



Évaluation spatiale du risque de consommation d'eau (potable) contaminée en période d'inondation

Rapport final INRS R-2326

Mars 2026

Québec 


Ouranos

RIISQ

Réseau Inondations
InterSectoriel du Québec

Évaluation spatiale du risque de consommation d'eau (potable) contaminée en période d'inondation

Rapport final

Mars 2026

ÉQUIPE DE RÉALISATION :

Geneviève Bordeleau, Institut national de la recherche scientifique

Roxane Lavoie, Université Laval

Karem Chokmani, Institut national de la recherche scientifique

Yachar ben Arous, Institut national de la recherche scientifique

Chloé Roy-Michel, Université Laval

Titre du projet Ouranos : Évaluation spatiale du risque de consommation d'eau (potable) contaminée en période d'inondation

Numéro du projet Ouranos : 702803

Citation suggérée : Bordeleau, G., Lavoie, R., Chokmani, K., ben Arous, Y., Roy-Michel, C. (2026). *Évaluation spatiale du risque de consommation d'eau (potable) contaminée en période d'inondation*. Rapport présenté à Ouranos. Montréal. Institut national de la recherche scientifique (INRS), 36 p.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres. Toute utilisation ultérieure du document sera au seul risque de l'utilisateur sans la responsabilité ou la poursuite juridique des auteurs.

Remerciements

Ce projet s'est inscrit dans l'appel à projets 2022-2024 conjointement financé par le RIISQ et Ouranos. Le projet a été rendu possible grâce au financement conjoint du Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs dans le cadre du soutien d'Ouranos à l'initiative INFO-Crue, ainsi que du Réseau Inondations InterSectoriel du Québec, soutenu par les Fonds de Recherche du Québec. Une contribution a également été apportée par l'entreprise Geosapiens.

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à la municipalité et aux résidents de Stoneham-et-Tewkesbury pour leur accueil chaleureux et leur généreuse collaboration. En accordant l'accès à leur propriété et à leur puits, en accueillant des visites de site fréquentes, notamment en période de stress lié aux inondations, et en partageant leurs connaissances ancrées dans leur milieu de vie, ils ont rendu cette recherche possible et en ont considérablement enrichi la qualité.

Nous tenons également à remercier pour leur collaboration Hachem Agili et Jasmin Gill-Fortin (Geosapiens) pour le partage des données de modélisation sur les zones inondables aux abords de la rivière des Hurons et l'accès à E-NUNDATION, une plateforme web qui permet une cartographie dynamique et prévisionnelle des risques d'inondation. Nous souhaitons également remercier Mathieu Prévost (anciennement directeur Urbanisme et Environnement, municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury) pour avoir coordonné l'approbation du projet par la municipalité et avoir fourni des informations pertinentes au projet.



Résumé

Contexte : Dans un contexte marqué par l'intensification des changements climatiques, les inondations constituent un risque de plus en plus préoccupant. Leurs impacts dépassent les dommages matériels et touchent également la sécurité de l'eau destinée à la consommation humaine, en particulier pour les ménages qui s'approvisionnent à partir de puits privés. Ce projet, à caractère interdisciplinaire, a pour objectif d'analyser les enjeux de contamination des eaux souterraines résidentielles lors d'événements d'inondation, en mobilisant à la fois des approches environnementales et sociales. En croisant des données scientifiques avec l'analyse des perceptions et des expériences des citoyens, la recherche met en évidence les réalités et les vulnérabilités propres aux communautés riveraines. L'étude se concentre sur la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury, où la population dépend des nappes phréatiques pour son approvisionnement en eau. L'articulation d'analyses physico-chimiques et microbiologiques avec des témoignages issus du vécu des résidents permet de formuler des pistes d'action concrètes, favorisant une meilleure adaptation collective face aux aléas hydrométéorologiques.

Objectifs :

- Objectif 1 : Caractériser l'évolution de la qualité de l'eau des puits résidentiels en lien avec les épisodes d'inondation.
- Objectif 2 : Analyser les déterminants environnementaux associés aux risques de contamination et les mécanismes d'intrusion d'eau de surface dans les puits, le cas échéant.
- Objectif 3 : Examiner les représentations sociales et les pratiques liées à l'usage de l'eau potable en situation d'inondation.
- Objectif 4 : Élaborer de manière collaborative des recommandations favorisant une gestion adaptative et résiliente de l'eau potable.

Démarche :

- Échantillonnage de l'eau de 13 puits privés et de 3 sites de prélèvement d'eau de surface.
- Collecte répétée d'échantillons (jusqu'à 15 échantillonnages par site) au cours du projet afin de cibler les périodes avant, pendant et après les inondations.
- Mesures en continu des niveaux d'eau dans 4 puits privés, et développement d'un protocole de traitement des séries temporelles de données pour éliminer l'effet du pompage domestique sur les niveaux d'eau mesurés.
- Analyse de paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité électrique, potentiel d'oxydo-réduction, oxygène dissous) et microbiologiques (bactérie *E. coli*, coliformes totaux), ainsi que de la composition isotopique stable de l'eau ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) dans les échantillons.
- Analyse statistique multivariée des différents paramètres mesurés.
- Entrevues semi-dirigées auprès de 7 propriétaires de puits et 3 acteurs du milieu (représentants d'organismes).

Résultats : L'ensemble des résultats met en évidence quelques constats principaux. D'abord, les puits privés de la zone d'étude présentent une vulnérabilité généralisée à la contamination microbiologique, qui ne se limite pas exclusivement à la période immédiate des inondations. La majorité des puits étudiés ont montré la présence de coliformes totaux et, plus sporadiquement, d'*E. coli* après les crues, avec des concentrations maximales observées dans les 7 jours suivant les événements. Les puits situés hors plaine inondable sont davantage soumis à des contaminations brèves mais intenses après de fortes pluies, tandis que les puits en zone inondable présentent une contamination plus continue, mais généralement aussi plus modérée. Ensuite, les mécanismes d'intrusion d'eau de surface dans les puits varient selon le contexte hydro-géomorphologique. Hors plaine inondable, les signatures isotopiques et piézométriques suggèrent une infiltration verticale rapide des eaux de surface par des voies préférentielles le long de certains puits. En plaine inondable, l'absence générale de variations isotopiques marquées, combinée à une contamination persistante par les bactéries coliformes, indique plutôt une intrusion latérale continue potentiellement liée à des conditions de filtration sur berge (Fig. 1). Par ailleurs, le croisement d'indicateurs isotopiques, géochimiques, microbiologiques et hydrodynamiques permet de mieux caractériser la vulnérabilité des aquifères, notamment en lien avec leur caractère en nappe libre et leur proximité fonctionnelle avec la surface. Enfin, les résultats soulignent des enjeux sanitaires importants, justifiant des protocoles de suivi et de traitement de l'eau qui doivent s'étendre au-delà de la seule phase de décrue.

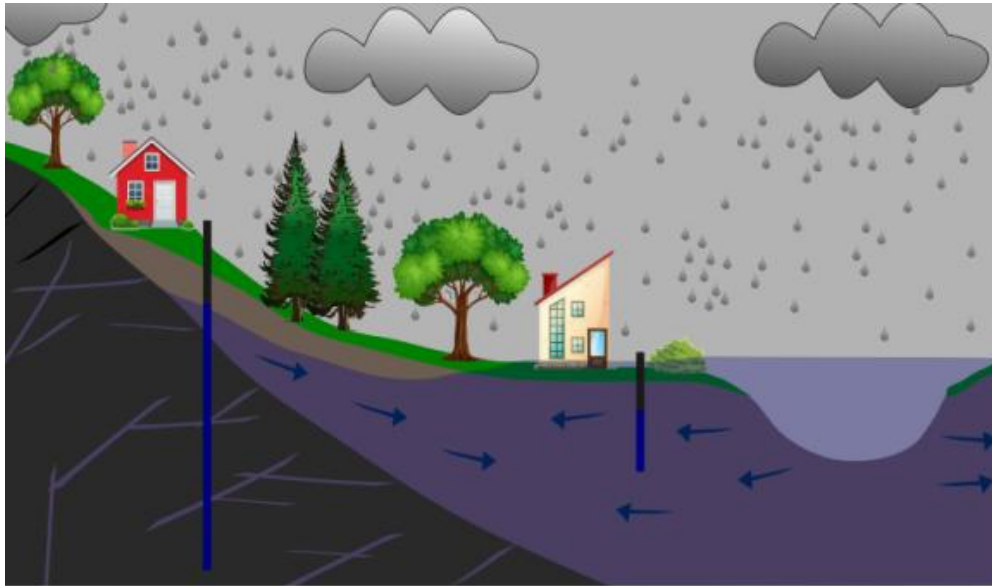


Figure 1. Infiltration latérale d'eau de surface dans l'aquifère en période de crue ou de fort pompage des puits résidentiels (conditions de filtration sur berge).

Toutefois, les résultats montrent également que les propriétaires de puits procèdent très rarement à des suivis (analyses) de qualité de l'eau, et qu'en période d'inondation, la plupart d'entre eux ne modifient pas leurs habitudes de consommation d'eau et ignorent les procédures recommandées, révélant une faible perception du risque. Cette faible perception s'explique par la croyance en la pureté naturelle des aquifères locaux, par l'absence de signes sensoriels de contamination et par l'absence d'épisodes de maladie. Les nouveaux propriétaires et les ménages avec enfants démontrent toutefois une sensibilité accrue et adoptent davantage de comportements préventifs. L'étude met en évidence plusieurs barrières : manque de connaissances, coûts des analyses, méfiance envers les institutions et absence d'obligation réglementaire. À l'inverse, les résultats démontrent que lorsque des tests d'eau sont effectués et qu'ils révèlent une contamination, ces derniers constituent un puissant levier d'action pour remédier à la situation. Les résultats soulignent ainsi l'importance d'une communication scientifique crédible, d'un meilleur transfert d'informations ancrées localement, et d'actions concertées de différents acteurs pour réduire la vulnérabilité des ménages qui dépendent d'un puits privé.

Suites recommandées et retombées pour l'adaptation : Ce projet démontre de façon non équivoque la vulnérabilité des puits privés à la contamination microbiologique en période d'inondations et de fortes pluies, particulièrement à l'intérieur d'une période de 7 à 14 jours suivant ces épisodes, mais parfois également au-delà. De plus, à la lumière des résultats présentés, il est évident que cette vulnérabilité n'est pas limitée aux puits situés en zone inondable, et que la perception du risque est variable en fonction des ménages, ce qui peut exacerber le risque de consommation d'eau contaminée. Ainsi, il apparaît d'une part que les recommandations d'analyses et de traitement de l'eau de puits du Gouvernement du Québec (2025) lors d'inondations sont adéquates mais pourraient s'étendre à tous les puits (inondés ou non) lors d'épisode de fortes pluies. D'autre part, ce projet tout comme d'autres auparavant, ont démontré que ces recommandations ne sont ni connues ni suivies par les propriétaires de puits. Dans le contexte actuel de changements climatiques qui pourraient augmenter la fréquence des événements de pluies intenses, il est plus important que jamais de développer des stratégies avec divers acteurs du milieu afin de réduire les barrières à l'analyse et au traitement de l'eau, et d'accompagner les propriétaires de puits dans ces démarches.

Table des matières

Remerciements	2
Résumé	3
Table des matières	6
1. Introduction	8
1.1. Mise en contexte	8
1.2. cadre théorique	9
1.2.1. Interactions entre eaux de surface et eaux souterraines	9
1.2.2. Mécanismes d'intrusion d'eau de surface dans les puits lors des inondations	9
1.2.3. Contamination des puits en période d'inondations	10
2. Problématique et objectifs	10
3. Méthodologie	11
3.1. Site d'étude	11
3.1.1. Géographie et climat	11
3.1.2. Géologie et hydrogéologie	12
3.1.3. Historique des inondations et qualité de l'eau	13
3.2. Étude de la qualité des eaux de puits	13
3.2.1. Données existantes	13
3.2.2. Sélection des sites de mesure et plan d'échantillonnage	14
3.2.3. Suivi et correction du niveau de la nappe phréatique	14
3.2.4. Évaluation des conditions de l'aquifère	14
3.2.5. Prélèvement d'échantillons et analyses	15
3.3. Étude de la perception du risque	15
3.3.1. Recrutement des participants	16
3.3.2. Entretiens semi-dirigés	16
3.3.3. Interprétation des résultats	16
4. Résultats et discussion	17
4.1. Étude de la qualité des eaux de puits	17
4.1.1. Épisodes d'inondations au cours du projet	17
4.1.2. Conditions d'écoulement de l'aquifère et connectivité avec la surface	18
4.1.3. Qualité de l'eau de la rivière et des puits privés	19
4.1.4. Déterminants spatiaux et temporels de la contamination	21
4.2. Étude de la perception du risque	22
4.2.1. Habitudes, comportements et représentations des propriétaires de puits	22
4.2.1.1. Utilisation de l'eau et connaissances – période hors inondations	22
4.2.1.2. Utilisation de l'eau et connaissances – en période d'inondations	23
4.2.1.3. Perception du risque	23
4.2.1.4. Préoccupations, barrières et leviers	24
4.2.2. Effet du contexte institutionnel sur la vulnérabilité des propriétaires de puits	24
4.2.2.1. Information et transfert	24
4.2.3. Solutions proposées	25
4.2.3.1. Solutions proposées par les propriétaires et les acteurs	25
4.2.3.2. Acteurs et actions à privilégier et à éviter	26

4.3. Adéquation des recommandations gouvernementales actuelles	27
5. Conclusion et recommandations	28
Références	31
Liste des figures	35
Liste des abréviations, sigles et acronymes	36

1. Introduction

1.1. MISE EN CONTEXTE

Au cours de la dernière décennie, le Québec a été marqué par plusieurs épisodes d'inondations majeures, notamment au printemps 2014, 2017, 2019 et 2023 (MELCC, 2019; MELCCFP, 2023), ainsi qu'en décembre 2020 lors d'un événement de pluie exceptionnel (Rémillard, 2020). Au-delà des dommages humains et matériels, les inondations posent des risques importants pour la santé publique, notamment par la dégradation de la qualité de l'eau potable. Cette problématique est particulièrement préoccupante pour les ménages approvisionnés par des puits individuels. Au Québec, environ 10,2 % de la population, soit près d'un million de personnes, dépend de dispositifs de captage privés ou de petits réseaux desservant 20 personnes ou moins (MELCC, 2020). Bien que des normes de construction visant à limiter la contamination aient été instaurées en 2002 (Gouvernement du Québec, 2002), de nombreux puits plus anciens, construits selon des exigences moins strictes, sont toujours en service (MELCCFP, 2025a). Par ailleurs, même les puits récents, correctement conçus, ne sont pas entièrement à l'abri d'une contamination indirecte transitant par la nappe phréatique.

Le risque sanitaire augmente lorsque plusieurs conditions sont réunies : un approvisionnement par puits individuel, la proximité d'un cours d'eau potentiellement contaminé, et la possibilité pour l'eau de surface d'atteindre le puits, soit directement par la tête de puits, soit indirectement par l'aquifère lors des crues. Afin d'assurer la qualité de l'eau potable, le gouvernement du Québec (2001) a mis en vigueur le Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP). Ce règlement impose des contrôles stricts aux réseaux desservant plus de 20 personnes, mais ne rend pas obligatoires les analyses pour les puits individuels, malgré des recommandations de tests réguliers (MELCC, 2014). La responsabilité de la surveillance pour ces puits individuels ou desservant 20 personnes et moins incombe donc aux propriétaires.

Au Québec comme ailleurs, des études montrent que cette responsabilité est souvent difficile à assumer. Par exemple, à Terre-Neuve-et-Labrador, 11 % des propriétaires de puits sondés n'avaient jamais fait analyser leur eau, et 72 % déclaraient le faire moins fréquemment que recommandé, principalement par manque d'information ou en raison de contraintes logistiques (Roche et al., 2013). Cette situation expose les populations rurales à une vulnérabilité accrue, d'autant plus que les captages d'eau souterraine bénéficient généralement de traitements plus limités que les réseaux alimentés en eau de surface.

Dans ce contexte, ce travail vise à évaluer la vulnérabilité des puits résidentiels à la contamination provenant de l'intrusion d'eaux de surface lors des inondations. Plus spécifiquement, le projet vise à estimer la durée de persistance et l'étendue latérale de cette contamination, ainsi que la perception du risque sanitaire par les propriétaires de puits et les modifications de leurs comportements de consommation d'eau en période d'inondation. Pour ce faire, une approche intégrée mobilisant des indicateurs physiques, isotopiques et microbiologiques est utilisée afin de mieux comprendre les mécanismes d'intrusion et les risques associés, alors que des entretiens semi-dirigés ont été réalisés auprès de propriétaires de puits et d'acteurs du milieu afin de mieux comprendre la perception du risque, l'adaptation des comportements, et les avenues possibles pour faciliter l'accès à une eau potable sécuritaire en tout temps pour les ménages approvisionnés via un puits privé.

Le présent rapport résume brièvement l'ensemble des travaux du projet tout en focalisant principalement sur les résultats qui concernent l'adaptation aux changements climatiques. Les résultats plus techniques du projet sont détaillés dans un article scientifique publié en libre accès :

- *Ben Arous, Y., Bordeleau, G., Wong, C., Paradis, D., Gloaguen, E., Chokmani, K. (2026). Multi-indicator assessment of flood impacts on private well water quality. Science of the Total Environment, sous presse.*

L'ensemble des résultats du volet « étude de la qualité de l'eau des puits », c'est-à-dire le volet sciences naturelles, est présenté dans un mémoire de maîtrise, qui sera rendu disponible publiquement sur le site web de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) vers la fin de l'année 2026 :

- *Ben Arous, Y. (2025). Analyse multi-indicateur de la vulnérabilité des puits privés à la contamination dans un contexte d'inondations. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de maîtrise en sciences de l'eau, Institut national de la recherche scientifique (INRS), 60 p.*

Les résultats du volet « perception du risque », c'est-à-dire le volet sciences sociales, ont fait l'objet d'un essai-projet de maîtrise professionnelle en aménagement du territoire à l'Université Laval. L'essai, réalisé par Chloé Roy-Michel sous la supervision de la professeure Roxane Lavoie et intitulé « Contamination des sources d'eau potable en période d'inondation : représentations et habitudes » a été présenté lors du colloque étudiant de l'École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional (ÉSAD) de l'Université Laval en novembre 2024, mais le document écrit n'est pas disponible publiquement.

Finalement, un résumé des résultats des volets sciences naturelles et sciences sociales du projet est disponible sous forme de webinaire :

- *Bordeleau, G., Lavoie, R. (2025). Inondations et eau potable : risques de contamination pour les puits privés, perception du risque par les riverains et enjeux de gouvernance. Webinaire du Réseau Inondations InterSectoriel du Québec (RIISQ), Webdiffusion en direct le 11 avril 2025; disponible à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=BDXyVDTQkw4>.*

1.2. CADRE THÉORIQUE

1.2.1. Interactions entre eaux de surface et eaux souterraines

L'écoulement des eaux souterraines est contrôlé par le gradient de charge hydraulique, l'eau circulant des zones de recharge vers les zones de résurgence à travers les pores des sédiments ou les fractures du roc (Clark, 2015). Les échanges entre eaux souterraines et eaux de surface sont toutefois plus complexes qu'un simple écoulement unidirectionnel. Sous certaines conditions, la direction de l'écoulement peut varier dans le temps, notamment en réponse aux variations saisonnières et aux événements extrêmes comme les crues (Sophocleous, 2002; Winter et al., 1998). En effet, lors des crues, une inversion temporaire du gradient hydraulique peut survenir, entraînant un phénomène de stockage sur berge : l'eau de la rivière s'infiltre latéralement dans les sédiments riverains avant de retourner au cours d'eau lors de la décrue (Winter et al., 1998). Ces échanges influencent directement la qualité de l'eau souterraine à proximité du cours d'eau, notamment par des variations de pH, de conditions redox, de turbidité et de charge microbienne. En période d'inondation, l'intensification de ces processus peut ouvrir des voies d'intrusion des eaux de surface vers les puits d'eau potable.

1.2.2. Mécanismes d'intrusion d'eau de surface dans les puits lors des inondations

Plusieurs mécanismes peuvent expliquer l'intrusion des eaux de surface dans les puits lors des crues. La filtration sur berge constitue un processus naturel majeur, exposant les puits situés à proximité des cours d'eau à une intrusion latérale d'eau potentiellement contaminée (Winter et al., 1998). Le pompage, en particulier dans les puits proches des rivières, peut accentuer ce phénomène en inversant localement le gradient hydraulique (Masse-Dufresne et al., 2021).

L'inondation directe de la tête de puits représente une autre voie d'intrusion, notamment lorsque l'étanchéité est déficiente (Boser et al., 2023; Santé Canada, 2024). Bien que les normes québécoises exigent des têtes de puits étanches et surélevées en zone inondable (MELCC, 2015), cette protection demeure conditionnelle à l'intégrité des ouvrages et à l'ampleur de la crue. Par ailleurs, des défauts de scellement du tubage ou des tubages trop courts peuvent créer des chemins préférentiels permettant un transfert rapide des eaux de surface vers les puits, particulièrement lors des inondations ou de fortes pluies (Boser et al., 2023).

Enfin, dans les milieux très perméables ou fortement fracturés, comme les aquifères de roc fracturé ou les dépôts fluvioglaciaires, les vitesses d'écoulement élevées limitent l'atténuation naturelle des contaminants (Beven & Germann, 2013; Jarvis, 2007). Dans le secteur d'étude, l'aquifère est constitué de roches du socle grenvillien fracturé (Talbot Poulin et al., 2013), ce qui accentue la vulnérabilité des captages lorsque les fractures sont connectées aux dépôts de surface.

1.2.3. Contamination des puits en période d'inondations

L'intrusion d'eau de surface dans les puits lors d'inondations est documentée à l'échelle mondiale. Or, les données piézométriques (niveaux d'eau dans les puits) seules ne suffisent pas à démontrer l'intrusion d'eau de surface, puisque la hauteur de la nappe phréatique varie naturellement lors des événements de recharge de l'aquifère liés aux précipitations ou à la fonte des neiges. En complément, certains indicateurs géochimiques permettent d'identifier des conditions changeantes et des mélanges d'eau dans les puits, et de déceler une contamination. Les isotopes stables de l'oxygène et de l'hydrogène dans la molécule d'eau ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$), la conductivité, le pH, la pression partielle de CO_2 et les indicateurs microbiologiques sont largement utilisés à cette fin. Ainsi, une approche multi-indicateurs est recommandée pour réduire les ambiguïtés d'interprétation et relier les variations de qualité de l'eau aux dynamiques hydrologiques de crue (Labelle et al., 2023).

Bien que les indicateurs retenus varient d'étude en étude, de manière générale, plusieurs contaminants ont été recensés dans des puits suite à des inondations, notamment le nitrate (Tunisie - Troudi et al., 2020;), les métaux (Arabie Saoudite - Basahi et al., 2018; Inde - Gowrisankar et al., 2017) et les bactéries (Inde - Gowrisankar et al., 2017; Nouvelle-Zélande - Lai et al., 2020; États-Unis - Drewry et al., 2024; Stokdyk et al., 2025; Canada - Andrade et al., 2018; Eccles et al., 2017; Petculescu et al., 2025). Au Canada, les données demeurent toutefois limitées, car les programmes de caractérisation des eaux souterraines n'ont généralement pas intégré spécifiquement les effets des crues (Petculescu et al., 2025). Les facteurs de vulnérabilité des puits à la contamination identifiés dans la littérature incluent la conception et l'entretien des puits, la proximité de sources de contamination, ainsi que le contexte hydrogéologique (Eccles et al., 2017; Wallender et al., 2014; Lee et Murphy, 2020).

2. Problématique et objectifs

Au Québec, les inondations représentent un risque important pour la qualité des eaux souterraines, en particulier pour les ménages dépendant de puits privés. La dynamique et la durée de la contamination post-inondation demeurent toutefois mal documentées à l'échelle locale. Nous posons l'hypothèse que différentes voies d'intrusion des eaux de surface dans les puits peuvent mener à une contamination, qu'une approche multi-indicateurs permet de distinguer ces mécanismes, et que la perception du risque influencera l'adaptation des comportements de consommation d'eau en période d'inondation. Le projet est divisé en quatre objectifs principaux :

- **Objectif 1 : Caractériser l'évolution de la qualité de l'eau des puits résidentiels en lien avec les épisodes d'inondation.**

Il s'agit ici de caractériser la présence de contaminants chimiques (métaux, anions) et microbiologiques (coliformes totaux, *E. coli*) dans l'eau des puits, que ce soit en période d'inondation ou hors inondation.

- **Objectif 2 : Analyser les déterminants spatiaux et temporels associés aux risques de contamination et les mécanismes d'intrusion d'eau de surface dans les puits, le cas échéant.**

Cet objectif vise à vérifier si les puits en zone inondable sont davantage susceptibles d'être contaminés que les puits hors zone inondable, et combien de temps dure la contamination des puits après les épisodes d'inondations. Il vise également à déterminer quels sont les mécanismes d'intrusion d'eau de surface dans les puits qui deviennent contaminés lors de ces événements, c'est-à-dire à valider s'il s'agit d'une intrusion directe via la tête du puits, d'une infiltration verticale le long d'un puits mal scellé, ou encore une intrusion

latérale d'eau de rivière à travers l'aquifère due à la hausse du niveau d'eau de la rivière et/ou au pompage des puits.

- **Objectif 3 : Examiner les représentations sociales et les pratiques liées à l'usage de l'eau potable en situation d'inondation.**

Cet objectif vise à examiner la perception des risques liés aux inondations chez des propriétaires d'habitations près d'un cours d'eau qui sont approvisionnées en eau potable par un puits privé. Il vise à sonder les propriétaires de puits sur leur perception du risque lié à la consommation d'eau, ainsi que sur leurs pratiques liées à l'entretien du puits et à la consommation d'eau, en période d'inondations et en général.

- **Objectif 4 : Élaborer de manière collaborative des recommandations favorisant une gestion adaptative et résiliente de l'eau potable.**

Ce dernier objectif vise à sonder les propriétaires de puits mais également des représentants d'organismes acteurs de l'eau, quant aux avenues qui pourraient être à valoriser, à explorer ou encore à éviter, afin de réduire le risque sanitaire de consommation d'eau contaminée en période d'inondations chez les propriétaires de puits privés.

3. Méthodologie

3.1. SITE D'ÉTUDE

3.1.1. Géographie et climat

La municipalité des Cantons Unis de Stoneham-et-Tewkesbury (ci-après Stoneham) est située à environ 25 km au nord de la ville de Québec, dans la MRC de La Jacques-Cartier, au sein de la région administrative de la Capitale-Nationale. Stoneham est traversée par plusieurs cours d'eau, notamment les rivières du Hibou, de la Loutre et Noire, qui se jettent toutes dans la rivière des Hurons. Le bassin-versant de cette dernière couvre une superficie totale de 138 km², dont 95 % se situe à l'intérieur des limites municipales de Stoneham (APEL, 2014). La rivière des Hurons s'étend sur environ 28 km, prend sa source dans les Laurentides à une altitude d'environ 860 m et se déverse dans le lac Saint-Charles, dont elle est le principal affluent (APEL, 2014). La zone d'étude se trouve dans la partie aval du bassin versant, choisie en raison de sa forte susceptibilité aux inondations et de la présence importante de puits privés dans la plaine inondable (Fig. 2).

Le bassin-versant de la rivière des Hurons se divise en deux unités topographiques principales. La partie amont, située dans les Laurentides, est caractérisée par des pentes abruptes pouvant atteindre 60 % et est majoritairement forestière. La partie aval, située dans les basses terres, présente des pentes plus faibles et un degré d'urbanisation plus élevé, ainsi qu'une plus grande proportion de milieux ouverts et de milieux humides. L'autoroute 175 traverse le bassin-versant et contribue à l'augmentation du ruissellement de surface, surtout dans la partie aval du bassin, où les taux de ruissellement peuvent atteindre 35 à 90 %, contre 1 à 30 % en amont (Gaborit *et al.*, 2010).

Le climat varie selon l'altitude. La partie amont du bassin, couvrant environ 87 % de la superficie, présente un climat subpolaire humide avec des précipitations annuelles de 1200 à 1750 mm. La partie aval, où se situe la zone d'étude, se trouve dans les basses terres du Saint-Laurent et connaît un climat tempéré humide avec 1000 à 1200 mm de précipitations annuelles (Gaborit *et al.*, 2010). Pour la station météorologique d'Environnement Canada (2025b) la plus proche, située à l'aéroport Jean-Lesage, les températures moyennes les plus basses sont enregistrées en janvier (-12,8 °C) et les plus élevées en juillet (+19,3 °C). De novembre à mars, la température moyenne reste généralement sous 0 °C. Les mois les plus humides sont juillet à septembre, tandis que février à avril sont les plus secs (Environnement Canada, 2025b). Une station hydrométrique mesure le débit de la rivière des Hurons depuis 2007 au pont de la rue Crawford (MELCCFP, 2025b).

penne. La vulnérabilité des eaux souterraines est élevée, avec un indice DRASTIC entre 140 et 191 (Talbot Poulin et al., 2013).

L'approvisionnement en eau potable repose principalement sur des puits privés exploitant l'aquifère du socle rocheux. Les puits ont des profondeurs typiques de 30 à 50 m et des âges variant de 6 à 40 ans (MELCCFP, 2025a). La gestion des eaux usées se fait surtout par un réseau d'égout installé à partir de 2017, mais certaines résidences utilisent encore des systèmes septiques individuels (Pouliot, 2024).

3.1.3. Historique des inondations et qualité de l'eau

La rivière des Hurons déborde périodiquement, principalement au printemps lors de la fonte des neiges combinée à des pluies abondantes, ainsi qu'en début d'hiver lorsque des pluies intenses surviennent sur un sol gelé. Pour la station hydrométrique située dans la zone d'étude (au niveau du pont Crawford), les données historiques et prévisionnelles peuvent être consultées sur le site web du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) (MELCCFP, 2025b). Des alertes en fonction des tendances de débit à la hausse sont émises par le portail « Vigilance – surveillance de la crue des eaux » (MSP, 2023). Pour cette station, le seuil d'inondation mineure est considéré atteint lorsque le débit de la rivière dépasse 50 m³/s (MSP, 2023). Entre 2015 et 2025, ce seuil a été dépassé à plusieurs reprises, lors de 12 journées distinctes (MELCCFP, 2025b). Des événements d'inondation ont notamment été observés en 2023 et 2024, certains nécessitant l'évacuation de résidents (Guilbault, 2023); (Roberge, 2024).

La rivière des Hurons présente également des problèmes récurrents de contamination fécale, observés lors de campagnes de suivi entre 2011 et 2019 (Agiro, 2021). En 2019, la concentration moyenne d'E. coli mesurée au pont Crawford était de 302 UFC/100 mL, dépassant la norme de qualité pour la baignade (200 UFC/100 mL), mais restant sous la norme pour les activités de contact secondaire (1000 UFC/100 mL) (Agiro, 2021; MELCCFP, 2025c).

3.2. ÉTUDE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE PUIITS

Le volet du projet sur la qualité de l'eau des puits s'est appuyé sur certaines données existantes ou extraites d'autres sources pour le projet (débits de rivière, superficie des zones inondées en fonction du débit de la rivière, composition isotopique des précipitations), en plus d'acquérir de nouvelles données (niveaux d'eau dans les puits, paramètres physico-chimiques et microbiologiques) dans les puits et la rivière des Hurons.

3.2.1. Données existantes

Les données de débit de la rivière des Hurons ont été obtenues à partir de la station hydrométrique 050916, située à la hauteur du pont Crawford (MELCCFP, 2025b). Pour l'interprétation de la hauteur d'eau dans la rivière par rapport aux niveaux des eaux souterraines, les données de débit de rivière (en m³/s) ont été converties en niveaux d'eau (en mètres au-dessus du niveau de la mer, masl) à l'aide de la courbe d'évaluation étape-débit fournie par le CEHQ.

Pour chaque épisode où le débit de la rivière a excédé le seuil d'inondation mineure de 50 m³/sec (MSP, 2023) entre mai 2023 et juin 2024, la délimitation des zones inondables a été établie et cartographiée en fonction du débit maximal de la rivière atteint durant l'événement, à l'aide de données cartographiques fournies par Geosapiens (Geosapiens.com).

Les rapports isotopiques mensuels des précipitations ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) pour Stoneham-et-Tewkesbury ont été obtenus à partir du calculateur « *Online Isotopes in Precipitation* » (OIPC) (Bowen, 2018). Les valeurs de l'OIPC représentent des moyennes mensuelles à long terme dérivées d'un modèle d'isocontours calibré selon les stations du Réseau mondial d'isotopes dans la précipitation (GNIP) et les observations climatiques (IAEA, 2025). La droite météoritique locale (LMWL) a ensuite été calculée à partir des valeurs modélisées de l'OIPC. Une autre

LMWL a été calculée à partir de données isotopiques des précipitations recueillies dans la zone d'étude Picard (2025).

3.2.2. Sélection des sites de mesure et plan d'échantillonnage

Dans la zone d'étude, des dépliants explicatifs du projet ont d'abord été distribués, visant à recruter des participants à l'étude chez qui l'équipe de l'INRS pourrait échantillonner l'eau du puits à plusieurs reprises, conformément aux modalités prévues au certificat d'éthique. Un total de 13 ménages se sont manifestés et ont ainsi participé à l'étude. La sélection comprend des puits situés : 1) à proximité immédiate (≈ 20 mètres) de la rivière, qui sont généralement dans la plaine inondable lors d'épisodes d'inondations; 2) d'autres un peu plus éloignés (quelques dizaines de mètres) de la rivière, qui peuvent se retrouver ou non en zone inondable dépendamment de la crue; et 3) d'autres encore à des altitudes plus élevées, toujours situés en dehors de la zone inondable.

Pour les eaux de surface, trois sites d'échantillonnage ont été sélectionnés, à savoir un sur la rivière des Hurons en amont des puits échantillonnés (2,3 km de notre zone d'étude), un autre dans la rivière des Hurons à 400 m en aval de la sortie de notre zone d'étude (parc des Fondateurs), et enfin un fossé de drainage qui se jette dans la rivière Hurons à l'intérieur de la zone d'étude.

La stratégie d'échantillonnage aux sites de prélèvement d'eaux souterraines et de surface comprenait un échantillonnage le jour des inondations (J0), suivi d'un échantillonnage dont la fréquence diminuait progressivement pendant les 14 jours suivant les inondations (J1-J14), et d'un échantillonnage à quelques reprises pendant la période de référence (étiage; $J > 14$).

3.2.3. Suivi et correction du niveau de la nappe phréatique

Le suivi du niveau des eaux souterraines a été effectué à l'aide de capteurs Onset (Bourne, MA, USA) Hobo Water Level Logger U20L-01, programmés pour enregistrer la pression et la température chaque heure. Des mesures ont ainsi été prises dans 6 puits pour déterminer le niveau de confinement de la nappe (voir section 3.2.4), et les capteurs ont été laissés dans 4 puits à plus long terme afin de réaliser un suivi des niveaux d'eau pendant plusieurs mois. Un enregistreur de pression barométrique du même modèle a également été déployé dans le tubage d'un des puits pour corriger les données de pression selon les variations atmosphériques. Les niveaux d'eau ont été mesurés par rapport à la surface du sol adjacente à chaque puits. L'élévation de cette surface a été obtenue à partir d'une carte LiDAR téléchargée depuis la plateforme Forêt ouverte; l'année d'acquisition des données LiDAR est 2016 (MRNF, 2016). Les valeurs finales du niveau de l'eau souterraine ont ensuite été exprimées en mètres au-dessus du niveau de la mer (masl).

Les données piézométriques provenant des puits ont d'abord dû être corrigées, puisque les hydrogrammes montrent des pics descendants fréquents (déplacement transitoire) induits par de brèves périodes de pompage domestique. Le traitement du signal était donc nécessaire pour corriger l'influence du pompage afin de préserver les augmentations potentielles des niveaux d'eau souterraine (pics ascendants) associés à l'intrusion d'eau de surface. La qualité du signal a été améliorée en éliminant les valeurs aberrantes (principalement les pics causés par le pompage domestique) avec un critère basé sur la pente entre les points adjacents, ciblant les pics transitoires du pompage domestique, suivi d'une interpolation linéaire pour combler les lacunes résultantes, en se basant sur la méthode développée par Abi et al. (2023). La méthode complète, incluant les modifications apportées, est disponible dans ben Arous (2025).

3.2.4. Évaluation des conditions de l'aquifère

A partir des données piézométriques corrigées, les conditions de confinement de l'écoulement des eaux souterraines ont ensuite été évaluées à partir des variations des niveaux d'eau souterraine dans 6 puits. Le fait qu'un aquifère soit à nappe libre, semi-confinée ou confinée influence effectivement sa vulnérabilité à la

contamination provenant de la surface. Les conditions de confinement ont été estimées à l'aide de la méthode d'efficacité barométrique basée sur la pente (Ferris et al., 1962; Spane, 1999), avec des indications graphiques de Gonthier (2007).

Un deuxième indicateur de la vulnérabilité des puits à la contamination provenant de la surface du sol est le niveau d'ouverture du système géochimique par rapport aux échanges gazeux avec la zone non saturée. Ainsi, les conditions géochimiques ouvertes ou fermées désignent le potentiel d'échange gazeux, en particulier le CO₂, entre les eaux souterraines et le réservoir de gaz du sol dans la zone non saturée, et diffèrent du concept de confinement physique de l'aquifère (Appelo & Postma, 2004). L'évaluation des conditions géochimiques s'est basée sur des pressions partielles de CO₂ (pCO₂), calculées en utilisant le pH, la température et la teneur en CID des échantillons (Clark & Fritz, 1997). Un seuil entre -2,5 et -2 in log(pCO₂) a été utilisé pour distinguer entre les conditions fermées (log(pCO₂) < -2,5) et les conditions ouvertes (log(pCO₂) > -2) (Appelo & Postma, 2004; Freeze & Cherry, 1979; Meyzonnat et al., 2021).

3.2.5. Prélèvement d'échantillons et analyses

Les eaux souterraines provenant de puits privés ont été prélevées au robinet extérieur, en amont de tout système de traitement de l'eau. L'eau a été purgée pendant environ 15 minutes, jusqu'à la stabilisation des paramètres physico-chimiques, qui ont été mesurés à l'aide d'une sonde multiparamètre Hanna Instruments® (Woonsocket, RI, USA) HI 98194. Des échantillons ont été prélevés pour l'analyse du carbone inorganique dissous (CID), des isotopes stables de l'oxygène et de l'hydrogène dans l'eau ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$), des cations et anions majeurs, ainsi que des paramètres microbiologiques, à savoir *E. coli* et coliformes totaux. L'analyse du CID a été réalisée par combustion catalytique à haute température avec détection infrarouge sur un instrument VCPH Shimadzu, conformément aux méthodes standard 5310 B (APHA, 2023), avec une limite de détection de 0,05 mg/L. L'analyse des cations a été faite par ICP-AES, alors que l'analyse des anions a été faite par chromatographie ionique. L'analyse des isotopes de l'eau a été réalisée à l'aide d'un instrument CRDS de Los Gatos (LGR; San Jose, CA, États-Unis), modèle T-LWIA-45-EP. La précision analytique est $\pm 0,2$ ‰ pour $\delta^{18}\text{O}$ et $\pm 0,8$ ‰ pour $\delta^2\text{H}$, rapportée en notation delta par rapport à la norme internationale VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water). Les analyses microbiologiques ont été réalisées dans les 6 à 24 heures suivant l'échantillonnage, en utilisant la méthode IDEXX Colilert (IDEXX, 2024). Les résultats sont interprétés à l'aide du tableau du nombre le plus probable (MPN) fourni par le fabricant et sont exprimés en unités formatrices de colonie (UFC)/100 mL.

3.3. ÉTUDE DE LA PERCEPTION DU RISQUE

La méthode des entrevues semi-dirigées a été retenue afin de permettre une flexibilité dans les échanges et d'explorer en profondeur les perceptions et pratiques des participants. Il s'agit d'une méthode qualitative de collecte de données reposant sur des interactions verbales individuelles ou de groupe, visant à recueillir des informations sur des faits ou des représentations auprès de participants sélectionnés (Keteke & Roegiers, 1996, cité dans Imbert, 2009). Cette approche favorise l'émergence de thèmes inattendus grâce à l'analyse des verbatim, ce qui n'aurait pas été possible avec des questionnaires structurés comprenant des questions fermées.

Contrairement aux approches quantitatives qui privilégient la taille de l'échantillon, les méthodes qualitatives mettent l'accent sur l'expérience individuelle ou collective afin de comprendre les facteurs influençant les comportements (Munene, 2019). Dans le cadre de cette recherche, dix entretiens ont été réalisés. L'homogénéité relative des réponses a permis de considérer cet échantillon comme suffisant pour répondre aux objectifs de l'étude. Toutefois, ce type de données limite tout de même l'utilisation d'analyses statistiques en raison de l'hétérogénéité des réponses et de la taille réduite de l'échantillon. Étant donné que l'objectif de la recherche ne nécessitait pas de traitement statistique, cette méthode a été jugée appropriée.

3.3.1. Recrutement des participants

Tout d'abord, sept participants à ce volet sont des propriétaires de puits individuels situés près de la rivière des Hurons, et dont l'eau des puits a été échantillonnée dans le cadre de ce projet. Les entrevues réalisées auprès de ces participants permettent d'atteindre l'objectif 3 du projet (examiner les représentations sociales et les pratiques liées à l'usage de l'eau potable en situation d'inondation). Le nombre de sept a été choisi en fonction des ressources et du temps disponibles; les propriétaires de puits ont été sélectionnés de manière aléatoire parmi ceux ayant fourni un numéro de téléphone à l'équipe de recherche, afin de faciliter la logistique. Les résultats de qualité d'eau ont été communiqués aux participants sous forme de rapports individuels indiquant la présence ou l'absence de contamination. Ainsi, les changements de perception et de comportement avant et après la participation à cette recherche peuvent fournir des informations pertinentes sur l'influence des résultats scientifiques sur les représentations individuelles. Également, la comparaison entre les participants ayant reçu un avis de contamination et ceux dont l'eau ne présentait pas d'anomalies permet d'examiner l'évolution des perceptions en fonction des résultats obtenus.

En complément, trois acteurs régionaux de l'eau ont été interviewés, soit la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury, la municipalité régionale de comté (MRC) de La Jacques-Cartier et la Corporation du bassin de la Jacques-Cartier (CBJC). Ces entretiens visaient à atteindre l'objectif 4 du projet (élaborer de manière collaborative des recommandations favorisant une gestion adaptative et résiliente de l'eau potable), en documentant les dynamiques institutionnelles et les enjeux liés au transfert d'information sur la qualité de l'eau lors d'événements d'inondation, ainsi que les perspectives et contraintes propres aux institutions concernées.

3.3.2. Entretiens semi-dirigés

Les entretiens avaient une durée prévue d'environ une heure, sans limite minimale ou maximale, et pouvaient être réalisés en présentiel ou en visioconférence selon la préférence des participants. Quatre propriétaires de puits et un acteur institutionnel ont été rencontrés en présentiel, tandis que trois propriétaires et deux acteurs ont été interviewés par visioconférence. Les entrevues ont été réalisées en juin 2024.

Le questionnaire comprenait 33 questions destinées aux propriétaires de puits et 20 questions adressées aux acteurs de l'eau. Les questions ont été élaborées afin de répondre aux objectifs de recherche, notamment la compréhension des représentations, des pratiques et des facteurs influençant l'entretien des puits. Pour les propriétaires, le questionnaire était structuré en sept sections : (1) données démographiques, (2) représentation de l'eau potable et des inondations, (3) perception de la qualité de l'eau des puits, (4) pratiques d'utilisation du territoire, (5) sources d'information, (6) solutions potentielles pour une gestion durable des captages et (7) conclusion ouverte.

Pour les acteurs institutionnels, les sections incluaient : (1) présentation du professionnel, (2) représentation de l'eau potable et des inondations, (3) préoccupations concernant la qualité de l'eau des puits, (4) pratiques d'utilisation du territoire, (5) dynamiques institutionnelles, (6) solutions pour une gestion durable des captages et (7) conclusion. L'ordre des questions a été conçu pour favoriser une progression logique, des questions générales vers des questions plus spécifiques, afin de faciliter la discussion.

3.3.3. Interprétation des résultats

Les entrevues ont été enregistrées en format audio afin d'assurer une transcription fidèle. Les verbatim ont été transcrits à l'aide de la fonction de transcription du logiciel Teams, puis révisés manuellement. Les données ont ensuite été codifiées afin de faciliter l'analyse qualitative. Les propriétaires ont été anonymisés par des lettres (A à G), tandis que les acteurs institutionnels ont été identifiés par leur organisation.

Une démarche déductive a été privilégiée, dans laquelle les thèmes de codage ont été guidés par la revue de littérature. Cette approche permet de comparer les résultats empiriques aux connaissances existantes. Deux

méthodes de codage de premier ordre ont été utilisées : le codage structurel et le codage par attribut. Le codage structurel permet de classer les données selon des concepts et hypothèses prédéfinis, ce qui est cohérent avec une démarche déductive (Saldana, 2016). Le codage par attribut a été utilisé pour comparer les caractéristiques sociodémographiques des participants et examiner les relations potentielles entre ces variables et les comportements observés (Saldana, 2016).

Le codage de deuxième ordre a été réalisé selon une logique de codage conceptuel, permettant une abstraction et une synthèse des données afin d'obtenir une vision globale des entretiens (Saldana, 2016). Cette étape visait à identifier des thèmes transversaux et à interpréter les résultats en lien avec les cadres théoriques existants.

4. Résultats et discussion

4.1. ÉTUDE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE PUITES

4.1.1. Épisodes d'inondations au cours du projet

Entre mai 2023 et juin 2025, le débit de la rivière Hurons était en moyenne de 2,8 m³/s, avec un maximum de 139,4 m³/s enregistré à 16 h 30 le 18 décembre 2023. L'année 2023 a été marquée par trois épisodes de débordement de la rivière : (i) une crue printanière causée par de fortes pluies couplées à la fonte des neiges en cours dans les montagnes de la portion en amont du bassin versant le 1er mai (pic de débit à 72,2 m³/s); (ii) un événement estival causé par de fortes précipitations le 11 juillet (pic de 88,2 m³/s); et (iii) une recue hivernale les 18-19 décembre (pic 139,4 m³/s). Le nombre d'événements dépassant le seuil d'inondation mineure de 50 m³/s était donc de 3 en 2023 (couvrant 4 jours distincts), alors qu'il a été de 0 en 2024. Toutefois, en avril 2024, un épisode de crue a causé un débit de 46,8 m³/s qui, bien qu'en-dessous du seuil d'inondation mineure de 50 m³/s, a causé des débordements localisés à l'intérieur de la zone d'étude. Un autre épisode d'inondation a eu lieu le 30 avril 2025 (pic à 52,2 m³/s). Comparativement à la période de référence 2015–2022, qui a affiché 0,75 événement/année (couvrant 0,88 jour/an avec des débits ≥ 50 m³/s), la période 2023-2025 montre donc une fréquence accrue des épisodes de débordement (1,33 épisodes/année et 1,67 jour/année), principalement causée par les conditions de 2023.

Considérant les limites temporelles et budgétaires du projet, les échantillonnages pour la qualité de l'eau dans les puits et les cours d'eau ont couvert les inondations de mai et juillet 2023 seulement, ainsi que la période post-inondations allant jusqu'à novembre 2023. Un seul échantillonnage supplémentaire a eu lieu en juin 2024. Les polygones de plaine inondable correspondant aux événements de mai et juillet 2023 ont été cartographiés à l'aide des données de Geosapiens. Bien que la zone inondée de mai 2023 ait été plus petite que celle de juillet 2023 dû à un débit de pointe plus faible, ces deux inondations ont touché les mêmes cinq puits, à savoir STO4, STO7, STO9, STO11 et STO13 (Fig. 3).

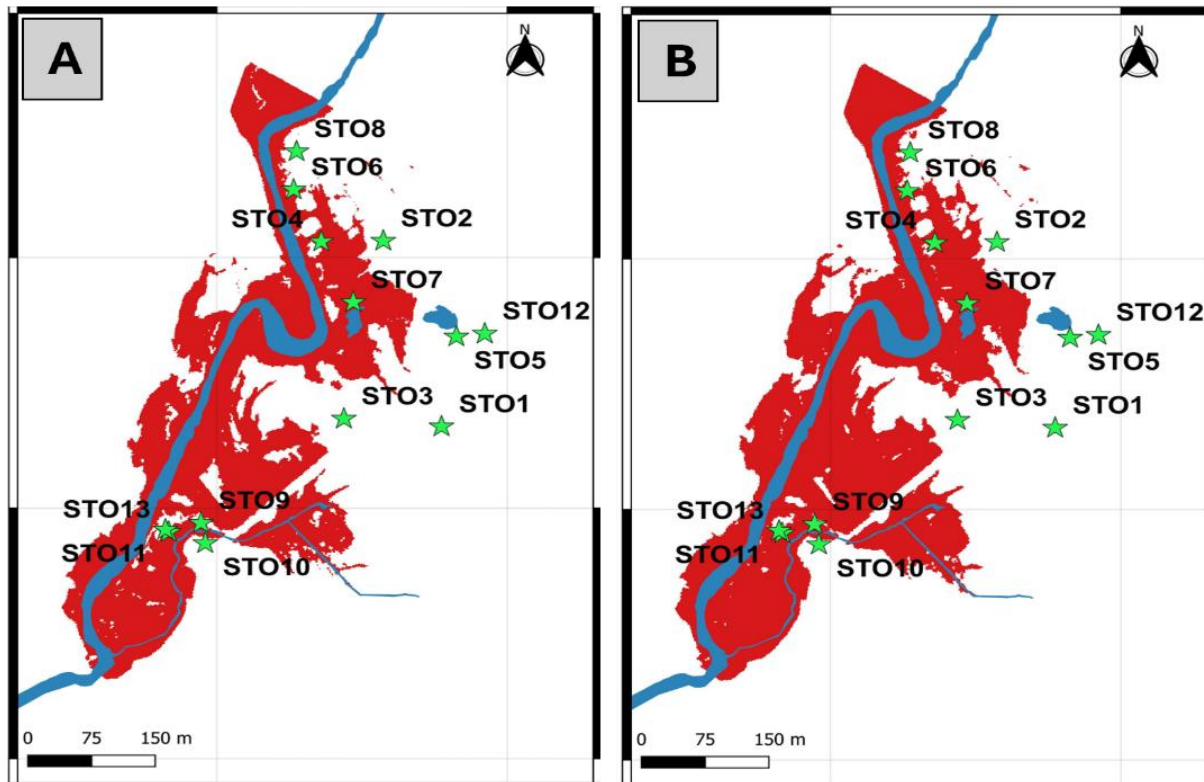


Figure 3. Polygones des zones inondables (en rouge) en fonction du débit de la rivière observé lors des inondations de: A) Mai 2023 (débit maximal 72.2 m³/s), et B) Juillet 2023 (débit maximal 88.2 m³/s). Les données utilisées pour la cartographie des polygones proviennent de Geosapiens (Geosapiens.com). Figure tirée de ben Arous (2025).

4.1.2. Conditions d'écoulement de l'aquifère et connectivité avec la surface

Les conditions de confinement physique de l'aquifère ont été vérifiées à l'aide de la méthode d'efficacité barométrique pour les puits instrumentés avec un capteur de pression. Tous les puits ont démontré des valeurs absolues d'efficacité barométrique près de zéro, ce qui indique que le niveau piézométrique dans ces puits est insensible aux variations barométriques et que, par conséquent, l'aquifère est soumis à des conditions de nappe libre (Mann, 2012), le rendant ainsi vulnérable aux contaminants provenant de la surface.

Le degré d'ouverture géochimique de l'aquifère aux gaz du sol a été évalué à l'aide du pCO₂ et du pH. Les valeurs varient d'un puits à l'autre, et un même puits pouvait parfois afficher des conditions ouvertes ou fermées selon la période. Pour clarifier l'interprétation, les puits ont été regroupés selon des schémas temporels basés sur leur réponse aux inondations et leur niveau de log pCO₂. Le premier groupe de puits (STO1, STO3, STO5) présente généralement des conditions géochimiques ouvertes ou de transition (entre ouvertes et fermées), passant toutefois à des conditions fermées après l'inondation de mai 2023, et revenant à des conditions ouvertes après la crue de juillet 2023. Notez que ces puits sont plus éloignés de la rivière, en dehors de la plaine inondable. Un second groupe de puits (STO2, STO4, STO6, STO7, STO10, STO12) affiche généralement aussi des conditions ouvertes ou de transition, passant drastiquement à des conditions fermées après l'inondation de mai 2023, avant de revenir à des conditions ouvertes après la crue de juillet 2023. Certains de ces puits sont situés près de la rivière, alors que d'autres sont un peu plus éloignés. Les conditions changeantes dans ces deux groupes de puits indiquent qu'ils pourraient potentiellement être influencés par l'intrusion d'eau de surface liée aux épisodes de pluie intense et donc être vulnérables à la contamination provenant de la surface. En revanche,

un troisième groupe de puits (STO8, STO11, STO13) a affiché des conditions géochimiques fermées en tout temps; ces derniers sont tous situés près de la rivière, et semblent moins susceptibles aux variations géochimiques liées au débit de la rivière ou aux pluies intenses, possiblement car ils sont en permanence sous l'effet de la rivière (conditions de filtration sur berge possibles).

4.1.3. Qualité de l'eau de la rivière et des puits privés

Paramètres physico-chimiques (normes en vigueur et résultats) - La majorité des cations (métaux) et anions faisant l'objet de normes pour l'eau potable en vertu du Règlement sur la qualité de l'eau potable (Gouvernement du Québec, 2001) et de sa plus récente mise à jour (MELCCFP, 2024), incluant notamment l'antimoine, l'arsenic, le baryum, le bore, le cadmium, le chrome, le cuivre, le fluorure, le manganèse, le nitrate/nitrite, le plomb et le sélénium, ont été analysés dans l'eau des puits. Toutefois, aucun de ces paramètres n'est ressorti comme dépassant les normes pour l'eau potable, que ce soit en période d'inondation ou hors inondation. Ceci indique que sur la base des paramètres analysés, la qualité chimique des eaux souterraines dans ce secteur est bonne et ne présente pas de risque pour la consommation. Il demeure bien entendu possible que des substances entreposées à la surface du sol (ex : bidon d'essence, pots de peinture) puissent éventuellement se renverser en cas d'inondation, se rendre jusqu'à la nappe phréatique et contaminer un puits, et donc il demeure important de bien gérer les sources de contamination possible sur les propriétés. Également, bien que la qualité chimique de l'eau de la rivière des Hurons soit bonne en raison de sa localisation dans un bassin-versant largement forestier, il demeure possible qu'un déversement localisé d'un contaminant dans la rivière pendant une inondation, puisse causer une contamination dans les puits riverains. Or, comme aucune contamination d'ordre physico-chimique n'a été décelée dans les échantillons au cours de ce projet, la présentation et l'interprétation des résultats se concentre principalement sur la présence de contaminants microbiologiques.

Paramètres microbiologiques (sources et normes en vigueur) - Les paramètres microbiologiques analysés dans ce projet incluent les coliformes totaux et la bactérie *E. coli*. Les **coliformes totaux** peuvent avoir diverses origines et la plupart des bactéries qui composent ce groupe sont non pathogènes (Glassmeyer et al., 2005; Martin et al., 2010). Toutefois, comme les coliformes sont très abondants dans les sols et les eaux de surface, leur présence dans un puits indique généralement une importante connectivité avec la surface, et donc un risque accru d'intrusion de contaminants (substances chimiques et/ou microorganismes pathogènes). Il n'y a aucune norme pour les coliformes totaux dans les eaux de surface, car ils y sont naturellement très abondants. Dans les sources d'eau potable (dont les puits), la concentration maximale acceptable de coliformes totaux est de 10 UFC/100 mL (MELCCFP, 2024). En revanche, la **bactérie *E. coli*** provient uniquement d'une contamination fécale. Bien que la plupart des souches de *E. coli* soient inoffensives, certaines sont pathogènes, et la concentration maximale acceptable de *E. coli* dans l'eau potable est de 0 UFC/100 mL (MELCCFP, 2024). Dans les eaux de surface non utilisées comme source d'eau potable, il n'y a pas de norme stricte de qualité, mais plutôt des critères servant à guider les usages. Au-delà de 200 UFC/100 mL de *E. coli*, les contacts directs (ex : baignade) ne sont pas recommandés, alors qu'au-delà de 1000 UFC/100 mL, tout contact direct ou indirect (ex : baignade, navigation en canot, kayak, etc) n'est pas recommandé (MELCCFP, 2025c).

***E. coli* (résultats pour les eaux de surface)** - Les échantillons de la rivière des Hurons (sites HUR1, HUR2) ont démontré des concentrations de *E. coli* variant entre 2 et 597 UFC/100 mL (Fig. 4). Parmi les 18 échantillons analysés (2 sites, 9 campagnes de prélèvement chacun), 4 ont dépassé le critère de qualité pour la baignade de 200 UFC/100 mL, principalement dans la semaine suivant une inondation (n=3), bien que 1 dépassement ait eu lieu en période hors inondation. Aucun échantillon analysé n'a dépassé le critère pour les autres usages récréatifs (ex : navigation), qui est de 1000 UFC/100 mL. Pour le site de prélèvement du fossé de drainage (HUR3) se jetant dans la rivière, 2 dépassements de la norme de 200 UFC/100 mL ont eu lieu, dont l'un lors d'une inondation, et l'autre hors période d'inondation. Il est à noter toutefois que la baignade ne serait pas possible sur cet étroit plan d'eau, et donc la comparaison avec les critères de qualité n'est faite qu'à titre indicatif.

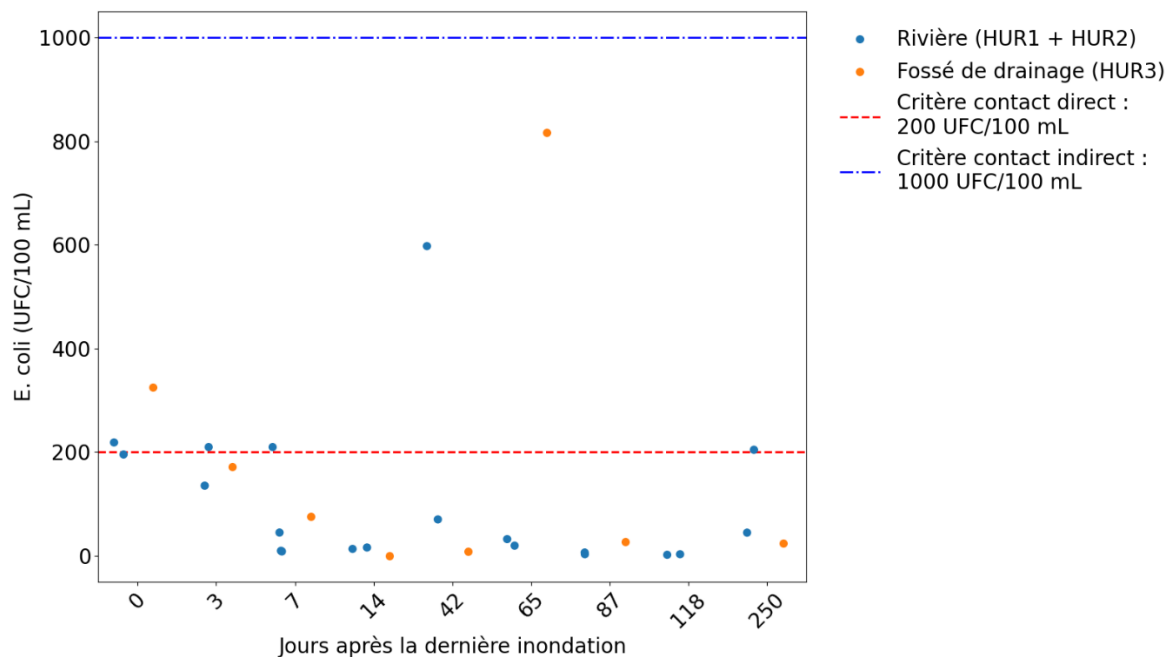


Figure 4. Concentrations de bactéries *E. coli* dans les eaux de surface de la rivière des Hurons (sites HUR1 et HUR2) et du fossé de drainage (site HUR3), en fonction du nombre de jours écoulés depuis la dernière inondation.

Coliformes totaux (résultats pour les puits) - Dans les puits, la concentration en coliformes totaux était hautement variable, et a parfois dépassé la limite maximale de quantification de la méthode (>2419 UFC/100 mL) (Fig. 5). Sur 106 échantillons analysés, 58% ont dépassé la norme pour l'eau potable, qui est de 10 UFC/100 mL. Ces dépassements ont été observés dans les échantillons provenant de 11 des 13 puits; ainsi, seulement 2 puits n'ont pas démontré de dépassements de coliformes totaux.

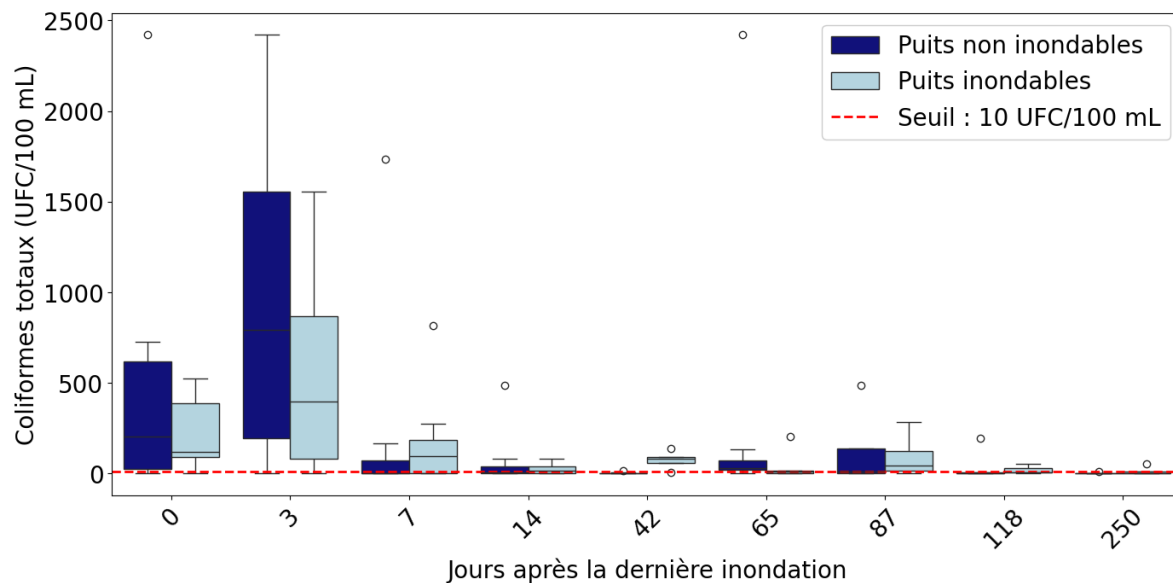


Figure 5. Concentrations de coliformes totaux dans les eaux souterraines des puits (situés en plaine inondable ou non), en fonction du nombre de jours écoulés depuis la dernière inondation. Sur les boîtes à moustaches, la ligne centrale

représente la médiane, les extrémités de la boîte indiquent le 1^{er} et 3^e quartile, les moustaches indiquent les valeurs minimale et maximale non aberrantes (jusqu'à 1,5 × l'écart interquartile), alors que les points individuels représentent les données considérées comme aberrantes (outliers).

***E. coli* (résultats pour les puits)** - Quant aux *E. coli*, ils ont été détectés (et donc dépassent la norme pour l'eau potable de 0 UFC/100 mL) dans 13% des échantillons, certains atteignant jusqu'à 32 UFC/100 mL; toutefois la majorité des détections étaient de l'ordre de 1 à 3 UFC/100 mL (Fig. 6). La présence de *E. coli* a ainsi été observée dans 9 des 13 puits échantillonnés. Pour la plupart de ces 9 puits, la présence de *E. coli* a été seulement observée à une reprise, alors que pour 2 des puits, la présence de *E. coli* a été observée à plusieurs reprises, généralement dans les 7 jours suivant une inondation ou un épisode de pluie intense. Toutefois, il est à noter que ces 2 puits ne sont pas situés en zone inondable et donc, une intrusion directe de l'eau de rivière est improbable.

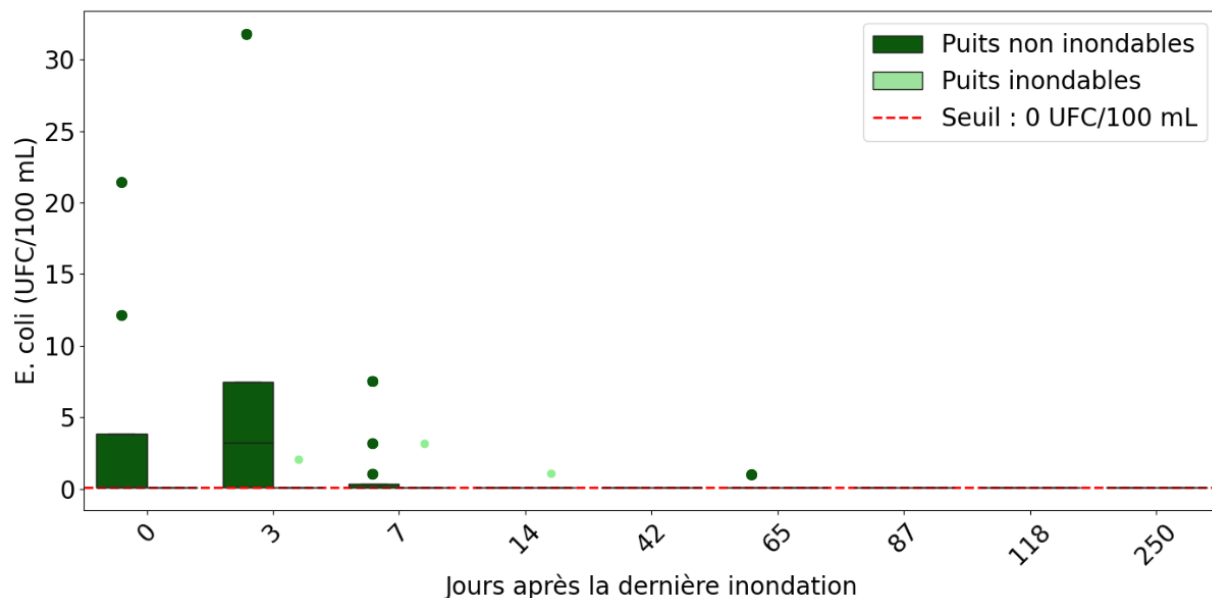


Figure 6. Concentrations de *E. coli* dans les eaux souterraines des puits (situés en plaine inondable ou non), en fonction du nombre de jours écoulés depuis la dernière inondation. Sur les boîtes à moustaches du graphique, la ligne centrale représente la médiane, les extrémités de la boîte indiquent le 1^{er} et 3^e quartile, les moustaches indiquent l'étendue des valeurs non aberrantes (jusqu'à 1,5 × l'écart interquartile), alors que les points individuels représentent les données considérées comme aberrantes (outliers).

4.1.4. Déterminants spatiaux et temporels de la contamination

Dans cette étude, l'eau souterraine provenant des puits privés a souvent dépassé les normes pour l'eau potable concernant les coliformes fécaux et les *E. coli*. Un survol des figures 5 et 6 semble montrer une présence plus importante de ces microorganismes lors des inondations (J0), avec une réduction des concentrations au cours des jours suivants, jusqu'à revenir au niveau des normes pour l'eau potable à l'intérieur de 7 à 14 jours dans la plupart des puits. Ainsi, les données de teneurs en microorganismes ont été analysées statistiquement en regroupant les valeurs en fonction de deux périodes distinctes, soit de 0 à 14 jours après une inondation (J0-14), ou au-delà de ces 14 jours (J>14). Les puits ont également été séparés en 2 groupes spatiaux, soit la zone inondée lors des événements de mai et juillet 2023 (5 puits) et ceux non inondés lors de ces épisodes (8 puits).

L'analyse statistique non paramétrique, basée sur le test de Mann–Whitney (U) (Wilcoxon rank-sum) (Mann & Whitney, 1947; Wilcoxon, 1945), a été utilisée pour faire ressortir les différences significatives ($p < 0.05$) entre les groupes spatiaux et temporels, en termes de teneurs en coliformes totaux et de *E. coli*. Tout d'abord, l'analyse spatiale réalisée sur les échantillons prélevés lors des périodes J0-14 et J>14 a démontré que les concentrations de coliformes totaux et de *E. coli* n'étaient pas statistiquement différentes entre les puits situés en zone inondable ou non inondable, pour chacune de ces 2 périodes. En d'autres termes, autant dans les jours suivant une inondation que dans les périodes de débit normal, le groupe de puits en zone inondable n'était pas davantage contaminé par les microorganismes que le groupe de puits situés en zone non inondable.

Puis, en focalisant seulement sur les puits situés en zone inondable et en comparant leurs concentrations en coliformes totaux ou *E. coli* au cours des 2 périodes différentes (J0-14 versus J>14), on n'observe encore aucune différence significative, ce qui signifie que statistiquement, le groupe de puits en zone inondable n'a pas été davantage contaminé lors des inondations qu'en période de débit normal de la rivière.

En revanche, une analyse temporelle sur le groupe de puits situés en zone non inondable démontre une différence significative ($p = 0.006$) entre les teneurs en coliformes totaux et *E. coli* détectés lors des périodes J0-14 et J>14. Cela signifie que le groupe de puits situés en dehors de la zone inondable a été davantage contaminé par les microorganismes au cours des fortes pluies ayant causé une inondation et lors des jours suivants (J0-14), par rapport aux périodes où ce type de précipitations n'a pas eu lieu (J>14). Cette contamination ne peut pas être due à l'intrusion de l'eau de rivière, vu la position spatiale de ces puits. Ainsi, la contamination semble plutôt provenir de l'intrusion rapide d'eau de surface provenant des fortes précipitations ou de la fonte des neiges.

Ces résultats mettent en lumière un schéma de vulnérabilité spatialement généralisé des puits privés dans ce secteur, les puits en zone non inondable étant autant à risque que ceux situés en zone inondable lors de tempêtes intenses menant à des inondations. Cette voie d'exposition pourrait être aggravée par les changements climatiques, car des tempêtes estivales de plus en plus fréquentes et intenses peuvent mobiliser et transporter des bactéries de surface vers l'aquifère (Frey et al., 2015). Il est important de noter que la rivière des Hurons est située dans un bassin versant principalement boisé, avec une faible densité de population et l'absence de sources significatives de contaminants industriels. Dans ce projet, la rivière s'est avérée non contaminée par des composés chimiques (métaux et anions). Il faut garder à l'esprit que dans d'autres bassins versants où l'eau de rivière pourrait être contaminée par des composés chimiques toxiques, même une petite quantité d'intrusion d'eau de rivière dans un puits riverain pourrait potentiellement avoir des conséquences sanitaires très importantes.

4.2. ÉTUDE DE LA PERCEPTION DU RISQUE

4.2.1. Habitudes, comportements et représentations des propriétaires de puits

4.2.1.1. Utilisation de l'eau et connaissances – période hors inondations

Tous les propriétaires de puits sondés ($n=7$) utilisent l'eau de leur puits pour les usages domestiques, incluant l'hygiène, la préparation des aliments, le lavage et l'arrosage. La majorité des participants ne possède pas de système de traitement de l'eau ou utilise uniquement un filtre à sédiments, principalement pour des raisons esthétiques ou pour protéger les équipements. Deux participants ont installé un système de désinfection par rayonnement ultraviolet avant ou pendant le projet, et l'un d'eux utilise également un système d'osmose inversée. À noter, tous les échantillons d'eau pour le projet ont été prélevés en amont de tout système de traitement; ainsi, les résultats obtenus reflètent la qualité de l'eau brute du puits. À l'exception des tests réalisés dans le cadre du projet, quatre des sept propriétaires n'ont réalisé aucune analyse de l'eau de leur puits depuis l'achat ou la construction de leur propriété. Puisque ces quatre participants étaient propriétaire depuis plus de 20 ans, les

derniers tests ont été réalisés il y a plus de 19 ans. Deux des participants au projet réalisent des tests d'eau annuellement, et certains en effectuent en fonction d'éléments déclencheurs, tels que des changements organoleptiques ou des problèmes de santé.

En termes de connaissances sur les exigences réglementaires ou recommandations sur les analyses, la majorité des participants (n=4) a indiqué avoir des connaissances limitées. Certains considèrent les puits comme une responsabilité individuelle, et le MELCCFP et la municipalité ont été mentionnés comme acteurs réglementaires. Quelques participants ont évoqué des exigences relatives à la distance entre le puits et la fosse septique, et des tests d'eau obligatoires lors de l'achat d'une propriété ou de la construction d'un puits. Dans les faits, en plus de du test d'eau souvent demandé par les prêteurs hypothécaires à l'achat d'une propriété, le MELCCFP recommande deux tests bactériologiques par année et un test physico-chimique pendant la durée de vie du puits (MELCCFP, en ligne). Ainsi, les comportements d'entretien observés dans cette étude sont considérés comme nettement sous les recommandations chez tous les propriétaires de puits, ce qui augmente leur vulnérabilité puisque la plupart des contaminants ne sont pas détectable par les sens.

4.2.1.2. Utilisation de l'eau et connaissances – en période d'inondations

Les propriétaires de puits sondés se sont généralement montrés peu préoccupés par les enjeux de qualité de leur eau pendant les inondations. Seulement 2 participants ont mentionné cette préoccupation spécifique pendant les épisodes d'inondations, et un seul disait effectuer des actions préventives en faisant bouillir l'eau avant la consommation lors des inondations dans le passé, alors que tous les autres disaient continuer d'utiliser l'eau comme à l'habitude. Les propriétaires mentionnaient n'avoir effectué aucun test de qualité d'eau lors des inondations passées, contrairement aux suggestions gouvernementales (Gouvernement du Québec, 2025). Ainsi, d'après les résultats de cette recherche, aucun propriétaire ne connaît ou n'applique la procédure recommandée. En outre, comme l'ont constaté Musacchio et al. (2021), le manque de connaissances des propriétaires de puits sur la qualité de leur eau ainsi que sur les bonnes pratiques d'entretien du puits se répercutent sur les comportements lors de contaminations sporadiques. Ainsi, il serait difficile de travailler sur la sensibilisation aux comportements préventifs chez les propriétaires de puits lors d'inondations, sans travailler également sur l'apprentissage de connaissances de base sur la contamination de l'eau des puits en général, qui peuvent favoriser une juste perception du risque par les propriétaires de puits.

4.2.1.3. Perception du risque

D'après les résultats, deux variables principales ont influencé la faible perception du risque par les propriétaires de puits. Premièrement, dans la région de Stoneham, il semble y avoir l'idée reçue que l'eau contenue dans les aquifères est exceptionnellement pure. Il est vrai que peu de contaminants d'origine industrielle ou agricole sont présents dans la zone d'étude. Cependant, les risques liés aux sources de contamination bactériennes sont bien réels, mais semblent avoir peu d'impact dans les représentations des propriétaires, ce qui augmente leur vulnérabilité. Deuxièmement, la constance de l'esthétique de l'eau (ex : goût, couleur, odeur) ou l'absence de maladies liées à l'eau renforcent la confiance des propriétaires envers leur source d'eau, ce qui augmente leur vulnérabilité. Il est possible que cette expérience positive explique pourquoi les propriétaires qui habitent leur résidence depuis plus longtemps ont tendance à avoir une confiance plus élevée en leur source d'eau potable et à se considérer moins vulnérables. Il est également possible que les informations véhiculées par la municipalité aient été moins élaborées ou absentes lorsque les propriétaires ont foré leur puits il y a une vingtaine d'années, ce qui peut contribuer à leur faible perception des menaces. Cette constatation va dans le même sens que Imgrund (2009) qui affirmait que les personnes plus âgées ont généralement une meilleure confiance en leur eau et effectuent moins d'actions préventives. Il est à noter que dans la présente étude, l'âge des participants n'a pas été récolté; c'est plutôt le nombre d'année où les participants ont habité leur maison qui démontre une relation avec les comportements préventifs.

En effet, deux variables conjointes semblent influencer positivement les participants à appliquer des comportements préventifs : être nouvellement propriétaire d'une résidence qui inclut un puits individuel, et habiter avec des enfants. À travers ce projet, les participants qui ont révélé être propriétaires depuis moins de cinq ans sont également les seuls à avoir mentionné la présence d'enfants dans leur ménage actuel (n=2). Donc, il n'est

pas possible de séparer ces deux variables dans le cadre de cette recherche. À travers les entrevues, nous observons qu'ils se classent dans les trois participants ayant les connaissances les plus poussées sur le sujet, et ayant manifesté plus d'intérêt face aux enjeux de l'eau que la majorité des participants rencontrés. Dans ce même sens, les membres de la municipalité interrogés ont indiqué que les nouveaux propriétaires sont plus inquiets de la qualité de l'eau en raison du changement de goût. Il est également possible que le changement entre une source d'eau municipale très contrôlée et un puits privé soulève des insécurités, ce qui peut également expliquer l'intérêt de ces nouveaux propriétaires.

4.2.1.4. Préoccupations, barrières et leviers

Outre une perception du risque généralement faible, certains participants ont exprimé un manque d'intérêt pour les résultats de tests, alors que d'autres reconnaissent l'importance de l'accès à une eau potable sécuritaire. Les préoccupations spécifiques rapportées par les participants en lien avec les inondations et la qualité de leur eau concernent les contaminants bactériens (matières fécales, cadavres d'animaux) et chimiques (arsenic, hydrocarbures, peintures, pesticides). Le sel de voirie et les sédiments sont également perçus comme préoccupants malgré leur caractère perçu comme non toxique. Certains participants soulignent la variabilité temporelle de la qualité de l'eau et les impacts matériels de l'eau acide ou turbide.

Plusieurs barrières à l'adoption de comportements sécuritaires, comme la désinfection du captage après une inondation ou les tests de qualité d'eau, ont été observées. Tout d'abord, en termes de barrières internes, les participants présentent des lacunes de connaissances et certaines croyances erronées, telles que la détection sensorielle des contaminants ou la stabilité temporelle de la qualité de l'eau. La faible perception de vulnérabilité et la méfiance envers les institutions municipales limitent l'adoption de comportements préventifs. Puis, au niveau des barrières externes, les coûts des analyses, des systèmes de traitement et la perception d'un faible engagement municipal ont été mentionnés.

A l'inverse, les déclencheurs de comportements sécuritaires rapportés incluent des changements organoleptiques, la confirmation d'une contamination par un test en laboratoire, des problèmes de santé, des exigences réglementaires ou la gratuité des tests. Les bénéfices mentionnés en lien avec les comportements sécuritaires incluent la satisfaction de la curiosité et la tranquillité d'esprit après un test négatif. En fait, malgré la dichotomie franche entre les deux types de propriétaires, les déclencheurs d'action semblent demeurer semblables pour les deux groupes. Les changements esthétiques (n=4) et les problèmes de santé (n=2) ont été soulevés. Cependant, ces événements se produisent généralement de façon spontanée et il est difficile de les prévoir, ainsi ce sont des déclencheurs de nature plutôt fortuite. En revanche, la réalisation de tests peut être faite de manière planifiée, et influencer les propriétaires de puits à appliquer une action préventive (n=3). Effectivement, à la suite d'un test positif, trois participants ont appliqué un comportement sécuritaire comme le nettoyage du captage (n=1) et l'installation de lampe UV (n=2). De plus, un participant a communiqué la contamination de son puits à son voisin, ce qui a entraîné l'application de comportements sécuritaires pour ce propriétaire également. Donc, selon les résultats, il pourrait être pertinent d'augmenter l'attractivité et l'accessibilité des tests pour les propriétaires de puits afin de favoriser des comportements adéquats et ainsi diminuer les risques de consommation d'une eau contaminée.

4.2.2. Effet du contexte institutionnel sur la vulnérabilité des propriétaires de puits

4.2.2.1. Information et transfert

Du côté des acteurs institutionnels sondés, on mentionne que les informations concernant la désinfection, les tests d'eau et les procédures de nettoyage des puits, sont transmises aux propriétaires de puits et sont disponibles par téléphone, au service d'urbanisme, sur le site web municipal, lors de l'émission de permis, via l'infolettre municipale ou par envoi postal périodique.

Étant régulièrement en contact avec les citoyens, le personnel de la municipalité mentionne que les nouveaux propriétaires de maison, surtout les jeunes familles, sont plus enclins à s'inquiéter de la qualité de leur eau comparativement aux personnes plus âgées qui habitent la même résidence depuis de nombreuses années.

Ces constats ont également été observés à travers les entretiens menés auprès des propriétaires de puits dans le cadre de cette recherche. De plus, les professionnels des organismes sondés ont mentionné que les comportements d'entretien des puits sont très inégaux. Ils ont identifié une série de facteurs qui n'incitent pas les propriétaires à effectuer l'entretien adéquat de leur puits, comme l'absence d'obligation, les coûts dispendieux, la distance des laboratoires agréés et le manque de connaissances de la population. Toutefois, les trois acteurs interrogés soulèvent que l'usage naturel du territoire et la faible présence des secteurs agricoles et industriels engendrent des risques de contamination chimiques assez faibles. Cependant, les enjeux concernant les fosses septiques ont été mentionnés par l'intégralité des acteurs.

Du côté des propriétaires de puits sondés, on note que peu de canaux de transfert d'information ont réellement réussi à les rejoindre : seulement deux participants ont mentionné un document postal municipal (journal local *Le Petit Rapporteur*). En fait, avant ce projet de recherche, la majorité n'était pas consciente des risques de contamination (n=5). L'intérêt pour l'information semble principalement lié à l'expérience passée de contamination ou à des facteurs sociodémographiques, ce qui rejoint les observations de Kreutziger (2011). De manière générale, les propriétaires de puits sondés ont exprimé une incertitude quant à leurs connaissances, mais également face à la fiabilité des informations reçues. Ces participants ont été sondés pour savoir quels canaux d'information ils considéraient comme fiables ou non fiables.

Tout d'abord, parmi les canaux mentionnés comme non fiables ou faiblement crédibles, on retrouve internet et les informations non contextualisées localement. La municipalité est parfois perçue comme un acteur politique peu actif, tandis que les acteurs privés sont perçus comme étant animés de motivations financières.

En revanche, certaines sources d'information ont été identifiées comme fiables par plusieurs propriétaires de puits, notamment des sources comme les installateurs de puits, les scientifiques, les groupes de recherche universitaires, et les résultats de tests d'eau. Les médias, internet, les organismes de bassin-versant (OBV) et Agiro sont également mentionnés par certains participants comme étant des sources fiables. De manière générale, la crédibilité semble associée à la connaissance du contexte local et à la clarté des explications. Dans le contexte du projet mené par l'INRS, quatre participants sur sept ont déclaré que les interactions avec l'équipe du projet avaient modifié leur perception et trois d'entre eux ont développé un intérêt pour le sujet à la suite de leur passage. La confiance des propriétaires semble être due non seulement à l'expertise des acteurs et à la neutralité de l'institution, mais aussi aux visites terrain, aux rencontres présentes et aux connaissances du milieu local. En résumé, selon notre interprétation des résultats, une institution neutre orientée vers des méthodes scientifiques serait considérée plus sérieusement par les propriétaires de puits concernant la qualité de l'eau des puits.

4.2.3. Solutions proposées

Cette section présente les solutions proposées par les propriétaires de puits et les acteurs du milieu concernant la gestion durable des captages individuels, ainsi que les recommandations issues de la recherche.

4.2.3.1. Solutions proposées par les propriétaires et les acteurs

Certains propriétaires sondés reconnaissent de façon proactive leur responsabilité individuelle, notamment en adoptant des comportements plus respectueux de l'environnement, en réduisant leur consommation d'eau et en assurant un entretien proactif des puits, particulièrement en contexte d'inondation. Toutefois, les propriétaires soulignent largement des lacunes dans le transfert d'information concernant la qualité de l'eau et les risques de contamination. Plusieurs recommandent d'améliorer les mécanismes de communication et de sensibilisation, notamment par la création d'une ligne téléphonique d'aide neutre (c'est-à-dire dépourvue de motivations commerciales), l'offre d'un test d'eau gratuit annuellement ou la mise en place d'un comité de travail municipal ou régional dédié aux puits individuels. Certains insistent sur la responsabilisation citoyenne quant à l'impact des

comportements individuels sur la ressource, tandis qu'une minorité estime qu'aucune modification n'est nécessaire en l'absence de problèmes observés.

Les acteurs du milieu proposent des solutions davantage structurelles. Deux participants suggèrent la création d'une banque de données sur les eaux souterraines afin de documenter la qualité de l'eau à l'échelle régionale. La municipalité envisage un rôle d'intermédiaire logistique entre les citoyens et les laboratoires d'analyse, facilitant l'accès aux trousseaux d'échantillonnage et réduisant les coûts en échange d'un partage des résultats. Toutefois, elle estime ne pas pouvoir élargir significativement ses responsabilités en raison de ressources limitées et d'autres priorités, telles que la gestion des fosses septiques qui fait présentement l'objet d'une modernisation de la réglementation dans le bassin des prises d'eau potable de la ville de Québec, dont plusieurs secteurs à Stoneham font partie. Il est également proposé d'intégrer la gestion des eaux souterraines au mandat des OBV, compte tenu de leur expertise en gestion intégrée de l'eau, mais leurs représentants soulignent que leur mandat n'est actuellement pas lié formellement aux puits privés. La MRC rappelle, pour sa part, la nécessité d'améliorer l'information transmise aux citoyens pour encourager des comportements préventifs, mais se perçoit comme un acteur à portée régionale sans mandat direct supplémentaire.

Certains représentants d'organismes recommandent également de distinguer le transfert d'information relatif aux risques généraux de contamination de celui lié spécifiquement aux inondations. Concernant les conditions « normales » (hors inondations), on mentionne qu'il serait pertinent d'enrichir l'objectif 2.3 des OGAT (« *Assurer la pérennité et la protection des ressources en eau par une gestion intégrée* »; MAMH, 2024) afin d'y inclure explicitement la sensibilisation des propriétaires de puits individuels. La création d'une table de concertation regroupant municipalités et OBV permettrait l'élaboration d'un plan d'action coordonné : les municipalités fourniraient les données sur les puits et les aquifères, tandis que les OBV assureraient la mise en œuvre. En revanche, en contexte d'inondation, les bureaux de projet établis par le ministère des Affaires Municipales et de l'Habitation (MAMH) dans le cadre du Plan de protection du territoire face aux inondations apparaissent bien positionnés pour développer des actions ciblées sur la contamination des puits.

4.2.3.2. Acteurs et actions à privilégier et à éviter

Les propriétaires ont identifié majoritairement les OBV comme des organismes scientifiques crédibles pouvant jouer un rôle accru dans la gestion des eaux souterraines. Le palier provincial est aussi perçu comme disposant de ressources et de pouvoirs supérieurs au niveau municipal. Toutefois, plusieurs propriétaires s'opposent à une prise en charge accrue par les paliers gouvernementaux, invoquant la pression fiscale et un manque de confiance envers ces organisations.

Les acteurs organisationnels du milieu appuient unanimement un rôle accru des OBV, en raison de leur expertise et de leur approche holistique. Certains évoquent la possibilité d'un mandat ministériel (MAMH, MELCCFP ou MSSS) pour encadrer l'action. En revanche, l'adoption d'une réglementation obligeant des tests périodiques ou des systèmes de filtration est jugée irréaliste dans le contexte actuel, notamment en raison de sa complexité et des ressources requises.

Finalement, à la lumière des résultats obtenus et considérant l'absence de cadre législatif applicable aux comportements liés aux puits privés et la difficulté d'en instaurer un, les efforts devraient prioritairement porter sur une communication stratégique efficace, et sur des solutions permettant d'abaisser les barrières faisant obstacle aux comportements préventifs. La littérature recommande l'utilisation simultanée de plusieurs canaux (médias locaux, affiches, rappels sur les comptes de taxes), l'implication des courtiers immobiliers et des inspecteurs préachat, ainsi que l'organisation de campagnes intensives d'échantillonnage. Enfin, une collaboration avec des spécialistes en communication du risque est suggérée afin d'optimiser le contenu et l'efficacité des messages, notamment en mettant l'accent sur les risques pour la santé et la remise en question des idées reçues.

4.3. ADÉQUATION DES RECOMMANDATIONS GOUVERNEMENTALES ACTUELLES

Les recommandations gouvernementales en matière d'eau potable provenant de puits privés en période d'inondations (Gouvernement du Québec, 2025), stipulent que dans les zones ayant été inondées, les propriétaires de puits devraient attendre un minimum de 10 jours après le retrait définitif des eaux de l'inondation, puis désinfecter leur puits (une procédure de 24h), attendre une semaine, et ensuite faire analyser l'eau pour les contaminants microbiologiques (bactéries *E. coli*, bactéries entérocoques, coliformes totaux) par un laboratoire accrédité par le MELCCFP. Pendant toute cette période, l'eau du puits devrait être considérée non potable et ne devrait pas être consommée sans avoir été bouillie pendant au moins une minute. A noter, si l'on suspecte une contamination de nature chimique (ex : déversement d'hydrocarbures), l'eau ne devrait pas être consommée du tout et des analyses spécifiques doivent être demandées. Enfin, considérant : 1) les étapes d'attente et de désinfection, et 2) le délai d'obtention des résultats de laboratoire, qui est généralement de l'ordre d'une semaine, on peut donc estimer que la période minimale avant de recevoir la confirmation que l'eau est potable est donc d'environ 25 jours.

Les résultats de ce projet ont démontré qu'aucun des propriétaires sondés ne suivait ces recommandations, ce qui est cohérent avec les résultats d'autres études dans la littérature. Les raisons le plus souvent évoquées sont l'absence de connaissances, l'absence de préoccupations, la lourdeur de la logistique pour effectuer les tests, et le coût élevé des analyses. Toutefois, nos résultats d'analyses microbiologiques démontrent certains constats encourageants, valides pour la région d'étude et potentiellement dans d'autres contextes similaires.

Premièrement, tout comme pour l'eau de la rivière des Hurons (Fig. 5), les teneurs les plus élevées en bactéries (*E. coli* et coliformes totaux) dans les puits privés étaient concentrées principalement à l'intérieur des 7 jours suivant une inondation ou de fortes pluies (Fig. 6, Fig. 7). Ainsi, la recommandation la plus critique pour protéger la santé des ménages est possiblement de faire bouillir l'eau de leur puits à gros bouillons pendant au moins une minute avant de la consommer, sur une période d'une semaine suivant ces événements météorologiques. Les autres recommandations concernant les analyses (celles pour les périodes d'inondation mais également celles plus générales pour les 2 analyses annuelles) demeurent également pertinentes, tel qu'illustré par le constat suivant:

- 11 des 13 puits échantillonnés ont démontré des dépassements de normes microbiologiques au-delà de la période de 7 jours suivant les inondations et fortes pluies; seul un test de qualité d'eau en laboratoire peut renseigner les propriétaires sur la contamination de leur puits.

Il demeure néanmoins que de procéder à deux analyses annuellement, en plus des procédures et analyses spécifiques aux cas d'inondation (qui peuvent survenir plus d'une fois par an dans certains secteurs), implique une logistique assez lourde et donc, il n'est pas réaliste d'espérer que ces recommandations soient mises en œuvre de façon rigoureuse par les propriétaires de puits. Conséquemment, dans le cas des puits ayant présenté certains épisodes de contamination liés aux inondations ou non, et que ceux-ci reviennent malgré la désinfection du puits, nous sommes d'avis qu'il serait plus simple d'installer un système de traitement microbiologique (ex : lampe ultraviolette, ozonation) et de l'entretenir correctement, ce qui assurerait de façon durable l'absence de microorganismes pathogènes et réduirait la fréquence des analyses requises.

Le deuxième constat encourageant est que les taux de *E. coli* dans l'eau des puits, lorsque détectés et donc dépassant la norme de 0 UFC/100 mL, n'étaient tout de même pas extrêmement élevés, avec >97% des échantillons présentant des taux <10 UFC/100 mL, et une teneur maximale observée à 32 UFC/100 mL. Toutefois, encore ici, les recommandations concernant la désinfection et l'analyse demeurent importantes, tel qu'illustré par les constats suivants :

- La rivière des Hurons est peu contaminée en général, dû à la nature largement forestière de la partie amont de son bassin; des puits riverains d'une rivière davantage polluée pourraient présenter des teneurs en contaminants beaucoup plus élevées lors des inondations. Par exemple, une étude à Madagascar, où le bassin-versant était fortement anthropisé, a démontré des teneurs en *E. coli* jusqu'à 968 UFC/100 mL dans les puits et 5600 UFC/100 mL dans les rivières (Rajoelina, 2026). Dans de tels cas, la désinfection des puits (pour contrer les microorganismes) et l'analyse des contaminants chimiques potentiels serait alors cruciale.
- Les teneurs en coliformes totaux étaient élevées dans plusieurs puits. Bien que la plupart de ces bactéries soient inoffensives, leur présence révèle indéniablement une vulnérabilité du puits à l'intrusion d'eau de surface et donc, un risque important de contamination lors des futurs épisodes de fortes pluies ou de fonte des neiges.

Finalement, bien que les recommandations pour les zones inondées soient adéquates, les résultats de ce projet ont clairement démontré que les puits situés en zone non inondée, tout autant que les puits en zone inondée, avaient subi des épisodes de contamination après les fortes pluies de mai et juillet 2023. Les teneurs en *E. coli* et coliformes totaux étaient même plus élevées dans les puits situés en zone non inondée que dans ceux situés en zone inondée (Fig. 5, Fig. 6). Les recommandations pour assurer la qualité de l'eau des puits en période d'inondation, qui s'adressent présentement aux propriétés touchées directement par l'inondation, pourraient donc être étendue à tous les puits privés en période de très fortes précipitations. Toutefois, il importe d'abord de mieux comprendre les caractéristiques de ces événements météo particuliers, afin de pouvoir déterminer dans quelles conditions les puits ont une probabilité importante d'être contaminés. Ces informations ne sont pas disponibles présentement, mais font notamment l'objet d'un nouveau projet de recherche financé par le RIISQ sur la période 2026-2029 et intitulé « Impacts systémiques des inondations et autres aléas climatiques sur l'approvisionnement en eau potable par des puits privés » (<https://riisq.ca/fr/bourses-et-projets-finances-2/>). Il va sans dire que l'élargissement de ces recommandations serait un coup d'épée dans l'eau si on ne s'attaque pas, en parallèle, à réduire les barrières à l'adoption de comportements sécuritaires par les propriétaires de puits, notamment à travers la mise en place de mesures collectives de prise en charge des échantillonnages, analyses, interprétation des résultats et conseils spécifiques et impartiaux pour remédier aux problèmes de contamination.

5. Conclusion et recommandations

Ce projet met en lumière la vulnérabilité des puits individuels face aux risques de contamination, en particulier dans un contexte d'intensification des événements climatiques extrêmes, tout en révélant la complexité des dynamiques sociales, institutionnelles et comportementales qui influencent la gestion de l'eau potable privée. L'approche interdisciplinaire adoptée, combinant sciences naturelles et sciences sociales, constitue l'une des forces majeures de la recherche, puisqu'elle permet d'articuler les réalités hydrogéologiques aux pratiques et perceptions des usagers.

Du point de vue de l'hydrogéologie et de la géochimie, les résultats confirment que les puits individuels sont exposés à des risques réels de contamination microbiologique, notamment en période d'inondation, lorsque les eaux de surface peuvent s'infiltrer directement ou indirectement dans les captages et altérer la qualité de l'eau souterraine. Les analyses ont démontré que, même si tous les puits ne présentent pas une contamination systématique, la variabilité spatiale et temporelle de la qualité de l'eau est significative. Cette variabilité souligne l'importance d'un dépistage régulier, particulièrement après des épisodes hydrométéorologiques extrêmes. Ces constats s'inscrivent dans un contexte plus large d'adaptation aux changements climatiques, où l'augmentation anticipée de la fréquence et de l'intensité des inondations pourrait exacerber les risques pour les populations dépendantes de l'eau souterraine.

Cependant, les résultats du volet sciences sociales démontrent que la présence d'un risque objectif ne se traduit pas automatiquement par l'adoption de comportements préventifs. Bien que la majorité des propriétaires reconnaissent leur responsabilité individuelle et expriment une confiance relative envers la qualité de leur eau,

les pratiques de dépistage demeurent rares et généralement motivées par des événements ponctuels plutôt que par une démarche systématique. La perception d'absence de problème constitue un frein important à l'action, tout comme la logistique et le coût associés aux tests de qualité d'eau. De plus, une certaine réticence à l'égard d'une prise en charge municipale accrue, associée à des préoccupations fiscales et à un manque de confiance institutionnelle, limite les possibilités d'intervention réglementaire.

La recherche révèle également une fragmentation des responsabilités institutionnelles. Les municipalités disposent de données pertinentes sur les puits, mais leurs ressources sont limitées et leur mandat demeure circonscrit. Les MRC adoptent une perspective régionale, tandis que les OBV possèdent une expertise en gestion intégrée de l'eau sans toutefois avoir de mandat formel concernant les puits privés. Cette configuration crée un vide relatif en matière de coordination.

À la lumière de ces constats, plusieurs recommandations émergent :

1. **Renforcer les mécanismes de transfert d'information** - En l'absence d'exigences réglementaires appliquées aux puits privés, la communication stratégique devient le principal levier d'action. Celle-ci devrait s'appuyer sur une approche multicanale et récurrente, combinant médias locaux, communications municipales, rappels annuels et outils numériques. Les messages, préférablement élaborés par des experts scientifiques avec la collaboration de professionnels en communication, devraient mettre l'accent sur les risques pour la santé, tout en déconstruisant certaines idées reçues, notamment l'association entre apparence claire de l'eau et potabilité.
2. **Aborder de façon distincte les stratégies de prévention en conditions normales et celles déployées en contexte d'inondation** - En période post-crue, des protocoles spécifiques de communication et de dépistage devraient être activés rapidement afin d'encourager les analyses d'eau et de réduire l'exposition aux contaminants. Le soutien logistique (distribution de trousseaux, points de dépôt locaux, réduction des coûts en échange d'un partage des résultats) constitue un incitatif concret au passage à l'action.
3. **Intégrer explicitement l'accès à l'eau potable pour les ménages non desservis par les services d'aqueduc, dans les OGAT et la gestion intégrée de l'eau** – Présentement, l'objectif 2.3 des OGAT mentionne explicitement la protection des sources d'eau potable pour les réseaux de distribution desservant plus de 20 personnes, mais ne prévoit pas de mesures concrètes pour l'approvisionnement individuel, mis à part le fait de pouvoir demander un plan d'encadrement pour les nouveaux lotissements afin de valider que la ressource en eau sera suffisante pour les développements prévus. Or, une partie importante du territoire, surtout en milieu rural dont le cadre est déjà bâti, n'a aucun accès aux réseaux de distribution d'eau. Une reconnaissance formelle de l'importance d'un accès à l'eau potable pour tous les citoyens viendrait appuyer l'idée du caractère collectif de certaines problématiques liées aux eaux souterraines (ex : pénurie d'eau dans les puits d'un secteur due à l'abaissement de la nappe phréatique), faciliter la collecte de données pour documenter ces problématiques, et favoriser la mobilisation des instances pour trouver des solutions.
4. **Mandater les tables de concertation régionales coordonnées par les OBV (qui réunissent déjà divers acteurs du milieu) pour développer des solutions locales afin de soutenir les propriétaires de puits privés** – Ce soutien pourrait être de plus grande envergure dans les cas où une problématique revêt un caractère collectif (ex : lorsque la qualité de l'eau des puits d'un secteur est compromise par un contaminant dont la source est hors de portée des actions individuelles des propriétaires de puits, comme par exemple la contamination d'un secteur par les sels de voirie), mais également être offert sous forme de service conseil ou d'aide temporaire lorsque la problématique est individuelle (ex : contamination locale, puits à sec pendant quelques semaines). L'intégration des enjeux liés aux puits privés dans le mandat des tables de concertation régionales permettrait de : 1) clarifier les rôles de chaque organisme et mutualiser les ressources; et 2) soutenir la mobilisation des acteurs locaux tout en réduisant la charge qui pèse actuellement de façon individuelle sur les propriétaires de puits. Il serait également pertinent que les tables de concertation puissent avoir accès à un réseau d'experts pour les orienter dans la gestion de leurs problématiques liées aux eaux souterraines, notamment à travers le développement et la pérennisation d'initiatives telles que le projet « Mon eau, mon puits, ma santé » (<https://moneaumontpuits.ca/>).

5. **Mettre en place une instance neutre pour soutenir l'interprétation des résultats d'analyses et orienter le choix de systèmes de traitement adaptés aux problématiques** – Cette instance, dénuée d'intérêts commerciaux, pourrait être centralisée et desservir toute la province, ou encore il pourrait s'agir de ressources disponibles pour les différents OBV. Elle permettrait de soutenir les ménages individuels ainsi que les organismes impliqués dans la gestion de l'eau dans l'interprétation des résultats d'analyses de laboratoire (les documents transmis étant souvent difficile à déchiffrer pour les propriétaires), et dans le choix des technologies de traitement adaptées à la problématique de chaque puits. La mise en place d'un système de traitement serait à privilégier pour les puits ayant vécu des épisodes de contamination récurrents; cette approche serait potentiellement moins lourde pour les propriétaires qu'une approche simplement préventive impliquant plusieurs échantillonnages et analyses par année. Elle pourrait être accompagnée de subventions pour l'installation de systèmes de traitement de l'eau. A noter, le projet « Mon eau, mon puits, ma santé » (<https://moneaumonpuits.ca/>) a déjà fait d'important travaux en vue de soutenir les instances régionales en lien avec la qualité de l'eau des puits privé. Ce genre d'initiative doit être pérennisé et déployé à plus grande échelle.
6. **Créer une base de données provinciale et disponible publiquement sur la qualité des eaux souterraines incluant les puits privés** – Cette base de données, conçue de manière à préserver un niveau acceptable d'anonymat dont les modalités seraient à définir, permettrait de renforcer les capacités de suivi et d'adaptation, de cibler rapidement les problématiques vécues par plusieurs propriétaires d'un même secteur et d'en reconnaître le caractère collectif, et faciliterait énormément le travail des professionnels mandatés pour trouver des solutions à ces problématiques. Cette base de données pourrait être intégrée à l'Atlas de l'eau (Gouvernement du Québec, s.d.); l'inclusion des résultats analytiques des puits individuels pourrait se faire de façon volontaire, en échange d'une réduction du coût d'analyse assumée par l'un des paliers gouvernementaux.

En conclusion, cette recherche démontre que la protection des puits individuels ne relève ni exclusivement de la technique ni uniquement de la responsabilité individuelle. Elle exige une articulation étroite entre connaissances hydrogéologiques, compréhension des comportements sociaux et coordination institutionnelle. Face aux défis croissants posés par les changements climatiques, une approche intégrée, préventive et collaborative apparaît indispensable pour renforcer la résilience des communautés dépendantes de l'eau souterraine.

Références

- Abi A, Walter J, Chesnaux R, Saeidi A (2023) Groundwater level monitoring using exploited domestic wells: outlier removal and imputation of missing values. *Hydrogeology Journal* 32(3):723-737.
- Agiro (2021) *Suivi des rivières du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles – Campagne 2019*, Agiro, Québec, 126 pages.
- Andrade L, O'Dwyer J, O'Neill E, Hynds P (2018) Surface water flooding, groundwater contamination, and enteric disease in developed countries: A scoping review of connections and consequences. *Environmental Pollution* 236:540-549.
- APEL (2014) *Calcul de la charge en phosphore transportée par la rivière des Hurons, Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 84 p.*
- APHA A, WEF (2023) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24th ed.), Method 5310 B: High-Temperature Combustion Method*. American Public Health Association.
- Appelo CAJ, Postma DJ (2004) *Geochemistry, Groundwater and Pollution (2nd ed.)*. CRC Press. Amsterdam, NL. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>.
- Basahi JM, Masoud MHZ, Rajmohan N (2018) Effect of flash flood on trace metal pollution in the groundwater - Wadi Baysh Basin, western Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences* 147:338-351.
- Ben Arous, Y. (2025). Analyse multi-indicateur de la vulnérabilité des puits privés à la contamination dans un contexte d'inondations. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de maîtrise en sciences de l'eau, Institut national de la recherche scientifique (INRS), 60 p.
- Ben Arous, Y., Bordeleau, G., Wong, C., Paradis, D., Gloaguen, E., Chokmani, K. (2026). Multi-indicator assessment of flood impacts on private well water quality. Submitted to *Science of the Total Environment*, January 2026.
- Beven K, Germann P (2013) Macropores and water flow in soils revisited. *Water Resources Research* 49(6):3071-3092.
- Bordeleau G, Lavoie R. (2025). Inondations et eau potable : risques de contamination pour les puits privés, perception du risque par les riverains et enjeux de gouvernance. Webinaire du Réseau Inondations InterSectoriel du Québec (RIISQ), Webdiffusion en direct le 11 avril 2025; disponible à : <https://www.youtube.com/watch?v=BDXyVDTQkw4>.
- Boser S, Swistock B, Sharpe W (2023) Sanitary Water Well Construction. University Park (PA) : Penn State Extension. En ligne : <https://extension.psu.edu/sanitary-water-well-construction>. Consulté le 1 novembre 2025.
- Bowen GJ (2018) *The Online Isotopes in Precipitation Calculator, version 3.2*. <http://www.waterisotopes.org>. Consulté le 12 juin 2025.
- Clark ID (2015) *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b18347>.
- Clark ID, Fritz P (1997) *Environmental Isotopes in Hydrogeology (1st ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482242911>.
- Drewry KR, Jones CN, Hayes W, Beighley RE, Wang Q, Hochard J, Mize W, Fowlkes J, Goforth C, Pieper KJ (2024) Using Inundation Extents to Predict Microbial Contamination in Private Wells after Flooding Events. *Environ Sci Technol* 58(12):5220-5228.
- Eccles KM, Checkley S, Sjogren D, Barkema HW, Bertazzon S (2017) Lessons learned from the 2013 Calgary flood: Assessing risk of drinking water well contamination. *Applied Geography* 80:78-85.
- Environnement Canada (2025a). *Rapport de données horaires-Québec- Aéroport Jean-Lesage International*. Disponible : https://climat.meteo.gc.ca/climate_data/hourly_data_f.html?%E2%80%A6StationID=26892%E2%80%A6. Consulté le 11 janvier 2025.
- Environnement Canada (2025b). *Normales et moyennes climatiques 1981-2010- Québec-Jean-Lesage International Airport*. Disponible à : https://climate.weather.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_f.html?stnID=5251&autofwd=1. Consulté le 12 janvier 2025.
- Ferris JG, Knowles DB, Brown RH, Stallman RW (1962) *Theory of Aquifer Tests*. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1536-E. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- Freeze RA, Cherry JA (1979) Chemical evolution of natural groundwater. *The Groundwater Project* :237-302.

- Frey SK, Gottschall N, Wilkes G, Grégoire DS, Topp E, Pintar KDM, Sunohara M, Marti R, Lapen DR (2015) Rainfall-induced runoff from exposed streambed sediments: An important source of water pollution. *Journal of Environmental Quality* 44(1):236-247.
- Gaborit E, Pelletier G, Vanrolleghem PA, Ancil F (2010) Simulation du débit de la rivière Saint-Charles, première source d'eau potable de la ville de Québec. *Canadian Journal of Civil Engineering* 37(2):311-321.
- Glassmeyer ST, Furlong ET, Kolpin DW, Cahill JD, Zaugg SD, Werner SL, Meyer MT, Kryak DD (2005) Transport of Chemical and Microbial Compounds from Known Wastewater Discharges: Potential for Use as Indicators of Human Fecal Contamination. *Environmental Science & Technology* 39(14):5157-5169.
- Gonthier GJ (2007) *A Graphical Method for Estimation of Barometric Efficiency from Continuous Data-Concepts and Application to a Site in the Piedmont, Air Force Plant 6, Marietta, Georgia: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007-5111, 29 p* <http://pubs.usgs.gov/sir/2007/5111/>.
- Gouvernement du Québec. (2001). Règlement sur la qualité de l'eau potable, RLRQ, c. Q-2, r. 40. Publications du Québec. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca>. Consulté le 4 mars 2026.
- Gouvernement du Québec (2002) *Règlement sur le captage des eaux souterraines (RLRQ c. Q-2, r. 6). LégisQuébec.* <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/rc/Q-2,%20R.%206.pdf>. Consulté le 21 mai 2025.
- Gouvernement du Québec (2025) *En cas d'inondation, 40 p. Disponible : https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/urgence-sinistres/en_cas_inondation_2022_VF_2022_03_01.pdf.* Consulté le 08 novembre 2025.
- Gouvernement du Québec. (s.d.). Atlas de l'eau du Québec. Consulté le 30 mars 2026, à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/atlas/>.
- Gowrisankar G, Chelliah R, Ramakrishnan SR, Elumalai V, Dhanamadhavan S, Brindha K, Antony U, Elango L (2017) Chemical, microbial and antibiotic susceptibility analyses of groundwater after a major flood event in Chennai. *Sci Data* 4:170135.
- Guilbault J-P (2023) Pluies torrentielles: des inondations forcent des évacuations dans certains secteurs dans la région de Québec. *Le journal de Québec. Disponible : https://www.journaldequebec.com/2023/12/18/des-inondations-forcent-levacuation-de-certains-secteurs-dans-la-region-de-quebec.* Consulté le 6 mars 2026.
- IAEA (2025) *International Atomic Energy Agency. WISER - Water Isotope System for Data Analysis, Visualization & Electronic Retrieval (Explore).* <https://nucleus.iaea.org/wiser/explore/>. Consulté le 23 septembre 2025.
- IDEXX (2024) *Quanti-Tray system for quantification of bacterial counts.* <https://www.idexx.com/en/water/water-products-services/quant-tray-system/>. Consulté le 14 février 2025.
- Imbert, G. (2010). L'entretien semi-directif : à la frontière de la santé publique et de l'anthropologie. *Recherche en soins infirmiers*, 102(3), 23-34. <https://doi.org/10.3917/rsi.102.0023>.
- Imgrund KOL. (2009). Private water well stewardship in rural southern ontario (Publication Number 978-0-494-56735-7) University of Guelph].
- Jarvis NJ (2007) A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science* 58(3):523-546.
- Kreutzwiser R, de Loë R, Imgrund K., Conboy MJ, Simpson H, Plummer R. (2011). Understanding stewardship behaviour: Factors facilitating and constraining private water well stewardship. *Journal of Environmental Management*, 92 (4), 1104-1114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.017>.
- Labelle L, Baudron P, Barbecot F, Bichai F, Masse-Dufresne J (2023) Identification of riverbank filtration sites at watershed scale: A geochemical and isotopic framework. *Sci Total Environ* 864:160964.
- Lai H, Hales S, Woodward A, Walker C, Marks E, Pillai A, Chen RX, Morton SM (2020) Effects of heavy rainfall on waterborne disease hospitalizations among young children in wet and dry areas of New Zealand. *Environ Int* 145:106136.
- Lee D, Murphy HM (2020) Private Wells and Rural Health: Groundwater Contaminants of Emerging Concern. *Current Environmental Health Reports* 7(2):129-139.
- MAMH (2024). Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation, Orientations gouvernementales en aménagement du territoire; document pour les MRC des groupes A, B et C. 151 p. Disponible à : https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/orientations_gouvernementales/BRO_ogat_groupesABC.pdf. Consulté le 6 mars 2026.
- Mann J (2012) Calculating-Barometric-Efficiency-in-a-Confined-Aquifer. In-Situ Technical Support Specialist Technical Note. Disponible: <https://in-situ.com/es/pub/media/support/documents/Calculating-Barometric-Efficiency-in-a->

[Confined-Aquifer.pdf?srsId=AfmBOopS-QqbErJuQ9IANPrGg71zeySdQAnoPMKsCbjC6oSw_ab0YV_O](#).
Consulté le 6 mars 2026.

- Mann HB, Whitney DR. (1947). "On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other". *Annals of Mathematical Statistics*. 18 (1): 50–60. doi:10.1214/aoms/1177730491.
- Martin AR, Coombes PJ, Harrison TL, Dunstan RH (2010) Changes in abundance of heterotrophic and coliform bacteria resident in stored water bodies in relation to incoming bacterial loads following rain events. *Journal of Environmental Monitoring* 12(1):255-260.
- Masse-Dufresne J, Baudron P, Barbecot F, Pasquier P, Barbeau B (2021) Optimizing short time-step monitoring and management strategies using environmental tracers at flood-affected bank filtration sites. *Sci Total Environ* 750:141429.
- MELCC (2014) *Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Règlement sur la qualité de l'eau potable*. Disponible : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/parties-1-2-3.htm>. Consulté le 1 novembre 2025.
- MELCC (2015) Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques. Guide technique - Prélèvement d'eau soumis à l'autorisation municipale. Québec : Gouvernement du Québec. Disponible : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/guide.pdf>. Consulté le 1 novembre 2025.
- MELCC (2019) *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques. Crue printanière 2019 : un apport en eau record en 57 ans au sud-ouest du Québec*. Disponible : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2019/crue-printaniere.htm>
- MELCC (2020) *Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Bilan de mise en œuvre du Règlement sur la qualité de l'eau potable 2013-2018*. Disponible : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/bilans/bilan-2013-2018.pdf>
- MELCCFP [En ligne]. *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs* La qualité de l'eau de mon puits. Disponible : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/depliant/index.htm>. Consulté le 6 mars 2026.
- MELCCFP (2023) *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Mai 2023 : entre inondations et sécheresse*. Disponible : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2023/mai.htm>
- MELCCFP (2024) *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Guide d'interprétation du Règlement sur la qualité de l'eau potable (version juin 2024)* Disponible : https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/reglement/guide_interpretation_RQEP.pdf.
- MELCCFP (2025a) *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Système d'information hydrogéologique (SIH)*. Disponible: <https://www.sih.environnement.gouv.qc.ca/index.html>. Consulté le 12 janvier 2025.
- MELCCFP (2025b) *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Expertise hydrique et barrages. Suivi hydrologique de différentes stations hydrométriques- Station : 050916 Des Hurons - au pont de la rue Crawford à Stoneham*. Disponible: <https://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?NoStation=050916>. Consulté le 11 janvier 2025.
- MELCCFP (2025c) *Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. La qualité de l'eau et les usages récréatifs*. Disponible : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/recreative/qualite.htm#conta-micro>. Consulté le 12 avril 2025.
- Meyzonnat G, Barbecot F, Corcho Alvarado J, Pinti DL, Lauzon J-M, McCormack R (2021) Depth–Sequential Investigation of Major Ions, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in Fractured Aquifers of the St. Lawrence Lowlands (Quebec, Canada) Using Passive Samplers. *Water* 13(13).
- MRNF (2011) *Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Inventaire des ressources en granulats de la région de la Réserve faunique des Laurentides. Rapport géoscientifique RG 2011-04*. Québec : Géologie Québec. Disponible : https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageNotice.aspx?idn=71825.
- MRNF (2016) Ministère des Ressources naturelles et des Forêts. Lidar – Modèles numériques (terrain, canopée, pente, courbe de niveau), [jeu de données], dans Données Québec, 2016, mis à jour le 17 juillet 2025.
- MSP (2023) *Ministère de la Sécurité publique. Vigilance - Surveillance de la crue des eaux : Station 420*. Gouvernement du Québec. <https://vigilance.geo.msp.gouv.qc.ca/stations/420>.

- Munene, A. e. H., David C. (2019). Factors influencing perceptions of private water quality in North America: a systematic review. *Systematic Reviews*, 8(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s13643-019-1013-9>.
- Musacchio A, Andrade L, O'Neill E, Re V, O'Dwyer J, Hynds PD. (2021). Planning for the health impacts of climate change: Flooding, private groundwater contamination and waterborne infection - A cross-sectional study of risk perception, experience and behaviours in the Republic of Ireland. *Environmental Research*, 194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110707>.
- Occhietti S (2007) The Saint-Narcisse morainic complex and early Younger Dryas events on the southeastern margin of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire* 61(2-3):89-117.
- Petculescu I, Hynds P, Brown RS, McDermott K, Majury A (2025) An investigation of microbial groundwater contamination seasonality and extreme weather event interruptions using “big data”, time-series analyses, and unsupervised machine learning. *Environmental Pollution* 368:125790.
- Picard A (2025) *Residence time distribution of groundwater sustaining rivers as a new tool for catchments vulnerability assessments (Saint-Charles River, Québec, Canada)*. Thèse (Université du Québec à Montréal. Doctorat en sciences de la Terre et de l'atmosphère., Montréal, Québec, Canada). <http://archipel.uqam.ca/id/eprint/19106>.
- Pouliot F (2024) Eaux usées domestiques à Stoneham : un règlement loin d'enchanter les résidents. *Radio Canada*, 21 juillet 2024. Disponible : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2090048/fosses-septiques-stoneham-raccordement>. Consulté le 6 mars 2026.
- Rajoelina, V. (2026). Qualité de l'eau dans le bassin-versant de l'Ikopa, Madagascar, en contexte d'inondations : une étude des principaux contaminants, de leur origine et des facteurs influençant la vulnérabilité et la résilience des puits d'approvisionnement en eau potable. Thèse de doctorat, Institut national de la recherche scientifique, 243 p.
- Rémillard D (2020) Un Noël historique dans la région de Québec, des évacuations par centaines. *ICI Radio-Canada*, 21 décembre 2020. Disponible : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1759518/inondations-noel-quebec-2020-pluie-records-capitale-nationale>. Consulté le 6 mars 2026.
- Roberge S (2024) «La rivière des Hurons déborde»: des résidents évacués à Stoneham en raison d'inondations. *TVA Nouvelles*, 30 décembre 2024. Disponible: <https://www.tvanouvelles.ca/2024/12/30/la-riviere-des-hurons-deborde-des-residents-evacues-a-stoneham-en-raison-dinondations>. Consulté le 6 mars 2026.
- Roche SM, Jones-Bitton A, Majowicz SE, Pintar KDM, Allison D (2013) Investigating public perceptions and knowledge translation priorities to improve water safety for residents with private water supplies: a cross-sectional study in Newfoundland and Labrador. *BMC Public Health* 13(1):1225.
- Saldana, J. (2016). *The Coding Manual for Qualitative Researchers* (3 ed.). Sage Publications Ltd.
- Santé Canada (2024) *L'eau de puits et santé : Salubrité de l'eau de votre puits pendant et après les urgences*. Ottawa : Gouvernement du Canada. En ligne : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/environnement/eau-potable/puits/salubrite-pendant-apres-urgences.html>. Consulté le 1 novembre 2025.
- Sophocleous M (2002) Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal* 10(2):348-348.
- Spane FA, Jr. (1999) Effects of Barometric Fluctuations on Well Water-Level Measurements and Aquifer Test Data. *Ground Water*, 37(3), 407–414.
- Stokdyk J, Firnstahl A, Bradbury K, Muldoon M, Kieke B, Borchardt MA (2025) Sources and risk factors for nitrate, pathogens, and fecal contamination of private wells in rural southwestern Wisconsin, USA. *Water Research* 275:123202.
- Talbot Poulin MC, Comeau G, Tremblay, Y., Therrien R, Nadeau, M.M., Lemieux JM, Molson, J., Fortier R, Therrien, P., Lamarche L, Donati-Daoust F, Bérubé S (2013) *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec, Rapport final*. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval. 172 p.
- Troudi N, Hamzaoui-Azaza F, Tzoraki O, Melki F, Zammouri M (2020) Assessment of groundwater quality for drinking purpose with special emphasis on salinity and nitrate contamination in the shallow aquifer of Guenniche (Northern Tunisia). *Environ Monit Assess* 192(10):641.
- Wallender EK, Ailes EC, Yoder JS, Roberts VA, Brunkard JM (2014) Contributing Factors to Disease Outbreaks Associated with Untreated Groundwater. *Groundwater* 52(6):886-897.
- Wilcoxon F (1945). "Individual comparisons by ranking methods". *Biometrics Bulletin*. 1 (6): 80–83. doi:10.2307/3001968. hdl:10338.dmlcz/135688. JSTOR 3001968.

Liste des figures

Figure 1. Infiltration latérale d'eau de surface dans l'aquifère en période de crue ou de fort pompage des puits résidentiels	4
Figure 2. Localisation de la zone d'étude au sein du Canada (A), du bassin-versant de la rivière des Hurons (B) et de la zone d'étude (C), incluant les puits échantillonnés (STO-X), la station hydrométrique 050916, et les points d'échantillonnage d'eaux de surface (HUR-X).	12
Figure 3. Polygones des zones inondables (en rouge) en fonction du débit de la rivière observé lors des inondations de: A) Mai 2023, B) Juillet 2023, C) Décembre 2023, et D) Avril 2024. Les données utilisées pour la cartographie des polygones proviennent Geosapiens (Geosapiens.com). Figure tirée de ben Arous (2025).	18
Figure 4. Concentrations de <i>E. coli</i> dans les eaux de surface de la rivière des Hurons (sites HUR1 et HUR2) et du fossé de drainage (site HUR3), en fonction du nombre de jours écoulés depuis la dernière inondation.....	20
Figure 5. Concentrations de coliformes totaux dans les eaux souterraines des puits (situés en plaine inondable ou non), en fonction du nombre de jours écoulés depuis la dernière inondation. Sur les boîtes à moustaches, la ligne centrale représente la médiane, les extrémités de la boîte indiquent le 1 ^{er} et 3 ^e quartile, les moustaches indiquent les valeurs minimale et maximale non aberrantes (jusqu'à 1,5 × l'écart interquartile), alors que les points individuels représentent les données considérées comme anormales.....	20
Figure 6. Concentrations de <i>E. coli</i> dans les eaux souterraines des puits (situés en plaine inondable ou non), en fonction du nombre de jours écoulés depuis la dernière inondation. Sur les boîtes à moustaches, la ligne centrale représente la médiane, les extrémités de la boîte indiquent le 1 ^{er} et 3 ^e quartile, les moustaches indiquent l'étendue des valeurs non aberrantes (jusqu'à 1,5 × l'écart interquartile), alors que les points individuels représentent les données considérées comme anormales.	21

Liste des abréviations, sigles et acronymes

ABRÉV.	Abréviation
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
CID	Carbone inorganique dissous
GNIP	<i>Global Network of Isotopes in Precipitation</i> (Réseau global des isotopes dans les précipitations), de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> (Agence internationale de l'énergie atomique)
LMWL	<i>Local Meteoric Water Line</i> (droite météoritique locale)
MAMH	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MRC	Municipalité Régionale de Comté
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
INRS	Institut national de la recherche scientifique
OBV	Organisme de Bassin versant
OGAT	Orientations gouvernementales en aménagement du territoire
OIPC	<i>Online Isotopes in Precipitation</i> (Isotopes dans les précipitations, outil en ligne)
pCO₂	Pression partielle du CO ₂



Ouranos

Consortium sur les changements climatiques

550, rue Sherbrooke O, Tour Ouest, 19^e étage
Montréal (Québec) H3A 1B9

ouranos.ca

