



**Valoriser les connaissances issues des expériences  
vécues pour recommander des actions de protection  
des sources d'eau potable : Application du  
raisonnement à base de cas**

**Thèse**

**Jérôme Cerutti**

**Doctorat en aménagement du territoire et développement régional**  
Philosophiæ doctor (Ph. D.)

Québec, Canada

© Jérôme Cerutti, 2023

**Valoriser les connaissances issues des expériences  
vécues pour recommander des actions de protection  
des sources d'eau potable**

**Application du raisonnement à base de cas**

**Thèse**

**Jérôme Cerutti**

Sous la direction de :

Manuel J. Rodriguez, directeur de recherche  
Irène Abi-Zeid, codirectrice de recherche  
Roxane Lavoie, codirectrice de recherche

# Résumé

Depuis des décennies, les pays du monde entier s'affairent à préserver leurs précieuses ressources en eau potable. Ils cherchent à anticiper les risques et à réduire les impacts anthropiques qui pourraient altérer les sources d'approvisionnement. Au Canada, la protection des sources d'eau potable (PSEP) est mise en œuvre au sein de l'approche à barrières multiples, dont elle est l'une des barrières fondamentales. Cette approche permet une gestion multidimensionnelle de l'eau à l'aide d'outils et des pratiques visant à assurer la qualité de l'eau de la source au robinet. Bien que différents cadres existent pour prendre en compte l'eau dans l'aménagement du territoire, la mise en œuvre de la protection des sources peine à se concrétiser. Pourtant, les acteurs de l'eau et de l'aménagement du territoire ont une grande expérience dans la mise en œuvre d'actions. Alors, comment partager ces expériences afin de les soutenir dans l'identification et la mise en œuvre de futures actions de protection des sources ?

Le but de cette thèse est de développer un prototype de système d'aide à la décision à base de connaissances (KB-DSS). Celui-ci a pour objectif de faciliter l'identification d'actions ciblées de PSEP selon les problèmes rencontrés. Pour ce faire, ce prototype a été développé sur la base des connaissances issues des expériences vécues depuis deux décennies au Québec, mettant à contribution des expériences réelles de mise en œuvre d'actions liées à la protection de l'eau. Il est conçu pour être utilisable par tout acteur ayant un intérêt à agir pour protéger les sources d'eau potable à l'échelle locale et régionale, via un transfert de connaissances dans le processus d'élaboration et de mise en œuvre d'actions. En étant un support dans la définition des actions futures, le prototype développé entend encourager les parties prenantes à apprendre les unes des autres.

L'originalité de la thèse repose sur l'adoption combinée de l'approche en science du design/de la conception (DSR), qui a servi de lignes directrices pour adopter une démarche collaborative et transparente. Celle-ci a permis une application réussie du raisonnement à base de cas (CBR) au complexe problème de la PSEP dans un cadre de gestion de l'eau et du territoire. De cette démarche sont nés différents outils méthodologiques, procédures et connaissances permettant de mieux comprendre les problèmes liés à la PSEP, mais également d'illustrer la conception intégrale d'un prototype d'aide à la décision à base de connaissances utilisant le CBR.

Tout d'abord, le cadre conceptuel (chapitre 1) explore et tente de comprendre les liens qui existent entre la nature des problèmes à résoudre pour protéger l'eau, l'environnement décisionnel et la prise de décision. Pour ce faire, le cadre adopte une approche systémique et holistique superposant différentes théories et concepts tels que la gouvernance de l'eau, la gestion de l'eau, la prise de décision, la rationalité et la connaissance. Cette compréhension des défis sous-jacents à la mise en œuvre de la PSEP permettait de mieux comprendre la complexité du problème à résoudre et posait les bases à l'élaboration du prototype de système CBR proposé.

Dans l'optique de mieux comprendre comment les défis soulevés dans le cadre conceptuel se concrétisent en pratique, le second chapitre présente une enquête en ligne documentant la mise en œuvre de la PSEP au Québec. Celle-ci visait à brosser un portrait-diagnostic permettant de mieux comprendre le processus décisionnel, d'identifier qui sont les intervenants et quelles sont les connaissances produites et mobilisées pour la prise de décision sur la PSEP. Les analyses qualitatives et quantitatives des réponses des 208 intervenants retenus ont permis de constater que la mise en œuvre de la PSEP impliquait une grande diversité d'intervenants, de tâches et de connaissances créées et se caractérisait par un fort dynamisme inter-organisationnel. Cependant, on constatait que son processus décisionnel perdait en inclusivité au fil des étapes de mise en œuvre, que les connaissances étaient parfois redondantes et qu'il existait de nombreux enjeux de transfert de connaissances (accès, quantité ou qualité des connaissances) entre les intervenants.

Lors de l'enquête en ligne présentée au second chapitre, il a été demandé à certains acteurs (organismes de bassins versants, villes, municipalités régionales de comté) d'illustrer les problèmes liés à la PSEP rencontrés sur le terrain. En parallèle, 102 intervenants se sont auto-recrutés pour participer au processus de design du système d'aide à la décision. Le troisième chapitre présente la démarche d'acquisition et de structuration des connaissances dudit KB-DSS par une approche CBR. Le chapitre décrit une seconde enquête en ligne ayant permis de définir ce qu'est un cas pour la PSEP, soit une expérience vécue qui consiste en une multitude de problèmes et de solutions mises en œuvre. Puis, il décrit la modélisation d'une taxonomie des connaissances ayant permis d'aboutir à des descriptions structurées des cas. La conception des cas repose sur le savoir-faire et les besoins en connaissances exprimés par les acteurs de l'eau. La base de cas constitue l'épine dorsale du prototype de KB-DSS destiné à guider les décideurs dans l'élaboration de solutions fondées sur des expériences passées.

Le quatrième chapitre présente le prototype de KB-DSS/CBR pour la protection des sources d'eau potable. Il retrace comment le CBR a été modélisé, structuré, implanté, testé et validé en collaboration avec les 102 acteurs de la gestion et de la gouvernance de l'eau au Québec. Il décrit l'intégralité du processus manuel d'ingénierie de cas pour concevoir des attributs qualitatifs sur la base de la taxonomie des connaissances. Il présente l'édition des cas, le processus et les métriques permettant de retrouver des cas, l'implantation et un exemple d'utilisation ainsi que la validation du prototype, réalisée par une procédure participative rigoureuse et transparente avec un petit groupe d'acteurs de l'eau du Québec. Ainsi, il fournit des preuves empiriques du potentiel positif d'une approche CBR pour la PSEP sur le territoire, et retrace une démarche qui peut être généralisée à d'autres contextes géographiques et socio-économiques similaires.

---

**Mots-clés :** Recherche en science du design ; raisonnement à base de cas ; gestion des connaissances ; protection des sources d'eau potable ; gestion de l'eau ; aide à la décision ; aménagement du territoire

# Abstract

Countries worldwide have been working for decades to preserve their precious drinking water resources. They seek to anticipate risks or reduce anthropogenic impacts that could alter the water quality and availability. In Canada, drinking water source protection (DSWP), or source water protection (SWP), is implemented as part of the multi-barrier approach and is one of the fundamental barriers. This approach allows for multidimensional water management using tools and practices to ensure water quality from source to tap. Although various frameworks exist to consider water in spatial planning, the implementation of DWSP is struggling to materialize. However, water and spatial planning actors have significant experience implementing actions. So, how can these experiences be shared to support them in identifying and implementing future DWSP actions?

The goal of this thesis is to develop a prototype of a knowledge-based decision support system (KB-DSS). The objective of this prototype is to facilitate the identification of targeted actions for water protection according to the problems encountered. To do so, this prototype was developed based on knowledge gained from past experiences conducted over the last two decades in Quebec, using real experiences in implementing actions related to water protection. It is designed to be used by any actor with an interest in contributing for the protection of drinking water sources at the local and regional levels, through the transfer of knowledge in the process of developing and implementing actions. By being a support in the definition of future actions, the developed prototype intends to encourage the actors to learn from each other.

The originality of the thesis lies in the combined adoption of the design science approach (DSR), which served as a guideline to adopt a collaborative and transparent approach. This allowed for a successful application of case-based reasoning (CBR) to the complex problem of DWSP in a water and territory management framework. From this approach, various methodological tools, procedures and knowledge were developed to better understand the DWSP problems, but also to illustrate the complete design of a prototype knowledge-based decision support system using CBR.

First, the conceptual framework (chapter 1) explores and attempts to understand the links between the nature of the problems to be solved to protect water, the decision-making environment, and the decision-making process. These issues were explored by adopting a system analysis that allowed for layering concepts such as water governance, water management, decision-making, rationality, and knowledge. This holistic understanding of the underlying challenges of DWSP implementation provided a better understanding of the complexity of the problem at hand and laid the foundation for developing the proposed CBR system.

To better understand how the challenges raised in the conceptual framework materialize in practice, the second chapter presents an online survey documenting the implementation of DWSP in Quebec. This survey aimed to

provide a diagnostic portrait to understand the decision-making process better and identify the actors and the knowledge produced and mobilized for DWSP decision-making. Qualitative and quantitative analyses of the responses from the 208 selected actors revealed that the implementation of DWSP involved a wide variety of actors, tasks and knowledge created and was characterized by great inter-organizational dynamism. However, it was found that the decision-making process becomes less inclusive as actions are implemented. Also, the knowledge was sometimes redundant, and there were many problems with the knowledge transfer (access, quantity, or knowledge quality) between actors.

During the online survey presented in the second chapter, selected actors (watershed organizations, municipalities, counties, etc.) were asked to illustrate DWSP-related problems encountered in the field. In parallel, 102 actors were self-recruited to participate in the design process of the KB-DSS. The third chapter presents the acquisition and structuring of DWSP problem-related knowledge. The chapter describes a second online survey that helped define a DWSP case, i.e., a lived experience consisting of a multitude of problems and solutions implemented at various scales by various actors. It then describes the modelling of a knowledge taxonomy that led to structured case descriptions. The design of the cases is based on the expertise and knowledge needs expressed by the water actors. The case base is the backbone of the KB-DSS prototype to guide decision-makers in developing solutions based on past experiences.

The fourth chapter presents the prototype KB-DSS/CBR system for DWSP. It traces how CBR was modelled, structured, implemented, tested and validated in collaboration with 102 water management and governance actors in Quebec. It describes the entire manual case engineering process for the design of qualitative attributes from the knowledge taxonomy. It presents the case base, the case edition, and the case retrieval (process and metrics). This chapter also illustrates the implementation using a real-world experience use case, as well as the validation of the prototype, carried out through a transparent, participatory procedure with a small group of water actors in Quebec. Thus, it provides empirical evidence of the high potential of a CBR approach for DWSP in the spatial planning context and describes an approach that can be generalized to other similar geographical and socio-economic contexts.

---

**Keywords:** Design science research; case-based reasoning; knowledge management; drinking water source protection; water management; decision support; land-use planning.

# Table des matières

Résumé .....	ii
Abstract.....	iv
Table des matières .....	vi
Liste des figures.....	x
Liste des tableaux.....	xii
Liste des équations.....	xiii
Liste des abréviations.....	xiv
Remerciements.....	xvi
Avant-propos .....	xviii
Foreword.....	xix
Introduction .....	1
Émergence du concept de protection des sources d'eau potable.....	1
Évolution du cadre permettant de concrétiser la protection des sources d'eau potable au Québec.....	3
Défis à la protection des sources d'eau potable.....	4
Démarche d'aide à la décision pour mettre en œuvre la PSEP .....	6
Valoriser les connaissances pour faciliter la décision .....	7
Gérer les connaissances .....	8
Les systèmes d'informations et l'aide à la décision .....	10
Objectifs et questions de recherche .....	12
Méthodologie générale .....	14
Structure de la thèse.....	16
Chapitre 1: Le défi multidimensionnel de la mise en œuvre de la PSEP : une exploration théorique et conceptuelle.....	18
1.a    Résumé .....	18
1.b    Abstract .....	18
1.1    Un territoire fragmenté : le défi juridique au Québec.....	19
1.2    Les individus et la décision : naissance du défi organisationnel .....	21
1.2.1    La connaissance du monde qui nous entoure .....	22
1.2.2    Typologie de la prise de décision .....	24
1.2.3    De la gouvernance à la décision : un environnement enchevêtré et dynamique.....	28
1.2.4    La rationalité, un concept au cœur de l'action .....	31
1.3    De l'environnant au comportement : émergence du <i>Social Mess</i> et du problème très vicieux .....	33

1.3	Conclusion.....	34
1.4	Bibliographie.....	35
Chapitre 2: Mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable : Portrait-diagnostic au Québec, Canada.....		
		43
2.a	Résumé.....	43
2.b	Abstract.....	44
2.1	Introduction.....	44
2.2	La gestion et la protection de l'eau au Canada et au Québec.....	45
2.3	Méthodologie.....	47
2.4	Résultat.....	49
2.4.1	Dimension 1: Le profil.....	50
2.4.1.1	Portrait des intervenants.....	50
2.4.1.2	Implications.....	52
2.4.1.3	Implication dans le processus de décision.....	55
2.4.2	Dimension 2 : Tâches et connaissances.....	57
2.4.2.1	Le rôle des intervenants.....	57
2.4.2.2	La thématique des connaissances.....	59
2.4.2.3	La thématique opérationnelle.....	59
2.4.2.4	Les connaissances pour la protection des sources d'eau potable.....	59
2.4.2.5	Les interactions.....	64
2.4.3	Enjeux liés au transfert de connaissances.....	67
2.4.3.1	Rupture dans l'accès aux connaissances.....	67
2.4.3.2	Délais et frais d'accès aux connaissances.....	68
2.4.3.3	Freins à l'appropriation des connaissances.....	68
2.4.3.4	Manque de contexte ou qualité des connaissances.....	69
2.5	Discussion.....	70
2.6	Limites de l'étude.....	72
2.7	Conclusion.....	73
2.8	Remerciements.....	74
2.9	Bibliographie.....	75
Chapitre 3: A case-based reasoning system to recommend solutions for source water protection: knowledge acquisition and modelling.....		
		79
3.a	Résumé.....	79
3.b	Abstract.....	80

3.1	Introduction .....	80
3.2	Background and motivations .....	82
3.2.1	Case modelling in CBR.....	83
3.3	Research method and results: knowledge acquisition and case design .....	84
3.3.1	Problem understanding and knowledge sources identification .....	86
3.3.2	Data collection and pre-processing .....	89
3.3.3	Structuring source water protection issues as a vocabulary.....	90
3.3.3.1	Problems' description.....	90
3.3.3.2	Geographical location of the problem.....	92
3.3.3.3	Case structure validation/knowledge validation .....	94
3.3.3.4	Solutions' description .....	94
3.3.4	Case acquisition .....	94
3.4	Discussion .....	94
3.5	Conclusion.....	95
3.6	Acknowledgement .....	97
3.7	References .....	97
Chapitre 4: A case-based reasoning tool to recommend drinking water source protection actions .....		102
4.a	Résumé .....	102
4.b	Abstract .....	103
4.1	Introduction.....	103
4.2	Research Approach.....	105
4.3	Designing a CBR prototype for drinking water source protection.....	108
4.3.1	Collaborative manual case engineering process .....	108
4.3.2	Case base.....	110
4.3.3	Attributes organization for case description.....	111
4.3.4	Case retrieval.....	113
4.4	An example of a use case .....	114
4.5	Test and validation process with water actors .....	117
4.5.1	Procedure for selecting testers .....	117
4.5.2	Test and validation procedure .....	118
4.5.2.1	The kick-off meeting.....	119
4.5.2.2	Workshop A.....	119
4.5.2.3	Workshop B.....	119

4.5.3	Validation results .....	120
4.5.3.1	Workshop A.....	120
4.5.3.2	Workshop B.....	120
4.6	Discussion and limitations .....	121
4.7	Conclusion and future perspectives .....	122
4.8	Acknowledgments .....	123
4.9	References .....	124
Conclusions générales .....		128
Contribution de la recherche pour la science et la pratique .....		130
Recommandations pour la protection des sources d'eau potable au Québec .....		133
Limites de la recherche .....		134
Perspectives de recherche.....		135
En lien avec la démarche de recherche en science du design .....		135
En lien avec la compréhension de la gestion de l'eau.....		136
En lien avec l'outil CBR développé.....		136
Vers une démocratisation du CBR dans la gestion de l'eau et la planification du territoire ? .....		140
Bibliographie générale .....		142
Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (version SurveyMonkey) .....		165
Annexe B : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (incluant la stratégie d'envoi et les conditions).....		187
Annexe C : Processus de design des cas .....		201
Annexe D : Liste des attributs.....		202
Annexe E : Flow Diagram de Q.SyAPSE .....		206
Annexe F : Pages du questionnaire de requête dans le CBR .....		207
Annexe G : Design des critères de sélection pour les testeurs .....		210
Annexe H : Table des résultats de la validation.....		211
Annexe I : Concept d'intégration Q.SyAPSE/Répert'eau .....		212

# Liste des figures

Figure 1 : Le modèle SECI (adapté de Nonaka & Takeuchi, 1995).....	8
Figure 2 : Pyramide DIKW .....	9
Figure 3 : Méthodologie de la science du design .....	14
Figure 4 : Structure de la thèse sous forme de processus de design.....	17
Figure 1.1 : Un territoire fragmenté.....	19
Figure 1.2 : Aperçu du cadre entourant la protection des sources d’eau potable au Québec.....	20
Figure 1.3 : Résonnance de l’environnant au comportement : émergence du défi organisationnel .....	22
Figure 1.4 : Modèle cognitif ou « rationnel » d’un processus de décision .....	25
Figure 1.5 : Matrice de Stacey (inspiré par S.Bradd et D.Finegood @Drawing Change).....	28
Figure 1.6 : Schématisation de la mécanique décisionnelle .....	31
Figure 2.1 : Répartition géographique des répondants à l’enquête en ligne .....	50
Figure 2.2 : Distribution des répondants classés selon la catégorie et les types d’intervenants .....	52
Figure 2.3 : La dynamique inter-organisationnelle dans la mise en œuvre de la protection des sources d’eau potable au Québec .....	54
Figure 2.4 : Processus décisionnel en huit étapes de mise en œuvre de la protection des sources d’eau potable .....	55
Figure 2.5 : Perception de l’intervention des répondants dans le processus décisionnel actuel (a - en haut), puis de l’intervention souhaitée (b - en bas) .....	56
Figure 2.6 : Cartographie des connaissances du thème ANTHROPIQUE .....	61
Figure 2.7 : Cartographie des connaissances du thème EAU .....	62
Figure 2.8 : Cartographie des connaissances du thème ENVIRONNEMENT .....	63
Figure 2.9 : Interactions entre les intervenants (en considérant leur intensité) .....	65
Figure 2.10 : Interactions entre les intervenants (en considérant leur intensité) .....	66
Figure 3.1: CBR design process for acquiring and structuring knowledge in a complex decision-making context .....	85
Figure 3.2: What knowledge are the stakeholders looking for regarding past SWP experiences and why? .....	87
Figure 3.3: From knowledge needs to reuse past experiences to CBR cases: the case modelling for source water protection .....	89
Figure 3.4: Typology of trigger situations related to source water protection .....	91
Figure 3.5: The lower-level values for “Degradation of natural environments (risk or proven) and water quality problems” .....	91
Figure 3.6: Typology of anthropogenic activities .....	93
Figure 3.7: Waterbody type and its possible values .....	93
Figure 4.1: Design science research cycles .....	106
Figure 4.2: Design Science Research Methodology.....	108
Figure 4.3: Example of manual case engineering using NVivo .....	110
Figure 4.4: Attributes clustering from the land management perspective.....	112
Figure 4.5: Overview of Q.SyAPSE query questionnaire (Page A1) .....	115
Figure 4.6: Q.SyAPSE main output window .....	116
Figure C.A-1 : Répert’eau ©Infernal Media/ROBVQ .....	212
Figure C.A-2 : Ajouter/éditer une bonne pratique ©Infernal Media/ROBVQ.....	213
Figure C.A-3 : Page d’ajout d’une bonne pratique ©Infernal Media/ROBVQ .....	213

Figure C.A-4 : Page d'édition d'une bonne pratique ©Infernal Media/ROBVQ .....	214
Figure C.A-5 : Utiliser Q.SyAPSE dans Répert'eau .....	215

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Objectifs et sous-objectifs .....	13
Tableau 2.1 : Catégorisation des intervenants ayant répondu à l'enquête.....	51
Tableau 2.2 : Types d'intervenants supplémentaires .....	53
Tableau 2.3 : Portrait des tâches réalisées dans le cadre de la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec.....	58
Table 3.1: CBR systems taxonomy from López (2013, p. 4) .....	84
Table 4.1: Selected attributes describing the problem.....	115
Table 4.2: Test and validation procedure .....	118

## Liste des équations

Equation 4.1: Similarity function .....	113
Equation 4.2: Dissimilarity index.....	114

## Liste des abréviations

<b>CBR</b>	Case-based reasoning / <b>RBC</b> : Raisonnement à base de cas / <b>RàPC</b> : Raisonnement à partir de cas
<b>CEE-ONU</b>	Commission économique des Nations Unies pour l'Europe / <b>UNECE</b> : UN Economic Commission for Europe
<b>DSS</b>	Decision support system / <b>SAD</b> : Système d'aide à la décision
<b>EDSS</b>	Environmental decision support system
<b>KB-DSS</b>	Knowledge-based decision support system
<b>GIRE</b>	Gestion intégrée des ressources en eau / <b>IWRM</b> : Integrated water resources management
<b>KBS</b>	Knowledge-based system
<b>KM</b>	Knowledge management / <b>GC</b> : Gestion des connaissances
<b>MRC</b>	Municipalités régionales de comté
<b>NBR</b>	Narrative-Based Reasoning
<b>NetBR</b>	Network-Based Reasoning
<b>OBV</b>	Organisme de bassins versants
<b>ODD</b>	Objectif de développement durable
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la santé / <b>WHO</b> : World Health Organization
<b>ONU</b>	Organisation des Nations unies / <b>UN</b> : United Nations
<b>PEPPSEP</b>	Programme pour l'élaboration des plans de protection des sources d'eau potable
<b>PNE</b>	Politique nationale de l'eau
<b>PSEP</b>	Protection des sources d'eau potable / <b>DWSP</b> : Drinking water source protection / <b>SWP</b> : Source water protection
<b>Q.SyAPSE</b>	Système de recommandation d'Actions pour la Protection des Sources d'Eau Potable au Québec
<b>RBR</b>	Rule-Based Reasoning
<b>REP</b>	Répondant
<b>ROBVQ</b>	Regroupement des organismes de bassins versants
<b>TC</b>	Test Case

---

<b>CMun</b>	Code municipal du Québec (R.L.R.Q. c C-27.1)
<b>LAU</b>	Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (R.L.R.Q. c A-19.1)
<b>LC</b>	Lois constitutionnelles 1867 et 1982
<b>LCPE</b>	Loi canadienne sur la protection de l'environnement (L.C. 1999, ch. 33)
<b>LCM</b>	Loi sur l'exercice de certaines compétences municipales dans certaines agglomérations (R.L.R.Q. c E-20.001)
<b>LEau</b>	Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés (R.L.R.Q. c C-6.2)
<b>LIn</b>	Loi sur les Indiens (L.R.C. 1985, c I-5)
<b>LKat</b>	Loi sur les villages nordiques et l'Administration régionale Kativik (R.L.R.Q. c V-6.1)
<b>LMM</b>	Loi sur la marine marchande du Canada (L.C. 2001, ch. 26)
<b>LNav</b>	Loi sur les eaux navigables canadiennes (L.R.C. 1985, ch. N-22)
<b>LMun</b>	Loi sur les cités et villes (R.L.R.Q. c C-19)

<b>LOTM</b>	Loi sur l'organisation territoriale municipale (R.L.R.Q. c O-9)
<b>LPê</b>	Loi sur les pêches (L.R.C. 1985, ch. F-14)
<b>LQE</b>	Loi sur la qualité de l'environnement (R.L.R.Q. c Q.-2)
<b>RAMHHS</b>	Règlement sur les activités dans des milieux humides, hydriques et sensibles (R.L.R.Q. c Q-2, r 0.1)
<b>REAFIE</b>	Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (R.L.R.Q. c Q-2, r 17.1)
<b>RNeige</b>	Règlement sur la gestion de la neige, des sels de voirie et des abrasifs (R.L.R.Q. c Q-2, r.28.2)
<b>RPEP</b>	Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (R.L.R.Q. c Q-2, r 35.2)
<b>RQEP</b>	Règlement sur la qualité de l'eau potable (R.L.R.Q. c Q-2, r 40)
<b>RVMR</b>	Règlement concernant la valorisation de matières résiduelles (R.L.R.Q. c Q-2, r.49)

# Remerciements

À mes directeurs, Manuel, Roxane et Irène, je vous remercie d'avoir embarqué avec moi dans cette aventure sinueuse au croisement entre plusieurs disciplines. Je vous remercie du soutien pédagogique, émotionnel et financier qui m'ont permis de mener à bien ce projet, mais également de votre confiance en me laissant une grande autonomie dans la conception et la mise en œuvre de cette recherche. Merci de m'avoir aidé à aiguïser mon esprit, et d'avoir permis de me forger de nombreuses compétences techniques et humaines qui me seront utiles pour le reste de ma vie personnelle et professionnelle.

Un merci particulier à Irène de m'avoir offert la chance de t'accompagner dans tes projets d'aide à la décision. Ceux-ci m'ont fait grandir et prendre confiance en mes compétences. Tu as été une rencontre pivot dans ma vie, une inspiration, un mentor, une amie.

Un immense merci à Luc Lamontagne pour ton aide dans la conception du CBR, ta bienveillance et ta pédagogie. Merci d'avoir pris du temps pour m'accompagner dans ce projet, toi que je considère comme mon 4<sup>ème</sup> directeur de recherche. Tu es un incroyable enseignant et l'Université Laval a bien de la chance de t'avoir.

Merci Oscar Nilo Mellado d'avoir codé le prototype pour que je puisse réaliser mes tests. J'ai adoré travailler avec toi et j'espère qu'on aura l'occasion de poursuivre des projets ensemble.

Merci au jury externe de la thèse, Abdelhak Immousaten et Franck Taillandier pour vos commentaires constructifs et les discussions lors de la soutenance. Un merci particulier à Sonja Behmel, pour ton suivi depuis le début du projet de recherche et d'avoir partagé ta riche expérience avec moi. Merci également à François Proulx et Mélanie Deslongchamps pour nos discussions qui m'ont permis de faire avancer la thèse.

Merci à Claudia Larochelle, Willem Fortin et Lyne Béland pour votre bonne humeur et votre support tout au long de mon parcours académique. À Francine Baril, merci d'avoir rendu ma vie plus belle chaque jour quand je venais cogner à ta porte 😊. Merci à Jean Dubé et Geneviève Cloutier pour votre support et votre soutien émotionnel durant ce projet qui a vécu quelques embuches.

Je remercie les nombreux acteurs de l'eau du Québec et du Canada qui ont répondu à mes sondages, courriels et appels à l'aide pour m'aider à réaliser ce projet. Ceux-ci ne peuvent être cités ici, car ils sont protégés par les accords de confidentialité tel que convenu au début de ce projet de recherche. En outre, je remercie le ROBVQ, l'ensemble des organismes de bassins versants du Québec, AGIRO, le RQES, le MELCC et le MAMH d'avoir partagé leurs expériences avec moi et de m'avoir aidé dans la prise de contact avec les acteurs du terrain.

Un immense merci aux organismes qui ont financé ce projet : le Fond de recherche du Québec – Société et Culture (FRQSC), le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) via la

Chaire de recherche industrielle CRSNG en gestion et en surveillance de la qualité de l'eau potable de l'Université Laval (CREPUL); le Centre de recherche en modélisation, information et décision (CERMID); le Programme de formation orientée vers la nouveauté, la collaboration et l'expérience en recherche (FONCER) - Technologies environnementales de décontamination et gestion intégrée des eaux et effluents résiduaux (TEDGIEER). Également, merci au Centr'eau, l'institut Environnement Développement et Société (EDS) et le Centre de recherche en Aménagement et en Développement (CRAD) de l'Université Laval.

Un immense merci à celles et ceux, amis du Québec, de France et d'ailleurs qui m'ont soutenu, qui m'ont aidé dans ma réflexion et qui ont rendu ma vie plus belle durant ce long projet. Un merci particulier à Amandine Baude, Anna Scheili, Ariane Beauféray, Aurore Morbois, Catherine Bilodeau, Catherine Cloutier-Lampron, Catherine Deschenes-Quirion, Chloé Mérieux, Christelle Legay, David Correia, Débora Follador, Emilie Houde-Tremblay, Francis Marleau Donais, Gabriel Deraspe, Gabrielle Anne Reid, Gary Kwok, Guillaume Béliveau Côté, Ianis Delpla, Ismael Cissé, Jacqueline Dias-Correia, Jean-Christophe Champin, Judy Lafrenière, Julia Cyr-Gagnon, Justine Simard, Karl Levasseur, Laura Sari, Laurence Letarte, Laurie Larouche, Lucie Baillon, Ludovick Ouellet-Harvey, Magali Guaresi, Mandy Morelli, Margot Bluteau Robbani, Marie-Christine Mathieu, Marie-Pier Bresse, Mattia Démaz Hébert, Nicolas Delucinge, Olivier Villemaire-Côté, Simon Laporte, Stéphanie Dessieux, Sylvain Perrier et Thibaut Vallat-Sanchez.

Merci à ma famille pour leur soutien. À mon père René et ma mère Philomène, merci de votre confiance et de votre amour. Merci d'avoir rendu cette expérience possible.

# Avant-propos

Cette thèse prend la forme d'une thèse par articles. Elle se compose d'une introduction, d'un chapitre de cadre conceptuel, de trois chapitres tirés d'articles scientifiques qui ont été publiés ou soumis pour publication dans des revues avec comité de lecture, ainsi que d'une conclusion générale. Les chapitres sont présentés dans un ordre chronologique relatif aux étapes d'un processus de recherche en sciences du design. Il faut noter que l'introduction des chapitres issus d'articles scientifiques est généralement répétée, car les chapitres sont destinés à un public différent alors que le contexte du projet reste le même.

Le chapitre 2 intitulé « Mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable : Portrait-diagnostic au Québec, Canada » a été soumis en avril 2020 à la revue « VertigO » et a été publié, en libre accès, en mai 2021.

Le chapitre 3 intitulé « A case-based reasoning system to recommend solutions for source water protection: knowledge acquisition and modelling » a été soumis en mars 2021 à la revue « Knowledge Management Research & Practice » et a été publié en avril 2022.

Le chapitre 4 intitulé « Case-based reasoning to recommend drinking water source protection actions: from prototype design to validation » a été soumis en septembre 2022 à la revue « Journal of Environmental Management ». Il a été accepté pour publication en janvier 2023.

Notez que les numéros des figures, tableaux et annexes ont été modifiés pour suivre l'ordre logique de la thèse et seront différents de ceux des articles. De plus, du matériel supplémentaire non publié a été incorporé dans les annexes A, B et I de cette thèse. En parallèle, un document méthodologique sur la conception d'enquêtes en ligne a été co-écrit avec Amandine Baude — Maitre de conférences en psychologie du développement et de l'éducation à l'Université de Bordeaux — et publié en libre accès dans la collection « Devenir chercheurE » (2019) de la Faculté des sciences sociales de l'Université Laval.

Tous les travaux sont rédigés par le premier auteur de cette thèse, Jérôme Cerutti. Les co-auteurs des articles sont Irène Abi-Zeid et Roxane Lavoie qui ont agi comme codirectrices et Manuel J. Rodriguez qui a agi comme directeur de cette thèse. Luc Lamontagne a accompagné l'auteur de cette thèse dans la conception du CBR et a co-écrit deux chapitres. Le prototype informatique a été développé par Oscar Nilo Mellado.

# Foreword

This thesis is article-based. It consists of an introduction, a conceptual framework chapter, three chapters drawn from scientific articles that have been published or submitted for publication in peer-reviewed journals, and a general conclusion. The chapters are presented in chronological order relative to the stages of a design science research process. It should be noted that chapters from scientific articles usually have a repetitive introduction, as the chapters are intended for a different audience while the context of the project remains the same.

Chapter 2, entitled “Mise en œuvre de la protection des sources d’eau potable : Portrait-diagnostic au Québec, Canada,” was submitted in April 2020 to the journal “VertigO” and was published, in open access, in May 2021.

Chapter 3, entitled “A case-based reasoning system to recommend solutions for source water protection: knowledge acquisition and modelling,” was submitted in March 2021 to the journal “Knowledge Management Research & Practice” and was published in April 2022.

Chapter 4, entitled “Case-based reasoning to recommend drinking water source protection actions: from prototype design to validation,” was submitted in September 2022 to the “Journal of Environmental Management.” It has been accepted for publication in January 2023.

Note that the numbering of sections, figures, tables and appendices has been changed to follow the logical order of the thesis and will be different from that of the articles. In addition, additional unpublished material has been incorporated into Appendices A, B, and I of this thesis. In addition, a methodological document on the design of online surveys was co-authored with Amandine Baude — Associate Professor in Developmental and Educational Psychology at the University of Bordeaux — and published in open access in the collection “Devenir chercheurE” (2019) of the Faculty of Social Sciences of Université Laval.

All documents were written by the first author of this thesis, Jérôme Cerutti. The co-authors of the articles are Irène Abi-Zeid and Roxane Lavoie, who acted as co-supervisors and Manuel J. Rodriguez, who acted as supervisor of this thesis. Luc Lamontagne accompanied the author of this thesis in the design of the CBR and co-wrote two chapters. Oscar Nilo Mellado developed the computer prototype.

# Introduction

L'eau est considérée potable — ou propre à la consommation — lorsqu'elle répond aux normes sanitaires des autorités compétentes de chaque État sur la base des recommandations internationales (OMS, 2022 ; Porta et Last, 2018). Les sources d'eau potable sont des ressources en eau — de surface ou souterraine — qui sont principalement utilisées pour l'approvisionnement actuel ou futur (Baird et coll., 2014).

*Source de vie, mère du monde, purificatrice*, l'eau occupe une place particulière dans l'imaginaire collectif (Blackstock, 2001 ; Linton, 2010 ; McGregor, 2012) jusqu'à constituer le socle du développement de la civilisation humaine (Witzel, 2015). Ainsi, la quasi-totalité de l'humanité vit à moins de 10 km d'une source d'eau (Kummu et coll., 2011). Ressource naturelle la plus extraite au monde (Margat et Van der Gun, 2013), son utilisation est diversifiée. Au Canada, elle était extraite — dans l'ordre décroissant — pour la production d'énergie, la manufacture, les ménages, la production agricole ou encore l'extraction d'autres ressources naturelles (Statistiques Canada, 2017).

Malgré son évidente importance, cette proximité la rend fragile. En effet, d'innombrables pollutions issues des activités anthropiques affectent la qualité de l'eau (Negi et coll., 2021). Par exemple, on s'attend à une augmentation significative du nombre de lacs touchés par la prolifération de cyanobactéries (UN Water, 2018a) du fait de l'apport toujours plus important de nutriments (Michalak et coll., 2013). Cela représente un danger autant pour la biodiversité que pour la santé humaine (Zanchett et Oliveira-Filho, 2013). En outre, l'eau disponible se raréfie à mesure que le territoire s'urbanise (UN Water, 2018b), si bien que le monde a perdu près de 50 % de ses zones humides depuis 1900 (UN Water, 2018a) ce qui entraîne la surexploitation des ressources restantes (Gleeson et coll., 2012). Ensuite, les changements climatiques augmentent le stress sur la qualité et la disponibilité des ressources en eau, générant une pression croissante sur les systèmes d'approvisionnement (Biswas et Tortajada, 2021 ; Watts et coll., 2021).

## Émergence du concept de protection des sources d'eau potable

Du fait de ces multiples pressions sur les ressources en eau, on souligne au fil du temps la nécessité de sécuriser les ressources en eau en appelant à une gestion plus appropriée du territoire (Moltz et coll., 2020 ; US EPA, 2013 ; Vrba et coll., 1991). L'aménagement du territoire<sup>1</sup> s'impose alors comme un outil privilégié pour la préservation des ressources naturelles (Banque Mondiale, 2012). Le rapprochement entre la gestion de l'eau et celle du territoire naît de la convergence de plusieurs dynamiques.

---

<sup>1</sup> La Banque Mondiale (2012) définit l'aménagement du territoire tel que : « Le processus par lequel une société, par le biais de ses institutions, décide où, sur son territoire, différentes activités socio-économiques telles que l'agriculture, le logement, l'industrie, les loisirs et le commerce devraient avoir lieu ».

En 1977, la première conférence mondiale sur l'eau de l'Organisation des Nations Unies s'est tenue à Mar Del Plata en Argentine. Cette conférence — la première du genre — a permis aux praticiens d'échanger leurs connaissances sur les pratiques de gestion de l'eau et de proposer un plan d'action pour cette ressource (Biswas, 1988). De cette conférence naissent les premiers objectifs liés à la sécurité de l'approvisionnement en eau potable (Auconie, 2017). En 1987, le rapport Brundtland introduit le concept de développement durable (World Commission on Environment and Development, 1987). Ce rapport marque un moment décisif, car il critique la faible considération des questions environnementales dans le développement des sociétés du XXe siècle. En parallèle, l'émergence de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) dans les années 1980 offre un processus permettant de mieux intégrer l'eau dans le développement du territoire (Campbell, 2016 ; Ferreyra et coll., 2008 ; Genskow et Born, 2009 ; Moltz et coll., 2020). La protection des sources d'eau potable (PSPE) émerge ensuite pour répondre spécifiquement à l'incertitude croissante sur l'approvisionnement futur en eau potable. Elle se définit comme une approche de gestion de l'eau visant à protéger une source d'eau potable par le biais de politiques d'aménagement du territoire et des activités de gestion du territoire (Al Ibrahim et Patrick, 2017; Ivey et coll., 2006; Patrick, 2009).

Au Canada, l'approvisionnement des populations en eau potable est une responsabilité partagée entre les paliers de gouvernement, du fédéral au municipal (Santé Canada, 2004a). Ceux-ci ont, à la suite de la tragédie de Walkerton (Ontario)<sup>2</sup> au début des années 2000, introduit la PSEP à travers la mise en œuvre de l'approche dite à barrières multiples (voir de Loë et Kreutzwiser, 2005 ; Dunn et coll., 2014 ; Tremblay et Halley, 2009) dont la PSEP est une des composantes fondamentales (Santé Canada, 2004b). L'approche à barrières multiples est un ensemble d'outils et de pratiques qui permettent d'assurer une eau salubre, sûre et fiable entre la source et le robinet du citoyen (CCME, 2004).

Bien qu'initialement axées sur la réduction des risques pour la santé publique, les retombées de la mise en œuvre de la PSEP sont multiples. Dans un récent rapport, Noe et coll. (2021) ont analysé ces retombées dans 821 zones de gestion de l'eau potable au Minnesota, États-Unis. Outre la réduction des coûts de traitement, les auteurs soulignent que les territoires bénéficiant d'une protection des sources d'eau présentent une quantité importante d'habitats fauniques de haute qualité, un écosystème riche et le développement d'un grand nombre d'activités récréatives. À cela, Cassin (2021) ajoute des retombées positives sur les services écosystémiques hydrologiques offerts par l'ensemble des actifs naturels (forêts, lacs, marais, prairies, glaciers, etc.) tels que :

---

<sup>2</sup> Mai-Juin 2000. Municipalité de Walkerton, Ontario, Canada. À la suite de fortes précipitations entraînant des inondations, une série de circonstances malheureuses ont provoqué une épidémie de grande ampleur. Le réseau d'eau potable municipal a été contaminé par les bactéries *E. coli O157:H7* et *Campylobacter spp.* Cette contamination est attribuée aux activités agricoles en amont des prises d'eau potable souterraine. L'épidémie a causé le décès de 6 personnes, 65 ont été hospitalisés et près de 2300 cas de maladie lui sont associés. Une conclusion qui ressort du rapport d'enquête est que les coûts humains et économiques d'une telle catastrophe auraient pu être évités grâce à une meilleure gestion des activités sur le territoire (O'Connor, 2002).

maintien des débits saisonniers, la réduction de l'érosion et la diminution du risque d'intrusion marine, de sécheresses, d'incendies ou encore d'inondations.

## **Évolution du cadre permettant de concrétiser la protection des sources d'eau potable au Québec**

Tandis que la gestion de l'eau est une compétence partagée, la gestion du territoire est principalement une compétence provinciale (Choquette et Létourneau, 2008). Afin de mettre en œuvre la barrière de la PSEP, le Gouvernement du Québec a introduit plusieurs outils légaux et réglementaires depuis le début des années 2000. Les paragraphes qui suivent présentent seulement les outils mis en place depuis 2010.

La *Stratégie de protection et de conservation des sources destinées à l'alimentation en eau potable*, en 2012, présentait les étapes à considérer pour protéger les sources d'eau potable : 1) l'identification des sources d'eau potable, 2) l'acquisition de connaissances sur la vulnérabilité des sources, 3) l'établissement de mesures de protection et de conservation, 4) les mécanismes de mise en œuvre des mesures de protection et de conservation, et 5) les mécanismes de suivi (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012).

En 2014, Québec adoptait le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (RPEP)<sup>3</sup> qui concrétisait les étapes 1 et 2 de la stratégie. Celui-ci modifiait les modalités de prélèvement d'eau et prévoyait la délimitation d'aires de protection. Au sein de ces aires, les municipalités — dont le réseau distribue de l'eau à plus de 500 hab. — devaient effectuer une analyse de la vulnérabilité de leurs sources d'eau potable, afin d'identifier les risques potentiels spécifiques à chaque source (Cyr-Gagnon et Rodriguez, 2021).

Puis, en 2020, Québec adoptait le *Règlement modifiant le RPEP*. Cela permettait de transférer certaines parties du RPEP vers le *Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement* (REAFIE)<sup>4</sup>. Le REAFIE est un des outils permettant aux municipalités d'établir des mesures de protection via des plans de protection des sources d'eau potable.

Enfin, en 2022, Québec présente le *Programme pour l'élaboration des plans de protection des sources d'eau potable* (PEPPSEP). Il s'agit d'un programme d'aide financière permettant de soutenir les municipalités dans l'élaboration des plans de protection. Celui-ci s'accompagne d'un guide pour l'élaboration de ces plans. Il s'agit d'un premier pas pour encourager les municipalités — et plus largement les acteurs de l'eau — à identifier et à

---

<sup>3</sup> Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection, L.Q.E § Q-2, r.35.2 (2014).  
<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/q-2,%20r.%2035.2>

<sup>4</sup> Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement, L.Q.E § Q-2, r.17.1 (2020).  
<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/Q-2,%20r.%2017.1>

mettre en œuvre les mesures adéquates aux risques et aux problèmes mis en évidence à la suite de l'analyse de la vulnérabilité.

## **Défis à la protection des sources d'eau potable**

Malgré l'importance de la protection des sources, les évolutions légales et réglementaires qui favorisent la PSEP, ainsi que la reconnaissance — en 2010 — de l'accès à une eau salubre comme un droit humain (Fantini, 2020 ; Murthy, 2013), de récents rapports de l'ONU indiquent que les sources d'eau potable sont soumises à une pression croissante (Watts et coll., 2021). Cette tendance a incité la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE/CEE-ONU) et le Bureau régional de l'Organisation mondiale de la santé pour l'Europe (OMS/Europe) à souligner que la mise en œuvre de la préservation des sources d'eau reste un défi important (UNECE, 2022).

En effet, la gestion de l'eau est connue pour reposer sur une complexe combinaison de multiples échelles, acteurs et réalités dynamiques créant des déconnexions verticales et horizontales dans la prise de décision (Dietz, 2003; Elsayah et coll., 2015; Gough et Ward, 1996; Gregory, 2012; Hassenforder et Barone, 2019; Pahl-Wostl, 2015; Pahl-Wostl et coll., 2010, 2020). Verticalement, les cadres légaux et réglementaires (nationaux et internationaux) sont dynamiques, ce qui force les décideurs à constamment s'adapter et creuse la déconnexion avec les réalités locales (Wuijts et coll., 2021). Horizontalement, les cadres qui influencent la gestion de l'eau ou du territoire sont depuis longtemps déconnectés, ce qui a un impact significatif sur la capacité des parties prenantes à collaborer (Stoker et coll., 2022). En outre, de cette déconnexion se creusent des écarts ou les parties prenantes impliquées dans les processus décisionnels poursuivent des objectifs divergents (Ascough et coll., 2008; Martínez-Sastre et coll., 2017) en raison de facteurs multidimensionnels qui les influencent, tels que les facteurs économiques, politiques, écologiques, culturels et sociaux (Ekroos et coll., 2017; Kiker et coll., 2005), ce qui entrave la dynamique collaborative, pourtant nécessaire à la prise de décision (D. Simon et Schiemer, 2015).

En parallèle aux défis mentionnés ci-dessus, la nature du problème est un facteur supplémentaire à considérer. Un problème, ou situation préoccupante fait référence à « un inconfort face à une situation concrète quelconque, avec ou sans capacité ou volonté d'intervention pour modifier l'état des choses » (Landry, 2000, p.4). Couleur inhabituelle de l'eau de la rivière, envasement d'un lac, poissons retrouvés morts sur les rives, détection répétée de dépassement des normes sanitaires à l'usine de traitement municipal. Ce sont tous des problèmes — visibles ou invisibles — qui peuvent survenir à n'importe quel moment et n'importe où sur le territoire. La littérature reconnaît largement la nature complexe, voire vicieuse<sup>5</sup>, des problèmes liés à l'eau (DeFries et Nagendra, 2017 ;

---

<sup>5</sup> Traduction communément admise de « wicked problem » en français.

Dronova, 2019). Les problèmes vicieux sont une catégorie de problèmes complexes. Ils ont été introduits dans la théorie de la planification<sup>6</sup> par Rittel et Webber en 1973 (Head, 2019). Les problèmes vicieux sont l'antonyme des « tame problems »<sup>7</sup> (Lönngren & van Poeck, 2021) car il n'existe pas de bonne formule pour les résoudre. Ils constituent un des principaux facteurs de stress dans la prise de décision (Phillips-Wren et Adya, 2020). Ces problèmes sont majoritairement subjectifs (Ritchey, 2013), difficiles à identifier (Termeer et coll., 2019) donc incertains — entendu comme l'incapacité à pleinement comprendre le problème à résoudre (Bérard, 2009 ; Chevallier, 2016 ; Hemberger et coll., 2014 ; Landry, 2000 ; Nason, 2017) — ce qui les rend confus, instables, mal structurés et ambigus (Bentley et Toth, 2020). Dans la littérature, un problème vicieux est défini à travers les caractéristiques suivantes (Pryshlakivsky et Searcy, 2013 ; Quentin Grafton, 2017 ; Rittel & Webber, 1973) :

- il est impossible de réellement savoir quel est le problème (incertitude du problème) ;
- le problème comporte une certaine unicité ;
- le problème est le symptôme d'un ou de multiples autres problèmes ;
- les solutions ne sont pas vraies ou fausses, mais seulement bonnes ou mauvaises (incertitude de résultat) ;
- la façon dont un problème vicieux est décrit détermine les solutions possibles ;
- dès lors, il n'y a pas de limite au nombre de solutions ou d'approches possibles à la résolution d'un problème vicieux ;
- il est impossible de tester la solution avant de l'implanter ;
- il est impossible de chercher à résoudre le problème par essai-erreur, car la solution est irréversible, que chaque mise en œuvre compte, et qu'il serait impossible de mesurer avec certitude les effets d'éventuels essais ;
- il est impossible de réellement savoir si le problème est résolu, car il n'existe aucun repère ou règle logique qui signale sa résolution ;
- les responsables des solutions à ces problèmes n'ont pas le droit à l'erreur, car ils sont imputables des conséquences des solutions qu'ils proposent.

Malgré cette situation, les acteurs de l'eau vont devoir entamer un processus pour tenter de trouver des solutions (les actions) à ces problèmes. Cependant, Landry (1988) distingue trois défis dans la résolution de problèmes complexes. Le premier défi réside dans la prise en compte d'une multitude d'objets et de relations alors que les limites cognitives de l'humain ne lui offrent qu'une vue limitée d'un problème. Le second défi réside dans la volonté de « penser en même temps l'un et le multiple, le complémentaire et l'antagoniste, l'ordre et le désordre, l'organisation et la désorganisation » (Landry, 1988, p. 38) poussant le décideur à considérer un grand nombre de facteurs et leur relation mutuelle. Enfin, le troisième défi aborde le fait que « la logique dont dispose l'observateur n'est pas indépendante de la culture dans laquelle il baigne ». De plus, Langley et coll. (1995, p.

---

<sup>6</sup> Soit l'étude des courants de pensée, des comportements, des outils, des hypothèses et des procédures qui forment le corpus de connaissances sur la planification du territoire (Handler, 1957; Healey, 2015; Huxley et Inch, 2020).

<sup>7</sup> Problèmes qui se résolvent en appliquant la bonne formule.

270) distinguent trois liens qui peuvent exister entre les décisions : « 1) les liens séquentiels, qui concernent le même enjeu à des moments différents ; 2) les liens latéraux, qui impliquent les interrelations entre différents enjeux à considérer simultanément ; 3) les liens précursifs, qui transcendent différents enjeux à différents moments ».

## **Démarche d'aide à la décision pour mettre en œuvre la PSEP**

L'identification d'actions de protection des sources d'eau potable est donc un enjeu complexe, car les municipalités — et plus largement les acteurs de l'eau du Québec — ont une infinité de possibilités pour atténuer ou anticiper les risques anthropiques sur la qualité et la quantité d'eau potable. De plus, la mise en œuvre de ces actions est liée au cadre complexe d'aménagement du territoire et, par conséquent, à un processus de prise de décision qui peut être empreint de complexité et d'incertitudes. Malgré ce contexte complexe, il est possible d'agir pour protéger les sources d'eau potable.

La thèse s'inscrit dans le cadre des sciences de la décision qui visent à faciliter les processus décisionnels en apportant un support aux décideurs (voir Eisenführ et coll., 2010). Inspiré de Klein (2008), on pourrait définir l'aide à la décision comme le processus et la méthodologie qui permettent d'identifier, de structurer et de modéliser un problème, afin d'identifier, d'évaluer et de déterminer un plan d'action approprié pour un problème décisionnel donné. Cette définition rejoint celles que l'on retrouve chez différents auteurs tels que Belton et Stewart (2010) ; W. Edwards (1954) ; W. Edwards et coll. (2007) ; French et coll. (2009) ; Gregory (2012) ; Hammond et coll. (1998) ; Keeney (1992, 2004) ; Linkov et Moberg (2011) ; Roy (1983, 1993, 1996) ou encore Roy et Bouyssou (1993).

La littérature offre plusieurs pistes pour aider à résoudre les problèmes complexes/vicieux tels que ceux entourant la PSEP. Par exemple, Head (2019) propose d'adopter une gouvernance collaborative pour mieux encadrer les problèmes et réduire l'incertitude. Balint et coll. (2012) réfèrent à des techniques de gestion flexible et une approche participative et inclusive, ce qui rejoint DeFries et Nagendra (2017) qui détaillent différents types d'approches systémiques pour faciliter la gestion et la prise de décision entourant les ressources environnementales. On note notamment la prise de décision multisectorielle, le management adaptatif ou la prise de décision par-delà les frontières administratives. Horn et Weber (2007) proposent trois outils permettant de faire des cartographies des problèmes et du contexte. L'objectif est de réduire l'incertitude et de mettre de l'ordre dans le désordre. Hulme (2009) discute de l'importance de construire une vision commune (consensus) en intégrant les connaissances de tous les acteurs. Williams et Hof (2016) adoptent une vision systémique et se concentrent sur l'augmentation de la compréhension de la décision à prendre (le système) en réalisant une cartographie du problème, une analyse des parties prenantes et l'identification claire des objectifs et des besoins. Dans ce sens, Mackenzie et coll. (2006) présentent l'outil *Wisdom* et son processus pour cartographier

et structurer le problème à résoudre via des cartes cognitives et une cartographie du dialogue, ce qui rejoint Intezari et Pauleen (2018) qui proposent de se concentrer à construire de la sagesse dans la prise de décision. Karl et coll. (2011) recommandent l'adoption d'une approche créative et d'une méthodologie multidisciplinaire pour résoudre ces problèmes. Brown et coll. (2010) se concentrent sur l'innovation, une gestion inclusive des connaissances et la mise à profit des expériences vécues. Pour aller plus loin, Termeer et coll. (2019) abordent d'autres auteurs, idées et approches.

De ces différents auteurs, on observe que deux tendances se dessinent. La première touche plus à la modification des structures de gouvernance et de gestion, afin de permettre plus de flexibilité. L'autre touche plus la compréhension de la prise de décision, du problème à résoudre, et à la valorisation des connaissances et l'expérience dans la prise de décision. Cette thèse se concentre principalement sur la seconde tendance et s'attarde à valoriser les connaissances, étant donné que les problèmes liés aux connaissances dans le domaine de la gestion de l'eau sont largement documentés et que les besoins sur le terrain ont largement été exprimés par les milieux scientifiques et pratiques (Phillips-Wren et Adya, 2020; van Knippenberg et coll., 2015). De plus, nous disposons déjà d'outils pour répondre à ces enjeux.

## **Valoriser les connaissances pour faciliter la décision**

Avant d'aborder les outils pour faciliter le transfert de connaissances, il est important de définir ce qu'on entend par connaissances dans le cadre de cette recherche. Il existe plusieurs définitions de la connaissance selon les domaines de recherche qu'on explore. Par exemple, Mingers (2006, Chapitre 6.2) se penchait sur la connaissance en tant qu'information à laquelle on y attache une signification, une interprétation, une vérité. L'auteur distingue plusieurs types de connaissances soit : 1) la connaissance propositionnelle, qui est la connaissance consciente des règles de l'environnement qui nous entoure ; 2) la connaissance expérientielle, qui est la connaissance consciente et inconsciente rattachée à des expériences vécues, qui activent des mécanismes cognitifs complexes ; 3) la connaissance performative, qui est la connaissance par apprentissage ; 4) la connaissance épistémologique, qui est la connaissance de la vérité. Dalkir (2017) brosse le portrait de différentes définitions sur la base du travail d'une dizaine d'auteurs qui ont développé des modèles pour comprendre ce qu'est la connaissance, et comment la mettre à profit au sein/entre les organisations (p. ex., Nonaka et Takeuchi, 1995, ou encore Wiig, 1993, pour ne citer qu'eux). De manière générale, on retrouve l'idée que la connaissance est une agrégation d'expériences, de valeurs, d'informations contextuelles et de représentations spécialisées qui ont fourni un cadre pour évaluer et incorporer de nouvelles expériences et informations.

## Gérer les connaissances

Afin de gérer l'immense quantité de connaissances que la société d'aujourd'hui produit et sous l'impulsion de la révolution numérique<sup>8</sup>, le concept de connaissance évolue et se structure parallèlement à l'émergence de nouvelles technologies. Celles-ci transforment et décuplent les possibilités de création et de partage des connaissances, ainsi que la nécessité d'une gestion efficace de celles-ci (Dalkir, 2017). Émerge alors la gestion des connaissances (Knowledge Management – KM), généralement définie comme un processus systématique de création, de sauvegarde, de partage et de valorisation des connaissances produites au sein d'une organisation (Intezari et Gressel, 2017).

Différents auteurs proposent des modèles ayant des étapes ou des structures semblables, qui se distinguent et se complètent les uns des autres (voir Dalkir, 2017; Gao et coll., 2018; Liu, 2020). Outre la formalisation de la connaissance autour d'un processus, la littérature en KM étend le concept de connaissances tacites<sup>9</sup> et de connaissance explicite<sup>10</sup> — issus des travaux de Michael Polanyi, épistémologue hongro-britannique, dans les années 1960 (Collins, 2010) — notamment à travers le modèle SECI<sup>11</sup> de Nonaka et Takeuchi (1995). Celui-ci conceptualise quatre catégories de capital de connaissances tacites et explicites (Figure 1 — gauche) ainsi que la manière dont ces catégories s'articulent en créant une spirale (Figure 1 — droite). Cette modélisation apporte une meilleure compréhension des savoirs qui se créent, se transforment et s'échangent au sein/entre les organisations.

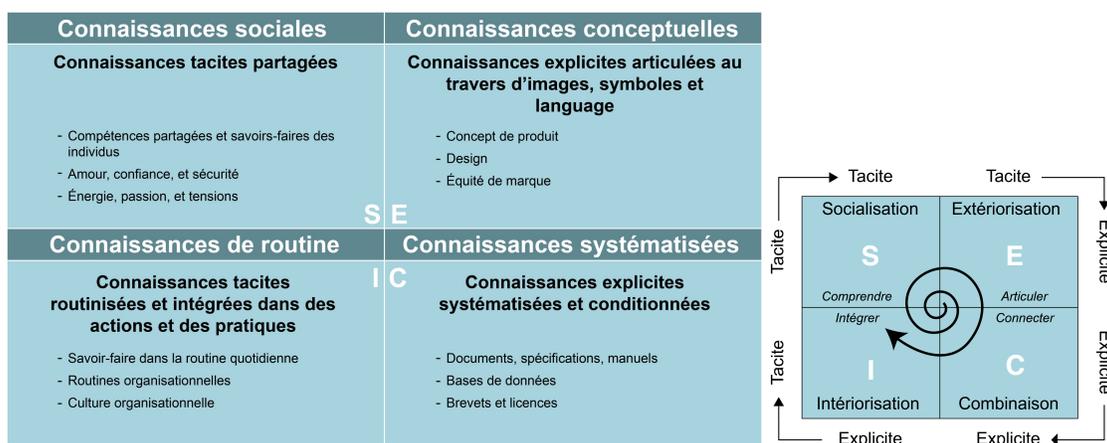


Figure 1 : Le modèle SECI (adapté de Nonaka & Takeuchi, 1995)

Le modèle de Wiig (1993, 2003) conceptualise la connaissance comme un réseau sémantique structuré et introduit trois formes de connaissances, soit les connaissances personnelles, publiques et partagées (Dalkir, 2017, Chapitres 2 et 3). Celles-ci permettent la compréhension du *know-what*, *know-how*, *know-why* et du *care-*

<sup>8</sup> Ou troisième révolution industrielle selon Rifkin (2013) qui a débuté dans les années 1950.

<sup>9</sup> (Know-how) Connaissances ancrées dans l'esprit humain (voir Soler et Zwart, 2013).

<sup>10</sup> (Know-what) Connaissances codifiées à travers un support en dehors de l'esprit humain (voir Collins, 2010).

<sup>11</sup> Socialisation, Extériorisation, Combinaison, Intériorisation (SECI).

why, en d'autres termes d'une compréhension complète de la connaissance, de son émergence et de son importance. Ce découpage est complémentaire aux catégories d'*Internalisation* et de *Socialisation* (Figure 1) proposées par Nonaka et Takeuchi (1995).

Puis, il existe la pyramide DIKW<sup>12</sup> — ou hiérarchie des connaissances d'Ackoff (1989). Cette conceptualisation permet la compréhension du cheminement cognitif de l'explicite au tacite dans un contexte de prise de décision (Figure 2 — adapté de Ackoff, 1989 ; Bernstein, 2011 ; J. S. Edwards, 2022 ; Kebede, 2010 ; Schumaker, 2011). Cette conceptualisation permet de distinguer plus clairement où s'arrête la gestion de l'information et où débute celle de la connaissance.

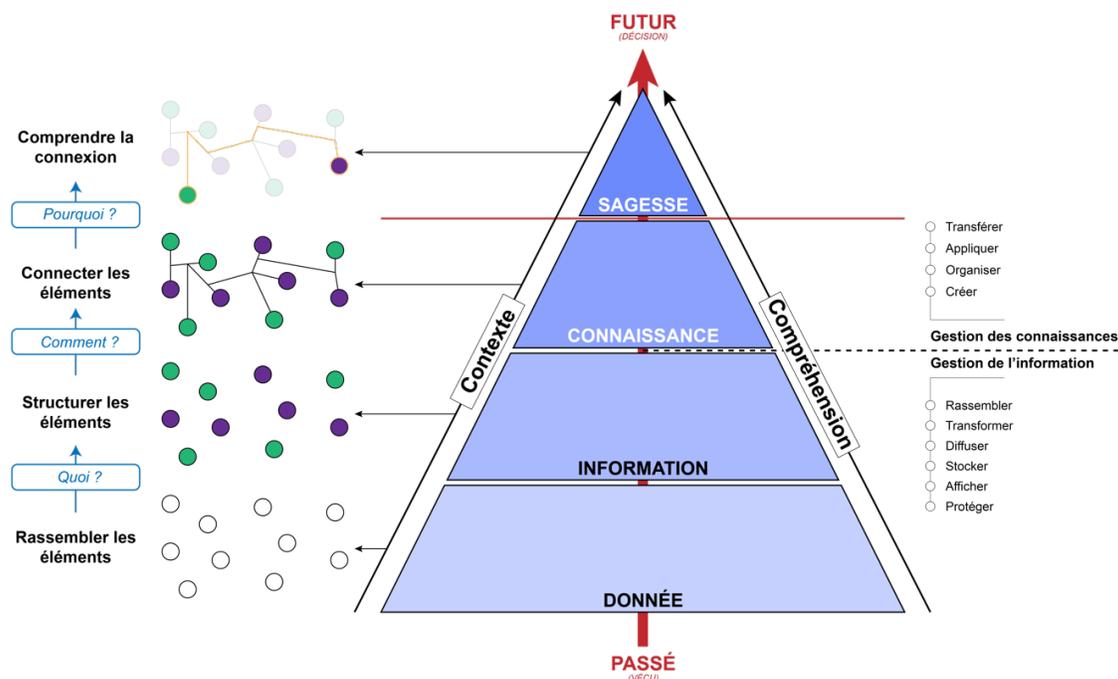


Figure 2 : Pyramide DIKW

Rowley (2007) décrit la pyramide DIKW comme un cycle d'étapes en perpétuel recommencement allant du passé (recherche de données) au futur (prise de décision). À la base se trouve la collecte de données (faits) qui sont le résultat d'enregistrements textuels ou média, de mesures, etc. Celles-ci deviennent de l'information lorsqu'on interagit avec elles pour répondre à la question « quoi » via des analyses, du traitement, etc. On leur donne un sens, un contexte. Ensuite, elles deviennent des connaissances lorsqu'on les met en relation pour former un tout — graphe de connaissances — et que l'on ajoute une signification aux informations (supposition des effets ou association avec une expérience passée). La confrontation de ces informations avec l'expérience passée augmente la connaissance, et leur conversion en instructions ou processus permet de répondre à la question « comment » et « pourquoi ». Enfin, ces connaissances deviennent de la sagesse lorsqu'elles sont

<sup>12</sup> Data, Information, Knowledge, Wisdom (DIKW).

utilisées avec discernement dans la prise de décision. Par la compréhension du « comment » et du « pourquoi » qui influencent le jugement — évaluation des conséquences en fonction de ce que l'on sait —, il est possible de faire un meilleur choix.

## Les systèmes d'informations et l'aide à la décision

Ces connaissances qui se créent, s'échangent et se transforment peuvent être mises à profit par l'apport d'outils tels que les systèmes d'information (SI)<sup>13</sup>. Les SI permettent de fournir efficacement des connaissances pour résoudre les problèmes environnementaux et sont ainsi considérés comme des outils ayant un rôle important à jouer dans le développement durable (Peffer et coll., 2012).

Selon Rainer et coll. (2022, Chapitre 1), ces systèmes collectent, traitent, stockent, analysent et diffusent des données, des informations voire des connaissances — dépendamment du niveau de signification qui y a été rattaché (voir Pyramide DIKW — Figure 2 en page 9). Les auteurs poursuivent en détaillant que les SI sont la combinaison de plusieurs dimensions soit : 1) *hardware*, 2) *software*, 3) *data base*, 4) *network* fonctionnant grâce à des 5) *procédures* permettant aux 6) *usagers* d'interagir avec le système. Les avantages soulevés d'utiliser des SI sont notamment qu'ils gèrent une quantité importante de données, sont sûrs, sont rapides pour retrouver l'information, favorisent une collaboration efficace au sein des organisations et permettent d'automatiser certaines tâches utiles au fonctionnement de l'organisation.

Les SI spécifiquement développés dans une optique d'améliorer l'efficacité et l'efficience d'un processus de décision sont regroupés sous l'étiquette des systèmes d'aide à la décision<sup>14</sup> (Gourbesville et coll., 2016; Pretorius, 2017). Ceux-ci permettent l'organisation et l'évaluation de l'information et ont plusieurs avantages, tels que : 1) la capacité d'adaptation aux problèmes plus ou moins structurés, 2) la possibilité de combiner des modèles ou techniques d'analyse avec des fonctions de récupération de données, 3) l'accessibilité aux non-experts, 4) l'adaptabilité aux changements dans l'environnement de la décision et dans l'approche adoptée pour la prise de décision (Alyoubi, 2015; Burstein et W. Holsapple, 2008; Carlsson et Turban, 2002; Filip et coll., 2017; French, 2010; Linden et coll., 2015; Power et coll., 2015; Sauter, 2010; Sprague et Carlson, 1982; Sprague, 1980; Turban et coll., 2005, 2010).

---

<sup>13</sup> Sous-entendu ici, ceux reposant sur des technologies informatiques ayant émergé dès les années 50 et qui se sont essentiellement développés à partir des années 1980 dans les milieux de travail (Dalkir, 2017, p. 17).

<sup>14</sup> SAD ou Decision Support Systems (DSS).

Plusieurs types de DSS sont rapportés dans la littérature. Ceux-ci se concentrent sur cinq types d'éléments : les communications<sup>15</sup>, les données<sup>16</sup>, les documents<sup>17</sup>, les connaissances<sup>18</sup> et les modèles<sup>19</sup> (Alyoubi, 2015 ; Gourbesville et coll., 2016 ; Power et coll., 2015). Étant donné que les connaissances sont nombreuses dans la gestion de l'eau et que des besoins ont maintes fois été exprimés d'en faire un meilleur transfert, surtout dans la prise de décision, cette thèse se concentre sur les DSS à base de connaissances ou plus communément appelé *Knowledge-based decision support systems* (KB-DSS). Ceux-ci fournissent une structure pour exécuter et intégrer un ou plusieurs systèmes experts au sein des composants DSS de base (Turban et coll., 2005).

Holsapple et Joshi (2002) considèrent que les KB-DSS contiennent des représentations de connaissances (descriptives, procédurales et/ou de raisonnement) à partir desquelles la méthode de raisonnement procédera à la résolution des problèmes. Liu et coll. (2015) décrivent quatre principales approches pour développer un KB-DSS, sans compter les combinaisons d'approches : *Rule-Based Reasoning* (RBR), *Case-Based Reasoning* (CBR), *Network-Based Reasoning* (NetBR) et *Narrative-Based Reasoning* (NBR). La principale différence entre ces approches réside dans la manière dont les connaissances sont recueillies, structurées, stockées et utilisées par le système. Le RBR utilise des règles de décision pour identifier les relations causales dans divers environnements de décision. Le CBR utilise des sous-ensembles d'expériences vécues similaires les plus réutilisables pour résoudre un problème. Le NetBR utilise des moteurs d'inférence probabilistes tels que les réseaux bayésiens ou les réseaux neuronaux artificiels. Tous les trois traitent principalement des connaissances structurées ou semi-structurées (travail de gestion de connaissances nécessaire en amont). Le NBR ne nécessite pas de structuration, car il utilise des algorithmes linguistiques spécifiques pour identifier les connaissances cachées dans des récits (histoires, rapports, enregistrements, etc.)

Il existe toute sorte d'applications de DSS. Ici, il s'agit d'un problème en gestion de l'environnement, donc d'une application rattachée aux systèmes d'aide à la décision environnementale (EDSS)<sup>20</sup>. Plusieurs auteurs décrivent l'idéologie et le cadre de développement d'un EDSS dont il existe plusieurs applications pour la gestion de l'eau (Matthies et coll., 2007; McIntosh et coll., 2011; Oprea, 2018; Rizzoli et Young, 1997; Swayne et coll., 2000; Walling et Vaneekhaute, 2020; K. Zhang et coll., 2014; S. Zhang et coll., 2015). Cette idéologie repose principalement sur la nécessité d'impliquer les utilisateurs finaux dans la conception de l'EDSS. Le cadre fixe certains objectifs à atteindre tels que la capacité à soutenir la prise de décision en matière de politique et de

---

<sup>15</sup> Ceux-ci intègrent et se focalisent sur les technologies de l'information et de la communication.

<sup>16</sup> Ceux-ci s'attardent sur la gestion et l'accès à de grandes banques de données.

<sup>17</sup> Ceux-ci s'attardent sur la gestion et l'accès à des documents.

<sup>18</sup> Ceux-ci se focalisent sur la gestion des connaissances et utilisent des méthodes de raisonnement dans leur fonctionnement (élément expert du système).

<sup>19</sup> Ceux-ci permettent l'analyse des décisions ou le choix entre plusieurs alternatives via des modèles statistiques.

<sup>20</sup> Environmental Decision Support Systems (EDSS).

gestion, à faire face à l'incertitude, avec une attention particulière aux capacités logicielles sous-jacentes telles que la transférabilité, l'évolutivité et la facilité de maintenance (McIntosh et coll., 2011).

## Objectifs et questions de recherche

Alors que le Québec se dote de nouveaux outils règlementaires pour favoriser la PSEP sur son territoire, on presse les parties prenantes à mettre en œuvre les bonnes actions face aux problèmes rencontrés ou anticipés sur le terrain. Or, à l'heure actuelle, elles ne disposent pas d'outils spécifiquement développés dans l'optique de les aider à agir. Ainsi, l'objectif général de cette thèse est de faciliter l'identification et la mise en œuvre d'actions de protection des sources d'eau potable (PSEP) en aménagement du territoire. Pour ce faire, elle met l'accent sur le développement d'un système d'aide à la décision à base de connaissances (type de DSS : KB-DSS) pour aider à la prise de décision sur des problèmes qui impactent les ressources en eau (famille d'application : EDSS).

L'hypothèse générale est que les expériences vécues regorgent de connaissances inexploitées qui, si elles sont centralisées, structurées et partagées, facilitent l'identification et la mise en œuvre d'action de protection des sources d'eau potable. Ainsi, l'outil développé devait mettre à profit la connaissance sur les expériences vécues pour favoriser l'apprentissage collectif des acteurs de l'eau, et être utilisable par différents acteurs impliqués à différentes échelles décisionnelles de la complexe gouvernance de l'eau. À travers cet objectif général, la démarche impliquait de comprendre les problèmes vécus sur le terrain, de capturer/centraliser les connaissances pertinentes pour agir, puis de structurer les connaissances pour les partager.

Afin de mener à bien ce projet et de valoriser les connaissances, la thèse s'inscrit dans le paradigme de recherche en science de la conception/du design (DSR). La DSR est une approche similaire à la recherche-action, mais axée sur le développement de produit technologique comme résultat principal. Ce paradigme est donc fondamentalement différent dans son approche épistémologique et méthodologique, car il s'inspire essentiellement des étapes du *software development life cycle*, plus connu sous l'acronyme SDLC (Livari et Venable, 2009).

Ce paradigme introduit par Hevner et coll. (2004) vise à améliorer les connaissances humaines permettant de résoudre des problèmes en offrant un cadre permettant de créer des artefacts<sup>21</sup> innovants (vom Brocke et coll., 2020). La DSR est un processus de design créatif et itératif dont la méthodologie est présentée à la section suivante. Tout au long du processus de design, différents objectifs se sont construits et clarifiés autour de trois questions de recherche :

---

<sup>21</sup> L'artefact représente ce qui est créé à travers une recherche en DSR (méthodes, outils, connaissance, etc.).

**Q.1.** Comment est mise en œuvre la protection des sources d'eau potable au Québec ?

**Q.1a.** Qui en sont les intervenants ?

**Q.1b.** Quel en est le processus de prise de décision ?

**Q.1c.** Quelles en sont les connaissances créées et transférées utiles à ce processus de prise de décision ?

**Q.2a.** Comment les décideurs réutilisent-ils les expériences antérieures pour protéger les sources d'eau potable ?

**Q.2b.** Quelles connaissances sur les expériences passées en matière de PSEP sont disponibles, et comment pouvons-nous utiliser ces connaissances pour structurer une base de cas à des fins de prise de décision ?

**Q.3.** Les expériences passées peuvent-elles aider les acteurs de l'eau à identifier les actions futures pertinentes pour protéger les sources d'eau potable ? Si oui comment ?

Le Tableau 1 présente les objectifs et sous-objectifs en mentionnant dans quel chapitre ils sont abordés.

*Tableau 1 : Objectifs et sous-objectifs*

	<b>OBJECTIFS ET SOUS-OBJECTIFS</b>	<b>CHAPITRE</b>
<b>1.</b>	Brosser un portrait de la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec	Ch. 1 et 2
1.1	Identifier les implications des intervenants en ce qui concerne la protection des sources d'eau potable	Ch. 1 et 2
1.2	Identifier le rôle des différents intervenants, via la cartographie des tâches qu'ils exécutent et des connaissances qui en découlent	Ch. 2
1.3	Identifier la perception quant à la facilité d'accès aux connaissances permettant de remplir leurs tâches et les freins aux partages des connaissances	Ch. 2
1.4	Identifier les interactions entre les intervenants dans le cadre de la réalisation de leurs tâches	Ch. 2
1.5	Identifier les intervenants présents au sein du processus de prise de décision et ceux qui gravitent autour de ce processus	Ch. 1 et 2
1.6	Comprendre la perception des intervenants sur le processus de prise de décision	Ch. 2
<b>2.</b>	Développer un système d'aide à la décision basé sur les connaissances pour la protection des sources d'eau potables	Ch. 3 et 4

2.1	Identifier, selon les connaissances disponibles, les besoins du terrain, les habitudes de travail et les caractéristiques des quatre approches en KB-DSS, une approche qui pourrait être adéquate à la PSEP	Ch. 3
2.2	Identifier ce qu'est un cas CBR (problème-solution) dans un contexte de protection des sources d'eau potable au Québec afin d'alimenter une base de cas	Ch. 3
2.3	Identifier les caractéristiques (attributs) des actions de protection des sources et la concordance qu'il existe entre les actions	Ch. 3
2.4	Identifier les connaissances recherchées par les acteurs lorsqu'ils s'inspirent des expériences vécues	Ch. 3
2.5	Définir un processus et un calcul de la similarité adapté à la présente application du raisonnement à base de cas (CBR)	Ch. 4
3.	Valider le système d'aide à la décision basé sur les connaissances et utilisant le raisonnement à base de cas (CBR)	Ch. 4
3.1	Développer une procédure permettant de valider la performance du système à l'aide de l'expertise de ses usagers (les acteurs de l'eau)	Ch. 4
3.2	Valider, pour un problème donné, la pertinence des solutions proposées par le raisonnement à base de cas (CBR)	Ch. 4

## Méthodologie générale

Cette thèse a été élaborée selon les étapes de la méthodologie de recherche en sciences du design (DSRM) de Peffers et coll. (2007, 2012, 2018). La DSRM est basée sur 6 activités traduites en un processus itératif (Figure 3).

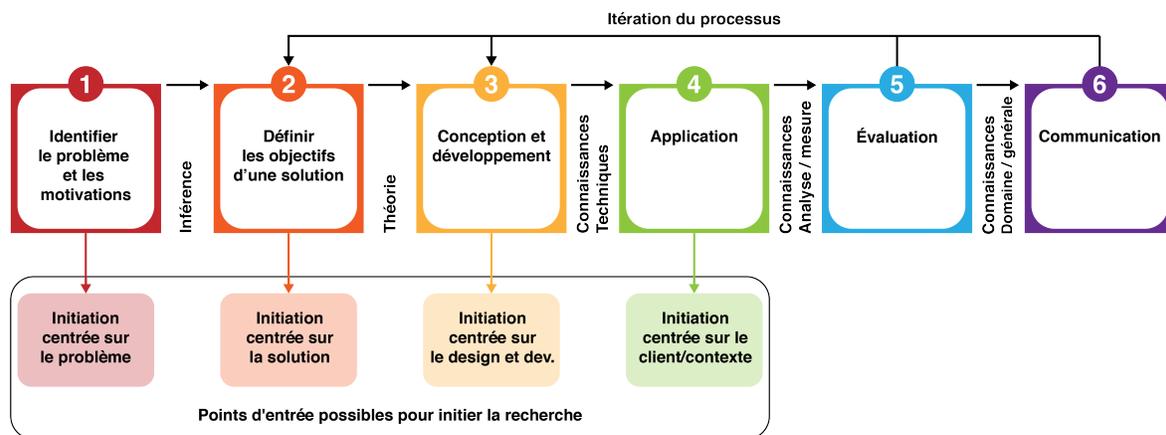


Figure 3 : Méthodologie de la science du design

### *1. Identifier le problème et les motivations*

Il s'agit de définir le problème de recherche afin de justifier la valeur d'une solution. En d'autres termes, cela permet d'identifier quel est le problème et pourquoi il serait pertinent de trouver une solution au problème. Puis, cela permet de définir si le développement d'une solution est réaliste.

### *2. Définir les objectifs d'une solution*

Après avoir identifié le problème et motivé le besoin d'une solution, il s'agit de proposer une solution concrète au problème, ses objectifs et sa faisabilité.

### *3. Conception et développement*

Après avoir défini les objectifs et la faisabilité d'une solution, il s'agit de mettre en marche le processus de design afin de développer l'artefact en déterminant ses fonctions, son architecture. On obtient ici un modèle, un concept.

### *4. Application*

Pour donner suite à la conception et au développement, il s'agit de transposer le modèle vers quelque chose de tangible en vue de le mettre à l'épreuve du problème. On obtient ici une preuve de concept, un prototype. Grâce à cela, il est possible de démontrer la pertinence de la solution proposée (l'artefact) en tant que réponse au problème pour lequel l'artefact a été développé. Cela peut se faire de différentes manières telles que l'expérimentation, la simulation, etc. Il est nécessaire de savoir comment utiliser l'artefact pour résoudre le problème. Cela implique que les utilisateurs qui testent l'artefact doivent être informés et formés.

### *5. Évaluation*

Après avoir effectué les tests liés à la phase d'application, il s'agit d'évaluer l'artefact par l'observation et la mesure de sa pertinence face au problème. Cela peut se faire en comparant si la solution répond aux objectifs identifiés dans l'activité 2, en réalisant une enquête de satisfaction, ou en mesurant objectivement l'impact (s'il est quantifiable) de l'utilisation de l'artefact. Si les objectifs ne sont pas atteints, les chercheurs peuvent décider de répéter l'activité 3 pour améliorer l'artefact ou le laisser pour des projets futurs. Cette activité clôt le processus de validation de l'artefact. Ce faisant, l'artefact est désormais un outil complet qui peut entrer dans les dernières phases d'ajustement avant une éventuelle diffusion ou commercialisation.

### *6. Communication*

La dernière activité de ce processus consiste à communiquer l'ensemble du processus DSRM aux partenaires, aux parties prenantes, aux utilisateurs et à la communauté scientifique. En plus de la présentation de l'artefact, il s'agit de montrer et d'expliquer son évolution. L'activité 6 est importante, car un ensemble de connaissances tacites (savoir-faire pour transposer une solution au problème, savoir-faire dans les mesures, les évaluations, etc.) sont développées lors de la conception d'un artefact, connaissances qu'il est essentiel de partager. Tout cela, dans le but de faire progresser les connaissances générales et spécifiques (connaissances d'un domaine

de recherche particulier) par rapport au problème à résoudre. De ces connaissances du processus et du résultat, il sera possible d'en délimiter la transférabilité, surtout dans un contexte scientifique.

La mise en perspective de la thèse avec ces activités est présentée de manière approfondie dans la section suivante ainsi qu'au chapitre 4, mais de manière plus synthétique.

## **Structure de la thèse**

La thèse comporte quatre chapitres liés par la méthodologie de recherche en science du design (Figure 3, pg. 14). Le premier chapitre est le cadre conceptuel qui explore comment et pourquoi un individu ou un collectif d'individus agissent. Pour ce faire, le chapitre s'aventure dans la compréhension de différents concepts (gouvernance de l'eau, la gestion de l'eau, la prise de décision, la rationalité et la connaissance) dans diverses théories (entre autres, celles des connaissances, de l'action et de la décision) issues de domaines scientifiques diversifiés (sociologie, psychologie, philosophie, etc.). Les connaissances acquises par cette démarche purement théorique et conceptuelle ont été utiles à l'élaboration des outils de recherche utilisés par la suite, et posaient les bases à l'élaboration du prototype de KB-DSS proposé. Ensuite, le chapitre 2 sort de la théorie et se rapproche de la pratique en cherchant à mieux comprendre les enjeux de mise en œuvre de la PSEP vécus sur le terrain. De ces connaissances théoriques et pratiques du problème (Ch. 1 et 2), le chapitre 3 propose une solution (un KB-DSS utilisant le CBR), et débute le processus de développement en collectant et en structurant les connaissances provenant du vécu des acteurs. Enfin, le quatrième chapitre décrit le prototype de KB-DSS.

La Figure 4 (pg. 17) décrit le cheminement créatif ayant mené à l'élaboration du prototype au regard des activités 1 à 5 de la DSRM. En ce qui concerne la communication (activité 6), cette figure contribue à rendre la démarche plus transparente pour les acteurs de l'eau et les scientifiques, en conformité avec les principes de la science du design, mais également ceux des EDSS. Par ailleurs, la présente thèse, les communications scientifiques dans les conférences, les articles publiés ou soumis, les présentations réalisées auprès des milieux de la pratique ainsi que leur participation dans le développement forment, ensemble, le contenu de l'activité 6 de la DSRM.

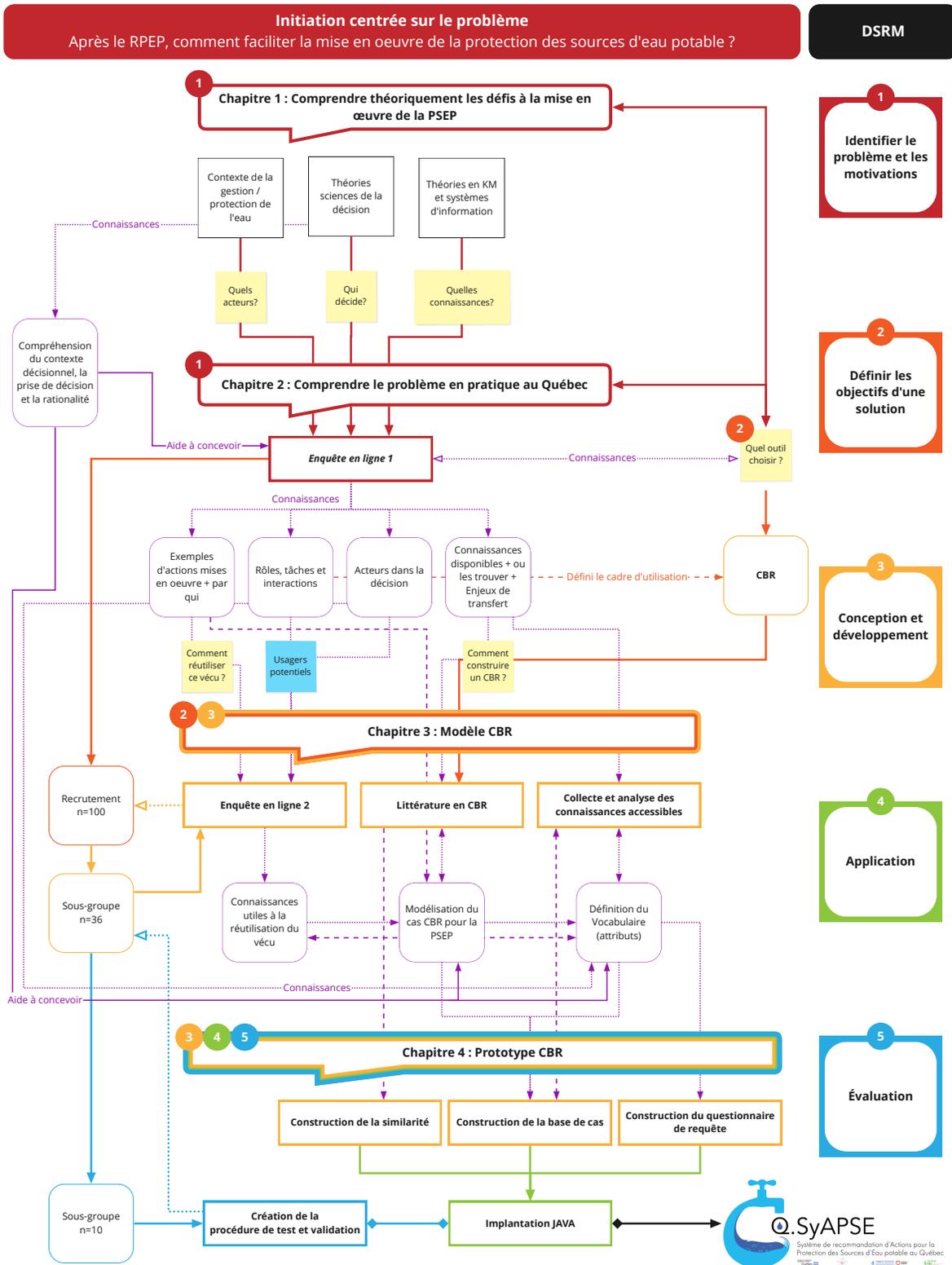


Figure 4 : Structure de la thèse sous forme de processus de design

# Chapitre 1:

## Le défi multidimensionnel de la mise en œuvre de la PSEP : une exploration théorique et conceptuelle

### 1.a Résumé

La déconnexion entre l'aménagement du territoire et la gestion de l'eau est largement considérée comme un défi pour la préservation des ressources en eau. Plusieurs auteurs mentionnent que cela implique des facteurs juridiques et organisationnels qui entravent la prise de décision. Ce chapitre conceptuel et théorique de la thèse tente de décomposer ces facteurs juridiques et organisationnels afin de mieux comprendre comment ils peuvent constituer un obstacle à la prise de décision. Ainsi, ce chapitre explore et tente de comprendre les liens entre la nature des problèmes à résoudre pour protéger l'eau, l'environnement décisionnel et la prise de décision. Ce travail exploratoire superpose des concepts tels que la gouvernance de l'eau, la gestion de l'eau, la prise de décision, la rationalité et la connaissance. En les superposant, divers liens émergent entre un environnement décisionnel normatif et collectif, des facteurs individuels et des décisions menant à des actions prises sur le terrain. Cette exploration des défis sous-jacents à la mise en œuvre de la PSEP a permis de mieux appréhender la complexité du problème à résoudre permettant ainsi d'apporter les bases au développement de l'approche de recherche et des outils utilisés par la suite, tout en guidant la conception du prototype de KB-DSS proposé.

**Mots-clés :** gouvernance de l'eau, gestion de l'eau, rationalité, prise de décision, connaissances.

### 1.b Abstract

The disconnect between spatial planning and water management is widely seen as a challenge to the preservation of water resources. Several authors mention that this involves legal and organizational factors that impede decision making. This conceptual and theoretical chapter of the thesis attempts to break down these legal and organizational factors to better understand how they can be a barrier to decision making. Thus, this chapter explores and attempts to understand the connections between the nature of the problems to be solved to protect water, the decision-making environment, and decision making. This exploratory work overlays concepts such as water governance, water management, decision making, rationality, and knowledge. By overlaying them, different links emerge between a normative and collective decision-making environment, individual factors and decisions leading to actions taken on the ground. This exploration of the challenges underlying the implementation of DWSP actions provided a better understanding of the complexity of the problem at hand, thus providing the basis for the development of the research approach and tools used thereafter, while guiding the design of the proposed KB-DSS prototype.

**Keywords:** water governance, water management, rationality, decision making, knowledge.

## 1.1 Un territoire fragmenté : le défi juridique au Québec

Du point de vue géographique, l'eau a des limites naturelles (bassins versants). Les zones de gestion de l'eau correspondent généralement à ces limites. Cependant, elles ne correspondent pas aux limites administratives de l'aménagement du territoire, qui est généralement fragmenté en plusieurs morceaux imbriqués. Ce problème, largement documenté dans la littérature, est visible en superposant trois couches — limites municipales (Villes), régionales (MRC) et naturelles (ZGIE) — sur une carte (Figure 1.1). Toutefois, ce ne sont pas tant les limites administratives qui constituent en elles-mêmes un défi, mais plutôt ce que ces limites impliquent.

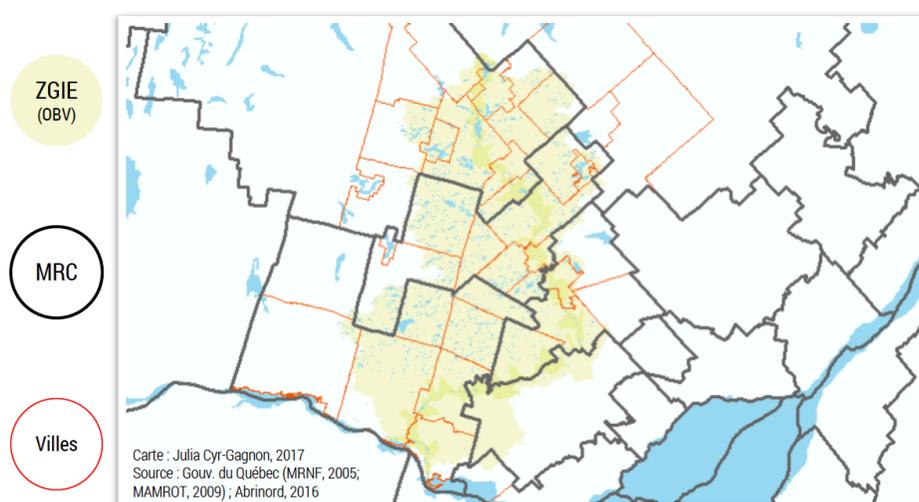


Figure 1.1 : Un territoire fragmenté

Pour explorer la situation, la Figure 1.2 (pg. 20) tire un aperçu synthétique et exploratoire des outils et des responsabilités entourant l'eau et le territoire en amalgamant les informations présentes dans les lois, sites gouvernementaux et dans les textes de divers auteurs (Aubin, 2007 ; Behmel, 2018 ; Brun et Lasserre, 2010 ; Chaloux et coll., 2021 ; Choquette et Létourneau, 2008 ; Cyr-Gagnon, 2017 ; Dagenais, 2016 ; Emond, 2015 ; Gilles, 2010 ; Girard, 2014 ; Lavoie, 2013 ; Lillo et Nadeau, 2020 ; Loiselle, 2009 ; Motard, 2021 ; Stoker et coll., 2022 ; Sylvestre et Dornier, 2017 ; Tremblay et Halley, 2008 ; Trudelle, 2014 ; Vescovi, 2010).

Rappelons que le Canada est un état fédéral gouverné par deux échelles décisionnelles distinctes soit : le gouvernement fédéral qui siège dans la capitale fédérale Ottawa, et les gouvernements des différentes provinces et territoires de la fédération. Ici nous discutons uniquement du contexte fédéral et de celui de la province de Québec, gouvernée par le gouvernement provincial qui siège dans la capitale provinciale à Québec.

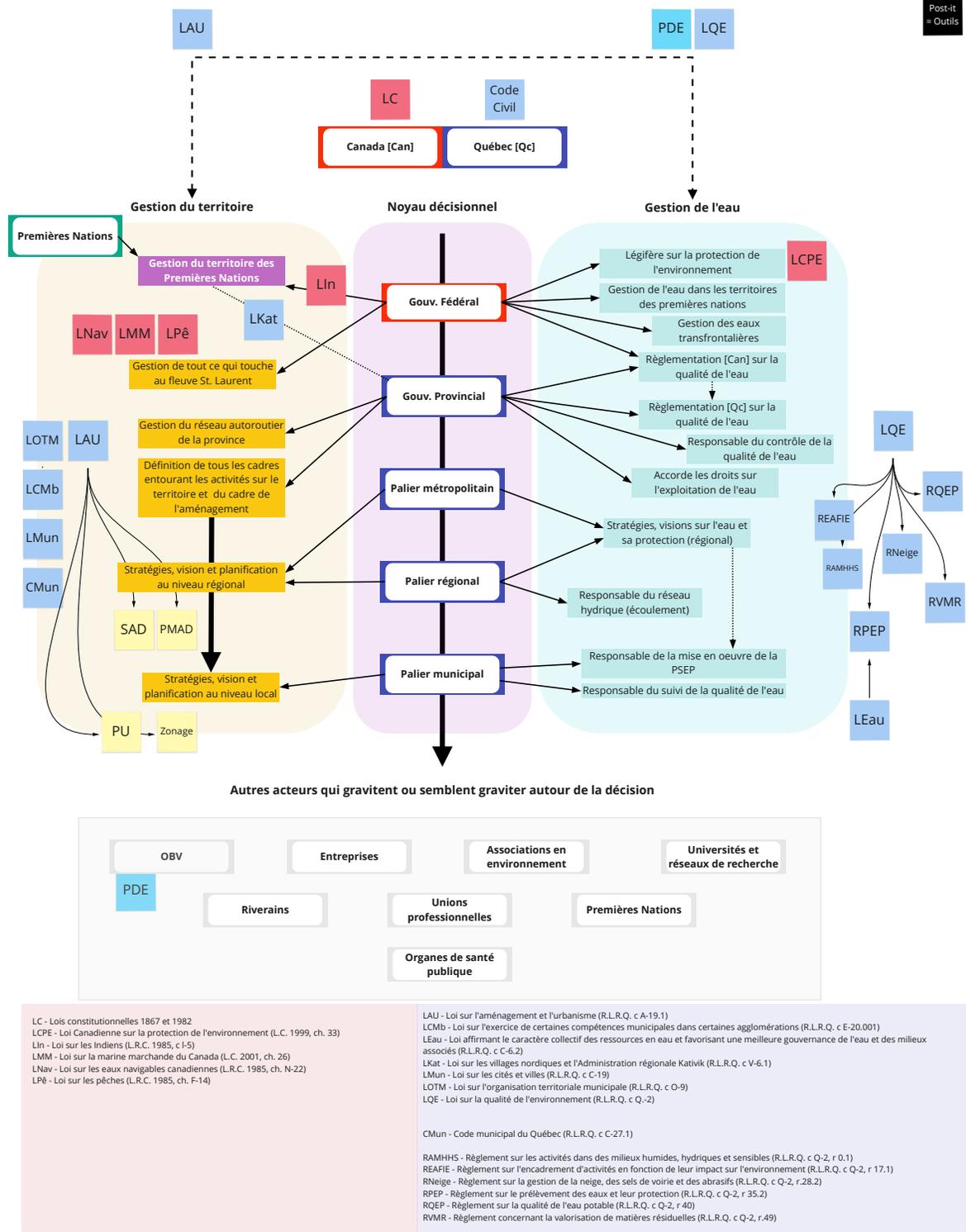


Figure 1.2 : Aperçu du cadre entourant la protection des sources d'eau potable au Québec

De cet aperçu non exhaustif, on remarque que la fragmentation implique une multiplicité d'acteurs et d'outils qui se superposent, ainsi que l'émergence d'acteurs gravitant autour du noyau décisionnel. On note que le fédéral

a des compétences sur certaines activités (p. ex. la marine marchande, les pêches, les infrastructures de transport) ou des territoires particuliers (zones transfrontalières, fleuve St. Laurent et territoires des Premières Nations), et que le reste des compétences sont majoritairement provinciales. Cet aspect multidimensionnel représente un défi pour les acteurs du droit qui délimitent ce cadre, comme le soulignait Me Thibault-Bédard, avocate et experte en droit de l'environnement :

« Il est [...] important de noter que nous sommes condamnés à essayer de faire entrer une réalité multiple, celle de l'environnement, dans une structure binaire, car le droit est quelque chose de très binaire. Ce sera le plus gros défi en droit de l'environnement dans les années à venir » cité dans Jung (2018).

Outre les éléments présentés dans la Figure 1.2, il faut mentionner que ce cadre évolue dans le temps et qu'il est influencé par un contexte international. Par exemple, la PSEP est abordée dans l'objectif de développement durable (ODD) n°6 : Eau propre et assainissement. Celui-ci prévoit plusieurs cibles pour améliorer l'état des ressources en eau. Il cible spécifiquement : 1) l'amélioration des systèmes d'approvisionnement, et 2) l'amélioration de l'état des sources d'eau potable sur l'ensemble du globe (WHO, 2022). Ces engagements se répercutent ensuite dans l'élaboration des stratégies, puis sur le cadre juridique et les outils, ce qui force l'ensemble de la chaîne décisionnelle à être dans une dynamique constante d'adaptation (Wuijts et coll., 2021).

## **1.2 Les individus et la décision : naissance du défi organisationnel**

En ce qui concerne le défi organisationnel, on explore le concept de décision qui prend racine dans diverses disciplines qui s'entrecroisent. Afin d'en avoir une vue d'ensemble, on observe la décision à travers les théories de l'action<sup>22,23</sup>, la théorie de l'organisation<sup>24</sup>, la théorie de la décision<sup>25</sup>, la théorie du choix rationnel<sup>26</sup> ou encore la théorie du choix social<sup>27</sup>. De ces théories, on pourrait définir la décision comme une action – le choix – guidée par des comportements individuels et influencés par le collectif, qui vise à corriger ou ignorer un décalage (problème) entre une construction de la réalité (les attentes) et l'état des choses (la réalité vécue qui est

---

<sup>22</sup> Voir la théorie de l'action (philosophie) de Thomas Reid: *Essays on the Active Powers of Man* (1788), qui soutient que les êtres humains ont un pouvoir non seulement sur leurs actions, mais aussi sur leurs choix et leurs intentions.

<sup>23</sup> Voir la théorie de l'action (sociologie) qui vise à étudier la nature de l'action humaine (Boudon, 2001).

<sup>24</sup> Initialement une branche de la sociologie, il s'agit de l'étude des comportements humains en contexte organisationnel – entendu ici comme un regroupement, un système constitué autour d'une caractéristique dominante commune (voir Carr, 1997; Eizenberg, 2019; Grothe-Hammer et coll., 2022; Hatch, 2018; Lynch, 2020).

<sup>25</sup> Branche des mathématiques appliqués, la théorie de la décision modélise la décision et les comportements décisionnels (Mendoza et Gutiérrez-Peña, 2010).

<sup>26</sup> La théorie du choix rationnel tente de comprendre les comportements et implique que la rationalité réside dans la signification de l'action pour l'individu. En d'autre terme que l'action est rationnelle, car aux yeux de l'individu, elle est fondée sur des raisons et un système de raisonnement qu'il perçoit comme fort (Boudon, 2003).

<sup>27</sup> Dans la continuité de la théorie de la décision, la théorie du choix social questionne l'agrégation des préférences individuelles comme étant l'expression d'un choix collectif (Sen, 1977).

subjective) (Daft, 2010; Dewey, 1910; Edwards, 1954; Eilon, 1969; Grothe-Hammer et coll., 2022; Meinard et Tsoukiàs, 2022; Morais et coll., 2020; Murphy, 1929). Cette définition, sous-entend une relation constante entre ce qui nous entoure et ce que nous sommes.

Pour approfondir cette réflexion sur la relation environnement-individu-décision, la thèse recontextualise la décision dans un environnement complexe, dynamique et interdépendant. Ici émerge le défi organisationnel, que la thèse illustre tel un défi en cascade (Figure 1.3). Dans la section 1.1, on abordait le cadre juridique (Figure 1.3 — à gauche). La section 1.2.1 parle de la connaissance du monde qui nous entoure, soit la connaissance qui nous permet de prendre conscience d'un problème. Alors que le premier continuum — état des choses conforme aux attentes — image une situation où la réalité vécue est conforme aux attentes, le second continuum illustre l'apparition d'un décalage entre le vécu et les attentes, soit l'apparition d'un problème (Figure 1.3 — en haut). Ici débute le processus de prise de décision, ou de résolution de problème, qui est discuté à la section 1.2.2 (Figure 1.3 — au centre). De ces précédentes sous-sections qui apportent des connaissances nécessaires à la compréhension de ce qu'est une décision, la section 1.2.3 recontextualise le cadre juridique tel un environnement décisionnel imbriqué et dynamique (Figure 1.3 — à gauche). La section 1.2.4 aborde la notion de rationalité, soit les mécanismes qui expliquent les comportements des acteurs dans un tel environnement décisionnel (Figure 1.3 — en bas). Comportements, qui se répercutent ensuite sur la décision. Enfin, la section 1.2.5 fait le lien entre les sous-sections du chapitre 1 et l'introduction de la thèse afin de compléter la compréhension de la problématique de la mise en œuvre de la PSEP.

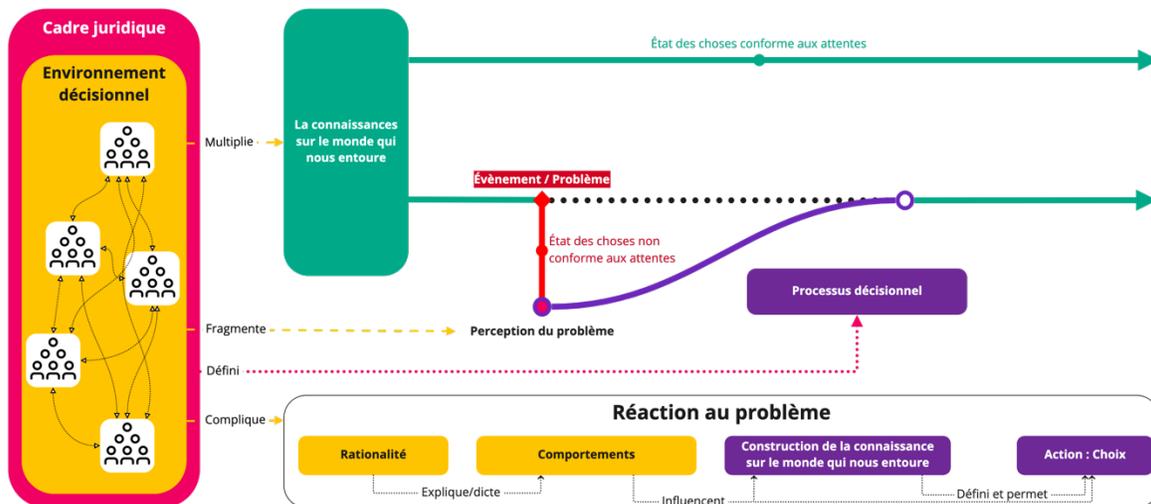


Figure 1.3 : Résonance de l'environnant au comportement : émergence du défi organisationnel

### 1.2.1 La connaissance du monde qui nous entoure

Alors que le concept de connaissance vu à travers les sciences de gestion s'attarde sur la mise à profit des connaissances à l'échelle organisationnelle, en accompagnant l'ensemble du cycle de création, partage et

transformation des connaissances, on aborde ici la connaissance comme l'élément initial à la décision, celle qui nous fait percevoir qu'il existe un problème. On parlera alors de la connaissance du monde qui nous entoure, d'un point de vue plus philosophique.

Le concept de connaissance trouve sa source chez les philosophes de l'antiquité. Il a ensuite percolé dans différentes disciplines qui, ensemble, construisent de la connaissance sur la connaissance. En philosophie, ce concept évolue à travers trois grandes branches qui existent encore aujourd'hui : 1) l'ontologie, qui questionne la nature de la réalité, de ce qui est, soit la théorie de l'existant ; 2) l'épistémologie, qui est l'étude de la constitution des connaissances, soit la théorie de la connaissance ; et son contraire, 3) l'agnoiologie qui est l'étude de l'ignorance<sup>28</sup>. De la première branche découle la seconde, ou l'ontologie représente l'existant et que l'épistémologie est une construction sur l'existant (Ferrier, 1854).

En anthropologie, on s'intéresse à la connaissance en tant que « ce que l'on sait » et « comment on le sait » à travers l'expérience corporelle, entendu ici comme la conscience d'« être là » en tant qu'observateur et acteur d'un environnement où des stimuli activent des mécaniques cognitives humaines qui reflètent un vécu (Boyer, 2005; Cohen, 2010; Harris, 2007; Hastrup, 2004; Josephides, 2020; Renn, 2020).

En sociologie, on introduit la connaissance en tant que construction de la réalité produite socialement par l'interaction des individus, ce qui ancre la connaissance dans un contexte environnemental qui serait influencé par la provenance des individus (p. ex. la position sociale); d'où l'apparition de diverses formes de connaissances comme la connaissance experte, traditionnelle, etc. (Barrotta et Montuschi, 2018; D. Pooley, 2016; Lehébel-Péron et coll., 2016; Markkula et coll., 2019; McGregor, 2012; Stark, 1991; Wheeler et Root-Bernstein, 2020).

Ces différentes perspectives de la connaissance en tant qu'activité individuelle et collective nous rattache aux théories de l'apprentissage et notamment à celle du constructivisme social de Vygotsky (linguistique, psychologie), qui poursuit les travaux de Dewey (science de l'éducation, philosophie), Von Glasersfeld (philosophie, cybernétique) et Piaget (psychologie). Le constructivisme dans son ensemble repose sur 4 piliers :

1. Le fait que l'individu soit actif (et non passif) dans la construction de sa connaissance;
2. Qu'il use de mécanismes cognitifs pour rendre son comportement viable dans un environnement donné;
3. La cognition organise et donne un sens à l'expérience d'une personne, et n'est pas un processus visant à rendre une représentation exacte de la réalité ; et

---

<sup>28</sup> À ne pas confondre avec l'agnotologie (en sociologie de la connaissance) qui est l'étude de l'ignorance et du doute lorsqu'ils sont culturellement induits par une société. Par exemple, la croyance largement répandue que l'approvisionnement municipal en eau potable est de moins bonne qualité que l'eau embouteillée.

4. Outre de prendre racine dans la construction biologique/neurologique, la connaissance provient aussi des interactions sociales, culturelles et linguistiques.

Les piliers 1 et 2 forment le *constructivisme faible*, qui s'intéresse aux mécanismes cognitifs qui permettent la production des connaissances via l'apprentissage; les piliers 1 à 3 forment le *constructivisme radical* de Piaget, Dewey et von Glasersfeld, qui s'intéressent au comment et pourquoi on produit des connaissances à l'échelle individuelle; les piliers 1 à 4 forment le *constructivisme social* de Vygotsky qui explore l'ensemble des piliers précédents et ajoute l'exploration des liens entre les individus dans la production des connaissances. Dans cette vision de la construction de la connaissance, on estime que la connaissance est une expérience partagée, plutôt qu'individuelle (Prawatt & Floden, 1994), qu'elle se produit toujours dans un contexte socioculturel, ce qui donne lieu à des connaissances liées à un moment et à un lieu spécifique (Vygotsky, 1981).

### 1.2.2 Typologie de la prise de décision

Si la connaissance est déclencheur d'un processus de décision, elle est aussi sous-jacente à l'ensemble des étapes permettant la résolution d'un problème. La Figure 1.4 (pg. 25) décompose un processus en cinq étapes qui s'inspire de différents auteurs (Mora et coll., 2003; Phillips-Wren et coll., 2009; Turban et coll., 2010), qui étendent le modèle cognitif de Herbert A. Simon présenté après la figure. Chacune de ces étapes (Figure 1.4 — en-tête des tableaux) constitue une suite logique et englobe un ensemble d'activités (Figure 1.4 — sous en-tête des tableaux, texte en italique) permettant de passer à l'étape suivante. Plusieurs aspects sont à considérer ou à réaliser dans chacune de ces activités (Figure 1.4 — texte dans les encadrés bleu pâle).

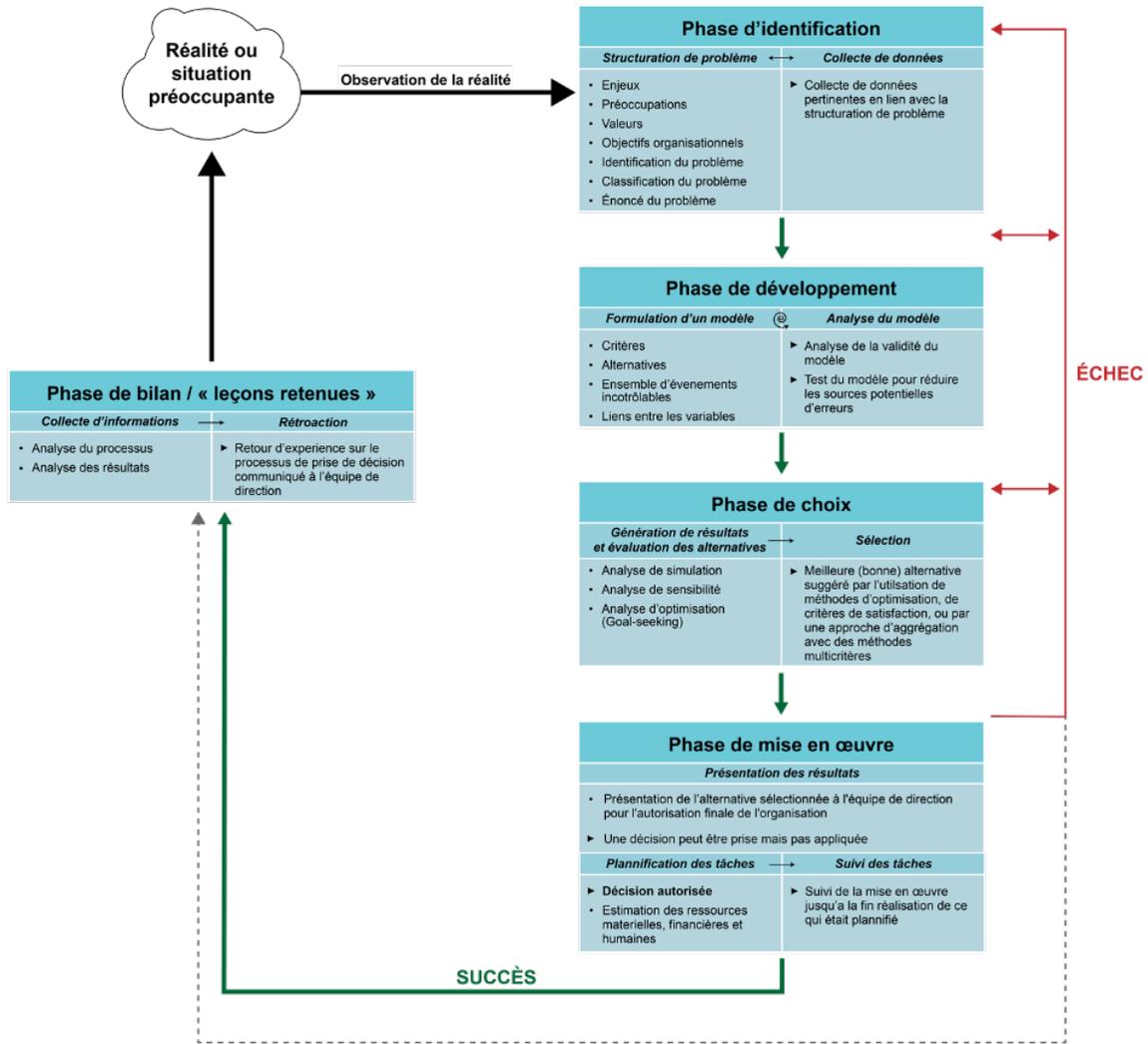


Figure 1.4 : Modèle cognitif ou « rationnel » d'un processus de décision

Les trois premières étapes ont pour origine le modèle cognitif (IMC)<sup>29</sup> de Herbert A. Simon (1960, 1977) qui était le tout premier auteur à illustrer le processus décisionnel comme un ensemble d'activités cognitives qui impliquent la réalisation de certaines tâches (Meinard et Tsoukiàs, 2022). Cet apport était dû au fait que Simon évoluait dans les courants du *cognitivism* en psychologie (J. St. B. T. Evans et coll., 1993; Petracca, 2017). Ce modèle se composait initialement de trois phases soit : (1 – Intelligence) l'identification du problème, (2 – Modélisation) le développement d'un modèle pour y répondre (options) et (3 – Choix) le choix d'une option. Celles-ci correspondent aux trois premières étapes de la Figure 1.4. Par la suite, les sciences de gestion ont ajouté (4 – Mise en œuvre) la planification et la mise en œuvre du choix et (5 – Bilan) le suivi des retombées du choix. Celles-ci sont destinées à capturer des connaissances vécues au cours du processus décisionnel afin

<sup>29</sup> Intelligence, Modélisation, Choix (IMC).

de permettre l'apprentissage organisationnel<sup>30</sup>. Dans ce contexte d'apprentissage sur la résolution de problème, la connaissance est instrumentalisée, ce qui l'éloigne du concept de connaissance plus abstrait vu dans la section 1.2.1 et rejoint les différentes définitions de la gestion des connaissances (KM) vue en introduction. Cela dit, en KM, plusieurs auteurs adoptent des visions plus holistiques dans leurs définitions de la connaissance tout en les liant avec l'aspect utilitaire (la connaissance pour décider). Par exemple, Liebowitz et Megbolugbe (2003) proposent deux définitions à la connaissance. L'une définit tout texte, fait, exemple, événement, règle, hypothèse ou modèle qui augmentent la compréhension ou la performance dans un domaine ou une discipline. L'autre est spécifique et pratique, et définit toute l'information appliquée qui guide activement l'exécution de la tâche, la résolution de problèmes et la prise de décision. D. Zhang et coll. (2002), estiment que la connaissance consiste à savoir quand, pourquoi et quelles informations sont nécessaires, comment l'information peut être obtenue et traitée, et où l'on peut trouver des informations pour atteindre l'objectif souhaité.

Pour en revenir à l'ensemble du processus, les auteurs qui travaillent sur la prise de décision s'accordent généralement à dire que le processus décisionnel est continu et itératif, en ce sens que les différentes étapes peuvent se chevaucher et que le décideur peut — jusqu'à un certain point — revenir sur une étape précédente (Chakravarthy et White, 2002; McKenna et Martin-Smith, 2005; Mintzberg et coll., 1976; Mintzberg et Westley, 2001; Witte, 1972). Cependant, bien que certaines étapes puissent être réalisées simultanément, le processus de décision est majoritairement un processus séquentiel avec un *développement* nécessitant une *identification*, un *choix* nécessitant un *développement* et une *mise en œuvre* suivant un *choix* (Phillips-Wren et coll., 2009). Ces étapes sont répétées itérativement avec de nombreuses boucles de rétroaction jusqu'à ce que le choix final ait été mis en œuvre et que les leçons apprises aient été identifiées et communiquées.

Il est important de mentionner qu'il existe d'autres modélisations du processus décisionnel qui se recourent avec celui présenté en Figure 1.4 (pg. 25) tel que le modèle naturaliste de Klein ou encore le modèle créatif. Le modèle naturaliste (ou intuitif) de décision réfère à une décision où le décideur va inconsciemment scruter l'environnement à la recherche d'indices lui rappelant une situation déjà vécue. Ainsi, il va réaliser les étapes 1 à 3 du processus IMC, mais de manière restreinte, car il ne cherchera pas à construire un ensemble d'options et fera plutôt appel à son expérience (vécu, émotions, etc.) pour résoudre le problème (Coget et coll., 2009; Hertwig, 2012; G. Klein, 2007). Le modèle créatif fait référence aux décisions où le décideur est guidé par la recherche de l'innovation (Proctor, 2018; Spaa et coll., 2022). Le décideur va réaliser des tâches quasi identiques au modèle présenté dans la Figure 1.4. Toutefois, à la lecture des différents auteurs, il semble que

---

<sup>30</sup> Selon le type de problème rencontré, l'apprentissage que l'organisation en tire diffère (Eilertsen, 2005; Tosey et al., 2012). Il existe trois niveaux : la boucle simple face aux problèmes simples et déjà rencontrés (visé à l'amélioration du processus décisionnel), la double boucle face aux problèmes complexes (visé à la compréhension et à l'amélioration du processus décisionnel) ou la triple boucle quand l'organisation cherche à se transformer (visé à la transformation, la compréhension et à l'amélioration du processus décisionnel).

ce modèle indique un contexte où le problème a déjà été rencontré et où l'on cherche à innover pour améliorer soit la solution, soit les tâches qui permettent de le résoudre. Vu la diversité des problèmes rencontrés par les acteurs de l'eau, la mise en œuvre de la PSEP peut faire appel aux trois modèles selon le problème rencontré.

D'ailleurs, en fonction de la nature du problème rencontré, il est possible de hiérarchiser les décisions de différentes manières où le(s) décideur(s) n'adopteront pas les mêmes comportements et processus de résolution. Ces typologies sont majoritairement l'expression du niveau de connaissance par rapport au problème bâti par les décideurs dans la résolution dudit problème (compréhension du problème et savoir-faire pour le résoudre).

- Classification des problèmes non-structurés, semi-structurés et structurés (Rainer et Prince, 2021, p. 365). Lorsqu'un problème jamais rencontré survient, il est non-structuré. À mesure qu'il se répète et que l'identification des alternatives et du choix à faire est codifiée, il devient de plus en plus structuré (connu/maitrisé).
- Modèle Cynefin (Snowden et Boone, 2007) qui repose sur quatre domaines allant du moins structuré au plus structuré : le chaos, la complexité, le compliqué et l'évident. Les deux premiers sont dans le domaine de l'imprévisible. Les deux derniers, du domaine du prévisible.
- Dichotomie de Herbert A. Simon (1977) qui introduit la distinction entre la décision programmée et non-programmée (Pomerol et Adam, 2004). Les décisions programmées sont routinières et répétitives (donc bien structurées) et se prêtent à la résolution par l'habitude, les SOP<sup>31</sup>, la structure organisationnelle (établissant qui est responsable de la gestion de ce problème), etc. À l'inverse, les décisions non programmées nécessitent du jugement, de l'intuition, de la créativité pour tenter de comprendre le problème à résoudre et être en mesure de compléter le processus de prise de décision.
- Pyramide stratégique qui est généralement composée de trois niveaux de décision en gestion : 1) stratégique — top level management, 2) tactique — mid-level management, ou 3) opérationnelle — low-level management (Bolland et Lopes, 2018). Ce qui les distingue c'est principalement la temporalité, le niveau décisionnel impliqué du fait de l'impact de la décision sur l'organisation, la quantité de ressources qui sont mobilisées, la quantité de parties prenantes impliquées ou encore d'enjeux externes à considérer.
- Matrice de Stacey (Stacey et Mowles, 2015) qui superpose le modèle Cynefin avec la dynamique collaborative (Figure 1.5, pg. 28). Dans cette représentation, les quatre domaines Cynefin (évident, compliqué, complexe, chaotique) sont liés par deux axes. Le premier axe est celui qu'on retrouve de base dans le modèle Cynefin, soit la structuration du problème, autrement dit la connaissance sur le

---

<sup>31</sup> Procédure opérationnelle standard (Standard Operating Procedures), soit une procédure documentée pour résoudre un problème connu. Par exemple, la procédure d'alerte d'une ville en cas de contamination dans son réseau d'eau potable.

problème à résoudre qui évolue dans un spectre entre la certitude et l'incertitude. Le second axe représente la variation de l'intérêt, soit les objectifs poursuivis, donc la capacité de collaboration ou entente entre les parties prenantes de la décision.

Pour aller plus loin, French et coll. (2009) sont des auteurs incontournables pour comprendre ces différentes typologies.

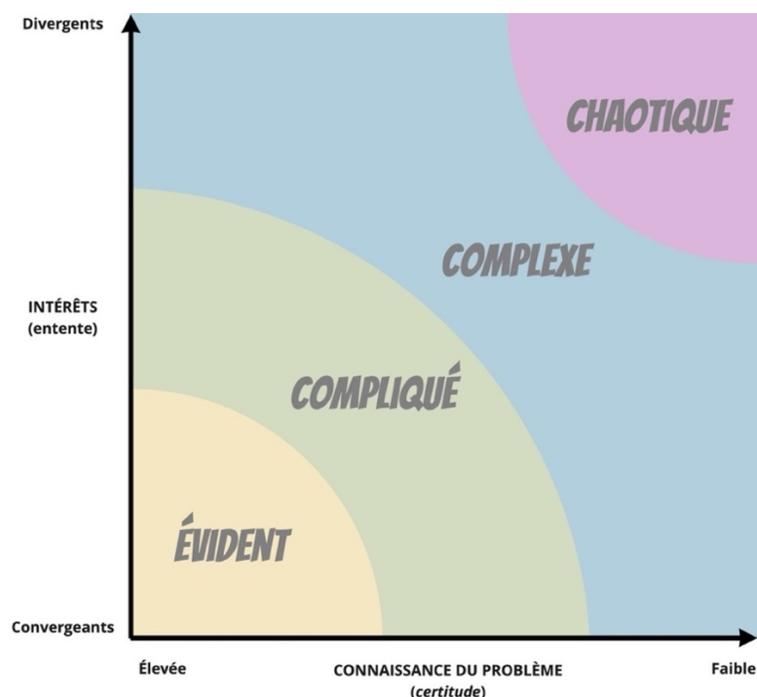


Figure 1.5 : Matrice de Stacey (inspiré par S.Bradd et D.Finegood @Drawing Change<sup>32</sup>)

### 1.2.3 De la gouvernance à la décision : un environnement enchevêtré et dynamique

En parallèle de la nature du problème de la PSEP, il faut en plus faire face à un environnement décisionnel particulier. En effet, si nous changeons de perspective sur le cadre juridique (sec. 1.1), les notions de gouvernance et de gestion apparaissent. Dans son ouvrage sur les enjeux de l'eau au Canada, Bakker (2007) mentionnait que la gouvernance définit comment les décisions sont prises et qui les prend ; tandis que la gestion fait référence aux processus d'acquisition de connaissances. La thèse poursuit cette réflexion.

La gouvernance — qu'elle soit appliquée à l'eau ou en général — est un concept que tout le monde comprend, mais qui n'a pas de définition unanime, car il change selon le contexte d'utilisation (Schuppert, 2015) et évolue dans le temps (Scharfman, 2015). Typiquement, on retrouve des notions de processus et d'outils (Bevir, 2012).

<sup>32</sup> <https://drawingchange.com/project/simple-complicated-and-complex-decision-making-new-visual/>

De règles et de rôles (Mungiu-Pippidi, 2015). De structures décisionnelles, de gestion et de manières de gouverner (Goodwin, 2009 ; Kelley et coll., 2016). C'est un espace où se définit l'allocation des ressources (Muñoz-Erickson et coll., 2016) ; où existe une dynamique d'interaction multidimensionnelle entre différents acteurs de la société civile (Kelley et coll., 2016; Waylen et coll., 2019) ; donc de rapports de force — incluant des conflits — dans la recherche du consensus (W. Li et Puppim de Oliveira, 2021) ; qui fait que des acteurs clés peuvent se retrouver en marge de la structure décisionnelle (Wheeler et Root-Bernstein, 2020). Ceci rappelle un système complexe.

Suivant la théorie de la complexité organisationnelle<sup>33</sup>, les systèmes complexes sont des contextes décisionnels qui sont vus comme un tout, composés de sous-groupes qui s'influencent (Daft, 2010 ; Keane et Thorp, 2016). Selon Maguire et coll. (2006), les systèmes complexes ont les caractéristiques suivantes : ils impliquent un grand nombre d'éléments (les acteurs présentés à la Figure 1.2, pg. 20) ; ces éléments interagissent d'une manière dynamique ; les interactions sont nombreuses, dans le sens où chaque élément du système peut influencer ou être influencé par un autre élément ; les interactions sont non linéaires ; les interactions surviennent généralement à court terme ; les interactions constituent des boucles de rétroactions positives et négatives ; le système se modifie continuellement (système ouvert) ; il fonctionne sous certaines conditions qui l'éloignent de son équilibre ; il a une histoire ; ses éléments individuels ignorent généralement le comportement du système global dans lequel ils s'encastrent. Ces différentes caractéristiques font largement écho aux défis rencontrés dans un contexte de gouvernance de l'eau (voir Choquette et Létourneau, 2008).

En ce qui concerne la gestion de l'eau, Stoker et coll. (2022, p.3) considère qu'elle : « fait référence aux opérations et aux responsabilités liées à la fourniture de l'eau, à l'élimination des eaux usées et aux eaux pluviales, à la gestion de la demande en eau, à la garantie de la qualité de l'eau, au traitement des eaux potables et aux eaux usées, et supervisant les droits de l'eau, les activités de la protection de l'eau et la restauration ». Ce faisant, la thèse considère que la gestion de l'eau renvoie à des cadres décisionnels spécifiques sur des familles de problèmes ou des enjeux précis.

Que ce soit par leur objet d'étude que par leurs réflexions, les travaux des auteurs suivants ont été les sources d'inspiration les plus significatives pour comprendre les limites et les liens entre gestion et gouvernance : Akhmouch et Clavreul (2016) ; Armitage et coll. (2015) ; K. Bakker et Cook (2011) ; Benson et Jordan (2010) ; Chaffin et coll. (2016) ; Dunn et coll. (2014) ; Foster et Gun (2016) ; Hassenforder et Barone (2019) ; Huitema

---

<sup>33</sup> Branche appliquée de la théorie de la complexité qui étudie les systèmes (voir Koliba et coll., 2022; Maguire et coll., 2006; Manson, 2001; H. A. Simon, 1962; Uhl-Bien et Marion, 2007; Weiss, 1982).

et coll. (2009) ; Kuzdas et col. (2015) ; Lalika et coll. (2015) ; Medema et coll. (2015, 2017) ; Orr et coll. (2016) ; Pahl-Wostl et coll. (2010, 2012, 2020) ; Serrat-Capdevila et coll. (2014).

En observant l'ensemble de l'environnement décisionnel comme un système, on décrira ses différentes parties telles que :

- La **gouvernance de l'eau** représente un système social multidimensionnel, considéré ici comme un environnement décisionnel propre à une société. Dans cet espace, les acteurs en interaction tentent perpétuellement de construire des objectifs collectifs à atteindre concernant l'eau (ou différentes dimensions comme les transports, la santé, etc.). Pour ce faire, ils redessinent constamment la structure de gouvernance en modifiant les pouvoirs, les outils, les acteurs et les ressources nécessaires aux différents cadres de gestion.
- La **gestion de l'eau** représente un ensemble de sous-systèmes dans la gouvernance, soit tous les contextes décisionnels spécifiques à la gestion d'enjeux sur l'eau qui entravent la réalisation des objectifs collectifs poursuivis par la gouvernance. Chaque contexte réunit des acteurs ayant une ou toutes les caractéristiques suivantes : 1) la légitimité d'agir (pouvoirs et outils), 2) les ressources (matérielles ou immatérielles) nécessaires à la gestion de l'enjeu et 3) des intérêts à défendre.
- Le **processus décisionnel** représente la multitude de processus — entendu ici comme un espace temporel restreint avec un début et une fin — permettant de résoudre chacun des problèmes qui émergent et qui ont poussé les acteurs à agir. Tous les enjeux entre les acteurs se répercutent ici. Ainsi, certains acteurs seront mobilisés et d'autres non ; des rapports de force émergeront en fonction des intérêts poursuivis par les acteurs en présence ; le tout lié au contexte territorial où émerge le problème (social, économique, politique ou environnemental). Également, certains seront décideurs et d'autres ne le seront pas, dépendamment des pouvoirs définis par la gouvernance.
- La **connaissance** représente tous les savoirs implicites et explicites qui se créent, s'échangent et évoluent, au sein de toutes les couches du système.

En définitive, la thèse considère ce système comme le mécanisme d'une horloge où les concepts en sont chacun des rouages. Ainsi, si un des rouages est problématique, il se répercutera sur l'ensemble. La Figure 1.6 illustre cette idée. Dans la Figure 1.6, la gouvernance représente le réseau d'acteurs qui définissent, ensemble, la direction de l'état des choses (flèche au centre). En lien avec l'état des choses, la gestion de l'eau visera à gérer les problèmes rencontrés (losanges rouges), qui créent un décalage entre les attentes et la réalité. Les processus décisionnels (violet) permettent de corriger le décalage. Dans ces processus, certains acteurs de la gouvernance sont impliqués dans la gestion (ceux en rouge pâle – ces acteurs deviennent des parties prenantes de la décision), dont certains d'entre eux sont des décideurs (ceux en rouge pâle au contour violet – ceux qui

ont les pouvoirs pour prendre les décisions). Dans chacun des processus de prise de décision, de la connaissance se crée et s'échange en lien avec les étapes du processus décisionnel vu à la section 1.2.3.

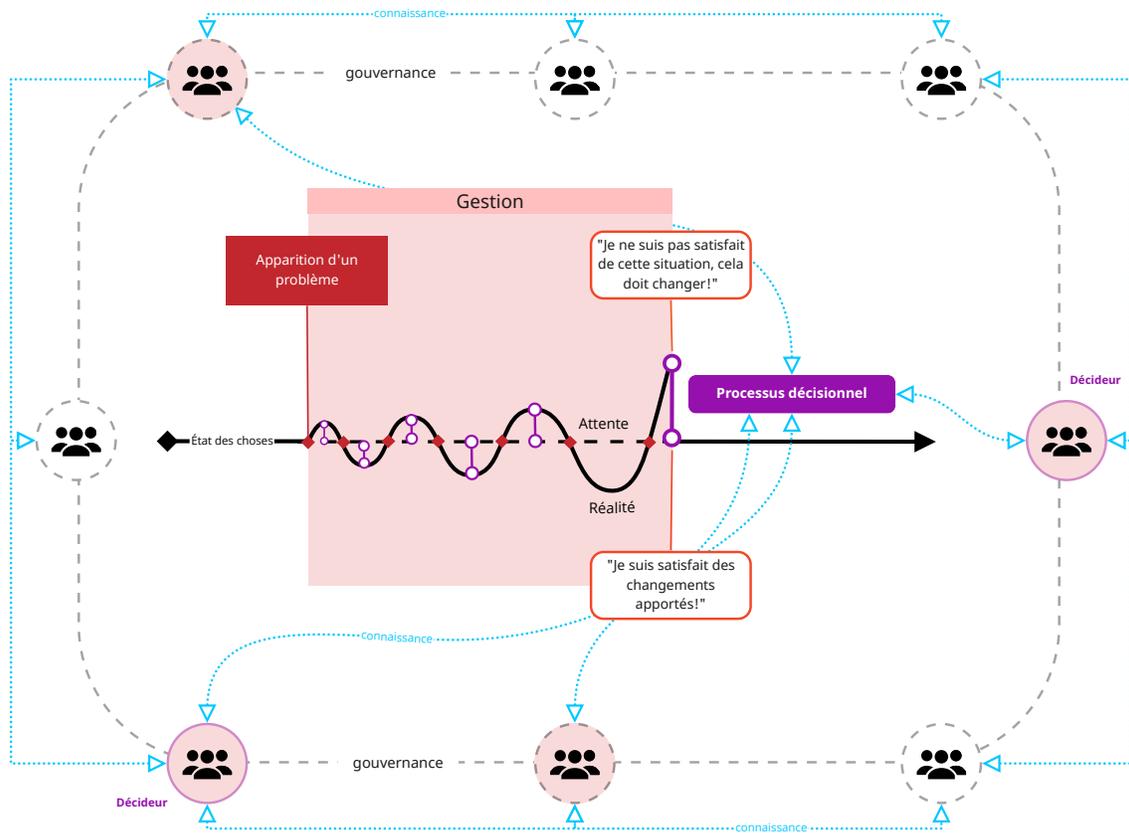


Figure 1.6 : Schématisation de la mécanique décisionnelle

#### 1.2.4 La rationalité, un concept au cœur de l'action

En fonction des intérêts de chacun, les acteurs adopteront certains comportements qui feront tourner les rouages dans une direction, dans une autre ou dans des directions contradictoires : ici réside le concept de rationalité. En une phrase, la rationalité cherche à comprendre le pourquoi d'une action (Eisenführ et coll., 2010; Tsoukiàs, 2008). Il existe une riche littérature sur la rationalité dont cette thèse ne fait qu'effleurer la surface.

Des théories de l'action en philosophie et en sociologie (voir note de bas de page 22 et 23 à la pg. 21) émerge le concept de rationalité qui prend deux directions distinctes (J. Evans, 2014; Hertwig, 2012; Mercer, 2005; Rysiew, 2008; H. A. Simon, 1986, 2001). Premièrement, on peut considérer que de la théorie de l'action en philosophie, émerge la rationalité *épistémologique* qui place la croyance — ce que l'on sait, croit, perçoit — au cœur de la décision. Celle-ci considère que toute décision est fondamentalement subjective, car dictée par une représentation du monde qui est propre à l'individu. Deuxièmement, de la théorie de l'action en sociologie,

émerge la rationalité *psychologique* qui décrit et modélise le raisonnement humain. On s'intéressera plus particulièrement au courant en sociologie et ce qui en découle en économie et en psychologie.

Max Weber (1921-1922), économiste et sociologue, considérait que les motivations de l'action humaine peuvent se regrouper en quatre catégories de base dont deux sont sociales (dictées en rapport aux autres) et deux sont rationnelles (dictées en fonction de soi). Les catégories sociales sont : l'action traditionnelle (actions dictées par les habitudes et la tradition) et l'action affective (actions dictées par l'impulsivité ou l'empathie). Les catégories rationnelles sont l'action rationnelle de valeurs (actions dictées par les valeurs de l'individu), et l'action rationnelle-instrumentale (actions dictées par la poursuite d'un objectif pouvant aller à l'encontre des valeurs de l'individu). Dans l'action rationnelle-instrumentale prend racine la rationalité instrumentale en économie, qui voit la rationalité comme la maximisation de l'utilité, c'est-à-dire le postulat qu'un individu recherche la solution optimale qui lui permet de maximiser son profit (Bolis et coll., 2017; G. Wheeler, 2020). La rationalité instrumentale, largement répandue au début du XX<sup>e</sup> siècle, est critiquée à partir des années 1950-60, car on réfute l'idée que l'individu soit seulement poussé par la recherche de son profit (Lea, 2001; Mellers, 2001). Plusieurs changements vont s'opérer ici.

Premièrement, dans le monde scientifique, Herbert A. Simon propose en 1957 une vision nouvelle de la rationalité, grâce à l'apport de la psychologie cognitive. L'auteur introduit la rationalité limitée, également appelée la rationalité cognitive (Petracca, 2017). Celle-ci repose sur le postulat que la décision est contrainte par 1) les limites cognitives de l'individu (complexité cognitive), 2) une connaissance imparfaite du problème à résoudre (incertitude) et 3) des contraintes de temps (Bendor, 2001). Ces trois éléments font que toute décision est biaisée et *de facto* non optimale, ce qui rejoint la rationalité épistémologique (voir Gigerenzer, 2016; Grothe-Hammer et coll., 2022; Köksalan et coll., 2016; Krabuanrat et Phelps, 1998; Meinard et Tsoukiàs, 2019; H. A. Simon, 1990, 1991, 1997; H. A. Simon et coll., 2008; Todd, 2001; G. Wheeler, 2020). Ici sont introduits les biais de satisfaction, c'est-à-dire le fait de choisir la première option qui répond minimalement à nos besoins sans chercher à en trouver une meilleure ; ou encore les heuristiques, soit un ensemble de règles ou mécanismes cognitifs qui font appel au vécu. En lien avec cette vision de la rationalité, Herbert A. Simon redessine les limites de la rationalité en deux formes (H. A. Simon, 2001) : 1) la rationalité procédurale, où l'action est rationnelle en raison du processus ayant mené au choix (rejoins la pensée en sociologie et psychologie). 2) La rationalité substantive, où l'action est rationnelle, car elle répond le mieux aux résultats attendus (correspond à la rationalité instrumentale en économie).

Deuxièmement, le monde de la pratique en urbanisme, en sciences politiques ou encore en sociologie, remet également en question la vision trop utilitaire et individuelle de la rationalité, qui n'explique pas les comportements vécus sur le terrain (Alexander, 1984). Poussés par le besoin de comprendre la prise de décision

dans une perspective collective et systémique plus proche du vécu dans la planification du territoire, ils se rapprochent — notamment sous l'impulsion de Jane Jacobs — des visions de la rationalité de Simon et de Webber (Goldsmith et Elizabeth, 2010, Chapitres 1 et 4; Gunder, 2015; Moroni, 2016). Plusieurs rationalités procédurales de la planification émergent : l'approche rationnelle-globale, l'approche incrémentale, l'approche transitive, l'approche communicative, l'approche de plaidoyer, l'approche d'équité, l'approche radicale et l'approche humaniste ou phénoménologique (voir Whittemore, 2015).

Dans cette recherche pour comprendre la rationalité à plus grande échelle (celle d'un système — entendu ici comme une société), Habermas (1988), philosophe et sociologue, prolonge la théorie de l'action de Webber en introduisant la théorie de l'action communicative. Il proposera deux formes de rationalité soit 1) le raisonnement communicatif émancipateur et 2) la pensée stratégique ou instrumentale (Schaefer et coll., 2013). Ainsi, l'action sociale communicative recherchera le consensus dans l'optique de favoriser la compréhension commune du monde qui nous entoure. Son inverse, l'action stratégique est une action rationnelle utilitaire qui est dictée par l'atteinte d'un objectif par la manipulation de l'autre (Andrews, 2017). Ce sont finalement deux avenues pour construire une compréhension commune du monde qui nous entoure, concept au cœur de la *Théorie de la vérité et de la connaissance* d'Habermas. Celle-ci stipule que la connaissance que l'on construit sur le monde qui nous entoure est avant tout la résultante d'un consensus et d'une manipulation entre les individus (Bohman et Rehg, 2017; Bruckmeier, 2016; Habermas, 1985, 1988, 2015). Ainsi, si cette connaissance dépend des individus en présence, elle est multiple et en mouvement, ce qui est un élément capital à considérer quand on cherche à aider à la prise de décision.

### **1.3 De l'environnant au comportement : émergence du *Social Mess* et du problème très vicieux**

On retiendra de l'introduction de la thèse et de son cadre conceptuel que la gouvernance de l'eau induit l'implication de multiples acteurs ayant chacun des valeurs et objectifs qui leur sont propres. Ici, on complète la compréhension du défi de mise en œuvre de la PSEP en ajoutant que les connaissances et perspectives d'un même problème sont multiples (Beers et coll., 2006), d'où l'émergence des comportements imprévisibles (White, 2020, Chapitre 1). En parallèle, la nature vicieuse des problèmes fait qu'on assiste à l'émergence de systèmes de problèmes complexes désordonnés (Ackoff, 1974, Chapitres 1 et 2). Dès lors, la résolution de problème repose sur une connaissance limitée, soit une construction et une représentation incomplète d'un monde en constante évolution (Haan et Heer, 2015). Pour compenser cette incertitude, on voit apparaître un paradoxe où les connaissances sont produites en immense quantité mais restent insuffisantes, car elles sont concentrées sur un problème et fragmentées entre les acteurs qui désirent démocratiser ou imposer leur représentation de l'état des choses (Pederneiras et coll., 2022).

Cet ajout permet de resituer le problème de la PSEP dans une perspective nouvelle et systémique. En effet, les municipalités et les acteurs de l'eau du Québec sont possiblement au milieu d'un *social mess* et sont potentiellement confrontés à un problème très vicieux. Le *social mess* est un concept parallèle au problème vicieux (Denzin et Lincoln, 2017), mais celui-ci semble davantage mettre l'accent sur l'environnement social comme un facteur aggravant la complexité du problème. Horn et Weber (2007) leur attribuent les caractéristiques suivantes :

- Il n'existe pas de vision unique et « correcte » du problème ; de ce fait,
- les solutions peuvent être contradictoires ;
- la plupart des problèmes sont liés à d'autres problèmes ;
- les données sont souvent inadéquates ou manquantes ;
- les conflits de valeurs sont multiples ;
- il existe des contraintes idéologiques et culturelles ;
- il existe des contraintes politiques ;
- il existe des contraintes économiques ;
- l'atteinte d'un compromis entre tous les acteurs est apparemment impossible (Quentin Grafton, 2017) ;
- des différends existent entre les acteurs sur les preuves et les connaissances disponibles et nécessaires pour prendre les décisions (Quentin Grafton, 2017) ; ainsi,
- la réflexion (rationalité) est souvent alogique, illogique ou à valeurs multiples ;
- les solutions peuvent aborder le problème dans n'importe quel angle ;
- les conséquences d'une action sont difficiles à imaginer ;
- il existe une grande incertitude, ambiguïté ;
- il existe une grande résistance au changement ; et,
- le ou les individus qui résolvent les problèmes ne sont pas nécessairement en contact avec les problèmes et les solutions potentiels.

Les problèmes très vicieux sont des problèmes vicieux auxquels s'ajoutent les caractéristiques suivantes (Levin et coll., 2012) :

- Ceux qui cherchent à résoudre le problème en sont souvent la cause ;
- il n'existe pas d'autorité qui contrôle les solutions mises en œuvre ;
- il existe un sentiment d'urgence à agir ; alors que,
- les politiciens font abstraction de l'avenir de manière irrationnelle.

### **1.3 Conclusion**

Ainsi, le défi organisationnel à l'action pour protéger l'eau réside dans une décision entravée par des défis en cascade issus de la nature très complexe du problème à résoudre, du système mis en place pour le résoudre et de la réaction des acteurs du système qui doivent y faire face tel que présenté à la Figure 1.3 (pg.22).

On identifie donc des difficultés à comprendre le problème vécu 1) parce que la connaissance est subjective, 2) la nature des problèmes comporte des inconnues, 3) l'humain à des limites cognitives qui ne lui permettent pas

de comprendre pleinement les problèmes et 4) parce que cette compréhension est limitée par des enjeux interpersonnels entre les acteurs en présence pour résoudre ces problèmes, ce qui au final complique le partage des connaissances acquises nécessaire à la résolution des problèmes.

## 1.4 Bibliographie

- Ackoff, R. L. (1974). *Redesigning the future: A systems approach to societal problems*. New York, Wiley.  
<http://archive.org/details/redesigningfutur00russ>
- Akhmouch, A., & Clavreul, D. (2016). Stakeholder Engagement for Inclusive Water Governance: “Practicing What We Preach” with the OECD Water Governance Initiative. *Water*, 8(5), 204.  
<https://doi.org/10/f8sjkc>
- Alexander, E. R. (1984). After Rationality, What? A Review of Responses to Paradigm Breakdown. *Journal of the American Planning Association*, 50(1), 62–69. <https://doi.org/10.1080/01944368408976582>
- Andrews, C. J. (2017). Rationality in Policy Decision Making. In *Handbook of Public Policy Analysis* (pp. 187–198). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315093192-22>
- Armitage, D., de Loë, R. C., Morris, M., Edwards, T. W. D., Gerlak, A. K., Hall, R. I., Huitema, D., Ison, R., Livingstone, D., MacDonald, G., Mirumachi, N., Plummer, R., & Wolfe, B. B. (2015). Science–policy processes for transboundary water governance. *Ambio*, 44(5), 353–366. <https://doi.org/10/ghz726>
- Aubin, D. (2007). Les réformes vers une gestion intégrée de l'eau en Europe: Un exemple à suivre pour le Québec ? *Politique et Sociétés*, 26(2–3), 143. <https://doi.org/10/ggtst2>
- Bakker, K., & Cook, C. (2011). Water Governance in Canada: Innovation and Fragmentation. *International Journal of Water Resources Development*, 27(2), 275–289. <https://doi.org/10/d38g95>
- Bakker, K. J. (Ed.). (2007). *Eau Canada: The future of Canada's water*. UBC Press.
- Barrotta, P., & Montuschi, E. (2018). Expertise, Relevance and Types of Knowledge. *Social Epistemology*, 32(6), 387–396. <https://doi.org/10.1080/02691728.2018.1546345>
- Beers, P. J., Boshuizen, H. P. A., Kirschner, P. A., & Gijssels, W. H. (2006). Common Ground, Complex Problems and Decision Making. *Group Decision and Negotiation*, 15(6), 529–556.  
<https://doi.org/10/b8ts4w>
- Behmel, S. (2018). *INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM TO OPTIMIZE, MANAGE AND PLAN WATER QUALITY MONITORING PROGRAMS BASED ON A PARTICIPATIVE APPROACH* [PhD Thesis]. Université Laval.
- Bendor, J. (2001). Bounded Rationality. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 1303–1307). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01100-1>
- Benson, D., & Jordan, A. (2010). The Scaling of Water Governance Tasks: A Comparative Federal Analysis of the European Union and Australia. *Environmental Management*, 46(1), 7–16.  
<https://doi.org/10/c8skqz>
- Bernstein, J. H. (2011). The Data-Information-Knowledge-Wisdom Hierarchy and its Antithesis. *NASKO*, 2(1).  
<https://doi.org/10/ggtsvf>
- Bevir, M. (2012). *Governance: A very short introduction*. Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/actrade/9780199606412.001.0001>
- Bohman, J., & Rehg, W. (2017). Jürgen Habermas. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2017). Metaphysics Research Lab, Stanford University.  
<https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/habermas/>
- Bolis, I., Morioka, S. N., & Sznclwar, L. I. (2017). Are we making decisions in a sustainable way? A comprehensive literature review about rationalities for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 145, 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.025>
- Bolland, E. J., & Lopes, C. J. (2018). *Decision Making and Business Performance*. Edward Elgar Publishing. Cheltenham, Gloucestershire, UK.

- Boudon, R. (2001). Action, Theories of Social. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 54–58). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01819-2>
- Boudon, R. (2003). Beyond Rational Choice Theory. *Annual Review of Sociology*, 29(1), 1–21. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.29.010202.100213>
- Boyer, D. (2005). Visiting knowledge in anthropology: An introduction. *Ethnos*, 70(2), 141–148. <https://doi.org/10.1080/00141840500141097>
- Bruckmeier, K. (2016). *Social-Ecological Transformation*. Palgrave Macmillan UK. <https://doi.org/10.1057/978-1-137-43828-7>
- Brun, A., & Lasserre, F. (2010). Politique nationale de l'eau au Québec: Constat et perspectives. [Vertigo] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 7. <https://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2015-v15-n3-vertigo3897/044524ar/>
- Carr, A. (1997). Organisation Theory and Postmodern Thinking: The uncertain place of Human Agency. *Policy, Organisation and Society*, 13(1), 82–104. <https://doi.org/10.1080/10349952.1997.11876660>
- Chaffin, B. C., Garmestani, A. S., Gosnell, H., & Craig, R. K. (2016). Institutional networks and adaptive water governance in the Klamath River Basin, USA. *Environmental Science & Policy*, 57, 112–121. <https://doi.org/10/f79wkh>
- Chakravarthy, B. S., & White, R. E. (2002). *9 Strategy Process: Forming, Implementing and Changing Strategies*.
- Chaloux, A., Simard, P., & Sfiligoi, E. (2021). Le Québec et la coopération climatique internationale: Nouvelle stratégie paradiplomatique d'un gouvernement non central. *Vertigo*, Volume 21 numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.31529>
- Choquette, C., & Létourneau, A. (Eds.). (2008). *Vers une gouvernance de l'eau au Québec*. Éditions MultiMondes.
- Coget, J.-F., Haag, C., & Bonnefous, A.-M. (2009). Le rôle de l'émotion dans la prise de décision intuitive: Zoom sur les réalisateurs-décideurs en période de tournage. *M@n@gement*, 12(2), 118–141. <https://doi.org/10.3917/mana.122.0118>
- Cohen, E. (2010). Anthropology of knowledge. *The Journal of the Royal Anthropological Institute*, 16, S193–S202.
- Cyr-Gagnon, J. (2017). *Développement d'une méthodologie afin d'intégrer et de valoriser l'information spatio-temporelle sur la qualité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant. Un exemple d'application à la protection des sources d'eau potable* [Master Thesis]. Université Laval.
- D. Pooley, J. (2016). Sociology of Knowledge. In K. B. Jensen, E. W. Rothenbuhler, J. D. Pooley, & R. T. Craig (Eds.), *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy* (1st ed., pp. 1–8). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect209>
- Daft, R. L. (2010). *Organization theory and design* (10th ed). South-Western Cengage Learning.
- Dagenais, G. (2016). *Analyse stratégique de la gouvernance de l'eau en milieu agricole: Normes, acteurs, enjeux, stratégies* [Mémoire accepté, Université du Québec à Montréal]. <https://archipel.uqam.ca/11750/>
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2017). *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. SAGE Publications.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. D.C.HEATH & CO., PUBLISHERS. <http://archive.org/details/howwethink000838mbp>
- Dunn, G., Bakker, K., & Harris, L. (2014). Drinking Water Quality Guidelines across Canadian Provinces and Territories: Jurisdictional Variation in the Context of Decentralized Water Governance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), 4634–4651. <https://doi.org/10/f56rqs>
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin*, 51(4), 380–417. <https://doi.org/10.1037/h0053870>
- Eilertsen, S. (2005). *Modes of Organizational Learning*. 7.
- Eilon, S. (1969). What is a Decision? *Management Science*, 16(4), B-172-B-189. <https://doi.org/10/dgp7r4>
- Eisenführ, F., Weber, M., & Langer, T. (2010). *Rational decision making*. Springer.

- Eizenberg, E. (2019). Patterns of self-organization in the context of urban planning: Reconsidering venues of participation. *Planning Theory*, 18(1), 40–57. <https://doi.org/10.1177/1473095218764225>
- Emond, N. (2015). La gestion intégrée de la ressource-eau au Québec: Prolégomènes sur les mutations et la fixité de l'espace institutionnel. *Recherches Sociographiques*, 56(2–3), 353–379. <https://doi.org/10/ggp6w2>
- Evans, J. (2014). Rationality and the illusion of choice. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2014.00104>
- Evans, J. St. B. T., Over, D. E., & Manktelow, K. I. (1993). Reasoning, decision making and rationality. *Cognition*, 49(1), 165–187. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(93\)90039-X](https://doi.org/10.1016/0010-0277(93)90039-X)
- Ferrier, J. F. (1854). *The theory of knowing and being*.
- Foster, S., & Gun, J. van der. (2016). Groundwater Governance: Key challenges in applying the Global Framework for Action. *Hydrogeology Journal*, 24(4), 749–752. <https://doi.org/10/ggtsv8>
- French, S., Maule, J., & Papamichail, N. (2009). *Decision Behaviour, Analysis and Support* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511609947>
- Gigerenzer, G. (2016). Towards a Rational Theory of Heuristics. In R. Frantz & L. Marsh (Eds.), *Minds, Models and Milieux: Commemorating the Centennial of the Birth of Herbert Simon* (pp. 34–59). Palgrave Macmillan UK. [https://doi.org/10.1057/9781137442505\\_3](https://doi.org/10.1057/9781137442505_3)
- Gilles, D. (2010). Aménager, canaliser, encadrer juridiquement les rivières du Québec: Le poids de l'histoire ? *Les Cahiers de droit*, 51(3–4), 923–945. <https://doi.org/10.7202/045739ar>
- Girard, J.-F. (2014). *Une revue de la jurisprudence*. 15e rendez-vous des OBV, Saint-Jean-sur-Richelieu (QC), Canada.
- Goldsmith, S. A., & Elizabeth, L. (Eds.). (2010). *What We See: Advancing the Observations of Jane Jacobs*. New Village Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt21pxmnw>
- Goodwin, M. (2009). Governance. In *International Encyclopedia of Human Geography* (pp. 593–599). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00782-3>
- Grothe-Hammer, M., Berkowitz, H., & Berthod, O. (2022). Decisional organization theory: Towards an integrated framework of organization. In *Research Handbook on the Sociology of Organizations* (pp. 30–53). Edward Elgar Publishing. <https://www.elgaronline.com/view/book/9781839103261/book-part-9781839103261-11.xml>
- Gunder, M. (2015). Critical Planning Theory. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 255–260). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.74026-8>
- Haan, A. de, & Heer, P. de. (2015). *Solving Complex Problems: Professional Group Decision-Making Support in Highly Complex Situations*. Eleven International Publishing.
- Habermas, J. (1985). *The Theory of Communicative Action: Volume 2: Lifeworld and System: A Critique of Functionalist Reason*. Beacon Press.
- Habermas, J. (1988). *Theory and Practice*. Beacon Press.
- Habermas, J. (2015). *Knowledge and Human Interests*. John Wiley & Sons.
- Harris, M. (Ed.). (2007). *Ways of knowing: Anthropological approaches to crafting experience and knowledge*. Berghahn Books.
- Hassenforder, E., & Barone, S. (2019). Institutional arrangements for water governance. *International Journal of Water Resources Development*, 35(5), 783–807. <https://doi.org/10.1080/07900627.2018.1431526>
- Hastrup, K. (2004). Getting it right: Knowledge and evidence in anthropology. *Anthropological Theory*, 4(4), 455–472. <https://doi.org/10.1177/1463499604047921>
- Hatch, M. J. (2018). *Organization Theory: Modern, Symbolic, and Postmodern Perspectives*. Oxford University Press.
- Hertwig, R. (2012). The psychology and rationality of decisions from experience. *Synthese*, 187(1), 269–292. <https://doi.org/10.1007/s11229-011-0024-4>
- Horn, R. E., & Weber, R. P. (2007). *New Tools For Resolving Wicked Problems: Mess Mapping and Resolution Mapping Processes* (p. 31). MacroVU(r), Inc. & Strategy Kinetics L.L.C. [https://www.strategykinetics.com/New\\_Tools\\_For\\_Resolving\\_Wicked\\_Problems.pdf](https://www.strategykinetics.com/New_Tools_For_Resolving_Wicked_Problems.pdf)

- Huitema, D., Mostert, E., Egas, W., Moellenkamp, S., Pahl-Wostl, C., & Yalcin, R. (2009). Adaptive Water Governance: Assessing the Institutional Prescriptions of Adaptive (Co-)Management from a Governance Perspective and Defining a Research Agenda. *Ecology and Society*, 14(1), art26. <https://doi.org/10.5751/ES-02827-140126>
- Josephides, L. (2020). *Knowledge and Ethics in Anthropology: Obligations and Requirements*. Routledge.
- Jung, D. (2018). *Quelles nouveautés en droit de l'environnement ?* Droit-Inc. <https://www.droit-inc.com/article22565-Quelles-nouveautes-en-droit-de-l-environnement>
- Keane, M. P., & Thorp, S. (2016). Chapter 11 - Complex Decision Making: The Roles of Cognitive Limitations, Cognitive Decline, and Aging. In J. Piggott & A. Woodland (Eds.), *Handbook of the Economics of Population Aging* (Vol. 1, pp. 661–709). North-Holland. <https://doi.org/10.1016/bs.hespa.2016.09.001>
- Kelley, K. W., Feldman, S. S., & Gravely, S. D. (2016). Engaging and Sustaining Stakeholders. In *Health Information Exchange* (pp. 59–76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803135-3.00004-9>
- Klein, G. (2007). *The Power of Intuition: How to Use Your Gut Feelings to Make Better Decisions at Work*. Crown.
- Köksalan, M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2016). An Early History of Multiple Criteria Decision Making. In S. Greco, M. Ehrgott, & J. R. Figueira (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis* (Vol. 233, pp. 3–17). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_1)
- Koliba, C., Gerrits, L., Rhodes, M. L., & Meek, J. W. (2022). Complexity theory and systems analysis. *Handbook on Theories of Governance*, 389–406.
- Krabuanrat, K., & Phelps, R. (1998). Heuristics and rationality in strategic decision making: An exploratory study. *Journal of Business Research*, 41(1), 83–93. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(97\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(97)00014-3)
- Kuzdas, C., Wiek, A., Warner, B., Vignola, R., & Morataya, R. (2015). Integrated and Participatory Analysis of Water Governance Regimes: The Case of the Costa Rican Dry Tropics. *World Development*, 66, 254–268. <https://doi.org/10/ggf9qn>
- Lalika, M. C. S., Meire, P., & Ngaga, Y. M. (2015). Exploring watershed conservation and water governance along Pangani River Basin, Tanzania. *Land Use Policy*, 48, 351–361. <https://doi.org/10/f7tx5>
- Lavoie, R. (2013). *Stratégies pour faciliter l'intégration de l'eau souterraine dans la prise de décision en aménagement du territoire* [PhD Thesis]. Université Laval.
- Lea, S. E. G. (2001). Decision and Choice: Economic Psychology. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 3284–3286). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00628-8>
- Lhébel-Péron, A., Sidawy, P., Dounias, E., & Schatz, B. (2016). Attuning local and scientific knowledge in the context of global change: The case of heather honey production in southern France. *Journal of Rural Studies*, 44, 132–142. <https://doi.org/10/ggf9qg>
- Levin, K., Cashore, B., Bernstein, S., & Auld, G. (2012). Overcoming the tragedy of super wicked problems: Constraining our future selves to ameliorate global climate change. *Policy Sciences*, 45(2), 123–152. <https://doi.org/10.1007/s11077-012-9151-0>
- Li, W., & Puppim de Oliveira, J. A. (2021). Environmental governance for sustainable development in Asia. *Journal of Environmental Management*, 290, 112622. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112622>
- Liebowitz, J., & Megbolugbe, I. (2003). A set of frameworks to aid the project manager in conceptualizing and implementing knowledge management initiatives. *International Journal of Project Management*, 21(3), 189–198. <https://doi.org/10/dp847k>
- Lillo, A., & Nadeau, R. (2020). La conception du territoire par la gouvernance environnementale et le droit constitutionnel: Un examen de leur compatibilité à travers l'exemple du bassin versant. *Les Cahiers de droit*, 61(1), 141–192. <https://doi.org/10.7202/1068784ar>
- Loiselle, V. (2009). *À qui appartient l'or bleu? : La problématique du droit à la propriété de l'eau au Québec et dans le monde*. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/20574>
- Lynch, T. D. (2020). *Organization Theory and Management*. Routledge.
- Maguire, S., Mckelvey, B., Mirabeau, L., & Oztas, N. (2006). Complexity science and organization studies. In S. R. Clegg, C. Hardy, T. B. Lawrence, & W. R. Nord (Eds.), *The Sage Handbook of Organization Studies* (Sage, pp. 165–214).

- Manson, S. M. (2001). Simplifying complexity: A review of complexity theory. *Geoforum*, 32(3), 405–414. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(00\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(00)00035-X)
- Markkula, I., Turunen, M. T., & Kantola, S. (2019). Traditional and local knowledge in land use planning: Insights into the use of the Akwé: Kon Guidelines in Eanodat, Finnish Sápmi. *Ecology and Society*, 24(1). <https://doi.org/10/ggt7bf>
- McGregor, D. (2012). Traditional Knowledge: Considerations for Protecting Water in Ontario. *International Indigenous Policy Journal*, 3(3). <https://doi.org/10/ggt696>
- McKenna, R. J., & Martin-Smith, B. (2005). Decision making as a simplification process: New conceptual perspectives. *Management Decision*, 43(6), 821–836. <https://doi.org/10/fv9kmv>
- Medema, W., Adamowski, J., Orr, C., Furber, A., Wals, A., & Milot, N. (2017). Building a Foundation for Knowledge Co-Creation in Collaborative Water Governance: Dimensions of Stakeholder Networks Facilitated through Bridging Organizations. *Water*, 9(1), 60. <https://doi.org/10/ggg989>
- Medema, W., Adamowski, J., Orr, C. J., Wals, A., & Milot, N. (2015). Towards sustainable water governance: Examining water governance issues in Québec through the lens of multi-loop social learning. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 40(4), 373–391. <https://doi.org/10/ggg982>
- Meinard, Y., & Tsoukiàs, A. (2019). On the rationality of decision aiding processes. *European Journal of Operational Research*, 273(3), 1074–1084. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.09.009>
- Meinard, Y., & Tsoukiàs, A. (2022). What is Legitimate Decision Support? *ArXiv:2201.12071 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/2201.12071>
- Mellers, B. A. (2001). Decision Research: Behavioral. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 3318–3323). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00626-4>
- Mendoza, M., & Gutiérrez-Peña, E. (2010). Decision Theory. In P. Peterson, E. Baker, & B. McGaw (Eds.), *International Encyclopedia of Education (Third Edition)* (pp. 119–124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.01319-1>
- Mercer, J. (2005). Rationality and Psychology in International Politics. *International Organization*, 59(1), 77–106.
- Mintzberg, H., Raisinghani, D., & Théorêt, A. (1976). The Structure of “Unstructured” Decision Processes. *Administrative Science Quarterly*, 21(2), 246–275. <https://doi.org/10/b2t8ks>
- Mintzberg, H., & Westley, F. (2001). Decision making: It’s not what you think. *MIT Sloan Management Review*, 42, 89–93.
- Mora, M., Forgionne, G., Gupta, J., Cervantes, F., & Gelman, O. (2003). A Framework to Assess Intelligent Decision-Making Support Systems. In V. Palade, R. J. Howlett, & L. Jain (Eds.), *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems* (pp. 59–65). Springer. <https://doi.org/10/ffpjk3>
- Moroni, S. (2016). Urban density after Jane Jacobs: The crucial role of diversity and emergence. *City, Territory and Architecture*, 3(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40410-016-0041-1>
- Motard, G. (2021). Regards croisés entre le droit innu et le droit québécois: Territorialités en conflit. *McGill Law Journal*, 65(3), 421–465. <https://doi.org/10.7202/1075598ar>
- Mungiu-Pippidi, A. (2015). Corruption: Political and Public Aspects. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 12–20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.75005-7>
- Muñoz-Erickson, T. A., Campbell, L. K., Childers, D. L., Grove, J. M., Iwaniec, D. M., Pickett, S. T. A., Romolini, M., & Svendsen, E. S. (2016). Demystifying governance and its role for transitions in urban social–ecological systems. *Ecosphere*, 7(11). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1564>
- Murphy, G. (1929). *An historical introduction to modern psychology*. Harcourt, Brace. <https://doi.org/10.1037/10600-000>
- Orr, C. J., Adamowski, J. F., Medema, W., & Milot, N. (2016). A multi-level perspective on the legitimacy of collaborative water governance in Québec. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 41(3), 353–371. <https://doi.org/10/ggg988>

- Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., & Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes: The Management and Transition Framework. *Special Issue: Water Governance in Times of Change*, 13(7), 571–581. <https://doi.org/10/dxh49g>
- Pahl-Wostl, C., Knieper, C., Lukat, E., Meergans, F., Schoderer, M., Schütze, N., Schweigatz, D., Dombrowsky, I., Lenschow, A., Stein, U., Thiel, A., Tröltzsch, J., & Vidaurre, R. (2020). Enhancing the capacity of water governance to deal with complex management challenges: A framework of analysis. *Environmental Science & Policy*, 107, 23–35. <https://doi.org/10/ghs6g6>
- Pahl-Wostl, C., Lebel, L., Knieper, C., & Nikitina, E. (2012). From applying panaceas to mastering complexity: Toward adaptive water governance in river basins. *Environmental Science & Policy*, 23, 24–34. <https://doi.org/10/f4cqd5>
- Pederneiras, Y. M., Meckenstock, J., Carvalho, A. I. C., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2022). The wicked problem of sustainable development in supply chains. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 46–58. <https://doi.org/10.1002/bse.2873>
- Petracca, E. (2017). A cognition paradigm clash: Simon, situated cognition and the interpretation of bounded rationality. *Journal of Economic Methodology*, 24(1), 20–40. <https://doi.org/10.1080/1350178X.2017.1279742>
- Phillips-Wren, G., Mora, M., Forgionne, G. A., & Gupta, J. N. D. (2009). An integrative evaluation framework for intelligent decision support systems. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 642–652. <https://doi.org/10/ccq54w>
- Pomerol, J.-C., & Adam, F. (2004). *Practical Decision Making—From the Legacy of Herbert Simon to Decision Support Systems*.
- Prawat, R. S., & Floden, R. E. (1994). Philosophical perspectives on constructivist views of learning. *Educational Psychologist*, 29(1), 37–48. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep2901\\_4](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2901_4)
- Proctor, T. (2018). *Creative Problem Solving for Managers: Developing Skills for Decision Making and Innovation*. Routledge.
- Quentin Grafton, R. (2017). Responding to the ‘Wicked Problem’ of Water Insecurity. *Water Resources Management*, 31(10), 3023–3041. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1606-9>
- Rainer, R. K., & Prince, B. (2021). *Introduction to Information Systems*. John Wiley & Sons.
- Reid, T. (1788). *Essays on the Active Powers of Man*. John Bell, and G.G.J. & J. Robinson.
- Renn, J. (2020). *The Evolution of Knowledge: Rethinking Science for the Anthropocene*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9780691185675>
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155–169.
- Rysiew, P. (2008). Rationality Disputes—Psychology and Epistemology. *Philosophy Compass*, 3(6), 1153–1176. <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2008.00178.x>
- Schaefer, M., Heinze, H.-J., Rotte, M., & Denke, C. (2013). Communicative versus Strategic Rationality: Habermas Theory of Communicative Action and the Social Brain. *PLoS ONE*, 8(5), e65111. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065111>
- Scharfman, J. (2015). Trends and Future Developments. In *Hedge Fund Governance* (pp. 345–356). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801412-7.00012-9>
- Schuppert, G. F. (2015). Governance. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 292–300). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.75020-3>
- Sen, A. (1977). Social Choice Theory: A Re-Examination. *Econometrica*, 45(1), 53–89. <https://doi.org/10.2307/1913287>
- Serrat-Capdevila, A., Valdés, J. B., Gupta, H. V., & Schneier-Madanes, G. (2014). Water Governance Tools: The Role of Science and Decision Support Systems in Participatory Management. In G. Schneier-Madanes (Ed.), *Globalized Water* (pp. 241–259). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7323-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7323-3_17)
- Simon, H. A. (1960). *The new science of management decision*. Harper & Brothers. <https://doi.org/10.1037/13978-000>

- Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.
- Simon, H. A. (1977a). *The new science of management decision* (rev. ed). Prentice-Hall.
- Simon, H. A. (1977b). *The sciences of the artificial* (3. ed., [First in 1960]). MIT Press.
- Simon, H. A. (1986). Rationality in Psychology and Economics. *The Journal of Business*, 59(4), S209–S224.
- Simon, H. A. (1990). Bounded Rationality. In J. Eatwell, M. Milgate, & P. Newman (Eds.), *Utility and Probability* (pp. 15–18). Palgrave Macmillan UK. [https://doi.org/10.1007/978-1-349-20568-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-349-20568-4_5)
- Simon, H. A. (1991). Bounded Rationality and Organizational Learning. *Organization Science*, 2(1), 125–134. <https://doi.org/10/cv7d6g>
- Simon, H. A. (1997). *Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations* (4th ed). Free Press.
- Simon, H. A. (2001). Rationality in Society. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 12782–12786). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01953-7>
- Simon, H. A., Egidi, M., & Marris, R. (Eds.). (2008). *Economics, bounded rationality, and the cognitive revolution* (Paperback ed). Edward Elgar.
- Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007). A Leader's Framework for Decision Making. *Harvard Business Review*, 10.
- Spaa, A., Spencer, N., Durrant, A., & Vines, J. (2022). Creative and collaborative reflective thinking to support policy deliberation and decision making. *Evidence & Policy*, 18(2), 376–390. <https://doi.org/10.1332/174426421X16474564583952>
- Stacey, R. D., & Mowles, C. (2015). *Strategic Management and Organisational Dynamics* (7th edition). Pearson.
- Stark, W. (1991). *The sociology of knowledge: Toward a deeper understanding of the history of ideas*. Transaction Publishers.
- Stoker, P., Albrecht, T., Follingstad, G., & Carlson, E. (2022). Integrating Land Use Planning and Water Management in U.S. Cities: A Literature Review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/1752-1688.13022>
- Sylvestre, É., & Dorner, S. (2017). Protection des sources d'eau potable de surface: Quel est le cadre juridique québécois en place ? *Vecteur environnement*, 4.
- Todd, P. M. (2001). Heuristics for Decision and Choice. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 6676–6679). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00629-X>
- Tosey, P., Visser, M., & Saunders, M. N. (2012). The origins and conceptualizations of 'triple-loop' learning: A critical review. *Management Learning*, 43(3), 291–307. <https://doi.org/10.1177/1350507611426239>
- Tremblay, H., & Halley, P. (2008). Le droit de l'eau potable au Québec. *Les Cahiers de Droit*, 49(3), 333–391. <https://doi.org/10/ggn6gm>
- Trudelle, J. (2014). *La servitude de conservation et la protection durable des milieux naturels au Québec: Constats et recommandations* [Master Thesis]. Université de Sherbrooke.
- Tsoukiàs, A. (2008). From decision theory to decision aiding methodology. *European Journal of Operational Research*, 187(1), 138–161. <https://doi.org/10/fgr2pg>
- Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2010). *Decision support and business intelligence systems* (9th ed). Prentice Hall.
- Uhl-Bien, M., & Marion, R. (2007). *Complexity Leadership: Part 1: Conceptual Foundations*. IAP.
- Vescovi, L. (2010). *Gestion durable des ressources en eau au Québec: Les défis de l'intégration et les enjeux de recherche associés*. Conseil de la Science et de la technologie. <http://www.deslibris.ca/ID/226042>
- Vygotskij, L. S. (1981). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (Nachdr.). Harvard Univ. Press. Cambridge, MA, USA.
- Waylen, K., Blackstock, K., Tindale, S., & Juárez-Bourke, A. (2019). Governing Integration: Insights from Integrating Implementation of European Water Policies. *Water*, 11(3), 598. <https://doi.org/10.3390/w11030598>

- Weber, M. (2022). Types of Social Action. In *Theories of Social Order* (pp. 23–25). Stanford University Press. <https://doi.org/10.1515/9781503627116-006>
- Weiss, J. A. (1982). Coping with Complexity: An Experimental Study of Public Policy Decision-Making. *Journal of Policy Analysis and Management*, 2(1), 66. <https://doi.org/10/dffv7>
- Wheeler, G. (2020). Bounded Rationality. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2020). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/bounded-rationality/>
- Wheeler, H. C., & Root-Bernstein, M. (2020). Informing decision-making with Indigenous and local knowledge and science. *Journal of Applied Ecology*, 57(9), 1634–1643. <https://doi.org/10/gg97kg>
- White, B. E. (2020). *Toward Solving Complex Human Problems: Techniques for Increasing Our Understanding of What Matters in Doing So*. CRC Press.
- Whittemore, A. H. (2015). Practitioners Theorize, Too: Reaffirming Planning Theory in a Survey of Practitioners' Theories. *Journal of Planning Education and Research*, 35(1), 76–85. <https://doi.org/10.1177/0739456X14563144>
- WHO. (2022). *Drinking-water* [International Organization]. WHO Fact Sheet on Water: Key Facts, Access to Water, Water and Health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Witte, E. (1972). Field Research on Complex Decision-Making Processes – The Phase Theorem. *International Studies of Management & Organization*, 2(2), 156–182. <https://doi.org/10/ggtsth>
- Wuijts, S., Claessens, J., Farrow, L., Doody, D. G., Klages, S., Christophoridis, C., Cvejić, R., Glavan, M., Nesheim, I., Platjouw, F., Wright, I., Rowbottom, J., Graversgaard, M., van den Brink, C., Leitão, I., Ferreira, A., & Boekhold, S. (2021). Protection of drinking water resources from agricultural pressures: Effectiveness of EU regulations in the context of local realities. *Journal of Environmental Management*, 287, 112270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112270>
- Zhang, D., Zhou, L., & Jr, J. F. N. (2002). A Knowledge Management Framework for the Support of Decision Making in Humanitarian Assistance/Disaster Relief. *Knowledge and Information Systems*, 4(3), 370–385. <https://doi.org/10/dc7tmq>

## Chapitre 2:

# Mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable : Portrait-diagnostic au Québec, Canada<sup>34</sup>

**Avant-propos.** Dans le premier chapitre qui explorait la prise de décision dans une perspective très théorique, des liens entre l'environnement, l'individu, la décision et le rôle de la connaissance dans cet ensemble ont été mis en lumière. Le chapitre 2 explore ces dimensions (environnement-individus-décision-connaissances) en pratique dans le cas d'étude, soit le Québec au Canada. Il cherche à mieux comprendre comment la mécanique décisionnelle (Figure 1.6, pg. 31) se cristallise sur le terrain et quels sont les défis qui émergent, notamment ceux axés sur la création et la circulation des connaissances, conformément à l'objectif de cette thèse.

### 2.a Résumé

Au Canada, l'approche à barrières multiples permet une gestion multidimensionnelle de l'eau à l'aide d'outils et de pratiques permettant d'assurer une eau de qualité, de la source (lac, rivière, etc.) au robinet des citoyens. Une de ces barrières, la protection des sources d'eau potable (PSEP), cherche à anticiper ou à réduire les risques naturels et anthropiques qui pourraient altérer les sources. Cependant, la mise en œuvre de la PSEP impose d'acquérir des connaissances multidisciplinaires portant sur la qualité, la quantité de l'eau et sur les composantes naturelles et socio-économiques du territoire. Dans l'optique de mieux comprendre la mise en œuvre de la PSEP au Québec, cet article vise à brosser un portrait-diagnostic permettant d'identifier le processus décisionnel servant à la mise en œuvre de la PSEP, ses intervenants et les connaissances produites et mobilisées pour la prise de décision. Ce portrait se base sur une enquête en ligne réalisée entre novembre 2018 et mars 2019 à laquelle ont participé 208 intervenants liés à la PSEP au Québec. Les analyses qualitatives et quantitatives ont permis de constater que la mise en œuvre de la PSEP implique une grande diversité d'intervenants, de tâches et de connaissances créées et se caractérise par un fort dynamisme inter-organisationnel. Cependant, on constate que son processus décisionnel perd en inclusivité au fil des étapes de mise en œuvre, que les connaissances sont parfois redondantes et qu'il existe de nombreux enjeux de transfert de connaissances (accès, quantité ou qualité des connaissances) entre les intervenants.

**Mots-clés :** transfert de connaissances, protection des sources d'eau potable, aménagement du territoire, enquête qualitative et quantitative, prise de décision

---

<sup>34</sup> Jérôme Cerutti, Irène Abi-Zeid, Roxane Lavoie et Manuel J. Rodriguez, « Mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable : Portrait-diagnostic au Québec, Canada », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 21 numéro 1 | mai 2021, mis en ligne le 17 mai 2021, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/31489> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.31489>

## 2.b Abstract

In Canada, the multi-barrier approach allows for a multi-dimensional water management, using tools and practices to ensure safe water, from source (lake, river, etc.) to citizens' taps. As one of these barriers, source water protection (SWP) seeks to anticipate or reduce natural and anthropogenic risks that could alter the sources. In this context, the Government of Quebec has adopted the Water Withdrawal and Protection Regulation (WWPR), which reinforces SWP in Quebec. However, the implementation of the WWPR implies the development of action plans that require the acquisition of a multidisciplinary knowledge on water quality, quantity and on the natural and socio-economic components of the territory. This paper aims at providing a diagnostic portrait of the implementation of SWP in Quebec, to identify the decision-making process, its stakeholders, and the knowledge generated and mobilized for decision-making. This portrait is based on an online survey conducted between November 2018 and March 2019. The qualitative and quantitative analyses of 208 responses revealed that SWP implementation is currently characterized by a great diversity of the stakeholders involved, tasks and knowledge created, and a strong inter-organizational dynamism. However, it is noted its decision-making process becomes less inclusive as it moves through the implementation stages, that knowledge is sometimes redundant and that there are many knowledge transfer issues (access, quantity or quality of knowledge) between stakeholders.

**Keywords:** knowledge exchange, source water protection, land use planning, online survey, decision making

## 2.1 Introduction

L'eau est une ressource essentielle au fonctionnement des écosystèmes et aux besoins anthropiques (Baechler, 2012). Cependant, les activités anthropiques influencent sa pérennité, aussi bien en termes de qualité que de quantité (Conrad et coll., 2018; Mirauda et Ostoich, 2018; Sharma et coll., 2019). À travers l'objectif de développement durable (ODD) numéro 6 « eau propre et assainissement », l'ONU a établi des cibles ambitieuses qui représentent un idéal à atteindre pour préserver l'eau (International Initiative on Water Quality, 2016). Ces cibles concernent la prévention de la pollution et le recyclage de l'eau (cibles 6.3 et 6.6), l'utilisation efficace et durable de la ressource (cible 6.4), la gestion intégrée de l'eau (cible 6.5) ou encore le renforcement de la participation des acteurs locaux (cible 6.b).

Toutefois, l'atteinte de ces cibles dans une perspective de prise de décision comporte certains défis. En effet, la gestion de l'eau repose sur un cadre de gouvernance complexe (Ancil, 2017; Global Water Partnership, 2010). Celui-ci consiste en une superposition des cadres juridiques internationaux et nationaux faisant appel à de multiples outils législatifs sur différents objets de droit, tels que l'environnement et l'aménagement du territoire (Choquette et Létourneau, 2008; Comtois et Turgeon, 2011; Tremblay et Halley, 2008). De plus, la gestion de

l'eau demeure trop souvent liée aux limites territoriales politico-administratives qui dictent la légitimité d'action des acteurs, mais qui sont en décalage avec les limites naturelles de l'eau (Simon et Schiemer, 2015).

Ce faisant, la gestion de l'eau et sa protection nécessitent une approche coordonnée (CCME, 2004), afin de favoriser le partage des connaissances permettant sa mise en œuvre (Medema et coll., 2015, 2017; Orr et coll., 2016). Cela implique une interdisciplinarité (Gong et coll., 2013; Montanari et coll., 2013) et un dialogue multidimensionnel (tant horizontal que vertical) dans un réseau collaboratif de parties prenantes, telles que des autorités gouvernementales, des citoyens, des organismes de bassins versants, ou encore des industries (Medema et coll., 2015, 2017; Orr et coll., 2016). Or, ces différentes parties prenantes ont des valeurs, des pouvoirs et des objectifs différents (Martínez-Sastre et coll., 2017). Cela implique souvent que les connaissances ne sont pas nécessairement partagées (Elsawah et coll., 2015), alors qu'elles sont fondamentales à toute prise de décision (Pomerol, 2006). Ainsi, ils adoptent des comportements non coordonnés à l'échelle locale, ce qui conduit à la mise en œuvre d'actions fragmentées (Baechler, 2012).

Étant donné les enjeux multidimensionnels soulevés et auxquels les organisations peuvent faire face dans la mise en œuvre de la gestion et de la protection de l'eau, l'objectif général de cet article est d'établir un portrait-diagnostic de cette mise en œuvre au Québec, et ce, dans une perspective de prise de décision. En particulier, il vise à répondre aux questions suivantes : comment est mise en œuvre la protection des sources d'eau potable au Québec ? Qui en sont les intervenants ? Quel en est le processus de prise de décision ? Et quelles en sont les connaissances créées et transférées utiles à ce processus de prise de décision ? Les réponses à ces questions permettent ainsi de documenter le profil des intervenants (implication dans une/des organisations), l'opinion des professionnels sur le processus de prise de décision et le processus de création et de transfert de connaissances (tâches et expériences vécues). L'article est structuré comme suit. La section 2.2 aborde les grandes lignes de la protection de l'eau au Canada et se concentre sur le Québec. La section 2.3 présente la méthodologie utilisée pour développer l'enquête sur laquelle s'appuient les résultats qui sont présentés dans la section 2.4. La section 2.5 présente la discussion. La section 2.6 les limites et enfin, la section 2.7 conclut le tout.

## **2.2 La gestion et la protection de l'eau au Canada et au Québec**

Le Canada est un état fédéré composé de dix provinces et de trois territoires disposant chacun de compétences propres ou partagées avec le palier fédéral (Gouvernement du Canada et Bibliothèque du Parlement, 2016). Les compétences liées à l'eau sont partagées entre les gouvernements fédéraux, provinciaux/territoriaux et les administrations municipales (Loi sur les ressources en eau du Canada, L.R.C. 1985, ch. C-11). Dès lors, l'atteinte des cibles de l'ONU requiert la participation de nombreux acteurs institutionnels à différents niveaux. Dans la perspective de préservation de l'eau, le Canada concentre ses efforts sur l'atteinte et le maintien d'une

eau potable de très haute qualité et sûre pour la consommation des citoyens. Le gouvernement fédéral canadien, en collaboration avec les gouvernements provinciaux et ceux des territoires, établit les recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada à travers *Santé Canada*, son ministère de la Santé. Ces recommandations servent ensuite de référence lorsque les provinces légifèrent et fixent leurs exigences de qualité de l'eau potable (Santé Canada, 2019), ce qui a un impact sur le traitement de l'eau à l'échelle locale dans chacune des provinces. Ensuite, pour assurer le maintien de la qualité de l'eau potable en tout temps et en tout lieu, la gestion des activités anthropiques et des risques qu'elles représentent est nécessaire. Pour ce faire, le gouvernement fédéral et les différentes provinces/territoires se sont réunis à travers le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME). Ce dernier a publié, le 16 mai 2002, un document de référence qui favorise une approche multidimensionnelle et multi-niveau afin d'assurer une eau salubre, sûre et fiable de la source au robinet du citoyen (CCME, 2004). Nommée « approche à barrières multiples », elle se base sur un ensemble d'outils et de pratiques (les barrières) pour la surveillance et la gestion de l'eau faisant appel à des dimensions sociales (sensibilisation et participation), scientifiques (acquisition de connaissances, développement de technologies, etc.) ou encore juridiques (lois, règlements, normes, politiques, etc.). Une de ces barrières, la protection des sources d'eau potable (PSEP), est légiférée au niveau provincial et des territoires, alors que les actions de protection sont posées au niveau régional ou municipal. La protection des sources vise généralement à (1) réduire les risques pour la santé publique, (2) diminuer les coûts de traitement de l'eau potable, (3) maintenir ou améliorer la qualité de l'eau, (4) protéger les écosystèmes aquatiques et (5) s'adapter aux effets des changements climatiques (CCME, 2004; US EPA, 2013, 2017; Velej, 1992; Vrba et coll., 1991). Pour ce faire, cette barrière requiert l'acquisition de connaissances sur l'état de la ressource (suivi de la qualité de l'eau), sur le territoire qui y est associé (délimitation des aires d'alimentation des prises d'eau potable de surface et souterraines) et sur les divers risques naturels ou anthropiques qui pourraient l'altérer (inventaires des activités et des contaminants, identification de la vulnérabilité de la ressource, analyses des risques, etc.), afin de développer un plan de gestion à court et à long terme.

En parallèle à la diffusion du document de référence sur l'approche à barrières multiples, le gouvernement du Québec dévoilait sa *Politique nationale de l'eau* (PNE), à l'automne 2002. Cette politique y définit le mode de gestion de l'eau à adopter soit la gestion intégrée de l'eau par bassins versants (GIEBV) (Brun et Lasserre, 2011; Emond, 2015). Celle-ci prend en considération les limites naturelles de l'eau, au-delà des limites administratives ou politiques et permet de définir 33 organismes à but non lucratif liés à cette échelle de gestion : les organismes de bassins versants (OBV) du Québec. Adoptée en 2009, la *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau*, communément appelée *Loi sur l'eau*, permet de réaffirmer le cadre légal instaurant la mise en œuvre de la GIEBV. Cette dernière établit un nouveau régime d'autorisation pour les prélèvements d'eau, ce qui renforce l'utilisation durable et efficace de la ressource et pose les bases pour la protection des

sources d'eau destinées à l'alimentation en eau potable. Bien que la majorité des pouvoirs soient toujours donnés aux municipalités et aux autorités régionales, cette loi redécoupe le territoire québécois et redéfinit 40 organismes de bassins versants ainsi que leur mandat principal. Du fait de leur statut d'organismes à but non lucratif, il est à noter que les OBV du Québec ont la possibilité de réaliser d'autres mandats (ROBVQ, 2021). Cela dit, les mandats définis par le gouvernement sont de 1) favoriser la concertation des intervenants régionaux concernés par les enjeux de l'eau sur leur territoire respectif ; 2) informer, mobiliser, consulter et sensibiliser la population, ainsi que promouvoir la gestion intégrée des ressources en eau sur leur territoire respectif ; 3) élaborer un plan directeur de l'eau représentatif des préoccupations, de la vision d'avenir du milieu et en lien avec la gestion des activités sur le territoire (ROBVQ, 2021). Dans la continuité de la Loi sur l'eau de 2009, la barrière de la protection des sources d'eau potable est abordée en 2012 dans le projet de Stratégie de protection et de conservation des sources destinées à l'alimentation en eau potable (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012). Dans son document de consultation publique, ce projet de stratégie identifie les municipalités du Québec comme les premiers responsables de la protection des sources d'eau potable. S'en suivent les municipalités régionales de comté (MRC) (autorités régionales) et les organismes de bassins versants. Ce projet sera concrétisé par la mise en vigueur du *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* (RPEP – Loi sur la qualité de l'environnement [LQE, chapitre Q-2, r. 35.2]), adopté en 2014.

Le RPEP définit des catégories de prélèvement d'eau potable (Article 51), les aires de protection qui y sont associées (Art. 54, 57, 65, 70, 72 et 74) et la démarche à utiliser pour en évaluer la vulnérabilité (Art. 53 et 69). En même temps qu'il définit ces nouvelles zones sur le territoire, le RPEP impose pour la première fois aux exploitants de prises d'eau potable, notamment les municipalités, la production de rapports de vulnérabilité de leur source (Art. 68 et 75) et comporte un ensemble de mesures encadrant les activités anthropiques dans les aires de protection (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2014). Bien que ces nouvelles exigences réglementaires se focalisent essentiellement sur les municipalités du Québec, principales entités territoriales exploitant des prises d'eau potable, les activités anthropiques se déroulant à l'intérieur des aires de protection des prises d'eau dépassent souvent les limites politico-administratives des municipalités. Ainsi, la *Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030* propose de sortir de ces limites et vise à favoriser une plus large concertation des acteurs de l'eau, ainsi que l'arrimage des outils de planification du territoire qui superposent plusieurs échelles décisionnelles (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2018).

## **2.3 Méthodologie**

Notre recherche s'est appuyée sur une approche exploratoire et descriptive mettant à contribution des composantes quantitatives et qualitatives. Elle s'est concrétisée par une enquête en ligne diffusée entre novembre 2018 et mars 2019, qui visait toute personne s'estimant impliquée dans une organisation liée à la

mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec. Les objectifs de l'enquête mentionnés dans la lettre de recrutement étaient les suivants : « documenter votre implication dans une/des organisations ; vos tâches en tant que professionnel œuvrant à la protection des sources ; votre opinion sur le processus de prise de décision ; vos souvenirs en lien avec les expériences professionnelles vécues sur des problématiques de mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable. » L'objectif étant d'obtenir un aperçu de la diversité des organisations (intervenants) impliquées et, surtout, des expériences professionnelles et des connaissances créées dans le contexte organisationnel, nous avons choisi de focaliser sur les individus impliqués dans des organisations.

Les participants recrutés se sont auto-sélectionnés en fonction de leur intérêt à participer à l'enquête (échantillonnage en boule de neige et donc non probabiliste). La diffusion a mis à contribution des réseaux d'acteurs impliqués très tôt dans cette recherche plutôt qu'une liste d'envoi prédéfinie. Ainsi, neuf acteurs clés œuvrant dans le secteur de la gestion et de la protection de l'eau au Québec ont été sollicités pour diffuser le sondage à travers leurs canaux de communication (infolettres et listes d'envoi). Deux ministères, trois réseaux de recherche universitaires, trois organismes à but non lucratif et une association professionnelle ont bien voulu partager le lien vers l'enquête. La diffusion comprenait la lettre de recrutement, une pièce jointe vulgarisant le projet ainsi que les modalités d'éthique entourant le projet.

Le choix d'utiliser un mode de collecte en ligne s'est fait sur la base des nombreux avantages que ce mode de collecte offre. Premièrement, ce mode de collecte facilite la conception de questionnaires qui abordent plusieurs enjeux liés au même sujet, mais également la collecte et l'analyse des réponses (Bethlehem et Biffignandi, 2012; Nardi, 2018; Van Selm et Jankowski, 2006). Deuxièmement, ce mode de collecte permet d'avoir rapidement accès à un large panel de répondants diversifiés à des coûts moindres (Bethlehem et Biffignandi, 2012; Gingras et Belleau, 2015; Jean, 2015; Nardi, 2018; Van Selm et Jankowski, 2006). Troisièmement, la plus grande perception de liberté d'expression d'un mode de collecte en ligne sur des sujets sensibles permet de réduire les biais de désirabilité sociale (Gingras et Belleau, 2015; Nardi, 2018). Enfin, ce mode de collecte donne la possibilité à l'intervenant de répondre à l'enquête à son propre rythme (Nardi, 2018), selon ses contraintes personnelles et professionnelles.

L'enquête s'est basée sur une grille de sondage comportant au total 41 questions, dont 22 étaient des questions fermées et 19, des questions ouvertes (Annexes A et B). Le questionnaire a été implanté dans l'outil en ligne SurveyMonkey, et s'est inspiré des meilleures pratiques en termes de conception de sondage (Bethlehem et Biffignandi, 2012; Blair et coll., 2013; Callegaro et coll., 2015; Evans et Mathur, 2005; Fink, 2015; Jean, 2015). Certaines stratégies ont été mises en œuvre afin de maximiser le taux de réponse et de limiter le désengagement des répondants. Premièrement, nous avons limité la durée de complétion à environ 20 minutes,

et ce, par l'utilisation de branchements conditionnels et par un nombre maximum de 30 questions par participant.

Deuxièmement, au niveau de l'implantation, les stratégies suivantes ont été mises en œuvre :

- Utilisation d'une barre d'avancement afin de motiver les répondants à poursuivre le sondage ;
- Structuration du questionnaire dans des pages distinctes, afin de limiter le nombre de questions qui s'affichent sur une seule page et éviter de décourager les participants ;
- Utilisation de plusieurs types de questions (ouvert, fermé, choix de réponses, matrices, curseurs, etc.), afin de rendre le sondage plus dynamique ;
- Utilisation de phrases d'aide pour clarifier des concepts et d'exemples afin de préciser le type de réponses attendues et de guider le format de la réponse.

Étant donné les objectifs de recherche qui étaient de documenter la mise en œuvre pratique de la protection des sources, et notamment le profil des intervenants, le processus décisionnel et le processus de création et de transfert de connaissances, les questions ont été découpées en deux dimensions soit la dimension du profil des répondants et la dimension des tâches et connaissances.

- La dimension *profil* comportait des questions portant sur l'implication des répondants dans une organisation, leurs implications dans d'autres organisations et leur rôle dans le processus décisionnel ;
- La dimension *tâches et connaissances* comportait des questions sur les tâches qu'ils effectuent en lien avec la protection des sources, la création de connaissances, les interactions des répondants, puis les enjeux d'accès et de transfert de connaissances.

L'enquête en ligne a été pré-testée auprès de douze étudiants-chercheurs au doctorat et au post-doctorat du Centre de Recherche en Aménagement et Développement de l'Université Laval ainsi que de trois professionnels de recherche de la Chaire de recherche en Eau potable de l'Université Laval entre septembre et novembre 2018. À la suite des pré-tests (non inclus dans le portrait), des modifications ont été apportées à la grille de questions (reformulation de questions, textes d'aide pour clarifier les réponses attendues) et à l'implantation logicielle (erreurs d'enchaînement des questions, bogues graphiques).

Les résultats présentés s'appuient sur des analyses statistiques de fréquences pour les composantes quantitatives et sur des analyses de contenu thématique réalisées à l'aide du logiciel d'analyse qualitative NVivo (v.12) (Paillé et Mucchielli, 2019; Woolf et Silver, 2017). Les connaissances ont ensuite été cartographiées à travers des cartes conceptuelles (Dalkir, 2017).

## 2.4 Résultat

Les données ont été collectées auprès de 340 répondants. Sur ce total, 132 questionnaires ont été considérés comme invalides selon deux critères d'exclusion :

- Le premier concernait l'absence d'informations sur l'organisation dans laquelle les répondants œuvraient (n=3), les informations sur l'organisation étant nécessaires à l'analyse des résultats sur les connaissances.
- Le second concernait les questionnaires qui n'ont pas été remplis à 100 % (n=129), c'est-à-dire qu'au moins une des deux dimensions de l'enquête ne disposait pas d'assez de réponses pour être traitée en intégralité. Ce deuxième critère a permis de conserver une cohérence dans l'analyse des résultats grâce à un nombre total fixe de 208 répondants.

La répartition géographique des 208 répondants de l'enquête montre une mobilisation à la grandeur du Québec (Figure 2.1). Cependant, il est à noter que les répondants proviennent majoritairement des grands centres urbains (régions de Québec et de Montréal) et des régions au sud du fleuve Saint-Laurent.

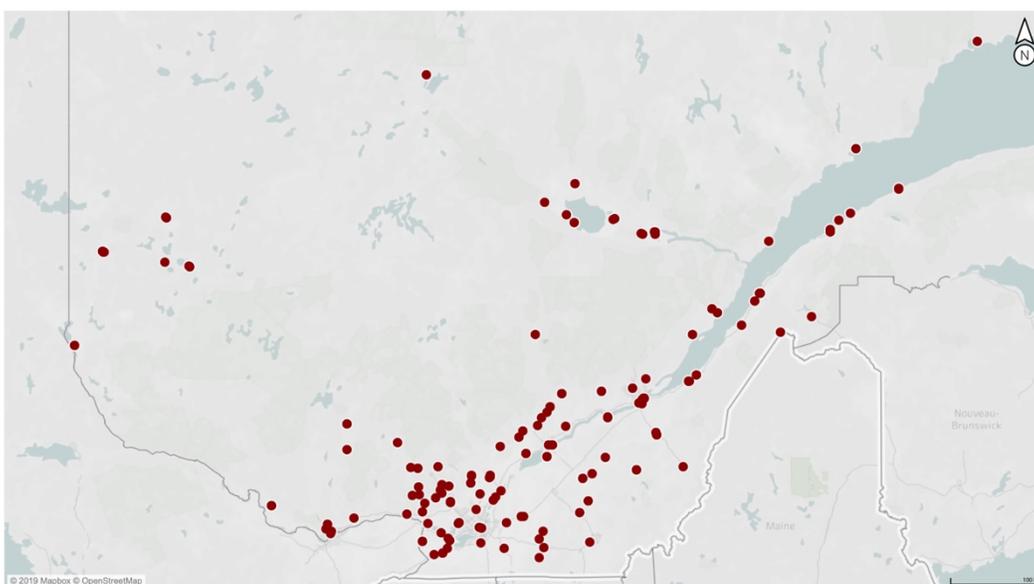


Figure 2.1 : Répartition géographique des répondants à l'enquête en ligne

## 2.4.1 Dimension 1: Le profil

### 2.4.1.1 Portrait des intervenants

Afin de garantir l'anonymat des répondants, ceux-ci ont été divisés en deux grandes catégories d'intervenants. Premièrement, la catégorie « Gouvernemental » (GOUV) regroupe les répondants principalement impliqués dans la gestion/protection des sources d'eau potable dans le cadre d'un emploi rémunéré au sein de la fonction publique (gouvernement), une organisation du palier de gouvernance supralocale (région ou métropole) ou locale (municipale). Deuxièmement, la catégorie d'intervenants « Para/Non-Gouvernemental » (PNGO) regroupe les répondants principalement impliqués dans la gestion/protection des sources d'eau potable dans le cadre d'un bénévolat ou d'un emploi rémunéré en dehors de la fonction publique, que ce soit dans le secteur paragouvernemental ou toute autre forme d'organisation. Les répondants de la catégorie PNGO sont catégorisés sur la base du statut juridique et des missions de chacune des organisations mentionnées. Les

différentes catégories d'intervenants sont détaillées dans le tableau suivant (Tableau 2.1). Il est à noter que les répondants inclus dans les résultats de cette enquête peuvent très bien occuper un autre emploi dans un tout autre domaine. Cependant, seul leur lien avec la protection des sources d'eau potable est documenté dans ces résultats.

Tableau 2.1 : Catégorisation des intervenants ayant répondu à l'enquête

CATÉGORIE	TYPE / SOUS-TYPE	DESCRIPTION
GOUV	GOVT	Regroupe les intervenants du gouvernement dont l'action sur le territoire a une portée nationale
	FEDE	Fédéral
	PROV	Provincial
	PRRO	Directions régionales du gouvernement provincial
	SLOC	Regroupe les intervenants de la fonction publique territoriale dont l'action sur le territoire a une portée régionale
	MCOM	Communauté métropolitaine
	CRMU	Municipalité régionale de Comté
	MUNI	Regroupe les intervenants des municipalités locales, soumis au <i>code municipal du Québec</i> , à la <i>Loi sur les cités et les villes</i> , ou à toute autre charte définissant le statut légal de la municipalité (Premières nations, villes minières, nordiques ou Villes-MRC, etc.)
	PARA	Regroupe les intervenants issus d'organisations parapubliques (Universités, Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux, etc.)
PNGO	ONPO	Regroupe les intervenants issus d'organisations à but non lucratif
	ECON	Regroupe les intervenants issus d'unions professionnelles
	ENVI	Regroupe les intervenants issus d'organisations, de comités ou d'associations dont les vocations sont la concertation et la protection environnementale dans un sens large
	ORBV	Regroupe les intervenants issus des organismes de bassins versants qui ont été mandatés par le gouvernement pour soutenir la gestion des ressources en eau
	COMP	Regroupe les intervenants issus du secteur privé

La distribution des répondants (Figure 2.2) permet de constater que l'enquête a principalement rejoint des répondants issus de la catégorie gouvernementale (GOUV n=154). La mise en œuvre de la protection de sources étant concrétisée à l'échelle locale, la majorité des répondants provient du secteur municipal MUNI (n=76). L'enquête a rejoint moins de répondants à mesure que l'échelle de gouvernance s'éloignait du palier local : palier supralocal (CRMU n=47) et gouvernement provincial (PROV/PRRO n =28). Au-delà du

gouvernemental, on note que l'enquête a rejoint de nombreux répondants de catégorie organismes de bassins versants (ORBV n=32). On note également la présence d'organisations sans but lucratif (ONPO), représentant souvent de grandes organisations environnementales (ENVI), mais aussi des regroupements citoyens. De plus, certains répondants proviennent d'autres organisations liées au gouvernement (PARA), d'entreprises privées (COMP) ayant des intérêts dans cette problématique ou encore d'associations professionnelles (ECON). Bien que ce résultat ne soit qu'un aperçu non représentatif, cette enquête abonde dans le même sens que la Stratégie québécoise de l'eau 2018-2020 et indique que la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable implique une grande diversité d'acteurs de la société civile, lesquels devraient être considérés dans la mise en place de cadres règlementaires futurs.

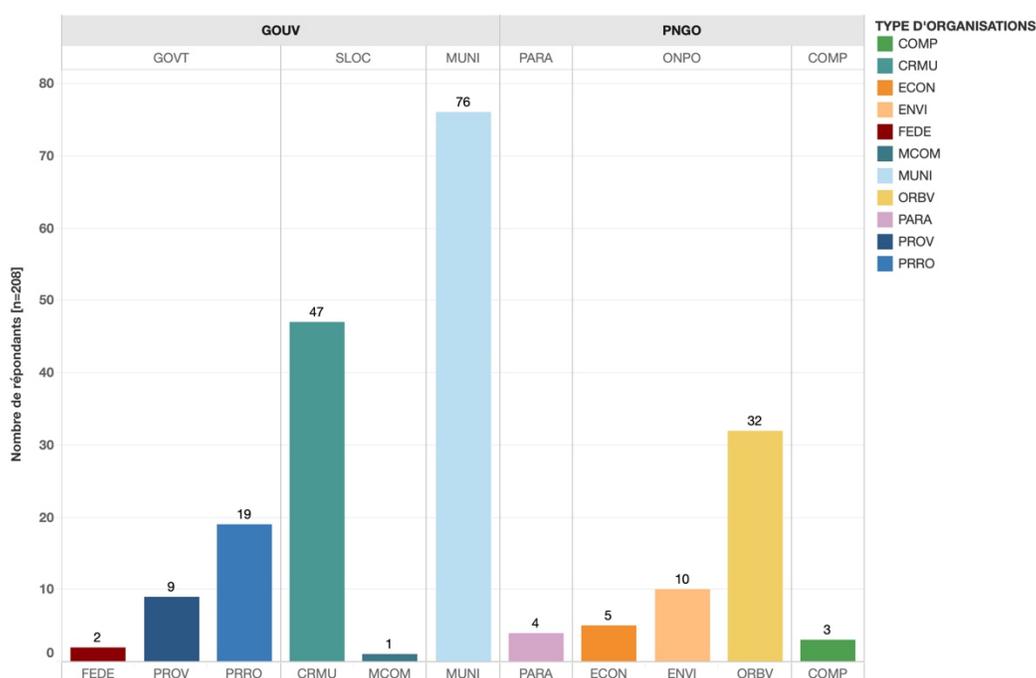


Figure 2.2 : Distribution des répondants classés selon la catégorie et les types d'intervenants

#### 2.4.1.2 Implications

L'analyse de l'implication des répondants a porté sur deux objets : 1) la provenance de la source d'eau qui les concerne (eau de surface ou eau souterraine) et 2) comment ils s'impliquent.

Premièrement, la majorité des répondants s'estiment être impliqués dans la protection de l'eau de surface et souterraine sans distinction (n=153), une plus faible part s'estime être uniquement impliqués dans la protection l'eau de surface (n=23) ou de l'eau souterraine (n=20). Ceci démontre que l'implication des répondants suit bien une logique de gestion intégrée de l'eau dans le sens où on considère la ressource dans son ensemble.

Deuxièmement, en dehors de leur occupation principale liée à la protection des sources (emploi ou bénévolat), l'enquête a sondé les répondants sur leurs implications dites « secondaires », c'est-à-dire, si les répondants interviennent sur la PSEP à travers d'autres organisations que celle où ils œuvrent principalement. 34 % des répondants (n=70) ont une implication dite « secondaire » dans au moins une autre organisation reliée à la PSEP. Afin de réaliser cette analyse, les répondants à l'enquête étaient invités à s'exprimer par des questions ouvertes sur les organisations où ils s'impliquent sans les contraindre à une liste de choix établie. Cela a permis de raffiner le portrait des organisations impliquées dans la PSEP (Tableau 2.2).

*Tableau 2.2 : Types d'intervenants supplémentaires*

<b>TYPE</b>	<b>DESCRIPTION</b>
ASSE	Regroupe des associations et des réseaux constitués juridiquement en OBNL et disposant d'un conseil d'administration
COMT	Regroupe des tables de concertation et différents comités (ex. ZIP, TCR, CRE, etc.) organisés en dehors des activités de concertation des organismes de bassins versants
RESC	Regroupe des groupes citoyens non constitués juridiquement et qui oeuvrent de manière coordonnée sur une problématique en lien avec la PSEP
RESP	Regroupe des ordres professionnels
RESR	Regroupe des réseaux de recherche

Afin de représenter cette dynamique inter-organisationnelle complexe, les résultats ont été compilés dans un diagramme de Sankey (Figure 2.3) rendu populaire par Kennedy et Sankey (1898) dans le domaine de la thermodynamique. Ce diagramme de flux a pour but de saisir une dynamique ainsi que son intensité. Pour la dynamique, on part d'une origine (les implications principales à gauche) vers une destination (les implications secondaires à droite). L'intensité est représentée par l'épaisseur d'un lien (ici l'agrégation du nombre d'implications). Pour faciliter sa lecture, la figure est divisée en deux. Au-dessus des pointillés se trouvent des catégories d'intervenants associés au secteur gouvernemental (GOUV) et, en bas, ceux associés à la catégorie para/non-gouvernemental (PNGO).

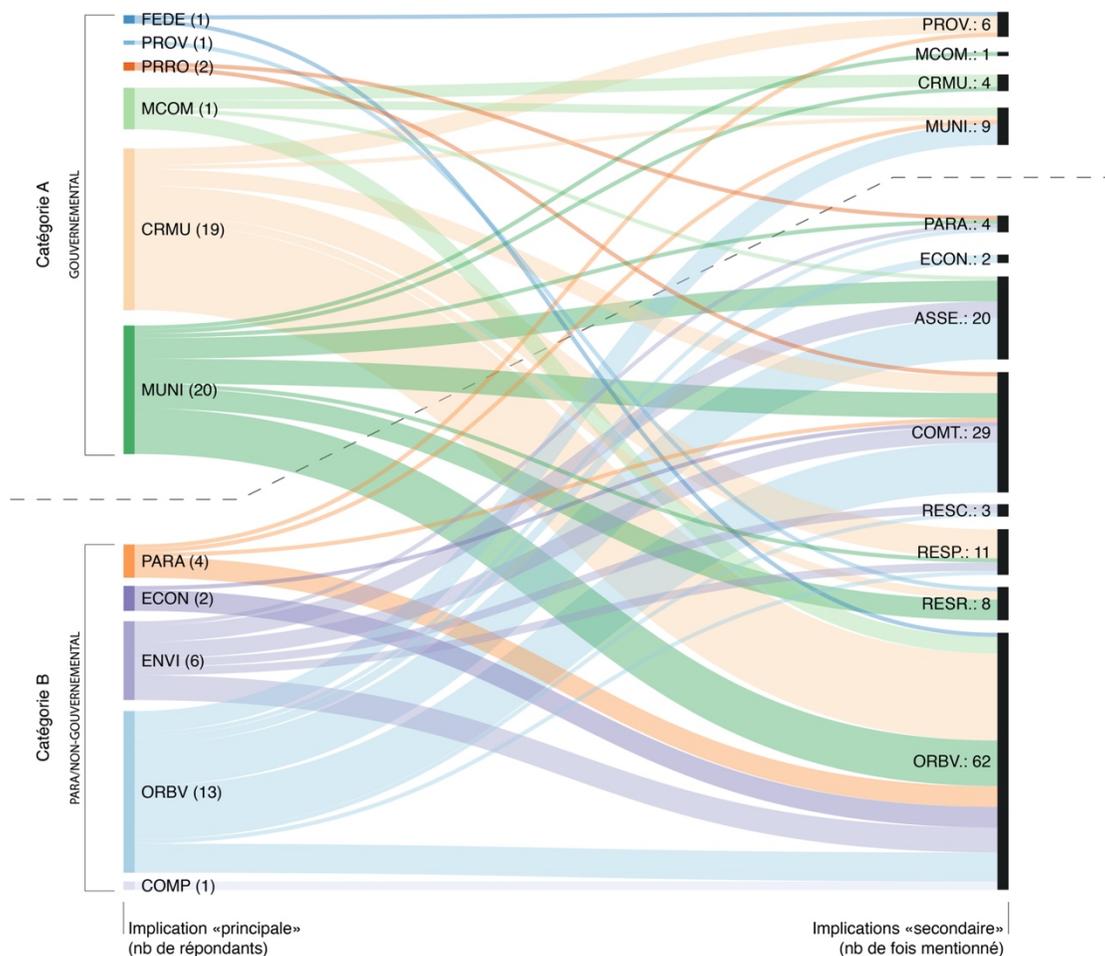


Figure 2.3 : La dynamique inter-organisationnelle dans la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

Malgré une majorité de répondants provenant de la catégorie gouvernementale (GOUV – n=44/70) par rapport aux répondants de la catégorie non-gouvernementale (PNGO – n=26/70), ces derniers ont tendance à être très impliqués dans une diversité d'autres organisations (Figure 2.3). En effet, les répondants de catégorie gouvernementale sont proportionnellement moins nombreux à avoir une implication secondaire (28 %), que les répondants de la catégorie non-gouvernementale (48 %).

De manière générale, les résultats de l'enquête montrent que, outre leur occupation principale, plus de la moitié des répondants s'implique dans différentes formes d'organisations (Figure 2.3). Cet aspect est positif dans le sens où la protection de l'eau demande une collaboration entre une grande variété d'acteurs. Également, on constate que les organismes de bassins versants (ORBV) constituent le canal principal de dialogue entre nos répondants. En effet, ce type d'intervenants concentre près de 62 implications secondaires provenant de répondants très variés et presque l'ensemble des répondants, qui ont une implication secondaire, s'implique dans un organisme de bassin versant. De plus, on note de fortes interactions entre les répondants issus des autorités régionales (CRMU) ou du monde municipal (MUNI) avec les ORBV. Ces résultats indiquent que le

mandat de concertation des OBV est ancré dans la pratique de nos répondants, et rejoignent les résultats présentés par (Medema et coll., 2017) qualifiant les organismes de bassins versants de pont entre les organisations. De plus, les répondants de la catégorie des organismes de bassins versants sont très dynamiques et s'impliquent largement dans l'ensemble des autres organisations.

#### 2.4.1.3 Implication dans le processus de décision

Dans l'optique de documenter le processus opérationnel de la mise en œuvre de la PSEP, cette enquête porte aussi sur l'implication des intervenants dans le processus décisionnel. Pour capturer cet aspect, nous avons adapté de la littérature un processus décisionnel en huit étapes présentées à la Figure 2.4 (Mora et coll., 2003; Nunavut Planning Commission, 2012; Phillips-Wren et coll., 2009; Turban et coll., 2010).

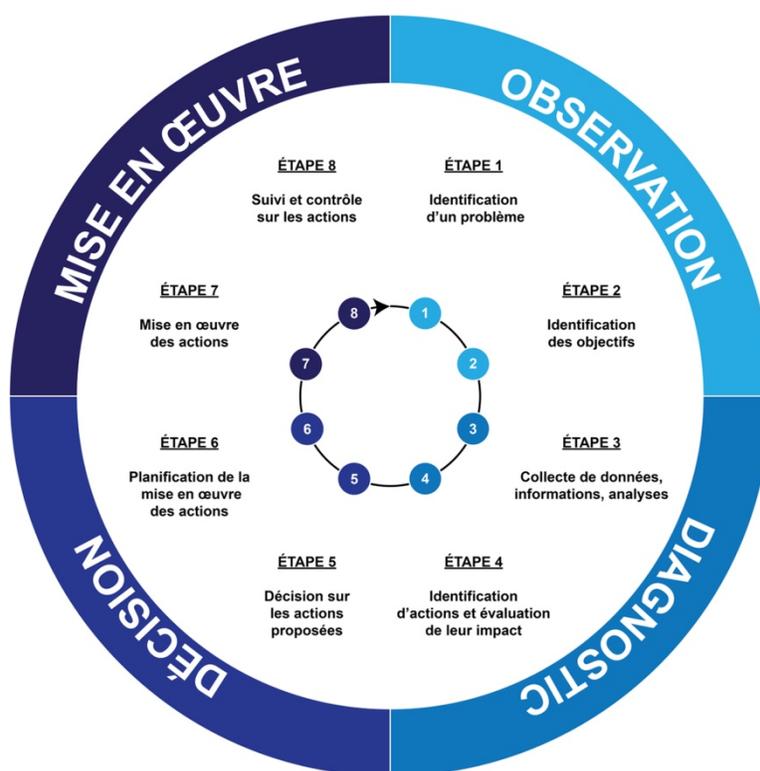


Figure 2.4 : Processus décisionnel en huit étapes de mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable

Les répondants étaient invités à définir dans quelle étape de ce processus décisionnel ils estimaient intervenir actuellement, que ce soit dans une, plusieurs ou aucune de ces étapes (Figure 2.5a). Ensuite, ils étaient invités à refaire l'exercice, mais en identifiant la ou les étapes dans lesquelles ils souhaiteraient intervenir (Figure 2.5b).

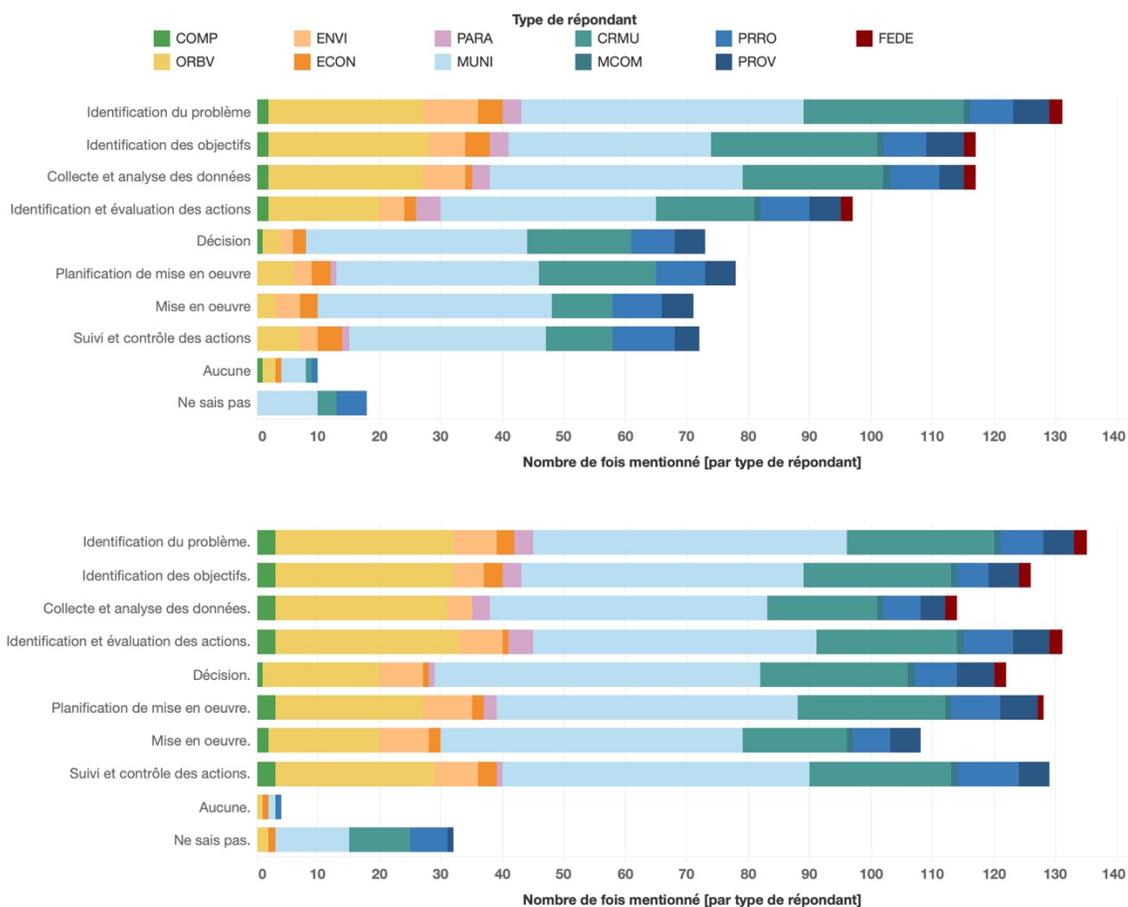


Figure 2.5 : Perception de l'intervention des répondants dans le processus décisionnel actuel (a - en haut), puis de l'intervention souhaitée (b - en bas)

Tout d'abord, notons que de nombreux répondants ne savent ni à quelles étapes ils interviennent actuellement (n=18), ni à quelles étapes ils aimeraient intervenir (n=32). Ensuite, dans le processus décisionnel actuel (Figure 2.5a), la perception des répondants montre que leur implication est décroissante au fil des étapes. Les premières phases de ce processus (observation et diagnostic - étape 1 à 4) semblent nécessiter ou permettre la participation de plus d'intervenants autant gouvernementaux que para/non-gouvernementaux. Une rupture semble s'effectuer lors de l'étape 4, « décision », quant au nombre de répondants impliqués. Cela touche essentiellement les répondants en dehors des organisations gouvernementales, qui ne se perçoivent pas impliqués à partir de ce stade-ci du processus décisionnel. On note également que les répondants du palier fédéral ne se perçoivent plus impliqués dès l'étape de décision et ce, jusqu'à la fin du processus décisionnel.

À l'inverse, l'implication souhaitée par les répondants (Figure 2.5b) est plus équilibrée à travers l'ensemble des huit étapes et on ne note pas d'étape formant de rupture dans la participation au processus décisionnel. Ainsi, chaque répondant, qu'il soit issu d'une organisation gouvernementale ou para/non-gouvernementale, met de l'avant son désir de participer à l'ensemble des étapes de ce processus décisionnel. Notons que l'écart entre

l'implication actuelle et l'implication désirée est important sur certaines étapes, notamment sur celles d'identification et d'évaluation des actions, ainsi que sur le suivi et le contrôle des actions, ce qui laisse croire que ce sont des étapes clés.

Enfin, l'analyse qualitative des données de l'option « Autre » montre que certains intervenants sont considérés comme absents du processus de prise de décision. Les répondants ont essentiellement mis en lumière le manque de représentation ou l'absence de représentation des organismes de bassins versants québécois, ces mêmes organisations qui forment un pont de dialogue entre les intervenants tel que nous l'avons observé précédemment. Également, les répondants citent l'absence des Premières Nations, du gouvernement fédéral ainsi que du milieu académique et de la recherche dans le processus de prise de décision de la PSEP.

## 2.4.2 Dimension 2 : Tâches et connaissances

### *2.4.2.1 Le rôle des intervenants*

La deuxième dimension de cette enquête a permis d'identifier les rôles de chacun pour décrire la manière dont la gouvernance est opérationnalisée sur le terrain, mais également de mieux comprendre les connaissances créées et mobilisées dans la mise en œuvre de la PSEP. Les tâches réfèrent ici aux activités réalisées dans le cadre de l'implication principale du répondant. Les connaissances réfèrent à toute forme de données ou de documentation créées à travers ces tâches. À l'aide de deux questions ouvertes, les répondants nous ont fourni plus de 4000 réponses. Du fait de l'hétérogénéité des réponses (vocabulaire et longueur du texte inséré), l'ensemble des textes a été analysé et encodé manuellement.

Suite à l'analyse des réponses ouvertes de l'enquête, nous avons fait émerger deux grandes thématiques. Celles-ci répertorient et structurent les tâches que les répondants estiment effectuer dans le cadre de la gestion/protection des sources d'eau potable (Tableau 2.3).

Tableau 2.3 : Portrait des tâches réalisées dans le cadre de la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

THÈMES	SOUS-THÈMES	TYPES D'INTERVENANT AYANT MENTIONNÉ CETTE TACHE	EXEMPLES
CONNAISSANCES	Acquisition	Tous	« Caractérisation des bandes riveraines » (R. 1) ; « Analyse de laboratoire de l'eau brute » (R.4) ; « caractérisation des prélèvements d'eau » (R.28) ; « Données cartographiques » (R.39) ; « Rapport du suivi de qualité d'eau » (R.43) ; « Étudier l'impact des épandages des biosolides sur la biodiversité » (R.97) ; « suivi au niveau de l'élévation de la nappe phréatique » (R.99) ; « Affectation du territoire » (R.131) ; « Connaissances du territoire et des zones de vulnérabilité nécessaires aux études » (R.204)
	Transfert	Tous	« Formation opérateur en eau potable » (R. 36) ; « Escouade de sensibilisation » (R.42) ; « Formation à l'intention des producteurs sur la réglementation » (R.68) ; « Archivage et diffusion et de données géographiques en lien avec l'eau » (R.82) ; « Production de guides et d'outils pour accompagner les municipalités dans l'économie d'eau potable » (R.203) ; « La concertation, l'outil par excellence » (R.204) ; « Outils de vulgarisation divers : capsules vidéo, articles » (R.207)
	Expertise-Conseil	PROV, PRRO, CRMU, MUNI, ECON, ENVI, ORBV	« Accompagnement des municipalités pour le RPEP (au besoin) » (R.12) ; « Collaboration multi-acteur pour favoriser la conservation de milieux d'intérêt » (R.56) ; « Assurer les services d'expertise technique requis par le MELCC notamment en regard de la production d'eau potable, de la protection des sources d'eau potable, du prélèvement d'eaux souterraines et de la gestion des rejets issus des traitements » (R.72) ; « Développement d'outil d'aide pour l'analyse » (R.130) ; « participation aux études visant à produire des connaissances sur les eaux souterraines » (R.148)
OPÉRATIONS	Réglementation	PROV, PRRO, MCOM, CRMU, MUNI	« Modifications schéma d'aménagement » (R. 11) ; « Analyse et autorisation de prélèvement d'eau en vertu du RPEP » (R.16) ; « application de la réglementation en matière de protection des sources » (R.28) ; « Gestion des fumiers » (R.33) ; « Réglementation sur les systèmes de traitement des eaux usées » (R.39) ; « intégration des zones de protection dans la réglementation municipale » (R.69) ; Délivrance d'autorisation de prélèvement » (R. 110) ; « Émission de permis de captage d'eau souterraine » (R.163)
	Opérations et Travaux	PRRO, CRMU, MUNI, ECON, ENVI, ORBV	« Restauration des bandes riveraines » (R.1) ; « Entretien du système de chloration » (R.36) ; « opération d'une usine d'eaux usées » (R.44) ; « Colmatage de puits non utilisé » (R.46) ; « Revégétalisation des berges, aucune coupe ou aménagement dans la bande riveraine » (R. 61) ; « Aménagement de nouveau puits » (R. 110) ; « Gestion des obstructions pouvant causer des dommages » (R.201)
	Support financier	PROV, PRRO	« Programme d'adaptation aux changements climatiques » (R.96) ; « Programme d'aide financière pour la protection des bandes riveraines » (R.112) ; « Programmes d'infrastructure » (R.129)

#### *2.4.2.2 La thématique des connaissances*

Celle-ci regroupe toutes les activités en lien avec la création et le transfert de connaissances. Le détail de la création de connaissances est analysé dans la section suivante. On y retrouve les sous-thématiques suivantes :

- L'acquisition de connaissances regroupe toutes les activités en lien avec le développement de nouvelles connaissances, telles que des études, des plans, des guides, des évaluations, des analyses de qualité, des analyses géologiques, etc., ou encore l'agrégation de connaissances existantes ;
- Le transfert de connaissances regroupe toutes les activités en lien avec le transfert de connaissances, telles que la vulgarisation (rédaction, présentations) ou le développement d'outils comme des portails informatiques pour le partage de données ou de documentation ;
- L'expertise-conseil regroupe toutes les activités en lien avec du soutien technique vers d'autres catégories d'intervenants.

#### *2.4.2.3 La thématique opérationnelle*

Celle-ci regroupe toutes les activités réalisées en dehors de la thématique des connaissances ou dans le but de soutenir la création de connaissances. On y retrouve les sous-thématiques suivantes :

- Cadre normatif regroupe toutes les activités en lien avec le développement de réglementation ou des activités en lien avec le contrôle de la conformité au cadre législatif ;
- Travaux regroupe toutes les activités en lien avec des opérations et travaux sur le terrain.

En analysant leurs réponses, on constate que les rôles des répondants sont diversifiés, que tous créent et diffusent des connaissances, mais que certains rôles sont plus spécifiques à certaines catégories d'intervenants. C'est le cas pour les répondants liés à la catégorie GOUV, qui mentionnent la conception ou l'évaluation de programmes de financement, mais aussi les tâches de réglementation.

#### *2.4.2.4 Les connaissances pour la protection des sources d'eau potable*

Les résultats montrent que plus d'un répondant sur deux (n=125/208) estime produire et transférer des connaissances en lien avec la PSEP. Les connaissances définies dans cette enquête peuvent avoir deux formes, soit des données numériques ou de la documentation textuelle portant sur un ou plusieurs sujets/enjeux. En analysant les données qualitatives recueillies, nous avons réalisé une cartographie de ces connaissances (Figure 2.6, Figure 2.7, Figure 2.8), laquelle traduit en partie les rôles et expertises de chacun des répondants.

Le constat général est qu'au niveau des tâches et des connaissances, les répondants des diverses catégories d'intervenants ont des rôles similaires. Ce constat peut être une bonne chose dans le sens où les rôles pourraient être complémentaires. Cependant, cela pourrait également traduire une incompréhension ou l'absence de délimitation des rôles de chacun dans la mise en œuvre de la gouvernance et de la protection des sources d'eau potable.

Plus centrée sur les connaissances, cette cartographie, non exhaustive, met en lumière la diversité des thématiques et des types de connaissances créées. Trois grands thèmes regroupant plusieurs enjeux ont émergé grâce à l'analyse des connaissances issues des données qualitatives soit :

- Le thème « Anthropique » (Figure 2.6) comporte des sous-thèmes de connaissances en lien avec la compréhension des activités anthropiques et de leurs impacts directs sur un territoire précis ;
- Le thème « Eau » (Figure 2.7), comporte des sous-thèmes de connaissances en lien avec la compréhension de la ressource « eau » et de son écoulement ;
- Le thème « Environnement » (Figure 2.8), comporte des sous-thèmes de connaissances en lien avec la compréhension générale de l'eau et de son environnement naturel (faune, flore, milieux humides, etc.) et des conséquences anthropiques dans un sens large (diffusion des espèces envahissantes, changements climatiques, etc.)

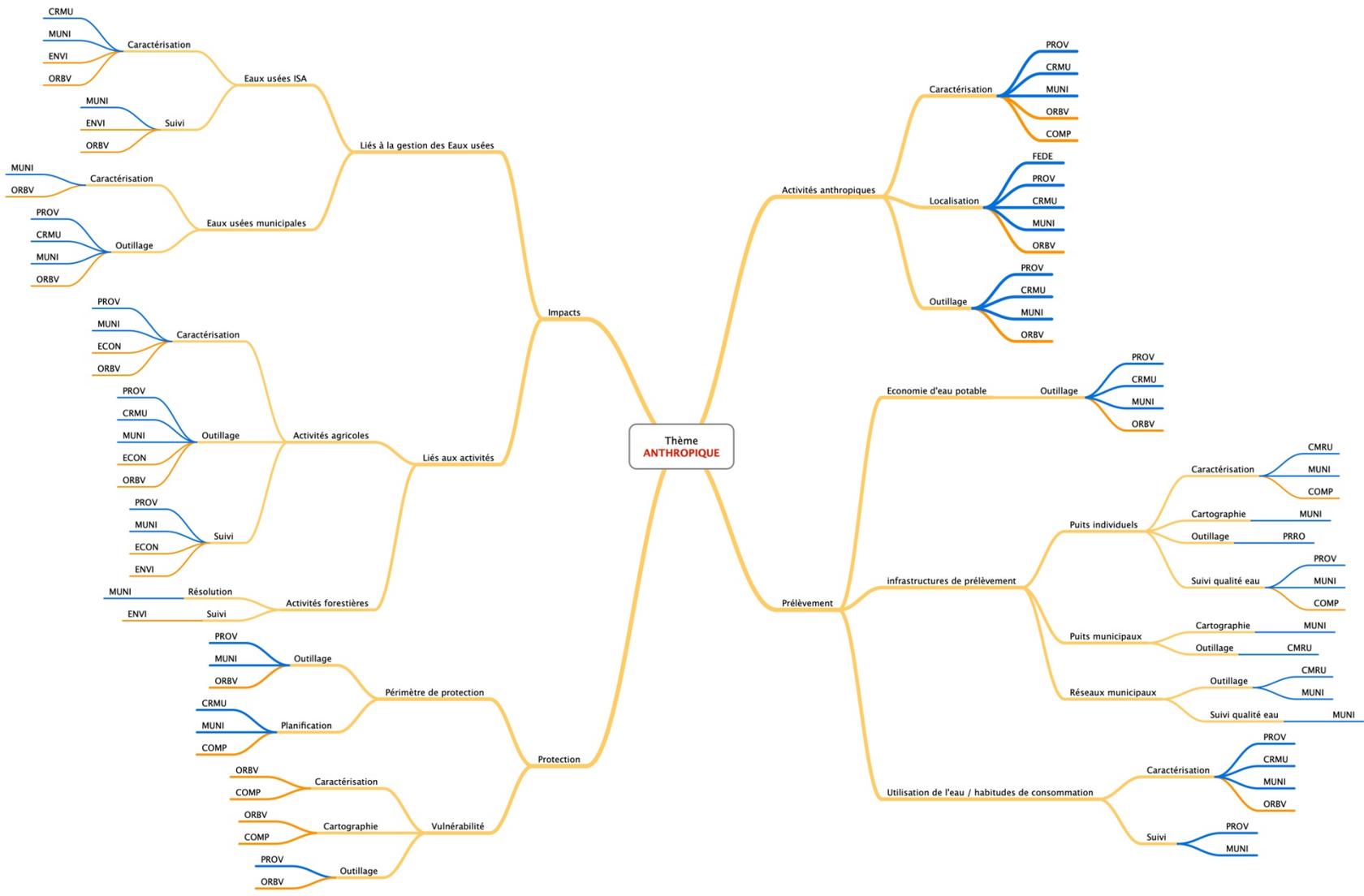


Figure 2.6 : Cartographie des connaissances du thème ANTHROPIQUE

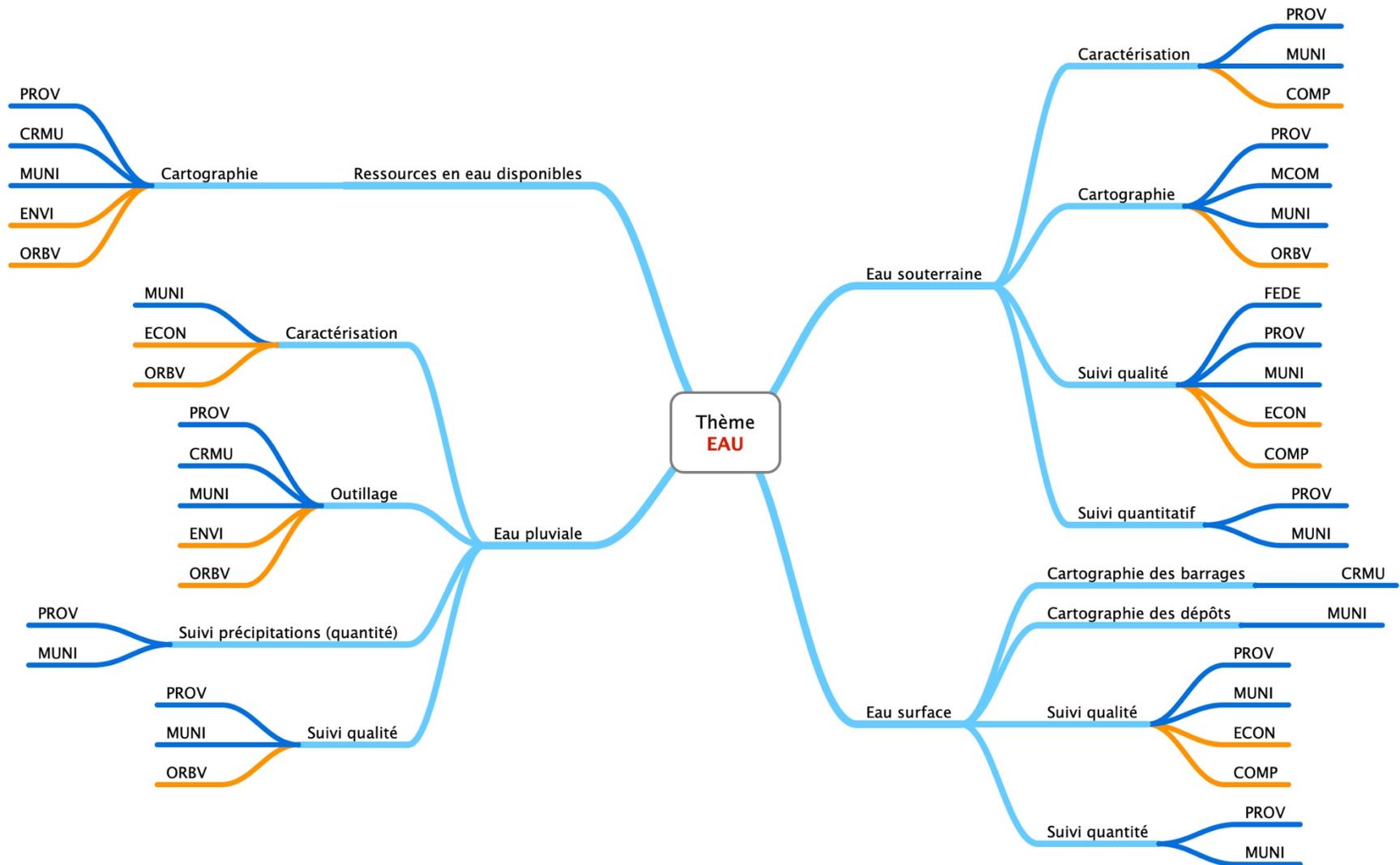


Figure 2.7 : Cartographie des connaissances du thème EAU

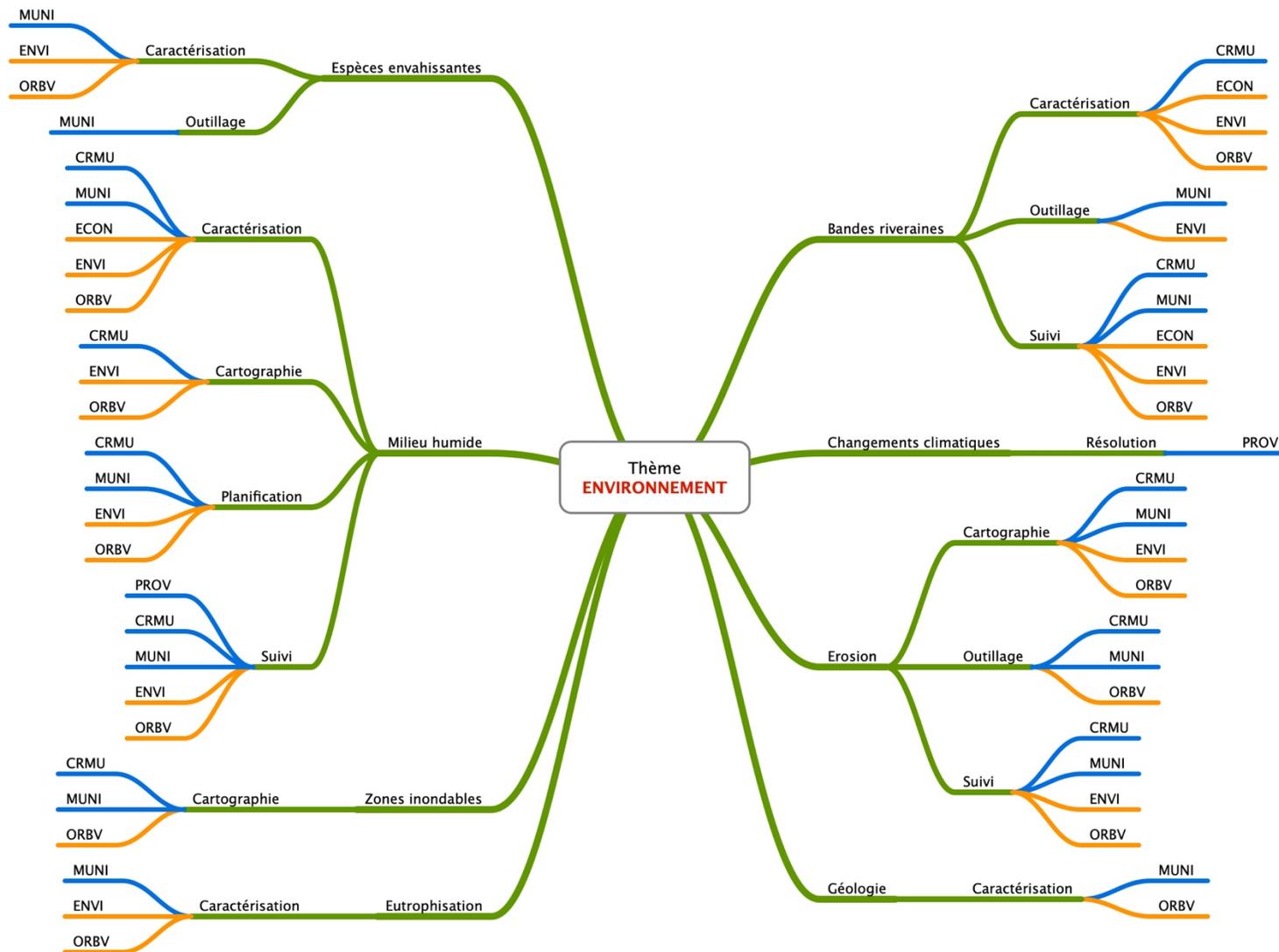


Figure 2.8 : Cartographie des connaissances du thème ENVIRONNEMENT

Après avoir identifié les grands thèmes, nous avons catégorisé les connaissances selon leur objectif dans les six catégories suivantes :

- Caractérisation, qui représente des connaissances générales sur un enjeu en particulier (un des différents sous-thèmes) ;
- Cartographie, qui représente des connaissances spatiales sur un enjeu en particulier (un des différents sous-thèmes) ;
- Outillage, qui représente des connaissances permettant le développement d'autres connaissances (méthodes, outils, savoir-faire) ;
- Planification, qui représente des connaissances regroupées et qui sont explicitement utilisées pour guider l'action sur le territoire ;
- Résolution, qui représente des connaissances regroupées qui visent à corriger ou à sensibiliser les intervenants à un problème ;
- Suivi, qui représente des connaissances récurrentes issues d'échantillonnages sur le terrain.

Il est à noter que les connaissances créées sur la ressource eau sont les connaissances les plus mentionnées par les répondants. Celles-ci portent principalement sur le suivi et la cartographie des ressources (Figure 2.7). Également, les connaissances liées à l'eau et à son environnement naturel (bandes riveraines, faune, flore, etc.) sont très diversifiées. Celles présentées dans le cadre de cette enquête ne représentent probablement qu'un petit échantillon des connaissances et expertises rencontrées sur le terrain (Figure 2.8).

Pour terminer, il est important de rappeler que cette cartographie des connaissances est basée sur les réponses des répondants. De ce fait, la précision de la cartographie pour chacune des catégories d'intervenants (bleu pour le gouvernemental et orange pour le para/non-gouvernemental) est influencée par le nombre de répondants dans chacune des catégories.

#### *2.4.2.5 Les interactions*

Après avoir identifié le profil des intervenants et les tâches qu'ils effectuent, cette enquête a permis de caractériser les interactions des répondants avec d'autres intervenants. Notre but ici est d'identifier la dynamique des interactions inter-organisationnelles qui existe dans le cadre des rôles en lien avec la création et du transfert des connaissances pour mettre en œuvre la PSEP au Québec. Les données ont été obtenues à l'aide d'une matrice dans le questionnaire de l'enquête incluant :

- Une liste de type d'intervenants, incluant une section « autre » pour laisser le répondant ajouter des éléments absents de la liste ;
- Trois colonnes pour la fréquence des interactions telles que continuellement (quelques fois/ semaines), souvent (quelques fois/mois), rarement (quelques fois/année), afin de constater les variations dans les interactions.

Les résultats montrent que la quasi-totalité des répondants (n=203/208) estime avoir des interactions avec au moins un autre intervenant en lien avec la PSEP. Ce constat est positif dans le sens où il répond aux enjeux de dialogue nécessaires à la mise en œuvre de la PSEP (Figure 2.9).

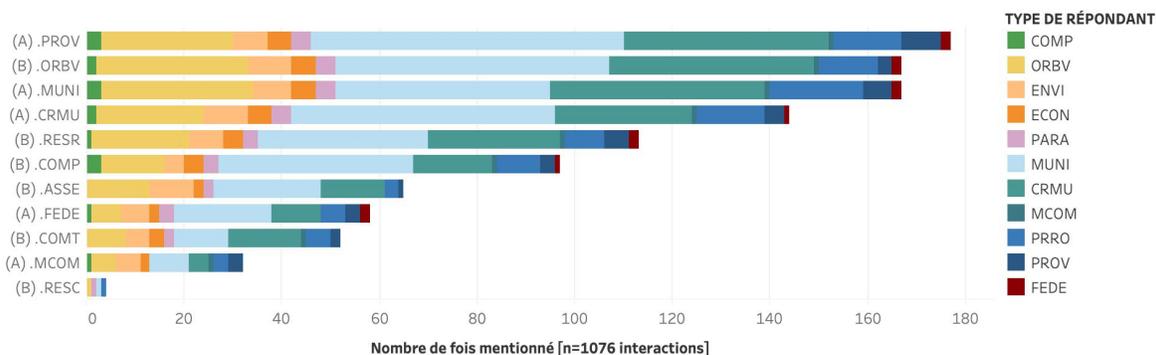
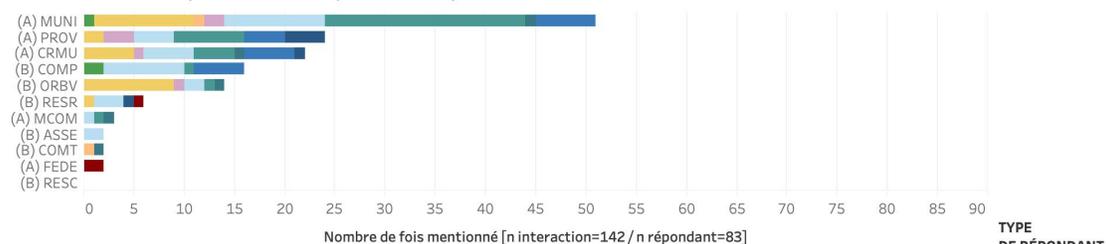


Figure 2.9 : Interactions entre les intervenants (en considérant leur intensité)

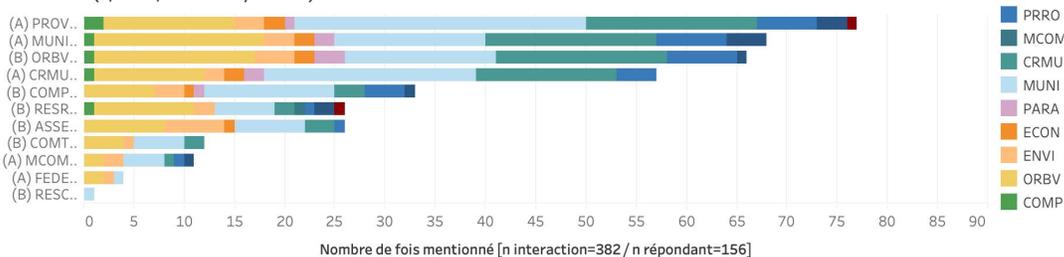
D'un point de vue général, on constate que toutes les catégories d'intervenants semblent être en interaction, qu'ils soient issus des organisations gouvernementales ou para/non-gouvernementales. Lorsqu'on examine les catégories de répondants (Figure 2.9), ceux réunis dans la catégorie GOUV – plus précisément ceux issus du gouvernement provincial, des autorités régionales ou encore du monde municipal – centralisent le plus d'interactions. Les niveaux décisionnels plus éloignés du local tels que le palier fédéral (FEDE) ou les communautés métropolitaines (MCOM) font l'objet de moins d'interactions de la part de nos répondants. Cet aspect appuie le fait que la mise en œuvre de la PSEP représente bien une problématique résolument locale. En parallèle, les répondants de catégorie organismes de bassins versants (ORBV) représentent le deuxième type d'intervenant avec lequel les répondants ont le plus d'interactions et se démarquent ainsi des autres intervenants para/non-gouvernementaux (catégorie PNGO). Ce type d'intervenant semble, encore une fois, bien jouer son rôle dans la PSEP.

Lorsqu'on analyse la fréquence des interactions entre les intervenants (Figure 2.10), on constate plusieurs dynamiques. Premièrement, on constate qu'à mesure que l'interaction s'intensifie, le nombre de répondants ayant eu au moins une interaction (annuelle, mensuelle ou hebdomadaire) diminue. En effet, 181 répondants estiment avoir eu au moins une interaction avec un autre intervenant dans l'année, 156 estiment en avoir eu au moins une par mois et 83 répondants, au moins une par semaine. Un élément frappant de ces résultats ressort : presque un répondant sur deux (n=83/203) dit avoir des interactions avec un autre intervenant quelques fois par semaine, soit la fréquence la plus élevée mesurée au sein de ce portrait. De plus, les trois quarts des répondants dialoguent avec d'autres intervenants au moins quelques fois par mois. Ces constats sont donc positifs, car ils montrent un environnement interactionnel dynamique entre les intervenants qui œuvrent à la PSEP.

### Continuellement (quelques fois/semaines)



### Souvent (quelques fois/mois)



### Rarement (quelques fois/année)

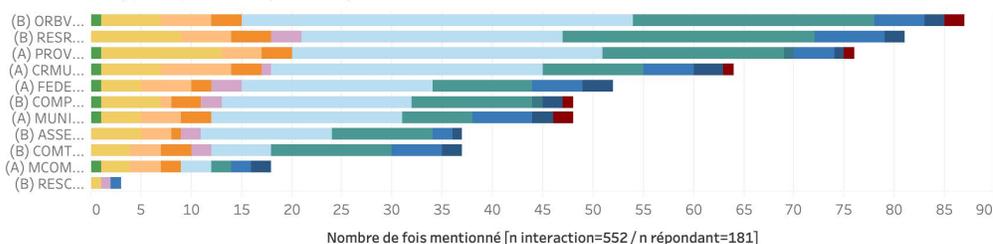


Figure 2.10 : Interactions entre les intervenants (en considérant leur intensité)

Deuxièmement, on remarque que la fréquence des interactions influence le type d'intervenants avec qui les répondants interagissent. En effet, on note un glissement du nombre d'interactions vers des intervenants gouvernementaux à mesure que la fréquence s'intensifie (de rarement vers continuellement). Ainsi, alors que les organismes de bassins versants (ORBV) et les réseaux de recherche (RESR) – deux types d'intervenants non-gouvernementaux – concentrent les interactions moins fréquentes (rarement), les intervenants municipaux (MUNI), provinciaux (PROV) et régionaux (CRMU) issus du gouvernemental (GOUV) concentrent les interactions les plus fréquentes. Cela indiquerait que ces intervenants sont centraux dans le « quotidien » de la mise en œuvre de la PSEP et fait écho à leurs responsabilités légales vis-à-vis de la gestion de l'eau. Notons toutefois que les organismes de bassins versants sont toujours mis de l'avant dans les interactions mensuelles. Cela vient renforcer le constat précédent de rôle pivot non-gouvernemental qui était soulevé dans les implications secondaires des répondants.

Troisièmement, on note que l'intensité de l'interaction influence la diversité des interactions (Figure 2.10). En effet, lorsque les interactions sont plus faibles, les répondants semblent interagir avec plus d'intervenants. Puis,

lorsque celles-ci augmentent en intensité, on constate que les répondants interagissent avec des intervenants plus ciblés. Cette dynamique est particulièrement visible dans la répartition des interactions hebdomadaires. Les répondants d'organisations gouvernementales sont moins nombreux à interagir souvent ou continuellement avec des intervenants para/non-gouvernementaux, mais continuent à interagir souvent ou continuellement avec des intervenants gouvernementaux. On note cette même dynamique avec les répondants para/non-gouvernementaux qui interagissent continuellement avec des intervenants majoritairement gouvernementaux tels que les municipalités, les MRC ou le provincial. Cependant, on note que les organismes de bassins versants continuent à interagir continuellement entre eux. Puis, mis à part une seule interaction référencée, les répondants d'associations, OBNL ou comités (ENVI) estiment ne pas d'avoir d'interactions hebdomadaires.

### 2.4.3 Enjeux liés au transfert de connaissances

Pour favoriser la mise en œuvre de la protection des sources et du fait de l'importance de la connaissance dans le processus de prise de décision, il est important d'identifier les freins à leur transfert afin de chercher à les corriger. Les répondants ont rapporté que de nombreux points de rencontre existaient entre eux, que ce soit à travers leurs implications ou leurs interactions. Cependant, les résultats font émerger une grande disparité dans la facilité d'accès aux connaissances telle que perçue par les répondants. En effet, bien qu'un très faible nombre de répondants mentionne que l'accès aux connaissances est très difficile (n=5/208) ou très facile (n=13/208), les résultats sont partagés entre le fait que ce soit difficile (n=86/208) ou facile (n=104/208) d'avoir accès aux connaissances. Il est à noter que cette dualité dans la perception s'observe chez n'importe quel type d'intervenant, témoignant qu'au sein d'une même organisation les répondants perçoivent l'accès aux connaissances de manière très différente.

Une question ouverte a permis aux répondants de donner plus de détails sur les connaissances difficiles à obtenir et les raisons de ces difficultés. Les résultats obtenus montrent que les répondants (tous confondus) estiment que les données sur la qualité de l'eau ou les données géoréférencées sont particulièrement difficiles à obtenir. Également, différents enjeux liés aux connaissances, que ce soit dans le transfert de connaissances, la quantité des connaissances ou la qualité de celles-ci ont été identifiés.

#### 2.4.3.1 Rupture dans l'accès aux connaissances

Premièrement, l'accès aux connaissances semble problématique pour certains. Les répondants ciblent plus précisément les connaissances détenues par les ministères :

« Informations géomatiques (celles des OBV et du gouvernement) » (Répondant 1) ; « Informations en possession des ministères » (R.9) ; « Les données entre les Ministères ne circulent pas toujours bien [...] » (R.124) ; « Les données des ministères - jaloux de les partager » (R.151) ; « Données intergouvernementales » (R.162) ; « Données disponibles aux différents ministères [...] » (R.186)

Cependant, les ministères ne sont pas les seuls mentionnés et toutes les catégories d'intervenants sont concernées, que ce soient les consultants, les municipalités, les universités, etc. Ces éléments témoignent des difficultés inhérentes au partage de données et de documents entre les organisations. Cela inclut également les résultats de travaux universitaires qui ne sont pas systématiquement partagés avec les intervenants :

« Certaines données géomatiques ne peuvent pas être transférées aux villes [...] Nous devons négocier avec les propriétaires des données afin de les rendre disponibles. » (R.110) ; « Données informatique des villes voisines » (R.111) ; « Des résultats d'analyses qui ne relèvent pas de mon service » (R.200) ; « Toutes les données territoriales provenant des municipalités voisines et de la Communauté métropolitaine » (R.208) ; « Projets réalisés par les autres organismes (manque de communications) » (R.42) ; « Données des autres territoires du bassin versant » (R. 105) ; « Données provenant du secteur privé » (R.20) ; « Informations produites par le privé (Pas de données génériques) » (R.32) ; « Rapports de consultants perdus » (R.108) ; « Les documents commandés à un consultant » (R.144) ; « Études de consultant payé par le publique » (R.205) ; « Thèses ou essais d'études postgraduées ne sont pas automatiquement transmis à l'OBV, même si territoire d'étude est dans la ZGIE de l'OBV » (R.86) ; « Données brutes provenant des PACES » (R.162)

#### *2.4.3.2 Délais et frais d'accès aux connaissances*

Les problématiques de transfert de connaissances touchent également les délais pour accéder aux connaissances ou encore les frais, parfois élevés, reliés à l'accès des connaissances scientifiques :

« Domanialité des cours d'eau (délais très longs [...]), très problématique !! » (R. 181) ; « Les études scientifiques... parfois avec des coûts » et « Les événements... symposium avec frais élevés » (R.25) ; « Des études scientifiques à payer. ex. Elsevier » (R.97)

#### *2.4.3.3 Freins à l'appropriation des connaissances*

En outre, des enjeux de langage des connaissances (langue étrangère, langage trop technique) ou encore d'accompagnement dans la compréhension des connaissances (vulgarisation, accompagnement) sont soulevés :

« La traduction des études scientifiques. » (R.97) ; « Les études statistiques... difficiles à interpréter » (R.25) ; « Accessibilité et uniformité des données de références » (R.34) ; « Accompagnement pour bien utiliser les données » et « Vulgarisation de la recherche/des données pour permettre sa "bonne" utilisation » (R.56) ; « Utilisation des résultats de l'étude sur les eaux souterraines » (R.140) ; « Signification des résultats d'analyse d'eau » (R.193)

Enfin, on note des enjeux d'incompréhension inter-organisationnelle :

« J'ignore totalement ce qu'est la RPEP à mon grand désarroi » (R.5) ; « La réglementation des 3 paliers de gouvernement sur les cours d'eau » (R.13) ; « Politiques des différentes MRC et Municipalités » et « Lignes directrices des OBV » (R.15) ; « Définition clair d'un cours d'eau » (R.181)

#### 2.4.3.4 Manque de contexte ou qualité des connaissances

Les répondants ont ainsi fait part de problèmes dans la quantité et la qualité des connaissances avec des connaissances parfois absentes, inaccessibles ou qui ne sont pas à jour. Il est possible que ces connaissances soient disponibles, mais que les répondants ne sachent pas qui les détient. Ces connaissances difficiles à obtenir touchent entre autres le débit de l'eau et l'écoulement :

« Données sur les débits des cours d'eau (la plupart sont non instrumentés) » (R. 86) ; « Direction de l'écoulement de l'eau souterraine » (R.87)

Également, la localisation des sources, des installations de prélèvement et des aires d'alimentation :

« Localisation puits individuels » (R.66) ; « Emplacements de nouveaux puits » (R. 74) ; « zones de recharge » (R.77) ; « Localisation exacte des sources » (R.81) ; « localisation des puits voisins » (R.100) ; « Aires probables d'alimentation/recharge des puits souterrains des municipalités » (R.150) ; « Localisation des installations de prélèvements existantes » (R.155) ; « Délimitation des aires de recharge » (R.166)

Puis, de manière plus large, les portraits des territoires, tant sur des dimensions anthropiques (usage, utilisation de la ressource) que naturelles (milieux humides, ressource en eau présentes) :

« Modélisation hydrodynamique des cours d'eau » (R.2) ; « Plans régionaux de protection » (R.15) ; « Portrait hydrogéologique régional » (R.16) ; « Portrait du territoire qui informe sur les différents usages présents » (R.83) ; « MILIEUX HUMIDES NON-RÉPERTORIÉS » et « COURS D'EAU NON-RÉPERTORIÉS » (R.94) ; « Utilisation de l'eau (quantité) sur un territoire » (R.108) ; « portrait du territoire à mettre à jour » (R.116) ; « Données sur l'approvisionnement en eau des industries » (R.123) ; « Absence de couverture LIDAR » (R.140) ; « Données réelles au terrain parfois peu denses » (R.156) ; « Étude économique : valeur des services écologiques » (répondant 201)

Ou encore, ce qui peut toucher la qualité de l'eau :

« Peu de données sur l'état des eaux souterraines après épandages de biosolides » (R.3) ; « Risques découlant des pratiques agricoles (fumier) » (R.4) ; « Projections des impacts sur les sources d'eau potable à long terme » (R.23) ; « Quantité d'eau prélevé au par des puits privés » (R.29) ; « Principales sources de pollution » (R.35) ; « Données sur les pesticides et contaminants émergents dans les cours d'eau de la ZGIE (données semblent ne pas exister) » (R.86) ; « Effet cumulé des stress environnementaux » (R.101) ; « Données sur les rejets d'eaux usées des industries » (R.123) ; « Les analyses ne concernent pas l'ensemble des contaminants potentiels. » (R.164) ; « Activités polluantes à jour » (R.205)

Le dernier problème soulevé est celui du format ou de l'échelle jugés inadéquats :

« Aire de protection des prélèvements de plus de 75 m2 par jour » (R.101) ; « Portrait de situation à l'échelle du Québec » (R.203) ; « Données municipales (format pas toujours exact) » (R.78), « Données réelles au terrain parfois peu denses » et « Mise à jour en continue inexistante des BD » (répondant 156), « Les analyses ne concernent pas l'ensemble des contaminants potentiels »

(répondant 164) ou encore qu'il est difficile d'obtenir des « Études DRASTIC complètes » (répondant 182).

## 2.5 Discussion

Notre étude visait à établir un portrait-diagnostic de la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec (Canada) permettant de documenter le profil des intervenants, le processus décisionnel et le processus de création et de transfert de connaissances. Celui-ci a été réalisé à l'aide d'une enquête en ligne diffusée entre novembre 2018 et mars 2019 auprès de 208 répondants s'estimant être impliqués dans cette problématique de protection des sources au Québec.

La première dimension de ce portrait-diagnostic donne un aperçu du nombre d'intervenants impliqués, mais également de la diversité des intervenants de la gestion et la protection des sources d'eau potable. En effet, ceux-ci proviennent autant d'organisations gouvernementales que para/non-gouvernementales diversifiées. Les résultats montrent également que la mise en œuvre de la PSEP est caractérisée par un environnement inter-organisationnel complexe et dynamique défini par deux tendances. La première tendance est visible à travers les implications multiples des répondants dans différentes organisations. La seconde est visible à travers le fait que des organisations non-gouvernementales telles que les organismes de bassins versants, les associations environnementales ou les comités centralisent les interactions de nos répondants et forment des lieux de rencontre. Dans la perspective du transfert de connaissances utile à la prise de décision pour la mise en œuvre de la PSEP, ces résultats montrent que certains répondants transfèrent, ou peuvent transférer, leurs expériences et savoir-faire facilitant ainsi la compréhension et l'appropriation des connaissances. Ces nombreuses interactions permettent ainsi à certains répondants d'« exporter » les connaissances créées vers d'autres organisations, mais également d'en « importer » de nouvelles au sein de leur organisation. Enfin, le portrait met en lumière la dynamique décisionnelle entourant la mise en œuvre de la PSEP. On observe que les organisations para/non-gouvernementales sont présentes dans les premières étapes du processus décisionnel, lorsqu'il s'agit d'observer et de diagnostiquer le problème par la création de connaissances. Cependant, un décalage s'effectue lorsqu'il est temps de prendre la décision. Les répondants issus du secteur para/non-gouvernemental estiment ne pas être présents dans le processus de décision lorsqu'il s'agit de décider, de mettre en œuvre et de faire le suivi de la mise en œuvre de la PSEP. Pourtant, les résultats montrent que les répondants désirent s'impliquer dans l'ensemble du processus de décision. De plus, les résultats qualitatifs mettent en lumière l'absence de certains intervenants tels que les Premières Nations, le palier fédéral, les OBV ou encore le milieu universitaire et de recherche. Ces résultats questionnent la structure actuelle du processus de prise de décision et sa capacité à être plus inclusive.

La seconde dimension de ce portrait-diagnostic donne un aperçu de la diversité des tâches et des connaissances effectuées et créées par nos répondants intervenant dans la protection des sources. Les tâches

opérationnelles (règlementations, travaux ou de support financier) semblent être majoritairement effectuées par des organisations gouvernementales. Toutefois, l'ensemble des répondants participe aux tâches de création et de transfert de connaissances. En ce sens, la cartographie des connaissances témoigne d'un portrait très diversifié des connaissances créées lesquelles sont utiles à la mise en œuvre de la protection de sources d'eau potable. Cependant, de cette diversité émerge un constat criant, car cette cartographie montre que des connaissances sont produites de manière redondante par les différents intervenants. En effet, des connaissances en lien avec l'environnement (changements climatiques, espèces envahissantes, milieux humides, etc.), l'eau (qualité, quantité, écoulement, etc.) ou les activités anthropiques (portrait des usages, consommation, habitudes, etc.) sont produites par une large diversité d'intervenants gouvernementaux et para/non-gouvernementaux. Ainsi, les intervenants pourraient reproduire sans cesse les mêmes connaissances ce qui est un enjeu de temps, d'argent et d'énergie pour les intervenants sur le terrain. Cette redondance peut être associée à des rôles qui ne sont pas clairement définis, ou encore à des problématiques de coordination ou de collaboration qui ont mené à des enjeux de transfert de connaissances (accès limités, connaissances qui ne répondent pas aux besoins), forçant les intervenants à en produire de nouvelles. En effet, alors que les intervenants font preuve d'un grand dynamisme dans leurs interactions en estimant dialoguer avec l'ensemble des autres intervenants de la PSEP, un décalage demeure entre le dynamisme des interactions et l'accessibilité perçue aux connaissances. Les résultats montrent que l'accès aux connaissances est perçu comme facile par environ la moitié des répondants, alors que l'autre moitié perçoit plutôt cet accès comme étant difficile. Cela implique que le transfert de connaissances ne semble pas s'effectuer correctement. Le discours des répondants apporte des éléments de réponse en mentionnant les enjeux auxquels ils font face dans le transfert des connaissances, tels que l'accès aux connaissances liées à des enjeux éthiques, économiques ou politiques ainsi que la quantité (connaissances inexistantes sur certains sujets, trop de connaissances sur d'autres, etc.), et la qualité (format inadéquat, territoire observé inadéquat, etc.) des connaissances. Également, les répondants semblent indiquer que ce sont les connaissances sous forme de données numériques qui sont les plus laborieuses à obtenir.

Eu égard aux différents enjeux soulevés par le transfert de connaissances dans le cadre de ce portrait, certaines recommandations peuvent être apportées. Premièrement, il serait nécessaire d'établir un cadre clair des connaissances qui peuvent être partagées par rapport à celles qui ne peuvent pas l'être. Cela pourrait être réalisé en définissant explicitement les raisons pour lesquelles des connaissances ne pourraient pas être partagées (coûts, éthique, etc.) ou en permettant le partage des connaissances par l'usage systématique d'ententes définissant les modalités de transfert de connaissances (stipulant par exemple les délais d'accès, une liste clairement établie des connaissances partagées et les règles de diffusion pour l'organisme demandeur). Ensuite, nous recommandons au monde académique de faire des efforts dans le transfert de connaissances en offrant des supports vulgarisés, gratuits et (si possible) en français des recherches qu'ils

effectuent sur des études de cas au Québec. Ceci offrirait au milieu de la pratique les connaissances nécessaires à une prise de décision éclairée. De plus, en amont de tout processus d'acquisition de connaissances, il serait nécessaire d'identifier clairement les besoins des différents intervenants, afin de répartir les coûts et de s'assurer d'obtenir des connaissances utiles à des échelles adéquates. L'usage de guides, tels que le guide des bonnes pratiques en gestion de données environnementales de l'Observatoire global du Saint-Laurent (2020), pourrait s'avérer utile à considérer. Il est nécessaire de favoriser le partage des métadonnées (l'information expliquant les données), de bien définir le format des fichiers de données, ou encore le format des données elles-mêmes. Cela permettrait d'uniformiser autant que possible les méthodes de collecte (matériel, délais de prélèvement, etc.) et de conservation des données (utilisation uniforme d'unités de mesure, de décimales, de fichiers géoréférencés uniformisés, etc.) dans le but de favoriser l'efficacité du partage inter-organisationnel des connaissances.

## **2.6 Limites de l'étude**

La volonté de réaliser un portrait-diagnostic de la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec à l'aide d'une enquête large et inclusive a permis de constater la diversité des intervenants impliqués et des différents enjeux sous-jacents à la prise de décision et au transfert de connaissances. Cependant, cette recherche comporte certaines limites.

Premièrement, cette étude se veut exploratoire et descriptive sur la base d'un échantillon de convenance ne pouvant prétendre être représentatif. En effet, il importe de noter que plusieurs catégories de répondants sont peu représentées, telles que le palier fédéral, les communautés métropolitaines, le parapublic (université, recherche, santé, etc.), les Premières Nations, les associations professionnelles, les organismes à but non lucratif orientés sur l'environnement et les consultants. Des études ciblées sur chacun de ces groupes pourraient permettre d'identifier, ou de mieux identifier leur rôle dans la PSEP.

Deuxièmement, au plan méthodologique, nous avons adopté une approche conservatrice en n'incluant dans les analyses que les questionnaires répondus dans leur intégralité. Or, ce choix nous a conduits à exclure 132 questionnaires qui auraient pu compléter ou préciser les conclusions de cet article.

Troisièmement, si notre étude visait à couvrir une diversité de territoires dans la province du Québec, aucun répondant ne provient de l'extrême Est et du Nord de la province. Ces deux territoires n'ont donc pas pu être documentés. Ceci pourrait être expliqué par l'utilisation d'une méthode de diffusion inadaptée pour ces territoires éloignés, des enjeux moins présents dans ces territoires ou encore un type d'occupation du territoire ou une gouvernance ayant des spécificités particulières (comme dans les villages nordiques du Québec).

Quatrièmement, bien qu'on estime qu'un mode de diffusion multilatéral par listes d'envoi de courriels, comme celui préconisé dans cette recherche, permet de mettre à profit des canaux de communication existants et de confiance (courriels personnels, infolettres, etc.), il existe certains désavantages tels que la longueur du processus et la perte de contrôle du chercheur sur la diffusion et les rappels.

Du point de vue des résultats, cet article brosse un portrait général qui offre des perspectives de recherche multidisciplinaires pour approfondir certains enjeux et se concentrer sur certaines catégories d'intervenants. Déjà, l'analyse des parodonnées (les informations sur la collecte des données) montre que les répondants exclus pour n'avoir pas répondu en entier à l'enquête ont tous cessé de répondre à la même question soit, celle qui abordait la perception sur le pouvoir décisionnel de leur organisation. Malgré des accords de confidentialité leur garantissant l'anonymat, la question suivante se pose : « Pourquoi la totalité des répondants qui se sont désengagés de l'enquête l'ont fait à la question sur la perception du pouvoir décisionnel de leur organisation ? »

Ensuite, l'hétérogénéité du nombre de répondants dans chacune des catégories est grande. Cet aspect questionne l'écart entre les répondants issus des organisations gouvernementales et ceux issus d'organisations para/non-gouvernementales, dans l'optique de mieux saisir si l'une des deux catégories d'intervenants est plus concernée ou impliquée que l'autre dans la problématique de la PSEP.

Également, les résultats questionnent la diversité des lieux d'échange mis en place (comités, OBV, symposium, etc.) ainsi que la diversité des intervenants qui participent à ces échanges (toujours les mêmes qui participent aux événements). En effet, on pourrait se questionner si les intervenants qui participent à ces lieux d'échange facilitent réellement le transfert de connaissances vers d'autres organisations d'une part (exportation des connaissances) et au sein même de leur organisation d'autre part (importation des connaissances).

Enfin, les résultats présentés dans ce portrait peuvent servir de base à l'élaboration d'outils d'aide à la décision diversifiés et destinés à des intervenants en particulier ou à l'ensemble des intervenants de la PSEP.

## **2.7 Conclusion**

Alors que les objectifs de développement durable de l'ONU et notamment l'objectif 6 « eau propre et assainissement » ciblent la préservation de l'eau et sa gouvernance, la mise en œuvre de la protection de cette ressource demeure difficile à cause d'une gouvernance complexe (multidimensionnelle et multiacteurs) et d'un processus décisionnel problématique (objectifs différents entre les acteurs, enjeux de transfert de connaissances, etc.). Afin de comprendre qui s'implique, et comment, dans la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec (au-delà de ce qu'exige le cadre réglementaire), nous avons réalisé une enquête en ligne auprès de 208 professionnels liés à la protection de l'eau au Québec. Cette enquête nous a permis de broser un portrait-diagnostic de la situation au niveau organisationnel, incluant de multiples

dimensions qui permettent de mieux comprendre le processus de prise de décision soit : qui est présent dans la mise en œuvre de la protection des sources, qui est perçue comme un décideur et qui crée quelles connaissances utiles à cette mise en œuvre. Enfin, ce portrait-diagnostic remplit son rôle de faire émerger de nouvelles interrogations sur la mise en œuvre actuelle de la protection des sources d'eau potable au Québec, que ce soit pour le monde de la recherche ou celui de la pratique.

Dans une optique organisationnelle et décisionnelle, les résultats soulignent deux dynamiques parallèles. Premièrement, les organismes de bassins versants jouent bien leur rôle de concertation, en favorisant le dialogue, le transfert de connaissances interdisciplinaires favorables à la prise de décision. Deuxièmement, les intervenants du gouvernement provincial demeurent des acteurs centraux, que ce soit dans la création de connaissances (surtout liées au suivi et au contrôle), dans l'assistance auprès de tous les autres intervenants, ou dans la prise de décision. Par ailleurs, le portrait réalisé à travers cette recherche ouvre de nombreuses perspectives. En effet, cette recherche identifie des enjeux auxquels il serait pertinent de s'attarder davantage comme les raisons entourant le rôle si important du gouvernement provincial dans une problématique qu'il a lui-même définie comme étant locale dans sa réglementation. De plus, il serait bon d'approfondir sur les raisons de la parité entre le nombre de répondants qui perçoivent avoir facilement accès aux connaissances et ceux qui perçoivent que l'accès aux connaissances est difficile. Lors de nos analyses complémentaires, ni le lieu géographique du répondant (distance entre un centre urbain ou une université), ni le type d'organisation n'explique ce phénomène. Également, les raisons de la quasi-absence de répondants liés au secteur académique, alors que nous avons utilisé leurs canaux de communication pour diffuser l'enquête et qu'ils étaient invités à y répondre, seraient à explorer. Enfin, la pertinence de concevoir une stratégie de gestion des connaissances à l'échelle de la province serait également à explorer. Est-ce une solution ? Est-ce une pratique viable à si grande échelle et existe-t-il des exemples ailleurs dans le monde ?

Le travail présenté dans cet article représente une première étape d'un projet de recherche qui vise à développer un système de gestion et de partage de connaissances pour faciliter la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec (Canada). En effet, le portrait-diagnostic réalisé nous a permis d'identifier les utilisateurs potentiels du système, d'identifier le rôle du système dans la structure décisionnelle en place et de recruter des participants pour développer le système de manière collaborative sur la base des constats identifiés ici (qui est présent et surtout, qui devrait être présent dans la mise en œuvre de cette problématique).

## **2.8 Remerciements**

Ce projet a été financé par la Chaire de recherche industrielle CRSNG – Gestion et surveillance de la qualité de l'eau potable de l'Université Laval, le programme FONCER TEDGIEER du CRSNG/INRS-ETE et le Fonds de Recherche du Québec – Société et Culture (FRQSC).

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont répondu au sondage aussi que celles qui ont pris le temps de le diffuser à leurs contacts. Nous remercions particulièrement les organisations suivantes qui ont aidé à diffuser le sondage :

- Le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH)
- Le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)
- Le Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ)
- Le Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES)
- L'Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (AGIRO)
- L'Association des aménagistes régionaux du Québec (AARQ)
- La Chaire de recherche industrielle CRSNG — Gestion et surveillance de la qualité de l'eau potable de l'Université Laval (CRÉPUL)
- Centr'eau : le Centre québécois de recherche sur l'eau
- L'Organisme de bassin versant de la rivière du Nord (ABRINORD)
- Ainsi que tous ceux qui ont diffusé le sondage

Enfin, nous tenons à remercier le travail des éditeurs, et les réviseurs pour leur temps et les commentaires qui nous ont permis d'améliorer la qualité de cet article.

## 2.9 Bibliographie

- Antil, F., 2017, *L'eau et ses enjeux*, De Boeck supérieur, Bruxelles, 2e éd., 264 p.
- Baechler, L., 2012, *La bonne gestion de l'eau : Un enjeu majeur du développement durable*, L'Europe en Formation, 365, 3, pp. 3-21.
- Bethlehem, J., S. Biffignandi, 2012, *Handbook of Web Surveys*, John Wiley & Sons, New-Jersey, 480 p.
- Blair, J., R. F. Czaja et E. Blair, 2013, *Designing Surveys : A Guide to Decisions and Procedures*, SAGE Publications, Thousand Oaks, 338 p.
- Brun, A., F. Lasserre, 2011, *Gestion de l'eau : Approche territoriale et institutionnelle*, Presses de l'Université du Québec, Québec, 228 p.
- Callegaro, M., K. L. Manfreda et V. Vehovar, 2015, *Web Survey Methodology*, SAGE Publications, Londres, 344 p.
- Choquette, C., A. Létourneau, 2008, *Vers une gouvernance de l'eau au Québec*, Éditions MultiMondes, Québec, 384 p.
- Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable - Groupe de travail sur la qualité de l'eau et Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2004, *De la source au robinet. Guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau potable saine*, Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), 274 p., [en ligne] URL : [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2007/ec/En108-4-28-2004F.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2007/ec/En108-4-28-2004F.pdf)
- Comtois, S., B. Turgeon, 2011, L'eau, chose commune à l'usage de tous : L'État québécois a-t-il les moyens de donner effet à ce statut ?, *Les Cahiers de droit*, 51, 3-4, pp. 617-635.
- Conrad, S. R., C.-J. Sanders, I. R. Santos et S. A. White, 2018, *Investigating water quality in Coffs coastal estuaries and the relationship to adjacent land use. Part 1 : Sediments*, National Marine Science

- Centre, Southern Cross University, Coffs Harbour, NSW, 42 p., [en ligne] URL : [https://www.surg.org.au/sites/surg/files/attached\\_media/Part1\\_Sediments %20Hearnes %20Lake\\_EL %20report.pdf](https://www.surg.org.au/sites/surg/files/attached_media/Part1_Sediments%20Hearnes%20Lake_EL%20report.pdf)
- Dalkir, K., 2017, *Knowledge Management in Theory and Practice*, MIT Press, Cambridge, 3e éd., 534 p.
- Elsawah, S., J. H. A. Guillaume, T. Filatova, J. Rook et A. J. Jakeman, 2015, A methodology for eliciting, representing, and analysing stakeholder knowledge for decision making on complex socio-ecological systems : From cognitive maps to agent-based models, *Journal of Environmental Management*, 151, pp. 500–516.
- Emond, N., 2015, *La gestion intégrée de la ressource-eau au Québec : prolégomènes sur les mutations et la fixité de l'espace institutionnel*, *Recherches sociographiques*, 56, 2-3, pp. 353-379.
- Evans, J. R., A. Mathur, 2005, *The value of online surveys*, *Internet Research*, 15, 2, pp. 195–219.
- Fink, A., 2015, *How to Conduct Surveys : A Step-by-Step Guide*, SAGE Publications, Los Angeles, 224 p.
- Gingras, M.-È., H. Belleau, 2015, *Avantages et désavantages du sondage en ligne comme méthode de collecte de données : Une revue de la littérature* (Working Paper), INRS Centre - Urbanisation Culture Société, Montréal, 21 p., [en ligne] URL : <http://espace.inrs.ca/id/eprint/2678/1/Inedit02-15.pdf>
- Global Water Partnership (GWP), 2010, *GWP in action—2010 Annual Report*. Global Water Partnership, 40 p., [en ligne] URL : [https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/annual-reports/ gwp-in-action--annual-report-2010.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/annual-reports/gwp-in-action--annual-report-2010.pdf)
- Gong, W., H. V. Gupta, D. Yang, K. Sricharan et A. O. Hero III, 2013, Estimating epistemic and aleatory uncertainties during hydrologic modeling : An information theoretic approach, *Water Resources Research*, 49, 4, pp. 2253–2273.
- Gouvernement du Canada et Bibliothèque du Parlement, 2016, *Notre pays, notre Parlement : Une introduction au fonctionnement du Parlement du Canada*, 52 p., [en ligne] URL : <https://lop.parl.ca/About/Parliament/Education/ourcountryourparliament/pdfs/Livret-f.pdf>
- International Initiative on Water Quality (IIWQ), 2016, *The global water quality challenge & SDGs*, UNESCO, [en ligne] URL : <https://en.unesco.org/waterquality-iiwq/wq-challenge>
- Jean, É., 2015, *Les enjeux liés à la collecte de données en ligne : Le cas d'une recherche auprès de gestionnaires*, *La Revue des Sciences de Gestion*, 272, 2, pp. 13–21.
- Kennedy, A. B. W., H. R. Sankey, 1898, *The thermal efficiency of steam engines. Report of the committee appointed to the council upon the subject of the definition of a standard or standards of thermal efficiency for steam engine*, *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 134(1898), pp. 278-312.
- Martínez-Sastre, R., F. Ravera, J.A. González, C. López Santiago, I. Bidegain et G. Munda, 2017, Mediterranean landscapes under change : Combining social multicriteria evaluation and the ecosystem services framework for land use planning, *Land Use Policy*, 67, pp. 472–486.
- Medema, W., J. Adamowski, C. J. Orr, A. Wals et N. Milot, 2015, Towards sustainable water governance : Examining water governance issues in Québec through the lens of multi-loop social learning, *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 40, 4, pp. 373–391.
- Medema, W., J. Adamowski, C. J. Orr, A. Furber, A. Wals et N. Milot, 2017, *Building a Foundation for Knowledge Co-Creation in Collaborative Water Governance : Dimensions of Stakeholder Networks Facilitated through Bridging Organizations*, *Water*, 9, 1, p. 60.

- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012, *Stratégie de protection et de conservation des sources destinées à l'alimentation en eau potable*, Communiqué de presse [en ligne] URL : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communiqu.asp?No=2067>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2014, *Survol des exigences du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP)*, [en ligne] URL : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/reglement-prelevement-protection/survol-rpep.html>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2018, *Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030*, 80 p., [en ligne] URL : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/strategie-quebecoise/strategie2018-2030.pdf>
- Mirauda, D., M. Ostoich, 2018, *Assessment of Pressure Sources and Water Body Resilience : An Integrated Approach for Action Planning in a Polluted River Basin*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 2, 390 p.
- Montanari, A., G. Young, H. H. G. Savenije, D. Hughes, T. Wagener, L. L. Ren, D. Koutsoyiannis, C. Cudennec, E. Toth, S. Grimaldi, G. Blöschl, M. Sivapalan, K. Beven, H. Gupta, M. Hipsey, B. Schaefli, B. Arheimer, E. Boegh, S. J. Schymanski, G. Di Baldassarre, B. Yu, P. Hubert, Y. Huang, A. Schumann, D. A. Post, V. Srinivasan, C. Harman, S. Thompson, M. Rogger, A. Viglione, H. McMillan, G. Characklis, Z. Pang et V. Belyaev, 2013, « Panta Rhei—Everything Flows » : Change in hydrology and society—The IAHS Scientific Decade 2013–2022, *Hydrological Sciences Journal*, 58, 6, pp. 1256-1275.
- Mora, M., G. Forgionne, J. N. D. Gupta, F. Cervantes et O. Gelman, 2003, *A Framework to Assess Intelligent Decision-Making Support Systems*, 6 p., dans Palade, V., R. J. Howlett et L. Jain (dir.), *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, KES 2003, Lecture Notes in Computer Science*, vol 2774, Springer, Berlin, pp. 59-65.
- Nardi, P. M., 2018, *Doing Survey Research : A Guide to Quantitative Methods*, Routledge, 4e éd., 272 p.
- Nunavut Planning Commission, 2012, *Developing the Draft Nunavut Land Use Plan*, 14 p., [en ligne] URL : [https://www.nunavut.ca/sites/default/files/2012-10-22\\_developing\\_the\\_draft\\_nunavut\\_land\\_use\\_plan.pdf](https://www.nunavut.ca/sites/default/files/2012-10-22_developing_the_draft_nunavut_land_use_plan.pdf)
- Observatoire global du Saint-Laurent, 2020, *Bonnes pratiques en gestion de données environnementales : Guide de gestion des données*, 26 p., [en ligne] URL : <https://ogsl.ca/wp-content/uploads/Data-management-FR.pdf>
- Orr, C. J., J. F. Adamowski, W. Medema et N. Milot, 2016, A multi-level perspective on the legitimacy of collaborative water governance in Québec, *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 41, 3, pp. 353–371.
- Paillé, P., A. Mucchielli, 2016, *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*, Collection U, Armand Colin, Paris, 4e éd., 432 p.
- Phillips-Wren, G., M. Mora, G. A. Forgionne et J. N. D. Gupta, 2009, An integrative evaluation framework for intelligent decision support systems, *European Journal of Operational Research*, 195, 3, pp. 642–652.
- Pomerol, J.-C., 2006, *La décision humaine : Reconnaissance plus raisonnement, Concepts et méthodes pour l'aide à la décision*, Hermès, Paris, pp. 173-214.
- Regroupement des organismes de bassin versant du Québec (ROBVQ), 2021, OBV du Québec [en ligne] URL : <https://robvq.qc.ca/obv-du-quebec/>
- Santé Canada, 2019, Qualité de l'eau potable au Canada, [en ligne] URL : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/qualite-eau/eau-potable.html>

- Sharma, P. J., P. L. Patel et V. Jothiprakash, 2019, *Impact of rainfall variability and anthropogenic activities on streamflow changes and water stress conditions across Tapi Basin in India*, *The Science of the total environment*, 687, pp. 885–897.
- Simon, D., F. Schiemer, 2015, *Crossing boundaries : Complex systems, transdisciplinarity and applied impact agendas*, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 12, pp. 6–11.
- Tengö, M., E.-S. Brondizio, T. Elmqvist, P. Malmer et M. Spierenburg, 2014, *Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance : The Multiple Evidence Base Approach*, *AMBIO*, 43, 5, pp. 579–591.
- Tremblay, H., P. Halley, 2009, *Le droit de l'eau potable au Québec*, *Les Cahiers de droit*, 49, 3, pp. 333–391.
- Turban, E., R. Sharda et D. Delen, 2010, *Decision support and business intelligence systems*, Prentice Hall Press, New Jersey, 9e éd., 780 p.
- United States Environmental Protection Agency, 2013, *Our Built and Natural Environments : A Technical Review of the Interactions between Land Use, Transportation, and Environmental Quality*, 2e éd. (EPA 231K13001), Office of Sustainable Communities, 148 p., [en ligne] URL : <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/our-built-and-natural-environments.pdf>
- United States Environmental Protection Agency, 2017, *Basic Information about Source Water Protection*, [en ligne] URL : <https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/source-water-protection-basics>
- Van Selm, M., N. W. Jankowski, 2006, *Conducting Online Surveys, Quality and Quantity*, 40, 3, pp. 435– 456.
- Veley, R. J., 1992, *Advantages and limitations of water-supply alternatives* (USGS Numbered Series No. 92–119 ; Open-File Report), U.S. Geological Survey, Dept. of the Interior, 2 p.
- Vrba, J., C. R. Aldwell, L. Alfoldi, L. J. Andersen, J. Hahn, S. Kaden, J. C. Miller et H. G. van Waegeningh, 1991, *Integrated Land-Use Planning and Groundwater Protection in Rural Areas : A Comparative Study of Planning and Management Methodologies* (IHP-III Project 10.6), UNESCO, 102 p.
- Woolf, N. H., C. Silver, 2017, *Qualitative Analysis Using NVivo : The Five-Level QDA® Method*, Routledge, New York, 234 p.

## Chapitre 3:

# A case-based reasoning system to recommend solutions for source water protection: knowledge acquisition and modelling<sup>35</sup>

**Avant-propos.** Le premier chapitre explorait la théorie pour faire émerger les défis sous-jacents à la mise en œuvre de la PSEP. Le second chapitre explorait comment ces défis se concrétisent en pratique au Québec. Ces deux premiers chapitres forment l'activité 1 de la DSRM, soit la compréhension du problème pour lequel la recherche développe une solution. Ainsi, le chapitre 3 débute la seconde activité de la DSRM, soit la proposition d'une solution pour le problème et le début de la troisième activité de la DSRM, soit le développement de la solution.

### 3.a Résumé

« Comment protéger les sources d'eau potable et comment apprendre des autres individus qui ont été confrontés à des problèmes similaires ? ». Ces questions sont de plus en plus pertinentes dans un contexte où les activités anthropiques menacent les ressources naturelles. Dans cet article, nous décrivons un processus d'acquisition de connaissances et de modélisation pour soutenir la prise de décision complexe liée à la protection des sources d'eau. Nous avons mené des enquêtes en ligne, réalisé des entretiens et appliqué une analyse thématique pour recueillir et structurer les connaissances provenant de sources documentées et non documentées. Notre processus a abouti à des descriptions structurées de cas qui consistent en des problèmes passés et leurs solutions mises en œuvre. La conception des cas a été basée sur le savoir-faire et les besoins en connaissances exprimés par les parties prenantes du secteur de l'eau. La base de cas constitue l'épine dorsale d'un prototype de système de recommandation basé sur la connaissance et qui s'appuie sur le raisonnement à base de cas. Ce système est destiné à guider les décideurs dans l'élaboration de solutions fondées sur des expériences passées. Il s'agit d'une application réussie de la gestion des connaissances et du partage des leçons apprises pour la prise de décision dans la pratique dans le domaine de la protection des sources d'eau.

**Mots-clés :** Acquisition et modélisation des connaissances ; raisonnement à base de cas ; protection des sources d'eau ; partage des connaissances et de l'expérience ; prise de décision.

---

<sup>35</sup> Cerutti, J., Abi-Zeid, I., Lamontagne, L., Lavoie, R., & Rodriguez, M. J. (2022). A case-based reasoning system to recommend solutions for source water protection: Knowledge acquisition and modelling. *Knowledge Management Research & Practice*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/14778238.2022.2075808>

### 3.b Abstract

“How can drinking water sources be protected, and how can one learn from others who have faced similar problems?” These questions are becoming increasingly relevant in a context where anthropogenic activities threaten natural resources. We describe in this paper a knowledge acquisition and modelling process to support complex decision-making related to source water protection. We conducted online surveys, interviews and applied thematic analysis to gather and structure knowledge from documented and undocumented sources. Our process resulted in structured descriptions of cases that consist of past problems and their implemented solutions. Case design was based on know-how and knowledge needs expressed by water stakeholders. The case base forms the backbone of a knowledge-based recommender system prototype that implements case-based reasoning. It is meant to guide decision-makers in developing solutions based on past experiences. It is a successful application of knowledge management and sharing of lessons learned for decision-making in practice.

**Keywords:** Knowledge acquisition and modelling; case-based reasoning; source water protection; knowledge and experience sharing; decision making

### 3.1 Introduction

Source water refers to “all surface and ground resources from which present or future drinking water originates” (Baird et al., 2014). To protect water supplies, the United Nations enacted the Sustainable Development Goal (SDG) No. 6, “Clean Water and Sanitation” (International Initiative on Water Quality, 2016), which targets water pollution prevention (target 6.3), improved integrated water management and local stakeholder participation (targets 6.5 and 6.b).

In Canada, water jurisdiction is a shared responsibility between federal, provincial/territories and municipal authorities (Canada Water Act [R.S. C.1985, c. C-11]). The authorities have established a multi-barrier approach to ensure safe, secure and reliable drinking water from the source to the citizens’ tap (CCME, 2004). One component of this multi-barrier approach is source water protection (SWP), defined by Patrick (2009) as a water management approach operationalised through land-use management programmes, with the specific goal of protecting drinking water supplies against contamination. SWP implies identifying the actual or potential causes of contamination, whether natural or related to anthropogenic activities, and dealing with these causes appropriately.

Nonetheless, selecting and developing appropriate solutions for SWP implies complex environmental decision-making (Baird et al., 2014), where decisions are strongly influenced by external elements such as political, social, environmental, and economic factors (Ekroos et al., 2017; Kiker et al., 2005). Furthermore, these decisions often

involve multilevel governance networks (Elsawah et al., 2015; Pahl-Wostl et al., 2020), with stakeholders potentially having conflicting interests, values, objectives and powers (Ascough et al., 2008; Martínez-Sastre et al., 2017). Since expert, bureaucratic and lay knowledge can differ in content and purpose and may not be shared equally by all stakeholders involved (Edelenbos et al., 2011), integrating different stakeholders' knowledge (in all its forms) is a critical success factor for implementing water governance (Armitage et al., 2015).

In Canada, knowledge transfer barriers exist within and between the many organisations involved in SWP (Cerutti et al., 2021). These barriers consist mainly of:

1. knowledge inaccessibility due to knowledge production costs, to non-sharing of confidential knowledge or even to language barriers (which is the case in Quebec, a French-speaking province in a mainly English-speaking Canada).
2. knowledge inadequacy, where the available knowledge does not answer the needs of the decision-makers;
3. knowledge technicality, where decision-makers must sometimes rely on knowledge they do not understand.

In order to integrate different stakeholders' knowledge for water-related decision-making, a tradition of designing knowledge-based systems (KBS) has evolved (Ruikar et al., 2007). Example applications include predicting competing water demand between land-uses, optimising water supply, supporting water quality risk management, and optimising water and wastewater treatment plant operations (K. Zhang et al., 2014). However, none of these KBS 1) addresses SWP's implementation; 2) explains which knowledge (tacit and/or explicit) should be used when the problems to be solved are undefined, uncertain and unstructured; 3) proposes a way to capture and model knowledge in a complex decision-making environment. These observations motivated us to conduct a research project to fill some of the gaps in the literature. We chose to focus on a specific type of KBS, namely case-based reasoning (CBR), a problem-solving paradigm from cognitive sciences, where past experiences are recalled to be used in new situations (Leake, 2001). CBR is closely related to knowledge management and shares with it the same focus on capturing, distributing and reusing knowledge (Althoff & Weber, 2005).

Several CBR applications and hybrid systems have been designed in various domains in the last 25 years: in the medical field (Choudhury & Ara, 2016; Holt et al., 2005); in the petroleum industry (Shokouhi et al., 2014); in computer games (Lora Ariza et al., 2017; Miranda et al., 2018); in the construction industry (García de Soto et al., 2020); in Kinesiology (Smyth & Cunningham, 2017); and in the financial sector (S.-T. Li & Ho, 2009). Closer to the environmental management field, we can find a CBR to provide explanations to increase sustainable dairy farming adoption (Kenny et al., 2019) or to recommend smart city initiatives for city planners (Anthony Jnr, 2021).

To be applicable, CBR requires significant case engineering to 1) identify, understand and delimit available knowledge, 2) represent and extract knowledge, and 3) structure knowledge in a case base. Although the literature abounds with CBR applications, the knowledge-gathering and modelling process is rarely described. There are few guidelines on how to go about this critical phase, especially in a context, such as ours, involving many organisations. We therefore focused on case engineering for SWP in Quebec (Canada), a practical application of knowledge management in a real-life context. We adopted a mixed method research approach to address the following questions: 1) How do decision-makers reuse previous SWP experiences? 2) What knowledge about past experiences on SWP is available, and how can we use this knowledge to structure a case base for decision-making purposes?

This paper is organised as follows. Section 3.2 explains our choice to use CBR for SWP. It presents an overview of CBR and its advantages for experience learning. We also present some key concepts for the case modelling process. In section 3.3, we describe our experience with designing SWP cases for decision-making processes. Section 3.4 discusses the challenges and limitations, while the conclusion and future perspectives are presented in section 3.5.

## **3.2 Background and motivations**

KBS are defined as the combination of a knowledge base, an inference engine to process the knowledge, and interfaces for human-machine interactions (Akerkar & Sajja, 2010). Liu et al. (2015) describe four main approaches to KBS when used to support a decision: Rule-Based Reasoning (RBR), Case-Based Reasoning (CBR), Network-Based Reasoning (NetBR) and Narrative-Based Reasoning (NBR). RBR uses rules to identify causal relationships in the decision. CBR uses similar past experiences to solve a new problem situation. NetBR uses Bayesian networks or artificial neural networks. NBR uses linguistic algorithms to identify hidden knowledge in narratives (such as reports, stories, or records; Liu et al., 2015).

In our application, RBR was excluded because it requires identifying rules representing general knowledge and governing the decision-making processes (Goh & Guo, 2018), which is challenging for SWP since it is context-dependent (Pahl-Wostl et al., 2010, 2020). NetBR was also excluded 1) due to the infeasibility of gathering a large amount of data in our context and 2) since transparency is essential in SWP. Finally, although NBR is similar to CBR, it extracts key concepts from an unstructured description of a problem and reasons using linguistic algorithms applied to these concepts (Wang & Cheung, 2011). This avenue was excluded because it required significant effort and resources to build linguistic algorithms in a French-speaking context.

Since learning from experience is a well-established practice in water governance (Baird et al., 2014) and dealing with environmental-related problems requires a shared understanding of problems and solutions (Armitage et

al., 2015), we consider CBR is fully justified for SWP. This approach is considered more transparent, explainable, and interpretable than other approaches (Barredo Arrieta et al., 2020; Cunningham et al., 2003; Kenny & Keane, 2019; Lamy et al., 2019; Schoenborn et al., 2021), which makes it a valuable tool for learning by experience (Aamodt, 1995; Cordier et al., 2009; Lamontagne & Lapalme, 2002). Past experiences represent concrete problem situations modelled by a problem-solution pair called “case” in a case base (Althoff, 2001). CBR differs from other approaches by not solely relying on general domain knowledge or generalized relationships between the description and the solution (Aamodt & Plaza, 1994). Therefore, a CBR system can be knowledge-light when the knowledge mainly lies in its case base (Lepage et al., 2020) or knowledge-intensive when the knowledge from the case base is combined with general domain knowledge. Furthermore, CBR has the advantage of being able to reason on a smaller set of knowledge compared to other approaches (Cordier et al., 2009), which is a strength considering the challenges in gathering multi-organizational knowledge.

One application of CBR to water management is presented by Mounce et al. (2016) to support water treatment processes. Their case base was designed based on two-year water quality reports where cases consist of incidents in a water treatment facility and the corresponding solutions implemented (n=337 cases). The problem’s attributes were defined based on the problem’s characterization (incidents and cause). For example, Brown discoloration is an incident due to planned work, a cause. The solution part is composed of actions (sampling, review procedures, repairs) made by the water company to solve these problems. An additional outcome regarding the inspector’s feedback about the past actions is also provided.

### 3.2.1 Case modelling in CBR

CBR is considered suitable for any kind of problem (R. O. Weber & Richter, 2013). However, Leake (1996) warns that not all problems are naturally translated into CBR. To ensure the suitability of a CBR approach for SWP decision support, we verified that we met the six criteria proposed by Althoff (2001): 1) records exist for previously solved problems; 2) historical cases are an asset and are preserved through reports; 3) decision-makers usually use past experiences as inspiration when implementing new SWP actions; 4) decision-makers usually give examples when describing how they implemented the actions; 5) experience is essential, but its sharing is limited due to knowledge gaps; 6) when implementing actions, stakeholders do not seek an optimal solution: only a suitable one for their problem.

In CBR, reasoning is commonly performed through the four-step cycle from Aamodt and Plaza (1994): *Retrieve* to identify a similar experience, based on the description of the current problem; *reuse* to adapt a solution based on the retrieved experience’s solution; *revise* to validate the solution proposed by the system; and *retain* to integrate this new experience in the case base automatically. Four types of “knowledge containers” are used (R. O. Weber & Richter, 2013): *vocabulary*, *case-base*, *similarity*, and *adaptation*. *Vocabulary* represents the terms,

words or symbols that describe the cases. A knowledge model is defined in the vocabulary container. *Case base* contains the experiences. *Similarity* consists of methods to identify similar cases. *Adaptation* contains the knowledge necessary for the reuse of past solutions.

A case base is usually organised in one of three ways: flat, structured, and unstructured text, a flat organisation being the best choice for a small number of cases and the most straightforward design when cases represent unlinked experiences (R. O. Weber & Richter, 2013). A case generally includes a problem  $p$ , a solution  $s$  and sometimes an outcome  $o$  (López, 2013). A problem  $p$  is usually described using two main knowledge models: Attribute-value pairs or relational objects. The attribute-value pair structure  $(a_i, v_i)$  is the most common in CBR. Attributes and their values are defined in the vocabulary container. Relational objects are a more complex form of attribute-value that use aggregated features inside objects to represent the cases.

López (2013) describes a taxonomy of CBR systems, which helps in better understanding their different characteristics (Table 3.1). Knowledge sources represent the knowledge form and how it is extracted (images, temporal data, extracted from conversation or texts, organised in a structured way); Functions describe the purpose of a CBR system; Organizations represents how a CBR is technically implemented to address the decision-making problem for which it was designed; Distributiveness represents a system's structure (one or more case bases and one or more reasoning processes/ tasks).

Table 3.1: CBR systems taxonomy from López (2013, p. 4)

Knowledge sources	Functions	Organizations	Distributiveness
Textual	Classification	Sole	Single memory
Structural	Recommendation	Multiple level	Multiple memories
Conversational	Tutoring	Hybrid CBR	Single agent
Temporal	Planning	Meta CBR	Multiple agents
Images	Monitoring Knowledge Management		

### 3.3 Research method and results: knowledge acquisition and case design

Our research method for acquiring and structuring data is based on Richter and Weber's (2013) general framework to design a CBR. It consists of four main tasks: Problem understanding and knowledge sources identification, data collection and pre-processing, vocabulary definition, and case acquisition (Figure 3.1 - left). The figure also shows the characteristics of the resulting system prototype according to López's (2013) taxonomy (Table 3.1; Figure 3.1 - right). These tasks are linked to knowledge acquisition phases presented by Joseph &

Arun (2021): planning knowledge acquisition; extracting knowledge; analysing knowledge and verifying knowledge.

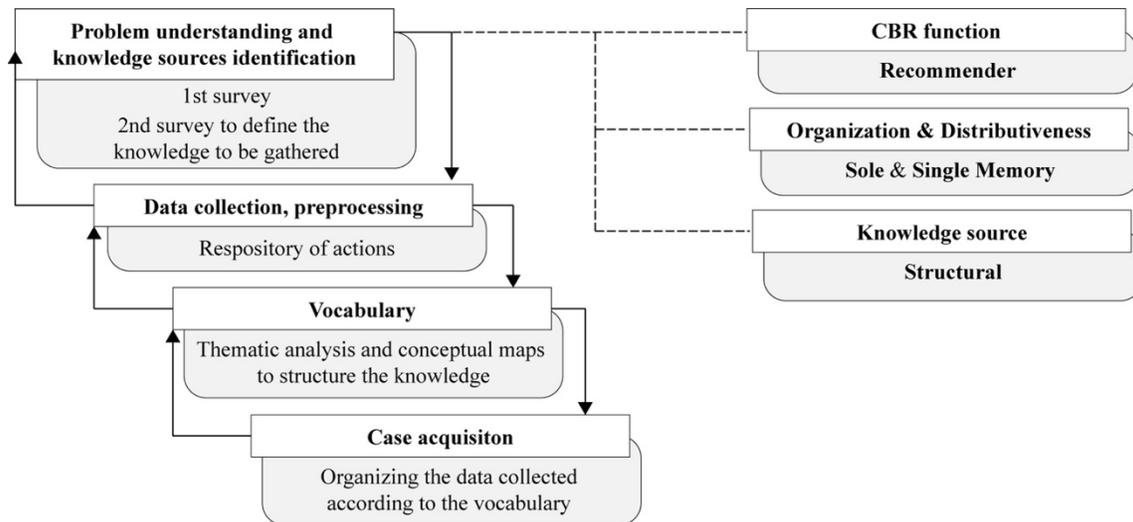


Figure 3.1: CBR design process for acquiring and structuring knowledge in a complex decision-making context

Choices about our CBR system characteristics were made early in the project. Since our objective was to find a way to support solving present problems by using past experiences, a recommender system was the most appropriate type. Next, the organisation and distributiveness of the proposed CBR had to be as simple as possible. This is due to the several knowledge barriers that were identified during the problem understanding task. Finally, the choice of the knowledge source was made by elimination. Temporal CBR was not relevant because SWP problems often spread over several decades, which did not allow for a capture of the situation at a specific point in time. Since the decision-making was essentially based on documents and not images, a textual CBR could have been relevant. However, textual CBR's requires having access to a large collection of documents, which was not possible because of confidentiality and costs barriers. Then, based on a much-limited collection of documented we tried to use a conversational CBR. However, the description of a SWP problem can be done in an infinite number of ways depending on which stakeholder describes it, thus limiting our understanding of the conversational path to model. We needed a more structured CBR approach to standardise the structure of our cases and, by extension, the knowledge. Therefore, structural CBR was chosen as the most appropriate approach for our problem and its context.

We used a mixed-method research approach (qualitative and quantitative) to gather knowledge, build the vocabulary, and structure the case base. Since various techniques can support knowledge acquisition in practice, we used Dalkir (2017) overview of applied KM techniques to identify those that seemed the most realistic to be used in our context. For knowledge acquisition, the chosen techniques had to allow for rapid data collection, over a large area (the province of Quebec), anonymously, and in a short time frame, which motivated

us to use online surveys. Our first online survey was conducted with actors involved in the SWP (such as provincial entities, municipalities, watershed organisations, associations) to understand the problem and identify our knowledge sources. We then conducted interviews with some SWP actors to deepen our understanding of SWP related knowledge. However, due to time constraints, anonymity and political issues, our plan for interviews had to be abandoned. We therefore replaced interviews by a second survey.

To analyse the gathered data, we mainly used thematic analysis with Nvivo12 (Paillé & Mucchielli, 2019) to identify and codify stakeholders' knowledge needs and quantitative analyses to quantify these needs and structure our knowledge. As for knowledge structuring, we chose conceptual maps to represent the acquired knowledge, which is justified in our multi organisational context. The conceptual maps constructed became the case vocabulary.

Finally, we conducted a validation workshop to validate the case structure. Our research stance was that of critical realists aiming to capture close approximations of the complex reality. We strived to be neutral instruments for gathering information (Guba & Lincoln, 1994). We carefully analysed the information acquired which required immersion and familiarity with it at the microscopic level.

### 3.3.1 Problem understanding and knowledge sources identification

To identify potential knowledge sources, we needed to determine who is active in Quebec's SWP, how and why. We conducted a first online survey composed of 41 questions, including 19 open-ended questions for qualitative analysis and 22 close-ended questions for quantitative analysis (Cerutti et al., 2021). The survey's objectives were multiple and aimed at documenting several dimensions: 1) who acts to protect water, 2) what knowledge is available to them and what are, if any, the knowledge transfer issues, and 3) what is the decision-making process for implementing actions in the territory for SWP purposes.

Based on 208 responses from various stakeholders such as municipalities, provincial and federal government members, watershed organisations, citizen associations and even private consultants, we found that SWP implementation involves a vast network of interdependent actors in the decision-making process. These actors were identified as potential contributors to the collective knowledge base as well as potential users of a KBS. The survey allowed us to capture an overview of the various water quality and quantity issues experienced by the respondents. These problems are diverse and include soil erosion, contamination from several anthropogenic activities (for example, road maintenance, agriculture, residential areas), drought, floods, invasive species, etc. We observed that explicit knowledge (such as documents or data) and tacit knowledge (stakeholders' know-how) are duplicated among several actors. Also, knowledge access and transfer were

difficult, which confirmed our initial hypotheses. The first survey also allowed us to recruit 100 participants who were willing to contribute to the development of the KBS.

We then carried out a second survey among the volunteer participants. It consisted of one open-ended question: “When you draw on past experiences and examples (from Quebec or elsewhere) – such as legislation and regulations or inspiring environmental actions – what knowledge do you look for?”. Although respondents (n = 36) were mainly municipal and regional authorities, we also obtained responses from other organisations (watershed organisations, trade unions, consultants) and from the federal and provincial government levels.

The responses to the second survey suggested that stakeholders are looking for knowledge at three different stages of a decision-making experience, where an experience is defined as SWP actions previously implemented (Figure 3.2). They are interested in:

1. Understanding why things were done how they were done in the past, making it easier to assess the action’s relevance for their current problem (Why).
2. Gaining insight into the impact of the action(s) previously implemented to evaluate the relevance of replicating the experience (How).
3. Drawing on this experience to build a preliminary project and identify the potential technical and financial resources available for their project (Then).

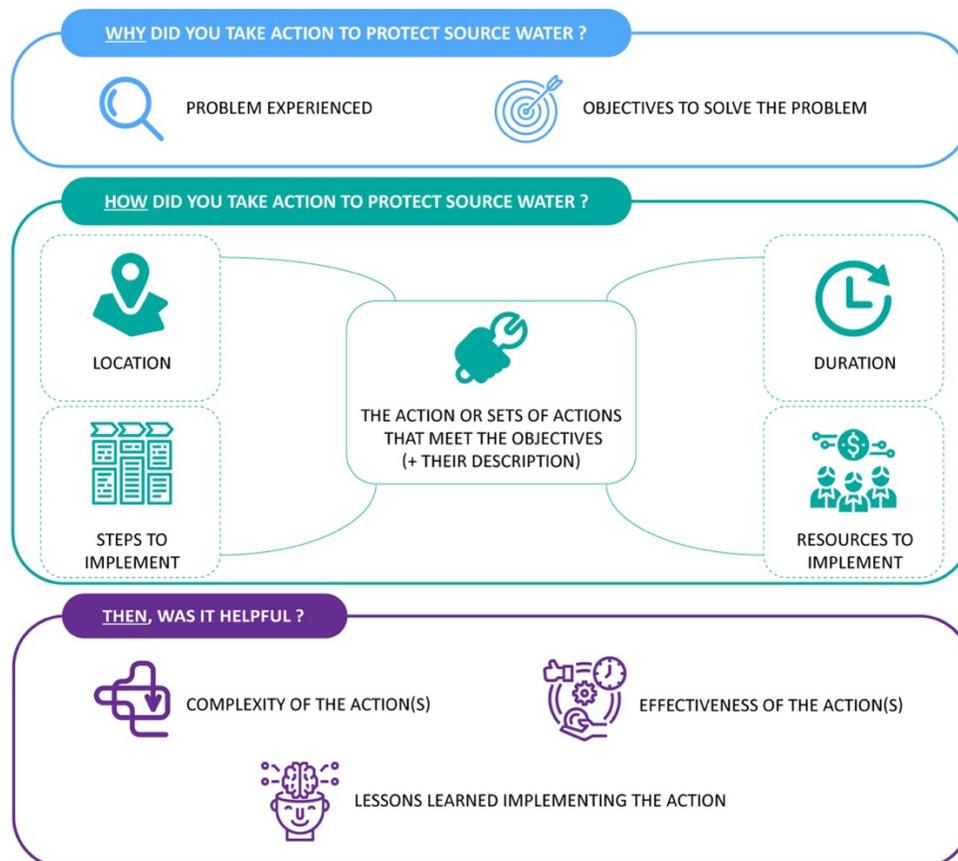


Figure 3.2: What knowledge are the stakeholders looking for regarding past SWP experiences and why?

On the “Why?” dimension, respondents seek to learn about the past problem’s diagnosis and the objective pursued when the action was implemented. For example, why did the stakeholders in a previous experience instal rainwater gardens along downtown roads? Because they had recurring issues associated with contamination from municipal stormwater drains, they wanted to reduce urban heat islands, improve the city’s aesthetics, and favour traffic calming. Respondents gave us several examples of types of knowledge of interest to them: water quality monitoring, observation visits to natural environments, an overview of a territory’s land uses, possible risks associated with anthropogenic activities and the areas impacted by a water quality or quantity issue. Moreover, respondents look for details regarding the techniques and expertise used to gather this knowledge. They also reported looking into scientific sources such as thesis, academic projects, or reports from consultants to understand why a problem had to be solved and the risks for public health and natural environments if no action were taken.

On the “How?” dimension, respondents seek information about the action chosen to address the problem encountered. In particular, they wish to know:

- the action’s location, which allows them 1) to understand the level of governance in which the action was carried out and 2) to have a better idea of the territory’s characteristics such as water bodies, land uses and landscape.
- the process used to intervene, especially regarding the action’s implementation steps. This pertains to the regulatory context, jurisprudence, and implementation techniques. This information is crucial because it can help them evaluate whether they can reproduce the action in their own context.
- the overall action’s duration, including the project’s planning phase. This helps them establish whether reusing the action identified is realistic and meets their constraints.
- all the resources related to the implementation, including: the explicit knowledge (engineering reports, biology reports, geological, hydrological and hydro-geological studies related to the action)
  - The financial resources required to reproduce the action (including details about available funding programmes)
  - the stakeholders previously involved. This includes knowledge about the collaboration process implemented between the stakeholders. Also, survey respondents seek details about citizens’ involvement in the problem-solving process and the action’s implementation. This feedback allows them to identify the stakeholders’ roles in the implementation process.

On the “Then...” dimension, respondents are interested in knowledge related to the post-project phase. They look for information regarding the implementation’s effectiveness, i.e., whether the action has addressed the problem over time and if its implementation’s objectives were met. To document this element, respondents search for the description of the method used to monitor the effectiveness of the implemented actions. Another element of interest is the implementation complexity of the action. This will influence their choice of actions: less complex is naturally preferred to more complex when the outcomes are comparable. Finally, they wish to know about lessons learned from an action’s implementation, such as: what was successful or what failed in the

implementation process and why, how did was political support obtained, what were the legal challenges, the financial difficulties, the technical constraints (lack of expertise, cost of such expertise) and temporal issues (time limit exceeded, for example).

Based on the above analysis of participants' responses to the second survey, we concluded that one of the respondents' purposes for their knowledge-gathering process was to secure support from the territory's political, economic, and social sphere. Indeed, implementing any action without this support is challenging since it depends essentially on public, limited and strictly controlled funding.

### 3.3.2 Data collection and pre-processing

Our data collection of past experiences was guided by how respondents reuse these past experiences and the type of knowledge they seek. We then defined, based on the data, the case attributes (Figure 3.3), where a problem is characterised by a trigger situation that justifies why an action is needed (problem description) and by its context (geographical location). However, since the CBR we propose for SWP is a recommender system, the problem definition also includes decision-making constraints such as cost, duration, complexity and effectiveness. The solution is characterised by the description of the specific objectives pursued (for example, improving the citizens' awareness of water consumption), the stakeholders involved, the legal tools used, the access to external funds (subsidies, grants), the implementation steps and the lessons learned. This problem and solution structure was guided by the answers to the "how", "why" and "then" obtained during our knowledge gathering phase (Figure 3.2).

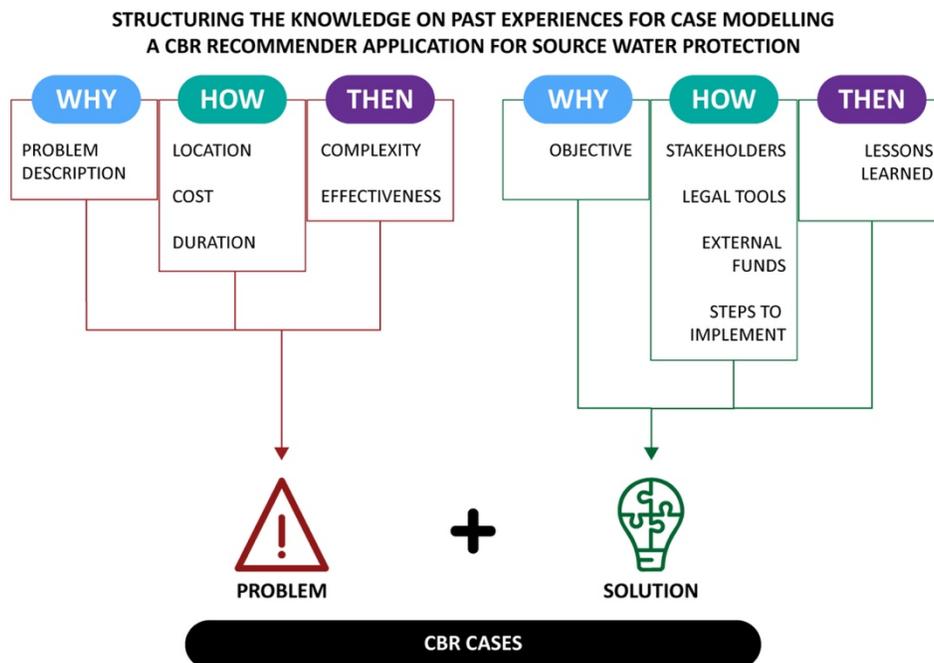


Figure 3.3: From knowledge needs to reuse past experiences to CBR cases: the case modelling for source water protection

To gather knowledge for the case base, we relied on a repository of actions called Répert'eau developed in 2016 by the "Regroupement des Organismes de Bassins Versant du Québec (ROBVQ)" [Grouping of Quebec's watershed organisations]. Répert'eau is a website containing more than 200 experiences from all over the province of Quebec related to actions implemented to promote water protection and integrated resource management. While analysing the content of Répert'eau, the elements of knowledge described in Figure 3.2 were not homogeneous. The repository contains a summary describing the context and the problem, the objectives (the *Why*), the organisations involved, the duration of implementation, the costs, a summary about what was done and legal aspects of implementing the action (the *How*). It also included the strengths and weaknesses of the action (some aspects of the *Then*). However, for each experience, we completed the available data using scientific literature (theses or research projects related to the actions) and grey literature (newspapers, reports from the project managers, websites of the organisations involved, social networks, etc.). Note that since problems are not described in the same fashion (even for the same problem), relying on a structural CBR with attribute-value pairs promotes a common description of the problem encountered.

### 3.3.3 Structuring source water protection issues as a vocabulary

Based on the collected data and guided by our second survey (Figure 3.3), we conducted a thematic analysis of the repository of experiences (Répert'eau) to define the major part of our *vocabulary*. We used existing lists of possible values for some attributes to complete the vocabulary, such as lists of pollutants from Quebec's Ministry of Environment (Phosphorus, Nitrogen, Mercury, etc.), or the semantic categories for costs and duration from Répert'eau (0–10k \$CAD, 0–6 month, etc.).

#### 3.3.3.1 Problems' description

We examined the following questions to describe the problem using the vocabulary: Why did the water managers implement this action? What are they talking about? This step was essentially carried out using thematic analysis, i.e., to pinpoint, examine and recognise patterns within data through codification in a bottom-up approach. For example, we read and described each component of the experiences using themes such as silting issues, erosion issues, wastewater issues, road salts issues. Then, we included them in an upper-level theme, "Degradation of natural environments (risk or proven) and water quality problems", grouped in a higher-level theme, called "Trigger situation". When translated into the CBR attribute-values pair, the attribute (trigger situation) and all the values and sub-values it can contain are illustrated in Figure 3.4 and Figure 3.5.

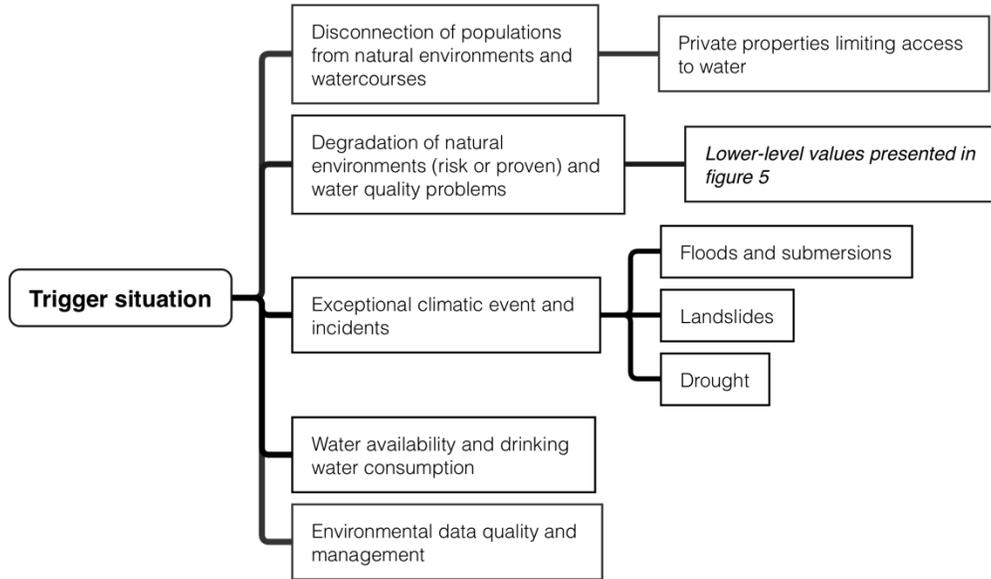


Figure 3.4: Typology of trigger situations related to source water protection

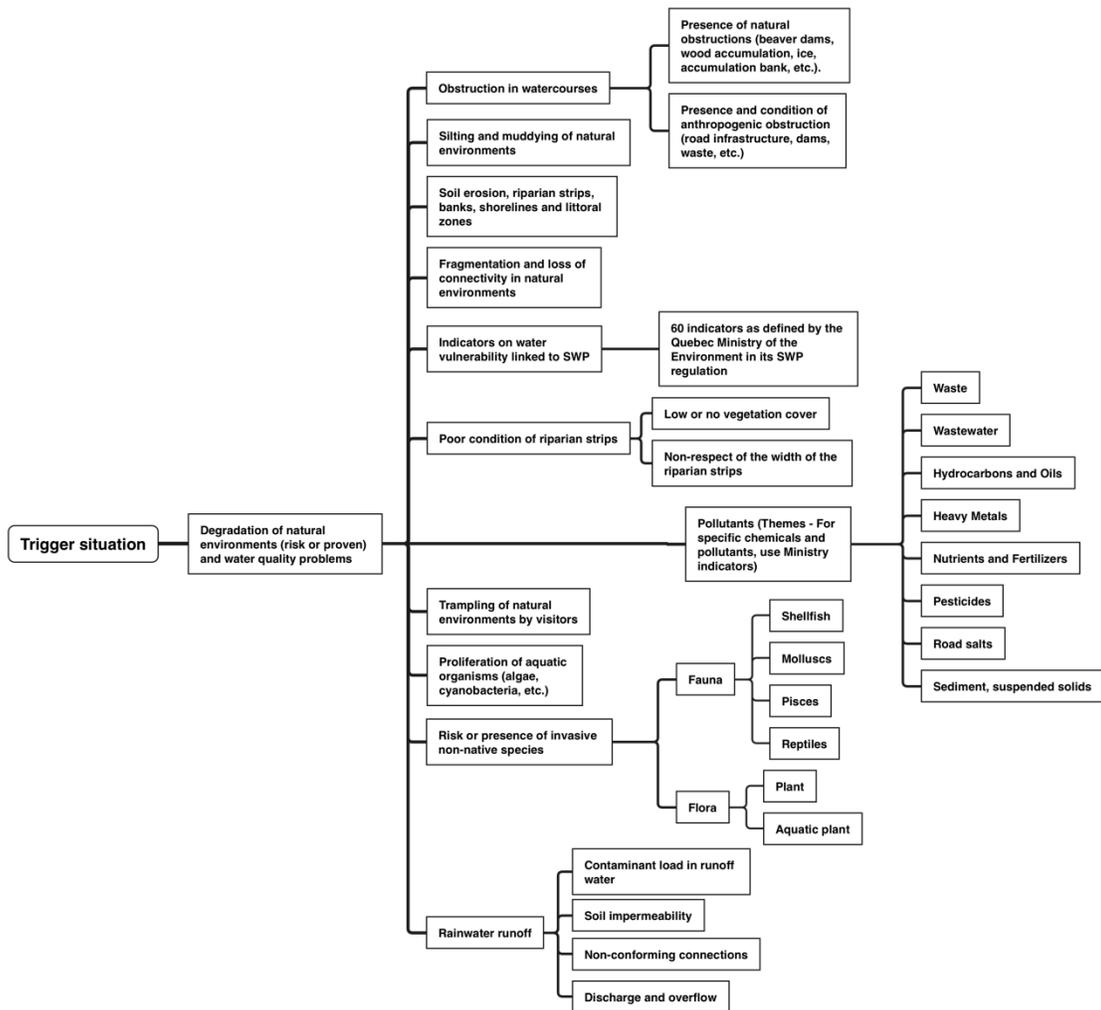


Figure 3.5: The lower-level values for “Degradation of natural environments (risk or proven) and water quality problems”

Figure 3.5 presents an example of lower levels values for the attribute *Degradation of natural environments (risk or proven) and water quality problems*. It is noticeable in this table that there are two different ways to characterise the pollutants. Indeed, to allow the largest number of stakeholders to describe the pollutant involved in their problem, we combined two different lists. First, there is a list of pollutant types such as wastewater, road salts, pesticides. This typology is very general and easy to understand for most people in the field. However, this typology does not represent “real” pollutants at the water chemical scale. Indeed, it is the chemical elements, microorganisms or metals that affect water quality. These can only be identified with expertise in water chemistry and sample analysis in certified water quality laboratories. We, therefore, used water quality indicators for SWP vulnerability as a complementary list to characterise the pollutants such as Turbidity measurement, E. Coli detection, Phosphorus, Nitrogen, Mercury, Arsenic, Benzene (Water Withdrawal and Protection Regulation, 2014). By using this list, we provide water managers with a more familiar environment since they are used to working with this list.

To complement the thematic analysis and to describe the invasive non-native species, we designed the lists based on the information from governmental agencies in charge of the fight against invasive species, such as the Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (2020) [*Quebec Ministry of Forests, Wildlife and Parks*] and the organism Nature Conservancy Canada (2020). Because new species may be considered invasive in the future but are not of concern at this time, we limited ourselves to categories of species to reduce the cost of maintaining the vocabulary. For invasive plants, note that the values are not species but plants in the water (aquatic plant) or on the water's edge (plant). There is a distinction since the solution implemented varies according to where the plant is.

### 3.3.3.2 *Geographical location of the problem*

The type of anthropogenic activities (Figure 3.6) and the type of water body (Figure 3.7) represent the trigger situations' territorial context. The first describes the activity potentially causing the problem (perceived impact or risk), and the second describes the water body impacted by this issue. Note that the standardised typology of activities proposed by the Gouvernement du Québec (2018) was not used since 1) it contains too many values and 2) we do not know whether water managers use this tool. Therefore, the elements identified in Figure 3.6 were extracted using the nomenclature found in Répert'eau's experiences. The activities were structured based on the jurisdiction and stakeholders involved. The typology of water bodies is related to 1) hydro-geological characteristics and 2) governmental jurisdiction.

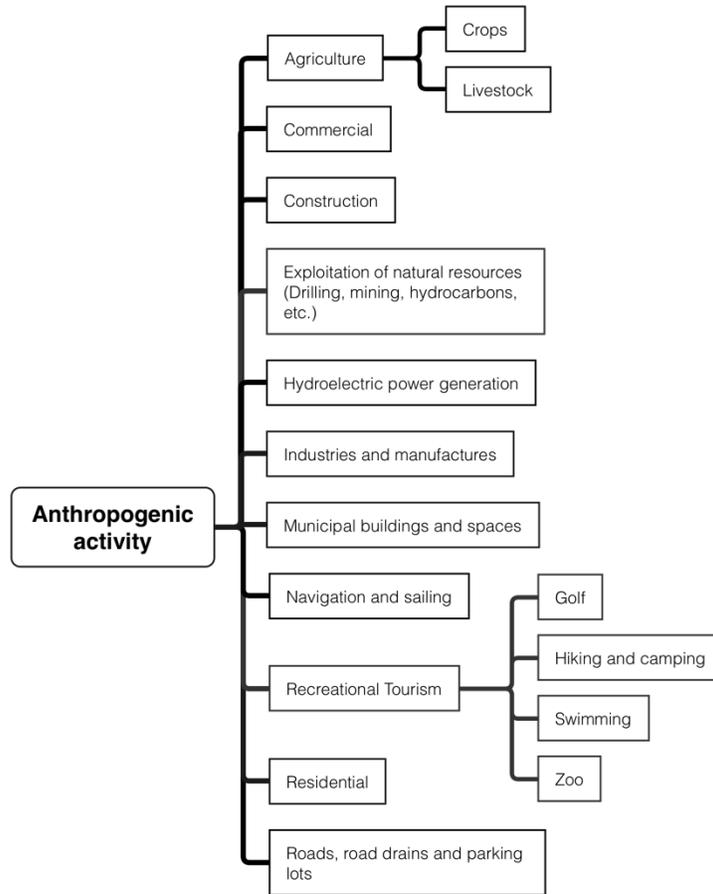


Figure 3.6: Typology of anthropogenic activities

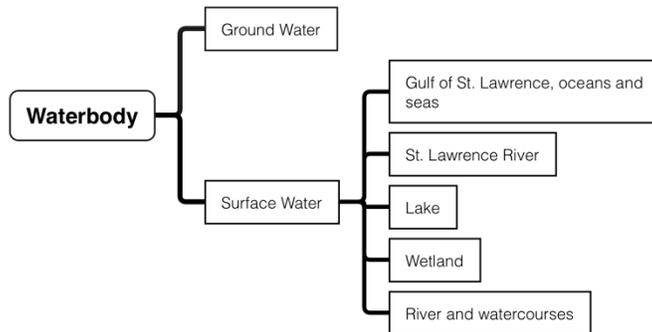


Figure 3.7: Waterbody type and its possible values

#### *3.3.3.3 Case structure validation/knowledge validation*

A workshop was carried out to validate the attributes' structure. Ten decision-makers from three different levels of decision-making (provincial, regional and municipal) were recruited. They were asked to describe a real problem they were trying to solve using the vocabulary we developed. Our goal was to ensure that we were able to capture a problem's characteristics using the attributes we defined. The participants had no difficulties describing their problems using the proposed vocabulary. This confirmed that we were able to adequately describe problems and solutions using our case structure.

#### *3.3.3.4 Solutions' description*

The solutions associated with a problem in a case are defined by the elements shown in Figure 3.3. They are textual entries describing:

- the objectives pursued in connection with the action implemented (what was sought to be achieved or attained by implementing the action);
- the stakeholders involved (ministries, regions, consultants, citizens, etc.);
- the legal tools on which the implementation of the action is based (zoning plan, regulations on which the action is based, etc.);
- the external funds used (special funding programmes from the government or other granting entities);
- the steps taken to implement the action, describing as a log what was done and how it was done;
- lessons learned, which describe the difficulties encountered and the successes achieved in the implementation process of the action.

#### **3.3.4 Case acquisition**

We then translated Répert'eau's knowledge into a structured case base of 199 experiences. Those experiences are mainly related to water quality issues, management of rainwater, managing access to natural environments to avoid trampling and garbage issues, fighting invasive species, or fragmentation and connectivity issues related to urbanisation. We observed that actions aimed at solving environmental issues often address multiple problems with multiple solutions. For example, when the silting is detected, the action consists of solutions, including correction and prevention measures. Also, the situation may be corrected by dredging the river. In addition, the action may include prevention solutions such as the vegetation of riparian strips to retain sediments and limit erosion; improving citizens' awareness of the importance of healthy riparian strips; and municipal funding programmes to purchase and plant trees and shrubs.

### **3.4 Discussion**

This paper described our knowledge acquisition and structuring process as well as our modelling results for designing a CBR recommender system. However, as Leake (1996) pointed out, not all problems are easily transferable to CBR due to knowledge acquisition challenges. This is the case of our application due to the

multidimensional, fragmented, and hard-to-access context knowledge of various stakeholders in various organisations. We addressed these challenges by applying and adapting Weber & Richter's (2013) framework to enable CBR's implementation in our context. To implement this framework, it was necessary to establish a relationship of trust with the stakeholders. We used surveys and interviews to understand stakeholders' knowledge requirements and needs for decision-making. Based on these needs, we applied thematic content analysis to extract and translate knowledge from a web-based repository of experiences. Our results consisted of structured cases formulated as attribute-value pairs describing a problem. We used workshops to validate the entire structure that we built. Using this procedure gave us a better understanding of the problems related to source water protection and the actions (solutions) previously implemented. Also, it gave us insight into water managers know-how when reusing past experiences, namely: (1) which knowledge do they need, (2) why it is needed, and (3) how do they describe a problem. We therefore attained our objectives of answering the questions on whether decision-makers reuse previous SWP experiences, on the availability of knowledge around these past experiences, and on how to use this knowledge to structure a case base for decision-making purposes.

Nonetheless, our research has some limitations:

- Although using online surveys to collect knowledge was a valuable aid in our context since Quebec is a large territory and SWP is not well documented, it was a lengthy process. The first survey design required a year of work and numerous meetings with stakeholders to present our approach and involve them in the project. In addition, the number of respondents to the second survey could have been higher and the sample more representative.
- The thematization work was rigorously carried out through the analysis of the Répert'eau experiences as well as a thorough search of all identifiable documentation on each of the experiences to fill in the missing information. However, the level of detail available is heterogeneous among experiences. It would be interesting to go deeper into specific experiences by collecting the information from the source, i.e., the organisations that implemented the actions, an option that was not feasible in our timeframe.
- Our process was carried out in Quebec, Canada. It might be necessary to adapt some parts of the vocabulary, such as the pollutants lists, or invasive species to other provinces/countries, which impacts the external validity of our research.

### **3.5 Conclusion**

Implementing actions to protect source water from anthropogenic activities is a significant challenge due to the complexity and diversity of the situations requiring intervention. Knowledge sharing between stakeholders and learning from past experiences can be of valuable support to decision-makers in such a context. These observations prompted us to define a research project where the objectives were: (1) to understand knowledge

sharing needs and identify decision-making know-how of various stakeholders involved in source water protection, (2) to use this know-how to develop and apply a method to gather, organise and structure knowledge in a sharable format for their decision-making. We attained our first objective through thematic analysis of surveys and interviews conducted with actors from various governance levels. We also attained our second objective by proposing and applying a knowledge-structuring method based on concepts from the case-based reasoning literature. To identify, acquire, structure and model past experiences to be reused in new situations by other stakeholders, we use surveys to gather decision makers' know-how related to decision-making processes. This led to the design of a common vocabulary, which allowed us to translate the knowledge available in an existing repository of experiences (Répert'eau) to a structured case base. The case base was implemented, along with methods to measure similarity between a current situation and past cases, in a CBR system prototype as a recommender system. The prototype provides interfaces allowing users to interact with the case base and define their current problem's attributes. It is currently under a rigorous testing and validation process conducted with respondents to our surveys and interviewees who are subject matter experts. Following this validation, we expect the recommender to be available for use in an operational environment as decision support.

The benefits of our work to the community of practice in SWP are many. First, by providing a clear picture of knowledge needs to decision makers, this approach facilitates experience sharing among stakeholders. Second, the standardised vocabulary developed can help improve communication and ensure greater consistency when describing future experiences in Répert'eau and possibly in other repositories. Our findings regarding knowledge needs for decision making and the resulting vocabulary have already led to some organisational changes, namely to more complete ways of documenting experiences.

This paper is at the crossroads of knowledge management, case-based reasoning, and decision support. It provides a contribution to the knowledge management and CBR applications literature since it illustrates how knowledge and case engineering can be conducted, in practice, to design decision support systems for a real-world application. In fact, we have shared our experience, challenges, and choices in translating theory into practice in the context of a complex multi organizational decision-making process. We have shown how CBR can be used for source water protection as support to decision makers. As a matter of fact, CBR is still in its infancy in water applications and uncommon in environmental decision-making. It is, however, a promising tool for supporting environmental decision-making, especially when similar problems can recur in somehow different contexts. There is no doubt that experience sharing, and transparency can allow everyone to learn and avoid repeating mistakes, thereby ensuring better use of the limited financial and human resources. On a methodological level, case modelling for CBR is poorly documented in the literature. There is little or no description of the knowledge acquisition and modelling processes. Therefore, our work presented here can guide others in building a case base from scratch in a complex decision-making context.

In the future, we plan on developing and implementing methods to facilitate case base maintenance, thereby ensuring the sustainability, and continued use of our research products. We also plan on integrating ways to evaluate the usefulness of the solutions proposed by the CBR prototype, in terms of complexity and effectiveness of the solution. This could add a pertinent layer of information for decision makers who might have to choose between numerous solutions proposed by the CBR system. We will do this through collaborative work with the many participants involved in the development of this tool.

### 3.6 Acknowledgement

The authors would like to thank all the participants in the surveys, Centr'Eau, the Quebec watershed organizations, the RQES network, the professionals of the Quebec ministries and the Government of Canada for their contribution and valuable time. The authors are grateful for the financial support provided for this project by FRQ-SC, NSERC (CRÉPUL, FONCER-TEDGIER, CERMID), EDS institute & CRAD. Furthermore, the authors wish to thank the anonymous reviewers whose constructive comments have helped us improve this paper. Moreover, the authors want to thank the editor and their team for the precious work in proofreading.

### 3.7 References

- Aamodt, A. (1995). Knowledge acquisition and learning by experience—the role of case-specific knowledge. *Machine Learning and Knowledge Acquisition – Integrated Approaches*, Chapter, 8, 197–245. <https://folk.idi.ntnu.no/agnar/publications/kaml-book-95.pdf>
- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*, 7(1), 39–59. <https://doi.org/10.3233/AIC-1994-7104>
- Akerkar, R., & Sajja, P. (2010). *Knowledge-based systems*. Jones and Bartlett.
- Althoff, K. D. (2001). Case-based reasoning. In *Handbook of software engineering and knowledge engineering* (Vol. 1–2, pp. 549–587). World Scientific Publishing Company. [https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812389718\\_0023](https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812389718_0023)
- Althoff, K.-D., & Weber, R. O. (2005). Knowledge management in case-based reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20(3), 305–310. <https://doi.org/10.1017/s0269888906000543>
- Anthony Jnr, B. (2021). A case-based reasoning recommender system for sustainable smart city development. *AI & SOCIETY*, 36(1), 159–183. <https://doi.org/10.1007/s00146-020-00984-2>
- Armitage, D., de Loë, R. C., Morris, M., Edwards, T. W. D., Gerlak, A. K., Hall, R. I., Huitema, D., Ison, R., Livingstone, D., MacDonald, G., Mirumachi, N., Plummer, R., & Wolfe, B. B. (2015). Science–policy processes for transboundary water governance. *Ambio*, 44(5), 353–366. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0644-x>
- Ascough, J. C., Maier, H. R., Ravalico, J. K., & Strudley, M. W. (2008). Future research challenges for incorporation of uncertainty in environmental and ecological decision-making. *Ecological Modelling*, 219(3–4), 383–399. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.07.015>
- Baird, J., Plummer, R., Morris, S., Mitchell, S., & Rathwell, K. (2014). Enhancing source water protection and watershed management: Lessons from the case of the new brunswick water classification initiative. *Canadian Water Resources Journal/Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 39(1), 49–62. <https://doi.org/10.1080/07011784.2013.872872>

- Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. <https://doi.org/10/ggqs5w>
- Cerutti, J., Abi-Zeid, I., Lavoie, R., & J. Rodriguez, M. (2021). Mise en oeuvre de la protection des sources d'eau potable: Portrait-diagnostic au Québec, Canada. *Vertigo*, 21(1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.31489>
- Choudhury, N., & Ara, S. (2016). A survey on case-based reasoning in medicine. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(8). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2016.070820>
- Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable (Canada), Canadian council of ministers of the environment, & groupe de travail sur la qualité de l'eau. (2004). De la source au robinet guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau potable saine. Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME]. <http://bibvir.uqac.ca/bd/man.php?TD=ARC&IdNot=030013899&FORMAT=pdf>
- Cordier, A., Fuchs, B., & Mille, A. (2009). Le raisonnement à partir de cas: Un paradigme de réutilisation de l'expérience. In E. Egyed-Zsigmond, N. Guin, & A. Mille (Eds.), *Réutilisation de l'expérience: Modèles et applications* (pp. 21–42). Hermes Science publications : Lavoisier.
- Cunningham, P., Doyle, D., & Loughrey, J. (2003). An evaluation of the usefulness of case-based explanation. In K. D. Ashley & D. G. Bridge (Eds.), *Case-based reasoning research and Development* (Vol. 2689, pp. 122–130). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-45006-8\\_12](https://doi.org/10.1007/3-540-45006-8_12)
- Dalkir, K. (2017). *Knowledge management in theory and practice* (Third ed.). MIT Press.
- De Soto, G., Dr, B., Streule, T., Klippel, M., Bartlomé, O., & Adey, B. T. (2020). Improving the planning and design phases of construction projects by using a case-based digital building system. *International Journal of Construction Management*, 20(8), 900–911. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1502929>
- Edelenbos, J., van Buuren, A., & van Schie, N. (2011). Co-producing knowledge: Joint knowledge production between experts, bureaucrats and stakeholders in Dutch water management projects. *Environmental Science & Policy*, 14(6), 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.04.004>
- Ekroos, J., Leventon, J., Fischer, J., Newig, J., & Smith, H. G. (2017). Embedding evidence on conservation interventions within a context of multilevel governance: Conservation and multilevel governance. *Conservation Letters*, 10(1), 139–145. <https://doi.org/10.1111/conl.12225>
- Elsawah, S., Guillaume, J. H. A., Filatova, T., Rook, J., & Jakeman, A. J. (2015). A methodology for eliciting, representing, and analysing stakeholder knowledge for decision making on complex socio-ecological systems: From cognitive maps to agent-based models. *Journal of Environmental Management*, 151, 500–516. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.028>
- Goh, Y. M., & Guo, B. H. W. (2018). FPSWizard: A web-based CBR-RBR system for supporting the design of active fall protection systems. *Automation in Construction*, 85, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.020>
- Gouvernement du Québec. (2018). Codes d'utilisation des biens-fonds [Land Use Codes]. <https://www.mamh.gouv.qc.ca/evaluation-fonciere/manuel-devaluation-fonciere-du-quebec/codes-dutilisation-des-biens-fonds/>
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 105–107). Sage Publications, Inc.

- Holt, A., Bichindaritz, I., Schmidt, R., & Perner, P. (2005). Medical applications in case-based reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20(3), 289–292. <https://doi.org/10.1017/S0269888906000622>
- Joseph, R. P., & Arun, T. M. (2021). Models and tools of knowledge acquisition. In S. Patnaik, K. Tajeddini, & V. Jain (Eds.), *Computational management* (Vol. 18, pp. 53–67). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72929-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72929-5_3)
- Kenny, E. M., & Keane, M. T. (2019). Twin-systems to explain artificial neural networks using case-based reasoning: Comparative tests of feature-weighting methods in ANN-CBR twins for XAI. *Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2708–2715. <https://doi.org/10/ghx6x5>
- Kenny, E. M., Ruelle, E., Geoghegan, A., Shalloo, L., O’Leary, M., O’Donovan, M., & Keane, M. T. (2019). Predicting grass growth for sustainable dairy farming: A CBR system using bayesian case-exclusion and post-Hoc, personalized explanation-by-example (XAI). In K. Bach & C. Marling (Eds.), *Case-based reasoning research and development* (Vol. 11680, pp. 172–187). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29249-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29249-2_12)
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., & Linkov, I. (2005). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2), 95. [https://doi.org/10.1897/IEAM\\_2004a-015.1](https://doi.org/10.1897/IEAM_2004a-015.1)
- Lamontagne, L., & Lapalme, G. (2002). Raisonement à base de cas textuels Etat de l’art et perspectives. *Revue D’intelligence Artificielle*, 16(3), 339–366.
- Lamy, J.-B., Sekar, B., Guezennec, G., Bouaud, J., & Séroussi, B. (2019). Explainable artificial intelligence for breast cancer: A visual case-based reasoning approach. *Artificial Intelligence in Medicine*, 94, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2019.01.001>
- Leake, D. B. (1996). *Case-based reasoning: Experiences, lessons & future directions*. AAAI Press ; MIT Press.
- Leake, D. B. (2001). Problem solving and reasoning: Case- based. In Smelser, N. J., & Baltes, P. B. (Eds.), *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (pp. 12117–12120). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00545-3>
- Lepage, Y., Lieber, J., Mornard, I., Nauer, E., Romary, J., & Sies, R. (2020). The french correction: When retrieval is harder to specify than adaptation. In I. Watson & R. Weber (Eds.), *Case-based reasoning research and development* (Vol. 12311, pp. 309–324). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58342-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58342-2_20)
- Li, S.-T., & Ho, H.-F. (2009). Predicting financial activity with evolutionary fuzzy case-based reasoning. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 411–422. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.09.049>
- Liu, S., Smith, M. H., Tuck, S., Pan, J., Alkurajji, A., & Jayawickrama, U. (2015). Where can knowledge-based decision support systems go in contemporary business management—A new architecture for the future. *Journal of Economics, Business and Management*, 3(5), 498–504. <https://doi.org/10.7763/JOEBM.2015.V3.235>
- Loi sur les ressources en eau du Canada (LRC), L.R.C. § ch. C-11 (1985). <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/c-11/index.html>
- López, B. (2013). *Case-Based Reasoning: A Concise Introduction*. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 7(1), 1–103. <https://doi.org/10.2200/S00490ED1V01Y201303AIM020>
- Lora Ariza, D. S., Sánchez-Ruiz, A. A., & González-Calero, P. A. (2017). Time series and case-based reasoning for an intelligent tetris game. In D. W. Aha & J. Lieber (Eds.), *Case-based reasoning research and development* (Vol. 10339, pp. 185–199). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6_13)

- Martínez-Sastre, R., Ravera, F., González, J. A., López Santiago, C., Bidegain, I., & Munda, G. (2017). Mediterranean landscapes under change: Combining social multi criteria evaluation and the ecosystem services framework for land use planning. *Land Use Policy*, 67, 472–486. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.001>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. (2020). Les espèces envahissantes au Québec. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/>
- Miranda, M., Sánchez-Ruiz, A. A., & Peinado, F. (2018). A CBR approach for imitating human playing style in Ms. pac-man video game. In M. T. Cox, P. Funk, & S. Begum (Eds.), *Case-based reasoning research and development* (Vol. 11156, pp. 292–308). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01081-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01081-2_20)
- Mounce, S. R., Mounce, R. B., & Boxall, J. B. (2016). Case-based reasoning to support decision making for managing drinking water quality events in distribution systems. *Urban Water Journal*, 13(7), 727–738. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1036082>
- Nature Conservancy Canada. (2020). Invasive species gallery. <https://www.natureconservancy.ca/en/what-we-do/resource-centre/invasive-species/./index.html>
- Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., & Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes: The management and transition framework. *Special Issue: Water Governance in Times of Change*, 13(7), 571–581. <https://doi.org/10/dxh49g>
- Pahl-Wostl, C., Knieper, C., Lukat, E., Meergans, F., Schoderer, M., Schütze, N., Schweigatz, D., Dombrowsky, I., Lenschow, A., Stein, U., Thiel, A., Tröltzsch, J., & Vidaurre, R. (2020). Enhancing the capacity of water governance to deal with complex management challenges: A framework of analysis. *Environmental Science & Policy*, 107, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.011>
- Paillé, P., & Mucchielli, A. (2019). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Armand Colin.
- Patrick, R. J. (2009). Source water protection in a landscape of 'New Era' deregulation: SWP in a landscape of 'New Era' deregulation. *The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien*, 53(2), 208–221. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2009.00254.x>
- Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection, L.Q. E § Q-2, r.35.2 (2014). <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/q-2,%20r.%2035.2>
- Richter, M. M., & Weber, R. O. (2013). *Case-based reasoning: A textbook* (1st ed.). Springer.
- Ruikar, K., Anumba, C. J., & Egbu, C. (2007). Integrated use of technologies and techniques for construction knowledge management. *Knowledge Management Research & Practice*, 5(4), 297–311. <https://doi.org/10.1057/palgrave.kmrp.8500154>
- Schoenborn, J. M., Weber, R., Aha, D., Cassens, J., & Althoff, K.-D. (2021). Explainable case-based reasoning: a survey. In: *AAAI-21 Workshop Proceedings*. [https://www.researchgate.net/publication/349173214\\_Explainable\\_Case-Based\\_Reasoning\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/349173214_Explainable_Case-Based_Reasoning_A_Survey)
- Shokouhi, S. V., Skalle, P., & Aamodt, A. (2014). An overview of case-based reasoning applications in drilling engineering. *Artificial Intelligence Review*, 41(3), 317–329. <https://doi.org/10.1007/s10462-011-9310-2>
- Smyth, B., & Cunningham, P. (2017). Running with cases: A CBR approach to running your best marathon. In D. W. Aha & J. Lieber (Eds.), *Case-based reasoning research and development* (Vol. 10339, pp. 360–374). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6_25)
- UNESCO - IIWQ. (2016 March 29). The global water quality challenge & SDGs. <https://en.unesco.org/waterquality-iiwq/wq-challenge>

- Wang, W. M., & Cheung, C. F. (2011). A narrative-based reasoning with applications in decision support for social service organizations. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3336–3345. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.118>
- Water Withdrawal and Protection Regulation. (2014). <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/en/document/cr/Q-2,%20r.%2035.2>
- Zhang, K., Zargar, A., Achari, G., Islam, M. S., & Sadiq, R. (2014). Application of decision support systems in water management. *Environmental Reviews*, 22(3), 189–205. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0034>

# Chapitre 4:

## A case-based reasoning tool to recommend drinking water source protection actions<sup>36</sup>

**Avant-propos.** Le premier chapitre explorait la théorie pour faire émerger les défis sous-jacents à la mise en œuvre de la PSEP. Le second chapitre explorait comment ces défis se concrétisent en pratique au Québec. Ces deux premiers chapitres forment l'activité 1 de la DSRM, soit la compréhension du problème pour lequel la recherche développe une solution. Puis, le chapitre 3, représentant les activités 2 et partiellement 3 de la DSRM, proposait une solution — le CBR — pour le problème. Il débutait le processus de capture des connaissances nécessaires à la conception d'une base de cas d'un CBR, soit la définition de ce qu'est un cas en PSEP et la conception d'un vocabulaire nécessaire à définir les cas. Ce chapitre 4 passe du modèle sur la solution proposée au développement du prototype de KB-DSS utilisant le CBR, puis décrit le test et la validation de la solution proposée (le prototype, soit l'artefact). Le chapitre 4 représente les étapes 3,4 et 5 de la DSRM.

### 4.a Résumé

En réponse à un besoin exprimé par les acteurs de l'eau de les aider à identifier les actions appropriées pour la protection des sources d'eau potable, nous avons modélisé, conçu, implanté, testé et validé un prototype de système de raisonnement à base de cas (CBR). Le processus a été mené en collaboration avec 102 acteurs de la gestion et de la gouvernance de l'eau au Québec, Canada. La base de cas contient près de 200 expériences passées de mise en œuvre d'actions de protection de l'eau à différentes échelles décisionnelles (locale, régionale, provinciale), par diverses organisations (gouvernement, municipalités, associations liées à l'eau), au cours des deux dernières décennies. Cet article décrit notre processus d'ingénierie de cas pour concevoir des attributs de cas basés sur l'analyse de contenu. Il présente l'édition de cas, le processus d'extraction de cas, ainsi que la mise en œuvre et la validation du prototype, réalisés au moyen d'une procédure participative rigoureuse et transparente. Il s'agit, à notre connaissance, de la première tentative réussie d'appliquer une approche CBR pour aider les acteurs de l'eau à protéger les sources d'eau potable. Elle fournit une preuve empirique du potentiel d'une telle approche qui peut être généralisée à d'autres contextes similaires.

**Mots-clés :** Recherche en sciences du design ; raisonnement à base de cas ; protection des sources d'eau potable ; gestion de l'eau ; aide à la décision

---

<sup>36</sup> Cerutti, J., Abi-Zeid, I., Lamontagne, L., Lavoie, R., & Rodriguez, M. J. (Accepted 3<sup>rd</sup> Jan. 2023). Case-based reasoning to recommend drinking water source protection actions: from prototype design to validation. *Journal of Environmental Management*.

## 4.b Abstract

In response to a need expressed by water actors to support them in identifying appropriate actions for protecting drinking water sources, we modelled, designed, implemented, tested, and validated a prototype case-based reasoning (CBR) system. This required an intensive knowledge acquisition and structuring process which we conducted in collaboration with 102 water management and governance actors in Quebec, Canada. Knowledge was organized in a case base containing nearly 200 past experiences implementing water protection actions at different decision-making scales (local, regional, provincial), by various organizations (government, municipalities, water-related associations), over the last two decades. This paper describes our case engineering process to design case attributes based on content analysis. It presents the case edition, the case retrieval process, and the prototype's implementation and validation, conducted through a rigorous and transparent participatory procedure. This is, to our knowledge, the first successful attempt to apply a CBR approach to support water actors in protecting drinking water sources. It provides empirical evidence of the positive potential of such an approach for knowledge sharing and transfer and can be generalized to other similar contexts.

**Keywords:** Design science research; case-based reasoning; drinking water source protection; water management; decision support

## 4.1 Introduction

In 2010, the UN recognized access to clean water as a fundamental human right (Fantini, 2020; Murthy, 2013) and later adopted, in 2015, the Sustainable Development Goals (SDG). One of these goals, SDG#6: Clean Water and Sanitation, includes several targets for improving the quality of water resources in 1) supply systems and 2) water sources in the territory (WHO, 2022). To attain the goal of improving the quality of water sources, a water management approach, that seeks to protect a drinking water source through spatial planning policies and land management activities, has gained momentum worldwide (Al Ibrahim & Patrick, 2017; Ivey et al., 2006; Patrick, 2009). This approach is called drinking water source protection (DWSP) or source water protection (SWP). In Canada, DWSP is one pillar of the multi-barrier approach, which is a set of tools, processes, and regulations to ensure safe, secure, and reliable drinking water from the source to the tap (CCME, 2004). To implement DWSP, the Quebec government - a province of Canada - adopted the Water Withdrawal and Protection Regulation (WWPR)<sup>37</sup> in December 2014. This new regulation requires municipalities to define protection zones in which they must conduct vulnerability and risk analysis to identify the anthropogenic activities that affect or are likely to affect the drinking water intake (Cyr-Gagnon & Rodriguez, 2021).

---

<sup>37</sup> Water Withdrawal and Protection Regulation, RLRQ § Q-2, r. 35.2 (2014).  
<https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/en/document/cr/Q-2,%20r.%2035.2>

Despite the existence of this water management approach, recent reports indicate that drinking water sources are under increasing pressure (Watts et al., 2021) and protecting them remains a significant challenge (UNECE, 2022). Indeed, water management, including DWSP, is known to be a complex combination of multiple scales, actors, and dynamic realities (Elsawah et al., 2015; Pahl-Wostl et al., 2020), leading to vertical and horizontal gaps around environmental decision-making. Vertically, national and international regulatory frameworks are dynamic, pressuring policymakers to adapt, often widening the gap between regulation and local realities (Wuijts et al., 2021). Horizontally, the frameworks that influence water or land management have long been disconnected, significantly impacting actors' ability to collaborate (Stoker et al., 2022). As a result, actors involved in decision-making processes pursue divergent objectives (Ascough et al., 2008; Martínez-Sastre et al., 2017) due to multidimensional factors that influence them, such as economic, political, ecological, cultural, and social factors (Ekroos et al., 2017; Kiker et al., 2005). This lack of a shared purpose hampers the crucial interdisciplinary collaboration necessary for decision-making (D. Simon & Schiemer, 2015), hindering knowledge creation/acquisition, retention, and sharing (Cerutti et al., 2021; Orr et al., 2016; Tengö et al., 2014).

Although many decision support systems are developed and used to support water management, they often focus on providing data to better understand water-related issues (e.g., Ma et al., 2020) or optimizing already-defined actions or scenarios (e.g., Pallottino et al., 2005; Tsanov et al., 2020). There is therefore a gap that needs to be filled, namely how to identify possible actions to correct or prevent a problematic situation. While water actors are used to establishing action plans, they remain ill-equipped when it comes to finding adequate solutions to increasingly complex situations. But, what if someone else, another actor in other locations of the province, has already faced a similar problem and solved it? Can their experience be put to use? Can knowledge be gathered, organized, structured and shared among actors to help them solve new problems? In essence, can past experiences support water actors in identifying relevant future actions to protect drinking water sources? If so, how?

To answer these questions and support water actors in their decision processes, we adopted a Design Science Research (DSR) paradigm (Hevner et al., 2004). DSR is a problem-solving paradigm to improve human knowledge and solve problems by creating innovative artifacts within the information science (IS) field (vom Brocke et al., 2020). DSR Applications have addressed a wide range of issues, such as optimizing Search and Rescue at sea (Abi-Zeid et al., 2019), improving forestry practices (Holopainen et al., 2020), supporting patients and physicians in healthcare (Joachim et al., 2021), and redefining business models to support greater sustainability (Schoormann et al., 2021).

Thus, DSR is a type of research that focuses on developing knowledge and artifacts to help professionals in designing solutions to their problems in practice. In this project, we conducted DSR to develop a tool to help

water actors identify solutions to protect drinking water sources. To design this tool, we analyzed different approaches and technologies. We focused on tools for knowledge sharing and reuse of past real-world experiences. While some have explored bridging knowledge gaps and enhancing learning by breaking knowledge barriers through serious games (Jean et al., 2018), role-playing (Ferrero et al., 2018), storytelling (Gearey, 2018), or learning alliances (Verhagen et al., 2008), we chose the case-based reasoning (CBR) approach. CBR is a well-known problem-solving paradigm from computer sciences (Aamodt & Plaza, 1994; Althoff, 2001; Leake, 2001; López, 2013; Richter & Weber, 2013) that encourages users to learn from past experiences (Lamontagne & Lapalme, 2002). This approach has a wide range of successful decision-support applications through decades of research (Sharma & Sharma, 2020). We consider the CBR approach fully justified for DWSP since reusing past experiences in problem-solving is a common practice in water management (Baird et al., 2014) and solving environmental problems relies on a shared understanding of problems and solutions (Armitage et al., 2015).

We therefore modelled, designed, implemented, tested and validated a proto-type case-based reasoning system (CBR). Our case base was designed based on the knowledge available in Répert'eau, a website containing descriptions of water re-source preservation experiences provided, on a voluntary basis, by water actors in Quebec, Canada. Répert'eau was developed by a not-for-profit organization, Re-groupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ), a crucial player in water governance in Quebec. The use of Répert'eau was an opportunity to enhance its knowledge base while expanding it to meet the water actors' needs.

In this paper, we present our case engineering process to design case attributes based on content analysis, including case edition and case retrieval, as well as the prototype's implementation and use. We describe in detail the validation process, conducted through a rigorous and transparent participatory procedure involving actors from different organizations.

The remainder of the paper is organized as follows: Section 4.2 presents our research approach based on design science research. Section 4.3 explains the design process of the CBR prototype for DWSP. Section 4.4 presents its implementation and illustrates its use. Section 4.5 describes the testing and validation procedure. In Section 4.6, we discuss the limitations of our prototype. Finally, we conclude and provide ideas for future research in Section 4.7.

## **4.2 Research Approach**

In this research, we followed the recommendations and guidelines of the design science research (DSR) literature, where Hevner & Chatterjee (2010) introduced the four-cycle model of DSR to ensure rigorous and

relevant IS research. Figure 4.1, adapted from Drechsler & Hevner (2016) to our problem, illustrates the four research cycles and provides context-specific information. We briefly describe our research cycles.

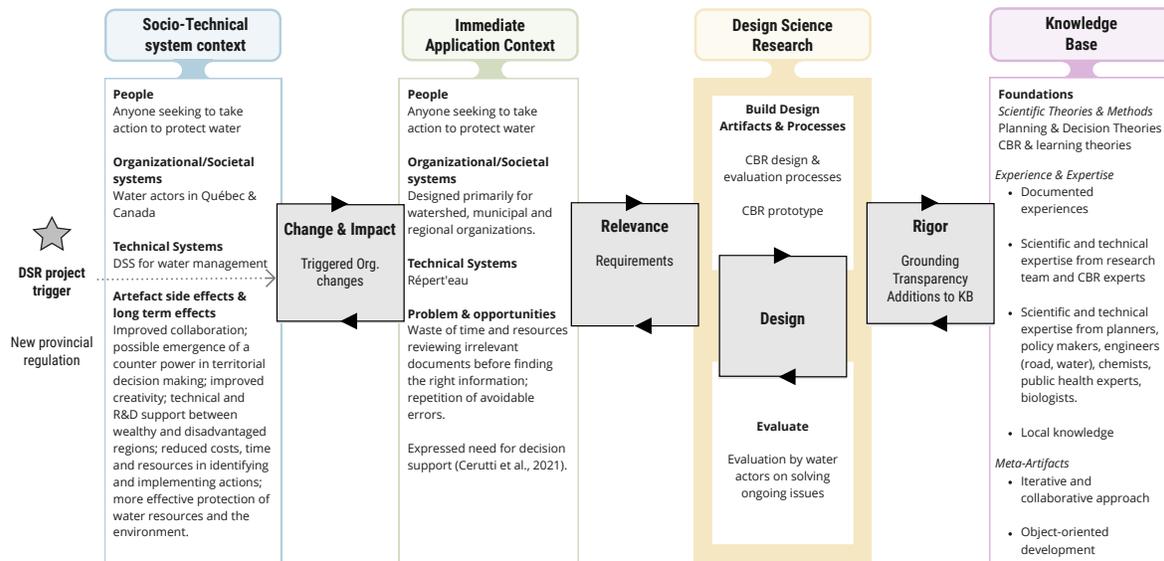


Figure 4.1: Design science research cycles

**Change & impact cycle:** our research is set in a multi-scale context where various actors at different organizational levels can act using technical tools providing information and data on the state of water, which support decision-making. However, none of them are specialized in action research and water protection. Thus, the long-term impact of a tool focused on source protection is difficult to predict. However, since we focussed on providing an open access experience sharing tool, positive impacts on water resources and stakeholder interactions can be expected. In addition, CBR could help create a countervailing power in the decision-making process. For example, a municipality may propose an action plan, while other stakeholders may propose an alternative action plan to the municipal council based on the same tool.

**Relevance cycle:** The relevance of our research is established as the need for support in identifying strategies and actions that promote DWSP was expressed by water stakeholders in a survey conducted in 2018-2019 (Cerutti et al., 2021). In this survey, 102 actors from varying backgrounds self-recruited to participate in this research project.

**Design cycle (technical aspects):** we conducted an extensive literature review and discussions with many experts in the CBR field. Schoenborn et al. (2021) briefly describe the components of CBR systems as the combination of four knowledge containers (case base, similarity function, vocabulary, and adaptation rules). A CBR mainly relies on a four-step cycle: retrieve, reuse, revise, and retain (introduced by Aamodt and Plaza in

1994). In this design process, we focused on three of the four knowledge containers, excluding adaptation rules, as our application is focused on experience retrieval.

Rigor Cycle: Our approach was based on a commitment to transparency with actors actively participating in our process. It relied primarily on a well-established research field, namely CBR. We anchored our research in a design science research paradigm supported by a design science research methodology. We explored organizational learning theory and decision theories to improve our understanding of the decision-making processes and the learning processes involved in decision-making, as well as to situate the use of CBR within a decision-making process.

Our design cycle led to the creation of methodological artifacts. First, a collaborative manual case engineering process to design qualitative attributes based on content analysis; then, a rigorous qualitative validation procedure with water actors. It also led to an artifact for practice: Q.SyAPSE<sup>38</sup>, a CBR system prototype intended to support organizations acting at one/several territorial and decision-making scales in developing water protection action plans.

Our design process was collaborative, iterative and transparent. We collectively defined and refined our artifacts with the help of water actors. The goal of these iterations was to ensure that their knowledge needs were best met while promoting consistency with existing tools. To do so, we collaborated with experts from several disciplines to capture knowledge relevant to solving water-related problems and to help us validate our approach and results.

During the design process, we followed the Design Science Research Methodology (DSRM) for IS introduced by Peffers et al. (2007, p. 58) to guide researchers through the design process. Figure 4.2, adapted from Peffers et al. (2007) to our problem, illustrates the design process and provides context-specific information.

---

<sup>38</sup> Système de recommandation d'actions pour la protection des sources d'eau potable au Québec (Q.SyAPSE) can be translated to *Recommendation system for the protection of drinking water sources in Quebec*.

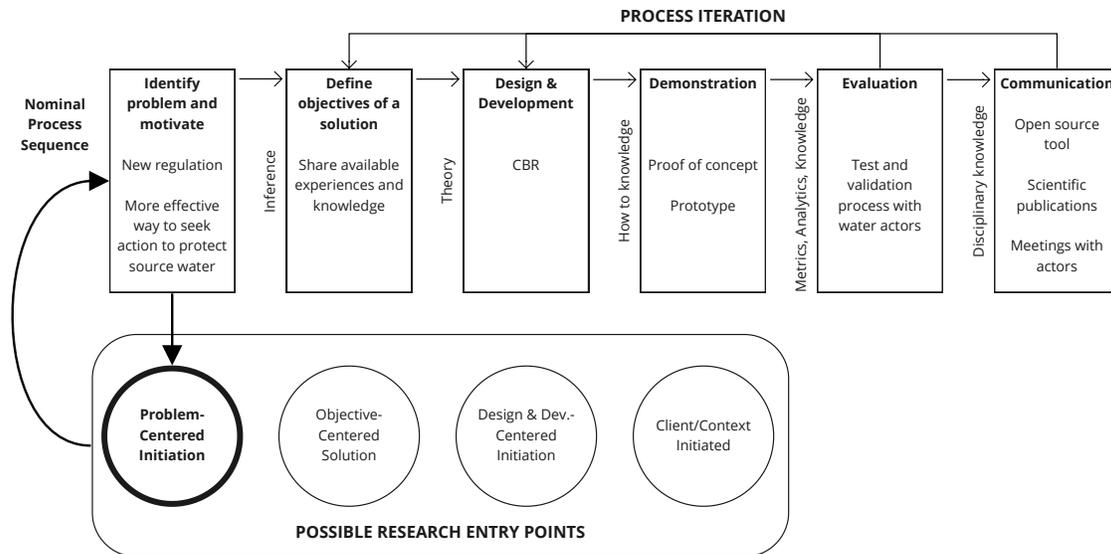


Figure 4.2: Design Science Research Methodology

Our research entry point was a problem-centred initiation: The adoption of the new provincial regulatory framework in Quebec entailed a need for a tool to support water actors in identifying and implementing source protection actions. This led to identifying a way to share experiences in implementing actions, especially the knowledge they contain. The CBR represented an opportunity to support water actors in solving their problems. This process culminated in the design, implementation, and validation of the Q.SyAPSE tool.

### 4.3 Designing a CBR prototype for drinking water source protection

When a drinking water source is threatened, an actor (usually a municipality in our case) initiates a decision-making process to correct or prevent the problem. In this creative process, actors will gather knowledge from multiple sources (areas of expertise and actors) and past experiences to design the solution. Knowledge from past experiences will help them to understand 1) why the action was taken, 2) how to implement the action, and 3) the benefits of the action to address the problem (Cerutti et al., 2022). In this section, we describe the manual case engineering process (4.3.1), the case base (4.3.2), the case edition (4.3.3) and the retrieval process (4.3.4) to support actors in their creative process.

#### 4.3.1 Collaborative manual case engineering process

To design the case base, we followed a 4-step procedure: 1) Extract; 2) Organize; 3) Code; 4) Export (Appendix C). We relied on content analysis using the software tool NVivo<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> NVivo is a qualitative data analysis software produced by QSR International. <https://www.qsrinternational.com/nvivo-qualitative-data-analysis-software/home>

We first imported the summary of 198 Répert'eau experiences into individual NVivo documents. Using reverse case engineering, i.e., from the available information on the solutions, we cross-referenced, for each implemented action, all related documents that we found (technical reports, press articles, public briefs, scientific articles and theses, and any other information available on social networks) in order to determine the context of the problem (Figure 4.3, upper-left side "Input"). In this research, a *problem* represents a trigger situation initiating a decision-making process, namely one or more natural or human-caused events that affected – or could have affected – the quality or the availability of drinking water at its sources (surface and groundwater). A *solution* represents an action (corrective or preventive) implemented regardless of scope and nature (long-term, short-term, financial incentives, works, regulations, etc.).

We then manually **extracted** and **organized** a knowledge taxonomy (concept maps), which we collaboratively designed and validated with our collaborators, the water actors (Cerutti et al., 2022). The example in Figure 4.3, taken from a real case, highlights in the "input" section the nature of the cases, that can include interconnected problems and various solutions. The taxonomy we identified was translated into qualitative attributes representing the vocabulary and implemented as tree nodes in NVivo. Nodes are references to a feature (themes, things, people, ideas, etc.), as seen in the upper-right section of Figure 4.3 ("Nodes/Vocabulary").

We then **coded** each experience with the corresponding nodes. Finally, each document was **exported** from NVivo as a binary vector (Boolean-valued attributes). An attribute with a value of 1 indicates that it is present in the problem description input, whereas a value of 0 indicates its absence, as seen at the bottom of Figure 4.3. This vector became the case description, as seen in Figure 4.3, in the lower part, "Case (Vector)."

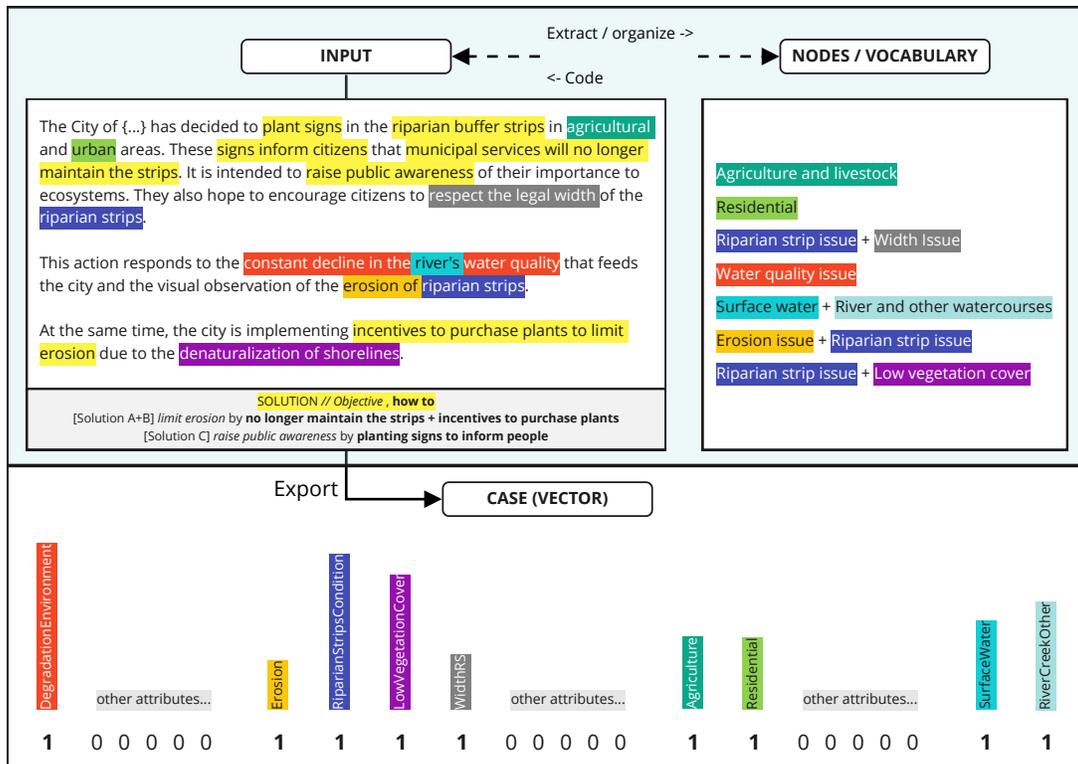


Figure 4.3: Example of manual case engineering using NVivo

#### 4.3.2 Case base

Our case base consists of 198 experiences in preserving water resources in the province of Quebec, Canada. These cases span two decades and were implemented at several decision-making scales (local, regional and provincial). Cases can be de-scribed by a total of 133 nominal qualitative attributes describing a problem and its solution (Appendix D). As the association between the trigger (problem) and the action (solution) is not always apparent in real-life situations, many attributes (130) were necessary to describe and nuance them (red section of Appendix D). Approximately half of the attributes are chemical compounds from Quebec's WWPR and RQDW regulations. Seven are not involved in the CBR retrieval cycle and are used to guide the narrative description of the case.

Because the 130 attributes describes various problems, 1) it is impossible for a case to have values for all attributes simultaneously, and 2) a case's attributes can only be a subset of the attributes set. We define the attribute values as Boolean with the following interpretation: 1 defines a known issue, such as "the attribute describes my issue(s)." 0 defines any other situation, such as "the attribute does not describe my situation, or I do not know if it describes it."

For the solution part, only two attributes describe the solution (Name of the solution and URL). Along with the CaseID, the solution attributes are used for case storage (black and green section in Appendix D). URLs redirect users to targeted experiences in Répert'eau that contain valuable information for decision-makers.

### 4.3.3 Attributes organization for case description

Attributes follow a logical clustering structure created with the water actors involved in the project (see Cerutti et al., 2022). They are grouped into three clusters: Trigger situation, Vulnerability & Pollutants and Territorial context / Affected water body clusters. Each cluster represents the grouping of a set and subset of attributes that describe a specific aspect of the problems and their context. The attributes were chosen and grouped along with the problem description because the same regulatory framework governs them. The following questions were behind our clustering logic: “what triggers an action (higher level trigger); what is known about what triggers an action (lower-level trigger + vulnerability & pollutants); what surrounds what triggers and will influence an action (territorial context).” The more nuanced the trigger, the more it requires and expresses one's knowledge of the problem (Figure 4.4). The relationship between the attributes (clusters) is shown in Appendix D.

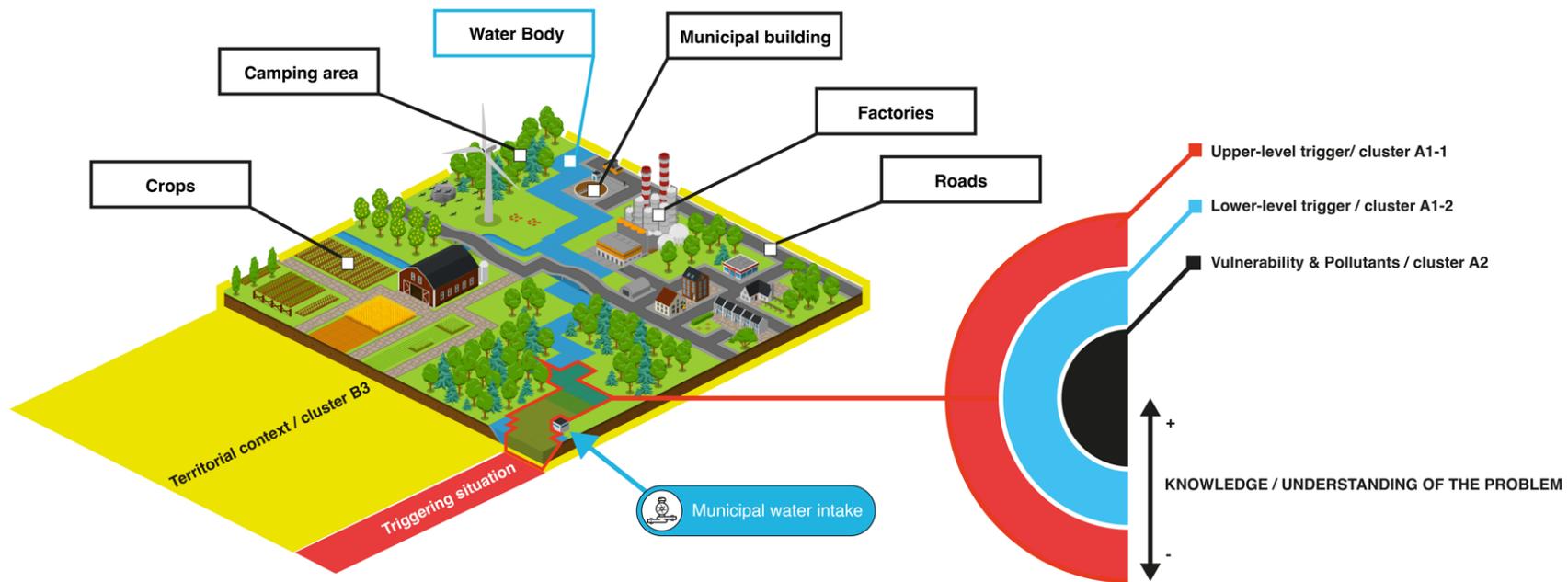


Figure 4.4: Attributes clustering from the land management perspective

- **A1 cluster:** is the **Trigger situation** and is divided into *Upper-level Triggers (ULT, A1-1 / 11 attributes)* and *Lower-level Triggers (LLT, A1-2 / 27 attributes)*. *ULT* are broad themes describing the events that triggered the decision-making process. *LLT* provides nuance and deepens the understanding of a problem. These attributes form the core knowledge needed to describe the problems. For example, invasive species or silt-up issues (LLT) are part of the environmental damage issue (ULT). Landslide or flooding events (ULT) are part of man-made or natural disaster events (ULT).
- **A2 cluster:** is related to **Vulnerability & Pollutants** and is used to describe contamination (68 attributes). Users can document it using qualitative themes in lay terms or using a technical list of chemical contaminants found in Quebec’s regulations (WWPR and RQDW). They can choose attributes from one, the other or both lists. For example, “road salts” (a lay term) are not really a pollutant; calcium or sodium chloride (technical terms) is the pollutant. However, many actors cannot identify the chemicals since they are not all experts in water chemistry. Our decision to use both lists is justified in a context where the information is not always available in a given format, and where the application is aimed at actors with different backgrounds.
- **B3 clusters:** are related to the **Territorial context (17 attributes)** and **Affected water body (7 attributes)**. They contain the attributes related to the spatial context and land uses related to the problem (e.g., roads, camping areas, factories, and water bodies such as rivers and lakes).

#### 4.3.4 Case retrieval

In order to retrieve, from the case base, past experiences that are similar to the current new problem, we implemented a function to measure the similarity between query  $Q$  (new problem) and case  $C$  (past experience in the case base). This helps identify the nearest neighbours of the new problem based on the attribute values. The degree of similarity,  $Sim(Q, C)$ , is the proportion of non-empty attributes in  $Q$  that are also non-empty in  $C$ , as shown in Eq. 4.1, where  $Q_i$  is the value of attribute  $i$  in  $Q$  and  $C_i$  is the value of attribute  $i$  in  $C$ . Recall that these values are either 1 (information is present in the problem description) or 0 (information is absent)

$$Sim(Q, C) = \frac{\sum_{i=1}^{130} 1_{Q_i=C_i=1}}{\sum_{i=1}^{130} 1_{Q_i=1}}$$

Equation 4.1: Similarity function

We also compute a dissimilarity index between the Query and each case,  $\Delta_M(Q, C)$ . It is obtained by computing the number of attributes that are present in Q but not in C or present in C but not in Q, as shown in Eq. (4.2):

$$\Delta_M(Q, C) = \sum_{i=1}^{130} 1_{Q_i \neq C_i}$$

*Equation 4.2: Dissimilarity index*

Based on these indices, the implemented prototype, Q.SyAPSE, returns to the user a set of cases ranked according to a decreasing degree of similarity (relative match value) and increasing dissimilarity (absolute number of mismatches). An initial similarity computation using Eq. 4.1 on cluster A1 to eliminate unrelated cases is first applied. This step filters out cases with no common A1 attributes with the query. The similarity between the query and the remaining cases is then computed on all the remaining attributes, including those of A2 and B3 (a flow diagram of the retrieval process is presented in Appendix E), followed by the computation of the dissimilarity index (Eq. 4.2).

#### **4.4 An example of a use case**

Our Q.SyAPSE prototype was implemented as a Java standalone application. It relies on the JColibri 3.0 libraries to implement the CBR algorithms (Díaz-Agudo et al., 2007). To illustrate the prototype, we present the following use case.

A municipality is concerned that the riparian buffers around the lake and the stream upstream of the lake are eroding year after year, affecting the quality of its source water, particularly by increasing turbidity at the drinking water intake. Since both water bodies are located solely in agricultural areas, it is assumed that the potential cause of this erosion is related to this activity. Attributes in Table 4.1 describe this new problem. We see four attributes in the A1 cluster, one in the A2 cluster and four in the B3 cluster.

Table 4.1: Selected attributes describing the problem

Page	Upper level	Lower level
A1	Environmental Damage Issue / <i>DegradationEnvironment</i>	Silt up issue / <i>SiltUp</i>
		Erosion issue / <i>Erosion</i>
		Pollutants / <i>PollutantTHM*</i>
A2	Sediment and suspended solids / <i>SedimentSuspendedSolids</i>	
B3	Agriculture and livestock / <i>Agriculture</i> Surface water / <i>SurfaceWater</i>	Lake / <i>Lake</i>
		River and other watercourses / <i>RiverCreekOther</i>

Attributes in the query questionnaire / *Attributes in the CBR vocabulary*  
 \*Page A2 is presented to users only if *PollutantTHM* is selected in page A1

To interact with the prototype, the user must fill out a questionnaire describing the problem they are trying to solve. The questionnaire is organized into pages and sections according to the clustering presented in Section 4.3.3. Completing the questionnaire takes only a few minutes despite the number of attributes. The user can then choose to display between 5 and 20 most similar cases (N). For illustrative purposes, Figure 4.5 shows the query interface for page A1. Appendix F contains all the pages.

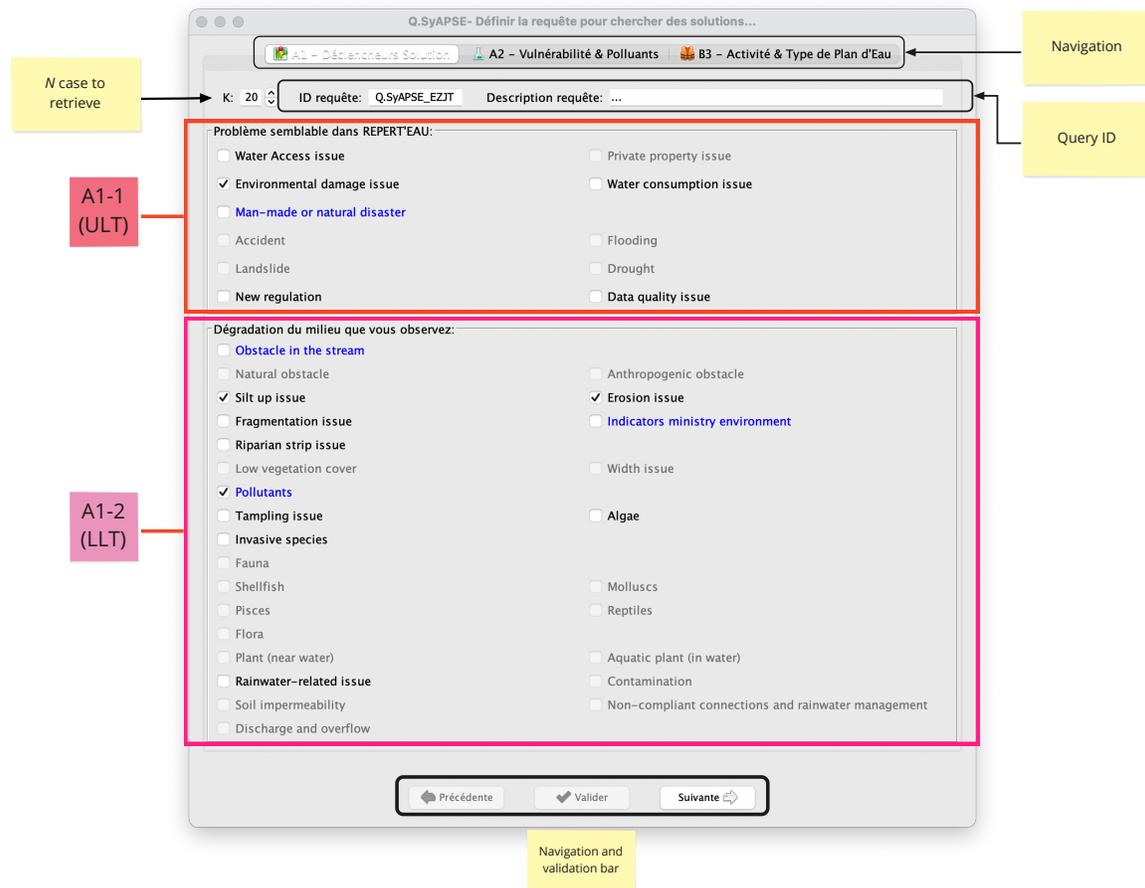


Figure 4.5: Overview of Q.SyAPSE query questionnaire (Page A1)

After validating the query questionnaire, the prototype displays the result on its main page, namely the most similar cases that can provide helpful information for solving the current problem (Figure 4.6). The case base overview (upper section) displays the CaseID (left), a graph showing the attribute values in each case (yellow area), and the text that describes the action name as written in *Répert'eau* (right). The solution overview displays the results proposed by Q.SyAPSE. When the user clicks on a solution, he/she obtains information about the case, including a link to the web page related to this case in *Répert'eau*. As mentioned above, the solutions are ordered by decreasing similarity score and increasing dissimilarity score. The similarity score means that the old experience solved a similar problem and can provide helpful information to solve the current problem. The dissimilarity score indicates how different the current problem and those encountered in the past are.

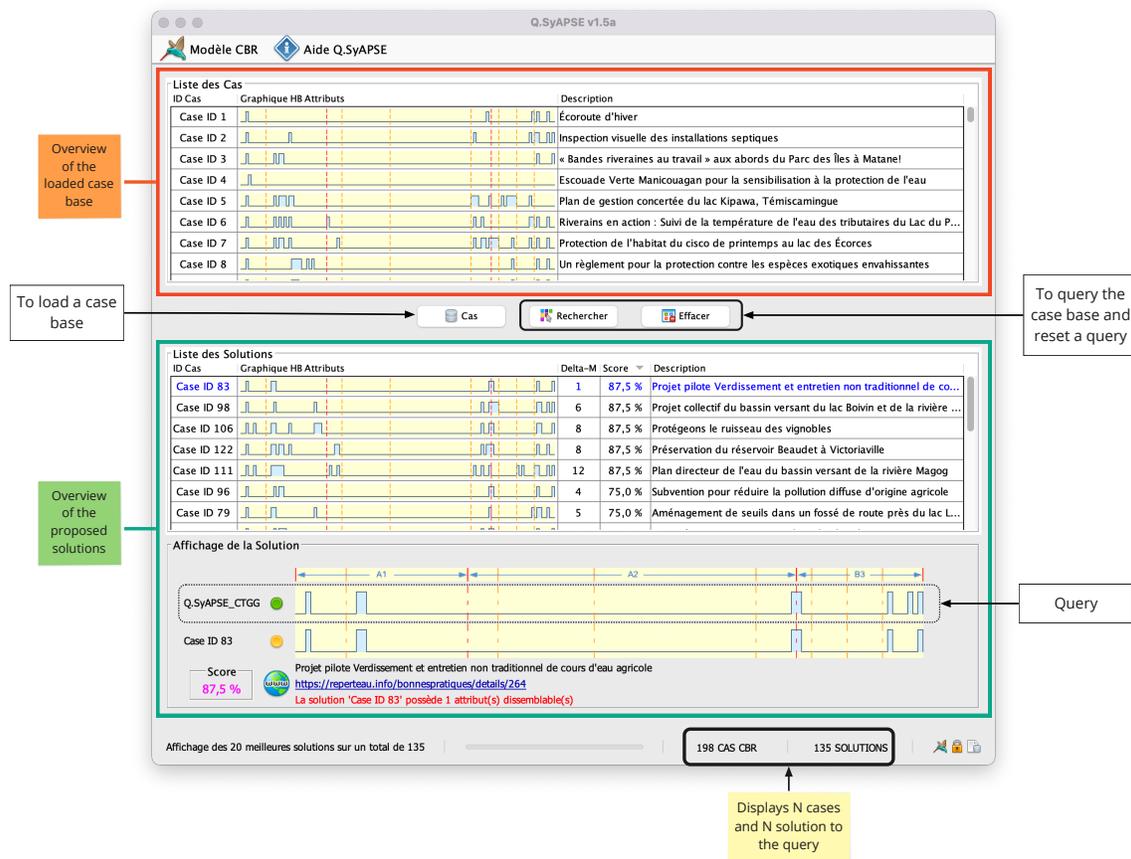


Figure 4.6: Q.SyAPSE main output window

For this use case (Table 4.1 and Figure 4.6), various solutions can help fight erosion around the lake, such as (1) an innovative riparian buffer maintenance method to control erosion using stone and logs to slow down the water velocity and two sedimentation basins (CaseID 83); or (2) a re-naturalization project implemented through an innovative collaborative process between public, private and NGO organizations (CaseID 98); or also (3) dredging and planting works to restore a watercourse to its natural state prior to urbanization (CaseID 106).

All these three experiences are relevant to the case at hand, even if they address the erosion issue differently. The final decision to implement the suggested actions rests with the water actors. They are free to implement one or more of the suggested actions, partially or completely, with or without adaptation.

## **4.5 Test and validation process with water actors**

Testing and validation are part of DSRM's *Demonstration* and *Evaluation* activities. However, the testing process we adopted started earlier and can be divided into two testing phases through online workshops.

The first testing phase was part of the design and development process. We performed tests and adjustments throughout the modelling process. The first tests were conducted by running the model with ten real experiences found in Répert'eau that had not been included in the case base, followed by tests with fictitious cases. Our results were presented to water actors, who gave us feedback which led us to adjust the conceptual model (similarity and attributes).

The second testing phase started after implementing the model in the proposed Java application. The main objective of the second phase was to collect comments and suggestions to improve the prototype while validating it. The testers who participated in this second phase were a subset of the water actors who self-recruited at the beginning of the project (first survey).

In the following sections, we describe the procedure for selecting testers (4.5.1), the test and validation procedure (4.5.2) and the validation results (4.5.3).

### **4.5.1 Procedure for selecting testers**

Our selection procedure for recruiting testers is based on three criteria that we have designed through a rigorous and transparent process (Appendix G): 1) the presence of multiple testers working in the same type of organization in the same area, 2) the type of territory (classification we designed from the land-use coverage), and 3) the number of actions implemented in the area.

We used the DSRM process to design these criteria. In the first and second activities of the DSRM (1. identify the problem and motivate/2. define the goals of a solution), we recruited 102 professionals (first survey) and then a subgroup of 35 professionals (second survey) to better understand DWSP in practice and help us design our model. It taught us about the type of organizations involved in Quebec water sources protection/management. It also gave us information about actors' locations and action areas in the province. Using this knowledge, we portrayed the land uses to identify the type of territory surrounding the actors. Then, when designing the case base (DSRM activity 3), we identified where the actions were implemented.

By applying these criteria to the subgroup of actors (n=35) we previously recruited from the second survey, we identified a new subgroup of potential testers (n=22). Then, in the subgroup of potential testers (n=22), we have selected testers whose profile, field experience and background would allow us to challenge our proof of concept. Based on our experience with online decision-making workshops, we limited the number of testers to a maximum of 10 to 12. This was a manageable and appropriate number for our needs at that stage. The selected testers (n=10) are actors from :

- Watershed organizations (n=4) because of their strong involvement with citizens in the territories and significant action range [Group REP C];
- Municipalities/regional authorities (n=3) because of their legal right to act and legal responsibility in water quality and public health [Group REP B];
- Ministries (n=3) because they represent the regulatory authority and are involved in supporting other actors [Group REP A].

One respondent withdrew from the testing process just before the second workshop. However, the material was already prepared for the assessment, and we did not have time to recruit a new tester. The second workshop was with nine testers instead of ten.

#### 4.5.2 Test and validation procedure

We used the Framework for Evaluation in Design Science Research (FEDS) to design the entire validation procedure (tools and objectives), as indicated in Table 4.2. FEDS consists of four steps: 1) making objectives explicit, 2) selecting assessment strategies, 3) identifying properties to be assessed, and 4) designing individual assessment episodes (Venable et al., 2016). In this procedure, we held kick-off meetings and two workshops of 1-3 hours.

Table 4.2: Test and validation procedure

	Workshop A July 2021	Workshop B November 2021
<b>Research objective</b>	a) Get new problems to solve b) Improve/verify the vocabulary	Evaluate the similarity function
<b>Tasks of the testers</b>	a) Use the questionnaire to describe a new case b) Identify errors in the questionnaire c) Suggest improvements	Identify irrelevant solutions

#### *4.5.2.1 The kick-off meeting*

Depending on the testers' availability, we held several meetings (individually or in groups) to start the testing procedure. Each tester attended only one of these meetings. Related to FEDS, we described 1) a summary of the project, 2) where we were in the design process, 3) what we expected them to do in the workshop and what their role was in this crucial step, 4) how the test would be conducted and what tools we would use. An email describing the procedure and links to the evaluation tools was sent at the end of each meeting. Finally, a reminder was made that they would not directly use Q.SyAPSE but rather the first author facilitating the meetings.

#### *4.5.2.2 Workshop A*

To collect new test cases (problems) that would be submitted as test cases to the prototype, testers were asked to complete a copy of the query questionnaire using SurveyJS, an open-source survey generator. The problems had to be related to ongoing real-life issues. They were free to repeat the exercise as many times as they wished. It took an average of 15 minutes for testers to complete a questionnaire.

Along with completing the questionnaire, testers were asked to 1) take notes regarding the difficulties or misunderstandings they encountered while doing the exercise; 2) identify missing or useless attributes; 3) reflect on their overall impression when using the questionnaire. The feedback was collected at the end using the following open-ended questions. Their input was valuable and allowed us to improve the model.

- Q.1. *Did you experience difficulties describing your problem using the questionnaire (misunderstanding, bugs, inconsistency in the question grid)?*
- Q.2. *Do you have any suggestions for improvement?*

#### *4.5.2.3 Workshop B*

At this stage, we had anonymized the comments and questions (n=56) and the collected test cases (n=38) from workshop A. We next submitted the test cases to the prototype Q.SyAPSE. In this workshop, we divided the testers into groups (those described in the recruitment procedure) based on their experience in the field and their organization's decision-making authority. In doing so, we ensured that each group member felt comfortable enough to speak during the discussions according to his/her expertise. Because anonymity was crucial, we ensured that testers from different groups could not identify responses from other groups or recognize who was included in the other groups.

Ten problems, one per tester, were randomly selected from the submitted forms (n=38). For each selected problem, we used the prototype to identify the most similar cases. Since we had a time constraint, the four cases with the highest similarity scores were submitted to the testers for discussion.

During the workshop, we reminded the testers of the attributes describing each problem. Then, we presented the solutions proposed by Q.SyAPSE. Each participant had to answer the following question “Are any of the proposed solutions unrelated to the problem to be solved, and Why?” This question evaluates how relevant the solutions proposed by the system are according to the problem they used in the query.

### 4.5.3 Validation results

#### 4.5.3.1 Workshop A

In this workshop, our goal was to improve/verify the vocabulary. Users validated the attributes. They suggested about 30 changes to improve the form, such as changing the display of sub-questions, adding visual content, or adding a help box to help them answer certain questions. All proposed changes have been recorded in the project log. As they do not affect the functioning of the current prototype, it was agreed with the water actors that they will be implemented when the tool is transferred to the organization that will operate it.

#### 4.5.3.2 Workshop B

In this workshop, we evaluated the relevance of the results retrieved by the prototype. Each group assessed its own test cases since group members (REP) are related to a specific jurisdiction. For each test case (TC) submitted in Workshop A and randomly selected (sec. 4.5.2.2), we asked the testers how many of the four proposed solutions were relevant to their problem (relevance). We calculated a relevance score for each test case, i.e., the number of cases proposed by the prototype, deemed relevant by the testers, divided by 4 (the total number of proposed cases). We then calculated an average relevance score over the three tester groups (Appendix H).

With an average relevance score of  $R=0.8$ , testers felt the prototype returned relevant solutions to their problems. Moreover, they all agreed when a case was deemed irrelevant. One TC was deemed entirely irrelevant. It concerned an issue that was never documented in Répert'eau and, therefore, does not appear in the case base. Despite the diversity of problems encountered in the field, the prototype was unable to propose a similar case for only one test case.

Jointly with the testers, we drew the following conclusions and recommendations:

- It is necessary to include a new post-filtering cycle. This would remove overly strategic solutions when they are not desired. This problem was encountered mainly by Group C (TC8-10), which operates on a regional scale and at the intersection of several territorial administrations.
- Despite testers' validation, there are likely inaccuracies in assigning attributes to problems (code stage in NVivo).

- Testers recognize that the system may return empty or inaccurate results for emerging nondocumented issues. However, they are willing in the future to document any situation that could improve the case base as thoroughly as possible.
- Group C testers expected that there would be exclusion rules between attributes. For example, for a wastewater issue (A2), the attribute describing the land-use “roads” (B3) should not be selectable. The exclusion was discussed at length during the modelling process with the water stakeholders involved in the project. The conclusion was that it was impossible to link problems and contaminants systematically and consistently to specific land-use activities. Furthermore, the presence of a contaminant may be an expression of a problem whose cause has not yet been identified, but for which a solution is still being sought.

Appendix H presents each test case's relevance score (*R*) and related information such as the number of solutions deemed relevant by each tester; the solutions deemed irrelevant (crossed out).

## 4.6 Discussion and limitations

We have shown that our approach to the design, implementation, and validation of a CBR prototype has resulted in a tool that can provide relevant solutions to problems faced by water actors. By providing decision support, it has the potential for a positive impact on operations. Furthermore, from a learning perspective, interacting with the prototype can help users learn at several stages of the decision-making process (Appendix 3). During the search for possible solutions, if the case base does not return any results, the user learns that the problem encountered has potentially never been experienced and/or documented in Quebec. If Q.SyAPSE has found solutions, the proposed experiences will inspire the user's creative process. He/she can rely on the context and the implementation history to learn from the mistakes that have been made previously. He/she learns which regulatory (or other) tools to use and which actors to involve in the design and implementation of the solution. Looking back on the questions we wished to answer, we consider that our project was a success, although not without difficulties or limitations. Our main difficulty was related to the time and resources needed to collect and build knowledge to be integrated into a CBR model. Despite the availability of Répert'eau, completing the design and development stage was a lengthy process.

As for limitations, we can mention some that are related to our CBR modelling. A model is only a representation of reality and to cite George Box, “All models are wrong, but some are useful.” The first limitation is that it focuses primarily on Quebec experiences for which solutions exist in the Quebec context and does not include solutions from other Canadian provinces and countries. Similarly, to reuse the solutions implemented in the prototype, it is necessary to adapt them to their new geographical, regulatory and socioeconomic application context. A

second limitation is due to knowledge unavailability: we know that the proposed model does not represent all of the problems encountered in the field by water actors since these experiences are not documented or reports are not accessible. A third limitation pertains to the evolution of the model: this model is frozen in time because it is based on attributes that are important today while the information available to support decision-making is evolving.

Another limitation is related to case base design. Indeed, since some of the attributes describing a problem were manually extracted from various texts and interpreted by the main author, it was sometimes impossible to confirm, with the original actors involved in the case, that they were correctly encoded, either because the actors were not reachable or because they could not remember the specific details of the case. As for testing, while actors were actively involved in the design process and performed several tests along this step, the final validation relied on nine testers. We did, however, try to ensure that they were representative of water actors in Quebec.

A final limitation pertains to the technology transfer potential of our tool. In fact, Q.SyAPSE completely depends on Répert'eau. It does not in itself contain any knowledge about the solutions other than the name and the URL in Répert'eau. It was designed to be integrated with Répert'eau and as such, its future existence depends on that of Répert'eau. In fact, Q.SyAPSE can be seen as an interface to, and a smart recommendation engine using Répert'eau as a source.

## **4.7 Conclusion and future perspectives**

To our knowledge, this is the first successful attempt to use the CBR approach for drinking water source protection. This success is entirely attributable to the strong involvement of water actors in the research process. The results and the approach used to model the proposed CBR prototype are robust and transparent to actors, which is a considerable strength in the complex decision-making environment surrounding water governance. The solutions proposed by the system are relevant, which satisfies the actors, who also learn a lot by using the system at different stages of the decision-making process.

Our research relied on the design science research (DSR) paradigm. Through this DSR process, we further contributed to the research field by providing several artifacts. First, a manual and collaborative case engineering process to design qualitative attributes based on content analysis. Second, a two-score parallel display (similarity and dissimilarity), and a graph presenting the attributes of each case to provide full transparency to the user so that they can make informed decisions. Third, a rigorous qualitative process to validate and test a CBR prototype with its potential users in a combined demonstration and evaluation procedure (useful for the

DSRM application field). Overall, this research provides a detailed and transparent demonstration of the rigorous application of a DSR process and the collaborative development of a CBR prototype.

For practice, we provide a tool to support water actors in identifying possible actions to correct or prevent water-related issues. To this end, we see the proposed CBR prototype as an opportunity to strengthen the link between water management and more sustainable spatial planning.

These artifacts are generalizable and applicable to other contexts. For example, the similarity metrics are reusable unchanged, and the vocabulary can be used with some adaptation to the new context. Furthermore, a case base can be de-designed and built according to the design procedure proposed in this paper. Our methodology is thus applicable in other contexts.

Many avenues for future research perspectives can be identified. Future works may try to find a way to include external solutions by adapting manually or automatically the solution to a new socioeconomic, geographical, and regulatory context. Also, future works could explore text-mining techniques using written reports from companies and municipalities to populate the case base. In doing so, it would be possible to automate the selection of existing attributes.

The next step for us is to pave the way for a technology transfer. Indeed, representatives of the ROBVQ have officially expressed their willingness to make the Q.SyAPSE prototype an operational reality by merging it with Répert'eau. This announcement is excellent news for all the water actors who worked on this project and for us as researchers. It is gratifying to see the results of a collaborative effort between research and practice put to use for the good of the environment and society.

## **4.8 Acknowledgments**

The authors thank the 102 water actors who participated in this design science research experiment. They especially thank the actors who volunteered to conduct the validation process. Many thanks to Oscar Nilo Mellado, who developed the Q.SyAPSE prototype.

Thanks to the Quebec watershed organizations and the ROBVQ, the environmental associations, Centr'Eau, the RQES network, the Association des aménagistes régionaux du Québec (AARQ), the professionals of the cities and regions of Quebec as well as the professionals of the governments of Quebec and Canada for their contribution and their precious time

The authors are also grateful for the financial support of the FRQ-SC, NSERC (via CRÉPUL, FONCER-TEDGIER, CERMID), the EDS Institute and CRAD.

## 4.9 References

- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7(1), 39–59. <https://doi.org/10/ggdrf6>
- Abi-Zeid, I., Morin, M., & Nilo, O. (2019). Decision Support for Planning Mari-time Search and Rescue Operations in Canada: Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems, 328–339. <https://doi.org/10/ggw5v9>
- Al Ibrahim, A., & Patrick, R. J. (2017). Source Water Protection Planning and Management in Metropolitan Canada: A Preliminary Assessment. *Water*, 9(7), 497. <https://doi.org/10.3390/w9070497>
- Althoff, K.-D. (2001). Case-based reasoning. In *Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering* (Vol. 1–2, pp. 549–587). World Scientific Publishing Company. [https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812389718\\_0023](https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812389718_0023)
- Armitage, D., de Loë, R. C., Morris, M., Edwards, T. W. D., Gerlak, A. K., Hall, R. I., Huitema, D., Ison, R., Livingstone, D., MacDonald, G., Mirumachi, N., Plummer, R., & Wolfe, B. B. (2015). Science–policy processes for trans-boundary water governance. *Ambio*, 44(5), 353–366. <https://doi.org/10/ghz726>
- Ascough, J. C., Maier, H. R., Ravalico, J. K., & Strudley, M. W. (2008). Future research challenges for incorporation of uncertainty in environmental and ecological decision-making. *Ecological Modelling*, 219(3–4), 383–399. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.07.015>
- Baird, J., Plummer, R., Morris, S., Mitchell, S., & Rathwell, K. (2014). Enhancing source water protection and watershed management: Lessons from the case of the New Brunswick Water Classification Initiative. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 39(1), 49–62. <https://doi.org/10.1080/07011784.2013.872872>
- CCME. (2004). De la source au robinet guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau potable saine. Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME]. <http://bibvir.uqac.ca/bd/man.php?TD=ARC&IdNot=030013899&FORMAT=pdf>
- Cerutti, J., Abi-Zeid, I., Lamontagne, L., Lavoie, R., & Rodriguez, M. J. (2022). A case-based reasoning system to recommend solutions for source water protection: Knowledge acquisition and modelling. *Knowledge Management Research & Practice*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/14778238.2022.2075808>
- Cerutti, J., Abi-Zeid, I., Lavoie, R., & J. Rodriguez, M. (2021). Mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable: Portrait-diagnostic au Québec, Canada. *Vertigo*, Volume 21 numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.31489>
- Cyr-Gagnon, J., & Rodriguez, M. J. (2021). Optimizing data management for municipal source water protection. *Land Use Policy*, 100, 103788. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.035>
- Díaz-Agudo, B., González-Calero, P. A., Recio-García, J. A., & Sánchez-Ruiz-Granados, A. A. (2007). Building CBR systems with jcolibri. *Science of Computer Programming*, 69(1–3), 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2007.02.004>
- Drechsler, A. & Hevner, A. 2016. A four-cycle model of IS design science research: capturing the dynamic nature of IS artifact design. In: Parsons, J., Tuuna-nen, T., Venable, J. R., Helfert, M., Donnellan, B., & Kenneally, J. (eds.) *Breakthroughs and Emerging Insights from Ongoing Design Science Projects: Research-in-progress papers and poster presentations from the 11th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology (DESRIST) 2016*. St. John, Canada, 23-25 May. pp. 1-8
- E Kroos, J., Leventon, J., Fischer, J., Newig, J., & Smith, H. G. (2017). Embedding Evidence on Conservation Interventions Within a Context of Multi-level Governance: Conservation and Multilevel Governance. *Conservation Letters*, 10(1), 139–145. <https://doi.org/10/f9w2kk>

- Elsawah, S., Guillaume, J. H. A., Filatova, T., Rook, J., & Jakeman, A. J. (2015). A methodology for eliciting, representing, and analysing stakeholder knowledge for decision making on complex socio-ecological systems: From cognitive maps to agent-based models. *Journal of Environmental Management*, 151, 500–516. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.028>
- Fantini, E. (2020). An introduction to the human right to water: Law, politics, and beyond. *WIREs Water*, 7(2), e1405. <https://doi.org/10.1002/wat2.1405>
- Ferrero, G., Bichai, F., & Rusca, M. (2018). Experiential Learning through Role-Playing: Enhancing Stakeholder Collaboration in Water Safety Plans. *Water*, 10(2), 227. <https://doi.org/10.3390/w10020227>
- Gearey, M. (2018). Tales from the riverside: What community stories can tell us about sustainable water resources management practices. *Sustainable Development*, 26(2), 132–140. <https://doi.org/10.1002/sd.1724>
- Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP), L.Q.E § Q-2, r.35.2 (2014). <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/q-2,%20r.%2035.2>
- Hevner, A., Chatterjee, S. (2010). Design Science Research in Information Systems. In: Design Research in Information Systems. Integrated Series in Information Systems, vol 22. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8_2)
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 32.
- Holopainen, J., Mattila, O., Pöyry, E., & Parvinen, P. (2020). Applying design science research methodology in the development of virtual reality forest management services. *Forest Policy and Economics*, 116, 102190. <https://doi.org/10/gjcvqvp>
- Ivey, J. L., de Loe, R., Kreutzwiser, R., & Ferreyra, C. (2006). An institutional perspective on local capacity for source water protection. *Geoforum*, 37(6), 944–957. <https://doi.org/10/b4g247>
- Jean, S., Medema, W., Adamowski, J., Chew, C., Delaney, P., & Wals, A. (2018). Serious games as a catalyst for boundary crossing, collaboration and knowledge co-creation in a watershed governance context. *Journal of Environmental Management*, 223, 1010–1022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.021>
- Joachim, S., Jayaraman, P. P., Forkan, A. R. M., Morshed, A., & Wick-ramasinghe, N. (2021). Developing a Personalised Diabetic Platform Using a Design Science Research Methodology: In N. Wickramasinghe (Ed.), *Optimizing Health Monitoring Systems With Wireless Technology* (pp. 71–87). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-6067-8.ch007>
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., & Linkov, I. (2005). Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2), 95. <https://doi.org/10/fv6jgn>
- Lamontagne, L., & Lapalme, G. (2002). Raisonnement à base de cas textuels Etat de l'art et perspectives. *Revue d'intelligence artificielle*, 16(3), 339–366. <https://doi.org/10/dqphrx>
- Leake, D. B. (2001). Problem Solving and Reasoning: Case-based. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 12117–12120). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00545-3>
- López, B. (2013). Case-Based Reasoning: A Concise Introduction. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 7(1), 1–103. <https://doi.org/10/ggcd2b>
- Ma, Q., Abily, M., Du, M., Gourbesville, P., & Fouché, O. (2020). Integrated Groundwater Resources Management: Spatially-Nested Modelling Approach for Water Cycle Simulation. *Water Resources Management*, 34(4), 1319–1333. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02504-9>

- Martínez-Sastre, R., Ravera, F., González, J. A., López Santiago, C., Bidegain, I., & Munda, G. (2017). Mediterranean landscapes under change: Combining social multicriteria evaluation and the ecosystem services framework for land use planning. *Land Use Policy*, 67, 472–486. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.001>
- Murthy, S. L. (2013). The Human Right(s) to Water and Sanitation: History, Meaning and the Controversy Over Privatization. *Berkeley Journal of International Law (BJIL)*, Vol. 31, No. 1, 2013, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2195071>
- Orr, C. J., Adamowski, J. F., Medema, W., & Milot, N. (2016). A multi-level perspective on the legitimacy of collaborative water governance in Québec. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 41(3), 353–371. <https://doi.org/10/ggq988>
- Pahl-Wostl, C., Knieper, C., Lukat, E., Meergans, F., Schoderer, M., Schütze, N., Schweigatz, D., Dombrowsky, I., Lenschow, A., Stein, U., Thiel, A., Tröltzsch, J., & Vidaurre, R. (2020). Enhancing the capacity of water governance to deal with complex management challenges: A framework of analysis. *Environmental Science & Policy*, 107, 23–35. <https://doi.org/10/ghs6g6>
- Pallottino, S., Sechi, G., & Zuddas, P. (2005). A DSS for water resources management under uncertainty by scenario analysis. *Environmental Modelling & Software*, 20(8), 1031–1042. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.09.012>
- Patrick, R. J. (2009). Source water protection in a landscape of ‘New Era’ deregulation: SWP in a landscape of ‘New Era’ deregulation. *The Canadian Geographer / Le Géographe Canadien*, 53(2), 208–221. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2009.00254.x>
- Peffer, K., Rothenberger, M., & Kuechler, B. (Eds.). (2012). *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice (Vol. 7286)*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29863-9>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Schoenborn, J. M., Weber, R., Aha, D., Cassens, J., & Althoff, K.-D. (2021). Explainable Case-Based Reasoning: A Survey. *Proceedings for the Explainable Agency in AI Workshop at the 35th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 173–181.
- Schoormann, T., Stadtländer, M., & Knackstedt, R. (2021). Designing business model development tools for sustainability—A design science study. *Electronic Markets*. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00466-3>
- Sharma, M., & Sharma, C. (2020). A Review on Diverse Applications of Case-Based Reasoning. In H. Sharma, K. Govindan, R. C. Poonia, S. Kumar, & W. M. El-Medany (Eds.), *Advances in Computing and Intelligent Systems* (pp. 511–517). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0222-4\\_48](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0222-4_48)
- Simon, D., & Schiemer, F. (2015). Crossing boundaries: Complex systems, trans-disciplinarity and applied impact agendas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 12, 6–11. <https://doi.org/10/f6zqkg>
- Stoker, P., Albrecht, T., Follingstad, G., & Carlson, E. (2022). Integrating Land Use Planning and Water Management in U.S. Cities: A Literature Review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/1752-1688.13022>
- Tengö, M., Brondizio, E. S., Elmqvist, T., Malmer, P., & Spierenburg, M. (2014). Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance: The Multiple Evidence Base Approach. *AMBIO*, 43(5), 579–591. <https://doi.org/10/f246z4>

- Tsanov, E., Ribarova, I., Dimova, G., Ninov, P., Kossida, M., & Makropoulos, C. (2020). Water Stress Mitigation in the Vit River Basin Based on WEAP and MatLab Simulation. *Civil Engineering Journal*, 6(11), 2058–2071. <https://doi.org/10/gh798v>
- UNECE. (2022). Climate change threatens access to water and sanitation, warn UNECE & WHO/Europe, urging reinforced measures under Protocol to boost resilience [UNECE MEDIA]. <https://unece.org/media/press/367685>
- Venable, J., Pries-Heje, J., & Baskerville, R. (2016). FEDS: A Framework for Evaluation in Design Science Research. *European Journal of Information Systems*, 25(1), 77–89. <https://doi.org/10/f796x8>
- Verhagen, J., Butterworth, J., & Morris, M. (2008). Learning alliances for integrated and sustainable innovations in urban water management. *Waterlines*, 27(2), 116–124.
- vom Brocke, J., Hevner, A., & Maedche, A. (2020). Introduction to Design Science Research. In J. vom Brocke, A. Hevner, & A. Maedche (Eds.), *Design Science Research. Cases* (pp. 1–13). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-46781-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46781-4_1)
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., Chambers, J., Coleman, S., Dalin, C., Daly, M., Dasandi, N., Dasgupta, S., Davies, M., Di Napoli, C., ... Costello, A. (2021). The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Responding to converging crises. *The Lancet*, 397(10269), 129–170. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32290-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X)
- Richter, M. M., & Weber, R. O. (2013). *Case-Based Reasoning*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40167-1>
- WHO. (2022). Drinking-water [International Organization]. WHO Fact Sheet on Water: Key Facts, Access to Water, Water and Health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Wuijts, S., Claessens, J., Farrow, L., Doody, D. G., Klages, S., Christophoridis, C., Cvejić, R., Glavan, M., Nesheim, I., Platjouw, F., Wright, I., Rowbot-tom, J., Graversgaard, M., van den Brink, C., Leitão, I., Ferreira, A., & Boekhold, S. (2021). Protection of drinking water resources from agricultural pressures: Effectiveness of EU regulations in the context of local realities. *Journal of Environmental Management*, 287, 112270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112270>

## Conclusions générales

L'eau est une ressource inestimable et la nécessité de la protéger est évidente, surtout lorsqu'elle est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable. Au fil des décennies, la volonté d'adopter une perspective plus durable pour le développement de nos sociétés s'est concrétisée par des approches de gestion de l'eau et divers objectifs nationaux et internationaux. La protection des sources d'eau potable (PSPE) a émergé afin de limiter l'impact des activités anthropiques sur la ressource et de promouvoir un aménagement du territoire plus respectueux de l'environnement. En 2014, le gouvernement du Québec a adopté le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection*. Celui-ci a donné aux acteurs de l'eau — essentiellement les municipalités — de nouvelles obligations et de nouveaux outils pour protéger les sources d'approvisionnement en eau potable. Conformément à cette démarche, les acteurs sont censés mettre en œuvre des actions pour préserver ces sources. Cependant, dans la pratique, la déconnexion entre la gestion de l'eau et la gestion du territoire demeure. Par conséquent, au niveau décisionnel, la protection de l'eau reste un défi pour les acteurs en raison d'un cadre réglementaire complexe (multiplication des acteurs et fragmentation des pouvoirs), qui complique le processus de résolution des problèmes (objectifs souvent divergents entre les acteurs, connaissances multiples et obstacles au partage de celles-ci), ce qui limite finalement la compréhension et la résolution des problèmes affectant l'eau. Malgré cette situation, les acteurs doivent agir.

L'objectif de cette thèse était donc de développer un outil d'aide à la décision pour accompagner les acteurs de l'eau dans la recherche de solutions aux problèmes affectant les sources d'eau. Cela a pris la forme d'un prototype de système de recommandation qui facilite l'identification et la mise en œuvre d'actions de PSEP ciblées en fonction des problèmes rencontrés. Nommé Q.SyAPSE — *Système de recommandation d'Actions pour la Protection des Sources d'Eau Potable au Québec* —, cet outil était axé sur le partage des connaissances et, plus particulièrement, sur le partage des expériences vécues dans la mise en place d'actions de PSEP. Pour recommander des actions, le prototype a été conçu selon l'approche du raisonnement à base de cas (CBR) sur la base des expériences présentes dans Répert'eau, un répertoire d'expériences développées par le Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ). À notre connaissance, il s'agit de la première tentative réussie d'utiliser l'approche CBR pour la PSEP. À noter que ce succès est entièrement attribuable à la forte implication des acteurs de l'eau dans le processus de recherche. Ainsi, l'approche créative et collaborative et l'outil CBR qui en résulte valident l'hypothèse générale selon laquelle la centralisation, la structuration et le partage des connaissances issues des expériences facilitent l'identification et la mise en œuvre d'actions de PSEP.

Afin de concevoir un tel outil, la recherche s'est appuyée sur le paradigme de la science du design. Ce paradigme dispose d'une méthodologie qui lui est propre et qui repose sur un processus itératif de six activités :

(1) Identification du problème et des motivations ; (2) Définition des objectifs d'une solution ; (3) Conception et développement ; (4) Application ; (5) Évaluation et (6) Communication. Le cadre conceptuel (chapitre 1) et le chapitre 2 représentent l'activité 1. Le cadre explore de manière interdisciplinaire les relations entre la nature des problèmes à résoudre, l'environnement décisionnel et la prise de décision (l'acte de décider) contextualisée à l'eau. Cette compréhension holistique de la dynamique décisionnelle a permis de mieux saisir la complexité du problème à résoudre et a jeté les bases de l'élaboration de l'enquête sur la mise en œuvre de la PSEP au Québec (chapitre 2) et de la construction du prototype de système CBR proposé (chapitres 3 et 4). Le chapitre 2 explore plus concrètement les trois dimensions qui ont émergé du cadre conceptuel — acteurs, décision et connaissance — afin d'identifier les défis qui pourraient potentiellement entraver la protection de l'eau. Les résultats de cette enquête en ligne (n= 208) ont montré que la mise en œuvre de la PSEP repose sur l'implication d'une diversité d'acteurs dans un réseau très dynamique. Malgré cela, il a été observé que le processus décisionnel devenait moins inclusif au fur et à mesure qu'il progressait. Toutefois, les répondants ont montré une volonté de s'impliquer du début à la fin du processus décisionnel, c'est-à-dire lors de toutes les étapes allant de l'identification du problème à résoudre au suivi des solutions mises en œuvre. En parallèle, la cartographie des connaissances a montré une grande diversité de connaissances créées et mobilisées dans la gestion et la protection de l'eau. Cependant, ces connaissances sont redondantes et fragmentées entre les acteurs à toutes les échelles d'action (du local au provincial). Trois barrières au partage des connaissances ont été identifiées : (1) l'inaccessibilité des connaissances en raison des coûts de production des connaissances, du non-partage des connaissances confidentielles ou des barrières linguistiques (la littérature scientifique est principalement en anglais). (2) l'inadéquation des connaissances, lorsque les connaissances disponibles ne répondent pas aux besoins des décideurs ; (3) la technicité des connaissances, lorsque les décideurs doivent parfois se fier à des connaissances qu'ils ne comprennent pas. Lors de cette étape, 102 acteurs se sont autorecrutés pour aider au design de l'outil et ont donné des exemples concrets d'actions mises en œuvre pour protéger l'eau.

Le chapitre 3 représente les activités 2 et — partiellement — 3 du processus itératif du design. Il porte sur l'application conceptuelle du raisonnement à base de cas (CBR) dans le contexte de la PSEP. Plus particulièrement, il visait à (1) comprendre les besoins en connaissances des différents acteurs impliqués dans la mise en œuvre de la PSEP et à identifier leur savoir-faire dans la résolution de problème, (2) à utiliser ce savoir-faire pour développer et appliquer une méthode de collecte, d'organisation et de structuration des connaissances dans un format partageable pour leur prise de décision. Le premier objectif a été atteint en croisant les résultats des analyses qualitatives de la première enquête (chapitre 2, section sur la connaissance) avec ceux d'une seconde enquête en ligne et des entretiens réalisés auprès d'acteurs des différents niveaux de gouvernance (total n=36). Cette démarche a permis de définir ce qu'est un cas CBR à partir des besoins en connaissances. Les cas étant la structure des expériences dans le CBR, soit la combinaison de problèmes et de solutions. Le deuxième objectif a été atteint en proposant et en appliquant une méthode de structuration des

connaissances basée sur des concepts issus de la littérature sur le CBR. Cela a permis d'identifier, d'acquérir, de structurer et de modéliser les expériences passées pour qu'elles puissent être réutilisées dans de nouvelles situations par d'autres acteurs. Ceci a conduit à la conception d'une taxonomie des connaissances (vocabulaire en CBR), soit l'ensemble des attributs sur les problèmes liés à l'eau sur la base des connaissances disponibles dans Répert'eau.

Le chapitre 4 représente les activités 3, 4 et 5 de la DSRM. Il est l'aboutissement du processus créatif ayant permis de passer du concept à la preuve de concept. Le chapitre 4 décrit le développement, l'implantation, le test et la validation du *Système de recommandation d'Actions pour la Protection des Sources d'Eau Potable au Québec* (Q.SyAPSE). Ce chapitre présente la procédure manuelle d'ingénierie des cas mise en œuvre pour obtenir une base de cas structurée par un vocabulaire d'attributs qualitatif, soit la traduction de la taxonomie des connaissances vers un format conforme à l'utilisation dans un CBR. Il présente comment le prototype est organisé, ainsi que le processus et les algorithmes développés pour la récupération des cas. Illustré avec un exemple concret, le chapitre décrit l'implantation et poursuit en décrivant une procédure destinée à tester et valider un CBR avec ses usagers. Enfin, il présente les résultats de la validation qui en découle. Les résultats et l'approche utilisée pour modéliser le prototype CBR proposé sont robustes et transparents pour les parties prenantes, ce qui constitue un atout considérable dans l'environnement décisionnel complexe entourant la gestion de l'eau. Les solutions proposées par le système ont été jugées pertinentes, ce qui satisfait les acteurs, qui apprennent également beaucoup en utilisant le système à différentes étapes du processus de décision, soit la conception d'actions.

## **Contribution de la recherche pour la science et la pratique**

La principale contribution de cette thèse est le prototype CBR *Q.SyAPSE*, qui facilite le partage d'expériences utiles à l'élaboration d'actions de protection de l'eau potable. Ainsi, la thèse offre une retombée directe pour la société québécoise avec un prototype d'outil d'aide à la décision utilisable par tous, mais principalement destiné aux acteurs municipaux, régionaux et aux OBV du Québec. De plus, cet outil, conçu par et pour les acteurs de l'eau, valorise les expériences d'actions concrètement implantées au Québec. En outre, cette thèse contribue à l'évolution des pratiques et des connaissances sous plusieurs aspects.

Prise dans son ensemble, cette thèse offre un haut niveau de détail permettant de capturer la démarche créative ayant mené au prototype. Cette volonté de transparence vise à faciliter la réplique de l'outil en permettant aux scientifiques et acteurs de l'eau d'ici et d'ailleurs de comprendre pourquoi et comment l'outil a été conçu. Ceci répond aux critiques de Haibe-Kains et coll. (2020) qui soulevaient que le manque de détail sur les méthodes et les algorithmes minaient la valeur scientifique des applications pratiques en informatique. Ceux-ci considéraient que « le progrès scientifique dépend de la capacité de chercheurs [...] à examiner les résultats d'une étude, à

reproduire les principaux résultats de l'étude à l'aide de ses matériaux et à s'en inspirer dans des études futures. »

Ainsi, cette thèse représente une étude de cas unique dans le développement d'un outil CBR et l'application de la science du design (approche de recherche expérimentale basée sur la créativité et l'innovation). Elle permet de voir comment un système CBR a été modélisé et implanté de bout en bout, en l'absence de matériel directement utilisable en CBR. De plus, alors que la modélisation du problème est la tâche la plus longue dans la conception d'un CBR (Leake, 1996), la démarche présentée dans cette thèse permet de faire économiser beaucoup d'énergie et de ressources aux personnes intéressées à reproduire un tel outil pour la PSEP.

Plus particulièrement, la thèse contribue à la recherche et la pratique par :

## **Chapitre 2 :**

[Outil de recherche]

- Un outil (questionnaire en annexe A et logique d'implantation en annexe B) pour dresser le portrait-diagnostic de la gestion et la protection de l'eau dans une perspective multidimensionnelle liée à la prise de décision.

[Méthodologie en recherche]

- Une stratégie de diffusion d'enquête en ligne sur plusieurs fronts reposant sur une approche collaborative pour l'autosélection à l'aveugle, qui a permis de collecter — sans liste de diffusion — plus de 400 réponses en deux mois.

[Connaissances pour la pratique]

- Une meilleure connaissance de la mise en œuvre de la gestion et la protection des sources d'eau potable au Québec, notamment en ce qui concerne : les rôles et les tâches ; les interactions entre les acteurs de l'eau ; les implications dans le processus de prise de décision ; la création de connaissances ; les enjeux de partage de connaissances.

## **Chapitre 3 :**

[Méthodologie en CBR/Gestion des connaissances]

- Une procédure de conception d'un CBR en fonction des connaissances disponibles identifiées et de la capacité et la possibilité à transformer ces connaissances pour les utiliser dans le CBR.

- La démarche de modélisation de ce qu'est un cas sur la base des besoins en connaissances des acteurs de la protection des sources d'eau potable au Québec.
- L'extraction et la structuration d'une taxonomie des connaissances et du vocabulaire pour la protection des sources d'eau potable.

[Connaissances pour la pratique]

- En fournissant aux décideurs une image claire des besoins en connaissances, cette approche facilite le partage d'expériences entre les parties prenantes.
- Le vocabulaire standardisé développé peut aider à améliorer la communication et assurer une plus grande cohérence lors de la description des expériences futures dans Répert'eau et, éventuellement, dans des répertoires similaires.

## Chapitre 4 :

[Méthodologie en CBR]

- Un processus manuel et collaboratif d'ingénierie de cas utilisant l'analyse de contenu sur NVivo permettant (a) la conception d'attributs qualitatifs et (b) la conception d'une base de cas structurée pour la PSEP.
- Les équations permettant de calculer la similarité et la dissimilarité sur des attributs qualitatifs à valeur booléenne.
- L'affichage parallèle et l'ordonnement des résultats selon leur score de similarité et l'index de dissimilarité.
- L'affichage graphique des attributs documentés permettant de comparer la requête et le cas retrouvé.
- Une procédure qualitative et à distance de test d'un CBR avec ses usagers.

[Méthodologie en Science du design]

- Une procédure combinée de démonstration et d'évaluation d'un artefact.

[Pour la pratique]

- Le prototype CBR Q.SyAPSE.

- La valorisation et l'adaptation d'un répertoire de cas vécus (Répert'eau) spécifiquement pour une démarche/système aidant à la protection des sources.

## **Recommandations pour la protection des sources d'eau potable au Québec**

Le Québec possède un dynamique et large réseau d'acteurs qui collaborent autour de la question de l'eau. Bien que des problèmes persistent, ces acteurs sont une mine d'or d'expérience, car ils ont appris à protéger l'eau malgré toutes les embûches du cadre décisionnel et des enjeux inter-organisationnels auxquels ils sont confrontés. Le Québec a donc toutes les cartes en main pour adopter une meilleure gestion de son territoire et une prise en compte plus efficace des enjeux de l'eau. Les recommandations suivantes s'adressent au gouvernement du Québec et, plus généralement, aux organisations œuvrant de près ou de loin dans le domaine de l'eau, ainsi qu'à la société québécoise en général.

Après avoir activement collaboré et vécu au rythme des acteurs de l'eau du Québec lors de l'ensemble du processus de design, la première recommandation appelle la société québécoise à respecter les engagements pris à la COP 15 de Montréal en 2022, afin soutenir les efforts entrepris par ces acteurs via un appui technique, financier et humain à la hauteur de leur précieuse mission. Par exemple, via un investissement accru dans les organismes de bassin versant qui ont une mission d'utilité publique, au renforcement des programmes d'aide aux municipalités et aux régions, sans oublier le soutien aux professionnels des ministères responsables de l'eau et de la gestion du territoire.

Les acteurs de l'eau forment un groupe hétérogène lié par un objectif commun. Après une analyse approfondie de la dimension décisionnelle de l'implantation de la PSEP au Québec (chapitre 2 en particulier), la deuxième recommandation appelle à faciliter la mise en œuvre de la PSEP par l'adoption d'un cadre flexible et adaptatif de gestion de l'eau et du territoire tel que proposé par Moltz et coll. (2020). De plus, à la lumière de l'enquête (ch. 2), il est fortement suggéré que le gouvernement du Québec permette à tous les acteurs de participer à l'intégralité du processus décisionnel entourant la mise en œuvre de la PSEP. Une attention particulière doit être portée à la présence des Premières Nations dans la gestion de l'eau de la province et surtout sur la question de la PSEP. L'absence de réponse des Premières Nations à l'enquête et les mentions de ces nations par les répondants au sondage (ch. 2) indiquent qu'il serait essentiel de plus les inclure dans la PSEP au Québec afin de s'assurer de mettre en œuvre des actions qui protègent l'eau pour tous.

Ensuite, miser sur la création infinie de connaissances liées à l'eau n'est pas une stratégie gagnante si on ne sait pas comment l'utiliser (Orman, 2015). La dernière recommandation rejoint celles déjà formulées par Behmel

(2018), Cyr-Gagnon (2017) et Lavoie (2013) qui, toutes trois, misent sur la gestion des connaissances. Cette recommandation appelle à (ordre de complexité croissante) :

- Poursuivre le soutien aux initiatives de transfert de connaissances (académique ↔ pratique) et briser les barrières qui existent au sein et autour des organisations.
- Réfléchir à une stratégie uniformisée de gestion des connaissances sur l'eau, au niveau de : 1) la gestion des données ; 2) la documentation des projets et de leurs retombées. D'ailleurs, la réalisation d'un suivi pendant et post-projet représente un apport considérable à l'apprentissage, le développement des compétences et le succès des futurs projets (Anbari et coll., 2008; Carrillo et coll., 2011; Guinness et Heathcote, 2022; Von Zedtwitz, 2002).
- Réfléchir à la création d'un pôle trans-organisationnel de gestion des connaissances qui établirait des lignes directrices en gestion de connaissances sur l'eau, faciliterait le transfert des connaissances entre les organisations, aiderait les acteurs de l'eau à gérer et utiliser les connaissances dont ils disposent et offrirait un soutien technique sur les outils de gestion des connaissances. Vu les enjeux de gouvernance, ce pôle doit être neutre afin d'agir pour le bien commun.

## **Limites de la recherche**

Pour citer George E. P. Box, « tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles ». Un modèle n'est donc qu'une représentation de la réalité, ici issue de la collaboration avec les acteurs de l'eau du Québec et du Canada dans le contexte de la gestion de l'eau au Québec. Ainsi, les résultats de cette thèse sont fortement ancrés dans le contexte québécois. De plus, ils comportent certaines limites et particularités attribuables au processus de design, c'est-à-dire aux choix effectués pour parvenir à la réalisation des artefacts.

En ce qui concerne la compréhension du problème à résoudre (activité 1 du processus itératif de design), l'enquête réalisée sur la PSEP était exploratoire et descriptive. Les résultats ont été obtenus sur la base d'un échantillon de convenance qui ne pourrait prétendre être représentatif de l'ensemble des acteurs de l'eau du Québec. D'autant plus que la thèse a adopté une approche conservatrice excluant des analyses de 132 questionnaires, parce qu'ils n'avaient pas été répondus en intégralité. De plus, plusieurs acteurs et communautés n'ont pas pu être rejoints, notamment les Premières Nations dont le rôle dans la mise en œuvre de la PSEP reste à documenter. Par ailleurs, les catégories identifiées et le regroupement des acteurs qui a été réalisé pour analyser les résultats sont discutables. Enfin, l'hétérogénéité du nombre de répondants dans chacune des catégories identifiées est grande, ce qui affaiblit la représentativité des résultats. Il est à considérer que l'ensemble des éléments susmentionnés impactent le processus de design étant donné que des usagers potentiels, des connaissances et des enjeux ont sûrement été omis.

En ce qui concerne la modélisation, l'implantation et la validation du prototype (activités 3 à 5 du processus itératif de design), la seconde enquête se base sur un très faible nombre de répondants (n=36) qui est également très homogène, ce qui impacte négativement la richesse de la démarche et de ses résultats. Pour la modélisation et l'implantation, du fait de l'indisponibilité des connaissances, il est connu que la taxonomie des connaissances et du vocabulaire proposée ne représente pas tous les problèmes rencontrés sur le terrain par les acteurs de l'eau, car ces expériences ne sont pas documentées ou que les rapports ne sont pas accessibles. De plus, lors de la conception de la base de cas, comme certains des attributs décrivant un problème ont été extraits manuellement de divers textes et interprétés par l'auteur de cette thèse, il était parfois impossible de confirmer, auprès des acteurs originaux impliqués dans le cas, qu'ils étaient correctement encodés, soit parce que les acteurs n'étaient pas joignables, soit parce qu'ils ne se souvenaient pas des détails spécifiques du cas. Également, le modèle est figé dans le temps, car il est basé sur des attributs qui documentent des caractéristiques qui sont importantes aujourd'hui alors que les informations disponibles pour soutenir la prise de décision évoluent. Par exemple, les acteurs doivent ajuster la liste des polluants et des indicateurs de vulnérabilité proposés si les cadres réglementaires changent ou sont mis à jour. Ainsi, comme pour la plupart des systèmes CBR, la mise à jour de la base de cas par l'ajout de nouveaux attributs représentant de nouvelles expériences implique que les utilisateurs modifient l'intégralité de la structure du CBR proposé (base de cas, vocabulaire et métrique de similarité). En ce qui concerne les tests, alors que les acteurs ont été activement impliqués dans le processus de conception et ont effectué plusieurs tests au cours de cette étape, la validation finale s'est appuyée sur neuf testeurs.

Une dernière limite concerne le potentiel de transfert technologique de l'outil. En effet, Q.SyAPSE dépend entièrement de Répert'eau. Il ne contient en lui-même aucune connaissance sur les solutions autres que le nom et l'URL dans Répert'eau. Il a été conçu pour être intégré à Répert'eau et à ce titre, son existence future dépend de celle de Répert'eau et de sa mise à jour. En fait, Q.SyAPSE peut être considéré comme une interface et un moteur de recommandation intelligent utilisant Répert'eau comme source de connaissances.

## **Perspectives de recherche**

La démarche créative et exploratoire de cette thèse a permis la conception d'un KB-DSS, et plus particulièrement d'un CBR pour la PSEP. Toutefois, certains travaux devraient être poursuivis et des recherches supplémentaires devraient être menées.

### *En lien avec la démarche de recherche en science du design*

S'il est implanté sur le terrain, il serait pertinent de réaliser une évaluation post-projet des retombées de Q.SyAPSE permettant de répondre aux questions suivantes : quels sont les apprentissages que les acteurs tirent de l'utilisation de l'outil ? Est-ce que l'utilisation de l'outil favorise une augmentation du nombre d'actions

mises en œuvre ? Est-ce que l'utilisation de l'outil favorise une augmentation de la satisfaction des acteurs par rapport aux actions mises en œuvre ? Quels sont les gains en temps et en ressources apportés par l'utilisation de l'outil ? Est-ce que la conception et la mise en œuvre des solutions sont plus faciles ou plus rapides ? Comment l'outil est utilisé, en pratique, dans le processus de décision ? Est-ce que l'utilisation de l'outil modifie les comportements des acteurs dans le processus de décision ? Est-ce que l'outil favorise l'émergence d'un contre-pouvoir dans la prise de décision ? Est-ce que l'outil favorise la transparence des décisions ?

#### *En lien avec la compréhension de la gestion de l'eau*

Il serait pertinent d'approfondir le portrait de la protection de l'eau au Québec (chapitre 1). Premièrement, en utilisant l'outil d'enquête en ligne proposé dans la thèse, il serait bon de réaliser de nouveaux portraits plus ciblés par régions, par type d'acteur ou échelle de décision, ou un nouveau portrait provincial général de la PSEP. Cela permettrait de compléter le portrait de la gestion de l'eau au Québec. Sinon, l'outil pourrait servir à réaliser une enquête longitudinale permettant d'observer les évolutions des besoins des acteurs de l'eau dans le temps, ainsi que les retombées des modifications du cadre réglementaire. En réalisant des enquêtes similaires ailleurs au Canada ou dans le monde, l'outil offre également la possibilité de réaliser des études comparatives. Par ailleurs, un élément crucial à explorer émerge de cette recherche : où sont les Premières Nations dans le processus de la PSEP ? En effet, il demeure un immense flou en ce qui concerne l'implication des Premières Nations et surtout la mise en œuvre de la PSEP en lien avec les territoires des Premières Nations. Si la mise en œuvre de la PSEP est techniquement du ressort provincial, les réserves — territoires administratifs au sein des provinces — sont rattachées à la compétence fédérale. Ainsi, l'eau n'étant pas limitée par les frontières administratives, quels sont les parties prenantes de la PSEP en lien avec ces territoires, comment entament-elles ce processus et avec quels outils ?

#### *En lien avec l'outil CBR développé*

Il serait opportun tout d'abord de réaliser de nouvelles démarches de validation pour renforcer la pertinence du modèle. Lors de la validation, il a été soulevé la nécessité de considérer une étape de filtrage post-calcul des solutions. Il s'agirait de concevoir cette étape en permettant de cibler les actions recherchées en fonction de leur nature (p. ex., réglementation, travaux, consultation et sensibilisation) ou encore leur échelle décisionnelle (municipal, régional, OBV, provincial et fédéral). En ce qui concerne un post-filtrage sur la nature des actions, la typologie des activités de protection des sources d'eau potable de Abell et coll. (2019) pourrait servir de source d'inspiration. La classification de chaque cas en lien avec cette typologie pourrait être réalisée manuellement ou automatiquement. De plus, on pourrait aussi ajouter des critères de filtrages post-calcul plus en lien avec des pratiques ou des techniques novatrices de traitement de l'eau, de gestion de données, d'implication citoyenne, de gestion de la voirie en hiver, etc. dépendamment du contenu des actions.

Différents concepts et aspects sont discutés ci-après pour poursuivre le développement de l'outil :

#### *Intégration Q.SyAPSE/Répert'eau (concept A)*

En tant que répertoire des bonnes pratiques dans le secteur de l'eau, Répert'eau n'est pas seulement un site web, c'est un outil de gestion des connaissances à part entière. Non seulement il centralise de nombreuses informations, mais il structure également la manière dont les expériences sont rapportées et préservées dans le temps. Ainsi, Répert'eau constitue une mémoire collective des expériences vécues au Québec. Par conséquent, cette thèse suggère qu'il est préférable de répliquer Q.SyAPSE (le CBR) en répliquant également Répert'eau ou un répertoire similaire (répertoire d'expériences) en deux outils distincts ou dans un seul outil. Ici, on distingue les deux, car la base de cas est destinée à être lue et comprise par le système CBR, alors que le répertoire d'expériences conserve des connaissances inutiles au CBR, mais utiles aux décideurs (p. ex., information de contact, coûts, durée, défis rencontrés).

Avant d'aborder l'intégration conceptuelle des outils, il serait judicieux de compléter les informations manquantes dans Répert'eau sur la base des résultats de cette thèse. En effet, le chapitre 2 a documenté les connaissances recherchées par les acteurs de l'eau au Québec pour bâtir sur le passé. Bien que la plupart des connaissances recherchées soient recueillies par Répert'eau, certaines sont manquantes, notamment en ce qui concerne l'impact des bonnes pratiques. Répert'eau manque également de contexte sur la description du problème, mais ce point est absorbé par l'intégration de Q.SyAPSE qui, justement, est développé pour ça.

La thèse présente donc un concept permettant de lier les deux outils ensemble (Annexe I). Il s'agira donc de tenter d'implanter ce concept. Notons que Répert'eau est un site Internet développé par Infernal Media pour le Regroupement des organismes de bassins versants du Québec. Les informations techniques n'étant pas publiques, la proposition d'intégration de l'Annexe I n'entre pas trop dans les détails techniques, notamment en ce qui concerne l'hébergement des données ou les langages de programmation.

#### *Case base maintenance (CBM)*

La maintenance d'une base de cas est définie comme « la combinaison de toutes les actions techniques et administratives associées destinées à conserver les connaissances d'un système CBR, ou à les rétablir dans un état dans lequel il peut remplir sa fonction requise, y compris son adaptation à l'évolution des exigences et des technologies ainsi que le réglage de ses performances » (Roth-Berghofer, 2003).

Grâce à l'intégration Q.SyAPSE/Répert'eau proposée (Annexe I), la thèse identifie des solutions en ce qui concerne les tâches de maintenance suivantes : modification de la valeur d'un attribut pour un cas dans la base de cas, ajout et suppression d'un cas. Il restera d'ailleurs à implanter le concept pour vérifier si ces tâches sont correctement remplies. Outre ce qui est proposé en annexe, la thèse suggère d'explorer d'autres approches de maintenance. Voici quelques exemples :

- Aung et Lawanna (2021) proposent un processus conceptuel à quatre étapes qui détermine automatiquement les cas 1) trop compliqués, 2) redondants, 3) les moins utilisés, et supprimera ensuite 4) ceux qui n'affecteront pas négativement la performance du système (capacité de retrouver des solutions pertinentes).
- Chebli et coll. (2022) proposent l'approche du *Clustering Informative, Representative and Divers Cases (C IRD)* qui cible les cas informatifs, représentatifs ou diversifiés et nettoie la base de cas. Pour ce faire, les auteurs utilisent des algorithmes Fuzzy C-means, une technique douce de clustering.
- Torrent-Fontbona et coll. (2019) avaient adapté des algorithmes de classification, afin qu'ils identifient les cas qui ont correctement contribué à résoudre d'autres cas. Cela permettait de nettoyer la base de cas. Ils complètent leur travail en créant une méthode pour étiqueter les cas en utilisant une mesure de tolérance sur un attribut lié à l'insuline.
- Ben Ayed et coll. (2022) réalisent une revue de littérature sur des approches de CBM, qui traitent de la gestion de la base de cas, mais également de celle du vocabulaire. Ils proposent ensuite une méthode innovante, *Constrained & Integrated Maintaining Method based on Evidential Policies (CIMMEP)*, pour gérer à la fois les attributs et la base de cas.
- Schack (2019) propose qu'un cas puisse être partiellement conservé et met de l'avant trois stratégies de maintenance : 1) la suppression flexible d'attributs dans un cas sans supprimer le cas en entier, 2) la suppression d'attributs en fonction de la capacité à récupérer l'élément supprimé et 3) l'ajout de cas fantômes dans l'espace inexploré du problème pour élargir la gamme de cas utilisés dans l'adaptation.
- Reuss et coll. (2017) explorent les enjeux de la maintenance dans un contexte où plusieurs systèmes CBR sont utilisés. Pour ce faire, ils utilisent tout un système automatisé qui surveille 3 des 4 *knowledge containers* (la base de cas, le vocabulaire et les règles d'adaptation) au sein des systèmes CBR et entre les systèmes CBR. Ces auteurs ont d'ailleurs inspiré la procédure proposée en Annexe I.

Il est à noter que ces approches peuvent ne pas convenir à Q.SyAPSE, car les chercheurs en CBR utilisent généralement des banques de données massives et cherchent à réduire leur base de cas ou à optimiser les performances. Également, en lien avec le concept d'intégrer Q.SyAPSE à Répert'eau, plusieurs questions seraient soulevées : est-ce que la suppression d'un cas dans la base de cas devrait également supprimer l'expérience dans le répertoire ? Sur quelle base choisir les cas à supprimer ? En ce sens, Soltani (2016) propose d'explorer l'utilité et les possibilités d'une combinaison d'approches CBM classiques avec des

méthodes d'aide multicritère à la décision (AMCD). L'AMCD permettrait de sélectionner les cas à conserver ou à supprimer.

#### *Automatisation du processus de capture de la connaissance (concept B)*

Les attributs documentés dans Q.SyAPSE — qui ont été collaborativement construits et validés — sont les caractéristiques essentielles à la description des problèmes. Cependant, ils sont nombreux et Q.SyAPSE utilise un lourd questionnaire permettant aux utilisateurs de les documenter. Cette procédure, manuelle, pourrait être facilitée, voire complètement automatisée. Cependant, cela pourrait requérir le transfert de la taxonomie des connaissances (vocabulaire) sous une représentation ontologique. A noter que la structure actuelle de la taxonomie des connaissances (chapitre 2) faciliterait ce transfert, étant donné que tous les concepts et attributs sont déjà liés.

Sur la base des attributs (sous leur forme actuelle), la thèse recommande d'explorer les techniques de *text mining* sur les rapports écrits des consultants, des OBV et des municipalités afin d'alimenter la base de cas. En associant la procédure d'extraction de cas présentée au chapitre 3 et l'exploration de textes, il serait intéressant de détourner les algorithmes utilisés pour la similarité sémantique afin d'alimenter automatiquement le présent vocabulaire. Pour ce faire, on peut penser aux réseaux neuronaux récurrents (Baillargeon et coll., 2021) qui pourraient identifier le domaine lexical associé aux thèmes (attributs). En outre, Ali et coll. (2021) ont développé et implanté une procédure de *text mining* dans le CBR via le langage R dans l'outil RStudio. Issus du CBR textuel, Ceausu et Desprès (2007) ont développé un algorithme de reconnaissance de formes qui détecte plusieurs formes lexicales telles que Nom-Préposition-Nom ou Verbe-Préposition-Nom. Yan et coll. (2018) proposent une nouvelle mesure de similarité sémantique permettant de combiner des mesures de *Node Distance (ND)* et l'*Information Content (IC)*. ND représente la méthode de *edge counting* qui calcule, dans un dictionnaire donné, la distance d'un concept à un autre. IC représente les méthodes statistiques de fréquences pour compter l'occurrence des mots dans un ensemble de texte donné (méthodes automatiques qui sont d'ailleurs disponibles dans NVivo).

#### *Modèle multi-CBR permettant de générer automatiquement des actions de protection des sources (concept C)*

Ce concept, au stade d'idée, est une perspective plus éloignée et largement plus complexe à mettre en œuvre, car il faudrait des décennies pour collecter les connaissances pertinentes au développement d'un tel système. Celui-ci propose d'explorer la conception d'un système multi-CBR (voir Reichle et coll., 2009 ; Reuss et coll., 2015). À cette fin, Q.SyAPSE (le CBR d'identification de problème) fonctionnerait comme un système multi-CBR lié à quatre autres CBR multidisciplinaires qui pourraient être décomposés comme suit : infrastructure, traitement, nature et société.

- *Infrastructure* : englobe les connaissances nécessaires à la transformation des infrastructures et serait principalement basée sur le génie civil, l'architecture et la biologie.
- *Traitement* : concerne l'adaptation du traitement et repose sur l'ingénierie et la chimie de l'eau.
- *Nature* : reposerait sur toutes les sciences qui permettent de concevoir des solutions basées sur la nature comme la biologie, l'hydrologie, l'agrobiologie, la sylviculture, etc.
- *Société* : serait basée sur la sociologie, le droit et les sciences politiques pour adapter les solutions aux outils réglementaires et aux processus de décision d'un nouveau contexte de mise en œuvre.

Lorsqu'un problème survient, Q.SyAPSE pourrait servir de répartiteur de tâches qui redirigerait les utilisateurs vers des CBR spécifiques en fonction de l'objet qu'ils tentent d'adapter. Chaque CBR comporte des cas spécifiques à l'objet en question, et l'ensemble du système disposerait d'une base de cas unifiée avec des sous-cas. Imaginons qu'un utilisateur effectue une recherche dans Q.SyAPSE pour trouver des solutions à un problème de pollution de l'eau (présence de chlorures) lié à l'épandage de sels de voirie. L'utilisateur désire reproduire une expérience où les acteurs ont utilisé des plantes qui servent à retenir et filtrer les polluants aux abords des routes. Q.SyAPSE le renverrait vers les CBR *Infrastructure* et *Nature* qui disposent d'attributs plus techniques (% de pente, type de sol, climat, etc.). Ainsi, le système pourra cibler le type de plantes ou la configuration de plantation la plus adaptée au nouveau cas. Cependant, il faudrait restructurer Q.SyAPSE pour faire les liens avec les autres CBR, c'est-à-dire ajuster et réorganiser les attributs qui seraient partiellement délégués aux sous-systèmes CBR. Q.SyAPSE ne garderait qu'une description haut niveau des problèmes, alors que les autres CBR iraient modéliser plus en profondeur les problèmes selon la connaissance du/des domaines qu'ils représentent.

### Vers une démocratisation du CBR dans la gestion de l'eau et la planification du territoire ?

Dans un monde de plus en plus tourné vers les données massives et des outils aux modèles toujours plus techniques, complexes et opaques sur l'environnement, il est attendu que les acteurs sur le terrain se les approprient et les mettent en pratique sans délai. Cependant, dans ce monde à deux vitesses, les organisations sont-elles capables de suivre le rythme effréné du monde technologique ? Et si elles n'en sont pas capables, alors à quoi et à qui ces modèles servent-ils ?

D'un autre côté, l'approche CBR offre l'immense avantage d'être transparente et de reposer sur l'expérience concrètement vécue des acteurs. Ici, outre l'intérêt du système lui-même qui facilite l'accès aux connaissances, la démarche de conception du CBR facilite l'identification des connaissances utiles à la prise de décision ainsi que leur structuration. De ce fait, la démarche permet de construire une compréhension commune du monde qui nous entoure, ce qui apporte de la clarté aux processus décisionnels. Ainsi, la gestion de l'eau et plus

largement le domaine de l'aménagement du territoire aurait tout à gagner à adopter plus largement l'approche CBR. Cependant, pour pouvoir profiter pleinement de cette technologie dans la gestion de l'eau et du territoire, il est important que l'expérience soit documentée, car comme écrivait George Santayana « ceux qui ne peuvent se souvenir du passé sont condamnés à le répéter » (*The Life of Reason*, 1905).

## Bibliographie générale

- Aamodt, A. (1995). Knowledge Acquisition and Learning by Experience—The Role of Case-Specific Knowledge. 42.
- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning : Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7(1), 39-59. <https://doi.org/10/ggdrf6>
- Abell, R., Vigerstol, K., Higgins, J., Kang, S., Karres, N., Lehner, B., Sridhar, A., & Chapin, E. (2019). Freshwater biodiversity conservation through source water protection : Quantifying the potential and addressing the challenges. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(7), 1022-1038. <https://doi.org/10.1002/aqc.3091>
- Abi-Zeid, I., Morin, M., & Nilo, O. (2019). Decision Support for Planning Maritime Search and Rescue Operations in Canada: Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems, 328-339. <https://doi.org/10/ggw5v9>
- Ackoff, R. L. (1974). *Redesigning the future : A systems approach to societal problems*. New York, Wiley. <http://archive.org/details/redesigningfutur00russ>
- Ackoff, R. L. (1989). From data to wisdom. *Journal of applied systems analysis*, 16(1), 3-9.
- Ahmad, M., Rahim, L. Ab., & Arshad, N. I. (2014). A review of educational games design frameworks : An analysis from software engineering. 2014 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS), 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCOINS.2014.6868452>
- Akerkar, R., & Sajja, P. (2010). *Knowledge-based systems*. Jones and Bartlett.
- Akhmouch, A., & Clavreul, D. (2016). Stakeholder Engagement for Inclusive Water Governance : “Practicing What We Preach” with the OECD Water Governance Initiative. *Water*, 8(5), 204. <https://doi.org/10/f8sjkc>
- Al Ibrahim, A., & Patrick, R. J. (2017). Source Water Protection Planning and Management in Metropolitan Canada : A Preliminary Assessment. *Water*, 9(7), 497. <https://doi.org/10.3390/w9070497>
- Alexander, E. R. (1984). After Rationality, What? A Review of Responses to Paradigm Breakdown. *Journal of the American Planning Association*, 50(1), 62-69. <https://doi.org/10.1080/01944368408976582>
- Ali, S., Hafeez, Y., Hussain, S., Yang, S., & Jamal, M. (2021). Requirement prioritization framework using case-based reasoning : A mining-based approach. *Expert Systems*, 38(8), e12770. <https://doi.org/10.1111/exsy.12770>
- Althoff, K.-D. (2001). Case-based reasoning. Dans *Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering* (Vol. 1-2, p. 549-587). World Scientific Publishing Company. [https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812389718\\_0023](https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812389718_0023)
- Althoff, K.-D., & Weber, R. O. (2005). Knowledge management in case-based reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20(3), 305-310. <https://doi.org/10.1017/s0269888906000543>
- Alyoubi, Bader. A. (2015). Decision Support System and Knowledge-based Strategic Management. *Procedia Computer Science*, 65, 278-284. <https://doi.org/10/ggtsvx>
- Anbari, F. T., Carayannis, E. G., & Voetsch, R. J. (2008). Post-project reviews as a key project management competence. *Technovation*, 28(10), 633-643. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.12.001>
- Anctil, F. (2017). *L'eau et ses enjeux*. De Boeck Supérieur.
- Andrews, C. J. (2017). Rationality in Policy Decision Making. Dans *Handbook of Public Policy Analysis* (p. 187-198). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315093192-22>
- Anthony Jnr, B. (2021). A case-based reasoning recommender system for sustainable smart city development. *AI & SOCIETY*, 36(1), 159-183. <https://doi.org/10/gh2qjn>

- Armitage, D., de Loë, R. C., Morris, M., Edwards, T. W. D., Gerlak, A. K., Hall, R. I., Huitema, D., Ison, R., Livingstone, D., MacDonald, G., Mirumachi, N., Plummer, R., & Wolfe, B. B. (2015). Science–policy processes for transboundary water governance. *Ambio*, 44(5), 353-366. <https://doi.org/10/ghz726>
- Ascough, J. C., Maier, H. R., Ravalico, J. K., & Strudley, M. W. (2008). Future research challenges for incorporation of uncertainty in environmental and ecological decision-making. *Ecological Modelling*, 219(3-4), 383-399. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.07.015>
- Aubin, D. (2007). Les réformes vers une gestion intégrée de l'eau en Europe : Un exemple à suivre pour le Québec ? *Politique et Sociétés*, 26(2-3), 143. <https://doi.org/10/ggtst2>
- Auconie, S. (2017). Le Conseil Mondial de l'Eau : Un enjeu mondial pour une ressource locale. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 86(2), 92-95. <https://doi.org/10.3917/re1.086.0092>
- Aung, N. L., & Lawanna, A. (2021). A Competence-based Deletion Model for the Improvement of Case-based Maintenance in Case-based Reasoning. <https://doi.org/10.14416/j.asep.2019.06.002>
- Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32986-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32986-9_4)
- Baechler, L. (2012). La bonne gestion de l'eau : Un enjeu majeur du développement durable. *L'Europe en Formation*, 365(3), 3. <https://doi.org/10/ggtsvj>
- Baillargeon, J.-T., Lamontagne, L., & Marceau, E. (2021). Mining Actuarial Risk Predictors in Accident Descriptions Using Recurrent Neural Networks. *Risks*, 9(1), 7. <https://doi.org/10.3390/risks9010007>
- Baird, J., Plummer, R., Morris, S., Mitchell, S., & Rathwell, K. (2014). Enhancing source water protection and watershed management : Lessons from the case of the New Brunswick Water Classification Initiative. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 39(1), 49-62. <https://doi.org/10.1080/07011784.2013.872872>
- Bakker, K., & Cook, C. (2011). Water Governance in Canada : Innovation and Fragmentation. *International Journal of Water Resources Development*, 27(2), 275-289. <https://doi.org/10/d38g95>
- Bakker, K. J. (Éd.). (2007). *Eau Canada : The future of Canada's water*. UBC Press.
- Balint, P. J., Stewart, R. E., Desai, A., & Walters, L. C. (2012). *Wicked Environmental Problems : Managing Uncertainty and Conflict*. Island Press.
- Banque Mondiale. (2012). *Getting to green : A Sourcebook of Pollution Management. Policy Tools for Growth and Competitiveness*. (N° 71608; PoMa Sourcebook, p. 295). The International Bank for Reconstruction and Development. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/560021468330349857/pdf/716080WP0Box370Getting0to0Green0web.pdf>
- Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable Artificial Intelligence (Xai) : Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82-115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Barrotta, P., & Montuschi, E. (2018). Expertise, Relevance and Types of Knowledge. *Social Epistemology*, 32(6), 387-396. <https://doi.org/10.1080/02691728.2018.1546345>
- Beers, P. J., Boshuizen, H. P. A., Kirschner, P. A., & Gijssels, W. H. (2006). Common Ground, Complex Problems and Decision Making. *Group Decision and Negotiation*, 15(6), 529-556. <https://doi.org/10.1007/s10726-006-9030-1>
- Behmel, S. (2018). *INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM TO OPTIMIZE, MANAGE AND PLAN WATER QUALITY MONITORING PROGRAMS BASED ON A PARTICIPATIVE APPROACH [PhD Thesis]*. Université Laval.

- Belton, V., & Stewart, T. (2010). Problem Structuring and Multiple Criteria Decision Analysis. Dans Trends in Multiple Criteria Decision Analysis (p. 209-239). Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1_8)
- Ben Ayed, S., Elouedi, Z., & Lefevre, E. (2022). CIMMEP : Constrained integrated method for CBR maintenance based on evidential policies. *Applied Intelligence*, 52(6), 6939-6954. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-02159-4>
- Bendor, J. (2001). Bounded Rationality. Dans N. J. Smelser & P. B. Baltes (Éds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 1303-1307). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01100-1>
- Benson, D., & Jordan, A. (2010). The Scaling of Water Governance Tasks : A Comparative Federal Analysis of the European Union and Australia. *Environmental Management*, 46(1), 7-16. <https://doi.org/10/c8skqz>
- Bentley, J., & Toth, M. (2020). *Exploring Wicked Problems : What They Are and Why They Are Important*. Archway Publishing.
- Bérard, C. (2009). *Le processus de décision dans les systèmes complexes : Une analyse d'une intervention systémique* [Thèse ou essai doctoral accepté, Université du Québec à Montréal]. <https://archipel.uqam.ca/2694/>
- Bernstein, J. H. (2011). The Data-Information-Knowledge-Wisdom Hierarchy and its Antithesis. *NASKO*, 2(1). <https://doi.org/10/ggtsvf>
- Bethlehem, J. G., & Biffignandi, S. (2012). *Wiley handbook of web surveys* (a2075174). Wiley; Ariane. Accès via Wiley online library <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781118121757>
- Bevir, M. (2012). *Governance : A very short introduction*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199606412.001.0001>
- Biswas, A. K. (1988). United nations water conference action plan. *International Journal of Water Resources Development*, 4(3), 148-159. <https://doi.org/10.1080/07900628808722385>
- Biswas, A. K., & Tortajada, C. (2021). *Water Security Under Climate Change*. Springer Nature.
- Blackstock, M. (2001). Water : A First Nations' Spiritual and Ecological Perspective. 1(1), 14.
- Blair, J., Czaja, R. F., & Blair, E. A. (2013). *Designing Surveys : A Guide to Decisions and Procedures*. SAGE Publications.
- Bohman, J., & Rehg, W. (2017). Jürgen Habermas. Dans E. N. Zalta (Éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2017). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/habermas/>
- Bolis, I., Morioka, S. N., & Sznclwar, L. I. (2017). Are we making decisions in a sustainable way? A comprehensive literature review about rationalities for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 145, 310-322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.025>
- Bolland, E. J., & Lopes, C. J. (2018). *Decision Making and Business Performance*. Edward Elgar Publishing. Cheltenham, Gloucestershire, UK.
- Boudon, R. (2001). Action, Theories of Social. Dans N. J. Smelser & P. B. Baltes (Éds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 54-58). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01819-2>
- Boudon, R. (2003). Beyond Rational Choice Theory. *Annual Review of Sociology*, 29(1), 1-21. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.29.010202.100213>
- Boyer, D. (2005). Visiting knowledge in anthropology : An introduction. *Ethnos*, 70(2), 141-148. <https://doi.org/10.1080/00141840500141097>

- Brown, V. A., Harris, J. A., & Russell, J. Y. (2010). *Tackling Wicked Problems Through the Transdisciplinary Imagination*. Earthscan.
- Bruckmeier, K. (2016). *Social-Ecological Transformation*. Palgrave Macmillan UK. <https://doi.org/10.1057/978-1-137-43828-7>
- Brun, A., & Lasserre, F. (2010). Politique nationale de l'eau au Québec : Constat et perspectives. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 7. <https://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2015-v15-n3-vertigo3897/044524ar/>
- Brun, A., & Lasserre, F. (2011). *Gestion de l'eau : Approche territoriale et institutionnelle*. Presses de l'Université du Québec.
- Burstein, F., & W. Holsapple, C. (2008). *Handbook on Decision Support Systems 1*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-48713-5>
- Callegaro, M., Manfreda, K. L., & Vehovar, V. (2015). *Web Survey Methodology*. SAGE.
- Campbell, I. C. (2016). Integrated management of large rivers and their basins. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16(4), 203-214. <https://doi.org/10/gghpw5>
- Carlsson, C., & Turban, E. (2002). DSS : Directions for the next decade. *Decision Support Systems*, 33, 105-110. <https://doi.org/10/bwrxm>
- Carr, A. (1997). Organisation Theory and Postmodern Thinking : The uncertain place of Human Agency. *Policy, Organisation and Society*, 13(1), 82-104. <https://doi.org/10.1080/10349952.1997.11876660>
- Carrillo, P., Harding, J., & Choudhary, A. (2011). Knowledge discovery from post-project reviews. *Construction Management and Economics*, 29(7), 713-723. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.588953>
- Cassin, J. (2021). Chapter 9—Nature-based solutions for source water protection in North America. Dans J. Cassin, J. H. Matthews, & E. L. Gunn (Éds.), *Nature-based Solutions and Water Security* (p. 179-214). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819871-1.00005-1>
- CCME. (2004). De la source au robinet guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau potable saine. Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME]. <http://bibvir.uqac.ca/bd/man.php?TD=ARC&IdNot=030013899&FORMAT=pdf>
- Ceausu, V., & Desprès, S. (2007). A Semantic Case-Based Reasoning Framework for Text Categorization. Dans K. Aberer, K.-S. Choi, N. Noy, D. Allemang, K.-I. Lee, L. Nixon, J. Golbeck, P. Mika, D. Maynard, R. Mizoguchi, G. Schreiber, & P. Cudré-Mauroux (Éds.), *The Semantic Web* (p. 736-749). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-76298-0\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-540-76298-0_53)
- Cerutti, J., Abi-Zeid, I., Lamontagne, L., Lavoie, R., & Rodriguez, M. J. (2022). A case-based reasoning system to recommend solutions for source water protection : Knowledge acquisition and modelling. *Knowledge Management Research & Practice*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/14778238.2022.2075808>
- Cerutti, J., Abi-Zeid, I., Lavoie, R., & J. Rodriguez, M. (2021). Mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable : Portrait-diagnostic au Québec, Canada. *VertigO*, Volume 21 numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.31489>
- Chaffin, B. C., Garmestani, A. S., Gosnell, H., & Craig, R. K. (2016). Institutional networks and adaptive water governance in the Klamath River Basin, USA. *Environmental Science & Policy*, 57, 112-121. <https://doi.org/10/f79wkh>
- Chakravarthy, B. S., & White, R. E. (2002). *9 Strategy Process : Forming, Implementing and Changing Strategies*.
- Chaloux, A., Simard, P., & Sfiligoi, E. (2021). Le Québec et la coopération climatique internationale : Nouvelle stratégie paradiplomatique d'un gouvernement non central. *VertigO*, Volume 21 numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.31529>

- Chebli, A., Djebbar, A., & Merouani, H. F. (2022). Case Base Maintenance : Clustering Informative, Representative and Divers Cases (C IRD). Dans A. Ullah, S. Anwar, Á. Rocha, & S. Gill (Éds.), *Proceedings of International Conference on Information Technology and Applications* (Vol. 350, p. 387-396). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7618-5\\_34](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7618-5_34)
- Chevallier, A. (2016). *Strategic Thinking in Complex Problem Solving*. Oxford University Press.
- Choquette, C., & Létourneau, A. (Éds.). (2008). *Vers une gouvernance de l'eau au Québec*. Éditions MultiMondes.
- Choudhury, N., & Ara, S. (2016). A Survey on Case-based Reasoning in Medicine. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(8). <https://doi.org/10/gh55f3>
- Coget, J.-F., Haag, C., & Bonnefous, A.-M. (2009). Le rôle de l'émotion dans la prise de décision intuitive : Zoom sur les réalisateurs-décideurs en période de tournage. *M@n@gement*, 12(2), 118-141. <https://doi.org/10.3917/mana.122.0118>
- Cohen, E. (2010). Anthropology of knowledge. *The Journal of the Royal Anthropological Institute*, 16, S193-S202.
- Collins, H. (2010). Tacit and Explicit Knowledge. Dans *Tacit and Explicit Knowledge*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/9780226113821>
- Comtois, S., & Turgeon, B. (2011). L'eau, chose commune à l'usage de tous : L'État québécois a-t-il les moyens de donner effet à ce statut ? *Les Cahiers de droit*, 51(3-4), 617-635. <https://doi.org/10/gffmvm>
- Conrad, S. R., Sanders, C. J., Santos, I. R., & White, S. A. (2018). Investigating water quality in Coffs coastal estuaries and the relationship to adjacent land use Part 1 : Sediments (p. 42). National Marine Science Centre, Southern Cross University. [https://www.surg.org.au/sites/surg/files/attachments/part1\\_sediments20hearnes20lake\\_el20report.pdf](https://www.surg.org.au/sites/surg/files/attachments/part1_sediments20hearnes20lake_el20report.pdf)
- Cordier, A., Fuchs, B., & Mille, A. (2009). Le raisonnement à partir de cas : Un paradigme de réutilisation de l'expérience. Dans E. Egyed-Zsigmond, N. Guin, & A. Mille, *Réutilisation de l'expérience : Modèles et applications* (p. 21-42). Hermes Science publications : Lavoisier.
- Cunningham, P., Doyle, D., & Loughrey, J. (2003). An Evaluation of the Usefulness of Case-Based Explanation. Dans K. D. Ashley & D. G. Bridge (Éds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (Vol. 2689, p. 122-130). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-45006-8\\_12](https://doi.org/10.1007/3-540-45006-8_12)
- Cyr-Gagnon, J. (2017). Développement d'une méthodologie afin d'intégrer et de valoriser l'information spatio-temporelle sur la qualité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant. Un exemple d'application à la protection des sources d'eau potable [Master Thesis]. Université Laval.
- Cyr-Gagnon, J., & Rodriguez, M. J. (2021). Optimizing data management for municipal source water protection. *Land Use Policy*, 100, 103788. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.035>
- D. Pooley, J. (2016). Sociology of Knowledge. Dans K. B. Jensen, E. W. Rothenbuhler, J. D. Pooley, & R. T. Craig (Éds.), *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy* (1<sup>re</sup> éd., p. 1-8). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect209>
- Daft, R. L. (2010). *Organization theory and design* (10th ed). South-Western Cengage Learning.
- Dagenais, G. (2016). *Analyse stratégique de la gouvernance de l'eau en milieu agricole : Normes, acteurs, enjeux, stratégies* [Mémoire accepté, Université du Québec à Montréal]. <https://archipel.uqam.ca/11750/>
- Dalkir, K. (2017). *Knowledge management in theory and practice* (Third Edition). MIT Press.
- DeFries, R., & Nagendra, H. (2017). Ecosystem management as a wicked problem. *Science*, 356(6335), 265-270. <https://doi.org/10.1126/science.aal1950>

- de Loë, R. C., & Kreutzwiser, R. D. (2005). Closing the groundwater protection implementation gap. *Geoforum*, 36(2), 241-256. <https://doi.org/10/cx9736>
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2017). *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. SAGE Publications.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. D.C.HEATH & CO., PUBLISHERS.  
<http://archive.org/details/howwethink000838mbp>
- Díaz-Agudo, B., González-Calero, P. A., Recio-García, J. A., & Sánchez-Ruiz-Granados, A. A. (2007). Building CBR systems with jcolibri. *Science of Computer Programming*, 69(1-3), 68-75.  
<https://doi.org/10.1016/j.scico.2007.02.004>
- Dietz, T. (2003). What is a Good Decision ? Criteria for Environmental Decision Making. *Human Ecology Review*, 10(1), 33-39.
- Drechsler, A., & Hevner, A. (2016). A Four-Cycle Model of IS Design Science Research : Capturing the Dynamic Nature of IS Artifact Design. Dans J. Parsons, T. Tuunanen, J. R. Venable, M. Helfert, B. Donnellan, & J. Kenneally (Éds.), *Breakthroughs and Emerging Insights from Ongoing Design Science Projects : Research-in-progress papers and poster presentations from the 11th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology (DESRIST)* (p. 9).  
<http://hdl.handle.net/10468/2560>
- Dronova, I. (2019). Landscape beauty : A wicked problem in sustainable ecosystem management? *Science of The Total Environment*, 688, 584-591. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.248>
- Dunn, G., Bakker, K., & Harris, L. (2014). Drinking Water Quality Guidelines across Canadian Provinces and Territories : Jurisdictional Variation in the Context of Decentralized Water Governance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), 4634-4651. <https://doi.org/10/f56rqs>
- Edelenbos, J., van Buuren, A., & van Schie, N. (2011). Co-producing knowledge : Joint knowledge production between experts, bureaucrats and stakeholders in Dutch water management projects. *Environmental Science & Policy*, 14(6), 675-684. <https://doi.org/10/dkzs4m>
- Edwards, J. S. (2022). Where knowledge management and information management meet : Research directions. *International Journal of Information Management*, 63, 102458.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102458>
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin*, 51(4), 380-417.  
<https://doi.org/10.1037/h0053870>
- Edwards, W., Miles, R. F. Jr., & von Winterfeldt, D. (Éds.). (2007). *Advances in Decision Analysis : From Foundations to Applications*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611308>
- Eilertsen, S. (2005). Modes of Organizational Learning. 7.
- Eilon, S. (1969). What is a Decision? *Management Science*, 16(4), B-172-B-189. <https://doi.org/10/dgp7r4>
- Eisenführ, F., Weber, M., & Langer, T. (2010). *Rational decision making*. Springer.
- Eizenberg, E. (2019). Patterns of self-organization in the context of urban planning : Reconsidering venues of participation. *Planning Theory*, 18(1), 40-57. <https://doi.org/10.1177/1473095218764225>
- Ekroos, J., Leventon, J., Fischer, J., Newig, J., & Smith, H. G. (2017). Embedding Evidence on Conservation Interventions Within a Context of Multilevel Governance : Conservation and Multilevel Governance. *Conservation Letters*, 10(1), 139-145. <https://doi.org/10/f9w2kk>
- Elsawah, S., Guillaume, J. H. A., Filatova, T., Rook, J., & Jakeman, A. J. (2015). A methodology for eliciting, representing, and analysing stakeholder knowledge for decision making on complex socio-ecological systems : From cognitive maps to agent-based models. *Journal of Environmental Management*, 151, 500-516. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.028>

- Emond, N. (2015). La gestion intégrée de la ressource-eau au Québec : Prolégomènes sur les mutations et la fixité de l'espace institutionnel. *Recherches sociographiques*, 56(2-3), 353-379.  
<https://doi.org/10/ggp6w2>
- Evans, J. (2014). Rationality and the illusion of choice. *Frontiers in Psychology*, 5.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2014.00104>
- Evans, J. R., & Mathur, A. (2005). The value of online surveys. *Internet Research*, 15(2), 195-219.  
<https://doi.org/10/d8tcnt>
- Evans, J. St. B. T., Over, D. E., & Manktelow, K. I. (1993). Reasoning, decision making and rationality. *Cognition*, 49(1), 165-187. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(93\)90039-X](https://doi.org/10.1016/0010-0277(93)90039-X)
- Fantini, E. (2020). An introduction to the human right to water : Law, politics, and beyond. *WIREs Water*, 7(2), e1405. <https://doi.org/10.1002/wat2.1405>
- Ferrero, G., Bichai, F., & Rusca, M. (2018). Experiential Learning through Role-Playing : Enhancing Stakeholder Collaboration in Water Safety Plans. *Water*, 10(2), 227. <https://doi.org/10.3390/w10020227>
- Ferreyra, C., de Loë, R. C., & Kreutzwiser, R. D. (2008). Imagined communities, contested watersheds : Challenges to integrated water resources management in agricultural areas. *Journal of Rural Studies*, 24(3), 304-321. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2007.11.001>
- Ferrier, J. F. (1854). The theory of knowing and being.
- Filip, F. G., Zamfirescu, C.-B., & Ciurea, C. (2017). Decision Support Systems. Dans F. G. Filip, C.-B. Zamfirescu, & C. Ciurea, *Computer-Supported Collaborative Decision-Making* (Vol. 4, p. 31-69). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47221-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47221-8_2)
- Fink, A. (2015). *How to Conduct Surveys : A Step-by-Step Guide*. SAGE Publications.
- Foster, S., & Gun, J. van der. (2016). Groundwater Governance : Key challenges in applying the Global Framework for Action. *Hydrogeology Journal*, 24(4), 749-752. <https://doi.org/10/ggtsv8>
- French, S. (2010). Decision Support Systems. Dans D. Rios Insua & S. French (Éds.), *E-Democracy* (Vol. 5, p. 65-82). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9045-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9045-4_5)
- French, S., Maule, J., & Papamichail, N. (2009). *Decision Behaviour, Analysis and Support* (1<sup>re</sup> éd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511609947>
- Gao, T., Chai, Y., & Liu, Y. (2018). A review of knowledge management about theoretical conception and designing approaches. *International Journal of Crowd Science*, 2(1), 42-51.  
<https://doi.org/10.1108/IJCS-08-2017-0023>
- García de Soto, Dr. B., Streule, T., Klippel, M., Bartlomé, O., & Adey, B. T. (2020). Improving the planning and design phases of construction projects by using a Case-Based Digital Building System. *International Journal of Construction Management*, 20(8), 900-911. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1502929>
- Gearey, M. (2018). Tales from the riverside : What community stories can tell us about sustainable water resources management practices. *Sustainable Development*, 26(2), 132-140.  
<https://doi.org/10.1002/sd.1724>
- Genskow, K. D., & Born, S. M. (2009). Organizational Dynamics of Watershed Partnerships : A Key to Integrated Water Resources Management: Organizational Dynamics of Watershed Partnerships. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 135(1), 56-64. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2006.mp135001007.x>
- Gigerenzer, G. (2016). Towards a Rational Theory of Heuristics. Dans R. Frantz & L. Marsh (Éds.), *Minds, Models and Milieux : Commemorating the Centennial of the Birth of Herbert Simon* (p. 34-59). Palgrave Macmillan UK. [https://doi.org/10.1057/9781137442505\\_3](https://doi.org/10.1057/9781137442505_3)

- Gilles, D. (2010). Aménager, canaliser, encadrer juridiquement les rivières du Québec : Le poids de l'histoire ? *Les Cahiers de droit*, 51(3-4), 923-945. <https://doi.org/10.7202/045739ar>
- Gingras, M.-È., & Belleau, H. (2015). Avantages et désavantages du sondage en ligne comme méthode de collecte de données : Une revue de la littérature. [Monographie]. <http://espace.inrs.ca/2678/>
- Girard, J.-F. (2014). Une revue de la jurisprudence. 15e rendez-vous des OBV, Saint-Jean-sur-Richelieu (QC), Canada.
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M. F. P., & van Beek, L. P. H. (2012). Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*, 488(7410), 197-200. <https://doi.org/10.1038/nature11295>
- Global Water Partnership. (2010). GWP in action—2010 Annual Report (GWP In Action). Global Water Partnership. <https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/annual-reports/gwp-in-action---annual-report-2010.pdf>
- Goh, Y. M., & Guo, B. H. W. (2018). FPSWizard : A web-based CBR-RBR system for supporting the design of active fall protection systems. *Automation in Construction*, 85, 40-50. <https://doi.org/10/gcx7cg>
- Goldsmith, S. A., & Elizabeth, L. (Éds.). (2010). *What We See : Advancing the Observations of Jane Jacobs*. New Village Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt21pxmww>
- Gong, W., Gupta, H. V., Yang, D., Sricharan, K., & Hero, A. O. (2013). Estimating epistemic and aleatory uncertainties during hydrologic modeling : An information theoretic approach: ESTIMATING EPISTEMIC AND ALEATORY UNCERTAINTIES. *Water Resources Research*, 49(4), 2253-2273. <https://doi.org/10/ggj67f>
- Goodwin, M. (2009). Governance. Dans *International Encyclopedia of Human Geography* (p. 593-599). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00782-3>
- Gough, J. D., & Ward, J. C. (1996). Environmental Decision-Making and Lake Management. *Journal of Environmental Management*, 48(1), 1-15. <https://doi.org/10/cvsh4>
- Gourbesville, P., Du, M., Zavattoni, E., & Ma, Q. (2016). DSS Architecture for Water Uses Management. *Procedia Engineering*, 154, 928-935. <https://doi.org/10/gf4p89>
- Loi sur les ressources en eau du Canada (LRC), L.R.C. § ch. C-11 (1985). <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/c-11/index.html>
- Gouvernement du Canada & Bibliothèque du Parlement. (2016). *Notre pays, notre Parlement : Une introduction au fonctionnement du Parlement du Canada* (p. 52). Bibliothèque du Parlement. <https://lop.parl.ca/About/Parliament/Education/ourcountryourparliament/pdfs/Livret-f.pdf>
- Gouvernement du Québec. (2018). Codes d'utilisation des biens-fonds [Land Use Codes]. <https://www.mamh.gouv.qc.ca/evaluation-fonciere/manuel-devaluation-fonciere-du-quebec/codes-dutilisation-des-biens-fonds/>
- Gregory, R. (Éd.). (2012). *Structured decision making : A practical guide to environmental management choices*. Wiley-Blackwell.
- Grothe-Hammer, M., Berkowitz, H., & Berthod, O. (2022). Decisional organization theory : Towards an integrated framework of organization. Dans *Research Handbook on the Sociology of Organizations* (p. 30-53). Edward Elgar Publishing. <https://www.elgaronline.com/view/book/9781839103261/book-part-9781839103261-11.xml>
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. Dans N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Éds.), *Handbook of qualitative research* (p. 105-107). Sage Publications, Inc.
- Guinness, A. M., & Heathcote, J. (2022). The Myth of the Post Project Review. Dans C. Gorse, L. Scott, C. Booth, & M. Dastbaz (Éds.), *Climate Emergency – Managing, Building , and Delivering the Sustainable*

- Development Goals (p. 337-348). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79450-7\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79450-7_26)
- Gunder, M. (2015). Critical Planning Theory. Dans *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 255-260). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.74026-8>
- Haan, A. de, & Heer, P. de. (2015). *Solving Complex Problems : Professional Group Decision-Making Support in Highly Complex Situations*. Eleven International Publishing.
- Habermas, J. (1985). *The Theory of Communicative Action : Volume 2: Lifeworld and System: A Critique of Functionalist Reason*. Beacon Press.
- Habermas, J. (1988). *Theory and Practice*. Beacon Press.
- Habermas, J. (2015). *Knowledge and Human Interests*. John Wiley & Sons.
- Haibe-Kains, B., Alexandru Adam, G., Hosny, A., Khodakarami, F., Waldron, L., Wang, B., McIntosh, C., Goldenberg, A., Kundaje, A., Greene, C. S., Broderick, T., Hoffman, M. M., Leek, J. T., Korthauer, K., Huber, W., Brazma, A., Pineau, J., Tibshirani, R., Hastie, T., ... Furlanello, C. (2020). Transparency and reproducibility in artificial intelligence. *Nature*, 586(7829), E14-E16. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2766-y>
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1998). The hidden traps in decision making. *Harvard Business Review*, 76(5), 47-48, 50, 52 passim.
- Handler, A. B. (1957). What is Planning Theory? *Journal of the American Institute of Planners*, 23(3), 144-150. <https://doi.org/10.1080/01944365708978243>
- Harris, M. (Éd.). (2007). *Ways of knowing : Anthropological approaches to crafting experience and knowledge*. Berghahn Books.
- Hassenforder, E., & Barone, S. (2019). Institutional arrangements for water governance. *International Journal of Water Resources Development*, 35(5), 783-807. <https://doi.org/10.1080/07900627.2018.1431526>
- Hastrup, K. (2004). Getting it right : Knowledge and evidence in anthropology. *Anthropological Theory*, 4(4), 455-472. <https://doi.org/10.1177/1463499604047921>
- Hatch, M. J. (2018). *Organization Theory : Modern, Symbolic, and Postmodern Perspectives*. Oxford University Press.
- Head, B. W. (2019). Forty years of wicked problems literature : Forging closer links to policy studies. *Policy and Society*, 38(2), 180-197. <https://doi.org/10.1080/14494035.2018.1488797>
- Healey, P. (2015). Planning Theory : The Good City and Its Governance. Dans J. D. Wright (Éd.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)* (p. 202-207). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.74027-X>
- Hemberger, C., Grunau, J., Utz, J., Voermanek, K., & Schwanandt, W. (2014). *Solving Complex Problems A Handbook*. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2014041514525>
- Hertwig, R. (2012). The psychology and rationality of decisions from experience. *Synthese*, 187(1), 269-292. <https://doi.org/10.1007/s11229-011-0024-4>
- Hevner, A., & Chatterjee, S. (2010). *Design Research in Information Systems (Vol. 22)*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 32.
- Holopainen, J., Mattila, O., Pöyry, E., & Parvinen, P. (2020). Applying design science research methodology in the development of virtual reality forest management services. *Forest Policy and Economics*, 116, 102190. <https://doi.org/10/gjcvqp>

- Holsapple, C. W., & Joshi, K. D. (2002). Knowledge Management : A Threefold Framework. *The Information Society*, 18(1), 47-64. <https://doi.org/10/fvm9mt>
- Holt, A., Bichindaritz, I., Schmidt, R., & Perner, P. (2005). Medical applications in case-based reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20(3), 289-292. <https://doi.org/10.1017/S0269888906000622>
- Horn, R. E., & Weber, R. P. (2007). *New Tools For Resolving Wicked Problems : Mess Mapping and Resolution Mapping Processes* (p. 31). MacroVU(r), Inc. & Strategy Kinetics L.L.C. [https://www.strategykinetics.com//New\\_Tools\\_For\\_Resolving\\_Wicked\\_Problems.pdf](https://www.strategykinetics.com//New_Tools_For_Resolving_Wicked_Problems.pdf)
- Huitema, D., Mostert, E., Egas, W., Moellenkamp, S., Pahl-Wostl, C., & Yalcin, R. (2009). Adaptive Water Governance : Assessing the Institutional Prescriptions of Adaptive (Co-)Management from a Governance Perspective and Defining a Research Agenda. *Ecology and Society*, 14(1), art26. <https://doi.org/10.5751/ES-02827-140126>
- Hulme, M. (2009). *Why We Disagree about Climate Change : Understanding Controversy, Inaction and Opportunity*. Cambridge University Press.
- Huxley, M., & Inch, A. (2020). Urban Planning. Dans A. Kobayashi (Éd.), *International Encyclopedia of Human Geography (Second Edition)* (p. 87-92). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102295-5.10228-8>
- International Initiative on Water Quality. (2016). *The global water quality challenge & SDGs*, UNESCO. <https://en.unesco.org/waterquality-iiwq/wq-challenge>
- Intezari, A., & Gressel, S. (2017). Information and reformation in KM systems : Big data and strategic decision-making. *Journal of Knowledge Management*, 21(1), 71-91. <https://doi.org/10.1108/JKM-07-2015-0293>
- Intezari, A., & Pauleen, D. (2018). *Wisdom, Analytics and Wicked Problems : Integral Decision Making for the Data Age*. Taylor & Francis.
- Ivey, J. L., de Loë, R. C., & Kreutzwiser, R. D. (2006). Planning for source water protection in Ontario. *Applied Geography*, 26(3-4), 192-209. <https://doi.org/10/cmjkcm>
- Ivey, J. L., de Loe, R., Kreutzwiser, R., & Ferreyra, C. (2006). An institutional perspective on local capacity for source water protection. *Geoforum*, 37(6), 944-957. <https://doi.org/10/b4g247>
- Jean, É. (2015). Les enjeux liés à la collecte de données en ligne : Le cas d'une recherche auprès de gestionnaires. *La Revue des Sciences de Gestion*, 272(2), 13. <https://doi.org/10/gfz5kj>
- Jean, S., Medema, W., Adamowski, J., Chew, C., Delaney, P., & Wals, A. (2018). Serious games as a catalyst for boundary crossing, collaboration and knowledge co-creation in a watershed governance context. *Journal of Environmental Management*, 223, 1010-1022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.021>
- Joachim, S., Jayaraman, P. P., Forkan, A. R. M., Morshed, A., & Wickramasinghe, N. (2021). Developing a Personalised Diabetic Platform Using a Design Science Research Methodology: Dans N. Wickramasinghe (Éd.), *Optimizing Health Monitoring Systems With Wireless Technology* (p. 71-87). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-6067-8.ch007>
- Joseph, R. P., & Arun, T. M. (2021). Models and Tools of Knowledge Acquisition. Dans S. Patnaik, K. Tajeddini, & V. Jain (Éds.), *Computational Management (Vol. 18, p. 53-67)*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72929-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72929-5_3)
- Josephides, L. (2020). *Knowledge and Ethics in Anthropology : Obligations and Requirements*. Routledge.
- Jung, D. (2018). *Quelles nouveautés en droit de l'environnement ?* Droit-Inc. <https://www.droit-inc.com/article22565-Quelles-nouveautes-en-droit-de-l-environnement>
- Karl, H., Curtin, C., Scarlett, L., & Hopkins, W. (2011). Adapting to Climate Change—A Wicked Problem. Dans I. Linkov & T. S. Bridges (Éds.), *Climate* (p. 237-255). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1770-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1770-1_13)

- Keane, M. P., & Thorp, S. (2016). Chapter 11 - Complex Decision Making : The Roles of Cognitive Limitations, Cognitive Decline, and Aging. Dans J. Piggott & A. Woodland (Éds.), *Handbook of the Economics of Population Aging* (Vol. 1, p. 661-709). North-Holland. <https://doi.org/10.1016/bs.hespa.2016.09.001>
- Kebede, G. (2010). Knowledge management : An information science perspective. *International Journal of Information Management*, 30(5), 416-424. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2010.02.004>
- Keeney, R. L. (1992). *Value-focused thinking : A path to creative decisionmaking*. Harvard Univ. Press.
- Keeney, R. L. (2004). Making Better Decision Makers. *Decision Analysis*, 1(4), 193-204. <https://doi.org/10/c49fsd>
- Kelley, K. W., Feldman, S. S., & Gravely, S. D. (2016). Engaging and Sustaining Stakeholders. Dans *Health Information Exchange* (p. 59-76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803135-3.00004-9>
- Kennedy, A. B. W., & Sankey, H. R. (1898). THE THERMAL EFFICIENCY OF STEAM ENGINES. REPORT OF THE COMMITTEE APPOINTED TO THE COUNCIL UPON THE SUBJECT OF THE DEFINITION OF A STANDARD OR STANDARDS OF THERMAL EFFICIENCY FOR STEAM ENGINES : WITH AN INTRODUCTORY NOTE. (INCLUDING APPENDIXES AND PLATE AT BACK OF VOLUME). *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 134(1898), 278-312. <https://doi.org/10/fq3d9r>
- Kenny, E. M., & Keane, M. T. (2019). Twin-Systems to Explain Artificial Neural Networks using Case-Based Reasoning : Comparative Tests of Feature-Weighting Methods in ANN-CBR Twins for XAI. *Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2708-2715. <https://doi.org/10/ghx6x5>
- Kenny, E. M., Ruelle, E., Geoghegan, A., Shalloo, L., O'Leary, M., O'Donovan, M., & Keane, M. T. (2019). Predicting Grass Growth for Sustainable Dairy Farming : A CBR System Using Bayesian Case-Exclusion and Post-Hoc, Personalized Explanation-by-Example (XAI). Dans K. Bach & C. Marling (Éds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (Vol. 11680, p. 172-187). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29249-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29249-2_12)
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., & Linkov, I. (2005). Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2), 95. <https://doi.org/10/fv6jgn>
- Klein, C. (2008). *Decision Analysis*. Dans *Operations Research Methodologies* (Vol. 1-0, p. 135-165). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420091830.ch6>
- Klein, G. (2007). *The Power of Intuition : How to Use Your Gut Feelings to Make Better Decisions at Work*. Crown.
- Köksalan, M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2016). An Early History of Multiple Criteria Decision Making. Dans S. Greco, M. Ehrgott, & J. R. Figueira (Éds.), *Multiple Criteria Decision Analysis* (Vol. 233, p. 3-17). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_1)
- Koliba, C., Gerrits, L., Rhodes, M. L., & Meek, J. W. (2022). Complexity theory and systems analysis. *Handbook on Theories of Governance*, 389-406.
- Krabuanrat, K., & Phelps, R. (1998). Heuristics and rationality in strategic decision making : An exploratory study. *Journal of Business Research*, 41(1), 83-93. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(97\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(97)00014-3)
- Kummu, M., de Moel, H., Ward, P. J., & Varis, O. (2011). How Close Do We Live to Water? A Global Analysis of Population Distance to Freshwater Bodies. *PLoS ONE*, 6(6), e20578. <https://doi.org/10/ccqkxw>
- Kuzdas, C., Wiek, A., Warner, B., Vignola, R., & Morataya, R. (2015). Integrated and Participatory Analysis of Water Governance Regimes : The Case of the Costa Rican Dry Tropics. *World Development*, 66, 254-268. <https://doi.org/10/ggf9qn>

- Lalika, M. C. S., Meire, P., & Ngaga, Y. M. (2015). Exploring watershed conservation and water governance along Pangani River Basin, Tanzania. *Land Use Policy*, 48, 351-361. <https://doi.org/10/f7ttx5>
- Lamontagne, L., & Lapalme, G. (2002). Raisonement à base de cas textuels Etat de l'art et perspectives. *Revue d'intelligence artificielle*, 16(3), 339-366. <https://doi.org/10/dqphrx>
- Lamy, J.-B., Sekar, B., Guezenec, G., Bouaud, J., & Séroussi, B. (2019). Explainable artificial intelligence for breast cancer : A visual case-based reasoning approach. *Artificial Intelligence in Medicine*, 94, 42-53. <https://doi.org/10/ghss5b>
- Landry, M. (1988). Les problèmes organisationnels complexes et le défi de leur formulation\*. *Canadian Journal of Administrative Sciences / Revue Canadienne Des Sciences de l'Administration*, 5(3), 34-48. <https://doi.org/10.1111/j.1936-4490.1988.tb00483.x>
- Landry, M. (2000). REPÈRES POUR LA FORMULATION DES PROBLÈMES ORGANISATIONNELS COMPLEXES (N° 2000-006; p. 26). Faculté des sciences de l'administration / U.LAVAL.
- Langley, A., Mintzberg, H., Pitcher, P., Posada, E., & Saint-Macary, J. (1995). Opening up Decision Making : The View from the Black Stool. *Organization Science*, 6(3), 260-279.
- Lavoie, R. (2013). Stratégies pour faciliter l'intégration de l'eau souterraine dans la prise de décision en aménagement du territoire [PhD Thesis]. Université Laval.
- Lea, S. E. G. (2001). Decision and Choice : Economic Psychology. Dans N. J. Smelser & P. B. Baltes (Éds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 3284-3286). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00628-8>
- Leake, D. B. (Éd.). (1996). *Case-based reasoning : Experiences, lessons & future directions*. AAAI Press ; MIT Press.
- Leake, D. B. (2001). Problem Solving and Reasoning : Case-based. Dans N. J. Smelser & P. B. Baltes (Éds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 12117-12120). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00545-3>
- Lhébel-Péron, A., Sidawy, P., Dounias, E., & Schatz, B. (2016). Attuning local and scientific knowledge in the context of global change : The case of heather honey production in southern France. *Journal of Rural Studies*, 44, 132-142. <https://doi.org/10/ggf9qg>
- Lepage, Y., Lieber, J., Mornard, I., Nauer, E., Romary, J., & Sies, R. (2020). The French Correction : When Retrieval Is Harder to Specify than Adaptation. Dans I. Watson & R. Weber (Éds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (Vol. 12311, p. 309-324). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58342-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58342-2_20)
- Levin, K., Cashore, B., Bernstein, S., & Auld, G. (2012). Overcoming the tragedy of super wicked problems : Constraining our future selves to ameliorate global climate change. *Policy Sciences*, 45(2), 123-152. <https://doi.org/10.1007/s11077-012-9151-0>
- Li, S.-T., & Ho, H.-F. (2009). Predicting financial activity with evolutionary fuzzy case-based reasoning. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 411-422. <https://doi.org/10/bk97f8>
- Li, W., & Puppim de Oliveira, J. A. (2021). Environmental governance for sustainable development in Asia. *Journal of Environmental Management*, 290, 112622. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112622>
- Liebowitz, J., & Megbolugbe, I. (2003). A set of frameworks to aid the project manager in conceptualizing and implementing knowledge management initiatives. *International Journal of Project Management*, 21(3), 189-198. <https://doi.org/10/dp847k>
- Lillo, A., & Nadeau, R. (2020). La conception du territoire par la gouvernance environnementale et le droit constitutionnel : Un examen de leur compatibilité à travers l'exemple du bassin versant. *Les Cahiers de droit*, 61(1), 141-192. <https://doi.org/10.7202/1068784ar>

- Linden, I., Liu, S., Dargam, F., & Hernández, J. (Éds.). (2015). *Decision Support Systems IV - Information and Knowledge Management in Decision Processes : Euro Working Group Conferences, EWG-DSS 2014, Toulouse, France, June 10-13, 2014, and Barcelona, Spain, July 13-18, 2014, Revised Selected and Extended Papers*. Springer International Publishing. [//www.springer.com/gp/book/9783319215358](http://www.springer.com/gp/book/9783319215358)
- Linkov, I., & Moberg, E. (2011). *Multi-Criteria Decision Analysis : Environmental Applications and Case Studies* (0 éd.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11471>
- Linton, J. (2010). *What is Water? : The History of a Modern Abstraction*. UBC Press.
- Liu, S. (2020). *Knowledge Management : An Interdisciplinary Approach for Business Decisions*. Kogan Page Publishers.
- Liu, S., Smith, M. H., Tuck, S., Pan, J., Alkurajji, A., & Jayawickrama, U. (2015). Where can Knowledge-Based Decision Support Systems Go in Contemporary Business Management—A New Architecture for the Future. *Journal of Economics, Business and Management*, 3(5), 498-504. <https://doi.org/10/gdshd4>
- Livari, J., & Venable, J. (2009). Action research and design science research—Seemingly similar but decisively dissimilar. *ECIS 2009 Proceedings*, 13. <https://aisel.aisnet.org/ecis2009/73>
- Loiselle, V. (2009). À qui appartient l'or bleu? : La problématique du droit à la propriété de l'eau au Québec et dans le monde. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/20574>
- Lönngren, J., & van Poeck, K. (2021). Wicked problems : A mapping review of the literature. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 28(6), 481-502. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1859415>
- López, B. (2013). Case-Based Reasoning : A Concise Introduction. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 7(1), 1-103. <https://doi.org/10/ggcd2b>
- Lora Ariza, D. S., Sánchez-Ruiz, A. A., & González-Calero, P. A. (2017). Time Series and Case-Based Reasoning for an Intelligent Tetris Game. Dans D. W. Aha & J. Lieber (Éds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (Vol. 10339, p. 185-199). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6_13)
- Lynch, T. D. (2020). *Organization Theory and Management*. Routledge.
- Mackenzie, A., Pidd, M., Rooksby, J., Sommerville, I., Warren, I., & Westcombe, M. (2006). Wisdom, decision support and paradigms of decision making. *European Journal of Operational Research*, 170(1), 156-171. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.041>
- Maguire, S., Mckelvey, B., Mirabeau, L., & Oztas, N. (2006). Complexity science and organization studies. Dans S. R. Clegg, C. Hardy, T. B. Lawrence, & W. R. Nord (Éds.), *The Sage Handbook of Organization Studies* (Sage, p. 165-214).
- Manson, S. M. (2001). Simplifying complexity : A review of complexity theory. *Geoforum*, 32(3), 405-414. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(00\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(00)00035-X)
- Margat, J., & Van der Gun, J. (2013). *Groundwater around the World : A Geographic Synopsis*. CRC Press.
- Markkula, I., Turunen, M. T., & Kantola, S. (2019). Traditional and local knowledge in land use planning : Insights into the use of the Akwé: Kon Guidelines in Eanodat, Finnish Sápmi. *Ecology and Society*, 24(1). <https://doi.org/10/ggt7bf>
- Martínez-Sastre, R., Ravera, F., González, J. A., López Santiago, C., Bidegain, I., & Munda, G. (2017). Mediterranean landscapes under change : Combining social multicriteria evaluation and the ecosystem services framework for land use planning. *Land Use Policy*, 67, 472-486. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.001>
- Matthies, M., Giupponi, C., & Ostendorf, B. (2007). Environmental decision support systems : Current issues, methods and tools. *Environmental Modelling & Software*, 22(2), 123-127. <https://doi.org/10/dmpv8q>

- McGregor, D. (2012). Traditional Knowledge : Considerations for Protecting Water in Ontario. *International Indigenous Policy Journal*, 3(3). <https://doi.org/10/ggt696>
- McIntosh, B. S., Ascough, J. C., Twery, M., Chew, J., Elmahdi, A., Haase, D., Harou, J. J., Hepting, D., Cuddy, S., Jakeman, A. J., Chen, S., Kassahun, A., Lautenbach, S., Matthews, K., Merritt, W., Quinn, N. W. T., Rodriguez-Roda, I., Sieber, S., Stavenga, M., ... Voinov, A. (2011). Environmental decision support systems (EDSS) development – Challenges and best practices. *Environmental Modelling & Software*, 26(12), 1389-1402. <https://doi.org/10/dmt2v9>
- McKenna, R. J., & Martin-Smith, B. (2005). Decision making as a simplification process : New conceptual perspectives. *Management Decision*, 43(6), 821-836. <https://doi.org/10/fv9kmv>
- Medema, W., Adamowski, J., Orr, C., Furber, A., Wals, A., & Milot, N. (2017). Building a Foundation for Knowledge Co-Creation in Collaborative Water Governance : Dimensions of Stakeholder Networks Facilitated through Bridging Organizations. *Water*, 9(1), 60. <https://doi.org/10/ggq989>
- Medema, W., Adamowski, J., Orr, C. J., Wals, A., & Milot, N. (2015). Towards sustainable water governance : Examining water governance issues in Québec through the lens of multi-loop social learning. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 40(4), 373-391. <https://doi.org/10/ggq982>
- Meinard, Y., & Tsoukiàs, A. (2019). On the rationality of decision aiding processes. *European Journal of Operational Research*, 273(3), 1074-1084. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.09.009>
- Meinard, Y., & Tsoukiàs, A. (2022). What is Legitimate Decision Support? ArXiv:2201.12071 [Cs]. <http://arxiv.org/abs/2201.12071>
- Mellers, B. A. (2001). Decision Research : Behavioral. Dans N. J. Smelser & P. B. Baltes (Éds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 3318-3323). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00626-4>
- Mendoza, M., & Gutiérrez-Peña, E. (2010). Decision Theory. Dans P. Peterson, E. Baker, & B. McGaw (Éds.), *International Encyclopedia of Education (Third Edition)* (p. 119-124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.01319-1>
- Mercer, J. (2005). Rationality and Psychology in International Politics. *International Organization*, 59(1), 77-106.
- Michalak, A. M., Anderson, E. J., Beletsky, D., Boland, S., Bosch, N. S., Bridgeman, T. B., Chaffin, J. D., Cho, K., Confesor, R., Daloğlu, I., DePinto, J. V., Evans, M. A., Fahnenstiel, G. L., He, L., Ho, J. C., Jenkins, L., Johengen, T. H., Kuo, K. C., LaPorte, E., ... Zagorski, M. A. (2013). Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(16), 6448-6452. <https://doi.org/10.1073/pnas.1216006110>
- Mingers, J. (2006). *Realising systems thinking : Knowledge and action in management science*. Springer.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2014). *Survol des exigences du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP)*. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/reglement-prelevement-protection/survol-rpep.html>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2018). *Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030*. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/3480779>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. (2020). *Les espèces envahissantes au Québec*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/>

- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. (2012). Stratégie de protection et de conservation des sources destinées à l'alimentation en eau potable document de consultation publique. Développement durable, environnement et parcs Québec. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2220871>
- Mintzberg, H., Raisinghani, D., & Théorêt, A. (1976). The Structure of « Unstructured » Decision Processes. *Administrative Science Quarterly*, 21(2), 246-275. <https://doi.org/10/b2t8ks>
- Mintzberg, H., & Westley, F. (2001). Decision making : It's not what you think. *MIT Sloan Management Review*, 42, 89-93.
- Miranda, M., Sánchez-Ruiz, A. A., & Peinado, F. (2018). A CBR Approach for Imitating Human Playing Style in Ms. Pac-Man Video Game. Dans M. T. Cox, P. Funk, & S. Begum (Éds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (Vol. 11156, p. 292-308). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01081-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01081-2_20)
- Miranda, D., & Ostoich, M. (2018). Assessment of Pressure Sources and Water Body Resilience : An Integrated Approach for Action Planning in a Polluted River Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2). <https://doi.org/10/gc8mpd>
- Moltz, H. L. N., Wallace, C. W., Sharifi, E., & Bencala, K. (2020). Integrating Sustainable Water Resource Management and Land Use Decision-Making. *Water*, 12(8), 2282. <https://doi.org/10.3390/w12082282>
- Montanari, A., Young, G., Savenije, H. H. G., Hughes, D., Wagener, T., Ren, L. L., Koutsoyiannis, D., Cudennec, C., Toth, E., Grimaldi, S., Blöschl, G., Sivapalan, M., Beven, K., Gupta, H., Hipsey, M., Schaeffli, B., Arheimer, B., Boegh, E., Schymanski, S. J., ... Belyaev, V. (2013). "Panta Rhei— Everything Flows" : Change in hydrology and society—The IAHS Scientific Decade 2013–2022. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1256-1275. <https://doi.org/10/f24cg8>
- Mora, M., Forgionne, G., Gupta, J., Cervantes, F., & Gelman, O. (2003). A Framework to Assess Intelligent Decision-Making Support Systems. Dans V. Palade, R. J. Howlett, & L. Jain (Éds.), *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems* (p. 59-65). Springer. <https://doi.org/10/ffpjk3>
- Morais, D. C., Fang, L., & Horita, M. (Éds.). (2020). *Group Decision and Negotiation : A Multidisciplinary Perspective: 20th International Conference on Group Decision and Negotiation, GDN 2020, Toronto, ON, Canada, June 7–11, 2020, Proceedings* (Vol. 388). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-48641-9>
- Moroni, S. (2016). Urban density after Jane Jacobs : The crucial role of diversity and emergence. *City, Territory and Architecture*, 3(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40410-016-0041-1>
- Motard, G. (2021). Regards croisés entre le droit innu et le droit québécois : Territorialités en conflit. *McGill Law Journal*, 65(3), 421-465. <https://doi.org/10.7202/1075598ar>
- Mounce, S. R., Mounce, R. B., & Boxall, J. B. (2016). Case-based reasoning to support decision making for managing drinking water quality events in distribution systems. *Urban Water Journal*, 13(7), 727-738. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1036082>
- Mungiu-Pippidi, A. (2015). Corruption : Political and Public Aspects. Dans *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 12-20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.75005-7>
- Muñoz-Erickson, T. A., Campbell, L. K., Childers, D. L., Grove, J. M., Iwaniec, D. M., Pickett, S. T. A., Romolini, M., & Svendsen, E. S. (2016). Demystifying governance and its role for transitions in urban social–ecological systems. *Ecosphere*, 7(11). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1564>
- Murphy, G. (1929). *An historical introduction to modern psychology*. Harcourt, Brace. <https://doi.org/10.1037/10600-000>

- Murthy, S. L. (2013). The Human Right(s) to Water and Sanitation : History, Meaning, and the Controversy Over-Privatization. *Berkeley Journal of International Law (BJIL)*, 31(1), 62.
- Nardi, P. M. (2018). *Doing Survey Research : A Guide to Quantitative Methods*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315172231>
- Nason, R. (2017). *It's Not Complicated : The Art and Science of Complexity in Business*. University of Toronto Press.
- Nature Conservancy Canada. (2020). Invasive species gallery. <https://www.natureconservancy.ca/en/what-we-do/resource-centre/invasive-species/.../index.html>
- Negi, S., Batoye, S., Singh, K., & Waraich, J. S. (2021). Environmental Pollution, Its Causes and Impact on Ecosystem. Dans R. Kumar, R. Kumar, & G. Kaur (Éds.), *New Frontiers of Nanomaterials in Environmental Science* (p. 1-22). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9239-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9239-3_1)
- Noe, R., Keeler, B., & Mayer, T. (2021). *Source Water Protection Challenges and Co-benefits [Report]*. <http://conservancy.umn.edu/handle/11299/227195>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company : How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.
- Nunavut Planning Commission. (2012). *Developing the Draft Nunavut Land Use Plan* (p. 14). Nunavut Planning Commission. [https://www.nunavut.ca/sites/default/files/2012-10-22\\_developing\\_the\\_draft\\_nunavut\\_land\\_use\\_plan.pdf](https://www.nunavut.ca/sites/default/files/2012-10-22_developing_the_draft_nunavut_land_use_plan.pdf)
- O'Connor, D. R. (2002). *Report of the Walkerton Inquiry*. Ontario Ministry of the Attorney General.
- Oprea, M. (2018). A knowledge modelling framework for intelligent environmental decision support systems and its application to some environmental problems. *Environmental Modelling & Software*, 110, 72-94. <https://doi.org/10/gfpdns>
- Orman, L. (2015). Information Paradox : Drowning in Information, Starving for Knowledge [Commentary]. *IEEE Technology and Society Magazine*, 34(4), 63-73. <https://doi.org/10.1109/MTS.2015.2494359>
- Orr, C. J., Adamowski, J. F., Medema, W., & Milot, N. (2016). A multi-level perspective on the legitimacy of collaborative water governance in Québec. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 41(3), 353-371. <https://doi.org/10/ggq988>
- Pahl-Wostl, C. (2015). *Water Governance in the Face of Global Change*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21855-7>
- Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., & Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes : The Management and Transition Framework. Special issue: Water governance in times of change, 13(7), 571-581. <https://doi.org/10/dxh49g>
- Pahl-Wostl, C., Knieper, C., Lukat, E., Meergans, F., Schoderer, M., Schütze, N., Schweigatz, D., Dombrowsky, I., Lenschow, A., Stein, U., Thiel, A., Tröltzsch, J., & Vidaurre, R. (2020). Enhancing the capacity of water governance to deal with complex management challenges : A framework of analysis. *Environmental Science & Policy*, 107, 23-35. <https://doi.org/10/ghs6g6>
- Pahl-Wostl, C., Lebel, L., Knieper, C., & Nikitina, E. (2012). From applying panaceas to mastering complexity : Toward adaptive water governance in river basins. *Environmental Science & Policy*, 23, 24-34. <https://doi.org/10/f4cq5>
- Pailé, P., & Mucchielli, A. (2019). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Armand Colin.
- Patrick, R. J. (2009). Source water protection in a landscape of 'New Era' deregulation : SWP in a landscape of 'New Era' deregulation. *The Canadian Geographer / Le Géographe Canadien*, 53(2), 208-221. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2009.00254.x>

- Pederneiras, Y. M., Meckenstock, J., Carvalho, A. I. C., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2022). The wicked problem of sustainable development in supply chains. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 46-58. <https://doi.org/10.1002/bse.2873>
- Peffer, K., Rothenberger, M., & Kuechler, B. (Éds.). (2012). *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice (Vol. 7286)*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29863-9>
- Peffer, K., Tuunanen, T., & Niehaves, B. (2018). Design science research genres : Introduction to the special issue on exemplars and criteria for applicable design science research. *European Journal of Information Systems*, 27(2), 129-139. <https://doi.org/10/ghm8cj>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45-77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Petracca, E. (2017). A cognition paradigm clash : Simon, situated cognition and the interpretation of bounded rationality. *Journal of Economic Methodology*, 24(1), 20-40. <https://doi.org/10.1080/1350178X.2017.1279742>
- Phillips-Wren, G., & Adya, M. (2020). Decision making under stress : The role of information overload, time pressure, complexity, and uncertainty. *Journal of Decision Systems*, 29(sup1), 213-225. <https://doi.org/10.1080/12460125.2020.1768680>
- Phillips-Wren, G., Mora, M., Forgionne, G. A., & Gupta, J. N. D. (2009). An integrative evaluation framework for intelligent decision support systems. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 642-652. <https://doi.org/10/ccq54w>
- Pomerol, J.-C. (2006). La décision humaine : Reconnaissance plus Raisonnement. Dans *Concepts et Méthodes pour l'aide à la décision (Vol. 1, p. 173-214)*. Hermès. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01351312>
- Pomerol, J.-C., & Adam, F. (2004). *Practical Decision Making—From the Legacy of Herbert Simon to Decision Support Systems*.
- Porta, M., & Last, J. M. (2018). *A Dictionary of Public Health (Vol. 1)*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acref/9780191844386.001.0001>
- Power, D. J., Sharda, R., & Burstein, F. (2015). Decision Support Systems. Dans C. L. Cooper (Éd.), *Wiley Encyclopedia of Management (p. 1-4)*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom070211>
- Prawat, R. S., & Floden, R. E. (1994). Philosophical perspectives on constructivist views of learning. *Educational Psychologist*, 29(1), 37-48. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep2901\\_4](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2901_4)
- Pretorius, C. (2017). Exploring Procedural Decision Support Systems for Wicked Problem Resolution. *South African Computer Journal*, 29(1). <https://doi.org/10.18489/sacj.v29i1.448>
- Proctor, T. (2018). *Creative Problem Solving for Managers : Developing Skills for Decision Making and Innovation*. Routledge.
- Pryshlakivsky, J., & Searcy, C. (2013). Sustainable Development as a Wicked Problem. Dans S. F. Kovacic & A. Sousa-Poza (Éds.), *Managing and Engineering in Complex Situations (Vol. 21, p. 109-128)*. Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5515-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5515-4_6)
- Quentin Grafton, R. (2017). Responding to the 'Wicked Problem' of Water Insecurity. *Water Resources Management*, 31(10), 3023-3041. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1606-9>
- Rainer, R. K., Kelly, R. R., & Prince, B. (2022). *Introduction to Information Systems (9th éd.)*. John Wiley & Sons.

- Rainer, R. K., & Prince, B. (2021). *Introduction to Information Systems*. John Wiley & Sons.
- Reichle, M., Bach, K., & Althoff, K.-D. (2009). The SEASALT Architecture and Its Realization within the docQuery Project. Dans B. Mertsching, M. Hund, & Z. Aziz (Éds.), *KI 2009 : Advances in Artificial Intelligence* (Vol. 5803, p. 556-563). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04617-9\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04617-9_70)
- Reid, T. (1788). *Essays on the Active Powers of Man*. John Bell, and G.G.J. & J. Robinson.
- Renn, J. (2020). *The Evolution of Knowledge : Rethinking Science for the Anthropocene*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9780691185675>
- Reuss, P., Althoff, K.-D., Hundt, A., Henkel, W., & Pfeiffer, M. (2015). Multi-Agent Case-Based Diagnosis in the Aircraft Domain. 10.
- Reuss, P., Witzke, C., & Althoff, K.-D. (2017). Dependency Modeling for Knowledge Maintenance in Distributed CBR Systems. Dans D. W. Aha & J. Lieber (Éds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (Vol. 10339, p. 302-314). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6_21)
- Rifkin, J. (2013). *The third industrial revolution : How lateral power is transforming energy, the economy, and the world* (1st Palgrav Macmillan paperback ed). Palgrave Macmillan.
- Ritchev, T. (2013). Modelling Social Messes with Morphological Analysis. 2(1), 8.
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169.
- Rizzoli, A. E., & Young, W. J. (1997). Delivering environmental decision support systems : Software tools and techniques. *Environmental Modelling & Software*, 12(2-3), 237-249. <https://doi.org/10/cxnk6f>
- ROBVQ. (2021). OBV du Québec. <https://robvq.qc.ca/obv-du-quebec/>
- Roth-Berghofer, T. R. (2003). *Knowledge Maintenance of Case-based Reasoning Systems : The SIAM Methodology*. IOS Press.
- Rowley, J. (2007). The wisdom hierarchy : Representations of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, 33(2), 163-180. <https://doi.org/10.1177/0165551506070706>
- Roy, B. (1983). *La Décision : Ses disciplines, ses acteurs*. Presses universitaires de Lyon.
- Roy, B. (1993). Decision science or decision-aid science? *European Journal of Operational Research*, 66(2), 184-203. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90312-B](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90312-B)
- Roy, B. (1996). Decision Problems and Processes. Dans B. Roy (Éd.), *Multicriteria Methodology for Decision Aiding* (p. 3-6). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1_1)
- Roy, B., & Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas*. London School of Economics and Political Science. <https://basepub.dauphine.fr/handle/123456789/4522>
- Ruikar, K., Anumba, C. J., & Egbu, C. (2007). Integrated use of technologies and techniques for construction knowledge management. *Knowledge Management Research & Practice*, 5(4), 297-311. <https://doi.org/10/fwgh5g>
- Rysiew, P. (2008). Rationality Disputes—Psychology and Epistemology. *Philosophy Compass*, 3(6), 1153-1176. <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2008.00178.x>
- Santé Canada. (2004a, août 3). Eau potable [Page de navigation]. Santé Canada. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/qualite-eau/eau-potable.html>
- Santé Canada. (2004b, août 3). Eau potable [Page de navigation]. Santé Canada. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/qualite-eau/eau-potable.html>

- Santé Canada. (2019). Qualité de l'eau potable au Canada. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/qualite-eau/eau-potable.html>
- Sauter, V. L. (2010). *Decision support systems for business intelligence* (2nd ed). Wiley.
- Schack, B. (2019). Case-Base Maintenance Beyond Case Deletion. Dans A. A. Sánchez-Ruiz & M. W. Floyd (Éds.), *ICCBR 2019 Doctoral Consortium* (p. 5).
- Schaefer, M., Heinze, H.-J., Rotte, M., & Denke, C. (2013). Communicative versus Strategic Rationality : Habermas Theory of Communicative Action and the Social Brain. *PLoS ONE*, 8(5), e65111. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065111>
- Scharfman, J. (2015). Trends and Future Developments. Dans *Hedge Fund Governance* (p. 345-356). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801412-7.00012-9>
- Schoenborn, J. M., Weber, R., Aha, D., Cassens, J., & Althoff, K.-D. (2021). Explainable Case-Based Reasoning : A Survey. 10.
- Schoormann, T., Stadtländer, M., & Knackstedt, R. (2021). Designing business model development tools for sustainability—A design science study. *Electronic Markets*. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00466-3>
- Schumaker, R. P. (2011). From Data to Wisdom : The Progression of Computational Learning in Text Mining. 11(1), 11.
- Schuppert, G. F. (2015). Governance. Dans *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 292-300). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.75020-3>
- Sen, A. (1977). Social Choice Theory : A Re-Examination. *Econometrica*, 45(1), 53-89. <https://doi.org/10.2307/1913287>
- Serrat-Capdevila, A., Valdés, J. B., Gupta, H. V., & Schneier-Madanes, G. (2014). Water Governance Tools : The Role of Science and Decision Support Systems in Participatory Management. Dans G. Schneier-Madanes (Éd.), *Globalized Water* (p. 241-259). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7323-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7323-3_17)
- Sharma, M., & Sharma, C. (2020). A Review on Diverse Applications of Case-Based Reasoning. Dans H. Sharma, K. Govindan, R. C. Poonia, S. Kumar, & W. M. El-Medany (Éds.), *Advances in Computing and Intelligent Systems* (p. 511-517). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0222-4\\_48](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0222-4_48)
- Sharma, P. J., Patel, P. L., & Jothiprakash, V. (2019). Impact of rainfall variability and anthropogenic activities on streamflow changes and water stress conditions across Tapi Basin in India. *Science of The Total Environment*, 687, 885-897. <https://doi.org/10/gf33zv>
- Shokouhi, S. V., Skalle, P., & Aamodt, A. (2014). An overview of case-based reasoning applications in drilling engineering. *Artificial Intelligence Review*, 41(3), 317-329. <https://doi.org/10.1007/s10462-011-9310-2>
- Simon, D., & Schiemer, F. (2015). Crossing boundaries : Complex systems, transdisciplinarity and applied impact agendas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 12, 6-11. <https://doi.org/10/f6zqkg>
- Simon, H. A. (1960). *The new science of management decision*. Harper & Brothers. <https://doi.org/10.1037/13978-000>
- Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467-482.
- Simon, H. A. (1977). *The new science of management decision* (rev. ed). Prentice-Hall.
- Simon, H. A. (1986). Rationality in Psychology and Economics. *The Journal of Business*, 59(4), S209-S224.
- Simon, H. A. (1990). Bounded Rationality. Dans J. Eatwell, M. Milgate, & P. Newman (Éds.), *Utility and Probability* (p. 15-18). Palgrave Macmillan UK. [https://doi.org/10.1007/978-1-349-20568-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-349-20568-4_5)
- Simon, H. A. (1991). Bounded Rationality and Organizational Learning. *Organization Science*, 2(1), 125-134. <https://doi.org/10/cv7d6g>

- Simon, H. A. (1997). *Administrative behavior : A study of decision-making processes in administrative organizations* (4th ed). Free Press.
- Simon, H. A. (2001). Rationality in Society. Dans *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 12782-12786). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01953-7>
- Simon, H. A., Egidi, M., & Marris, R. (Éds.). (2008). *Economics, bounded rationality, and the cognitive revolution* (Paperback ed). Edward Elgar.
- Smyth, B., & Cunningham, P. (2017). Running with Cases : A CBR Approach to Running Your Best Marathon. Dans D. W. Aha & J. Lieber (Éds.), *Case-Based Reasoning Research and Development* (Vol. 10339, p. 360-374). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6_25)
- Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007). A Leader's Framework for Decision Making. *Harvard Business Review*, 10.
- Soler, L., & Zwart, S. D. (2013). Editorial Introduction : Collins and Tacit Knowledge. *Philosophia Scientiæ. Travaux d'histoire et de Philosophie Des Sciences*, 17-3, 5-23. <https://doi.org/10.4000/philosophiascientiae.880>
- Soltani, S. (2016). *laaS Cloud Service Selection using Case-Based Reasoning* [Thesis]. <https://qspace.library.queensu.ca/handle/1974/14022>
- Spaa, A., Spencer, N., Durrant, A., & Vines, J. (2022). Creative and collaborative reflective thinking to support policy deliberation and decision making. *Evidence & Policy*, 18(2), 376-390. <https://doi.org/10.1332/174426421X16474564583952>
- Sprague, R., & D. Carlson, E. (1982). *Building Effective Decision Support Systems*. oai2:lire.php:mfn=000509.
- Sprague, R. H. (1980). A Framework for the Development of Decisoin Support Systems. *MIS Q.*, 4(4), 1-26. <https://doi.org/10/dnc9gq>
- Stacey, R. D., & Mowles, C. (2015). *Strategic Management and Organisational Dynamics* (7th edition). Pearson.
- Stark, W. (1991). *The sociology of knowledge : Toward a deeper understanding of the history of ideas*. Transaction Publishers.
- Statistiques Canada. (2017). *Human Activity and the Environment : Freshwater in Canada* (16-201-X; p. 587). <https://www.jstor.org/stable/3549992?origin=crossref>
- Stoker, P., Albrecht, T., Follingstad, G., & Carlson, E. (2022). Integrating Land Use Planning and Water Management in U.S. Cities : A Literature Review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/1752-1688.13022>
- Swayne, D. A., Denzer, R., Lilburne, L., Purvis, M., Quinn, N. W. T., & Storey, A. (2000). Environmental Decision Support Systems : Exactly What Are They? Dans R. Denzer, D. A. Swayne, M. Purvis, & G. Schimak (Éds.), *Environmental Software Systems* (Vol. 39, p. 259-268). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-35503-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-0-387-35503-0_28)
- Sylvestre, É., & Dorner, S. (2017). Protection des sources d'eau potable de surface : Quel est le cadre juridique québécois en place ? *Vecteur environnement*, 4.
- Tengö, M., Brondizio, E. S., Elmqvist, T., Malmer, P., & Spierenburg, M. (2014). Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance : The Multiple Evidence Base Approach. *AMBIO*, 43(5), 579-591. <https://doi.org/10/f246z4>
- Termeer, C. J. A. M., Dewulf, A., & Biesbroek, R. (2019). A critical assessment of the wicked problem concept : Relevance and usefulness for policy science and practice. *Policy and Society*, 38(2), 167-179. <https://doi.org/10.1080/14494035.2019.1617971>

- Todd, P. M. (2001). Heuristics for Decision and Choice. Dans N. J. Smelser & P. B. Baltes (Éds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (p. 6676-6679). Pergamon.  
<https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00629-X>
- Torrent-Fontbona, F., Massana, J., & López, B. (2019). Case-base maintenance of a personalised and adaptive CBR bolus insulin recommender system for type 1 diabetes. *Expert Systems with Applications*, 121, 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.036>
- Tosey, P., Visser, M., & Saunders, M. N. (2012). The origins and conceptualizations of 'triple-loop' learning : A critical review. *Management Learning*, 43(3), 291-307. <https://doi.org/10.1177/1350507611426239>
- Tremblay, H., & Halley, P. (2008). Le droit de l'eau potable au Québec. *Les Cahiers de droit*, 49(3), 333-391.  
<https://doi.org/10/ggn6gm>
- Trudelle, J. (2014). La servitude de conservation et la protection durable des milieux naturels au Québec : Constats et recommandations [Master Thesis]. Université de Sherbrooke.
- Tsoukiàs, A. (2008). From decision theory to decision aiding methodology. *European Journal of Operational Research*, 187(1), 138-161. <https://doi.org/10/fgr2pg>
- Turban, E., Aronson, J. E., Liang, T.-P., & MacCarthy, R. V. (2005). *Decision support systems and intelligent systems*. Pearson/Prentice-Hall.
- Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2010). *Decision support and business intelligence systems* (9th ed). Prentice Hall.
- Uhl-Bien, M., & Marion, R. (2007). *Complexity Leadership : Part 1: Conceptual Foundations*. IAP.
- UN Water. (2018a). *Water and ecosystems (Water facts)*.
- UN Water. (2018b). *Water and urbanization (Water facts)*.
- UNECE. (2022). *Climate change threatens access to water and sanitation, warn UNECE & WHO/Europe, urging reinforced measures under Protocol to boost resilience [UNECE MEDIA]*.  
<https://unece.org/media/press/367685>
- US EPA. (2013). *Our Built and Natural Environments : A Technical Review of the Interactions between Land Use, Transportation, and Environmental Quality*, 2nd Ed. (EPA 231K13001; p. 148). Office of Sustainable Communities. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/our-built-and-naturalenvironments.pdf>
- US EPA. (2017). *Basic Information about Source Water Protection [Overviews and Factsheets]*.  
<https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/source-water- protection-basics>
- Van Selm, M., & Jankowski, N. W. (2006). Conducting Online Surveys. *Quality and Quantity*, 40(3), 435-456.  
<https://doi.org/10/ckdk9j>
- van Knippenberg, D., Dahlander, L., Haas, M. R., & George, G. (2015). Information, Attention, and Decision Making. *Academy of Management Journal*, 58(3), 649-657. <https://doi.org/10/gfw7kw>
- Veley, R. J. (1992). *Advantages and limitations of water-supply alternatives (USGS Numbered Series N° 92-119; Open-File Report)*. U.S. Geological Survey, Dept. of the Interior,  
<http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr92119>
- Venable, J., Pries-Heje, J., & Baskerville, R. (2016). FEDS : A Framework for Evaluation in Design Science Research. *European Journal of Information Systems*, 25(1), 77-89. <https://doi.org/10/f796x8>
- Verhagen, J., Butterworth, J., & Morris, M. (2008). Learning alliances for integrated and sustainable innovations in urban water management. *Waterlines*, 27(2), 116-124.
- Vescovi, L. (2010). *Gestion durable des ressources en eau au Québec : Les défis de l'intégration et les enjeux de recherche associés*. Conseil de la Science et de la technologie. <http://www.deslibris.ca/ID/226042>

- vom Brocke, J., Hevner, A., & Maedche, A. (2020). Introduction to Design Science Research. Dans J. vom Brocke, A. Hevner, & A. Maedche (Éds.), *Design Science Research. Cases* (p. 1-13). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-46781-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46781-4_1)
- Von Zedtwitz, M. (2002). Organizational learning through post-project reviews in R&D. *R&D Management*, 32(3), 255-268. <https://doi.org/10.1111/1467-9310.00258>
- Vrba, J., Aldwell, C. R., Alfoldi, L., Andersen, L. J., Hahn, J., Kaden, S., Miller, J. C., & van Waegeningh, H. G. (1991). *Integrated Land-Use Planning and Groundwater Protection in Rural Areas : A Comparative Study of Planning and Management Methodologies (IHP-III Project 10.6)*. UNESCO.
- Vygotskij, L. S. (1981). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (Nachdr.). Harvard Univ. Press. Cambridge, MA, USA.
- Walling, E., & Vaneekhaute, C. (2020). Developing successful environmental decision support systems : Challenges and best practices. *Journal of Environmental Management*, 264, 110513. <https://doi.org/10/gjkrkg>
- Wang, W. M., & Cheung, C. F. (2011). A narrative-based reasoning with applications in decision support for social service organizations. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3336-3345. <https://doi.org/10/bxr6n5>
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., Chambers, J., Coleman, S., Dalin, C., Daly, M., Dasandi, N., Dasgupta, S., Davies, M., Di Napoli, C., ... Costello, A. (2021). The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change : Responding to converging crises. *The Lancet*, 397(10269), 129-170. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32290-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X)
- Waylen, K., Blackstock, K., Tindale, S., & Juárez-Bourke, A. (2019). Governing Integration : Insights from Integrating Implementation of European Water Policies. *Water*, 11(3), 598. <https://doi.org/10.3390/w11030598>
- Weber, M. (2022). Types of Social Action. Dans *Theories of Social Order* (p. 23-25). Stanford University Press. <https://doi.org/10.1515/9781503627116-006>
- Weber, R. O., & Richter, M. M. (2013). *Case-based reasoning : A textbook* (1st edition). Springer.
- Weiss, J. A. (1982). Coping with Complexity : An Experimental Study of Public Policy Decision-Making. *Journal of Policy Analysis and Management*, 2(1), 66. <https://doi.org/10/dffv7>
- Wheeler, G. (2020). Bounded Rationality. Dans E. N. Zalta (Éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2020). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/bounded-rationality/>
- Wheeler, H. C., & Root-Bernstein, M. (2020). Informing decision-making with Indigenous and local knowledge and science. *Journal of Applied Ecology*, 57(9), 1634-1643. <https://doi.org/10/gg97kg>
- White, B. E. (2020). *Toward Solving Complex Human Problems : Techniques for Increasing Our Understanding of What Matters in Doing So*. CRC Press.
- Whittemore, A. H. (2015). Practitioners Theorize, Too : Reaffirming Planning Theory in a Survey of Practitioners' Theories. *Journal of Planning Education and Research*, 35(1), 76-85. <https://doi.org/10.1177/0739456X14563144>
- WHO. (2022). Drinking-water [International Organization]. WHO Fact Sheet on Water: Key Facts, Access to Water, Water and Health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Wiig, K. M. (1993). *Knowledge Management Foundations : Thinking about Thinking : how People and Organizations Create, Represent, and Use Knowledge*. Schema Press.

- Wiig, K. M. (2003). A knowledge model for situation-handling. *Journal of Knowledge Management*, 7(5), 6-24. <https://doi.org/10/cpgb6h>
- Williams, B., & Hof, S. van 't. (2016). *Wicked Solutions : A Systems Approach to Complex Problems*. Lulu.com.
- Witte, E. (1972). Field Research on Complex Decision-Making Processes – The Phase Theorem. *International Studies of Management & Organization*, 2(2), 156-182. <https://doi.org/10/ggstst>
- Witzel, M. (2015). Water in Mythology. *Daedalus*, 144(3), 18-26. [https://doi.org/10.1162/DAED\\_a\\_00338](https://doi.org/10.1162/DAED_a_00338)
- Woolf, N. H., & Silver, C. (2017). *Qualitative analysis using NVivo : The five-level QDA method*. Routledge.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford ; New York : Oxford University Press. <http://archive.org/details/ourcommonfuture00worl>
- Wuijts, S., Claessens, J., Farrow, L., Doody, D. G., Klages, S., Christophoridis, C., Cvejić, R., Glavan, M., Nesheim, I., Platjouw, F., Wright, I., Rowbottom, J., Graversgaard, M., van den Brink, C., Leitão, I., Ferreira, A., & Boekhold, S. (2021). Protection of drinking water resources from agricultural pressures : Effectiveness of EU regulations in the context of local realities. *Journal of Environmental Management*, 287, 112270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112270>
- Yan, H., Wu, Y., & Ma, M. (2018). An Improved Case-Based Reasoning (CBR) System for Supporting Green Building Design. 279-285. <https://doi.org/10.1061/9780784481738.033>
- Zanchett, G., & Oliveira-Filho, E. C. (2013). Cyanobacteria and Cyanotoxins : From Impacts on Aquatic Ecosystems and Human Health to Anticarcinogenic Effects. *Toxins*, 5(10), 1896-1917. <https://doi.org/10.3390/toxins5101896>
- Zhang, D., Zhou, L., & Jr, J. F. N. (2002). A Knowledge Management Framework for the Support of Decision Making in Humanitarian Assistance/Disaster Relief. *Knowledge and Information Systems*, 4(3), 370-385. <https://doi.org/10/dc7tmg>
- Zhang, K., Zargar, A., Achari, G., Islam, M. S., & Sadiq, R. (2014). Application of decision support systems in water management. *Environmental Reviews*, 22(3), 189-205. <https://doi.org/10/f6hfnf>
- Zhang, S., Li, Y., Zhang, T., & Peng, Y. (2015). An integrated environmental decision support system for water pollution control based on TMDL – A case study in the Beiyun River watershed. *Journal of Environmental Management*, 156, 31-40. <https://doi.org/10/f7fbgf>

# Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (version SurveyMonkey)



## Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

Bonjour,

Mon nom est Jérôme Cerutti, candidat au doctorat en aménagement du territoire et développement régional à l'École Supérieure d'Aménagement du territoire et de Développement régional (ÉSAD) de l'Université Laval, sous la direction des professeurs Roxane Lavoie, Manuel Rodriguez et Irène Abi-Zeid.

## Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (SurveyMonkey)

### **RENSEIGNEMENTS SUR LE PROJET:**

Ce projet de recherche vise au développement d'un système d'aide à la décision lequel permettra de rassembler et de transférer les connaissances reliées à l'eau potable dans le but d'en protéger les sources. Les actions de protection des sources d'eau potable qui y seront référencées proviendront de l'expérience vécue par les intervenants au sein d'organisations œuvrant à faire face à la problématique complexe de l'eau potable au Québec.

En tant qu'intervenant dans la gestion/protection de l'eau potable au Québec, vous êtes cordialement invité à répondre à ce questionnaire en ligne qui vise à réaliser un portrait qui permettra de :

- mieux connaître le rôle des différentes organisations de la gestion/protection de l'eau potable au Québec (axé sur la protection de la source) ;
- identifier les connaissances utiles à la prise de décision, afin d'évaluer les besoins de connaissances des organisations et
- favoriser le partage des connaissances grâce à l'apport des expériences vécues par les différents intervenants au sein des organisations.

### **VOTRE PARTICIPATION:**

Votre participation à cette recherche consistera à remplir le présent questionnaire comprenant un maximum de 30 questions portant sur votre implication dans une/des organisations, vos tâches en tant que professionnel œuvrant à la protection des sources, votre opinion sur le processus de prise de décision et vos souvenirs en lien avec vos expériences professionnelles vécues sur des problématiques de mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable. Bien que les réponses à chacune des questions soient importantes pour la recherche, vous demeurez libre de choisir de ne pas répondre à l'une ou l'autre d'entre elles ou encore de mettre fin à votre participation à tout moment, sans avoir à vous justifier. Si vous décidez de mettre fin à votre participation, les données vous concernant seront détruites.

### **REMERCIEMENTS :**

Votre collaboration est précieuse pour nous permettre de réaliser cette étude. C'est pourquoi nous tenons à vous remercier pour le temps et l'attention que vous acceptez de consacrer à votre participation.

#### 1. Des informations supplémentaires ?

Je désire obtenir des informations supplémentaires sur des contacts et sur la confidentialité de cette recherche

### **ATTESTATION DU CONSENTEMENT:**

Cliquez sur le bouton « Suivant » en bas de page pour commencer à répondre au questionnaire. Cette action sera considérée comme l'expression implicite de votre consentement à participer au projet.



## Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

### **CONFIDENTIALITÉ**

Les chercheurs sont tenus d'assurer la confidentialité aux participants. A cet égard, voici les mesures qui seront appliquées dans le cadre de la présente recherche :

#### **Tout au long de la recherche:**

- Tout le matériel de la recherche sera conservé dans un classeur barré, dans un local sous clé;
- Les données en format numérique seront conservées dans des fichiers encryptés dont l'accès sera protégé par l'utilisation d'un mot de passe et auquel seul le chercheur aura accès.

#### **Durant la recherche:**

- Aucune information personnelle (nom, prénom, âge, poste occupé, etc.) ne vous sera demandée à moins que vous acceptiez de participer à des entretiens semi-dirigés. Si vous acceptez de participer à des entretiens semi-dirigés, votre nom et votre courriel seront demandés.

#### **Lors de la diffusion des résultats:**

- Les noms des organisations sera généralisé dans des catégories;
- Les résultats seront présentés sous forme globale de sorte que les résultats individuels des participants ne seront jamais communiqués et re-traçables;
- Les résultats de la recherche seront publiés dans des revues scientifiques, et aucun participant ne pourra y être identifié.

#### **Après la fin de cette partie de la recherche:**

- Le matériel et les données de la recherche seront détruits au plus tard deux ans après le dépôt final du projet, soit en 2024.

## Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (SurveyMonkey)

### **RENSEIGNEMENTS SUPPLÉMENTAIRES:**

Si vous avez des questions sur la recherche, sur les implications de votre participation, pour se retirer du projet ou pour recevoir un résumé des résultats, veuillez communiquer avec moi aux coordonnées suivantes :

Jérôme Cerutti  
École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional (ÉSAD)  
UNIVERSITÉ LAVAL  
Pavillon Félix-Antoine-Savard  
2325, rue des bibliothèques, local 1722  
G1V 0A6, Québec (Québec), CANADA  
Tel. (418) 656-2131, poste 4463  
Courriel : jerome.cerutti.1@ulaval.ca

### **PLAINTES OU CRITIQUES:**

Si vous avez des plaintes ou des critiques relatives à votre participation à cette recherche, vous pouvez vous adresser, en toute confidentialité, au bureau de l'Ombudsman de l'Université Laval aux coordonnées suivantes :

Pavillon Alphonse-Desjardins, bureau 3320  
2325, rue de l'Université  
Université Laval  
Québec (Québec) G1V 0A6  
Renseignements - Secrétariat : (418) 656-3081  
Ligne sans frais : 1-866-323-2271  
Courriel : info@ombudsman.ulaval.ca

**Cliquez sur SUIVANT pour débiter le questionnaire**



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

### **Notes importantes avant de commencer :**

- Si vous désirez revenir en arrière lors du questionnaire, veuillez utiliser le bouton "précédent" en bas de chaque page du questionnaire. Evitez d'utiliser le bouton "retour" de votre navigateur.

Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (SurveyMonkey)

\* 2. Êtes-vous actuellement impliqué(e) de près ou de loin dans une organisation en lien avec la gestion/protection des sources d'eau potable au Québec ?

(Gouvernement, Ville, MRC, CM, OBV, université, réseau, OBNL, entreprise privée, table de concertation, etc.)

- Oui  
 Non

\* 3. Avez-vous déjà reçu et complété ce questionnaire ?

- Oui  
 Non



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

\* 4. Dans quel cadre êtes-vous **principalement** impliqué(e) dans la gestion/protection des sources d'eau potable ?

- Dans le cadre d'un **emploi rémunéré** au sein de la **fonction publique, une organisation territoriale ou municipale**  Dans le cadre d'un **emploi non rémunéré** en tant que **bénévole** peu importe la structure
- Dans le cadre d'un **emploi rémunéré** dans **tout autre cas** ( par exemple au sein d'une organisation parapublique, ROBVQ/OBV, OBNL, secteur privé, académique, etc.)



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (SurveyMonkey)

\* 5. Vous avez répondu : "Dans le cadre d'un emploi rémunéré au sein de la fonction publique, une organisation territoriale ou municipale". Veuillez préciser :

- |  |   |
|--|---|
| <input type="radio"/> Ministère au bureau central à Québec | <input type="radio"/> Municipalité régionale de comté (MRC)                                     |
| <input type="radio"/> Ministère en direction régionale     | <input type="radio"/> Ville ayant pouvoirs de MRC (Ville-MRC)                                   |
| <input type="radio"/> Communauté métropolitaine (CM)       | <input type="radio"/> Municipalités, villes, paroisses, villages, cantons et cantons unis, etc. |



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 6. Veuillez préciser dans quel ministère :

\* 7. Veuillez préciser dans quelle direction régionale :

\* 8. Veuillez préciser dans quelle organisation :

\* 9. Veuillez indiquer (approximativement) le nombre d'habitants :



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 10. Vous avez répondu : "Dans le cadre d'un emploi rémunéré dans tout autre cas (par exemple au sein d'une organisation parapublique, ROBVQ/OBV, OBNL, secteur privé, académique, etc.)". Veuillez préciser au sein de quelle organisation :



**BASE DE CONNAISSANCES**  
Aménagement du territoire & Protection des sources

**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 11. Vous avez répondu : "Dans le cadre d'un emploi non rémunéré en tant que bénévole peu importe la structure". Veuillez préciser au sein de quelle organisation :



**BASE DE CONNAISSANCES**  
Aménagement du territoire & Protection des sources

**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 12. Outre votre implication principale, êtes-vous impliqué(e) dans d'autres organisations oeuvrant à la gestion/protection des sources d'eau potable ?

(institution, association, table de concertation, comité, réseaux, etc.)

Oui

Non



**BASE DE CONNAISSANCES**  
Aménagement du territoire & Protection des sources

**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

**Note importante :**

- Une organisation par bloc de texte, 10 maximum (si vous en avez plus, inscrivez les 10 plus importants selon vous)

\* 13. Préciser en inscrivant seulement le nom des autres organisations dans lesquelles vous êtes impliqué(e) :

1.	<input type="text"/>
2.	<input type="text"/>
3.	<input type="text"/>
4.	<input type="text"/>
5.	<input type="text"/>
6.	<input type="text"/>
7.	<input type="text"/>
8.	<input type="text"/>
9.	<input type="text"/>
10.	<input type="text"/>



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 14. Veuillez préciser si votre implication concerne :

- Des problématiques reliées à la gestion/protection des sources d'eau de surface       Les deux
- Des problématiques reliées à la gestion/protection des sources d'eau souterraine
- Autre (veuillez préciser)



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

15. Prenez-vous en considération le règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP) dans votre pratique de l'aménagement du territoire ?

Non concerné	Pas du tout	Rarement	Fréquemment	Toujours
<input type="radio"/>				



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

**Note importante :**

- Une tâche par bloc de texte, 10 maximum (si vous en avez plus, inscrivez les 10 plus importantes selon vous)

\* 16. Quelles sont les tâches que vous réalisez et qui concernent, selon vous, la gestion/protection des sources d'eau potable ?

1.	<input type="text"/>
2.	<input type="text"/>
3.	<input type="text"/>
4.	<input type="text"/>
5.	<input type="text"/>
6.	<input type="text"/>
7.	<input type="text"/>
8.	<input type="text"/>
9.	<input type="text"/>
10.	<input type="text"/>



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

**Information importante :**

Dans ce contexte, interactions ne désigne pas la source de financements, mais la collaboration, le suivi ou le contrôle dans les tâches d'un intervenant.

\* 17. Dans le cadre de vos tâches, êtes-vous en interaction avec d'autres organisations ?

*(Tout type de structure : OBNL, ministère, ville, entreprise privée, université, etc.)*

- Oui  
 Non



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

\* 18. Avec quelle(s) organisation(s) ?  
(Plusieurs réponses possibles)

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gouvernement fédéral  | <input type="checkbox"/> Organismes de bassin versant (OBV)                          |
| <input type="checkbox"/> Gouvernement provincial (ministères)                              | <input type="checkbox"/> Comités (Ex. comités de zones d'interventions prioritaires) |
| <input type="checkbox"/> Communautés métropolitaines (CM)                                  | <input type="checkbox"/> Réseaux (Ex. Réseau québécois sur les eaux souterraines)    |
| <input type="checkbox"/> Municipalités régionales de comté (MRC)                           | <input type="checkbox"/> Tout autre organisme à but non lucratif (OBNL)              |
| <input type="checkbox"/> Villes-MRC  | <input type="checkbox"/> Universités/Centres de recherches                           |
| <input type="checkbox"/> Municipalités   | <input type="checkbox"/> Secteur privé (Ex. Consultants, entreprises, etc.)          |
| <input type="checkbox"/> Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ) |  |
| <input type="checkbox"/> Autre (veuillez préciser)   |  |



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (SurveyMonkey)

\* 19. À quelle fréquence (approximativement) ?

	Continuellement (Quelques fois/semaine)	Souvent (Quelques fois/mois)	Rarement (Quelques fois/année)
Gouvernement fédéral	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gouvernement provincial (ministères)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Communautés métropolitaines (CM)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Municipalités régionales de comté (MRC)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Villes-MRC	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Municipalités	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Organismes de bassin versant (OBV)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comités (Ex. comités de zones d'interventions prioritaires)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Réseaux (Ex. Réseau québécois sur les eaux souterraines)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tout autre organisme à but non lucratif (OBNL)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Universités/Centres de recherches	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Secteur privé (Ex. Consultants, entreprises, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
[Insert text from Other]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

\* 20. Est-ce que votre organisation produit des connaissances (données, informations, savoir-faire, etc.) liées à la gestion/protection de l'eau potable ?

*(Celles-ci serviraient à la mise en oeuvre de la protection des sources telles que : des portraits de territoire, études de faisabilité, données informatiques, manuels et guides, etc.)*

- Oui  
 Non



**Enquête sur la mise en oeuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 21. En règle générale, quelles sont les connaissances liées à la gestion/protection de l'eau potable que votre organisation produit ?

*(Une information par bloc de texte, 10 au maximum)*

1.	<input type="text"/>
2.	<input type="text"/>
3.	<input type="text"/>
4.	<input type="text"/>
5.	<input type="text"/>
6.	<input type="text"/>
7.	<input type="text"/>
8.	<input type="text"/>
9.	<input type="text"/>
10.	<input type="text"/>



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

\* 22. Dans quelle mesure vous est-il facile de trouver des connaissances concernant la gestion/protection de l'eau potable utiles à vos tâches ?

*(Celles-ci serviraient à la mise en œuvre de la protection des sources telles que : des portraits de territoire, études de faisabilité, données informatiques, manuels et guides, etc.)*

Très difficile                      Difficile                      Facile                      Très facile



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

\* 23. En règle générale, quelles connaissances sont problématiques pour vous à obtenir ?

*(Portrait de territoire, étude de faisabilité, données informatiques, manuels et guides, etc.)*

Une information par bloc de texte, 10 maximum

1.	<input type="text"/>
2.	<input type="text"/>
3.	<input type="text"/>
4.	<input type="text"/>
5.	<input type="text"/>
6.	<input type="text"/>
7.	<input type="text"/>
8.	<input type="text"/>
9.	<input type="text"/>
10.	<input type="text"/>



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

24. Dans quelle mesure votre organisation est-elle impliquée dans l'identification ou la mise en œuvre d'actions de gestion/protection des sources d'eau potable Québec ?

*(ex. changement de zonage, législation, incitatifs financiers, sensibilisation, construction d'éco-quartiers, raccordements au réseau d'eaux usées, mandant de production de connaissances [rapports, manuels et guides], etc.)*

Pas du tout impliquée      Peu impliquée      Impliquée      Très impliquée

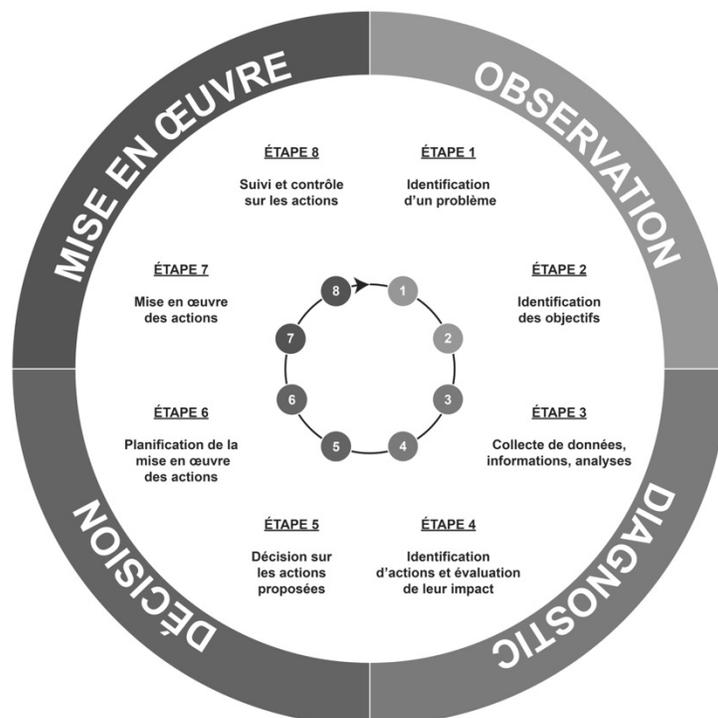
25. Dans quelle mesure votre organisation détient un pouvoir de prise de décision dans l'identification ou la mise en œuvre d'actions de gestion/protection des sources d'eau potable ?

Aucun pouvoir de prise de décision      Fort pouvoir de prise de décision

\_\_\_\_\_

Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (SurveyMonkey)

Voici un exemple des étapes d'un processus décisionnel permettant de résoudre un problème associé à la protection des sources.



\* 26. Lors de quelle(s) étape(s) estimez-vous que votre organisation est actuellement impliquée ?

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Étape 1 | <input type="checkbox"/> Étape 6              |
| <input type="checkbox"/> Étape 2 | <input type="checkbox"/> Étape 7              |
| <input type="checkbox"/> Étape 3 | <input type="checkbox"/> Étape 8              |
| <input type="checkbox"/> Étape 4 | <input type="checkbox"/> Ne sais pas          |
| <input type="checkbox"/> Étape 5 | <input type="checkbox"/> Aucune de ces étapes |

\* 27. Lors de quelle(s) étape(s) votre organisation devrait-elle être impliquée ?

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Étape 1 | <input type="checkbox"/> Étape 6              |
| <input type="checkbox"/> Étape 2 | <input type="checkbox"/> Étape 7              |
| <input type="checkbox"/> Étape 3 | <input type="checkbox"/> Étape 8              |
| <input type="checkbox"/> Étape 4 | <input type="checkbox"/> Aucune de ces étapes |
| <input type="checkbox"/> Étape 5 | <input type="checkbox"/> Ne sais pas          |



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

28. Quelle est ou quelles sont les organisations qui, selon vous, possèdent un pouvoir de prise de décision dans l'identification ou la mise en œuvre d'actions de gestion/protection des sources d'eau potable au Québec ?

*(une à plusieurs réponses possibles)*

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Gouvernement fédéral  | <input type="checkbox"/> Organismes de bassin versant (OBV)                          |
| <input type="checkbox"/> Gouvernement provincial (ministères)                              | <input type="checkbox"/> Comités (Ex. comités de zones d'interventions prioritaires) |
| <input type="checkbox"/> Communautés métropolitaines (CM)                                  | <input type="checkbox"/> Réseaux (Ex. Réseau québécois sur les eaux souterraines)    |
| <input type="checkbox"/> Municipalités régionales de comté (MRC)                           | <input type="checkbox"/> Tout autre organisme à but non lucratif (OBNL)              |
| <input type="checkbox"/> Villes-MRC  | <input type="checkbox"/> Universités/Centres de recherches                           |
| <input type="checkbox"/> Municipalités   | <input type="checkbox"/> Secteur privé (Ex. Consultants, entreprises, etc.)          |
| <input type="checkbox"/> Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ) |  |
| <input type="checkbox"/> Autre (veuillez préciser)   |  |



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

**Note importante**

- Si vous ne savez pas ou que vous ne souhaitez pas répondre à la question, laissez vide la réponse.

29. Quelle est ou quelles sont les organisations qui, selon vous, sont **actuellement absentes** de ce processus de prise de décision, **mais qui devraient être présentes** ?



Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec

\* 30. Dans le cadre de vos tâches, avez-vous été confronté(e) à des situations préoccupantes associées à la protection des sources au cours de la dernière année ?

*(Exemples de situations préoccupantes ou d'évènements qui vous ont forcé à décider un changement : une baisse de la qualité de l'eau lié à un ou des contaminants (préciser) / Une baisse de la quantité de l'eau liée à une baisse de qualité ou une sécheresse, etc.)*

- Oui
- Non



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 31. Quelles ont été les dernières situations préoccupantes en lien avec la protection des sources auxquelles vous avez été confronté(e) ?

*(Exemples de situations préoccupantes ou d'évènements qui vous ont forcé à décider un changement : une baisse de la qualité de l'eau lié à un ou des contaminants (préciser) / Une baisse de la quantité de l'eau liée à une baisse de qualité ou une sécheresse, etc.)*

1.
2.
3.
4.

\* 32. Est-ce que la situation préoccupante dans le cadre « 1 » est :

- Résolue  Non résolue  
 En cours de résolution

Mémorisez la situation préoccupante que vous avez inscrite dans le cadre 1. Elle pourrait vous servir pour les questions suivantes.



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 33. Qui a participé à la résolution de cette situation préoccupante ?

*(Quelle(s) organisation(s) était ou étaient représentée(s))*



38. Si on prend en considération au moins une situation préoccupante en cours de résolution, qui participe à sa résolution ?

*(Quelles organisations sont représentées)*



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

\* 39. Dans le but d'approfondir le portrait réalisé par ce sondage, me permettriez-vous de vous recontacter afin de discuter de vos situations préoccupantes liées à la protection des sources ?

- Oui  
 Non

Il s'agit d'un entretien semi-dirigés pour approfondir certaines sections du questionnaire. Cet entretien d'une durée approximative d'une heure, se base sur une grille de questions en lien avec les connaissances utiles à la prise de décision, les interactions avec les autres organisations ou encore l'expérience vécue quand il est temps d'identifier ou de mettre en oeuvre des actions pour protéger les sources d'eau potable.

\* 40. Dans le but de réaliser un outil d'aide à la décision en accord avec les besoins des acteurs de la protection des sources, souhaiteriez-vous être impliqué(e) dans son développement et son test ?

- Oui  
 Non

Il s'agit d'une participation à des rencontres dans les phases de développement du système et lors des tests. Ces rencontres seront réalisées par bloc de 2 rencontres. Vous pouvez décider de participer à deux, quatre ou six des six rencontres qui sont prévues pour le développement du système.



**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

Annexe A : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (SurveyMonkey)

\* 41. Merci de bien vouloir remplir ces champs :

*(Inscrivez le nom de l'organisation ou vous êtes principalement impliqué(e))*

Nom

Courriel

Organisation



**BASE DE CONNAISSANCES**  
Aménagement du territoire & Protection des sources

**Enquête sur la mise en œuvre de la protection des sources d'eau potable au Québec**

Bonjour,

Vous ne possédez pas le profil recherché pour poursuivre le questionnaire.

Je vous remercie et bonne journée,

Jérôme Cerutti

Bonjour,

Merci d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire en ligne.  
Les résultats seront disponibles prochainement.

N'hésitez pas à me contacter si vous avez de plus amples questions sur ce questionnaire et son but.

Par courriel : [jerome.cerutti.1@ulaval.ca](mailto:jerome.cerutti.1@ulaval.ca)

Par téléphone : (418) 656-2131, poste 4463

Jérôme Cerutti

## Annexe B : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (incluant la stratégie d'envoi et les conditions)

### ☑ Stratégie d'envoi du sondage



### ☑ Matrice générale de l'enquête v.21

⊖ (Pg. 1) **0. Introduction**

● (Pg.2) **1. Informations supplémentaire**

⊖ (Pg. 3) **2. Êtes-vous actuellement impliqué(e) de près ou de loin dans une organisation en lien avec la gestion/protection des sources d'eau potable au Québec ?**

*(Gouvernement, Ville, MRC, CM, OBV, université, réseau, OBNL, entreprise privée, table de concertation, etc.)*

● SI Q2 = C2 => p.29 + masquer texte 2

● Oui

⊖ **Non**

● **FIN DU SONDAGE => p.29**

⊖ (Pg. 3) **3. Avez-vous déjà reçu et complété ce questionnaire ?**

● SI Q3 = C1 => p.29 + masquer texte 2

⊖ **Oui**

● **FIN DU SONDAGE => p.29**

● Non

⊖ **I. Profil**

⊖ **A. Implications**

⊖ (Pg. 4) **4. Dans quel cadre êtes-vous principalement impliqué(e) dans la gestion/protection des sources d'eau potable ?**

● SI Q.4 =  
C1 => p.4  
C2 => p.6  
C3 => p.7

C2/C3 = masquer p.12+p.22+23+24+25 + Q.39

- ⊖ (Pg. 4) **4.A.** *Emploi rémunéré au sein de la fonction publique, une organisation territoriale ou municipale.*
  - ⊖ SI Q5 =
    - C1 => p.5 + masquer Q.7+8+9
    - C2 => p.5 + masquer Q.8+9
    - C3/C4/C5 => p.5 + masquer Q.6+7+9
    - C6 => p.5 = masquer Q.6+7
  - C1/C2 = masquer p.22+23+24+25+28+29 + Q.39
  - C1/C2/C3 = masquer p.12
  - Fin p.6 => p.9
- ⊖ (Pg. 5) **5.** Précisez
  - ⊖ (*Palier gouvernemental*)
    - ⊖ Ministère au bureau central à Québec
      - (Pg. 6) **6.** Veuillez préciser dans quel ministère :
    - ⊖ Ministère direction régionale
      - (Pg. 6) **7.** Veuillez préciser dans quelle direction régionale :
  - ⊖ (*Palier supralocal*)
    - ⊖ C.M.
      - (Pg. 6) **8.** Veuillez préciser dans quelle organisation :
    - M.R.C.
    - Villes-M.R.C.
  - ⊖ (*Palier local*)
    - ⊖ Municipalité, etc...

	<ul style="list-style-type: none"><li>● (Pg. 6) <b>9.</b> Veuillez indiquer (approximativement) le nombre d'habitants :</li></ul>
<input type="checkbox"/>	<p>(Pg. 4) <b>4.B.</b> <i>Emploi rémunéré dans tout autre cas</i></p> <p><i>(par exemple au sein d'une organisation parapublique, ROBVQ/OBV, OBNL, table de concertation, secteur privé, académique, réseaux, comité ZIP/Table de concertation régionale, etc.)</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Fin p.7 =&gt; p.9</li><li>● (Pg. 7) <b>10.</b> Veuillez préciser au sein de quelle organisation :</li></ul>
<input type="checkbox"/>	<p>(Pg. 4) <b>4.C.</b> <i>Dans un cadre d'un emploi non rémunéré en tant que bénévole peu importe l'organisation</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>● (Pg. 8) <b>11.</b> Veuillez préciser au sein de quelle organisation :</li></ul>
<input type="checkbox"/>	<p>(Pg. 9) <b>12.</b> Outre votre implication principale, êtes-vous impliqué(e) dans d'autres organisations oeuvrant à la gestion/protection des sources d'eau potable ?</p> <p><i>(institution, association, table de concertation, comité, réseaux, etc.)</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>● SI Q.12 = Oui =&gt; p.10 Non =&gt; p.11</li></ul> <p><input type="checkbox"/> Oui</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● (Pg. 10) <b>13.</b> Préciser en inscrivant seulement le nom des autres organisations dans lesquelles vous êtes impliqué(e) :</li></ul> <ul style="list-style-type: none"><li>● Non</li></ul>
<input type="checkbox"/>	<p>(Pg. 11) <b>14.</b> Veuillez préciser si votre implication concerne :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Des problématiques reliées à la gestion/protection des sources d'eau de surface</li></ul>

- Des problématiques reliées à la gestion/protection des sources d'eau souterraine
- Les deux
- **Autre**

⊖ **B. Tâches**

⊖ SI =

Q.4 = C1

Q.5 ≠ C1/C2

- (Pg. 12) **15.** Prenez-vous en considération le RPEP dans votre pratique de l'aménagement du territoire ?
- (Pg. 13) **16.** Quelles sont les tâches que vous réalisez et qui concernent, selon vous, la gestion/protection des sources d'eau potable ?

*1 tâche par bloc de texte, 10 maximum*

⊖ **C. Interactions**

- ⊖ (Pg. 14) **17.** Dans le cadre de vos tâches, êtes-vous en interaction avec d'autres organisations ?

*(Tout type de structure : OBNL, ministère, ville, entreprise privée, université, etc.)*

- SI Q.17 =  
C1 => p.15  
C2 => p.16

⊖ Oui

- ⊖ (Pg. 15) **18.** Avec quelles organisations ?

- Gouvernement fédéral
- Gouvernement provincial (ministères)
- Communautés métropolitaines (CM)

- Municipalités régionales de comté (MRC)
- Villes-MRC
- Municipalités
- Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ)
- Organisme de bassin versant (OBV)
- Comités (Ex. comités de zones d'interventions prioritaires)
- Réseaux (Ex. Réseau québécois sur les eaux souterraines)
- Tout autre organisme à but non lucratif (OBNL)
- Universités/Centres de recherches
- Secteur privé (Ex. Consultants, entreprises, etc.)
- Autre

⊙ (Pg. 16) **19.** À quelle fréquence (approximativement) ?

- Continuellement
- Souvent
- Rarement
- Non

⊙ **D. Connaissances**

⊙ (Pg. 17) **20.** Est-ce que votre organisation produit des connaissances liées à la gestion/protection de l'eau potable ?

*(Celles-ci serviraient à la mise en oeuvre de la protection des sources telles que : des portraits de territoire, études de faisabilité, données informatiques, manuels et guides, etc.)*

- SI Q.20 =  
Oui => p.18  
Non => p.19
  - ⊙ Oui
    - (Pg. 18) **21.** En règle générale, quelles sont les connaissances liées à la gestion/protection de l'eau potable que votre organisation produit ?  
  
*1 information par bloc de texte, 10 maximum*
    - Non
  - ⊙ (Pg. 19) **22.** Dans quelle mesure vous est-il facile de trouver des connaissances concernant la gestion/protection de l'eau potable utiles à vos tâches ?  
  
*(Celles-ci serviraient à la mise en oeuvre de la protection des sources telles que : des portraits de territoire, études de faisabilité, données informatiques, manuels et guides, etc.)*
  - ⊙ SI Q.22 ≠  
Très facile
    - (Pg. 20) **23.** En règle générale, quelles connaissances sont problématiques pour vous à obtenir ?  
  
*(Portrait de territoire, étude de faisabilité, données informatiques, manuels et guides, etc.)*  
  
*1 information par bloc de texte, 10 maximum*
- ⊙ **II. Portrait du processus décisionnel**
- ⊙ **A. Portrait du processus décisionnel**  
**Vous = représentant votre organisation**

- (Pg. 21) **24.** Dans quelle mesure votre organisation est-elle impliquée dans l'identification ou la mise en oeuvre d'actions de gestion/protection des sources d'eau potable Québec ?

*(ex. changement de zonage, législation, incitatifs financiers, sensibilisation, construction d'éco-quartiers, raccordements au réseau d'eaux usées, mandant de production de connaissances [rapports, manuels et guides], etc.)*

- (Pg. 21) **25.** Dans quelle mesure votre organisation détient un pouvoir de prise de décision dans l'identification ou la mise en oeuvre d'actions de gestion/protection des sources d'eau potable ?

#### Se placer

- Voici un exemple des étapes d'un processus décisionnel permettant de résoudre mettre en oeuvre la gestion/protection des sources.

- (Pg. 21) **26.** Lors de quelle(s) étape(s) estimez-vous que votre organisation est **actuellement** impliquée ?

- (Pg. 21) **27.** Lors de quelle(s) étape(s) votre organisation devrait-elle être impliquée ?

#### B. Portrait approfondi du processus décisionnel

- (Pg. 22) **28.** Quelle est ou quelles sont les organisations qui, selon vous, possèdent un pouvoir de prise de décision dans l'identification ou la mise en oeuvre d'actions de gestion/protection des sources d'eau potable au Québec ?

*(une à plusieurs réponses possibles)*

- SI Q.28 =  
Ne sait pas (vide) = masquer p.22
- Gouvernement fédéral
- Gouvernement provincial (ministères)
- Communautés métropolitaines (CM)

	<ul style="list-style-type: none"><li>● Municipalités régionales de comté (MRC)</li><li>● Villes-MRC</li><li>● Municipalités</li><li>● Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ)</li><li>● Organisme de bassin versant (OBV)</li><li>● Comités (Ex. comités de zones d'interventions prioritaires)</li><li>● Réseaux (Ex. Réseau québécois sur les eaux souterraines)</li><li>● Tout autre organisme à but non lucratif (OBNL)</li><li>● Universités/Centres de recherches</li><li>● Secteur privé (Ex. Consultants, entreprises, etc.)</li><li>● Autre</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>● (Pg. 23) <b>29.</b> Quelle est ou quelles sont les organisations qui, selon vous, sont <b>actuellement absentes</b> de ce processus de prise de décision, mais qui <b>devraient être présentes</b> ?</li></ul>
⊖	<b>II.7.A = C3/C4/C5/C6</b> <b>Bloc A ≠ ministères</b>
⊖	<b>C. Identification de problèmes décisionnels</b> (Sélection de cas d'étude)
⊖	<ul style="list-style-type: none"><li>● (Pg. 24) <b>30.</b> Dans le cadre de vos tâches, avez-vous été confronté(e) à des situations préoccupantes associées à la protection des sources au cours de la dernière année ?  (Exemples de situations préoccupantes ou d'évènements qui vous ont forcé à décider un changement : une baisse de la qualité de l'eau lié à un ou des contaminants (préciser) / Une baisse de la quantité de l'eau liée à une baisse de qualité ou une sécheresse, etc.)</li></ul>

- SI Q.30 =  
C1 => p.25 + masquer Q.40  
C2 => p.28 + masquer Q.39

⊖ Oui

- (Pg. 25) **31.** Quelles ont été les dernières situations préoccupantes en lien avec la protection des sources auxquelles vous avez été confronté(e) ?

*(Exemples de situations préoccupantes ou d'évènements qui vous ont forcé à décider un changement : une baisse de la qualité de l'eau liée à un ou des contaminants (préciser) / Une baisse de la quantité de l'eau liée à une baisse de qualité ou une sécheresse, etc.)*

- ⊖ (Pg. 25) **32.** Sélectionnons la situation préoccupante dans le cadre « 1 ». Est-ce que cette situation est : ?

- SI Q.32 =  
C1 => p.26 + masquer Q.38 + note p.26  
C2 => p.27 + masquer Q.37  
C3 => p.28 + masquer Q.39

⊖ Résolue

- (Pg. 26) **33.** Qui a participé à la résolution de cette situation préoccupante ?

*(Quelle(s) organisation(s) était ou étaient représentée(s))*

- (Pg. 26) **34.** Quelle a été la principale action sélectionnée pour résoudre cette situation préoccupante ?

*(ex. changement de zonage, incitatifs financiers, sensibilisation, construction d'éco-quartiers, raccordements au réseau d'eaux usées, etc.)*

*(Si vous avez mis en place un ensemble d'actions, merci de toutes les décrire)*

*ou actions, merci de toutes les remercier*

- (Pg. 26) **35.** À quelles informations (connaissances) avez-vous fait appel pour identifier cette solution ?

- ⊙ (Pg. 26) **36.** Dans quelle mesure avez-vous été satisfait(e) de l'information à votre disposition pour résoudre cette situation préoccupante ?

⊙ SI Q.36 =  
Curseur < 100 => p.27  
Curseur = 100 => p.28

- (Pg. 27) **37.** Quelles informations vous a manqué pour être pleinement satisfait(e) dans ce cas présent ?

- ⊙ En cours de résolution

- (Pg. 27) **38.** Si on prend en considération au moins une situation préoccupante en cours de résolution, qui participe à sa résolution ?

*(Quelles organisations sont représentées)*

- Non résolue

- Non

#### ⊙ **Perception sur les décisions prises en ce qui concerne la protection des sources**

- ⊙ (Pg. 27) **39.** En règle générale, dans quelle mesure êtes-vous satisfait(e) des décisions prises concernant la protection des sources d'eau potable ?

⊙ SI Q.39 =  
Curseur < 100 => p.28  
Curseur = 100 / NSPP = masquer p.28

- (Pg. 28) **40.** Pour quelles raisons n'êtes-vous pas pleinement satisfait(e) des décisions prises ?

II.3.A ≠ C1/C2  
Tous ≠ ministères

(Pg. 29) 41. Dans quelle mesure les citoyens sont impliqués dans les questions entourant la protection des sources ?

SI Q.41 =  
Curseur < 100 => p.30  
Curseur = 100 => p.31  
NSPP => masquer p.31

(Pg. 30) 42. Considérez-vous que ce soit un problème que les citoyens ne soient pas pleinement impliqués dans la protection des sources ?

- Oui
- Non
- *Je ne souhaite pas répondre*

(Pg. 30) 43. Seriez-vous prêt(e) à améliorer l'implication des citoyens dans les questions entourant la protection des sources ?

- Oui
- Non
- *Je n'ai aucun pouvoir pour changer les choses*
- *Je ne souhaite pas répondre*

III. Recrutement

SI Q.31 = OUI

(Pg. 28) 39. Dans le but d'approfondir le portrait réalisé par ce sondage, me permettriez-vous de vous recontacter afin de discuter de vos situations préoccupantes reliées à la protection des sources ?

- Oui

Annexe B : Matrice générale de l'enquête PSEP, 2018 (incluant la stratégie d'envoi et les conditions)

	<ul style="list-style-type: none"><li>● Non</li></ul>
⊖	SI Q.31 = NON
⊖	(Pg. 28) <b>40.</b> Dans le but de réaliser un outil d'aide à la décision en accord avec les besoins des acteurs de la protection des sources, souhaiteriez-vous être impliqué(e) dans son développement et son test ?  <i>(Participation à des rencontres : de 2 à 6 rencontres selon votre choix)</i>
	<ul style="list-style-type: none"><li>● Oui</li><li>● Non</li></ul>
⊖	SI Q.39/40 au moins un OUI => p.29 SI Q.39/40 tout NON => p.30 + masquer texte 1
⊖	(Pg. 29) <b>41.</b> Merci de bien vouloir remplir ces champs :  <i>(Inscrivez le nom de l'organisation ou vous êtes principalement impliqué(e))</i>
	<ul style="list-style-type: none"><li>● =&gt; p.30 + masquer texte 1</li></ul>
⊖	<b>PAGE DE FIN =&gt; P. 30</b>
⊖	Votre profil ne correspond pas au profil recherché pour poursuivre le questionnaire.  Merci et bonne journée,  Jérôme Cerutti, M.ATDR Candidat au doctorat en ATDR École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional (ÉSAD) Université Laval, Québec (QC), Canada
	<ul style="list-style-type: none"><li>● <b>FIN DE SONDE</b></li></ul>

☺ Merci d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire en ligne.  
Les résultats seront disponibles prochainement.

N'hésitez pas à me contacter si vous avez de plus amples questions sur ce questionnaire et son but.

Par courriel : [jerome.cerutti.1@ulaval.ca](mailto:jerome.cerutti.1@ulaval.ca)

Par téléphone : (418) 656-2131, poste 4463

Jérôme Cerutti, M.ATDR

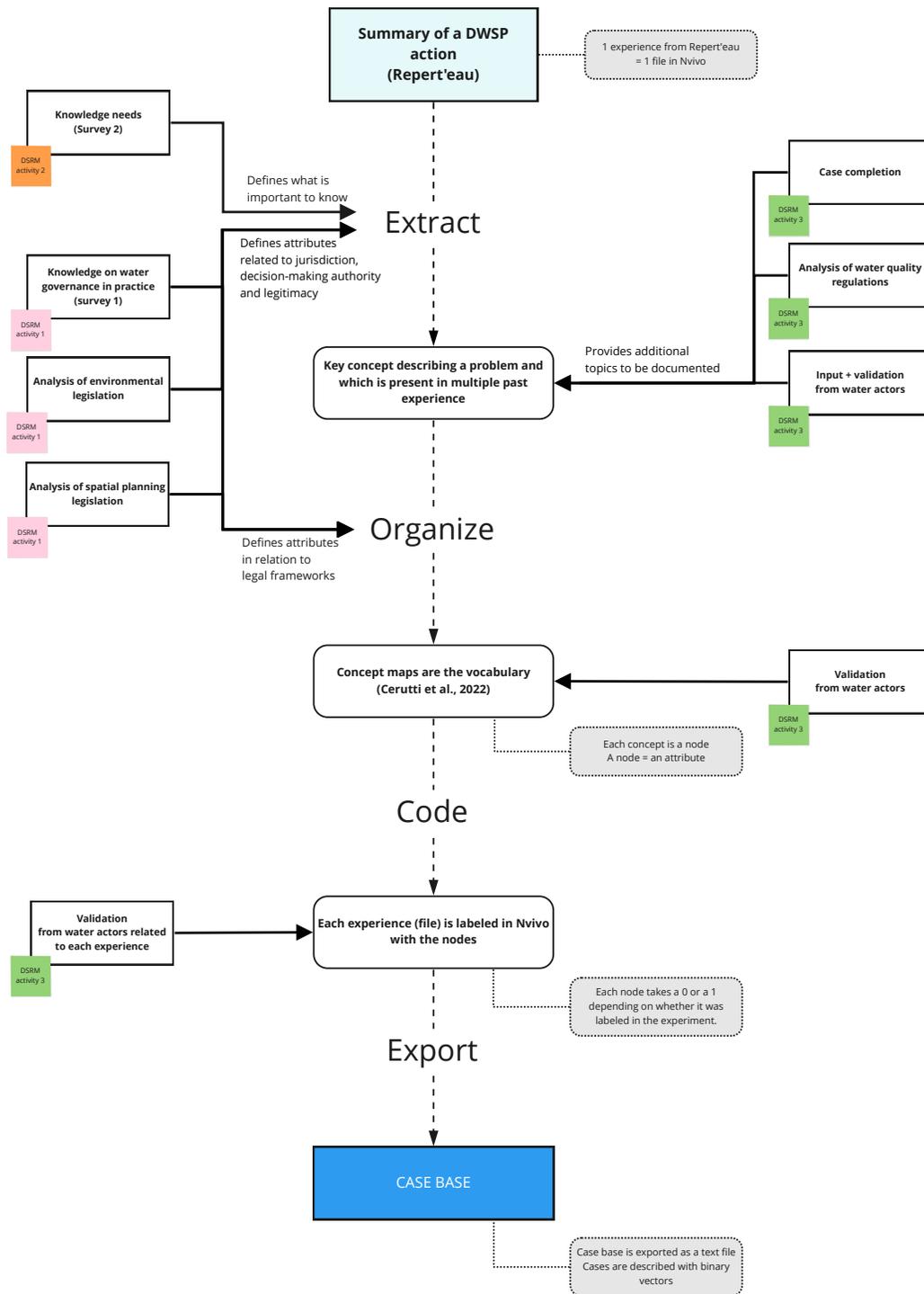
Candidat au doctorat en ATDR

École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional (ÉSAD)

Université Laval, Québec (QC), Canada

● **FIN DE SONDGE**

# Annexe C : Processus de design des cas



# Annexe D : Liste des attributs

PAGE	SECTION	ATTRIBUTES NAMES	VALUE
A1	ProblemTheme	CaseID	String
		Access	Boolean
		PrivateProperty	Boolean
		<b>DegradationEnvironment</b>	Boolean
		WaterConsumption	Boolean
		<b>Disaster</b>	
		Accident	Boolean
		Flooding	Boolean
		Landslide	Boolean
		Drought	Boolean
		NewRegulation	Boolean
		DataIssue	Boolean
		<b>Obstacle</b>	
		ObstacleNatural	Boolean
		ObstacleAnthropogenic	Boolean
		SiltUp	Boolean
		Erosion	Boolean
	Fragmentation	Boolean	
	<b>IndicMinist</b>		
	RiparianStripsCondition	Boolean	
	LowVegetationCover	Boolean	
	WidthRS	Boolean	
	<b>PollutantTHM</b>		
	TramplingVisitors	Boolean	
	Algae	Boolean	
	<b>DegradationEnvironment_Detail</b>	InvasiveSpecies	Boolean
	Fauna	Boolean	
	Shellfish	Boolean	
	Molluscs	Boolean	
	Pisces	Boolean	
	Reptiles	Boolean	
	Flora	Boolean	
Plant	Boolean		
AquaticPlant	Boolean		
RainwaterRunoff	Boolean		
RunoffContamination	Boolean		
Impermeability	Boolean		
PipeConnection	Boolean		
DischargeOverflow	Boolean		
IndicAPhysical	Boolean		

PAGE	SECTION	ATTRIBUTES NAMES	VALUE
A2	IndicMinist_Detail	IndicBMicroorganism	Boolean
		<b>IndicCFertil</b>	
		Nitrogen	Boolean
		NitriteNitrate	Boolean
		Phosphorus	Boolean
		Turbidity	Boolean
		<b>IndicESubIno</b>	
		HaloaceticAcids	Boolean
		Antimony	Boolean
		Arsenic	Boolean
		Barium	Boolean
		Bore	Boolean
		Bromates	Boolean
		Cadmium	Boolean
		Chloramines	Boolean
		Chlorates	Boolean
		Chlorites	Boolean
		Chrome	Boolean
		Copper	Boolean
		Cyanides	Boolean
		Fluorides	Boolean
		Mercury	Boolean
		Lead	Boolean
		Selenium	Boolean
		Trihalomethanes	Boolean
		Uranium	Boolean
		<b>IndicFSubOrg</b>	
		AtrazineMetabolites	Boolean
		BenzoAPyrene	Boolean
		Benzene	Boolean
		Carbaryl	Boolean
		Carbofuran	Boolean
		Chlorpyrifos	Boolean
		VinylChloride	Boolean
		Diazinon	Boolean
		Dicamba	Boolean
		OneOneDichloroethylene	Boolean
		OneTwoDichlorobenzene	Boolean
		OneTwoDichloroethane	Boolean
		OneFourDichlorobenzene	Boolean

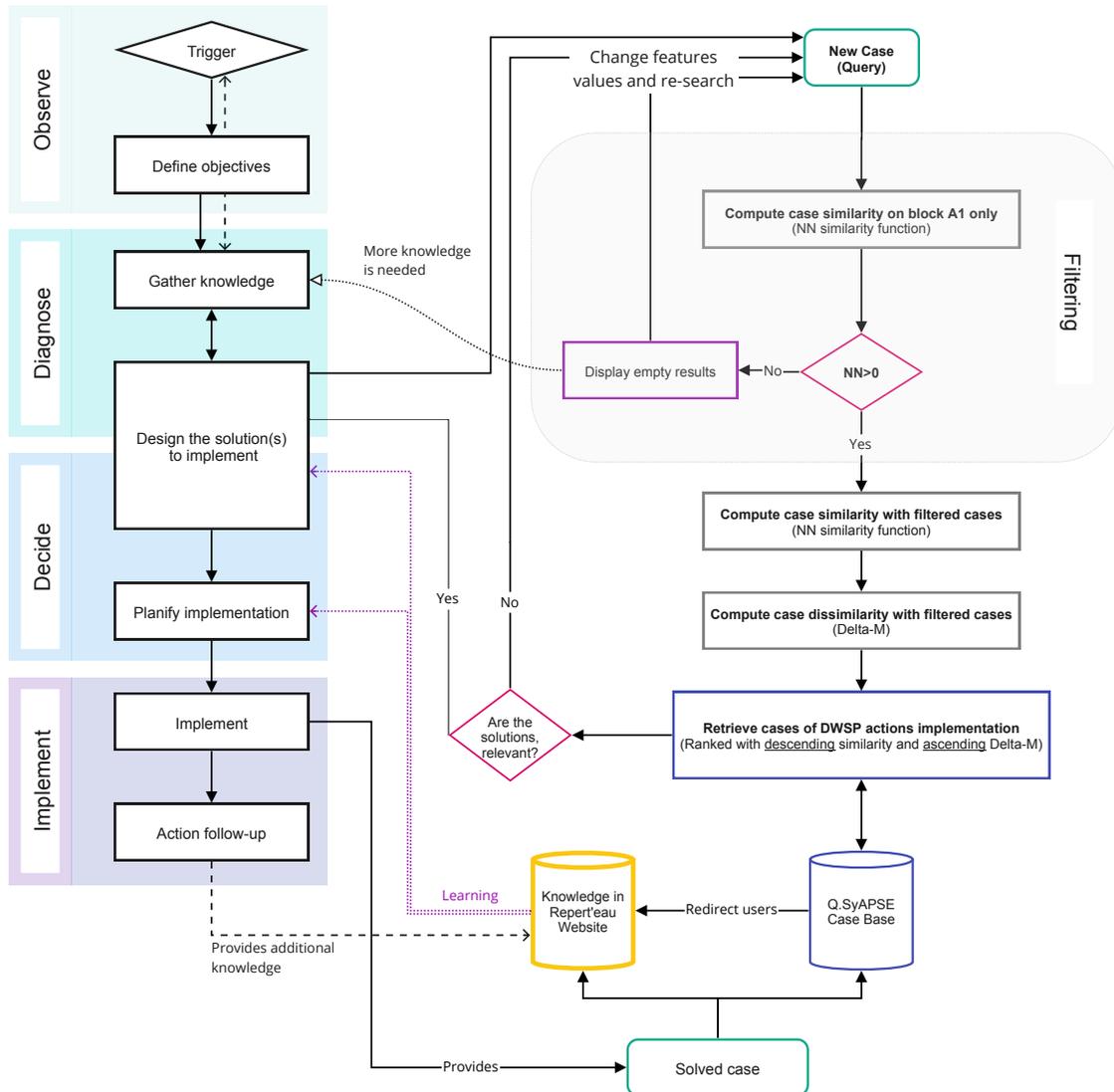
PAGE	SECTION	ATTRIBUTES NAMES	VALUE
B3		TwoFourDichlorophenol	Boolean
		TwoFourDichlorophenoxyaceticAcid24d	Boolean
		Dichloromethane	Boolean
		Diquat	Boolean
		Diuron	Boolean
		Glyphosate	Boolean
		Monochlorobenzene	Boolean
		Metolachlor	Boolean
		Metribuzine	Boolean
		ParaquatDichlorides	Boolean
		Pentachlorophenol	Boolean
		Piclorame	Boolean
		Simazine	Boolean
		TwoFourTrichlorophenol	Boolean
		Trichloroethylene	Boolean
		Trifluralin	Boolean
		Tetrachloro234fPhenol	Boolean
		Tetrachloroethylene	Boolean
		CarbonTetrachloride	Boolean
		PollutantTHM_Detail	Waste
	WasteWater		Boolean
	HydrocarbonsOils		Boolean
	HeavyMetals		Boolean
	NutrientsFertilizers		Boolean
	Pesticides		Boolean
	RoadSalts		Boolean
	SedimentSuspendedSolids		Boolean
	AnthropogenicUses	Agriculture	Boolean
		Breeding	Boolean
		Crops	Boolean
		Municipal	Boolean
		Commercial	Boolean
		Construction	Boolean
ExploitationNatResources		Boolean	
Industries		Boolean	
Navigation		Boolean	
EnergyProd		Boolean	
Recreational		Boolean	
Swim		Boolean	
Golf		Boolean	

PAGE	SECTION	ATTRIBUTES NAMES	VALUE
		HikingCamp	Boolean
		Zoo	Boolean
		Residential	Boolean
		Roads	Boolean
		Groundwater	Boolean
		SurfaceWater	Boolean
	WaterBody	StLawrence	Boolean
		GulfOcean	Boolean
		Lake	Boolean
		Wetland	Boolean
		RiverCreekOther	Boolean
		So_Name	String
		URL	String

# Annexe E : Flow Diagram de Q.SyAPSE

DWSP decision-making process

Flow diagram of the proposed CBR prototype



# Annexe F : Pages du questionnaire de requête dans le CBR

The screenshot shows a web browser window titled "Q.SyAPSE- Définir la requête pour chercher des solutions...". The browser tabs include "A1 - Déclencheurs Solution", "A2 - Vulnérabilité & Polluants", and "B3 - Activité & Type de Plan d'Eau".

Annotations include:

- N case to retrieve**: Points to the "K: 20" dropdown menu.
- A1-1 (ULT)**: Points to the "Problème semblable dans REPERT'EAU:" section.
- A1-2 (LLT)**: Points to the "Dégradation du milieu que vous observez:" section.
- Navigation**: Points to the browser tabs.
- Query ID**: Points to the "ID requête: Q.SyAPSE\_EZJT" field.
- Navigation and validation bar**: Points to the bottom bar with "Précédente", "Valider", and "Suivante" buttons.

The questionnaire content is as follows:

**Problème semblable dans REPERT'EAU:**

- Water Access issue
- Environmental damage issue
- Man-made or natural disaster
- Accident
- Landslide
- New regulation
- Private property issue
- Water consumption issue
- Flooding
- Drought
- Data quality issue

**Dégradation du milieu que vous observez:**

- Obstacle in the stream
- Natural obstacle
- Silt up issue
- Fragmentation issue
- Riparian strip issue
- Low vegetation cover
- Pollutants
- Tamplng issue
- Invasive species
- Fauna
- Shellfish
- Pisces
- Flora
- Plant (near water)
- Rainwater-related issue
- Soil impermeability
- Discharge and overflow
- Anthropogenic obstacle
- Erosion issue
- Indicators ministry environment
- Width issue
- Algae
- Molluscs
- Reptiles
- Aquatic plant (in water)
- Contamination
- Non-compliant connections and rainwater management

Q.SyAPSE - Définir la requête pour chercher des solutions...

A1 - Déclencheurs Solution    A2 - Vulnérabilité & Polluants    B3 - Activité & Type de Plan d'Eau

**Indicateurs de Vulnérabilité**

- Physical indicators (A)
- Fertilizing materials indicators (C)
- Nitrogen
- Phosphorus
- Turbidity
- Microorganisms indicators (B)
- Nitrite - Nitrate

**Substances Chimiques**

Inorganic substances (E)    Filtrer: \*

**Substances Inorganiques (Indicateur E)**

Substance	Détails
<input type="checkbox"/> HaloaceticAcids	Acides haloacétiques
<input type="checkbox"/> Antimony	Antimoine
<input type="checkbox"/> Arsenic	Arsenic
<input type="checkbox"/> Barium	Baryum
<input type="checkbox"/> Bore	Bore
<input type="checkbox"/> Bromates	Bromates

Organic substances (F)    Filtrer: \*

**Substances Organiques (Indicateur F)**

Substance	Détails
<input type="checkbox"/> AtrazineMetabolites	Atrazine et ses métabolites
<input type="checkbox"/> Benzene	Benzène
<input type="checkbox"/> BenzoAPyrene	Benzo(a)pyrène
<input type="checkbox"/> Carbaryl	Carbaryl
<input type="checkbox"/> Carbofuran	Carbofurane
<input type="checkbox"/> Chlorpyrifos	Chlorpyrifos

**Polluants Dans l'Eau**

- Waste
- Hydrocarbons and oils
- Nutrients and fertilizers
- Road salts
- Wastewater
- Heavy metals
- Pesticides
- Sediment and suspended solids

Précédente    Valider    Suivante

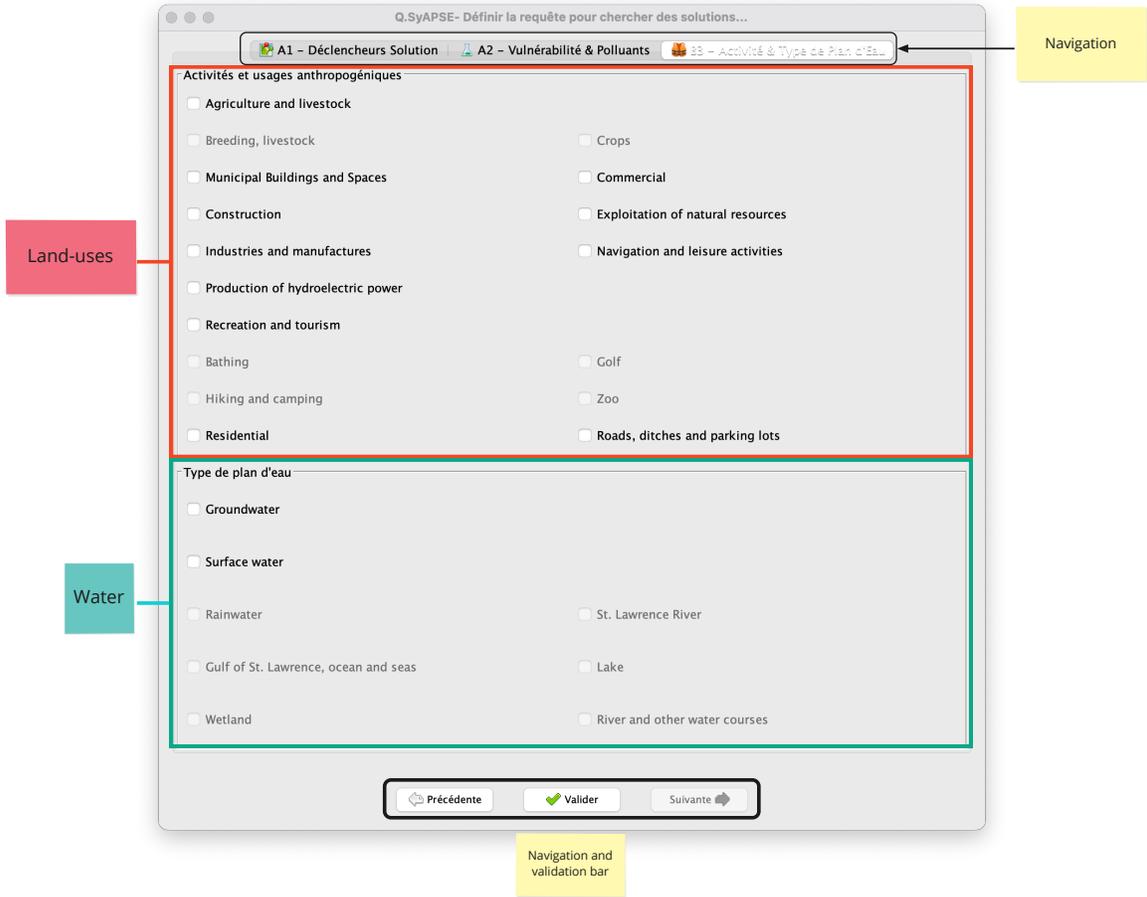
Navigation

Search bar

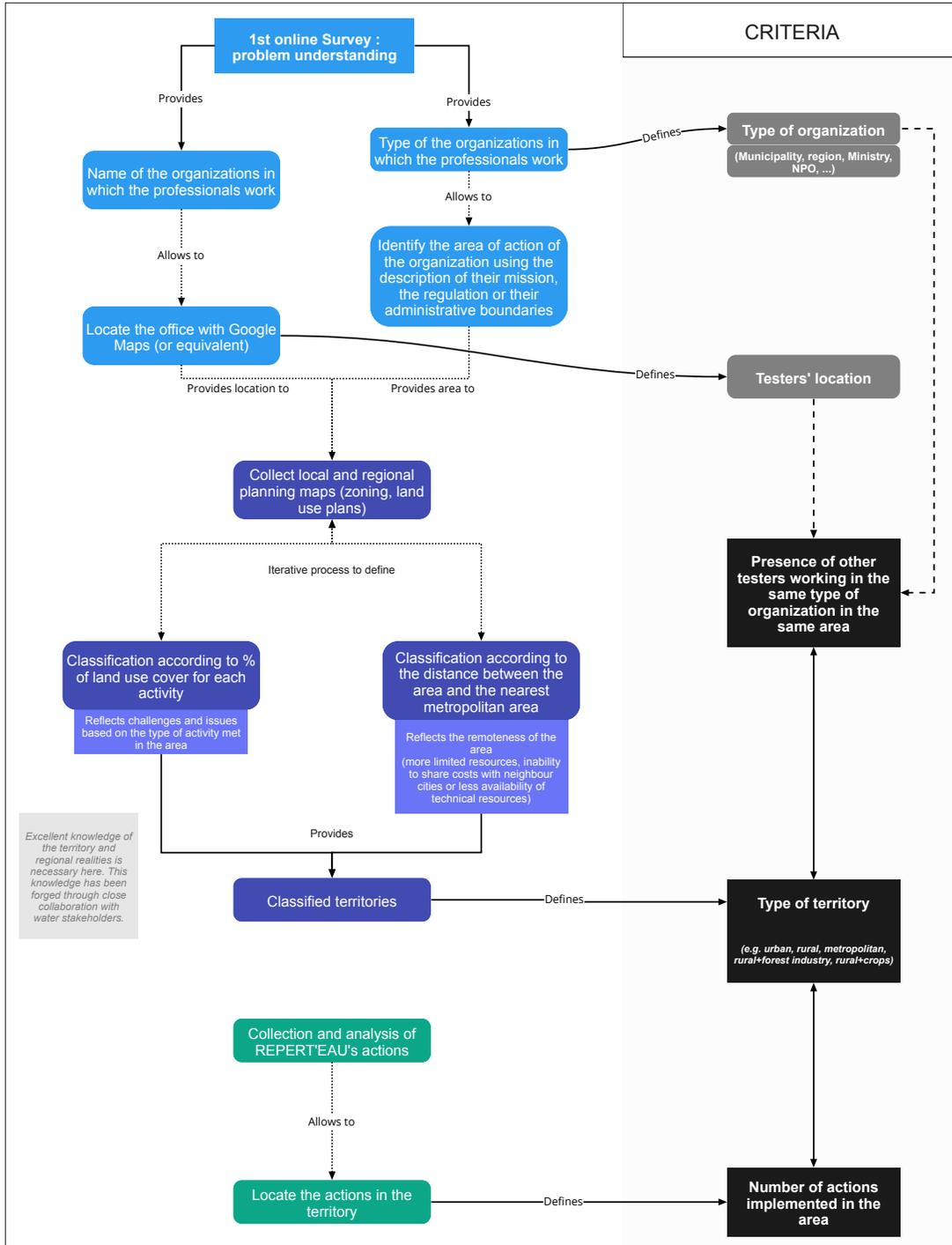
Regulation

General themes

Navigation and validation bar



# Annexe G : Design des critères de sélection pour les testeurs



## Annexe H : Table des résultats de la validation

	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	TC10
Relevance (R)	N/A	0.83	1.00	0.75	1.00	1.00	1.00	0.75	0.00	0.88

	Q.SyAPSE	Sim	Delta-M	REP1	R	REP2	R	REP3	R	REP4	R	REP5	R	REP7	R	REP8	R	REP9	R	REP10	R	
TC1	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TC2	CaseID_58	100 %	20	CaseID_58		CaseID_58		CaseID_97														
	CaseID_97	100 %	47	CaseID_123	4/4	CaseID_97	3/4	CaseID_58	3/4													
	CaseID_37	66.7 %	2	CaseID_37		CaseID_37		CaseID_37														
	CaseID_123	66.7 %	2	CaseID_97		CaseID_123		CaseID_123														
TC3	CaseID_97	75 %	46	CaseID_135		CaseID_47		CaseID_97														
	CaseID_47	37.5 %	6	CaseID_185	4/4	CaseID_97	4/4	CaseID_47	4/4													
	CaseID_135	25 %	6	CaseID_97		CaseID_135		CaseID_185														
	CaseID_185	25 %	6	CaseID_47		CaseID_185		CaseID_135														
TC4	CaseID_97	86.7 %	39					CaseID_60		CaseID_97												
	CaseID_6	60 %	9					CaseID_97	3/4	CaseID_6	3/4											
	CaseID_111	60 %	15					CaseID_6		CaseID_60												
	CaseID_60	53.3 %	13					CaseID_111		CaseID_111												
TC5	CaseID_22	71.4 %	4					CaseID_149		CaseID_128												
	CaseID_128	71.4 %	5					CaseID_128	4/4	CaseID_22	4/4											
	CaseID_149	71.4 %	6					CaseID_181		CaseID_149												
	CaseID_181	51.7 %	5					CaseID_22		CaseID_181												
TC6	CaseID_31	60 %	2					CaseID_65		CaseID_65												
	CaseID_115	60 %	2					CaseID_64	4/4	CaseID_31	4/4											
	CaseID_65	60 %	3					CaseID_115		CaseID_115												
	CaseID_64	60 %	5					CaseID_31		CaseID_64												
TC7	CaseID_120	100 %	1											CaseID_120		CaseID_2		CaseID_2		CaseID_120		CaseID_120
	CaseID_2	100 %	3											CaseID_120	4/4	CaseID_120	4/4	CaseID_120	4/4	CaseID_2	4/4	CaseID_2
	CaseID_6	100 %	7											CaseID_7		CaseID_7		CaseID_7		CaseID_7		CaseID_7
	CaseID_7	100 %	12											CaseID_6		CaseID_6		CaseID_6		CaseID_6		CaseID_6
TC8	CaseID_97	100 %	43											CaseID_65		CaseID_65		CaseID_65		CaseID_65		CaseID_65
	CaseID_65	57.1 %	3											CaseID_64	3/4	CaseID_64	3/4	CaseID_65	3/4	CaseID_64	3/4	CaseID_64
	CaseID_64	57.1 %	5											CaseID_33		CaseID_33		CaseID_33		CaseID_33		CaseID_33
	CaseID_33	42.9 %	4											CaseID_97		CaseID_97		CaseID_97		CaseID_97		CaseID_97
TC9	CaseID_97	100 %	45											CaseID_97		CaseID_97		CaseID_97		CaseID_97		CaseID_97
	CaseID_120	80 %	3											CaseID_120	0/4	CaseID_120	0/4	CaseID_120	0/4	CaseID_120	0/4	CaseID_120
	CaseID_2	80 %	5											CaseID_2		CaseID_2		CaseID_2		CaseID_2		CaseID_2
	CaseID_6	80 %	9											CaseID_6		CaseID_6		CaseID_6		CaseID_6		CaseID_6
TC10	CaseID_97	100 %	43											CaseID_97		CaseID_120		CaseID_120		CaseID_120		CaseID_120
	CaseID_2	87.5 %	7											CaseID_3	4/4	CaseID_2	3/4	CaseID_97	3/4	CaseID_2	4/4	CaseID_2
	CaseID_3	87.5 %	12											CaseID_120		CaseID_97		CaseID_2		CaseID_3		CaseID_3
	CaseID_120	71.4 %	3											CaseID_2		CaseID_3		CaseID_3		CaseID_97		CaseID_97

# Annexe I : Concept d'intégration Q.SyAPSE/Répert'eau

Cette annexe 1) présente brièvement Répert'eau, 2) propose une intégration et 3) discute de la maintenance du CBR.

## Portrait de Répert'eau



En arrivant sur la page principale de [Répert'eau](#), l'utilisateur aura plusieurs options de recherches pour naviguer dans le répertoire. Tout en haut de la page, il peut effectuer une recherche par mot clé via un module optimisé par Google. Ensuite, un encadré affiche les cinq bonnes pratiques les plus récentes ajoutées au répertoire. En descendant la page, l'utilisateur aura la possibilité d'effectuer des recherches selon 1) des thématiques prédéfinies, 2) des dossiers spéciaux ou 3) via une carte du Québec qui situent les bonnes pratiques.

Figure C.A-1 : Répert'eau ©Inferral Media/ROBVQ

L'ajout ou l'édition d'une bonne pratique dans Répert'eau se fait intégralement sur le site web via une interface dédiée (Figure C.A-2). L'utilisateur aura accès à des pages permettant l'ajout (Figure C.A-3) ou l'édition (Figure C.A-4) d'une bonne pratique.



Figure C.A-2 : Ajouter/éditer une bonne pratique ©Infernal Media/ROBVQ



Figure C.A-3 : Page d'ajout d'une bonne pratique ©Infernal Media/ROBVQ



Figure C.A-4 : Page d'édition d'une bonne pratique ©Infernal Media/ROBVQ

Il est possible d'observer que l'ajout d'une bonne pratique génère un code unique à 6 lettres. Celui permet de retrouver facilement la bonne pratique pour l'éditer. Pour chaque bonne pratique, l'utilisateur aura 13 étapes à remplir.

#### Intégration des outils

**Lier les cas Q.SyAPSE et Répert'eau :** Dans Q.SyAPSE, chaque cas – représentant une bonne pratique de Répert'eau – dispose d'un identifiant unique (*CaseID*). Il s'agirait de mettre à jour le *CaseID* de la base de cas Q.SyAPSE en fonction du code à 6 lettres de Répert'eau.

**Intégrer Q.SyAPSE dans le processus d'ajout/édition de Répert'eau :** Pour faire une requête dans Q.SyAPSE, on utilise un formulaire décrit au chapitre 3. Il s'agirait d'ajouter le formulaire Q.SyAPSE comme une nouvelle étape de Répert'eau (Figure C.A-3). Un peu comme s'il ajoutait des mots-clés, l'utilisateur cocherait les attributs décrivant sa bonne pratique. Les formulaires complétés seraient alors conservés avec le reste des données sur les bonnes pratiques.

**Intégrer Q.SyAPSE pour effectuer une recherche dans Répert'eau :** Utilisant les bibliothèques JColibri, l'outil Q.SyAPSE présenté au chapitre 3 est un outil codé en Java par Oscar Nilo Melado. Il s'agirait d'incorporer le programme Java sur la page principale de Répert'eau. L'avantage de Java est qu'il est généralement supporté par les navigateurs web et qu'il existe de nombreux moyens d'incorporer un programme Java sur une page web. L'utilisateur aurait ainsi accès à Q.SyAPSE tel que présenté au chapitre 3, mais dans Répert'eau.

**Q.SyAPSE/Répert'eau** : Il ressort clairement des points ci-dessus que la proposition d'intégration cherche à être aussi simple que possible. En coulisses, cette intégration pourrait être plus compliquée. Malgré les inconnues sur le fonctionnement de Répert'eau, Oscar Nilo Melado a conçu Q.SyAPSE pour qu'il puisse fonctionner en utilisant une base de cas sous forme de fichier texte (.txt). L'intégration est donc basée sur une utilisation astucieuse de fichiers textes (Figure C.A-5). Cependant, pour la gestion de ces fichiers, il faudra décider s'il faut les conserver indéfiniment, temporairement ou les supprimer dès qu'un fichier plus récent est généré.

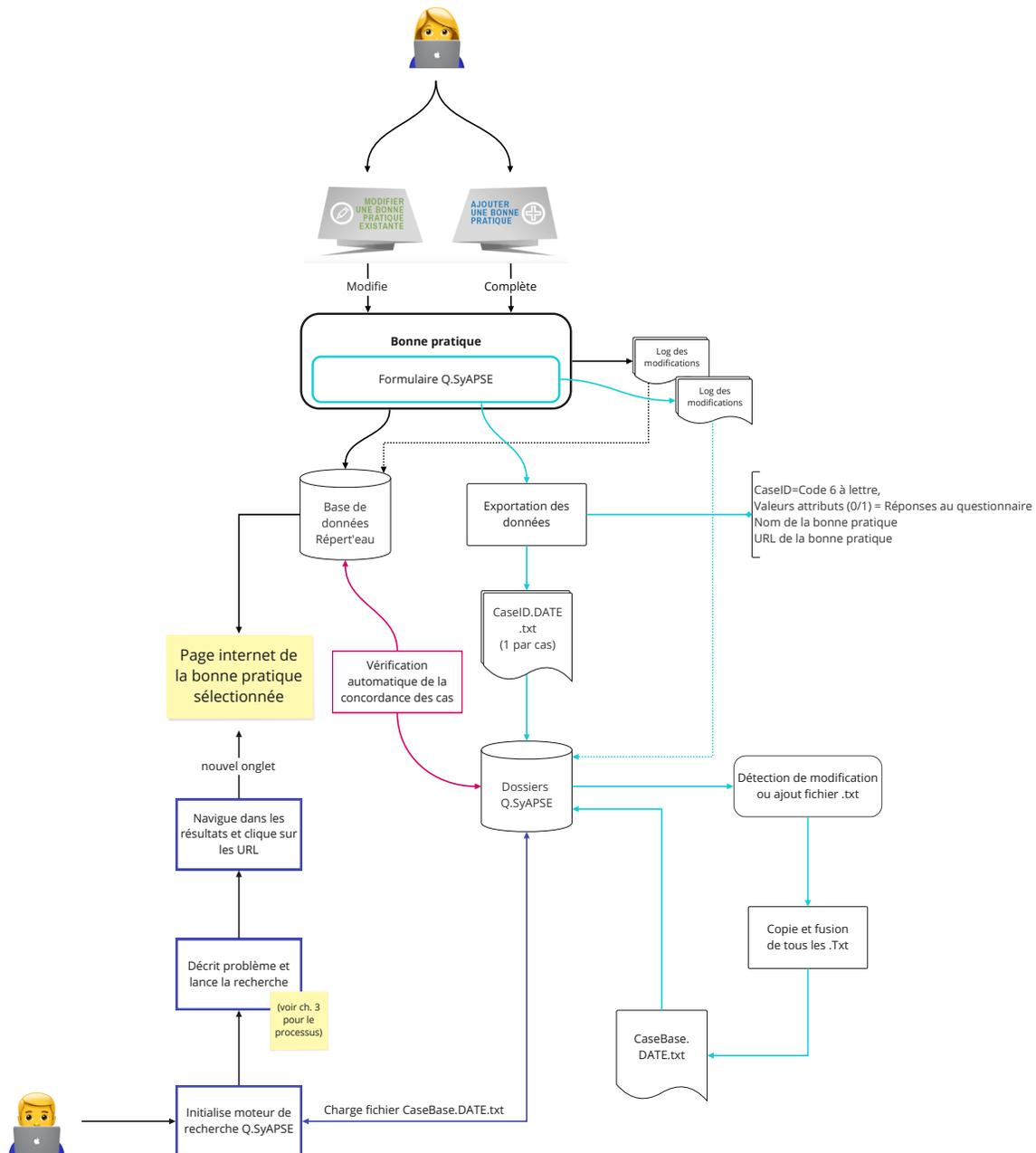


Figure C.A-5 : Utiliser Q.SyAPSE dans Répert'eau

### *Maintenance du CBR*

#### **Ajouter ou supprimer un cas // modifier la valeur d'un/des attribut(s) d'un cas dans la base de cas :**

L'information sur le processus de suppression d'une bonne pratique n'a pas été demandée au ROBVQ, car le processus proposé est automatique. Dans la proposition d'intégration Q.SyAPSE/Répert'eau (Figure C.A-5), un fichier texte est automatiquement généré lorsqu'une bonne pratique est soumise (nouvelle ou modifiée). Le fichier texte comprend les valeurs du formulaire Q.SyAPSE décrivant la bonne pratique (ajouté comme une 14<sup>e</sup> étape - Figure C.A-3), et d'autres informations comme le code à 6 lettres (*CaseID*), l'URL et le nom tel que décrit dans le chapitre 3. Ce fichier texte est ensuite conservé dans le dossier Q.SyAPSE.

Deux modules entrent en jeu. Le *module A* surveille le dossier Q.SyAPSE pour détecter si le nombre ou le nom des fichiers texte a changé. Le cas échéant, le module copiera et fusionnera les documents texte des cas en un, créant ainsi une nouvelle base de cas (*CaseBase.DATE.txt*). Le *module B* va vérifier la non-concordance du dossier Q.SyAPSE avec la base de données Répert'eau. Pour ce faire, il va chercher si tous les codes à 6 lettres (base de données Répert'eau) se retrouve en *CaseID* d'un des fichier texte (dossier Q.SyAPSE). Deux cas de non-concordance peuvent survenir :

- *Code Répert'eau n'existe pas – CaseID existe* : dans ce cas de figure, le *module B* va supprimer le fichier texte dont le code à 6 lettres n'existe plus (dossier Q.SyAPSE). Il déclenchera le *module A* qui mettra à jour la base de cas.
- *Code Répert'eau existe – Case ID n'existe pas* : dans ce cas de figure, le *module B* va vérifier la date de l'entrée dans Répert'eau. Si la date dépasse *N* temps et qu'aucun fichier texte n'a été généré, le *module B* va envoyer un message d'erreur au ROBVQ et bloquer le module de recherche Q.SyAPSE et le *module A* jusqu'à résolution du problème. Il faudra soit éditer et resoumettre la bonne pratique, soit identifier quel problème bloque la génération du fichier texte puis resoumettre la bonne pratique.

**Mise à jour du module de recherche** : Avant de pouvoir l'utiliser, l'utilisateur doit initialiser le module de recherche Q.SyAPSE. Cela permet de vérifier si la base de cas chargée doit être mise à jour et d'en charger la dernière version. Pour ce faire, le module va vérifier la date du fichier (*CaseBase.DATE.txt*).

**Dans les perspectives de recherche, la thèse propose d'autres approches à explorer en ce qui concerne la maintenance.**