Canada*. Institute for Catastrophic Loss Reduction (ICLR) (Toronto). https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2019/11/SCC_RPT_Norton-ICLR-EC-SCC-II-in-New-Sewer-Construction-2019-11-20_ENG.pdf

Rode, Sylvain, Mathilde Gralepois, et Éric Daniel-Lacombe. 2018. « Les transactions entre la ville et l'inondation pour un urbanisme plus résilient. » *La Houille Blanche* (3) : 34-40. https://doi.org/https://doi.org/10.1051/lhb/2018030

Urgence-Québec. 2021. *En cas d'inondation, êtes-vous prêt?* Gouvernement du Québec (Québec). https://www.quebec.ca/securite-situations-urgence/urgences-sinistres-risques-naturels/inondation

Vincendon, Sibylle. 2016. « Inondations : un quartier touché mais pas coulé. » *Libération*. https://www.liberation.fr/france/2016/06/27/inondations-un-quartier-touche-mais-pas-coule_1461787

Williams, G. P. 1978. « Flood-proofing of buildings. » *Canadian Building Digest; no. CBD-198*. https://doi.org/10.4224/20328553

—. 1979. « Protection des immeubles contre les inondations. » *Digeste de la construction au Canada; no CBD-198F*. https://doi.org/10.4224/40001072