

Carnet d'hypothèses

Construction d'une nouvelle méthode d'évaluation de la résilience des territoires par ARIAction

Development of a new method for evaluating territorial resilience by the ARIAction team

Isabelle Thomas¹, Liane Geis², Esther Rouze³

¹ Professeur titulaire, ARIAction, Université de Montréal, Canada, isabelle.thomas1@umontreal.ca

² Agente de recherche, ARIAction, Université de Montréal, Canada, liane.geis@umontreal.ca

³ Collaboratrice, ARIAction, Université de Montréal, Canada, esther.rouze@gmail.com

RÉSUMÉ. Les inondations récurrentes au Québec ont mis en évidence les limites d'une gestion des risques fragmentée et réactive. Pour répondre à ces défis, l'équipe ARIAction a conçu *RésiliAction*, un outil d'évaluation de la résilience. Basé sur une cartographie croisée de l'aléa et de la vulnérabilité pour produire une analyse du risque, cet outil permet d'analyser, hiérarchiser et justifier les projets d'aménagement selon leur capacité à s'adapter de façon résiliente face aux inondations et aléas côtiers. Développé en co-construction avec des ministères et des municipalités et testé dans le cadre de la réflexion sur la transformation de la municipalité de Saint-André-D'Argenteuil, l'outil repose sur treize critères et huit orientations de résilience couvrant les dimensions sociales, environnementales, économiques et institutionnelles. Dans le cas de la municipalité de Maria, il utilise l'analyse du risque et permet d'évaluer la résilience du scénario d'aménagement proposé face aux aléas côtiers. L'outil *RésiliAction* s'est avéré un levier opérationnel et équitable pour soutenir la transition vers une planification durable et adaptée aux changements climatiques. Sa portée multiscalaire et sa compatibilité avec le nouveau cadre réglementaire en font un instrument stratégique pour renforcer la résilience des territoires québécois.

ABSTRACT. Recurrent flooding in Quebec has revealed the limits of a fragmented and reactive risk management approach. To address these challenges, the ARIAction team developed *RésiliAction*, an integrated tool for assessing territorial resilience. Based on cross-mapping of hazards and various dimensions of vulnerability to use a risk analysis, it enables the evaluation, prioritization, and justification of land-use projects according to their capacity for resilient adaptation. Developed through co-construction with ministries and municipalities, the tool is built on thirteen criteria and eight resilience orientations encompassing social, environmental, economic, and institutional dimensions. In the municipality of Maria, it was used with a risk analysis and to assess the resilience score of the proposed land-use scenario in the face of coastal hazards. *RésiliAction* has proven to be an operational and equitable lever for supporting the transition toward sustainable and climate-adaptive planning. Its multi-scale scope and compatibility with the new regulatory framework make it a strategic instrument for strengthening the resilience of Quebec's territories.

MOTS-CLÉS. résilience territoriale, adaptation climatique, planification intégrée, aménagement durable, cartographie du risque, cartographie de la vulnérabilité, inondation, outil d'aide à la décision, co-construction, solutions fondées sur la nature.

KEYWORDS. territorial resilience, climate adaptation, integrated planning, sustainable development, risk mapping, vulnerability mapping, flooding, decision-support tool, co-construction, nature-based solutions.

Partie 1 : Mise en contexte et définition

Les inondations, les enjeux d'érosion côtière et de submersion marine représentent une menace récurrente et croissante pour plusieurs municipalités québécoises et d'ailleurs. Les dégâts causés par les inondations de 2017 et 2019 au Québec ont révélé les limites d'une gestion des risques fragmentée et réactive, mettant en lumière des vulnérabilités sociales, territoriales et institutionnelles profondes. Ces événements ont également suscité une prise de conscience décisive chez les élu·es et les citoyen·es, et, une transition vers une approche préventive, structurée et concertée est en cours. Le gouvernement s'est alors engagé dans une révision du cadre réglementaire encadrant la gestion et l'aménagement des zones inondables, de même qu'une refonte de la cartographie : un vaste chantier.

Le cadre remis en question est celui de la Politique de Protection des Rives, du Littoral et des Plaines Inondables (PPRLPI), qui a été adoptée en 1987 pour assurer avant tout la protection écologique des milieux riverains. En 2021, à la suite des inondations de 2019, le projet de loi 67 a été adopté. Cette loi a instauré un nouveau régime d'aménagement dans les zones inondables des lacs et cours d'eau, accordant temporairement aux municipalités des pouvoirs visant à répondre à certains besoins et modifie diverses dispositions. Ce processus a conduit à l'entrée en vigueur, en mars 2022, d'un régime transitoire de gestion des zones inondables, des rives et du littoral. Ce régime remplace la PPRLPI et unifie les règles sur l'ensemble du territoire québécois, en encadrant les interventions en milieux hydriques selon des niveaux de risque [GOU 25a].

En juin 2025, un nouveau règlement permanent a été publié. Ce cadre réglementaire, qui entrera en vigueur en mars 2026, reposera sur une approche de gestion du risque, appuyée par une nouvelle génération de cartographie des zones inondables. Il introduira également un mécanisme de flexibilité régionale, confiant aux municipalités la responsabilité d'autoriser les projets en fonction du niveau de risque [GOU 23].

L'ensemble de ces actions s'inscrit dans une politique gouvernementale intégrée visant à réduire la vulnérabilité des populations et à renforcer la résilience du territoire par sa planification. Le Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) joue un rôle central dans cette réforme, en tant que porteur du cadre réglementaire et collaborateur des autres ministères concernés, dans la mise en œuvre d'un plan de protection du territoire face aux inondations. Dans le cadre de ce plan, le MELCCFP a mandaté l'équipe [ARIAction](#) (Adaptation - Résilience - Innovation - Action) pour accompagner la transition et contribuer au développement de solutions concrètes et applicables.

Pour penser à cette nouvelle approche, plusieurs éléments ont été pris en compte par l'équipe de recherche. Tout d'abord, il est nécessaire de considérer la diversité des situations. Les réalités des territoires québécois sont diverses, aussi bien en ce qui concerne l'aléa et la vulnérabilité que la morphologie urbaine et les types d'écosystèmes. La diversité des capacités des municipalités à mener des analyses de risque permettant de prioriser les plans de gestion et les projets d'adaptation est également un enjeu à prendre en compte. Ces multiples diversités nécessitent de construire un processus globalisé, flexible et équitable qui soit applicable à l'ensemble des transformations territoriales au Québec. Par ailleurs, une insuffisance méthodologique est un frein aux choix réfléchis en terme de mise en œuvre de la résilience.

La [résilience](#) est un concept aux définitions plurielles. Cependant, afin d'encadrer et quantifier la résilience, il est primordial d'en saisir la signification. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat définit la résilience comme la capacité des systèmes sociaux, économiques ou environnementaux à faire face à une perturbation tout en maintenant leurs fonctions essentielles, leur identité et leur capacité d'adaptation, d'apprentissage et de transformation [GIE 14]. Elle désigne la capacité d'une communauté ou d'un système exposé à un risque à résister, absorber, s'adapter et se rétablir rapidement, en préservant ses fonctions essentielles. Dans le cas de la gestion du risque lié aux inondations, le concept de résilience a permis un changement de paradigme en passant d'une approche de résistance aux inondations à une approche plus axée sur la volonté de vivre avec l'eau et d'accepter que le risque zéro n'existe pas.

« la résilience d'un système urbain est sa capacité à absorber un choc ou une perturbation tout en maintenant ses fonctions essentielles, à s'adapter aux changements, voire à se transformer pour évoluer vers un nouvel équilibre durable. » (Thomas et Da Cunha, *La ville résiliente : comment la construire ?*, Les Presses de l'Université de Montréal, 2017)

La littérature consacrée à la question de l'aide à la décision des réaménagements résilients face aux inondations a mis en évidence l'absence de méthodes reliant les analyses d'aléa, de vulnérabilité et de la résilience. La problématique centrale porte sur la difficulté, pour les municipalités et les autorités

publiques, d'opérationnaliser la résilience territoriale dans les décisions d'aménagement, malgré les cadres conceptuels existants. Si la résilience est largement mobilisée dans les discours et les politiques publiques, elle demeure rarement traduite en outils concrets d'aide à la décision, capables de relier l'analyse du risque (aléas et vulnérabilités) à l'évaluation comparative de projets d'aménagement.

Les besoins des territoires québécois rejoignent directement ceux identifiés dans la littérature, notamment par des firmes et organismes internationaux comme Arup. Cette littérature souligne plusieurs lacunes récurrentes comme l'absence d'outils permettant de relier résilience, aménagement et prise de décision opérationnelle et ainsi que le manque de méthodes adaptées aux capacités variables des municipalités, en particulier des petites et moyennes collectivités [ARU 19]. Ces travaux internationaux insistent sur la nécessité de passer de cadres conceptuels généraux à des outils actionnables, capables d'être utilisés par les décideurs locaux dans des contextes réglementaires précis. RésiliAction répond à ces besoins en proposant un cadre structuré, adaptable et fondé sur des indicateurs, conçu spécifiquement pour le contexte québécois et arrimé aux exigences réglementaires en matière de gestion du risque. Ainsi, l'outil ne se substitue pas aux cadres existants, mais les traduit en une démarche opérationnelle, répondant aux besoins concrets exprimés par les territoires au Québec et ailleurs.

Afin d'aider les municipalités et les MRC à renforcer la résilience de leurs territoires face aux risques d'inondation et aux aléas côtiers, une démarche a été développée pour guider le choix d'aménagements pertinents, efficaces et viables. Cette démarche s'appuie sur les résultats de plusieurs analyses complémentaires et sur la création de l'outil RésiliAction (déclaration d'invention en 2022), conçu pour combler un manque méthodologique en matière d'aide à la décision. Elle propose ainsi un cadre clair visant à soutenir les municipalités et les MRC dans leurs processus de planification territoriale. Suite à un état des lieux et un retour d'expérience sur les enjeux et afin de dresser un portrait du territoire, la méthode pour analyser la résilience des projets comporte plusieurs étapes complémentaires :

- Analyse de la vulnérabilité, des aléas et donc du risque avec la cartographie, permettant de mieux cibler les zones et les populations les plus exposées aux aléas,
- Analyse de la résilience avec l'outil RésiliAction, pour mesurer la résilience des projets avec des données chiffrées,
- Approche Multicritère pour l'Évaluation de la Résilience en Zone Inondable (AMERZI) pour évaluer les scénarios d'aménagement selon des critères environnementaux, sociaux et économiques.

La méthode d'analyse par le risque, combinant la cartographie de la vulnérabilité, de l'aléa, et l'analyse de la résilience, propose une évaluation complète et équitable des projets d'aménagements territoriaux face aux inondations et aux aléas côtiers. L'outil RésiliAction s'inscrit dans cette démarche comme un instrument d'opérationnalisation de la résilience. Il permet de traduire un concept théorique en une évaluation mesurable et de hiérarchiser des scénarios d'aménagement pour soutenir des décisions d'aménagement éclairées, équitables et adaptées aux réalités territoriales et réglementaires dans un contexte de risques climatiques croissants.

1.1. RésiliAction : un outil issu d'un besoin réel et réalisé en co-construction

Développé par l'équipe ARIAction de l'Université de Montréal, l'outil RésiliAction a été conçu pour répondre à un besoin exprimé, après les inondations majeures de 2017 et 2019, par des acteurs publics municipaux et ministériels, confrontés au manque d'outils d'aide à la décision adaptés aux enjeux climatiques. Cet outil propose une solution opérationnelle à ce manque, en proposant un cadre d'analyse structuré pour éclairer les décisions liées aux projets d'aménagement du territoire en zone inondable.

Il constitue un outil d'évaluation de la résilience et d'aide à la décision, tant dans le contexte des plans de gestion, de la réorganisation territoriale des municipalités ou de planification globale comme les plans climats. Novateur dans sa conception, il comble un vide méthodologique important pour évaluer la résilience des aménagements du territoire d'une façon systémique. Plus précisément, l'outil se distingue

par une innovation en matière de comparaison mesurable de la résilience des projets d'aménagement, ce qui facilite la décision objective pour les parties prenantes.

Conçu dans le cadre de projets de recherche menés avec le Ministère de la Sécurité Publique (MSP), le MELCC et le Ministère des Affaires Municipales et de l'Habitation (MAMH), l'outil résulte d'une démarche transversale et collaborative (Figure 1). Cette démarche a également impliqué l'Union des municipalités du Québec (UMQ), ainsi que plusieurs municipalités (Québec, Montréal, Saint-André-d'Argenteuil, Gatineau). L'ensemble du processus a été aligné sur les orientations gouvernementales en matière de gestion des risques et d'aménagement durable.

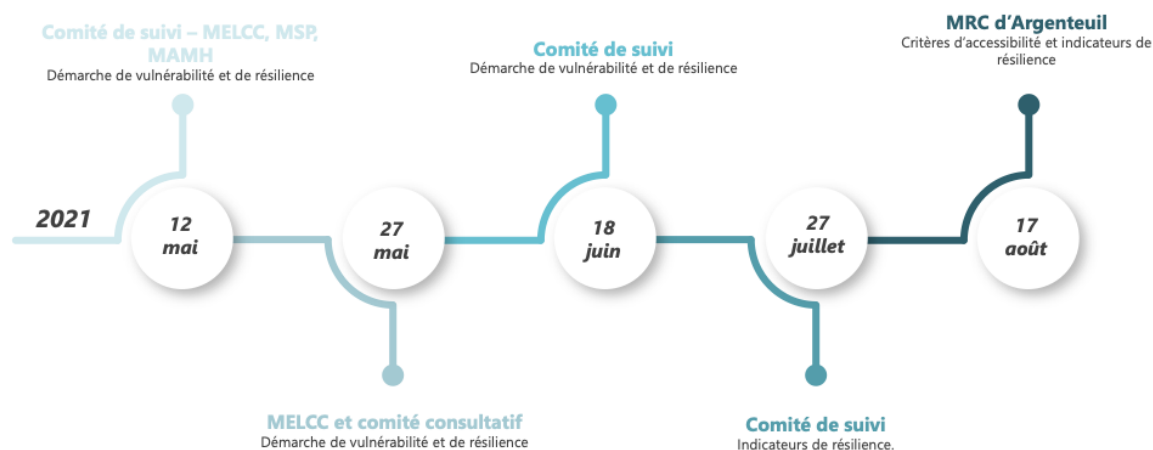


Figure 1. Chronologie des différents ateliers de co-construction réalisés par ARIAction pour élaborer l'analyse de résilience constituant l'outil RésiliAction.

Son développement s'appuie sur une démarche scientifique combinant revue de littérature internationale, entretiens semi-dirigés avec des professionnels de l'aménagement et de la sécurité civile, et identification des lacunes des pratiques existantes. Celle-ci a permis d'aboutir à des orientations, indicateurs et critères de résilience face aux inondations qui structurent l'analyse proposée par l'outil. L'approche participative a assuré sa cohérence avec les exigences réglementaires québécoises et les principes de planification durable, tout en l'adaptant aux réalités institutionnelles et territoriales pour soutenir les analyses ministérielles dans la transition vers la résilience climatique. Il est en constante évolution et peut s'adapter au cadre normatif permanent publié en juin 2025.

L'outil RésiliAction se présente aujourd'hui comme une interface intuitive, inspiré d'approches comme celles du Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Catastrophe [UND 17]. L'outil permet d'accompagner les processus décisionnels et les démarches de planification territoriale, particulièrement en contexte d'inondation. Le prototype est sous forme de questions à choix multiples, permettant d'attribuer automatiquement des scores qui s'agrègent pour produire un résultat global. Certaines questions comportent également des champs de réponse courte, afin d'apporter des précisions contextuelles ou qualitatives.

La première version de l'outil a été élaborée dans le cadre de l'accompagnement de la municipalité de Saint-André-d'Argenteuil (STADA) pour la préparation de son plan de gestion (plan élaboré par une MRC ou une ville exerçant les compétences d'une MRC, visant une planification d'ensemble du territoire situé en zone inondable et fondé sur une gestion adaptée et durable des risques). Fortement touchée par les inondations de la rivière des Outaouais et de la rivière du Nord en 2017 et 2019, la municipalité a servi de terrain d'expérimentation initial, permettant de tester et valider l'outil en contexte réel et de démontrer son efficacité pour appuyer des choix d'aménagement résilients en zone inondable.

Un autre projet entrepris dans la municipalité de Maria, en Gaspésie, constitue une étape clé pour l'adaptation de l'outil RésiliAction aux enjeux côtiers. Dans le cadre du projet d'aménagement réalisé par la ville, en collaboration avec le MSP et l'équipe ARIAction, l'outil a donc été adapté aux aléas de

submersion marine et d'érosion côtière. Ces enjeux appellent les municipalités à se transformer afin d'assurer la sécurité des citoyen·nes et de leurs infrastructures tout en anticipant les impacts des changements climatiques. Le projet à Maria permet ainsi de tester l'outil RésiliAction dans une démarche de recomposition urbaine intégrant la relocalisation et la requalification, un cas unique au Québec présentant un fort potentiel de transfert vers d'autres municipalités.

Ces scénarios visent à bâtir un territoire durable, mieux adapté aux aléas et capable d'assurer la sécurité et la qualité de vie de la communauté. Il convient de travailler avec les parties et en particulier les citoyens afin d'assurer l'acceptabilité sociale et politique de la transformation. Les projets témoignent de l'importance d'une démarche transversale et de l'intérêt des différents ministères. L'outil RésiliAction a le potentiel d'être diffusé plus largement afin de soutenir une prise de décision éclairée par les autorités publiques et basée sur les faits.

La durabilité est abordée dans RésiliAction en évaluant simultanément les dimensions environnementales, sociales et économiques des projets d'aménagement, l'outil s'inscrit pleinement dans une logique de développement durable et de planification à long terme. Les orientations et indicateurs font écho à plusieurs Objectifs de développement durable (ODD), notamment [ONU 15] :

- l'ODD 11 (villes et communautés durables), par la réduction de la vulnérabilité aux aléas et l'amélioration de la qualité de vie, incluant l'accès à la nature et la mobilité inclusive ;
- l'ODD 13 (lutte contre les changements climatiques), par l'adaptation et la réduction des risques climatiques en privilégiant les solutions basées sur la nature ;
- l'ODD 15 (vie terrestre), par la prise en compte des milieux naturels et des services écosystémiques.

Dans ce sens, RésiliAction ne vise pas uniquement des solutions efficaces à court terme, mais soutient des choix d'aménagement durables, équitables et résilients. En combinant l'évaluation des adaptations proposées, la co-conception de mesures et le suivi d'indicateurs, l'outil RésiliAction préconise une solution concrète aux défis auxquels font face les décideurs municipaux et ministériels, souvent dépourvus d'outils adaptés pour répondre aux impacts croissants des changements climatiques. Son déploiement a le potentiel de soutenir la prise de décisions éclairées et ancrées dans les dynamiques territoriales, comme démontré dans les cas de Saint-André-d'Argenteuil (STADA) et Maria.

Partie 2 : Démarche et Méthodes

2.1. Analyse de la vulnérabilité, des aléas et du risque avec la cartographie

La gestion des risques a longtemps accordé peu de place aux sciences sociales, privilégiant le calcul de l'aléa au détriment de la vulnérabilité des populations touchées. Pourtant, les catastrophes résultent souvent de la combinaison entre aléas naturels et vulnérabilités humaines et sociales [FER 16, PIG 02]. Un changement de paradigme s'est opéré, passant d'une logique de résistance à court terme à une logique de résilience à long terme, ainsi que d'une approche centrée sur l'aléa à une gestion intégrée, multidisciplinaire et systémique qui prend en compte les dimensions physique, économique, environnementale et sociale de la vulnérabilité [FRA 25].

La première étape consiste en une analyse du risque, fondée sur les trois types de cartes : celle de l'aléa, de la vulnérabilité totale et du risque. Elle vise à déterminer la criticité (faible, modérée, élevée ou très élevée) de chacun de ces aspects pour le territoire visé par le plan de gestion ou le projet de transformation territoriale. La cartographie du risque nécessite donc deux étapes préliminaires : la cartographie de l'aléa et celle de la vulnérabilité totale du territoire. L'analyse de la vulnérabilité totale repose sur une méthode en quatre étapes : cartographier la sensibilité sociale, la sensibilité territoriale, et l'accessibilité, et la vulnérabilité totale par l'addition de ces trois indices. Ce résultat est ensuite associé avec l'aléa pour cartographier le risque d'inondation.

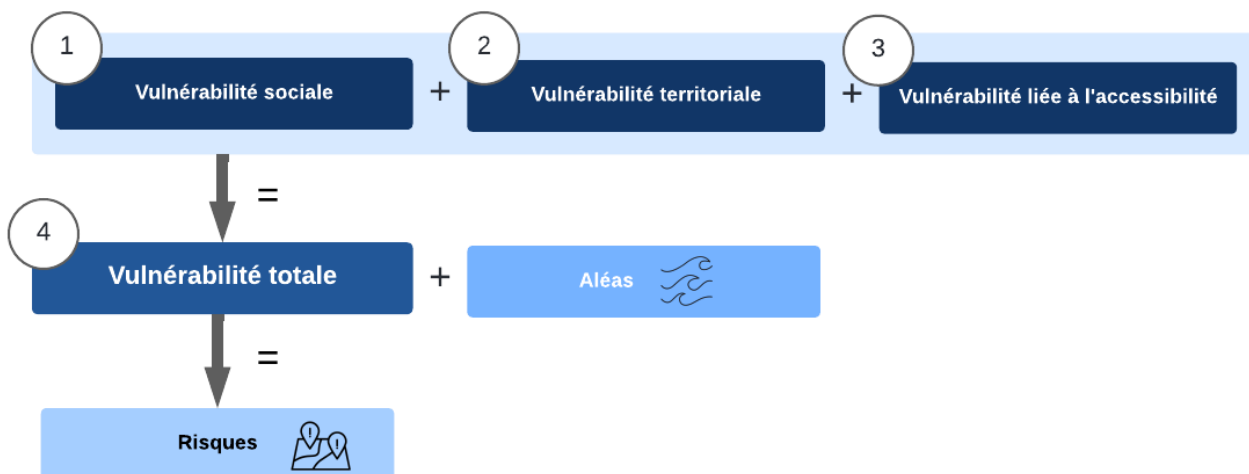


Figure 2. Méthode de cartographie de la vulnérabilité totale et du risque, croisant vulnérabilité totale et aléas, réalisée par ARIAction.

2.1.1. Cartographie de l'aléa

Selon la définition du MSP, un aléa est un évènement naturel ou humain susceptible d'engendrer des dommages. On constate désormais une évolution dans la manière de caractériser l'aléa inondation au Québec. Jusqu'en 2021, seule la récurrence des inondations était prise en compte pour définir les zones inondables (zones de grand et faible courant correspondant à des crues de récurrence 20 ans et 100 ans). La méthode employée dans la caractérisation de l'aléa influence grandement les possibilités d'aménagement du territoire, raison pour laquelle elle doit être la plus fiable, actualisée et précise possible. En effet, il s'agit d'assurer la compatibilité des aménagements existants et des projets d'adaptation au cadre réglementaire. Un principe de précaution doit également être respecté afin de protéger les personnes et les biens situés dans les zones les plus à risque.

Le nouveau cadre permanent adopte une nouvelle caractérisation de l'aléa fondée sur quatre classes d'intensité (faible, modérée, élevée, très élevée), chacune associée de balises réglementaires distinctes [GOU 25b]. En vue de produire les nouvelles cartes réglementaires, la caractérisation officielle de l'aléa du MELCCFP implique la fréquence des inondations, l'intensité des inondations en fonction de la profondeur d'eau et l'historique des crues. Elles tiendront compte aussi d'éléments comme la mobilité des cours d'eau, la présence d'embâcle, les barrages influents et les Ouvrages de Protection contre les Inondations (OPI). L'intégration de la présence d'OPI vise à protéger les bâtiments existants et non à justifier une nouvelle urbanisation. En cas de défaillance (rupture ou surverse), les conséquences peuvent s'avérer catastrophiques, et l'aléa réel peut être sous-estimé si ces ouvrages ne sont pas intégrés à la modélisation. De même, les embâcles (glace, débris) doivent être pris en compte, car ils modifient la dynamique des crues.










Intensité de l'aléa d'inondation à l'eau libre		Inondation fréquente	Inondation moyennement fréquente	Inondation peu fréquente
		> 70 % de probabilité que le territoire soit inondé au moins une fois sur un horizon de 25 ans	70 à 20 % de probabilité que le territoire soit inondé au moins une fois sur un horizon de 25 ans	20 à 7 % de probabilité que le territoire soit inondé au moins une fois sur un horizon de 25 ans
Profondeur d'eau	> 60 cm	Très élevée 	Élevée 	Modérée 
	30 cm à 60 cm	Très élevée 	Élevée 	Faible 
	0 à 30 cm	Élevée 	Modérée 	Faible 

Tableau 1. Caractérisation du MELCCFP de l'aléa d'inondation à l'eau libre en vue de produire les nouvelles cartes de zones inondables [GOU 25b].

2.1.2. Cartographie de la vulnérabilité

La vulnérabilité d'un territoire se caractérise par l'exposition physique aux aléas, la fragilité des populations et des infrastructures face aux dangers, ainsi que par la capacité à anticiper et mobiliser les moyens nécessaires pour faire face à une crise [MAR 08]. Elle dépend également des conditions socio-économiques des communautés locales, lesquelles influencent leur niveau de préparation, leur capacité d'adaptation et leur rétablissement à la suite d'un événement à risque [DAU 07]. La revue de littérature a donc permis de comprendre l'importance d'utiliser des indicateurs de sensibilité sociale, de sensibilité territoriale et d'accessibilité [DER 94, CUT 10, BOR 12]. Ces indicateurs visent à dresser un cadre d'analyse conduisant à un tableau réaliste de la vulnérabilité totale des territoires. Les systèmes d'informations géographiques (SIG) visent à analyser l'ensemble des composantes de la vulnérabilité.

Le cas d'étude mené au Québec au sein de la municipalité de Maria et en collaboration avec l'équipe de recherche ARIAction et le MSP permet d'illustrer la démarche d'analyse de vulnérabilité à l'échelle d'une municipalité.

La première étape est la cartographie de la **vulnérabilité sociale**. Elle utilise principalement des données de recensement, telles que celles reliées à l'âge, au revenu, à la situation du ménage, au taux de chômage et au logement. Ces indicateurs, d'abord cartographiés séparément, sont ensuite combinés au moyen d'une analyse en composantes principales (ACP), qui mettent en évidence les facteurs de vulnérabilité les plus problématiques [GUE 03]. Cette approche permet de repérer les zones où la population est la plus à risque.

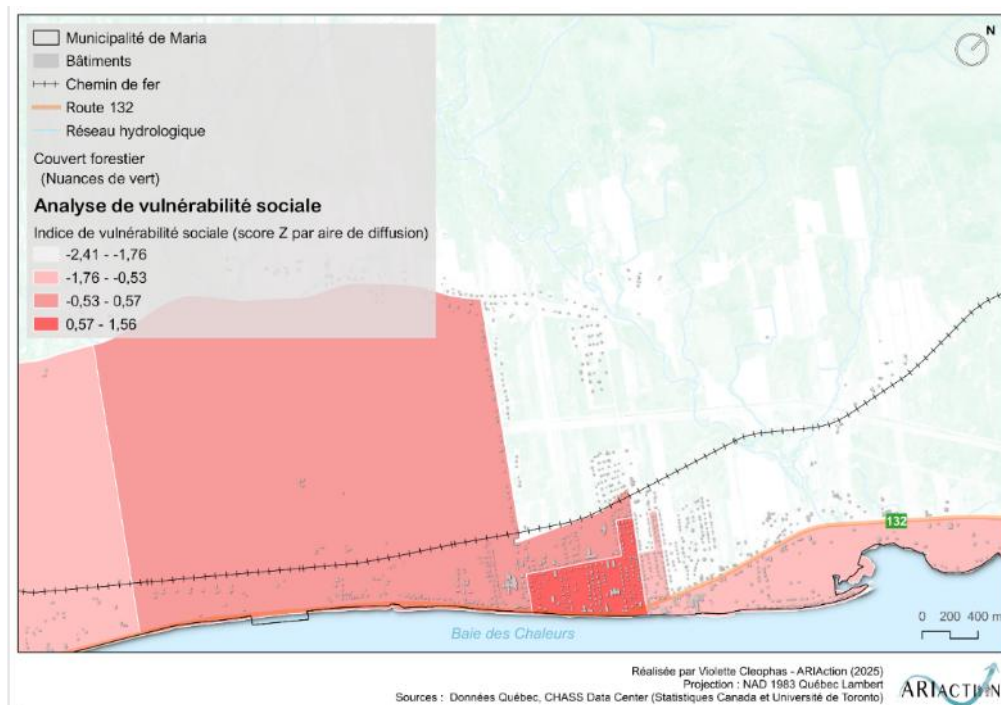


Figure 3. Vulnérabilité sociale par aire de diffusion, centre-ville, Maria, Québec, réalisé par ARIAction.

La deuxième étape est la cartographie de la **vulnérabilité territoriale**. La vulnérabilité territoriale tient compte de l'analyse des bâtiments, des infrastructures et de leurs usages, afin d'identifier les zones où se concentrent des infrastructures essentielles ou d'intérêt, susceptibles d'être exposées aux inondations ou affectées par la fermeture de routes ou de ponts à proximité. À ces indicateurs pourraient être ajoutées les usines de production d'eau potable et les stations d'épuration des eaux usées quand elles sont en zones inondables.

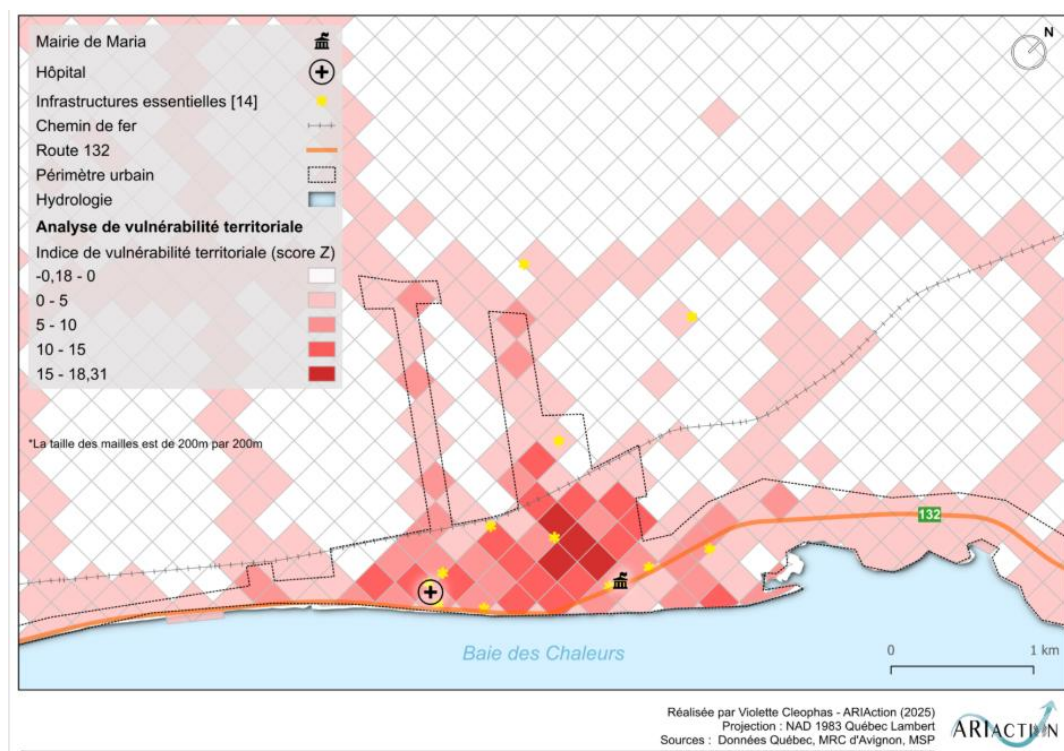


Figure 4. Vulnérabilité territoriale, centre-ville, Maria, Québec, réalisé par ARIAction.

La troisième dimension essentielle pour pouvoir déterminer la portée de la vulnérabilité totale du territoire est la vulnérabilité liée à **l'accessibilité**. Le calcul de l'accessibilité est essentiel pour comprendre la vulnérabilité d'un territoire en cas d'inondation, bien qu'il ne soit pas encore intégré au

nouveau cadre réglementaire du MELCCFP [AUB 24]. L'indicateur présenté ici mesure le temps de déplacement en contexte de crise, c'est-à-dire pendant un aléa extrême. En intégrant cet enjeu, certains éléments-clés peuvent apparaître. Par exemple, lors d'une inondation, il est important de voir si des routes importantes pour les services d'urgences seront submergés ou des ponts coupés, entre autres. Il est primordial de connaître le temps de réponse des secours en temps de crise.

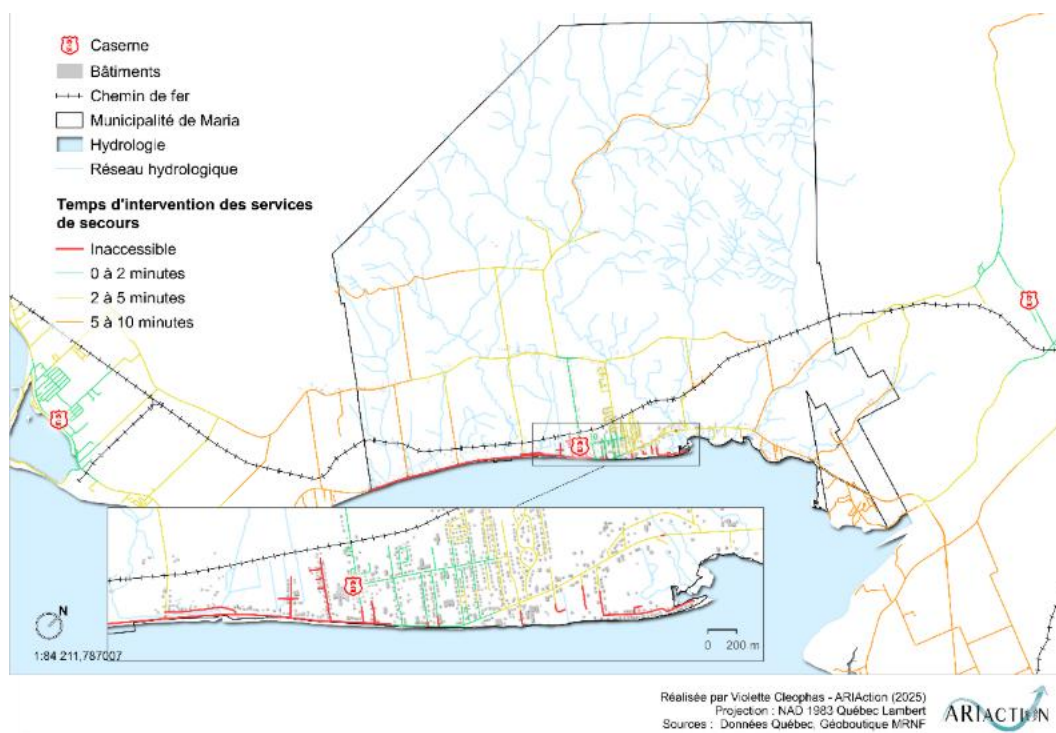


Figure 5. Analyse du temps d'intervention des services de secours en période d'inondation, Maria, Québec, réalisé par ARIAction.

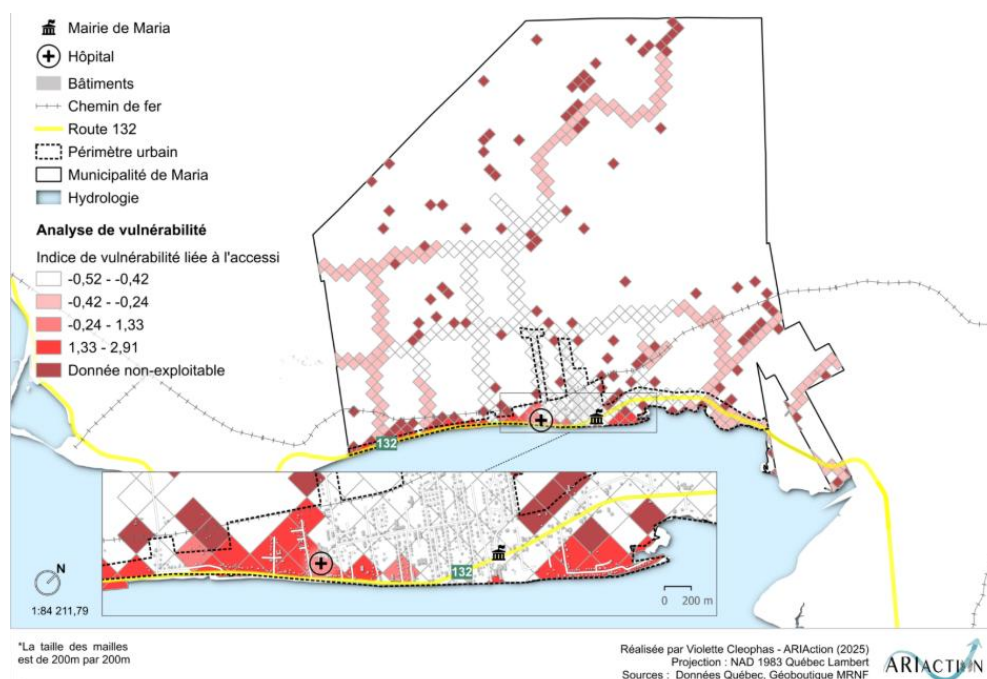
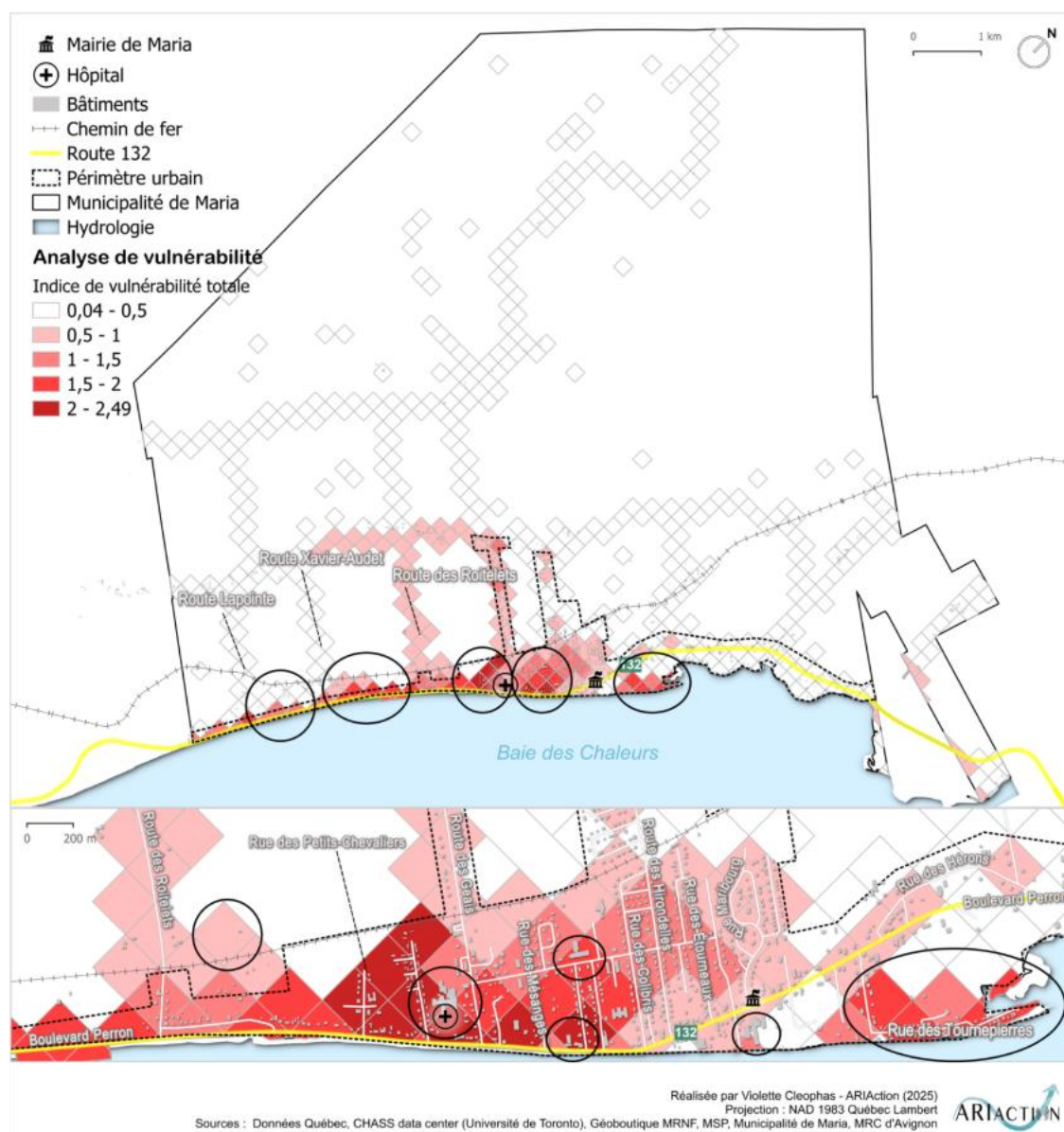


Figure 6. Vulnérabilité liée à l'accessibilité, Maria, Québec, réalisé par ARIAction.

La dernière étape de cartographie de la vulnérabilité consiste à intégrer les données issues de la sensibilité sociale, territoriale, de l'accessibilité, ainsi que d'autres thématiques pertinentes (environnementales, adaptabilité future, etc.), afin d'obtenir la **vulnérabilité totale** d'un territoire. La vulnérabilité totale est donc un croisement (superposition) des trois vulnérabilités. Elle permet de

localiser et de hiérarchiser les espaces plus ou moins vulnérables au sein de la municipalité. Cette analyse de vulnérabilité peut être conduite à différentes échelles, comme celle de la municipalité, de la MRC ou du bassin versant. Les territoires hautement vulnérables sont ainsi localisés.



2.1.3. Combinaison des données : cartographie du risque

La superposition des cartes d'aléa et de vulnérabilité totale permet d'obtenir une carte de risque du territoire incluant une typologie de la criticité. Les scores de risques côtiers sont obtenus en croisant, pour chaque maille du territoire, la présence d'un ou plusieurs aléas avec le niveau de vulnérabilité associé. Cela permet de localiser les zones les plus exposées face aux inondations. Elle est indispensable pour comprendre les enjeux des territoires et faire des choix stratégiques d'adaptation résiliente.

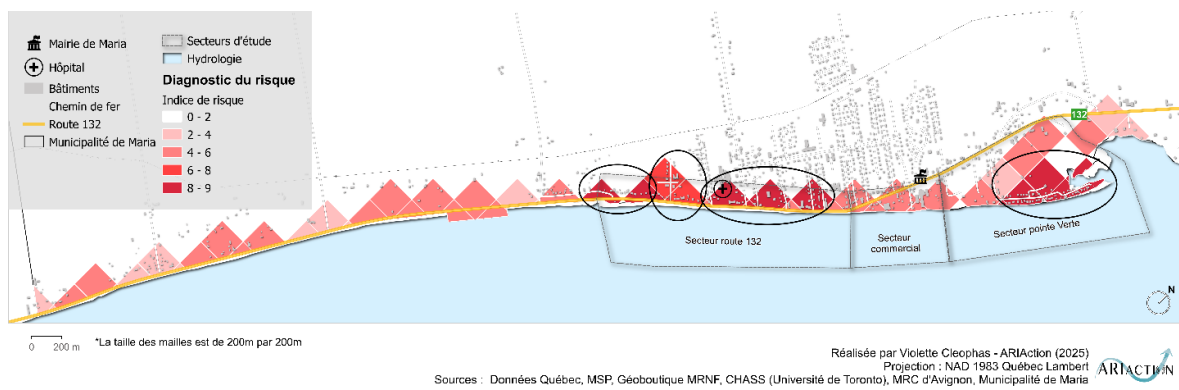


Figure 8. Diagnostic multirisques (érosion, submersion, déferment de vagues), Maria, Québec, réalisé par ARIAAction.

2.2. Analyse de la résilience avec l'outil RésiliAction

L'équipe de recherche a élaboré une méthode d'évaluation de la résilience qui correspond à la deuxième étape de l'analyse des plans de gestion ou projets de transformation urbaine. Elle est réalisée à partir de plusieurs éléments, débutant avec des critères d'acceptabilité qui doivent tous être validés pour passer à l'étape de l'analyse : la mesure à l'aide d'indicateurs issus de huit orientations. Les métriques utilisées sont des points ce qui permet de sélectionner les projets adaptés aux enjeux locaux. À l'issue de ce parcours, le plan de gestion ou le projet est validé ou non, en fonction du nombre de points obtenus. Des recommandations peuvent être faites afin de faciliter la compréhension de la compatibilité ou non des activités et projets proposés.

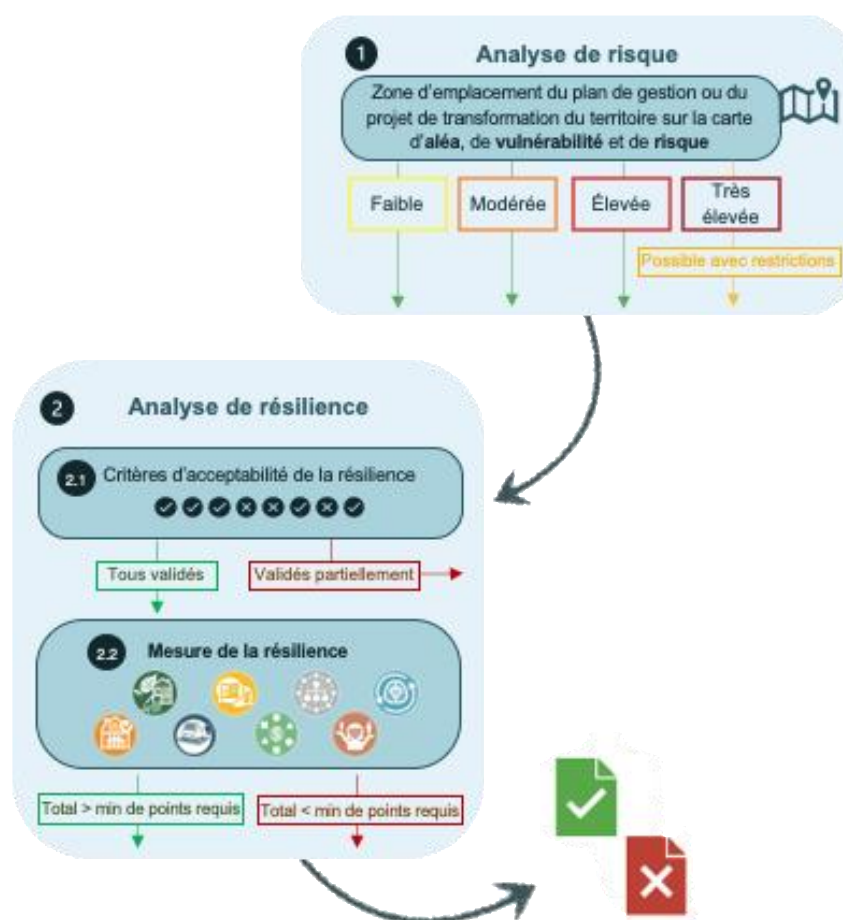


Figure 9. Vue d'ensemble de l'analyse de risque et de résilience dans le cas des inondations constituant l'outil RésiliAction. Réalisé par ARIAAction.

2.2.1. Les critères de résilience

Dans le cadre de projets de recherche précédents, en particulier AMERZI, treize **critères** qualitatifs qui visent à améliorer la capacité de résilience des systèmes urbains, humains et institutionnels ont été développés par l'équipe ARIAction.



Figure 10. Les treize critères de résilience proposés par ARIAction.

Sept critères de résilience (réfléchie, robuste, redondante, inclusive, intégrée, innovante et flexible) sont issus du document *City Resilience Framework* développé par Arup avec le soutien de la Rockefeller Foundation [ROC 15]. Le critère de compatibilité, quant à lui, est inspiré de l'étude de Berke et Campanella [BER 06]. Les critères de résilience éducative et autonome sont inspirés de Dauphiné et Proviolo [DAU 07]. Enfin, les critères de transparence, d'équité et de diversité sont proposés afin de compléter le cadre. La transparence est un élément fondamental pour la co-construction et implique des efforts en termes de communication et d'implication des parties prenantes. L'équité, qu'elle soit intergénérationnelle, sociale, financière, vise à éviter des phénomènes exclusifs comme l'écogentrification et implique la mise en place de mécanismes réfléchis au début des projets. La diversité est un critère essentiel de résilience et d'adaptation aux chocs et s'applique à l'ensemble des sphères sociales, environnementales, économiques, politiques ou encore de gouvernance qui influencent la mise en œuvre d'un projet d'aménagement.

Ces critères de résilience variés et complets permettent d'orienter la réflexion vers des éléments essentiels à considérer dans la quantification de la résilience. Ils représentent des qualités à adopter pour tout projet de réaménagement voulant s'inscrire dans cette démarche de renforcement de la résilience. En effet, ils représentent également des éléments importants à prendre en compte dans le développement d'indicateurs de mesure de la résilience, qu'ils soient de nature qualitative ou quantitative.

2.2.2. Les 8 orientations de résilience

La construction des orientations de résilience repose sur une démarche de triangulation méthodologique articulée autour de trois piliers complémentaires : une revue de littérature scientifique et institutionnelle, l'analyse d'études de cas et de concours d'aménagement internationaux, et des entretiens semi-dirigés menés auprès d'experts issus de disciplines variées [ARI 22].

La revue de littérature, de nature non exhaustive, vise à identifier et opérationnaliser les principaux déterminants de la résilience appliqués aux territoires exposés aux inondations. Elle mobilise des sources scientifiques, des cadres conceptuels et référentiels institutionnels reconnus à l'échelle internationale (notamment le City Resilience Framework, le City Resilience Index de Arup et la Boussole de la résilience du CEREMA), ainsi que des documents gouvernementaux en aménagement du territoire et en gestion des risques. L'analyse approfondie de concours d'aménagement internationaux et de projets exemplaires en zones inondables a permis de déterminer et comparer les critères d'évaluation utilisés afin d'identifier des caractéristiques récurrentes de la résilience territoriale, notamment en matière de gouvernance, de sécurité des personnes, de culture du risque, de qualité des milieux de vie et de capacité de rétablissement post-crise. Par ailleurs, une série de vingt entretiens semi-dirigés a été menée auprès d'experts issus de disciplines complémentaires (aménagement, architecture, hydraulique, santé,

économie, environnement) ont permis d'enrichir la revue de littérature, de valider les résultats issus des analyses documentaires et de faire émerger des dimensions de la résilience moins formalisées dans les écrits, telles que l'équité, la transparence, l'acceptabilité sociale et les enjeux psychosociaux.

L'ensemble des résultats a fait l'objet d'une analyse transversale et d'un processus de triangulation des données, incluant une confrontation avec des référentiels institutionnels existants, soit la Boussole de la résilience du CEREMA, et des échanges avec le comité consultatif d'experts ministériels (MSP, MELCC, MAMH). Cette analyse a facilité le choix de huit orientations multidimensionnelles de la résilience qui ont été validées par le comité consultatif :

- Sécurité des personnes et des biens : Principe fondamental de tout aménagement résilient, permettant d'assurer un aménagement sécuritaire pour toutes. Sa mise en œuvre exige un urbanisme réglementaire garantissant la continuité des réseaux critiques pour maintenir l'autonomie des populations en temps de crise. La redondance des infrastructures routières contribue également à l'accessibilité des zones à risque en période d'inondation. Ce principe se manifeste surtout en situation d'urgence, nécessitant une gestion innovante et une organisation rigoureuse pour protéger les populations. Il implique enfin une gestion adéquate des infrastructures de protection (ex. digues) afin d'éviter une accentuation de la vulnérabilité ou un transfert du risque d'inondation.

- Environnement naturel et bâti : Constitue le cadre physique de l'aménagement résilient. Il repose sur une occupation équilibrée du territoire, basée sur une planification réfléchie des espaces naturels et non-naturels à différentes échelles, et sur une cohérence entre les cadres réglementaires et les principes de base. Il privilégie les milieux naturels pour leurs bénéfices écosystémiques et la flexibilité des infrastructures pour s'adapter aux enjeux climatiques, économiques et sociaux en constante évolution.

- Connaissance du risque : Indispensable à un aménagement résilient, la connaissance du risque repose sur une compréhension fine de l'aléa et de la vulnérabilité du territoire, permettant de choisir des mesures adaptées aux enjeux locaux. Elle se traduit par la cartographie détaillée des aléas et vulnérabilités, ainsi que par des retours d'expérience tirés d'événements passés. Une bonne maîtrise de la réglementation en vigueur soutient la prise de décision par des équipes pluridisciplinaires formées. Cette connaissance inclut également les outils d'adaptation disponibles à différentes échelles et favorise la création de supports éducatifs adaptés, pour une diffusion transparente des savoirs.

- Communication et culture du risque : Renforcer la communication et la culture du risque est essentiel à la résilience. Sensibiliser la population améliore la perception du risque et encourage des comportements autonomes et résilients. Une information claire et vulgarisée aide à dissiper mythes et faux sentiments de sécurité. L'utilisation variée et innovante d'outils de communication permet d'atteindre efficacement l'ensemble de la population de manière inclusive, de conserver la mémoire du risque, et de soutenir les actions préventives de long terme.

- Diversité et vitalité économique : Un aménagement résilient repose sur une économie diversifiée et dynamique. La mixité des usages favorise la redondance des services locaux, le maintien des activités économiques, la résilience des milieux de vie et l'autonomie des populations en temps de crise. Cette pérennité dépend de financements variés et fiables, ainsi que de corps de métiers complémentaires capables de concevoir des projets intégrés sur les plans technique, architectural et paysager.

- Gouvernance participative et intégrée : Essentielle à la réussite des projets d'aménagement au Québec, la gouvernance participative est particulièrement adaptée aux démarches résilientes. Elle implique l'ensemble des parties prenantes à travers des formes de participation inclusives, favorisant l'appropriation des projets et la prise en compte des enjeux locaux. Pendant la mise en œuvre, elle permet un partage des responsabilités, renforce l'acceptabilité sociale et politique, et soutient la gestion des ouvrages de protection. Une gouvernance transparente est garante de l'efficacité du processus.

- Équité sociale et solidarité : L'équité sociale et la solidarité doivent guider la conception et la mise en œuvre d'aménagements résilients. Cela implique une répartition équitable des ressources, l'accès à des espaces naturels de qualité, des déplacements actifs, et une offre de logements abordable, mixte et diversifiée. L'implication des citoyens et des associations renforce la culture du risque et permet de

concevoir des aménagements adaptés aux besoins locaux. Cette participation favorise également l'autonomie collective face aux enjeux climatiques.

– Santé et viabilité : La santé physique et mentale, ainsi que la viabilité des populations, sont centrales dans l'aménagement résilient. Il s'agit de créer un cadre naturel et bâti qui assure la sécurité et le bien-être à toutes les échelles. Des espaces partagés favorisent le vivre-ensemble et l'accès aux espaces verts et la valorisation de l'architecture vernaculaire renforcent le sentiment d'appartenance. Ces milieux soutiennent la cohésion sociale, la flexibilité comportementale et un rétablissement plus rapide en période de crise.

Chacune de ces orientations est pondérée selon son importance dans le contexte de la résilience face aux aléas climatiques, en particulier les inondations, l'érosion cotière et la submersion marine (figure 11). Elles sont déclinées en facteurs de résilience caractérisés par différents paramètres, qui sont quantifiés à l'aide d'indicateurs de résilience, issus à la fois de la littérature scientifique et d'études de cas réalisées au Québec, qui permettent de mesurer la résilience territoriale de façon rigoureuse.

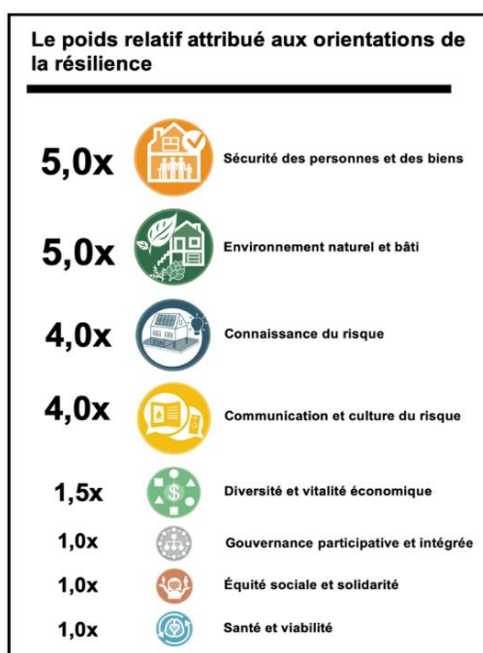


Figure 11. Pondération des orientations de la résilience proposés par ARIAction.

2.2.3. Le processus d'évaluation de la résilience

L'évaluation globale s'articule en plusieurs étapes complémentaires (figure 12) :

- la collecte de données territoriales;
- le diagnostic du risque, incluant les aléas et les vulnérabilités (cartographie du risque) ;
- l'évaluation de la résilience du projet en fonction des orientations (outil RésiliAction);
- l'utilisation des indicateurs AMERZI;
- le résultat de l'analyse et recommandations.



Figure 12. Les étapes de l'évaluation globale par ARIAction.

Les résultats permettent de comparer le score de résilience total du projet évalué à un score idéal correspondant à l'attribution du maximum de points pour l'ensemble des réponses, ainsi que d'analyser les scores obtenus et idéaux pour chacune des orientations.

Grâce à cette structure, l'outil RésiliAction permet d'identifier les projets les plus résilients, de comparer différents scénarios d'aménagement, et de recommander des leviers d'action concrets, adaptés aux réalités locales. La démarche, fondée sur la co-construction avec les parties prenantes, experts et institutions, favorise l'apprentissage et l'appropriation de la résilience comme principe structurant de la planification territoriale.

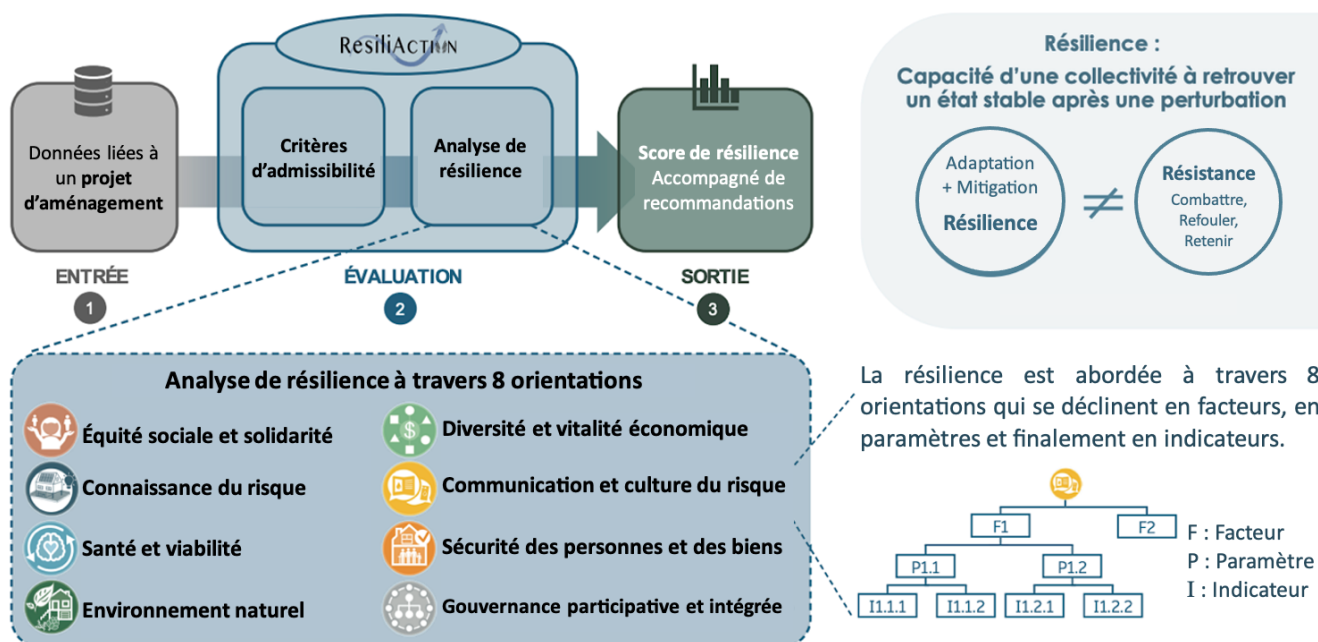


Figure 13. Structure de l'analyse au sein de l'outil RésiliAction, réalisé par ARIAction.

L'aspect multi-échelle est également considéré dans cette analyse. En effet, la construction en zone inondable constructible ou en zone déjà construite et à risque faible et moyen se doit d'être réfléchi par secteur, en intégrant les différents niveaux de gouvernance et les différentes échelles selon les catégories

de risques. Dans cette perspective, l'outil repose sur une méthode d'évaluation multiscalaire, qui s'inscrit à plusieurs échelles, faisant appel à une large palette de dimensions [GEO 20]. Cette approche permet d'intégrer des dimensions souvent négligées comme les impacts sanitaires, les bénéfices écosystémiques et la capacité institutionnelle d'adaptation. Il répond à un besoin urgent de disposer d'outils pour mesurer la résilience liée à la transformation des territoires. La figure 14, conçue dans le cadre du projet AMERZI, illustre le fait que les indicateurs de résilience construits par l'équipe ARIAction s'efforcent de considérer les échelles temporelle et spatiale de même que la continuité temporelle et physique des actions.

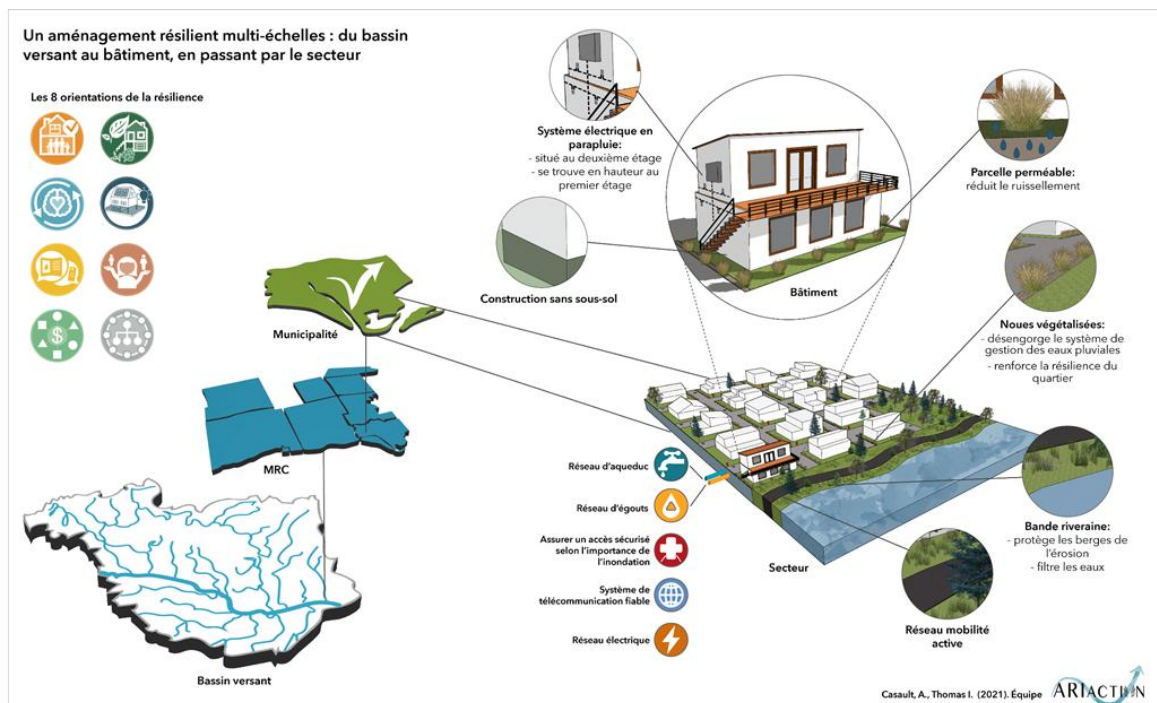


Figure 14. Aménagement multi-échelles et orientations de résilience, réalisé par ARIAction.

2.3. Indicateurs AMERZI

2.3.1. Bénéfices écosystémiques

Des indicateurs concernant les services écosystémiques et la santé avaient été intégrés dans l'analyse dans le cadre du projet AMERZI afin de démontrer la valeur économique des stratégies de transformation territoriale. Ils sont complémentaires des résultats de l'outil ResiliAction et font partie intégrante de la démarche.

Un projet de renaturation génère des bénéfices écologiques mesurables à travers la valeur des services écosystémiques rendus par les milieux humides, hydriques et naturels. Lorsqu'un projet d'aménagement comprend un élément de renaturation, un bénéfice économique annuel peut être calculé selon le type de milieu naturel prévu et sa superficie. Attribuer une valeur à ces services favorise ainsi des décisions en faveur de la préservation et de la restauration des milieux naturels et permet d'informer les décideurs et le public [GRO 12]. L'analyse économique, basée sur des données issues de la littérature scientifique [BER 20, WOO 19] rend tangible la valeur de ces services pour la population, l'environnement et l'économie locale. Les études de références ont déterminé une valeur pour les services écosystémiques fournis par superficie de chaque type de milieux naturels. Les calculs sont ajustés selon la surface potentielle des milieux naturels inclus dans le scénario d'aménagement proposé dans l'étude de cas à analyser.

2.3.2. Coûts évités liés aux soins de santé mentale

Par ailleurs, les inondations ne causent pas seulement des dommages matériels, elles entraînent aussi des répercussions psychologiques importantes, notamment l'anxiété, la dépression et le trouble de stress

post-traumatique (TSPT). Ces impacts engendrent à la fois des coûts directs de traitement et des pertes économiques liées à l'incapacité de travailler.

Une étude de référence [VIA 20] fournit des estimations des coûts par adulte touché selon la hauteur d'inondation observée dans les habitations. Converti en dollars canadiens, le coût moyen par adulte sur deux ans est estimé à 3 491 \$ pour une profondeur d'eau dans la résidence de moins de 30 cm, 5 624 \$ pour une profondeur de 30 à 100 cm, et 7 684 \$ pour plus de 100 cm. Pour être adaptées au contexte de l'étude de cas de la municipalité de Maria, les données locales sur la taille des ménages et la population active ont été utilisées. En moyenne, selon les données de recensement, un ménage compte 1,8 personne en activité. L'estimation est réalisée en considérant des scénarios de profondeur d'eau uniforme dans les résidences visées par la relocalisation.

Partie 3 : Résultats des études de cas et bénéfices d'une transformation résiliente

3.1. Saint-André-d'Argenteuil (STADA) : une municipalité abîmée par les inondations de 2017 et 2019

Le développement de l'outil RésiliAction s'est appuyé sur plusieurs étapes expérimentales qui ont permis non seulement d'en confirmer la pertinence scientifique, mais aussi de démontrer sa valeur ajoutée comme outil opérationnel d'aide à la décision en aménagement.

Située à proximité de la rivière des Outaouais, la municipalité de Saint-André-d'Argenteuil présente un contexte morphologique typique d'un milieu rural riverain, ce qui l'expose principalement aux aléas d'inondation fluviale. Entre 2020 et 2022, une première mise à l'essai a été réalisée à STADA, touchée par les inondations de 2017 et 2019. Cette expérimentation, menée dans le cadre du projet AMERZI (approche multicritère pour l'évaluation de la résilience en zone inondable) en partenariat avec le MSP et le MELCCFP, a permis de tester la démarche et l'outil dans un contexte réel et représentatif des petites collectivités.

Les résultats de l'analyse avec l'outil à ces stratégies ont conduit à une révision du projet de développement initial, jugé non conforme aux critères de résilience définis par l'outil. RésiliAction a démontré sa capacité à structurer une analyse rigoureuse, à faire ressortir les forces et faiblesses d'un projet d'adaptation et à orienter les décisions en faveur d'aménagements plus résilients. Ce test a confirmé la pertinence et le besoin d'un tel dispositif dans la prise de décision territoriale et à l'intérêt d'une planification fondée sur des critères objectifs et transparents, à partir d'indicateurs couvrant plusieurs domaines, comme les dommages aux bâtiments, la santé publique, les coûts municipaux et les bénéfices environnementaux. Des ateliers intersectoriels ont permis d'assurer une validation technique et politique du prototype, en cohérence avec les exigences réglementaires en vigueur.

Parallèlement à ce projet, une revue de littérature exhaustive a confirmé l'absence d'outils équivalents au Québec et à l'international, soulignant le caractère novateur de RésiliAction d'un point de vue scientifique. Cependant, un changement politique et les enjeux d'acceptabilité sociale, en particulier de la relocalisation intégrée dans le projet de transformation urbaine, ont stoppé la mise en oeuvre du projet.

3.2. Municipalité de Maria : un contexte côtier abîmé en voie de transformation

Les tests de l'outil RésiliAction se poursuivent dans la municipalité de Maria, située dans la MRC d'Avignon en Gaspésie. Le projet a débuté en novembre 2023 en partenariat avec la ville et financé par le MSP. Il se poursuivra jusqu'en mars 2026. Maria, dont l'organisation spatiale se concentre autour du littoral de la baie des Chaleurs, constitue un terrain clé pour valider la capacité de l'outil à s'adapter à un contexte côtier.

La municipalité de Maria et ses environs sont particulièrement exposés aux aléas de submersion marine, d'érosion côtière et déferlement de vagues, notamment dans le secteur de la pointe Verte. Au cours des deux dernières décennies, plusieurs tempêtes majeures (2005, 2010, 2022, 2023 et 2024) ont provoqué des inondations, des évacuations et un recul accéléré du trait de côte, compromettant la sécurité

des biens et des personnes [DRE 24, BER 24]. En fait, près de 71 % de la côte de Maria présentent des enjeux d'érosion et le recul maximal du littoral peut atteindre jusqu'à 5 m par an dans certaines zones [BER 06]. Lors des tempêtes, le déferlement des vagues projette des débris pouvant endommager les infrastructures et menacer la sécurité des résidents. En 2022, la gravité récurrente des événements a conduit à la signature d'une entente entre la municipalité et le MSP dans le contexte du cadre pour la prévention des sinistres. En décembre 2025, plusieurs résidences dans le secteur font l'objet d'un avis d'imminence et de possible relocalisation, où la route 132 et plusieurs propriétés côtières demeurent à risque. Ces constats soulignent la forte vulnérabilité du secteur de la pointe Verte, confirmant la nécessité d'une gestion intégrée du risque et d'une transition vers une planification fondée sur la résilience plutôt que sur la résistance.



Figure 15. *Vue aérienne de la pointe Verte, fournie par la municipalité de Maria.*

Bien que les municipalités de STADA et de Maria soient toutes les deux vulnérables aux changements climatiques, elles se distinguent par leurs contextes urbains et morphologies : la première relevant des dynamiques fluviales, la seconde des dynamiques côtières. L'application de l'outil dans ces différents contextes démontre sa flexibilité et sa capacité d'adaptation à différentes réalités territoriales. Ce second projet pilote constitue une phase stratégique, car il permet de mesurer concrètement la performance de l'outil RésiliAction et d'en étendre l'utilisation à de nouveaux types de risques, alors qu'il avait été initialement conçu pour les inondations fluviales.

La cartographie des composantes de la vulnérabilité, la vulnérabilité totale (figure 7) et du risque (figure 8) pour la municipalité de Maria est présentée à la section 2.1. L'analyse du risque démontre la forte exposition du littoral et met en évidence les secteurs à risque élevé, particulièrement celle de la pointe Verte, pour lesquels la mise en œuvre de stratégies d'adaptation est jugée prioritaire. La criticité de ces secteurs est toutefois évolutive et peut varier en fonction des actions envisagées ou en cours de réalisation, notamment l'intégration de mesures de recharge de plage, la relocalisation ou encore l'adaptation du cadre bâti dans certains secteurs.

Consciente de ces enjeux, mais également des atouts liés au patrimoine naturel, à la biodiversité ornithologique et végétale ainsi qu'aux paysages littoraux à préserver, la municipalité a engagé une démarche de co-construction fondée sur la consultation citoyenne et la planification de nouvelles zones de développement. Cette démarche a mis en évidence la nécessité d'une recomposition du territoire à long terme et a conduit à l'élaboration d'orientations de réaménagement répondant aux aspirations de la population. Les enjeux identifiés appellent ainsi des stratégies de réaménagement résilients et diversifiés, incluant :

- La relocalisation des habitations hors des zones à risque et dans des quartiers à Maria,
- La densification douce et la diversification de logements dans les secteurs non exposés,

- La consolidation d'un centre-ville mixte et la création d'une rue principale avec des commerces de proximité,
- L'adaptation du cadre bâti, notamment pour les habitations situées derrière la recharge de plage dont la durée de vie limitée (30 ans) expose le secteur à des dommages importants en cas d'événement majeur,
- La renaturation de la pointe Verte et la restauration des milieux naturels pour renforcer la résilience écologique,
- Le développement d'un réseau de mobilité active, incluant une promenade de la résilience avec panneaux d'information, repères de submersion et activités de sensibilisation.

La figure 16 illustre un scénario hypothétique de transformation globale de la municipalité intégrant les trajectoires et orientations visant à renforcer la résilience spécifique de ce territoire. Les facteurs de contrainte et de défaillance expliquent les enjeux dans le domaine maritime. Les facteurs d'opportunité et de résilience dévoilent les possibilités et forces qui peuvent orienter le futur de la transformation. Les stratégies d'aménagement sont réfléchies selon des scénarios hypothétiques de 5 et 50 ans. Une fois conçu, ce scénario est ensuite calibré avec l'outil ResiliAction et pose les bases d'une réflexion avec les parties prenantes.

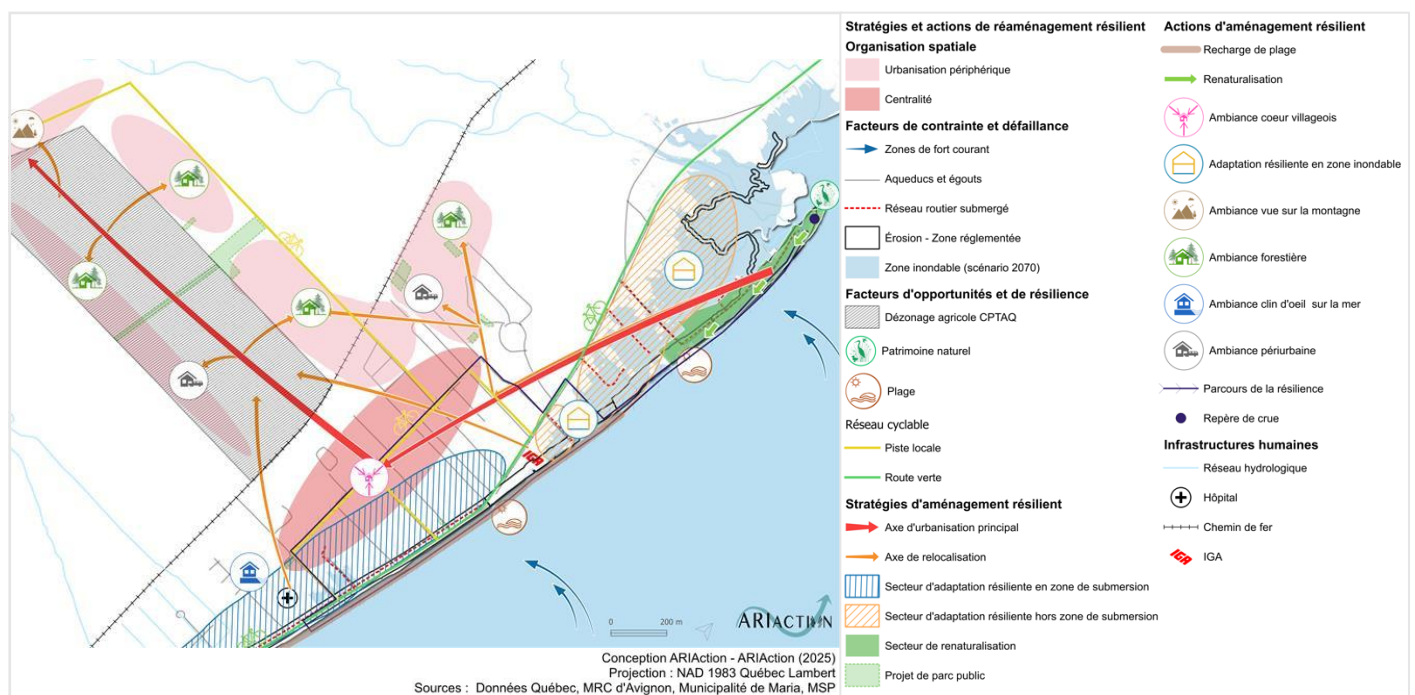


Figure 16. Scénario hypothétique de l'aménagement résilient à la municipalité de Maria, réalisé par ARIAction.

3.2.1. Application de RésiliAction au scénario proposé

L'analyse de la résilience avec l'outil RésiliAction du scénario de réaménagement de Maria a été testée à partir de la version prototype. Des ajustements ont été apportés afin d'adapter l'outil au contexte particulier d'une municipalité côtière. Ces modifications visaient à mieux refléter les enjeux liés à l'érosion, aux submersions et aux dynamiques propres au littoral. Ainsi, plusieurs indicateurs ont été intégrés, élargis et testés sur le terrain dès l'été 2025, afin d'évaluer la résilience du scénario d'aménagement proposé. L'intégration explicite des zones côtières dans l'évaluation permet désormais de mieux considérer aléas et enjeux côtiers. De nouveaux indicateurs liés à la qualité et à l'accessibilité à l'eau potable, à la gestion de l'érosion côtière et aux types d'infrastructures naturelles mises en place ont également été introduits. L'outil inclut maintenant la vérification de la localisation des bâtiments essentiels et des centres d'hébergement, ainsi que la planification de la relocalisation préventive des bâtiments les plus à risques. Les thématiques de mobilité durable, d'accessibilité universelle et de bien-être communautaire ont aussi été renforcées. Cette démarche a permis de tester la pertinence de l'outil

dans un contexte côtier concret, tout en mettant en lumière les bénéfices associés à chaque volet du projet.

Le scénario répond à l'ensemble des treize critères de résilience, et correspond à un score global de résilience de 265/320,5 soit 82,6 % de proximité avec un scénario de résilience idéal (Tableau 2). Ceci confirme un niveau de résilience élevé face au risque de submersion marine et d'érosion cotière, tout en mettant en évidence certaines dimensions nécessitant des efforts ciblés pour atteindre le plein potentiel. Les résultats soulignent des forces notables en matière de gouvernance, d'équité sociale et de protection des milieux naturels, tout en identifiant certaines marges de progression pour la conception des bâtiments et la culture du risque à long terme. Cette application illustre ainsi le potentiel de l'outil comme cadre opérationnel pour appuyer la planification intégrée et durable des territoires côtiers.









	Orientations	Coefficient de pondération	Score obtenu / Score idéal	Pourcentage (%)
	Environnement naturel et bâti	5	125 / 140	89
	Sécurité des personnes et des biens	5	95 / 110	86
	Connaissance du risque	4	12 / 24	50
	Communication et culture du risque	4	4 / 8	50
	Diversité et vitalité économique	1,5	6 / 7.5	80
	Équité sociale et solidarité	1	8 / 8	100
	Santé et viabilité	1	8 / 16	50
	Gouvernance participative et intégrée	1	7 / 7	100
	Totale		265 / 320,5	82,6

Tableau 2. Scores finaux par orientation de l'analyse de résilience du projet de la municipalité de Maria.
Réalisée avec l'outil RésiliAction, ARIAction.

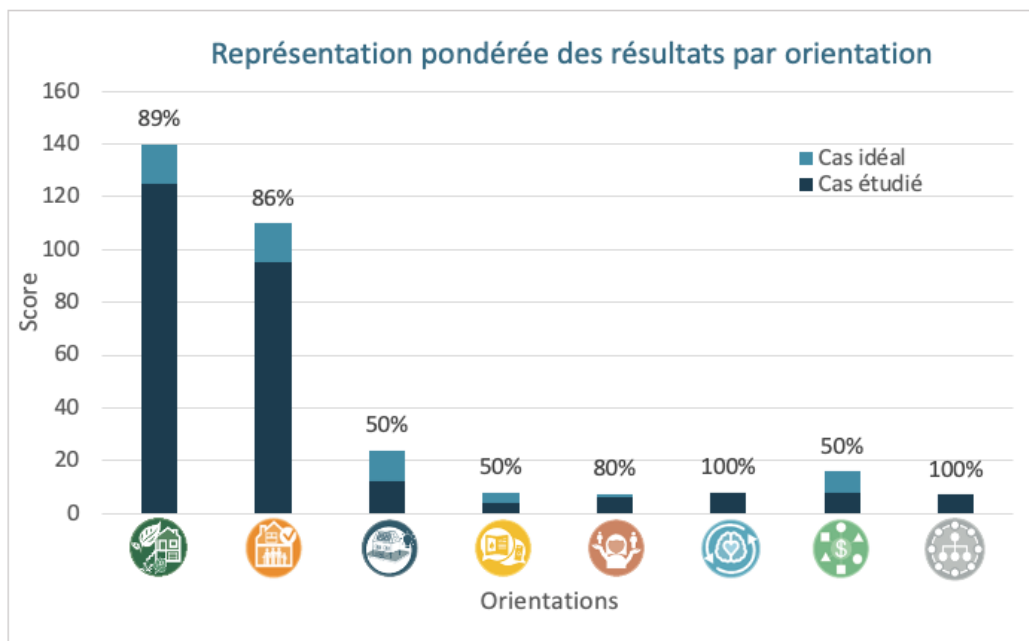


Figure 17. Représentation des résultats finaux par orientation de l'analyse de résilience du projet de la municipalité de Maria. Réalisée avec l'outil RésiliAction, ARIAction.

Les résultats affichent des scores qui montrent les forces du scénario et les éléments éventuels à améliorer. Dans le cas de la municipalité de Maria, le scénario présenté, même s'il représente une première version des réflexions, révèle une réelle opportunité de transformation renforçant la résilience globale de la municipalité. Ce travail confirme que l'outil RésiliAction, une fois adapté, constitue un levier essentiel pour guider les décisions d'aménagement dans un contexte côtier. Pour la municipalité de Maria, il fournit déjà des arguments solides en faveur d'une relocalisation planifiée et d'une renaturalisation ambitieuse, capables de concilier sécurité, durabilité environnementale et équité sociale. En anticipant et en accompagnant le changement, la municipalité de Maria assure la sécurité de ses citoyens et une résilience sur le long terme.

3.2.2. Application des indicateurs AMERZI

L'analyse de l'étude de cas à Maria utilise l'indicateur sur la valeur économique des bénéfices écosystémiques. Dans le scénario d'aménagement proposé, lorsqu'un bâtiment est relocalisé, la parcelle libérée est renaturalisée. De plus, les quartiers de développement comprennent des nouveaux parcs urbains. Ces nouveaux espaces naturels apportent donc des services écosystémiques.

Les résultats préliminaires pour cette étude démontrent que la valeur annuelle totale des services écosystémiques dans les scénarios d'aménagement s'élève à 37 538 \$, répartie entre les milieux humides et les friches herbacées et arbustives, représentant la renaturation de la pointe Verte et les nouveaux parcs. Ces données illustrent la valeur ajoutée significative que ces nouveaux écosystèmes apporteront chaque année à la municipalité de Maria, tant pour la protection environnementale que pour le bien-être collectif.

Services écosystémiques	Milieux humides	Parcs (herbacés et arbustifs)	Valeur totale par service (\$/an)
Superficie par écosystème (ha)	1,85	10,73	
Production agricole	-	-	0
Séquestration de carbone	27	154	181
Qualité de l'air	-	-	0
Traitement des polluant	2 836	-	2 836
Approvisionnement de l'eau	57	-	57
Contrôle de l'érosion	7	140	147
Contrôle biologique	-	172	461
Habitat biodiversité	3 110	25 548	28 658
Prévention d'événement extrême	2 751	-	2 751
Cycle de nutriment	-	1 620	1 620
Esthétisme	-	826	826
Activités récréatives	-	-	0
Total par écosystème (\$/an)	8 788	28 749	37 538

Tableau 3. Valeur annuelle des services écosystémiques estimée pour les nouveaux milieux naturels prévus dans l'aménagement de Maria (\$/an), réalisé par ARIAction.

Les cartes d'analyse du secteur de la pointe Verte identifient plusieurs résidences principales visées par une relocalisation. Les résultats estimés pour les coûts évités liés aux soins de santé mentale indiquent que la relocalisation du projet d'aménagement proposé permettrait une économie des coûts d'un montant entre 282 791 \$ (submersion < 30 cm) et 622 390 \$ (submersion > 100 cm) sur une période de deux ans. Ces résultats montrent que la relocalisation permettrait d'éviter des pertes économiques significatives en santé mentale sur une période minimale de deux ans après une inondation. Bien que ces résultats ne soient que des estimations, ils illustrent clairement que les bénéfices économiques liés à la santé mentale peuvent être substantiels et devraient être pris en compte dans l'évaluation des mesures d'adaptation. Cependant, ces résultats sont à nuancer car la relocalisation entraîne pour certains citoyens un stress important lié à la perte de leur patrimoine et de leur milieu de vie.

Hauteur d'inondation à l'intérieur d'une propriété résidentielle (cm)	Montant sur deux ans (somme des conditions) par adulte par inondation (\$) [VIA 20]	Montant des coûts évités sur deux ans par inondation à Maria (\$)
< 30	3 491	282 791
30 – 100	5 624	455 576
> 100	7 684	622 390

Tableau 4. Estimations moyennes des pertes économiques globales liées aux soins de santé mentale et à l'absentéisme par inondation, ventilées par tranche de profondeur d'inondation, pour un chiffre hypothétique de 45 résidences relocalisées de la pointe Verte en assumant une moyenne de 1,8 personnes travaillant par résidence, réalisé par ARIAction.

3.3. Valeur ajoutée potentielle de l'outil RésiliAction et autres bénéfices attendus

L'outil RésiliAction, accompagné par les indicateurs de services écosystémiques et de santé, permet donc d'intégrer de manière innovante et systémique les dimensions sociales, économiques et environnementales de stratégies d'adaptation aux aléas climatiques. Il répond ainsi à un besoin en outils d'aide à la décision pour faire face aux changements climatiques.

RésiliAction facilite la planification de mesures préventives et l'évaluation des bénéfices attendus à long terme. Il contribue à renforcer la capacité des territoires à maintenir leurs fonctions essentielles en situation de crise, tout en soutenant une solidarité amont-aval dans la gestion des risques, renforçant la cohérence régionale via une méthode reproductible. L'outil contribue ainsi à la construction de collectivités plus sûres, résilientes et durables, en cohérence avec les engagements du Québec envers l'Agenda 2030 et les Objectifs de Développement Durable (ODD).

En orientant les investissements vers les mesures d'adaptation les plus efficaces et les zones les plus propices, l'outil RésiliAction contribue à réduire les coûts économiques et humains liés aux sinistres, tels que les pertes matérielles, les interruptions de services et les réparations d'urgence. En intégrant la valorisation des services écosystémiques, il facilite également la justification de solutions fondées sur la nature. Cette approche optimise les ressources publiques, améliore l'acceptabilité sociale des interventions et contribue à la sécurité et au bien-être des collectivités. Dans un contexte où les porteurs de projets doivent démontrer que leurs propositions sont résilientes, adaptées au niveau de risque et conformes aux nouvelles cartographies, RésiliAction offre un appui à la justification des projets, ce qui peut jouer un rôle dans les demandes de financement ou de permis.

Reposant sur une grille d'indicateurs rigoureuse et des critères scientifiques transparents, l'outil réduit les biais subjectifs ou politiques dans l'évaluation des projets. Il agit ainsi comme un levier stratégique pour guider les interventions vers les meilleures pratiques d'adaptation. Son approche comparative, fondée sur des critères clairs (équité, pérennité économique, continuité des services, qualité de vie, protection des milieux naturels, etc.), permet d'évaluer de manière structurée, différentes options d'intervention, en tenant compte des capacités financières et institutionnelles des collectivités. Elle facilite ainsi les arbitrages stratégiques et l'intégration de la résilience dans les processus de planification. La méthode d'évaluation systémique portée par RésiliAction s'aligne naturellement avec le nouveau cadre québécois, qui repose sur une caractérisation multifactorielle de l'aléa (fréquence, hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, risque résiduel). L'outil est déjà conçu pour intégrer des dimensions territoriales, institutionnelles, écologiques et sociales, ce qui le rend particulièrement pertinent pour accompagner les municipalités dans la mise en œuvre de leurs transformations qu'elles soient liées au risque d'inondation, au nouveau régime réglementaire ou à l'érosion côtière et submersion marine.

Par ailleurs, l'outil encourage le développement de pratiques professionnelles reproductibles en proposant un langage commun favorisant la collaboration interdisciplinaire entre ingénieurs, urbanistes, économistes, acteurs communautaires et institutions gouvernementales. Son potentiel de transfert à d'autres municipalités est élevé, et il peut servir de base pour développer des lignes directrices, des programmes de formation et des cadres de financement cohérents.

Enfin, l'outil RésiliAction contribue à une transformation systémique des pratiques de planification. En plaçant la résilience au cœur des décisions, il favorise l'émergence d'une culture partagée de la résilience, essentielle pour anticiper les chocs climatiques et adapter durablement les milieux de vie.

Partie 4 : Limites et perspectives

Bien que l'outil développé par le groupe de recherche ARIAction constitue une avancée significative en matière d'aide à la décision pour les projets d'aménagement en zone inondable, plusieurs limites doivent être explicitement reconnues afin d'en encadrer les usages et d'envisager des pistes d'amélioration.

4.1. Portée méthodologique et caractère non exhaustif

L'évaluation proposée est structurée et opérationnelle, mais sans prétendre à une couverture exhaustive. L'outil RésiliAction repose sur un ensemble d'indicateurs qui permet d'intégrer des dimensions rarement prises en compte dans les évaluations classiques (équité sociale, gouvernance, santé, solidarité, etc.). Cependant, la résilience étant un concept multidimensionnel, évolutif et fortement dépendant des contextes locaux, certains enjeux spécifiques peuvent ne pas être pleinement couverts par la grille proposée. L'outil doit ainsi être compris comme un cadre structurant d'analyse, et non comme une représentation totale ou définitive de la résilience des projets.

Concernant l'analyse de la vulnérabilité totale, il est important de noter que les analyses agrégées (issues de plusieurs composantes) peuvent entraîner une perte d'informations et de précision concernant les typologies de vulnérabilité. Cependant, ces informations se retrouvent dans les bases de données et les analyses qui constituent les cartes. Il est donc important de pouvoir analyser et connaître les caractéristiques fondatrices de la vulnérabilité sociale : niveau de revenus des habitants, pourcentage de population âgée, etc., ou de la vulnérabilité territoriale : les routes, écoles, hôpitaux, maisons, commerces essentiels etc.

De plus, des indicateurs reposant sur des données chiffrées ou économiques, bien qu'ils permettent de favoriser une certaine objectivation de l'analyse et permettre la comparaison entre projets, peuvent également conduire à une perte de nuance dans la restitution de situations complexes. Certaines réalités territoriales ou dynamiques sociales ne se laissent pas aisément réduire à des valeurs numériques.

Il est donc important de réaliser la démarche complète et complémentaire intégrant une analyse du risque, l'évaluation de la résilience avec l'outil RésiliAction et l'utilisation des indicateurs AMERZI.

4.2. Dépendance à la disponibilité et spécificités des données de terrain

L'évaluation des indicateurs nécessite la mobilisation de données de terrain relativement précises (données socio-économiques, environnementales, surfaces, etc.). Or, la capacité à produire ou à accéder à ces données varie fortement selon les contextes territoriaux. Pour les petites municipalités ou les territoires disposant de ressources limitées, la collecte de l'ensemble des informations requises peut constituer un frein à l'utilisation de l'outil, ou conduire à des évaluations partielles. Cette contrainte souligne la nécessité d'adapter l'outil aux capacités opérationnelles des acteurs locaux. La possibilité d'un soutien de l'équipe de recherche ARIAction pour l'utilisation de l'outil peut en favoriser son utilisation.

Les bénéfices économiques ont été estimés à partir de données provenant d'autres régions du Québec. Ces estimations comportent des limites, puisque les bénéfices varient selon les contextes locaux et la qualité des écosystèmes, notamment en raison des effets de fragmentation qui peuvent réduire l'efficacité des services écosystémiques [BIS 23]. De plus, l'évaluation économique des services écosystémiques ne permet pas de capter l'ensemble des bénéfices non monétisables, tels que les valeurs culturelles, patrimoniales et le bien-être social et psychologique des communautés [BER 20]. Par ailleurs, les estimations des coûts évités reposent sur des données issues du contexte britannique et présentent des limites liées à l'absence de données locales, notamment en matière de santé mentale. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence, d'autant plus que les effets psychosociaux de la relocalisation, tels que le stress lié à la perte du milieu de vie, ne sont que partiellement pris en compte. La précision des estimations pourrait être améliorée par l'utilisation de données plus fines sur l'exposition des résidences aux inondations et par l'intégration de coûts de traitement adaptés au contexte québécois.

4.3. L'outil RésiliAction comme instrument de mise en débat

Cet outil doit être envisagé principalement comme un outil d'aide à la décision. Les résultats qu'il produit appellent nécessairement une interprétation, des mises en perspective et des recommandations formulées par des acteur·rices compétent·es. Il permet d'intégrer et de questionner des dimensions souvent absentes des études techniques (équité sociale, gouvernance, santé, cohésion sociale), mais il

doit être utilisé en complémentarité des analyses de risques, analyses réglementaires, hydrauliques, de sécurité civile, etc. Il doit donc être mobilisé en complément d'autres études spécialisées, dans une logique d'enrichissement de la décision.

L'utilisation de l'outil nécessite une formation afin d'en garantir une compréhension adéquate. En contexte de zones inondables, les décisions d'aménagement engagent directement la sécurité des personnes et des biens. L'outil ne constitue en aucun cas une validation de l'absence de risque. Il s'inscrit dans une démarche visant à mettre en débat une pluralité d'enjeux et à soutenir une prise de décision éclairée, sans jamais se substituer aux responsabilités des décideur·euse·s.

À ce stade, l'outil demeure en phase de consolidation et de validation empirique. Son utilisation dans le cadre du projet Maria-Résilience a confirmé sa pertinence. Son efficacité repose sur sa capacité à être testée sur une diversité de projets dans des contextes variés. Ces mises à l'épreuve sont indispensables pour ajuster les indicateurs, affiner les seuils d'analyse et renforcer la cohérence globale du dispositif, en complémentarité avec les autres analyses.

Partie 5 : Conclusion : opportunités à différentes échelles et dans les plans climats

Entre 2022 et 2026, les municipalités du Québec sujettes aux inondations doivent composer avec un régime transitoire puis permanent exigeant, dans un contexte où les ressources techniques, humaines et financières sont inégalement réparties. La nouvelle réglementation, plus flexible que le cadre précédent, autorise certains projets en zones inondables. Face à ces défis, RésiliAction se présente comme un outil structurant de transition, capable de soutenir les autorités locales et régionales dans la planification de leurs territoires à risques climatiques (inondations, érosion côtière, submersion marine), la comparaison de scénarios d'aménagement, la priorisation des investissements tout en assurant la conformité aux exigences du cadre permanent ou de la réglementation concernant les autres aléas.

L'outil RésiliAction, s'est révélé être un instrument innovant en urbanisme et en aménagement du territoire. Sa capacité à croiser des données qualitatives et quantitatives et à rendre visibles une analyse de la résilience des scénarios constitue une avancée importante pour l'évaluation et la planification de la résilience territoriale. Les analyses présentées dans cet article indiquent clairement la pertinence du scénario hypothétique pour Maria. Elles montrent que les bénéfices de la transition s'accumulent dès les premières phases et que leur ampleur s'accroîtra avec la mise en œuvre progressive des différentes mesures.

Aucune autre démarche recensée à ce jour n'intègre, dans un même outil, une analyse combinée de la vulnérabilité, du risque et de la résilience territoriale. L'outil est à la fois novateur, rigoureux et audacieux. Il vise le passage de la connaissance à la mise en œuvre de la résilience. Les tests témoignent de son potentiel et encouragent un déploiement dans plusieurs municipalité et MRC, au Québec et ailleurs.

Maria agit comme un cas démonstrateur unique au Québec, combinant relocalisation de quartiers exposés, requalification d'espaces vulnérables, et protection d'infrastructures essentielles dans une perspective de planification résiliente. Les tests permettent de calibrer des scénarios de transformation territoriale, d'évaluer la pertinence des indicateurs en conditions réelles et de recueillir des rétroactions sur l'expérience utilisateur. Les résultats guideront le développement de la version numérique de l'outil, conçue pour être accessible et adaptée à divers profils d'utilisateurs. En plus, ils montrent la capacité de l'outil à appuyer une démarche interdisciplinaire, en croisant les vulnérabilités sociales, territoriales et environnementales pour guider les stratégies. Dans ce contexte, RésiliAction prend tout son sens : il permet d'évaluer, de hiérarchiser et de justifier les projets en fonction de leur niveau de résilience et de risque, tout en assurant leur conformité réglementaire. Cela facilite leur intégration dans les nouveaux projets de transformation et leur alignement avec les objectifs de sécurité, d'adaptation et de développement durable.

La méthode, qui repose sur trois étapes clés, est innovante et performante :

- Une analyse du risque, fondée sur une cartographie croisée des aléas et des vulnérabilités, permettant d'éliminer les projets incompatibles avec les niveaux de risque inacceptables,
- Une analyse de la résilience, qui hiérarchise les projets selon leur capacité à « vivre avec l'eau » et à renforcer la sécurité, la viabilité et l'équité des milieux de vie de façon durable.
- Une analyse économique des services écosystémiques de la nature et des coûts évités,

En apportant un soutien concret à la prise de décision, RésiliAction permet donc de justifier les choix d'aménagement selon le niveau de risque, d'orienter les interventions vers les zones les plus propices et d'anticiper les enjeux climatiques à long terme.

Son potentiel d'utilisation dépasse l'échelle municipale. Déployé à l'échelle provinciale, l'outil pourrait favoriser l'harmonisation des pratiques de planification entre municipalités, régions et ministères, tout en renforçant la cohérence entre les plans climats municipaux, les stratégies régionales d'adaptation et les grandes orientations gouvernementales. De plus, sa complémentarité avec les indicateurs de bénéfices environnementaux et de santé mentale permet d'intégrer davantage les dimensions écologiques et humaines de la résilience, en reliant la valeur des services écosystémiques et de la requalification aux retombées positives sur le bien-être et la santé collective.

Flexible et adaptable selon le contexte territorial, RésiliAction peut ainsi devenir un trait d'union entre les logiques locales, régionales et nationales, en tenant compte des réalités urbaines, rurales et autochtones, dans une perspective de justice spatiale et climatique. Labellisé comme outil d'évaluation de la résilience territoriale, il présente une structure modulable qui lui permet de s'ajuster aux différents contextes provinciaux canadiens et de s'adapter également à des cadres d'analyse internationaux.

L'outil peut aussi aider les MRC à prioriser leurs projets dans le cadre des plans climats et d'autres aléas climatiques. RésiliAction est aussi destiné à être adapté à l'échelle des bassins versants, dans une optique de solidarité amont/aval, et à soutenir la mise en œuvre des plans climats municipaux et régionaux, intégrant des projets PRAFI et des plans de gestion. De part sa flexibilité et son utilisation à différentes échelles, il permet d'outiller les collectivités pour répondre aux exigences d'un climat en transformation, tout en favorisant une gouvernance partagée, une meilleure allocation des ressources publiques et une culture de la résilience renouvelée. Il constitue ainsi un levier stratégique pour construire des territoires résilients, équitables et durables, en cohérence avec les objectifs climatiques du Québec ainsi que les objectifs de développement durable.

Remerciements

Ce travail a été appuyé par le Cadre pour la prévention de sinistres du gouvernement du Québec [CPS 23-24-01] par une contribution financière de 322 270 \$ et CPS 19-20-19 par une contribution financière de 315 000\$. Le support du MSP a été majeur pour la réussite des projets de recherche.

Ce travail a été appuyé par un financement du MELCCFP.

Ce travail a été appuyé par le programme de regroupement stratégiques Villes Régions Monde du fond de recherche du Québec (DOI <https://doi.org/10.69777/281158>)

Bibliographie

[ALE 13] ALEXANDER D. E., « Résilience et réduction des risques de catastrophe : un voyage étymologique », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, p. 2707-2716, 2013, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2707-2013>.

- [AUB 24] AUBÉ-MICHAUD S., CODERRE F., COMTOIS S., CYR J.-F., EL HOUSNI H., GODIN F., JEANMOYE-TURCOTTE G., MATHON-DUFOUR V., ROY-POULIN G., TURCOTTE, LEVASSEUR M., RAINVILLE C., *Projet de guide méthodologique applicable à l'établissement des zones inondables et de mobilité*, Gouvernement du Québec, 2024.
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/ministere/consultation-modernisation/guide-methodologique.pdf>
- [ARI 22] ARIAction. *Développement d'une approche multicritère pour l'évaluation de la résilience en zone inondable (AMERZI) : Application à la municipalité de Saint-André-d'Argenteuil - Rapport final*. Université de Montréal. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, 2022.
- [ARU 19] Arup. « City Resilience Index: Understanding and Measuring City Resilience ». Arup with support from the Rockefeller Foundation, 2019.
- [BER 20] BERGEVIN C., *La valeur économique des écosystèmes naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec, une étude de cas*, Mémoire, Université du Québec en Outaouais, 2020.
http://di.uqo.ca/id/eprint/1154/1/Bergevin_Caroline_2020_memoire.pdf
- [BER 06] BERKE P., CAMPANELLA T., « Planning for Postdisaster Resiliency », *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 2006.
- [BERN 06] BERNATCHEZ P., FRASER C., *Caractérisation du littoral et évaluation des risques d'érosion et de submersion côtière pour le secteur de la pointe Verte, Maria (Québec)*, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (LDGIZC), 2006.
- [BER 24] BÉRUBÉ J., « Appel à la vigilance en raison des fortes pluies », Radio-Canada, 8 octobre 2024.
<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2110843/securite-civile-vigilance-pleui-abondante-inondation-riviere-verte>
- [BIS 23] BISWAS, G., SENGUPTA, A., ALFAISAL, F. M., ALAM, S., ALHARBI, R. S., & JEON, B.-H., «Evaluating the effects of landscape fragmentation on ecosystem services: A three-decade perspective» *Ecological Informatics*, 77, 102283, 2023.
- [CAR 03] CARDONA O. D., « The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective », in BANKOFF G., FRERKS G., HILHORST D. (dir.), *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, Earthscan, Londres, chap. 3, 2003.
- [CUT 12] CUTTER S. L., BORUFF B. J., SHIRLEY W. L., « Social vulnerability to environmental hazards », in *Hazards, Vulnerability and Environmental Justice*, Routledge, p. 143-160, 2012.
- [DAU 07] DAUPHINÉ A., PROVITOLO D., « La résilience : un concept pour la gestion des risques », *Annales de Géographes*, 2007.
- [DEC 19] DÉCRET PPRI – *Modalités d'application*, Ministère de la Transition écologique et solidaire, France, novembre 2019.
- [DER 94] D'ERCOLE R., « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse », *Revue de Géographie Alpine*, vol. 82(4), p. 87-96, 1994, <https://doi.org/10.3406/rga.1994.3776>.
- [DRE 24] DREJZA S., DENIS C., BOUCHARD J.-D., BENOÎT S., *Avis technique pour le projet d'atténuation des risques liés à l'érosion et à la submersion côtières – Centre-ville de Maria (de la halte routière à l'extrémité est de la pointe Verte)*, Ministère de la Sécurité publique – Direction générale de la prévention et de la planification, 2024.
- [FER 16] FERNANDEZ P., MOURATO S., MOREIRA M., « Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis: a case study of Vila Nova de Gaia (Portugal) », *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 7, no 4, p. 1367-1389, 2016, <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1052021>.
- [FRA 25] FRANCO Á., GARCÍA-AYLLÓN S., « The paradigm shift in scientific interest on flood risk: From hydraulic analysis to integrated land use planning approaches », *Water*, vol. 17(15), 2276, 2025, <https://doi.org/10.3390/w17152276>.
- [GEO 20] GÉOCONFLUENCES, *Multiscale (démarche, approche...)*, École normale supérieure de Lyon, 2020.
<https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/multiscale>
- [GIE 14] GIEC, *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Genève, Suisse, 2014.
- [GOU 23] GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, *Bilan 2022–2023 du Plan de protection du territoire face aux inondations*, Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation, 2023.
https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/plan_protection_territoire_inondations/BIL_PPTFI_2022_23.pdf

- [GOU 25a] GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, *Cadre réglementaire – Zones inondables, mobilité des rives et littoral*, Québec.ca, 2025.
<https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/eau/zones-inondables-mobilite-rives-littoral/cadre-reglementaire>
- [GOU 25b] GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, *Interprétation des cartographies en vigueur*, Québec.ca, 2025.
<https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/eau/zones-inondables-mobilite-rives-littoral/cartographies/en-vigueur/interpretation>
- [GRO 12] GROOTHUIS E., *Valuing the Benefits from Nature : How renaturalization projects, like the Visschebelt-Koemaste project near Hellendoorn, may benefit the regional economy*, University of Twente, 2012.
http://essay.utwente.nl/62196/1/BSc_E_Groothuis.pdf
- [GUE 03] GUERRIEN M., « L'intérêt de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la recherche en sciences sociales », *Cahiers des Amériques latines*, vol. 43, 2003, <https://doi.org/10.4000/cal.7364>.
- [GUN 02] GUNDERSON L. H., HOLLING C. S., *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Island Press, Washington D.C., 2002.
- [KLE 04] KLEIN R. J., NICHOLLS R. J., THOMALLA F., « Resilience to natural hazards: How useful is this concept? », *Environmental Hazards*, 2004.
- [MAR 08] MARET I., CADOUL T., « Urban resiliency and sustainable rebuilding: What can we learn from New Orleans? », *Annales de la géographie*: p 104-124, 2008.
- [MOR 08a] MORIN M., *Concepts de base en sécurité civile*, Ministère de la Sécurité publique, Québec, 2008.
https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/publications/concepts_base/concepts_base.pdf
- [ONU 15] ORGANISATION DES NATIONS UNIES, *Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030*, Nations Unies, 2015, 35 p.
- [PIG 02] PIGEON P., « Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels », *Annales de géographie*, vol. 111(627), p. 452-470, 2002, <https://doi.org/10.3406/geo.2002.21624>.
- [ROC 15] THE ROCKEFELLER FOUNDATION, *City Resilience Framework*, Arup, 2015,
<https://www.rockefellerfoundation.org/wp-content/uploads/100RC-City-Resilience-Framework.pdf>
- [TAT 10] TATE E., CUTTER S. L., BERRY M., « Integrated Multihazard Mapping », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 37(4), p. 646-663, 2010, <https://doi.org/10.1068/b35157>.
- [THO 17] THOMAS I., DA CUNHA A., *La ville résiliente : comment la construire?* Les Presses de l'Université de Montréal, 2017, <https://doi.org/10.4000/books.pum.11789>.
- [TOU 12] TOUBIN M., LHOMME S., DIAB Y., SERRE D., LAGANIER R., « La résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? », *Développement durable et territoires*, mai 2012.
<https://journals.openedition.org/developpementdurable/9208>
- [UND 17] UNDRR, *Disaster Resilience Scorecard for Cities*, UN Office for Disaster Risk Reduction, 2017,
<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/toolkit/article/disaster-resilience-scorecard-for-cities>.
- [VEY 06] VEYRET Y., REGHEZZA M., « Vulnérabilité et risques : l'approche récente de la vulnérabilité », *Responsabilité & Environnement*, juillet 2006.
- [VIA 20] VIAVATTENE C., PRIEST S., *A method for monetising the mental health costs of flooding*, Rapport de recherche SC150007, Environment Agency, 2020, 48 p.
- [WOO 19] WOOD S. L. R., DUPRAS J., BERGEVIN C., KERMAGORET C., *La valeur économique des écosystèmes naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent*, Ouranos, 2019, 75 p.