



OUTIL DE PRIORISATION DES BASSINS VERSANTS POUR LA GESTION DES RISQUES DES INONDATIONS DANS LE CADRE DE LA MISE EN ŒUVRE DE L'INITIATIVE INFO-CRUE AU QUÉBEC

Rapport final
Août 2019

OUTIL DE PRIORISATION DES BASSINS VERSANTS POUR LA GESTION DES RISQUES DES INONDATIONS DANS LE CADRE DE LA MISE EN ŒUVRE DE L'INITIATIVE INFO-CRUE AU QUÉBEC

Rapport final

Août 2019

ÉQUIPE DE RÉALISATION :

Anissa Frini, Université du Québec à Rimouski
Clément Alexis Besnard, Université du Québec à Rimouski
Loubna Benabbou, Université du Québec à Rimouski
Mehdi Adda, Université du Québec à Rimouski
Thomas Buffin-Bélanger, Université du Québec à Rimouski

Avec la collaboration de

Marie-Andrée Roy, technicienne en géomatique, Université du Québec à Rimouski

Titre du projet Ouranos : Outil de priorisation des bassins versants pour la gestion des risques des inondations dans le cadre de la mise en œuvre de l'initiative INFO-Crue au Québec

Numéro du projet Ouranos : #510036

Citation suggérée : Frini A., Besnard C.A., Benabbou L., Adda M., Buffin-Bélanger, T. (2019). *Outil de priorisation des bassins versants pour la gestion des risques des inondations dans le cadre de la mise en œuvre de l'initiative INFO-Crue au Québec*. Rapport présenté Ouranos. Montréal. Université du Québec à Rimouski. 135 p. + annexe.

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

REMERCIEMENTS

Ce projet a été rendu possible grâce au financement accordé par Ouranos dans le cadre de l'initiative INFO-Crue au Québec.

Nous tenons à remercier plus particulièrement pour leur collaboration Alexandrine Bisaillon et Raphaël Desjardins d'Ouranos, Audrey Lavoie, Michaël Laliberté-Grenier et Frédéric Côté du ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Antoine Verville du regroupement des organismes de bassins versants du Québec, Jonathan Hume et Jean Philippe Baril Boyer du ministère de la sécurité publique, et Jean-Philippe Côté du ministère des affaires municipales et de l'habitation.



RÉSUMÉ

Contexte. Les inondations constituent le risque naturel le plus répandu dans le monde et qui a le plus d'impact, elles ont représenté, entre 1995 et 2015, 47% de toutes les catastrophes météorologiques [1]. Au Québec, plusieurs régions sont régulièrement touchées par ce risque et plusieurs événements extrêmes ont affecté le territoire ces dernières années. Au printemps 2017, la fonte des neiges et les pluies abondantes ont causé une crue historique des eaux et un nombre record de mouvements de terrain, provoquant des inondations historiques au Québec. Ces inondations ont sévi dans 15 régions administratives touchant 291 municipalités, plus de 5300 résidences, 4000 personnes évacuées et 400 routes endommagées [2]. Tout récemment, au printemps 2019, 13 500 sinistrés ont été évacués et plus de cinq mille maisons ont été inondées. Ces inondations ont eu des conséquences économiques considérables. 5000 demandes d'indemnisation ont été transmises et en date de juin 2019 un montant de 25,9 millions de dollars a été versé aux sinistrés [3]. Suite aux événements survenus en 2017, le gouvernement du Québec a mené une réflexion sur la gestion des risques des inondations dans un contexte de changements climatiques. Dans ce cadre, le MELCC a mis en place le projet INFO-Crue qui vise à cartographier l'aléa inondation pour le Québec avec une priorité pour les milieux densément peuplés et les milieux vulnérables. Plus particulièrement, le projet INFO-Crue vise à produire une délimitation des zones inondables tenant compte des changements climatiques et à développer une cartographie prévisionnelle des secteurs problématiques pouvant être inondés en quelques jours.

Objectifs du projet. Le projet présenté dans ce rapport s'inscrit dans le cadre de l'initiative INFO-Crue et vise le développement d'un outil de priorisation des bassins versants à cartographier. En s'appuyant sur les travaux existants, ce projet consolide une méthodologie d'analyse multicritère visant la priorisation des bassins versants dans un contexte de gestion de risque lié aux inondations. Il répond aux sous-objectifs suivants :

- Construction d'un arbre de décomposition hiérarchique des critères qui représente l'évaluation du risque d'inondation et sélection des critères de priorisation en collaboration avec l'équipe thématique.
- Pondération des critères de priorisation par un processus de concertation impliquant les membres de l'équipe thématique.
- Développement d'un outil d'aide la décision pour la priorisation des bassins versants selon les critères sélectionnés.
- Rédaction d'un guide d'utilisation pour l'outil de priorisation qui sera développé et organisation d'un atelier de formation pour les utilisateurs du système.

Méthodologie. La méthodologie du projet se décline en 4 volets.

- Le premier volet consiste à décomposer le problème de décision sous forme d'un arbre hiérarchique de critères qui va permettre d'évaluer les bassins versants au regard des enjeux liés aux orientations gouvernementales. Une approche de décomposition top-down inspirée de la méthode multicritère hiérarchique AHP est adoptée.
- Le deuxième volet de la méthodologie traite la pondération des dimensions/sous-dimensions/critères de l'arbre hiérarchique construit précédemment. La méthode AHP est utilisée avec une démarche de concertation impliquant les parties prenantes du projet afin d'aboutir aux poids à accorder aux éléments du modèle hiérarchique.
- Le troisième volet consiste à développer un outil informatisé qui permettra le rangement des bassins versants. Nous utilisons la méthode d'agrégation multicritère TOPSIS basée sur la

maximisation du coefficient de rapprochement à l'idéal à chaque alternative (bassin versant). L'outil développé est une application Web avec possibilité de l'exécuter localement. Il est conçu en utilisant le cadre de développement d'applications Web Shiny. Ce dernier se base à son tour sur les langages de programmation R et JavaScript, le langage de balisage HTML et le langage de style CSS. ElectronJS a été utilisé pour le développement d'une version « Application de bureau » de l'outil pour une exécution locale.

- *Le quatrième volet de la méthodologie se focalise sur le transfert de connaissances par la tenue d'un atelier de formation avec les utilisateurs des connaissances et la rédaction d'un guide d'utilisation de l'outil de priorisation qui sera développé.*

Résultats. Un comité thématique a été impliqué pour la structuration du problème. La logique de priorisation des bassins versants pour la réalisation du programme INFO-Crue devait s'inscrire dans les grandes orientations gouvernementales visant principalement la protection des personnes, la réduction des dommages aux biens matériels et des pertes économiques ainsi que la protection et la conservation des fonctions écosystémiques naturels. Dans cette logique et pour considérer les composantes fondamentales nécessaires à une évaluation du risque, une structure hiérarchique comportant quatre dimensions fondamentales (aléa, vulnérabilité, conséquences historiques et résilience) et une gamme de sous-dimensions et de critères a été validée par l'équipe thématique. Par la suite, pour chaque critère, l'équipe de réalisation du projet a proposé une liste exhaustive d'indicateurs en indiquant la disponibilité des données pour chacun d'eux. À partir de cette liste exhaustive, une liste simplifiée d'indicateurs composée seulement de ceux dont les données seraient disponibles/accessibles a été retenue. Cinq rencontres ont été tenues pour la décomposition hiérarchique du problème et l'adoption des indicateurs.

Parallèlement, trois rencontres de concertation ont eu lieu avec le comité thématique pour pondérer les critères en utilisant l'approche AHP. Les critères ont été d'abord comparés deux à deux. Les professionnels du ministère de la Sécurité publique n'ont pas participé à l'exercice de pondération des critères car il n'existe aucune orientation du ministère de la Sécurité publique permettant de privilégier un critère à un autre. L'exercice de pondération a eu lieu avec les autres membres (une représentante du ministère de l'environnement et de lutte contre les changements climatiques, un représentant du regroupement des organismes de bassins versants du Québec et une représentante d'Ouranos). À l'issue de cette démarche, des scores communs selon l'échelle de Saaty ont été attribués à chaque comparaison par paire. Les pondérations ont été par la suite calculées, revues en fonction des indices de cohérence et validées par l'équipe thématique.

Par la suite, un outil de priorisation des bassins versants a été développé. Cet outil est constitué d'un ensemble de fonctionnalités intégrées et qui couvrent le processus complet de priorisation en combinant les méthodes AHP et TOPSIS. Il comporte une base de connaissances constituée de la hiérarchie des composantes d'analyse de risques et des comparaisons par paires résultants de l'exercice de concertation. L'outil développé est flexible puisqu'il offre la possibilité de choisir dans un exercice de priorisation donné seulement certains éléments de la hiérarchie des composantes d'analyse de risque. Par ailleurs, étant donné que les données d'évaluation des bassins versants n'étaient pas encore disponibles lors de la rédaction de ce présent rapport, et afin de pouvoir tester l'outil, un générateur automatique de matrices de données a été développé. Afin de vérifier le bon fonctionnement de l'outil développé, des tests ont été effectués tout au long du processus de développement.

Suites recommandées : En terme méthodologique, nous pensons que l'apprentissage automatique en général et l'apprentissage profond en particulier seront une piste à envisager pour valoriser les données collectées. En effet, certaines publications récentes ont démontré la valeur ajoutée des algorithmes de l'apprentissage profond pour faire face au grand volume de données et à la nature peu conventionnelle de ces données qui n'a pas été envisagée dans les modèles hydrauliques classiques [4, 5]. Chaque nouvelle

source de données (CubeSats, véhicules aériens sans pilote, photogrammétrie numérique combinée avec la vision par ordinateur, capteurs IoT) nécessite des modèles appropriés pour l'exploiter pleinement. A priori, les algorithmes d'apprentissage profond permettront un traitement rapide de ces données tout en intégrant l'expertise humaine dans la construction des modèles [4].

TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction	1
2.	Contexte et objectifs.....	3
2.1	Contexte.....	3
2.2	Objectifs	4
3.	Le risque inondation	5
3.1	La définition du risque inondation.....	5
3.2	Le rôle des principales catégories d'enjeux dans l'analyse du risque.....	7
4.	Séquence Méthodologique.....	11
4.1	Structuration hiérarchique du problème et choix des critères	11
4.2	Pondération des critères.....	12
4.3	Développement de l'outil de priorisation.....	13
4.4	Transfert de connaissances.....	13
5.	Fondements méthodologiques.....	14
5.1	La démarche d'aide multicritère à la décision participative (AMCDP)	14
5.1.1	Les formes de la participation.....	14
5.1.2	La démarche d'aide multicritère à la décision participative (AMCDP)	15
5.2	La méthode AHP	17
5.3	La méthode TOPSIS	20
6.	La démarche menant à la Décomposition hiérarchique des critères et leur pondération.....	23
6.1	Arbre hiérarchique : dimensions / Sous-dimensions / critères	23
6.1.1	Dimension « Aléa »	24
6.1.2	Dimension « Vulnérabilité ».....	34
6.1.3	Dimension « Conséquences historiques »	42
6.1.4	Dimension « Résilience »	47
6.2	Inventaire et sélection des indicateurs.....	51
6.2.1	Inventaire des indicateurs.....	52
6.2.2	Sélection des indicateurs	54
6.3	Pondération	57
6.3.1	Résultat des comparaisons par paires	57
6.3.2	Pondérations obtenues.....	60
7.	Outil de priorisation	66
7.1	Fonctionnalités de l'outil.....	66

7.2	Documentation	67
7.2.1	Sélection des Composantes d'analyse de risques.....	67
7.2.2	Poids des critères/indicateurs avec AHP.....	69
7.2.3	Priorités des bassins versants avec TOPSIS.....	76
7.2.4	Modification du thème de l'interface graphique.....	83
7.2.5	Guide interactif sur l'utilisation de l'outil	84
7.3	Test et Validation	85
7.3.1	Tests séparés de AHP et TOPSIS.....	85
7.3.2	Tests t'intégration.....	88
7.4	Déploiement	93
7.5	Atelier de formation.....	94
8.	Conclusion.....	95
	Références	96
	ANNEXE 1	99

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Les composantes de l'évaluation du risque inondation.	5
Figure 2.	Schéma des interdépendances entre réseaux. En pointillé, les situations spécifiques aux situations d'inondation.	10
Figure 3.	Le niveau d'implication des parties prenantes selon l'approche du processus décisionnel [18].	14
Figure 4.	La démarche de l'AMCDP [22].	16
Figure 5.	Structure hiérarchique AHP.	17
Figure 6.	Illustration du calcul du poids des indicateurs.....	20
Figure 7.	Les quatre dimensions fondamentales de l'arbre hiérarchique menant à l'évaluation du niveau de risque inondation à l'échelle d'un bassin-versant.	24
Figure 8.	Décomposition de la dimension « Aléa ».....	25
Figure 9.	Décomposition de la sous-dimension aléa primaire.....	26
Figure 10.	Illustration d'une zone tampon (ZT) autour de la rivière Yamaska en aval et en amont du pont de l'autoroute 20 près de Saint-Hyacinthe. La ZT est délimitée par le trait vert.....	28
Figure 11.	Illustration d'un ZIHfixe autour de la rivière Yamaska en aval et en amont du pont de l'autoroute 20 près de Saint-Hyacinthe. La ZIHfixe est représentée par la surface bleu.	29
Figure 12.	Décomposition de la sous-dimension « Données historiques sur les inondations.	30
Figure 13.	Décomposition de la sous-dimension « Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques ».....	31
Figure 14.	Décomposition de la sous-dimension « Caractéristiques physiques actuelles ».....	31
Figure 15.	Décomposition de la sous-dimension « Perturbations anthropiques potentielles ».....	32
Figure 16.	Décomposition de la sous-dimension « Aléa secondaire ».	32
Figure 17.	Décomposition de la sous-dimension « Aléa secondaire d'origine anthropique ».	33
Figure 18.	Premier niveau de la décomposition de la dimension « Vulnérabilité ».	35
Figure 19.	Décomposition complète de la dimension « Vulnérabilité ».	36
Figure 20.	Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des personnes ».	37
Figure 21.	Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité physique ».....	38
Figure 22.	Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des infrastructures et des servuces (bâtiments et réseaux ».	39
Figure 23.	Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des bâtiments ».	40
Figure 24.	Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des réseaux ».	40
Figure 25.	Décomposition complète de la dimension « Conséquences historiques ».	42
Figure 26.	Décomposition de la dimension « Conséquences historiques ».	43
Figure 27.	Décomposition de la sous-dimension « Conséquences physiques ».....	44
Figure 28.	Décomposition de la sous-dimension « Conséquences économiques ».	45
Figure 29.	Décomposition de la sous-dimension « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés ».....	46
Figure 30.	Décomposition de la dimension « Résilience ».	48
Figure 31.	Décomposition de la dimension « Mesures d'atténuation existantes ».	49

Figure 32.	Exemple illustré de la mesure de l'exposition des personnes par la combinaison d'indicateurs de dénombrement (1), de proportion (2) et de densité (3) permettant une forme d'équité comparative des bassins versant au moment de la priorisation selon la taille des communautés exposées et la répartition spatiale des enjeux.	56
Figure 33.	Menu pour la sélection des composantes d'analyse de risques.	67
Figure 34.	Hiérarchie des composantes d'analyse de risques.	68
Figure 35.	Accès à une version JSON de la base de connaissances.	68
Figure 36.	Sélection de branches de la hiérarchie.	69
Figure 37.	Calcul des poids avec AHP.....	70
Figure 38.	Extraction et visualisation des pondérations.....	70
Figure 39.	Génération des matrices AHP avec calcul des valeurs de consistance et des priorités (poids relatifs).	71
Figure 40.	Téléchargement des tableaux résultant des calculs AHP.	72
Figure 41.	Tous les poids absolus.....	73
Figure 42.	Poids absolus des critères.	74
Figure 43.	Poids absolus des indicateurs.	75
Figure 44.	Téléchargement des tableaux de poids.	76
Figure 45.	Parcours des poids par pagination.....	76
Figure 46.	Nombre de poids à afficher par page.	76
Figure 47.	Priorisation des bassins versants avec TOPSIS.....	77
Figure 48.	Exemple de matrice de données pour priorisation.	78
Figure 49.	Chargement et visualisation d'une matrice de priorisation.	79
Figure 50.	Priorisation avec TOPSIS (Tableau).	80
Figure 51.	Priorisation avec TOPSIS (Carte).	81
Figure 52.	Priorisation avec TOPSIS (Carte : zoomer/dézoomer).	82
Figure 53.	Priorisation avec TOPSIS (Carte : affichage d'informations de base).	82
Figure 54.	Priorisation avec TOPSIS (Carte : affichage d'informations supplémentaires).....	83
Figure 55.	Modification du thème de l'Interface graphique.....	83
Figure 56.	Onglet du guide interactif.	84
Figure 57.	Une des étapes du guide interactif.	84
Figure 58.	Matrice de données pour test de priorisation avec TOPSIS.	86
Figure 59.	Vecteur de poids et optimisation pour test de priorisation avec TOPSIS.....	86
Figure 60.	Résultat de priorisation avec l'outil externe (test 01)..	87
Figure 61.	Résultat de priorisation avec l'outil développé (test 01).....	87
Figure 62.	Résultat de priorisation avec l'outil externe (test 02).	88
Figure 63.	Résultat de priorisation avec l'outil développé (test 02).....	88
Figure 64.	Vue partielle de la hiérarchie du test d'intégration 01.....	89
Figure 65.	Vue partielle de la hiérarchie du test d'intégration 02.....	90
Figure 66.	Matrice de données pour test d'intégration.	91
Figure 67.	Résultats partiels de priorisation lors du test d'intégration 01.	92
Figure 68.	Résultats partiels de priorisation lors du test d'intégration 02.	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Matérialisation du risque selon la combinaison des composantes d'exposition à l'aléa et de sensibilité des enjeux.....	6
Tableau 2.	Échelle sémantique de Saaty [10]......	18
Tableau 3.	Exemple de matrice de comparaison par paires pour n=3.	18
Tableau 4.	Indice aléatoire moyen IAC [10]......	19
Tableau 5.	Récapitulatif du nombre de critères et du nombre d'indicateurs par dimension.	51
Tableau 6.	Résultats des comparaisons par paires.....	57
Tableau 7.	Pondération des 4 dimensions principales.	60
Tableau 8.	Pondération des éléments de la dimension « Aléa ».....	61
Tableau 9.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Aléa primaire ».	61
Tableau 10.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Données historiques sur les inondations ».	61
Tableau 11.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques.....	61
Tableau 12.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Caractéristiques physiques actuelles.	61
Tableau 13.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Perturbations anthropiques potentielles ».	62
Tableau 14.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Aléa secondaire ».	62
Tableau 15.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Aléa secondaire d'origine anthropique ».	62
Tableau 16.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité ».	62
Tableau 17.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des personnes ».	62
Tableau 18.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité physique ».	63
Tableau 19.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des infrastructures et des services ».	63
Tableau 20.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des bâtiments ».	63
Tableau 21.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des réseaux ».	63
Tableau 22.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Conséquences historiques ».	64
Tableau 23.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Conséquences physiques ».	64
Tableau 24.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Conséquences économiques ».	64
Tableau 25.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés ».	64
Tableau 26.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Résilience ».	64
Tableau 27.	Pondération des éléments de la sous-dimension « Mesures d'atténuation existantes ».	65
Tableau 28.	Fonctionnalités de l'outil.	66

1. INTRODUCTION

Les inondations constituent le risque naturel le plus répandu dans le monde et qui a le plus d'impact, elles ont représenté, entre 1995 et 2015, 47% de toutes les catastrophes météorologiques [1]. Au Québec, plusieurs régions sont régulièrement touchées par ce risque et plusieurs événements extrêmes ont affecté le territoire ces dernières années. Tout récemment, au printemps 2019, 13 500 sinistrés ont été évacués et plus de 5 000 maisons ont été inondées. Ces inondations ont eu des conséquences économiques considérables. 5 000 demandes d'indemnisation ont été transmises et en date de juin 2019 un montant de 25,9 millions de dollars a été versé aux sinistrés [3].

Suite aux inondations historiques du printemps 2017, le gouvernement du Québec a déclenché une série d'initiatives et de projets. Dans ce cadre, le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC), en collaboration avec plusieurs partenaires, a lancé le projet INFO-Crue. Ce projet vise, entre autres, à délimiter les zones inondables par une cartographie pour appuyer l'aménagement du territoire mais aussi pour soutenir la prévisibilité des inondations en temps réel pour une grande partie du Québec méridional, et ce en tenant compte des changements climatiques. Afin d'atteindre cet objectif, le MELCC et Ouranos ont lancé un appel à propositions pour la création d'un outil d'aide à la décision visant la priorisation des bassins versants en vue de la cartographie des zones inondables sur tout le territoire. Ce territoire comprend plus de 250 bassins versants situés dans le Québec méridional, se drainant directement dans le Saint-Laurent fluvial et maritime, la rivière des Outaouais, le Saguenay, le lac Saint-Jean constitueront le territoire à l'étude. Le Saint-Laurent lui-même est exclu. À partir des résultats de la priorisation, la collecte des données sur le terrain sera lancée afin d'ajuster les modèles hydrauliques et concevoir la cartographie. L'équipe de l'UQAR a été mandatée dans le cadre de cet appel à projet pour développer l'outil de priorisation des bassins versants.

L'objectif de ce projet est le développement d'un outil de priorisation des bassins versants à cartographier dans le cadre du projet INFO-Crue. Deux préoccupations majeures ont guidé ce projet : (i) la co-construction et la pondération des critères avec l'équipe thématique en adoptant une démarche participative d'aide multicritère à la décision (ii) la flexibilité et la simplicité d'utilisation de l'outil informatisé afin de prioriser les bassins versants. Pour ce faire, nous préconisons une méthodologie basée sur une approche participative de concertation avec l'équipe thématique du projet et les méthodes d'aide multicritère à la décision.

Le premier défi de ce projet est de capitaliser sur les travaux dans la littérature et les connaissances d'experts afin de construire et de pondérer les critères de priorisation avec l'équipe thématique. Ces critères doivent prendre en compte les orientations gouvernementales en matière de gestion du risque inondation à savoir : la protection des vies humaines, la réduction de l'impact des inondations sur la santé, la réduction des coûts économiques liés aux inondations et la réduction des impacts de celles-ci sur la qualité de l'eau et les écosystèmes. La diversité des critères de priorisation et celle des indicateurs qui vont caractériser les bassins versants nécessite l'utilisation d'un outil informatisé flexible. Cet outil permettra d'ordonner les bassins versants en faisant appel à une méthode d'aide multicritère à la décision. Le développement d'un tel outil constitue le deuxième défi.

Il existe plusieurs définitions du risque inondation qui sont généralement liées à l'aléa. Selon le MSP, le risque inondation est défini par la probabilité qu'un phénomène ou un aléa naturel ou anthropique survienne dans une zone où des enjeux matériels et humains sont présents [6]. Le risque inondation est

donc le produit de l'aléa naturel lui-même, l'inondation, mais aussi de la sensibilité des enjeux qui peuvent être touchés par ce risque. Afin de prioriser les bassins versants, l'évaluation du risque inondation comporte quatre dimensions fondamentales: (i) aléa (ii) vulnérabilité (iii) conséquences historiques et (iv) résilience. La dimension «Aléa» apporte la notion d'incertitude dans l'analyse du risque inondation. En s'appuyant sur la disponibilité des données, cette dimension permet de valider l'occurrence de l'inondation pour chaque bassin versant. La notion de vulnérabilité est souvent associée à la sensibilité et la disposition des enjeux à subir des dommages. Dans le cadre de ce projet, la dimension « Vulnérabilité» permet de mesurer les conséquences potentielles de l'aléa en vérifiant, notamment, la présence ou non d'enjeux à l'intérieur de la Zone d'inondation potentielle (ZIP). La dimension « Conséquences historiques » quantifie les impacts réels des inondations passées sur les enjeux. Enfin, une étude du risque ne serait être complète sans tenir compte des mesures d'atténuation des risques et des capacités des communautés à faire face à l'aléa. C'est pourquoi la dimension « Résilience » s'ajoute à l'évaluation du risque inondation proposée dans ce projet.

Nous décrivons dans ce rapport les composantes du projet menant au développement de l'outil de priorisation. Le rapport comporte 6 chapitres.

Le chapitre 2 expose le contexte et les objectifs du projet.

Le chapitre 3 positionne les définitions des concepts de base du risque inondation en sécurité civile. Il met l'accent particulièrement sur la spécificité de la notion de vulnérabilité et les principales catégories d'enjeux.

Le chapitre 4 décrit la séquence méthodologique composée de quatre volets. Le volet 1 traite la structuration hiérarchique du problème de priorisation des bassins versants et la définition des critères et des indicateurs. Le volet 2 propose de pondérer ces critères et par la suite les indicateurs en faisant appel à la méthode d'aide multicritère à la décision AHP. Dans le volet 3 de la méthodologie, nous traitons le développement de l'outil informatisé de priorisation qui permet de ranger les bassins versants en appliquant la méthode d'agrégation multicritère TOPSIS. Le transfert des connaissances constitue le quatrième volet de la séquence méthodologique.

Le chapitre 5 traite des approches et des méthodes d'aide multicritère à la décision utilisées dans le cadre de ce projet. Nous allons commencer par expliquer la démarche d'aide multicritère à la décision participative, par la suite, nous allons présenter les deux méthodes de critère unique de synthèse : AHP et TOPSIS.

Le chapitre 6 synthétise les étapes qui nous ont permis de développer l'outil de priorisation. Nous y exposons les résultats de la décomposition hiérarchique, les comparaisons par paires et les pondérations des dimensions, sous-dimensions et des critères.

Le chapitre 7 détaille finalement d'un côté les fonctionnalités de l'outil et la documentation associée. La documentation va expliquer quatre aspects : (i) les composantes d'analyse de risques (ii) les poids des critères indicateurs avec AHP (iii) les priorités des bassins versants avec TOPSIS et (iv) la modification qu'on peut apporter au thème de l'interface graphique. D'un autre côté, il présente les tests de validation, le déploiement de l'outil et le déroulement de l'atelier de formation.

Nous concluons ce rapport en rappelant les contributions de ce projet et en présentant quelques pistes d'amélioration et d'évolution futures.

2. CONTEXTE ET OBJECTIFS

2.1 CONTEXTE

Au printemps 2017, la fonte des neiges et les pluies abondantes ont causé une crue historique des eaux et un nombre record de mouvements de terrain, provoquant des inondations historiques au Québec. Ces inondations ont sévi dans 15 régions administratives touchant 291 municipalités, plus de 5300 résidences, 4000 personnes évacuées et 400 routes endommagées [2]. Suite à ces événements, le gouvernement du Québec a mené une réflexion sur la gestion du risque inondation dans un contexte de changements climatiques. Dans ce cadre, le MELCC a mis en place le projet INFO-Crue qui vise à cartographier l'aléa inondation pour le Québec avec une priorité pour les milieux densément peuplés et les milieux vulnérables. Plus particulièrement, le projet INFO-Crue vise à produire une délimitation des zones inondables tenant compte des changements climatiques et à développer une cartographie prévisionnelle des secteurs problématiques pouvant être inondés en quelques jours.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'initiative INFO-Crue et vise le développement d'un outil de priorisation des bassins versants à cartographier. Cette priorisation devrait suivre un processus structuré d'aide multicritère à la décision qui prend en compte les multiples composantes du problème. Parmi ces composantes figure en premier lieu la nécessité de refléter les orientations gouvernementales en matière de sécurité civile et d'aménagement du territoire. Ces orientations impliquent la nécessité d'appuyer l'évaluation des bassins versants sur les principes de la gestion du risque inondation où figurent la caractérisation de l'aléa (récurrence, durée, vitesse, profondeurs) et l'évaluation de la vulnérabilité (vies humaines et conséquences sur la santé, endommagement des infrastructures et impacts sur les activités économiques, qualité de l'eau et des écosystèmes).

De plus, la priorisation devrait se baser sur une méthodologie de décision qui pourra gérer i) la multiplicité des critères d'évaluation parfois conflictuels, mesurés sur différentes échelles de mesure, quantitatifs pour certains et qualitatifs pour d'autres, ii) la multiplicité des parties prenantes avec différents systèmes de préférences et de valeurs, et iii) l'imperfection des données qui peuvent être des fois imprécises, ambiguës, mais surtout non disponibles. Particulièrement, la disponibilité des données est un enjeu de taille. L'existence des bases de données pouvant alimenter les différents indicateurs est primordiale dans le processus de priorisation. Plusieurs enjeux y sont reliés tels que la disponibilité des données sur l'ensemble du territoire du Québec méridional, la conformité de la résolution spatiale des données à l'échelle de l'analyse des bassins versants, l'accessibilité des données (publiques, sensibles, confidentielles ou payantes) ainsi que la qualité des données (véracité, justesse, crédibilité, actualité).

Dans ce contexte et au vue des différents enjeux, l'aide multicritère à la décision et plus particulièrement l'aide multicritère à la décision participative nous apparaissent comme des approches intéressantes et très pertinentes dans le contexte. En effet, elles permettent la prise en compte d'une multiplicité de critères et d'une multiplicité d'acteurs avec des systèmes de valeur différents et parfois divergents. De surcroît, elles ont déjà été utilisées dans le domaine de la gestion du risque en général et le risque inondation en particulier [7-9].

2.2 OBJECTIFS

L'objectif général de ce projet consiste à développer un outil de priorisation des bassins versants à cartographier dans le cadre du projet INFO-Crue. En s'appuyant sur les travaux existants, ce projet consolidera une méthodologie d'analyse visant la priorisation des bassins versants dans un contexte de gestion de risque lié aux inondations. Cet objectif s'incline en quatre objectifs spécifiques :

Objectif 1 : Sélectionner les critères de priorisation en collaboration avec l'équipe thématique. Ce premier objectif vise à faire un choix éclairé des critères d'évaluation à retenir et qui vont permettre d'évaluer les bassins versants au regard des enjeux liés aux orientations gouvernementales en matière de gestion de risque lié aux inondations et en matière d'aménagement du territoire. C'est à cette étape que les indicateurs sont également proposés. Nous compilerons une liste exhaustive d'indicateurs à partir de laquelle une deuxième liste dont les données seraient disponibles sera retenue.

Objectif 2 : Pondérer les critères de priorisation en collaboration avec l'équipe thématique. Ce deuxième objectif repose sur la pondération des critères retenus par les différentes parties prenantes dans le cadre d'une démarche participative. Il consiste à concerter les parties prenantes sur les poids à accorder aux critères de priorisation.

Objectif 3 : Développer un outil d'aide à la décision pour la priorisation des bassins versants selon les critères sélectionnés. Ce troisième objectif consiste à développer un outil informatisé qui permettra de fournir une priorisation des bassins versants reflétant le niveau de risque quant aux inondations.

Objectif 4 : Produire un guide d'utilisation pour l'outil de priorisation qui sera développé et organisation d'un atelier de formation pour les utilisateurs du système. Ce quatrième objectif vise à favoriser la compréhension et l'appropriation de l'outil développé par les futurs utilisateurs.

3. LE RISQUE INONDATION

3.1 LA DÉFINITION DU RISQUE INONDATION

Dans ce rapport, nous entendons par « phénomène d'inondation » ou « aléa d'inondation », le processus fluvial de submersion naturel de la plaine alluviale¹ par opposition au terme « inondation », employé seul, qui se rapporte davantage aux conséquences humaines observées à l'intersection des zones anthropiques et d'aléa d'inondation. Lorsqu'étudié seul (sans prendre en considération le milieu humain avec lequel il peut y avoir interaction), l'aléa d'inondation est habituellement qualifié de crue (bien qu'en anglais, on ne fasse, à priori, pas de distinction : *flood* = crue et inondation). Dans sa définition, la crue peut ne pas déborder sur la plaine, mais lorsqu'elle l'inonde, elle peut alors causer une inondation en présence d'enjeux humains. Ainsi, des synonymes tels que « crue », « débordement de cours d'eau » ou encore « aléa de submersion fluvial » auraient pu également convenir.

Le terme « risque » correspond à la probabilité qu'un phénomène ou un aléa naturel ou anthropique survienne dans une zone où des enjeux matériels et humains sont présents. Dans ce contexte, on parle alors d'enjeux exposés à un aléa, mais pas encore de dommages potentiels. Les dommages potentiels ou les impacts indésirables d'un aléa s'expriment lorsque les objets ou les personnes exposés prédisposent de caractéristiques les rendant sensibles aux processus physiques ou facteurs d'impact de l'aléa manifestés ou prédits. Dans cet optique, la Figure 1 propose une illustration des composantes de l'évaluation du risque inondation qui ont structuré la présente étude.

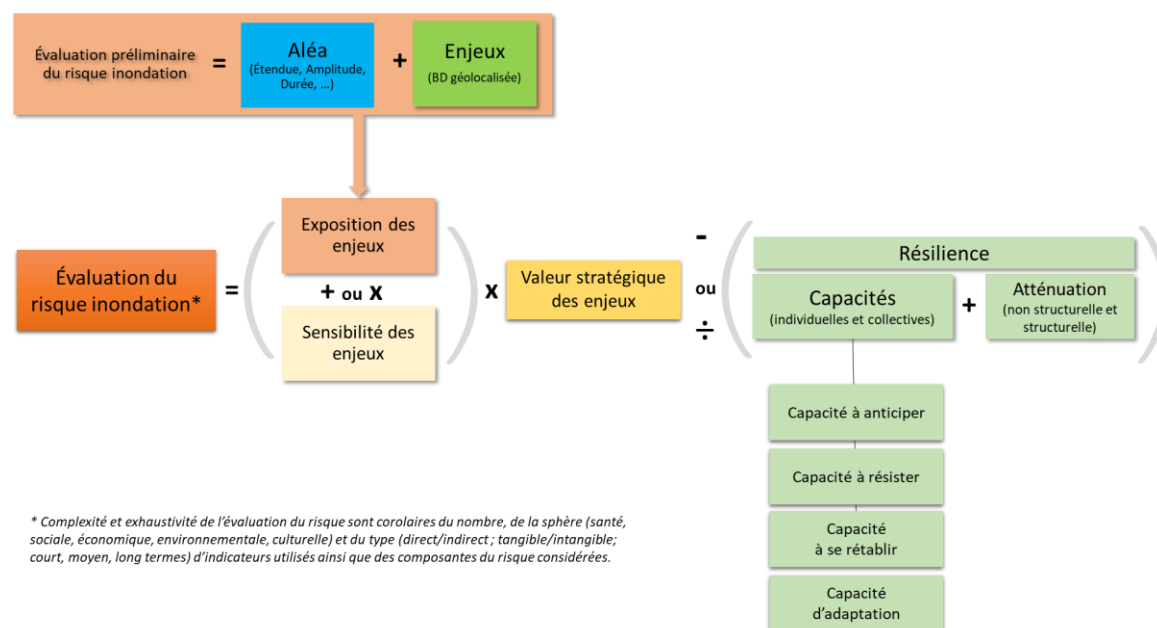


Figure 1. Les composantes de l'évaluation du risque inondation.

¹ Aussi plus connue sous le nom de plaine inondable.

Les définitions du risque sont nombreuses dans la littérature scientifique, notamment en raison du grand nombre de domaines où il apparaît (finance, médecine, ingénierie, géographie...). Il nous importait ici de positionner un cadre conceptuel en lien avec les orientations du ministère de la sécurité publique du Québec [6]. Ainsi, l'évaluation du risque proposée dans ce projet calque, à quelques nuances près, celle de la vulnérabilité proposée par le MSP [6] :

$$\text{Vulnérabilité (niveau de)} = \text{degré d'exposition} + \text{sensibilité} + \text{valeur stratégique}$$

Le degré d'exposition des enjeux varie selon l'étendue et les facteurs d'impacts de l'aléa. Il est modulé entre autres par le nombre et la concentration des éléments exposés, par la durée de l'exposition, par l'intensité de l'exposition (hauteur et vitesse) et par la proximité avec la source de l'aléa. La sensibilité des enjeux exposés varie selon les capacités ou incapacités à anticiper l'aléa, à faire face/à résister à l'aléa et à se rétablir après le sinistre. Autrement dit, la sensibilité est modulée par la présence de mesures d'atténuation ou de facteurs de résistance augmentant la résilience et réduisant le risque ou encore par la présence de caractéristiques prédisposant à l'endommagement ou diminuant la résilience et augmentant le risque. Finalement, la valeur stratégique des enjeux exposés varie selon leur utilité pour la gestion des risques ou le bon fonctionnement de la société (*mais pas seulement*). Elle s'apparente à l'application d'une pondération qui vient moduler le risque. La valeur ou le poids attribué à l'enjeu dépend des convictions et des perceptions subjectives (degré d'attachement émotionnel) ou objectives (prévalence vis-à-vis d'un domaine d'expertise ou d'un palier gouvernemental) de l'évaluateur, mais aussi de l'objectif du projet et de l'échelle de l'analyse dans lequel s'insère l'enjeu.

Trois particularités sont à noter dans l'illustration des composantes de l'évaluation du risque proposée dans la Figure 1 et l'évaluation du niveau de vulnérabilité proposée par le MSP. D'abord, il apparaît clair que la définition de vulnérabilité du MSP répond à la définition proposée du risque, car elle n'est effective que par sa combinaison avec l'aléa. Autrement dit, on ne parle pas de la vulnérabilité d'une population d'enjeux d'un territoire sans leur exposition à un aléa tel qu'on peut le voir dans certaines études, mais plutôt de la vulnérabilité d'un sous-échantillon d'une population d'enjeux d'un territoire qui est spécifique à la zone où se manifeste l'aléa. Pour résumer, sans l'exposition d'enjeux, et de surcroît, sensibles à un aléa, la vulnérabilité ou le risque n'existe pas (Tableau 1).

Tableau 1. Matérialisation du risque selon la combinaison des composantes d'exposition à l'aléa et de sensibilité des enjeux.

Enjeu		Exposé à un aléa ?	
		Oui	non
Sensible ?	oui	Risque/vulnérabilité existant(e)	Pas de risque/vulnérabilité
	non	Pas de risque/vulnérabilité	Pas de risque/vulnérabilité

Ensuite, et tel que mis en évidence dans la définition de sensibilité présentée ci-haut, la sensibilité peut aussi bien être définie par l'absence/présence de caractéristiques prédisposant à l'endommagement que par l'absence/présence de caractéristiques prédisposant à la résilience. Ainsi, dans l'évaluation de la vulnérabilité du MSP, la résilience est considérée comme une sous-composante intrinsèque de la sensibilité. Or, dans l'illustration des composantes de l'évaluation du risque proposée ici (cf. Figure 1), nous dissociions la résilience de la sensibilité. Les raisons justifiant cette distinction seront présentées plus

amplement lors de la présentation de la décomposition des dimensions fondamentales de l'évaluation du risque de cette étude.

D'après ces définitions, trois scénarios d'évaluation du risque (ou de vulnérabilité) sont possibles avec un niveau de détails variables dépendamment de la disponibilité et du traitement des données au moment de sélectionner les indicateurs. Dans un ordre d'importance allant du scénario qui privilégie une définition du risque dans son sens le plus complet au scénario qui propose une définition partielle ou superficielle du risque : a) éléments sensibles exposés, b) éléments exposés, c) éléments sensibles sur le territoire du bassin versant (pas de risque sans exposition). Dans le cadre du projet, nous avons privilégié le scénario « a » dès que les données le permettaient. En effet, il n'est pas toujours possible de documenter la sensibilité des enjeux avec un effort d'acquisition et de traitement minimal à modéré des données. De plus, certaines données n'existent tout simplement pas ou ne sont pas accessibles en raison de leur caractère confidentiel.

3.2 LE RÔLE DES PRINCIPALES CATÉGORIES D'ENJEUX DANS L'ANALYSE DU RISQUE

Dépendamment des objectifs à atteindre ou des intérêts soumis par les parties prenantes du projet, les enjeux intégrés aux analyses de risque ne sont jamais les mêmes. De ce fait, les enjeux peuvent être regroupés de différentes façons. Cependant, on entend habituellement parler de deux grands ensembles de catégories d'enjeux soit, « les personnes et les biens » et « les enjeux d'ordre social, physique, économique et environnemental ». Voici, à quoi correspondent les grandes catégories d'enjeux mentionnées² :

- Les personnes ou les enjeux sociaux sont rattachés à ce qui touche à l'individu et à son intégrité dans la société humaine habituellement mesurable via des paramètres liés au bien-être, à la santé ou au statut socioéconomique. Dans les analyses de risque, cette catégorie d'enjeu est, avant toute chose, abordée à travers le dénombrement de la population exposée à l'aléa sans distinction de genre ou de classe sociale. Les caractéristiques démographiques et le statut socio-économique des ménages sont souvent secondaires ou intégrés à des analyses de risque plus détaillées pouvant servir à définir la capacité d'adaptation ou de proxy pour l'estimation de la capacité à résister à un aléa et à s'en rétablir.
- Les biens sont, de prime abord, rattachés à l'aspect matériel meuble ou immeuble, tels que le sont les constructions, les bâtiments, les infrastructures, le mobilier, les équipements et les marchandises. Par exemple, une route, une résidence, un hôtel de ville, un entrepôt et un hôpital entrent tous dans cette catégorie. Par contre, il ne faut pas seulement voir les biens comme des structures matérielles passives, car ils abritent des services collectifs ou essentiels à la société et sont les lieux de vie domestiques et de travaux de la population. Le dénombrement des biens exposés à l'aléa est souvent l'objet premier des analyses de risque avant la mesure de leur sensibilité. L'analyse de la sensibilité permet assurément de trouver, par la suite, de meilleures solutions de protection à l'échelle individuelle des immeubles et, par le fait même, de mieux protéger les personnes et les activités qu'ils hébergent.

² Il est important de noter qu'il n'existe pas une seule façon de catégoriser les enjeux et ainsi de définir le contenu des catégories d'enjeux.

- Les enjeux physiques, dits parfois « territoriaux », englobent les biens matériels et, à plus petite échelle, les objets propres au domaine de l'aménagement du territoire tels que les affectations du territoire ou les usages prédominants qui apportent une information sur l'occupation des sols et l'utilisation actuelle ou envisagée des territoires municipaux. Dans une analyse de risque, ces entités territoriales permettent de calculer rapidement les superficies exposées à l'aléa, mais aussi de vérifier la compatibilité des usages territoriaux avec l'aléa. Par exemple, les territoires forestiers et les espaces verts récréatifs ont naturellement une plus grande résistance aux aléas d'inondation. Ainsi, il est possible de tirer de rapide conclusion quant à l'exposition ou à la vulnérabilité, par fait établi sur le degré de résistance ou de sensibilité, propre à chaque entité. Enfin, de cette catégorie d'enjeux peut aussi découler des analyses de sensibilité territoriale liées aux déplacements, aux ravitaillements, au bon fonctionnement des communautés ou à l'interdépendance des infrastructures critiques (ex. : les hôpitaux et le réseau électrique) qui sont souvent rattachés à des problématiques d'impacts indirects. Par exemple, pour ce qui est de l'interdépendance, plus les infrastructures sont dépendantes du bon fonctionnement d'autres infrastructures, plus il est probable que leur propre fonctionnement soit remis en cause lors d'un sinistre. En effet, en plus de la possibilité de subir les conséquences directes de l'aléa, celles-ci peuvent aussi potentiellement subir les conséquences indirectes du dysfonctionnement des infrastructures dont elles dépendent. Ce type d'impact peut avoir un effet domino qui peut parfois se répercuter sur des territoires voisins qui ne sont pas directement exposés à l'aléa.

- Les enjeux dits « économiques » sont rattachés, de prime abord, à la valeur monétaire des biens produits et des recettes générées par les entreprises ou les secteurs industriels et commerciaux. Ils permettent d'assurer la prospérité financière des communautés et des territoires desquels ils sont ou proviennent. Dans une analyse de risque, la subsistance du secteur économique face à un aléa est mesurable par son bon état de santé économique initial (investissements financiers, retombés économiques locales/régionale/national..., nombre d'employés et d'entreprises...), mais aussi par la diversité des sous-secteurs d'activité économique. L'évaluation se fait dans l'optique du maintien d'une économie viable et durable dont l'état de santé sociale est en partie lié.

- Les enjeux environnementaux sont attribués aux éléments du paysage naturel qui assurent des fonctions écosystémiques ou des processus physiques et chimiques essentiels au maintien de la vie. Ils correspondent à des écosystèmes dont les richesses fauniques et floristiques peuvent être exploitées (ex. : les tourbières pour la tourbe et les forêts pour le bois et le gibier), à des aires protégées pour le maintien de la biodiversité, à des aires récréotouristiques pour le plein-air, à des aquifères exploitées pour leur eau potable, à des milieux humides conservés pour offrir des refuges à la sauvagine ou écrêter les crues... L'inclusion des enjeux environnementaux dans les analyses de risque témoigne d'une reconnaissance des services et bénéfices écosystémiques qu'ils procurent à la société. Un environnement préservé et protégé des impacts d'aléas d'origine anthropique³ assure une meilleure résilience et une meilleure qualité de vie aux sociétés dont il est le support. La santé humaine et économique dépend indéniablement de la viabilité de l'environnement et de l'exploitation durable de ses ressources naturelles.

³ On part du principe que l'environnement est capable de se redresser face aux aléas d'origine naturelle ou qu'il « sait » s'y adapter.

En définitive, tous ces enjeux contribuent au bon fonctionnement des communautés et leur reconnaissance dans les analyses de risque assure une optimisation des solutions d'atténuation des risques. Aussi, on remarque que la protection d'une catégorie d'enjeux face aux aléas permet d'assurer, par effet parapluie, le bon état de santé ou le bon fonctionnement d'une ou plusieurs autres catégories d'enjeux. Toutes sont indubitablement liées. Il n'y a donc pas seulement une interdépendance entre les infrastructures critiques, mais également une interdépendance entre les grandes catégories d'enjeux elles-mêmes. L'interdépendance est d'ailleurs particulièrement reconnue à l'intérieur de la sous-catégorie d'enjeux des infrastructures en réseau (Figure 2) qui connectent physiquement, ou via des services qu'elles offrent, plusieurs autres sous-catégories d'enjeux du territoire. De ce fait, un portrait des impacts indirects par effet domino peut rapidement et facilement être dressé en cas de leur dysfonctionnement. Les réseaux qui desservent un grand nombre d'objets ou de personnes sont habituellement qualifiés de « biens essentiels » ou d'« infrastructures critiques ». Ces infrastructures critiques sont essentielles au bon fonctionnement des communautés. Par conséquent, lorsqu'elles dysfonctionnent, celles-ci peuvent remettre en cause le bon fonctionnement ou le mode de fonctionnement de communautés entières.

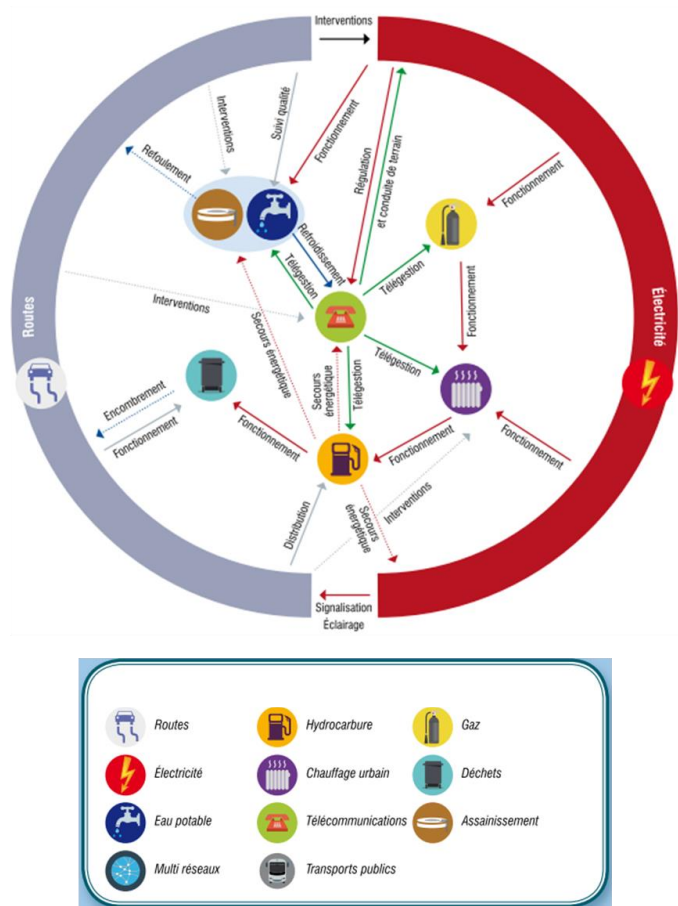


Figure 2. Schéma des interdépendances entre réseaux. En pointillé, les situations spécifiques aux situations d'inondation⁴.

⁴ Source: CEPRI : Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation
https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/Guide%20reseau.pdf [31]

4. SÉQUENCE MÉTHODOLOGIQUE

La méthodologie du projet se décline en 4 volets. Le premier volet consiste à décomposer le problème de décision sous forme d'un arbre hiérarchique de critères qui va permettre d'évaluer les bassins versants au regard des enjeux liés aux orientations gouvernementales. Le deuxième volet de la méthodologie traite la pondération des dimensions/sous-dimensions/critères de l'arbre hiérarchique construit précédemment. Le troisième volet consiste à développer un outil informatisé qui permettra le rangement des bassins versants. Le quatrième volet de la méthodologie se focalise sur le transfert de connaissances par la tenue d'une rencontre de formation avec les utilisateurs des connaissances et la rédaction d'un guide d'utilisation de l'outil de priorisation qui sera développé.

4.1 STRUCTURATION HIÉRARCHIQUE DU PROBLÈME ET CHOIX DES CRITÈRES

Le premier volet répond à l'objectif 1 qui consiste à faire un choix éclairé des critères d'évaluation qui vont permettre d'évaluer les bassins versants au regard des enjeux liés aux orientations gouvernementales. L'équipe de projet a débuté par une décomposition hiérarchique des objectifs basée sur les orientations gouvernementales. Une approche de décomposition top-down inspirée de la méthode hiérarchique AHP a été adoptée [10]. Cette méthode se distingue par sa capacité à structurer un problème complexe, multicritère, multi-acteurs de façon hiérarchique. Le modèle hiérarchique inclut de façon exhaustive les objectifs déduits des orientations gouvernementales et les décline en autant de sous-dimensions qui contribuent à expliquer chaque objectif. Une liste de critères est alors déduite pour chaque sous dimension. La liste des dimensions/sous-dimensions/critères qui découle de cette décomposition hiérarchique est la plus exhaustive possible. Par la suite, une liste d'indicateurs constituée à partir de la littérature scientifique, de l'évaluation de la vulnérabilité en contexte québécois et de réflexions autour des enjeux de sécurité civile a été analysée en lien avec les sous-dimensions du modèle hiérarchique. Une liste exhaustive a d'abord été formulée et ce, indépendamment de la disponibilité des données. Par la suite, une liste d'indicateurs a été retenue basée sur la disponibilité des données. Seuls les indicateurs pour lesquels les données sont disponibles ont été considérés.

La décomposition hiérarchique et le choix des critères/indicateurs ont été réalisés en collaboration avec l'équipe thématique dans un contexte participatif. Cinq rencontres ont été tenues pour la décomposition hiérarchique du problème et l'adoption des indicateurs. Ces rencontres ont été ponctuées par des discussions, des échanges et des validations de contenu. Afin d'alimenter les discussions au sein de l'équipe thématique, les chercheurs ont proposé une décomposition en dimensions et critères basée sur la littérature qui a été discutée et validée par l'équipe thématique.

Décomposition hiérarchique :

- 19 mars 2019 de 9h30 à 12h : Présentation de la méthodologie par l'équipe de réalisation du projet et discussion avec l'équipe thématique sur les orientations stratégiques gouvernementales et les dimensions de l'évaluation du risque à considérer dans la décomposition. Une première version préliminaire de la décomposition hiérarchique a été présentée et discutée.
- 27 mars 2019 de 13h30 à 16h : Présentation par l'équipe de réalisation de projet d'une deuxième version de la décomposition hiérarchique reflétant les orientations gouvernementales et les

modifications proposées lors de la rencontre du 19 mars 2019. Cette version a été discutée et modifiée suite à des discussions et échanges entre les membres de l'équipe thématique.

- 2 avril 2019 de 13h30 à 16h : Présentation par l'équipe de réalisation de projet d'une troisième version de la décomposition hiérarchique et validation des dimensions/sous-dimensions/critères retenus.

Adoption des indicateurs :

- 30 avril 2019 de 13h30 à 16h00 : Présentation au comité thématique d'une liste exhaustive d'indicateurs pour mesurer chaque critère. Pour chaque indicateur proposé, l'existence d'une base de donnée connue, le degré de disponibilité des données et une justification de la pertinence de l'indicateur sont indiqués. Le comité thématique et l'équipe de réalisation du projet ont échangé et discuté les éléments de la liste.
- 24 mai 2019 de 13h30 à 16h : L'équipe de réalisation du projet a proposé une liste d'indicateurs dont les données seraient disponibles et pour lesquels des efforts d'acquisition devront être menés dans les prochains mois par Ouranos. Cette liste a été validée par le comité thématique.

Lors de ces deux dernières rencontres, les discussions ont porté sur le choix des indicateurs et sur les enjeux d'acquisition des données qui lui sont associés. Plusieurs considérations quant à la nature des données ont été évaluées : La résolution spatiale des données convoitées est-elle conforme à l'échelle de l'analyse des bassins versants ? La qualité des données est-elle suffisante (véracité, justesse, crédibilité, actualité) dans le cadre de cette priorisation ? Quel niveau de qualité minimal sommes-nous prêts à tolérer ? L'indicateur apporte-t-il une plus-value ou des précisions pertinentes dans le cadre de la priorisation ? En d'autres termes, est-ce de l'information non redondante qui apporte une dimension supplémentaire à la prise de décision ? Les données sont-elles disponibles pour l'ensemble du territoire du Québec méridional ? Ainsi, chacun des indicateurs devra répondre favorablement à plusieurs questions avant d'être retenu dans le processus de priorisation. L'accessibilité des données a également été discutée à savoir, s'il s'agit de données publiques, de données à diffusion restreinte (sensible ou confidentiel) pour lesquelles il est possible d'obtenir des autorisations d'accès et de traitement, voire de publication, ou encore des données payantes.

4.2 PONDÉRATION DES CRITÈRES

Le deuxième volet de la méthodologie va répondre à l'objectif 2 qui consiste à pondérer les critères retenus précédemment. La méthode AHP est utilisée avec une démarche de concertation impliquant les parties prenantes du projet afin d'aboutir aux poids à accorder aux éléments du modèle hiérarchique. Les différents éléments de la hiérarchie sont comparés deux à deux (comparaisons par paires) en fonction de leur impact sur l'élément situé au-dessus dans la hiérarchie. L'échelle sémantique de Saaty est employée afin que les différents acteurs puissent exprimer leurs jugements sur l'importance relative des éléments. La méthode AHP convertit ces comparaisons par paires en valeurs numériques et dérive un poids pour chaque élément de la hiérarchie. Cette démarche s'inspire des principes de la psychologie cognitive étant donné que les capacités cognitives de l'individu lui permettent aisément de comparer deux à deux les éléments de manière rationnelle et cohérente. Il est à noter que le questionnaire de la méthode AHP prend en considération tous les critères qui sont développés précédemment, peu importe si les données pour ce critère sont disponibles ou pas. Cette façon de faire assure d'avoir les éléments nécessaires pour calculer les pondérations des critères au fur et à mesure que les données soient disponibles.

Trois rencontres avec l'équipe thématiques ont été tenues pour la pondération des critères :

- 11 avril 2019 de 13h30 à 16h : Présentation de la méthode AHP aux membres du comité thématique et collecte de données sur leur préférences en complétant un questionnaire sur les comparaisons par paires des dimensions, sous-dimensions et critères.
- 17 avril 2019 de 13h30 à 16h : Concertation sur les résultats des comparaisons par paires.
- 30 avril 2019 de 9h à 12h00 : Révision des comparaisons par paires pour lesquelles l'indice de cohérence dépasse 10% et validation des pondérations obtenues.

4.3 DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL DE PRIORISATION

Le troisième volet de la méthodologie répond à l'objectif 3 qui consiste à développer un outil informatisé qui permet le rangement des bassins versants. Nous utilisons la méthode d'agrégation multicritère TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) développée par Hwang et Yoon [11, 12] et basée sur la maximisation du coefficient de rapprochement de l'idéal à chaque alternative (bassin versant). Cette méthode multicritère consiste à calculer les distances de chaque bassin versant au bassin versant idéal et anti-idéal. Ces derniers sont des bassins versants hypothétiques qui représentent respectivement la meilleure et la pire situation. Ces distances sont ensuite agrégées en un coefficient de rapprochement à l'idéal qu'il s'agit de maximiser.

Notre choix s'est porté vers une méthode du critère unique de synthèse pour ne pas avoir la problématique de renversement de rang dont souffrent les méthodes de surclassement. Le renversement de rang est lié au fait que la priorisation des bassins versants dépend de la liste des bassins versants qu'on priorise. Ainsi, par exemple, un bassin versant pourrait être plus prioritaire qu'un autre mais le résultat peut s'inverser si on introduit de nouveaux bassins versants dans la liste à prioriser. Bien que plusieurs autres méthodes multicritères du critère unique de synthèse existent et auraient pu être adoptées, nous avons opté vers la méthode TOPSIS pour trois raisons. D'abord, plusieurs travaux de recherche antérieurs ont démontré l'efficacité de la méthode TOPSIS pour résoudre des problèmes environnementaux et en particulier pour les inondations [13-15]. Finalement, elle est simple et facile à implémenter.

L'outil à développer sera une application Web avec possibilité de l'exécuter localement. Techniquement parlant, et en tenant compte d'un côté des exigences du projet et du domaine d'affaire et d'un autre côté des expertises des membres de l'équipe, l'outil sera développé en utilisant le langage R. L'application Web sera, quant à elle, développée en utilisant le cadre de développement Shiny qui est aussi basé sur R ainsi que les langages HTML, CSS et le cadre de développement d'interfaces graphiques Bootstrap.

La flexibilité de la liste des critères, sera assurée par un *entrepôt de critères*. Les critères ne seront donc pas codés en dure dans l'outil, mais chargés dynamiquement avant toute phase d'analyse. L'interface de l'outil permettra de sélectionner une partie ou la totalité des critères disponibles. L'autre flexibilité assurée par l'outil est en lien avec la matrice des données de priorisation. En effet, l'outil accepte toute matrice de données de priorisation externe qui respecte le format attendu par l'outil (cf. Figure 49).

4.4 TRANSFERT DE CONNAISSANCES

Le quatrième volet de la méthodologie consiste à répondre à l'objectif 4 par la rédaction d'une documentation pour l'outil de priorisation développé. Lors de la rédaction du guide, il sera question de s'assurer de ne présenter que l'information utile dans un format agréable quant à la forme, la clarté (présentation, style), l'accès à l'information mais aussi en mettant en avant les préoccupations de l'utilisateur. Un atelier de formation pour les futurs utilisateurs du système est également planifié.

5. FONDEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Dans cette section, nous présentons l'approche et les méthodes qui ont été utilisées pour la priorisation des bassins versants. La section 5.1 présente l'approche de l'aide multicritère à la décision participative (AMCDP) sur laquelle la priorisation des bassins versants a été basée. Par la suite, la section 5.2 présente les étapes de la méthode AHP qui a été utilisée pour la structuration du problème, la décomposition hiérarchique et la pondération des dimensions/sous-dimensions/critères. Finalement, la section 5.3 présente les étapes de la méthode TOPSIS qui nous a servi pour la priorisation des bassins versants.

5.1 LA DÉMARCHE D'AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION PARTICIPATIVE (AMCDP)

Cette section présente la démarche d'aide à la décision participative qui a été utilisée dans le cadre de la priorisation des bassins versants. Celle-ci repose sur la concertation des parties prenantes au niveau de la décomposition hiérarchique des critères et au niveau de la détermination des poids. La section 5.1.1 expose les formes de la participation et la section 5.1.2 présente les différentes étapes de la démarche.

5.1.1 LES FORMES DE LA PARTICIPATION

La participation se caractérise dans le cadre des processus de décision publique principalement par une série d'échanges, d'ajustements de positions, de propositions et de contre-propositions visant à faciliter et améliorer la formulation et la résolution de la problématique et/ou à adapter les décisions aux besoins et systèmes de valeurs des acteurs [16]. Ce que l'on cherche à faire dans un processus participatif est de mieux refléter les valeurs des parties prenantes dans les décisions prises.

La participation englobe plusieurs concepts selon le niveau d'implication des parties prenantes. On parle de consultation, négociation, concertation. Les termes « consultation » ou « négociation » sont souvent utilisés indifféremment du terme « concertation » (ou participation) [17]. Selon [18], la consultation constitue un premier niveau où un décideur unique prend connaissance des points de vue des différentes parties prenantes avant de prendre sa décision. La négociation est un mode de décision par consensus où plusieurs décideurs doivent s'entendre sur une solution. La solution qui émane de la négociation est une solution mutuellement acceptable. La concertation ou la décision participative correspond à une situation où l'on est en présence de plusieurs parties prenantes (décideurs, experts, groupes d'intérêts, grand public) dont l'implication dans le processus de décision est essentielle pour atteindre une certaine légitimité. Basseras [18] illustre cette différence entre les trois concepts par un continuum sur une échelle à un seul axe représentant le niveau d'implication des parties prenantes (Figure 3):

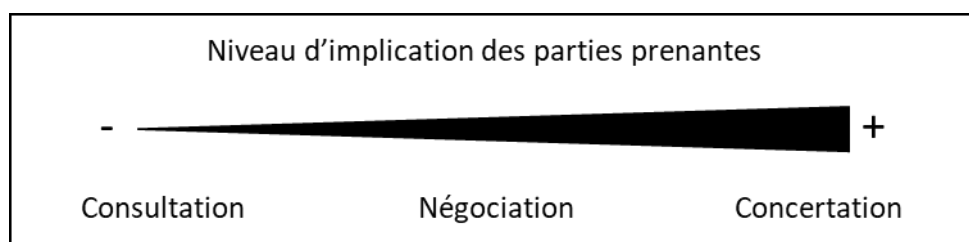


Figure 3. Le niveau d'implication des parties prenantes selon l'approche du processus décisionnel [18].

Pour comparer la négociation à la concertation, [19] affirme que dans le processus de négociation, chacun « essaye de tirer un maximum d'avantages vers lui », alors que dans la concertation l'objectif est d'explicitier les points de vue, d'identifier leur synergie potentielle et de cerner les possibles solutions de compromis acceptables. On parle d'une « ...démarche positive où les participants n'ont pas pour objectif d'imposer leurs exigences en faisant céder les autres mais tendent plutôt à échanger leurs points de vue pour prendre une décision acceptable par la majorité » [20].

Dans le cadre de notre projet, la démarche utilisée est une démarche de concertation. La légitimité de la décision qui émane d'un processus de décision participatif par concertation découle de la légitimité de la procédure en elle-même, et celle-ci dépend de la procédure d'arbitrage des intérêts des parties prenantes. Si cette dernière est jugée légitime par les participants, la décision qui va résulter du processus de décision le sera aussi [21]. Dans ce qui suit, nous présentons la démarche de l'aide multicritère à la décision participative qui nous utilisons dans ce projet.

5.1.2 LA DÉMARCHE D'AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION PARTICIPATIVE (AMCDP)

L'aide multicritère à la décision participative (AMCDP) peut être définie comme l'utilisation des méthodes d'aide multicritère à la décision dans un processus de décision participative. Dans les dernières années, les méthodes AMCDP ont été de plus en plus utilisées dans le contexte des processus décisionnels gouvernementaux. Ces approches sont utiles étant donnée la multiplicité des parties prenantes, concernées, la divergence de leurs systèmes de valeur, leurs opinions variées et leurs intérêts divergents. Pour ce faire, l'AMCDP se base sur différentes approches (techniques) participatives (ex : les focus group).

Une procédure de prise de décision participative bien menée favorise l'appropriation, la concertation et la légitimation de la décision [17]. Elle permet aussi l'identification des besoins des parties prenantes, l'émergence d'idées nouvelles et l'évitement de potentiels conflits [20].

L'AMCDP a de plus en plus de succès et est utilisée dans de nombreux domaines comme la gestion des déchets et des sites industriels, la gestion territoriale, la gestion de l'eau, la gestion des forêts, le développement durable ou encore la gestion des zones côtières.

L'AMCDP s'appuie sur l'aide multicritère à la décision, notamment pour la phase de structuration. La démarche générale d'un processus d'AMCDP sera ainsi très semblable à celle de l'aide multicritère à la décision. La Figure 4 illustre les principales étapes de la démarche telles que proposées par Urli [22]. La différence entre l'AMCDP et l'aide multicritère à la décision réside dans le fait que l'AMCDP intègre les préférences de multiples acteurs / parties prenantes et non celles de l'unique décideur seulement [22]. Comme l'aide multicritère à la décision classique, la démarche AMCDP commence par la structuration du problème (alternatives, critères, évaluation des alternatives sur les différents critères), suivie de la modélisation des préférences (poids des critères, seuils s'il y a lieu) et de l'application d'une méthode d'agrégation multicritère. À l'issue des résultats de la méthode multicritère utilisée, une recommandation sera émise.

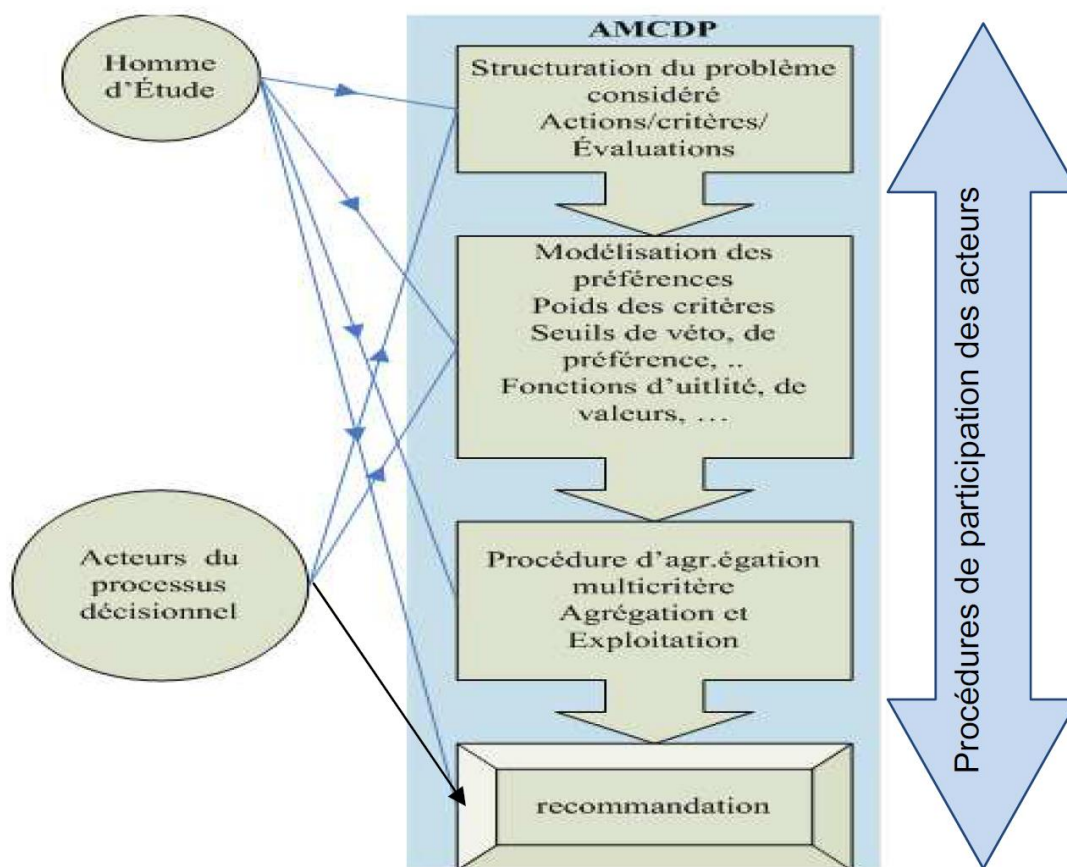


Figure 4. La démarche de l'AMCDP [22].

Les processus d'AMCDP diffèrent selon les techniques de participation appliquées, les méthodes multicritères utilisées et le niveau d'implication des parties prenantes. Le choix des techniques dépend de la situation décisionnelle. Ainsi, les techniques de participation (sondages, entretiens individuels ou focus group), ne permettent pas de récolter le même type d'informations, la même qualité d'information, ni la même quantité, et répond à un besoin d'information différent dans chaque cas. Pour ce qui est des méthodes d'agrégation multicritère utilisée, le choix dépendra du contexte et de la facilité avec laquelle on peut aller chercher les préférences du décideur nécessaire à l'application de la méthode. Pour le niveau d'implication des participants, dans certains exemples on va voir que la participation se fait dès la phase structuration du problème jusqu'à la décision, alors que dans d'autres cas elle va intervenir seulement au niveau de la construction des critères ou de la modélisation des préférences ou des deux.

Dans ce projet, l'implication des participants s'est située au niveau de la construction des critères et la détermination des poids. Nous avons choisi d'utiliser d'une part la méthode AHP pour la structuration du problème, la construction de l'arbre hiérarchique des critères et la détermination des poids et d'autre part la méthode TOPSIS pour la priorisation des bassins versants. Les différentes étapes de ces deux méthodes sont présentées dans les sections 5.2 et 5.3 qui suivent.

5.2 LA MÉTHODE AHP

Développée par Saaty [10], AHP (Analytic Hierarchy Process) est une méthode multicritère de critère unique de synthèse basée sur : la décomposition du problème de décision, les comparaisons par paires et les mesures d'importance relative à partir de l'échelle sémantique de Saaty pour déduire les pondérations des critères. AHP se déroule en quatre étapes :

Étape 1 : Décomposition hiérarchique du problème de décision

Étape 2 : Comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique.

Étape 3 : Détermination du vecteur de priorité et calcul de l'indice de cohérence pour chaque matrice de comparaison.

Étape 4 : Agrégation des poids relatifs et détermination des poids des indicateurs.

Étape1 : Décomposition hiérarchique du problème de décision

Le problème de décision est représenté sous forme d'une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les différents éléments du problème (Figure 5). On retrouve au sommet de la hiérarchie l'objectif et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Les actions sont le dernier niveau de la hiérarchie. Dans ce projet, les dimensions, les sous-dimensions et les critères vont constituer les différents niveaux hiérarchiques et les indicateurs sont le dernier niveau de la hiérarchie. Les branches à partir d'un nœud de la hiérarchie doivent être aussi indépendantes que possibles.

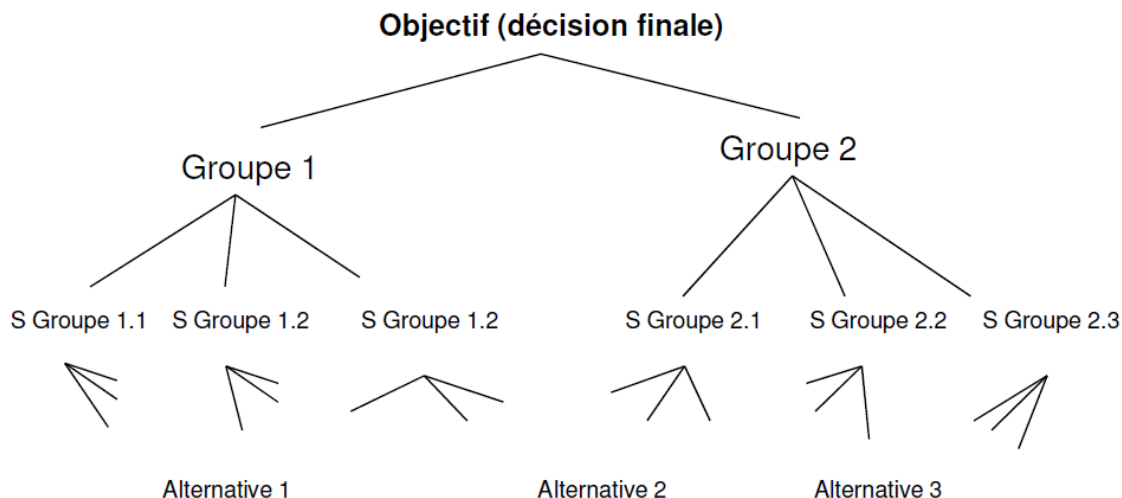


Figure 5. Structure hiérarchique AHP.

Étape 2 : Comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique

Les comparaisons par paires consistent à comparer les éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique immédiatement supérieur. Par exemple : comparer la sous dimension 1.1 et la sous dimension 1.2 par rapport à la dimension 1. Ces comparaisons sont quantifiées en utilisant l'échelle sémantique de Saaty (Tableau 2) qui mesure combien un élément domine un autre par rapport à la dimension dans le niveau immédiatement supérieur.

Tableau 2. Échelle sémantique de Saaty [10].

Définition	Explication	Degré d'importance
Importance égale des deux critères	Les deux critères contribuent autant à l'objectif	1
Faible importance d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un critère par rapport à un autre	3
Forte importance d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un critère par rapport à un autre	5
Très forte importance d'un critère par rapport à un autre	Un critère est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique	7
Importance absolue d'un critère par rapport à un autre	Il est évident qu'un des deux critères doit être favorisé au maximum	9
Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Le compromis est nécessaire entre les deux appréciations afin d'affiner le jugement	2, 4, 6, 8

Le résultat des comparaisons par paires pour chaque niveau hiérarchique par rapport au niveau supérieur est une matrice réciproque (voir Tableau 3). Afin de respecter les propriétés mathématiques nécessaires pour les calculs faits par AHP, on fait correspondre à chaque valeur v de comparaison d'un élément a par rapport à un élément b la valeur réciproque ($1/v$) pour la comparaison de l'élément b par rapport à a . Dans chaque nœud décomposé en n sous-éléments il faut faire $n(n - 1)/2$ comparaisons. On note la valeur pour l'élément le plus important à chaque comparaison, la valeur pour l'élément le moins important étant la valeur inverse. Le tableau 3 donne un exemple de matrice de comparaison pour $n=3$.

Tableau 3. Exemple de matrice de comparaison par paires pour $n=3$.

	Élément1	Élément2	Élément3
Élément1	1	1/5	3
Élément2	5	1	5
Élément3	1/3	1/5	1

Étape 3 : Détermination du vecteur de priorité et calcul de l'indice de cohérence pour chaque matrice de comparaison

Un vecteur de priorité est calculé pour chaque matrice, W , il correspond au vecteur propre de la matrice de comparaison A tel que :

$$A\omega = \lambda_{max}\omega \quad (5.1)$$

Où λ_{max} est la valeur propre non-nulle de la matrice de comparaison A .

Lors des comparaisons par paires, les jugements peuvent être incohérents. Un ratio de cohérence, RC , est mesuré pour chaque matrice de comparaison :

$$RC = 100 \cdot \frac{c}{IAC} \quad (5.2)$$

Où :

$$c = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Et IAC un indice aléatoire de cohérence selon la taille de la matrice (Tableau 4) :

Tableau 4. Indice aléatoire moyen IAC [10]

Dimension de la matrice	2	3	4	5	6	7	
Indice aléatoire moyen (IAC)	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	...

Dans le cas où cet indice dépasse le seuil limite de cohérence (10% en général), les comparaisons par paires peuvent être revues pour l'améliorer. Le résultat de cette étape est le poids relatif de chaque dimension, sous-dimensions et enfin critère.

Étape 4 : Agrégation des poids relatifs et détermination des poids des indicateurs

Cette étape consiste à agréger les poids relatifs des dimensions, sous-dimensions et critères afin d'établir les poids des indicateurs. Ayant pris l'hypothèse que les indicateurs qui permettent d'évaluer un critère donné ont tous le même poids, le poids de chaque indicateur est déterminé en multipliant les poids relatifs du critère (que mesure l'indicateur) par le poids des sous-dimensions qui viennent juste avant jusqu'à arriver au nœud racine de l'arbre et en divisant le produit obtenu par le nombre d'indicateurs qui composent le critère. Ce faisant, la somme des poids de tous les indicateurs serait égale à 1.

Prenons l'exemple suivant pour calculer le poids de l'indicateur 1 au 5^{ème} niveau hiérarchique (Figure 6). Supposons que trois indicateurs permettent d'évaluer le critère racine et que les poids du critère 1.1.1.1, sous-dimensions 1.1.1 et 1.1 et dimension 1 sont donnés comme suit : $W_{1.1.1.1}$; $W_{1.1.1}$; $W_{1.1}$ et W_1 .

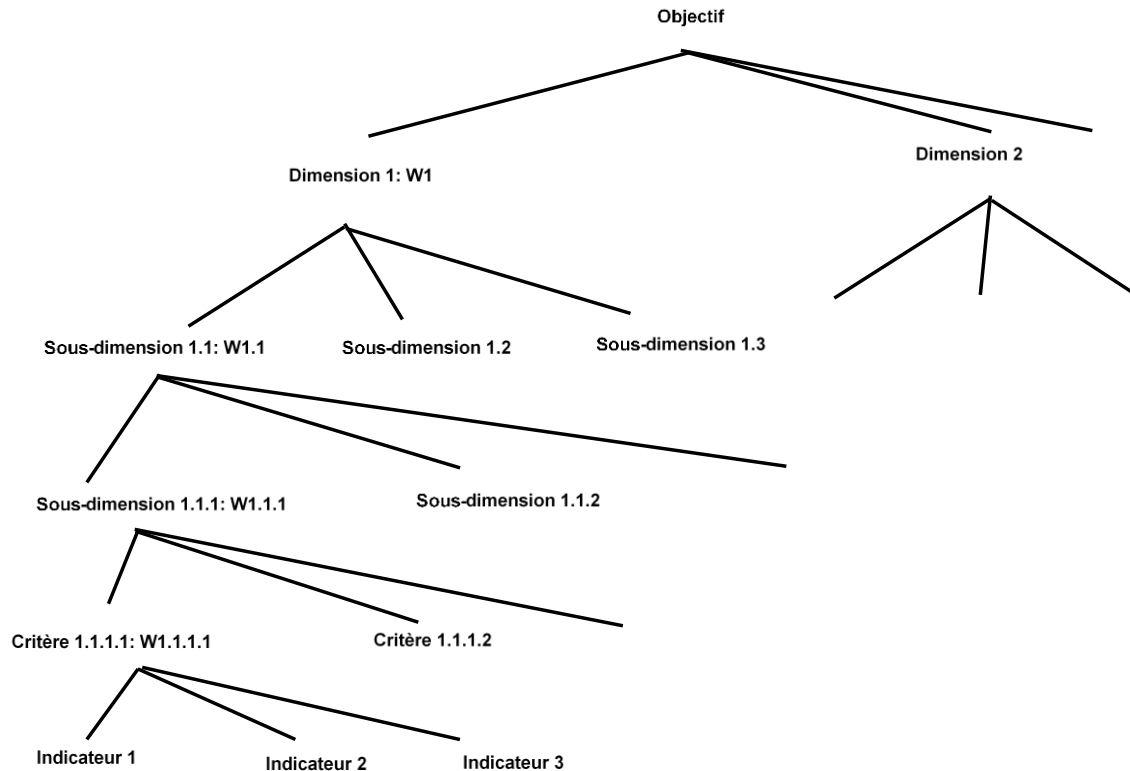


Figure 6. Illustration du calcul du poids des indicateurs.

$$Poids\ indicator\ 1 = \frac{W\ 1.1.1.1 \times W\ 1.1.1 \times W\ 1.1 \times W\ 1}{Nombre\ d'indicateurs\ du\ critère\ 1.1.1.1} \quad (5.3)$$

5.3 LA MÉTHODE TOPSIS

Développée par Yoon and Hwang [11, 12], la méthode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) est une approche du critère unique de synthèse. Le principe de TOPSIS est de choisir le bassin versant qui se rapproche le plus possible du profil du bassin versant idéal (hypothétique), et s'éloigne le plus possible du profil du bassin versant anti-idéal (hypothétique).

Afin de choisir le bassin versant (BV) prioritaire, la méthode TOPSIS se déroule en six étapes :

Étape 1: Normalisation de la matrice de décision,

Étape 2: Construction de la matrice de décision pondérée normalisée,

Étape 3: Détermination du profil du BV idéal et du profil du BV anti-idéal.

Étape 4: Calcul de la distance euclidienne de chaque BV par rapport au profil idéal et au profil anti-idéal.

Étape 5: Détermination du coefficient de rapprochement de chaque BV au profil idéal.

Étape 6 : Rangement des BV.

À partir des étapes précédentes du projet, nous avons une matrice de décision de m BV évalués sur n indicateurs :

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

où A_i est le $i^{ème}$ BV et C_j , le $j^{ème}$ indicateur et x_{ij} l'évaluation du $i^{ème}$ BV selon le $j^{ème}$ indicateur

Étape 1 : Normalisation de la matrice de décision

Cette étape consiste à normaliser chaque évaluation x_{ij} pour le BV i et l'indicateur j de la matrice de décision comme suit :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M x_{ij}^2}}, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N \quad (5.4)$$

Étape 2 : Construction de la matrice de décision pondérée normalisée

Les évaluations normalisées des BV sont pondérées par les poids des indicateurs issus de l'étape de pondération. Chaque colonne j de la matrice normalisée sera multipliée par le poids de l'indicateur correspondant w_j :

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N \quad (5.5)$$

Étape 3 : Détermination du profil idéal A^* et du profil anti-idéal A^-

Le profil idéal A^* est le BV idéal dont les évaluations sont optimales sur chaque indicateur. Si l'indicateur est à maximiser, il va prendre la valeur maximale de cet indicateur, si l'indicateur est à minimiser il va prendre la valeur minimale. Soit J_1 est l'ensemble des indicateurs à maximiser et J_2 l'ensemble des indicateurs à minimiser. Le profil idéal est défini par :

$$\begin{aligned} A^* &= (v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*) \\ &= (\max_i v_{ij} | j \in J_1, \min_i v_{ij} | j \in J_2, i = 1, \dots, M) \end{aligned} \quad (5.6)$$

Le profil anti-idéal minimise l'indicateur à maximiser et maximise l'indicateur à minimiser. Il est défini par :

$$\begin{aligned} A^- &= (v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-) \\ &= (\min_i v_{ij} | j \in J_1, \max_i v_{ij} | j \in J_2, i = 1, \dots, M) \end{aligned} \quad (5.7)$$

Étape 4: Calcul de la distance euclidienne par rapport à A* et A-

Pour chaque BV i , la distance euclidienne sera calculée par rapport au profil idéal A* et par rapport au profil anti-idéal A- :

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (5.8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (5.9)$$

Étape 5: Calcul du coefficient de rapprochement au profil idéal

La dernière étape de TOPSIS consiste à calculer le coefficient de rapprochement au profil idéal de chaque BV i au profil idéal comme suit :

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (5.10)$$

Étape 6 : Rangement des BV

Les BV sont rangés en fonction des valeurs décroissantes du coefficient de rapprochement au profil idéal.

6. LA DÉMARCHE MENANT À LA DÉCOMPOSITION HIÉRARCHIQUE DES CRITÈRES ET LEUR PONDÉRATION

Nous avons adopté une approche participative pour la structuration du problème et la modélisation des préférences. Un comité thématique a été composé de parties prenantes des organismes gouvernementaux suivants pour participer à une concertation :

- Ministère de l’environnement et de lutte contre les changements climatiques (3 acteurs)
- Ministère de la sécurité publique (1 acteur),
- Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (1 acteur)
- Ministère des affaires municipales et de l’habitation (1 acteur)
- Ouranos (1 acteur).
- Équipe de réalisation du projet de l’UQAR (5 membres)

Il est à noter que la participation des professionnels du ministère de la Sécurité publique aux activités du comité thématique n’entraîne pas l’endossement par le ministère de la Sécurité publique de la démarche et des résultats du présent rapport.

La concertation impliquant le comité thématique visait trois objectifs : (1) la construction d’une structure hiérarchique de critères, (2) le choix d’indicateurs pertinents pour évaluer les critères et (3) la détermination des poids de chacune des dimensions, sous-dimensions et critères de l’arbre hiérarchique. Cette partie du rapport expose les résultats des focus group en lien avec ces trois objectifs : la section 6.1 présente l’arbre hiérarchique pour la structuration du problème ; la section 6.2 décrit la liste exhaustive d’indicateurs ainsi que la liste des indicateurs retenus ; et finalement la section 6.3 expose les résultats de la comparaison par paires et les pondérations des dimensions/sous-dimensions/critères.

6.1 ARBRE HIÉRARCHIQUE : DIMENSIONS / SOUS-DIMENSIONS / CRITÈRES

La logique de priorisation des bassins versants pour la réalisation du programme INFO-Crue devait s’inscrire dans les grandes orientations gouvernementales visant principalement la protection des personnes, la réduction des dommages aux biens matériels et des pertes économiques ainsi que la protection et la conservation des fonctions écosystémiques naturelles. Dans cette logique de réduction des dommages (relatif aux conséquences historiques) et pour considérer les composantes de l’évaluation du risque (Figure 1), une structure hiérarchique initiale comportant quatre dimensions fondamentales a été présentée au comité thématique par l’équipe de réalisation lors d’un premier *focus group* (Figure 7). Cette structure hiérarchique initiale comportait aussi une gamme de sous-dimensions et de critères faisant référence à des informations et des enjeux essentiels - ou qui ont été jugés adéquats aux objectifs du projet – sur des plans hiérarchiques identiques pour qu’ils puissent être comparés les uns par rapport aux autres et pour qu’un poids puisse leur être attribué à l’aide de la démarche AHP. Des discussions sur la structure et la nature des sous-dimensions et critères ont fait évoluer l’arbre hiérarchique lors des deux autres *focus group* ayant eu lieu. Cette partie du rapport expose les considérations émanant des discussions menant à la validation de l’arbre hiérarchique final. Il est à noter que lors du processus de concertation autour de la décomposition hiérarchique des critères, les membres du comité thématique

n'ont pas pu être tous présents à toutes les rencontres. La concertation a tout de même continué en leur absence étant donné les échéances serrées du projet.

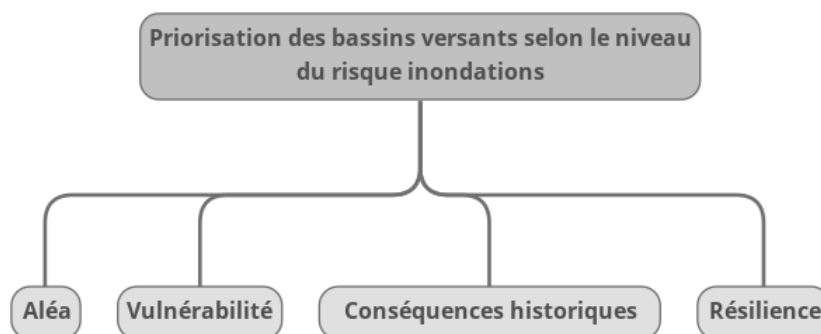


Figure 7. Les quatre dimensions fondamentales de l'arbre hiérarchique menant à l'évaluation du niveau de risque inondation à l'échelle d'un bassin-versant.

Mode de fonctionnement de la description de la décomposition hiérarchique :

Afin de réduire le nombre de sous-sections de texte à l'intérieur de la sous-section 6.1, la segmentation explicative de la décomposition hiérarchique se limite au trois premiers niveaux hiérarchiques (ex. : sous-section 6.1.1 Dimension « Aléa », sous-section 6.1.1.1 Sous-dimension « Aléa primaire: inondation » et sous-section a) Sous-dimension « Données historique sur les inondations »). Lorsqu'il y a plus de trois niveaux hiérarchiques à décrire, ceux-ci sont décrits à même la dernière sous-section lettrée à laquelle ils appartiennent. D'autre part, pour faciliter la lecture de la structure hiérarchique qui peut contenir à la fois des sous-dimensions et des critères sur un même niveau hiérarchique, les titres des sous-sections des dimensions et sous-dimensions sont en police de couleur bleue foncée et les sous-sections des critères sont en police de couleur noire. Il en est de même pour la description des niveaux hiérarchiques supérieurs à trois à l'intérieur des paragraphes des sous-sections lettrées.

6.1.1 DIMENSION « ALÉA »

La dimension « Aléa » permet de vérifier la présence du phénomène d'inondation sur un territoire, mais surtout de relever la disponibilité des données permettant de le documenter. En effet, la connaissance géographique de l'aléa est essentielle pour identifier l'ampleur du phénomène d'inondation, pour l'anticiper ou tout simplement cibler les zones où une méconnaissance de celui-ci demeure. À cet égard, cette dimension se subdivise en deux sous-dimensions soit, « Aléa primaire » pour l'inondation proprement dite et « Aléa secondaire » (Figure 8) pour tenir compte des aléas engendrés par l'inondation et qui peuvent avoir un impact supplémentaire sur la santé des personnes et l'environnement naturel ou amplifier l'intensité des crues et, par le fait même, les dommages aux biens.

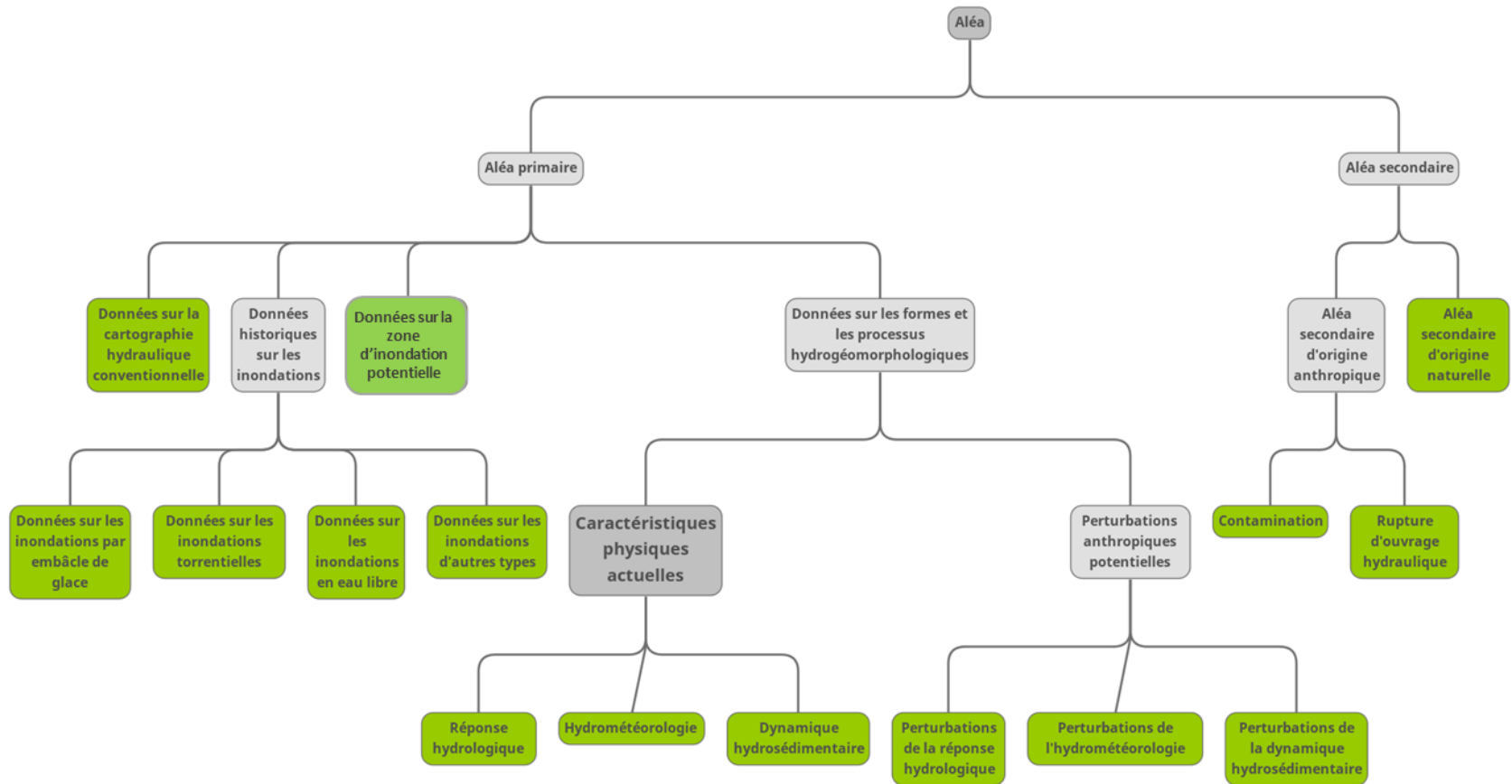


Figure 8. Décomposition de la dimension « Aléa ».

6.1.1.1 Sous dimension « Aléa primaire : inondation »

La sous-dimension « Aléa primaire : inondation » comprend deux critères intitulés respectivement « Données sur la cartographie hydraulique conventionnelle » et « Données sur les zones d'inondation potentielle » ainsi que deux sous-dimensions à savoir, « Données historiques sur les inondations » et « Données sur les formes et les processus hydro-géomorphologiques » (Figure 9). Bien que les zones inondables législatives et informatives (base de données des zones inondables et aires de contrainte inondable du PPAT) disponibles pour le Québec méridional soient discontinues, approximatives, voire désuètes, celles-ci constituent un point de départ substantiel au renseignement des superficies potentiellement inondables qui permettront d'extraire la donnée minimale exigée dans une analyse de risque soit, le nombre d'enjeux exposés. Toutefois, pour que l'analyse de l'exposition puisse être équitable entre les bassins versants il est important de compléter les hiatus cartographiques des zones inondables observés à l'échelle des bassins versants en utilisant une approche cartographique d'identification des zones inondables identique pour l'ensemble des bassins versants. Une délimitation automatisée des zones d'inondation potentielle (ZIP) est donc proposée comme critère spécifique (voir encadré).

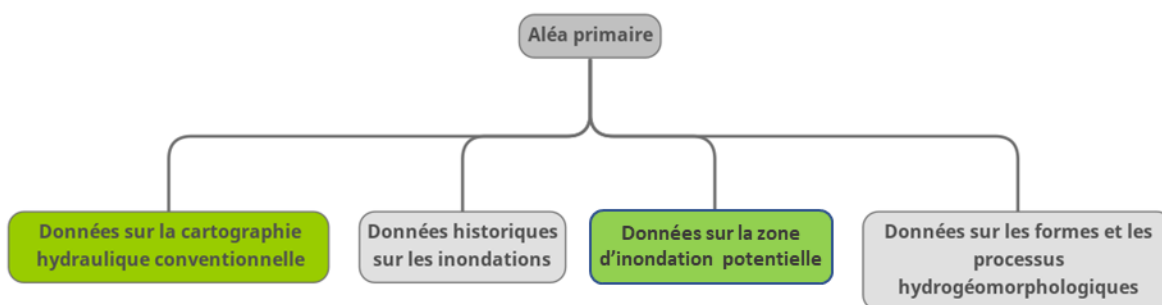


Figure 9. Décomposition de la sous-dimension aléa primaire.

a) Le critère « Données sur la cartographie hydraulique conventionnelle »

Le critère « Données sur la cartographie hydraulique conventionnelle » permet d'identifier les bassins versants pour lesquels il est plus difficile de documenter le phénomène d'inondation en raison de la plus faible quantité d'outils permettant d'extraire de la donnée hydrométrique. D'autre part, il permet d'identifier les bassins versants dont la couverture cartographique est plus faible et, par conséquent, pour lesquels il est plus difficile de connaître avec certitude les limites géographiques des « potentielles contraintes naturelles » du phénomène d'inondation. En effet, la faible couverture cartographique ou l'absence de cartographie ne signifie pas que le phénomène est peu présent ou qu'il ne s'est pas déjà produit ou qu'il ne se produira jamais. Autrement dit, moins il y a de données, plus il est difficile de statuer avec certitude sur l'occurrence du phénomène.

b) Le critère « Données sur les zones d'inondation potentielle »

Le critère « Données sur les zones d'inondation potentielle » permet de définir la zone d'inondation potentielle (ZIP) pour l'ensemble du réseau hydrographique de chacun des bassins-versants. La valeur des indicateurs de ce critère est à maximiser. Autrement dit, plus la ZIP est vaste ou recouvre le bassin versant, plus le phénomène d'inondation est susceptible d'être observé.

Remarque – détermination de la zone d'inondation potentielle (ZIP)

L'absence de cartographies homogènes de zones inondables à l'échelle des bassins versants du Québec méridional a poussé à l'élaboration d'une cartographie des zones d'inondation potentielle (ZIP). Initialement, le projet n'impliquait pas le développement d'une méthodologie pour la réalisation d'une ZIP. Or, il est apparu durant l'exercice de priorisation qu'il était impératif, pour effectuer une comparaison équitable des bassins versants, de considérer les enjeux exposés à l'inondation dans chacun des bassins versants. Il fut donc décidé de procéder à la cartographie d'une ZIP en optimisant et en combinant des méthodologies existantes.

La ZIP est une évaluation préliminaire de la superficie de la plaine alluviale qui peut être inondée par le cours d'eau. L'approche retenue pour déterminer la ZIP repose sur deux méthodologies distinctes de manière à minimiser la surestimation de la zone. La combinaison des deux méthodes est nécessaire considérant la qualité des MNA utilisés (MNA 1 :20000 produit par le MERN).

La **première méthode** consiste à générer une zone tampon autour des cours d'eau. Cette méthode utilise deux relations fonctionnelles de géométries fluviales. La première relation permet d'estimer la largeur d'une zone inondable dans une plaine alluviale à partir de la largeur du cours d'eau :

$$W_{zi} = 20 * w_{ce}$$

où W_{zi} est la largeur de la zone inondable dans la plaine du cours d'eau (m) et w_{ce} est la largeur du cours d'eau (m).

La deuxième permet d'estimer la largeur d'un cours d'eau à partir de la superficie drainée par ce dernier :

$$w_{ce} = 2.2A^{0.46}$$

où A est la superficie du bassin-versant (km^2)

Ces deux relations permettent de tracer une zone tampon (ZT) autour de tous les cours d'eau. La Figure 10 illustre la délimitation d'une zone tampon (ZT) autour de la rivière Yamaska en aval et en amont du pont de l'autoroute 20 près de Sainte-Hyacinthe. On remarque rapidement que la portion de la rivière en aval de l'autoroute 20 est une portion de rivière encaissée comme le suggère la section transversale. Dans cette portion, il est donc peu probable que la zone tampon soit inondée. Dans ce cas-ci, il y a visiblement une surestimation de la zone inondable. La ZT surestime donc la zone inondable pour les cours d'eau encaissés (confinés) lorsqu'il n'y pas de plaine alluviale.

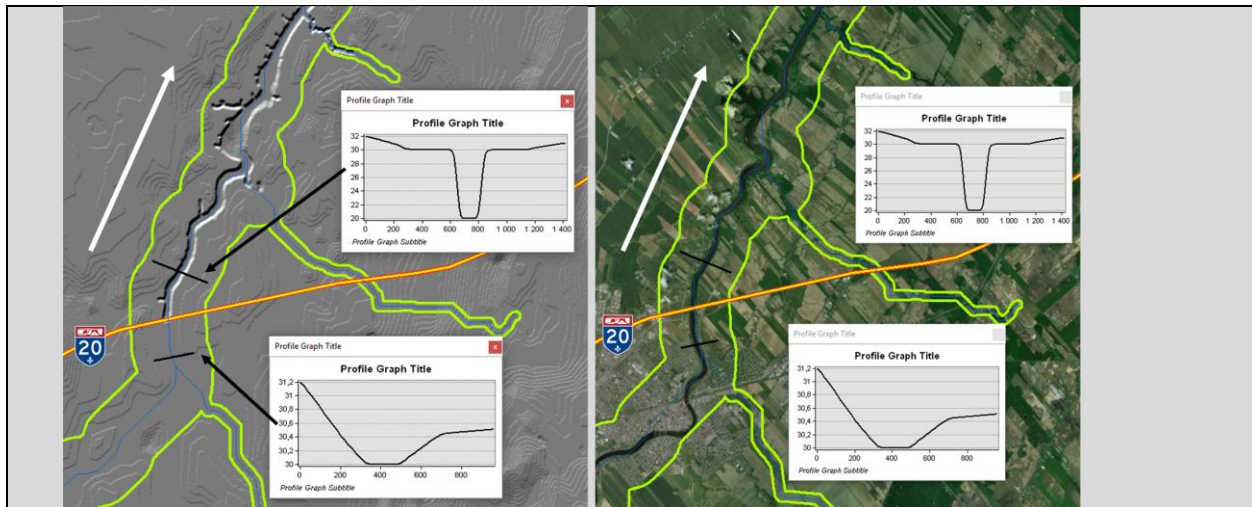


Figure 10. Illustration d'une zone tampon (ZT) autour de la rivière Yamaska en aval et en amont du pont de l'autoroute 20 près de Saint-Hyacinthe. La ZT est délimitée par le trait vert.

La **deuxième méthode** vise à éviter cette surestimation. Cette méthode consiste à projeter une ligne d'eau de part et d'autre d'une section transversale au cours d'eau à une hauteur donnée au-dessus du chenal. Cette méthode est amplement décrite dans [23]. La surface sous la ligne d'eau projetée de part et d'autre du cours d'eau constitue une zone inondable pour une hauteur fixe (ZIHfixe). Le choix de la hauteur d'eau ajoutée au-dessus du chenal est fonction de paramètres régionaux. Aucune relation fonctionnelle entre la hauteur d'inondation au-dessus du chenal et les caractéristiques du bassin-versant amont n'existe pour le Québec. Pour les besoins du projet, nous avons comparés les ZIHfixe pour 5 hauteurs (1, 2, 3, 4 et 5 m) aux cartes de zones inondables intégrées ou qui seront éventuellement intégrées aux schémas d'aménagement et de développement (SAD) des MRC de Coaticook, de la Mitis et de la Matanie. Nos comparaisons suggèrent que la hauteur de 3 mètres optimise le chevauchement tout en minimisant la sous-estimation de la zone. Nous avons donc retenue la valeur de 3 m au-dessus du chenal. Ces comparaisons nous ont cependant révélé l'inconsistance des MNA utilisé à représenter adéquatement les cours d'eau : dans certains cas, les cours d'eau possèdent une altimétrie qui lui est propre alors que dans d'autres cas ils n'en possèdent pas. Les sections transversales sur la figure A illustrent ceci de manière très évidente : la portion de la rivière Yamaska en aval du pont de l'autoroute 20 est encaissée alors que celle en amont ne l'est pas tout. Cette situation implique que la ZIHfixe peut surestimer de manière significative la zone inondable lorsque le chenal ne possède pas d'altimétrie. La Figure 11 illustre cette surestimation évidente en amont du pont de l'autoroute 20 alors que la ZIHfixe s'étend de part et d'autre de la rivière sur des distances significatives dans des zones n'ayant jamais été inondées.

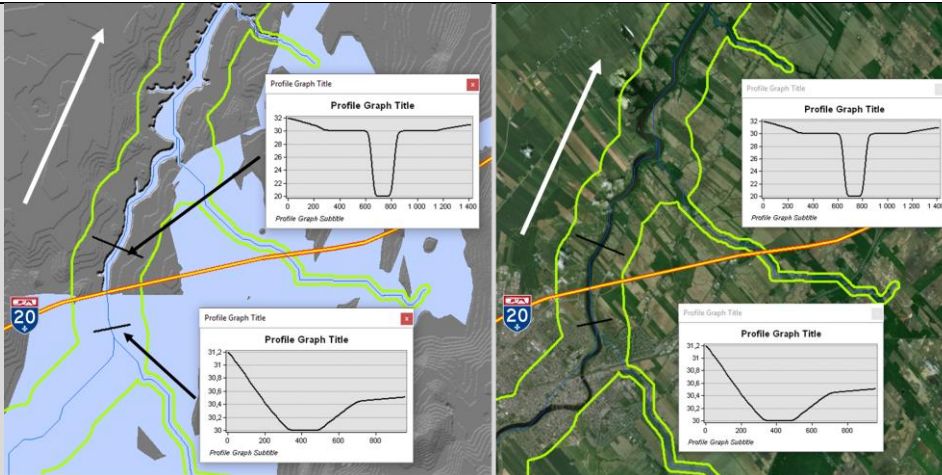


Figure 11. Illustration d'un ZIHfixe autour de la rivière Yamaska en aval et en amont du pont de l'autoroute 20 près de Saint-Hyacinthe. La ZIHfixe est représentée par la surface bleu.

Séparément, chacune des deux méthodes peut surestimer les zones inondables de manière significative. Mises ensemble, cependant, elles permettent de minimiser la surestimation des zones inondables. La figure B montre que la méthode ZT surestime la zone inondable alors que ZIHfixe est plus représentative dans le cas où le chenal possède son altimétrie dans la portion en aval de l'autoroute. En amont, la méthode ZIHfixe surestime de beaucoup la zone inondable alors que la ZT permet de minimiser la surestimation. Considérant ces deux situations, il fut décidé de définir la ZIP comme étant l'intersection entre ZIHfixe et ZT :

$$ZIP = ZT \cap ZIHfixe$$

Il importe de souligner que pour qu'il fut décidé de ne procéder à la production de la ZIP que pour les cours d'eau dont le bassin versant est plus grand que 30 km². Cette superficie correspond à des cours d'eau d'ordre 2 ou supérieur et dont la largeur est généralement supérieure à 10 m.

Il importe également de traiter les lacs de manière différente. Il est proposé d'utiliser une zone tampon de 50 m (première rangée de maison s'il y en a) pour tous les lacs dont la superficie excède 1 km².

La méthode de délimitation de la ZIP comporte son lot d'incertitudes et ceci est en partie lié à la qualité variable des MNT à représenter les cours d'eau. Il serait possible d'améliorer la ZIP en utilisant les données LIDAR, or elles ne sont présentement pas disponibles à l'échelle du Québec. Pour une meilleure évaluation du risque inondation, nous recommandons également de considérer d'utiliser l'Enveloppe approchée de l'inondation potentielle (EAIP) présentement en cours de réalisation dans le cadre du projet EPRI2 du MSP. L'EAIP est basé sur une modélisation hydraulique simplifiée tenant compte des configurations locales, ce que ne peut pas faire la méthode actuellement utilisée pour l'élaboration d'une ZIP.

Finalement, il importe de souligner que la ZIP réfère à un type d'inondation en particulier : l'inondation en eau libre. En effet, la projection d'une hauteur d'eau sur un modèle numérique

de terrain ne tient pas compte des contextes météorologique et hydrogéomorphologique associés aux types d'inondations telles que les inondations par embâcles de glace et les inondations torrentielles dont la manifestation est souvent très circonscrite dans l'espace. Ainsi, la ZIP rejoint l'objectif principal du projet Info-Crue qui est de compléter ou développer une cartographie des zones inondables en conditions d'eau libre selon la méthode hydraulique habituellement appliquée par le DEHA.

c) Sous-dimension « Données historiques sur les inondations »

La sous-dimension « Données historiques sur les inondations » aboutie sur quatre critères associés aux « Données sur les inondations... » et dont chacun est rattaché à un type d'inondation spécifique à savoir, « ...en eau libre », « ...torrentielle », « ...par embâcle de glace » et « ...d'autres types » (Figure 12). Les indicateurs de cet embranchement permettent d'identifier les bassins versants pour lesquels il y a un grand nombre d'observations. Plus le nombre d'observations est grand, plus l'occurrence du phénomène inondation est avérée et nécessite que l'on s'y attarde. Ainsi, la valeur des indicateurs de ce critère est à maximiser. Seul le critère « Données sur inondations d'autres types » a été retiré de la priorisation, car les autres types d'inondation répertoriés au Québec sont négligeables et que les bases de données pour les documenter sont inexistantes.

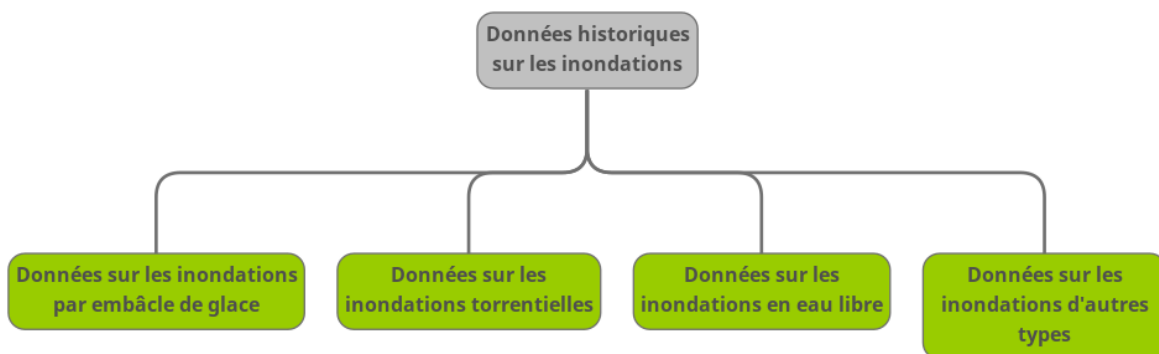


Figure 12. Décomposition de la sous-dimension « Données historiques sur les inondations ».

d) Sous-dimension « Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques »

La sous-dimension « Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques » se décompose en deux sous-dimensions soit, « Perturbations anthropiques potentielles » et « Caractéristiques physiques actuelles » (Figure 14 et Figure 15). Ces deux sous-dimensions se décomposent en trois critères chacun à savoir, « Réponse hydrologique », « Hydrométéorologie » et « Dynamique hydro-sédimentaire ». Cet embranchement permet donc d'identifier d'un côté les éléments morphométriques actuels et les conditions passées caractérisant les bassins versants propices aux inondations et d'un autre côté les changements dans l'occupation des sols et les conditions projetées susceptibles de perturber les processus fluviaux actuellement ou éventuellement. Hormis pour deux indicateurs, la valeur des indicateurs de ces critères est à maximiser. Les indicateurs dont la valeur est à minimiser correspondent

à des éléments qui favorisent le laminage des crues (ex. : les lacs et les milieux humides ont tendance à ralentir l'écoulement des eaux et stocker l'eau). Ainsi, pour ceux-ci, ce sont les bassins versants avec une faible valeur qui sont priorités.

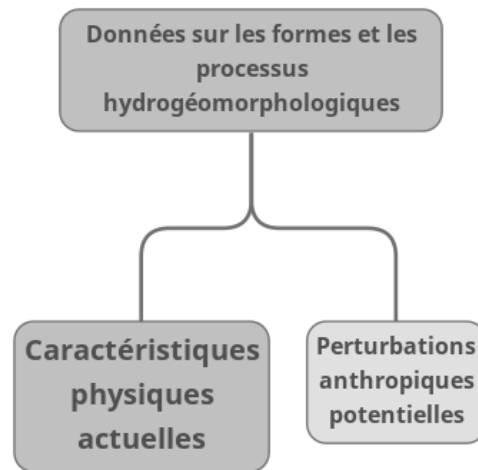


Figure 13. Décomposition de la sous-dimension « Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques ».

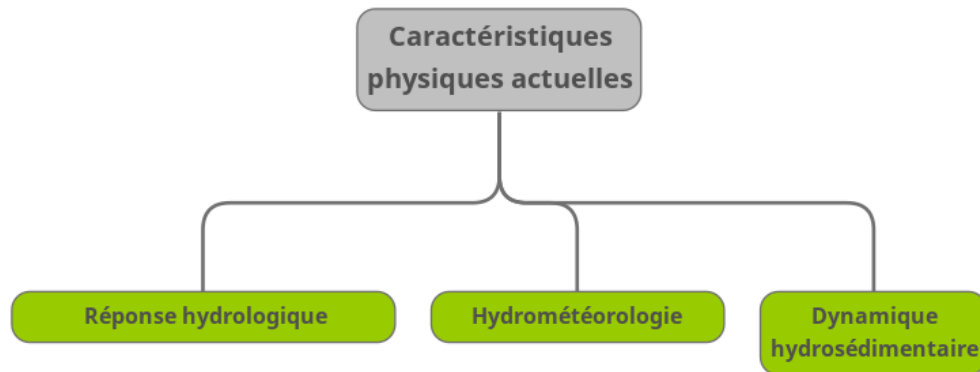


Figure 14. Décomposition de la sous-dimension « Caractéristiques physiques actuelles ».

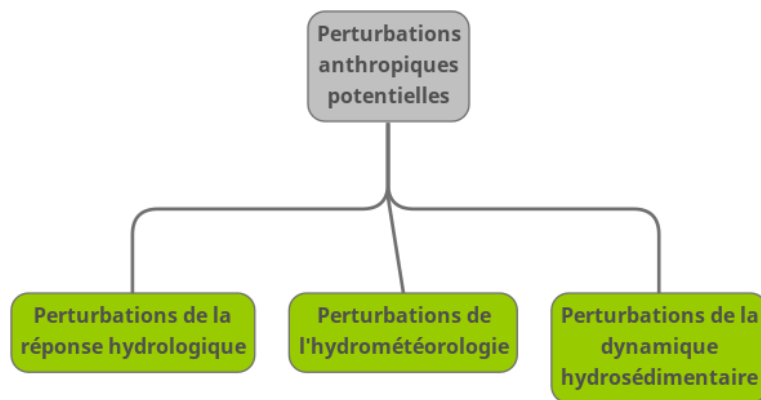


Figure 15. Décomposition de la sous-dimension « Perturbations anthropiques potentielles ».

6.1.1.2 Sous dimension « Aléa secondaire »

La sous-dimension « Aléa secondaire » comprend deux subdivisions dont une correspond à un critère intitulée « Aléa secondaire d'origine naturelle » et un autre correspond à une sous-dimension nommée « Aléa secondaire d'origine anthropique » (Figure 16).

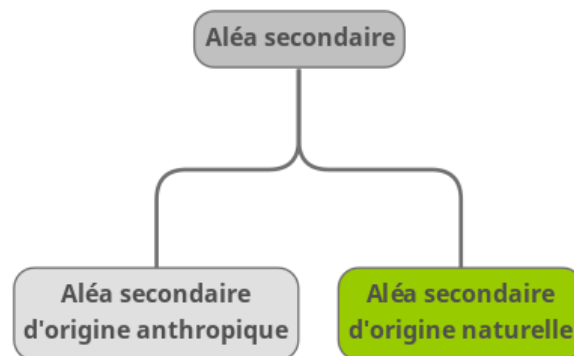


Figure 16. Décomposition de la sous-dimension « Aléa secondaire ».

a) Le critère « Aléa secondaire d'origine naturelle »

Le critère « Aléa secondaire d'origine naturelle » qui desservait des indicateurs en lien avec l'identification de tronçons de cours d'eau sensibles aux mouvements de masses, a été désactivé. En effet et notamment, nous estimons que l'amplification du phénomène inondation par cet aléa secondaire est négligeable en comparaison avec les formes d'aléa secondaire d'origine anthropique.

b) Sous-dimension « Aléa secondaire d'origine anthropique »

La sous-dimension « Aléa secondaire d'origine anthropique » se subdivise en **deux critères** distincts à savoir, « **Contamination** » et « **Rupture d'ouvrage hydraulique** » (Figure 17). Respectivement, ces critères desservent des indicateurs qui permettent de relever la présence de sources de contamination et

de barrages avec un niveau de conséquences important à considérable en cas de rupture de barrage ou de digue. Plus leur nombre est grand, plus la probabilité qu'un aléa secondaire survienne est élevée. C'est sur cette prémisse que la valeur des indicateurs de ce critère est à maximiser.

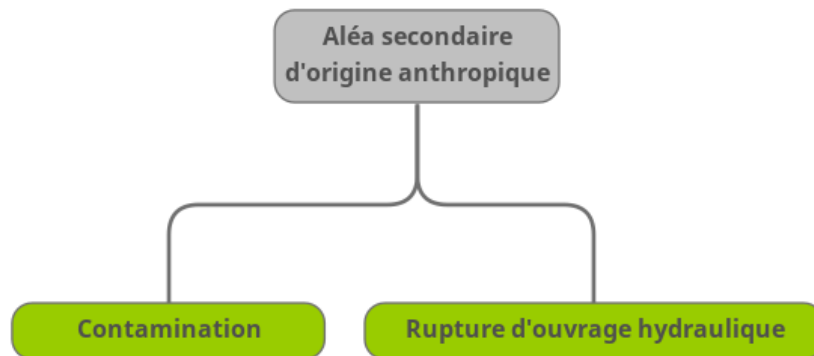


Figure 17. Décomposition de la sous-dimension « Aléa secondaire d'origine anthropique ».

6.1.2 DIMENSION « VULNÉRABILITÉ »

La dimension « Vulnérabilité » permet de vérifier la présence d'enjeux à l'intérieur de la ZIP ou potentiellement exposés au phénomène d'inondation. Si l'on s'en tient à la définition retenue dans les *Concepts de base en sécurité civile* du Québec, celle-ci intègre trois composantes à savoir, le degré d'exposition, la sensibilité et la valeur stratégique des enjeux touchés par les inondations. Il est à noter que cette définition de la vulnérabilité traite uniquement des enjeux touchés ou qui peuvent être touchés par les inondations (la vulnérabilité des enjeux pouvant être évaluée indépendamment des aléas). Certains paramètres (temps, argent, disponibilité des données, échelle d'analyse...) contraignent souvent la forme finale de l'analyse de risques. Ainsi, par exemple, l'évaluation de la vulnérabilité exclura des indicateurs de « sensibilité ». Une telle exclusion laisse place à une analyse partielle du risque, car, à ce moment-là, seule l'exposition des enjeux (localisation des enjeux dans la zone inondable) est effective. La vulnérabilité intègre également la valeur stratégique des enjeux qui peut directement servir à la pondération des critères selon l'objectif ultime de bonification de la gestion des risques et le point de vue des acteurs engagés à pondérer ces derniers.

Ainsi, la dimension « Vulnérabilité » met en évidence la sensibilité des enjeux en zone inondable et non la sensibilité des enjeux à l'échelle du bassin versant (sans tenir compte de l'aléa) qui ne correspondrait alors pas à la définition du risque tel qu'on l'entend dans le domaine de la gestion des risques depuis la fin des années 80 [24]. L'inclusion de l'exposition à la définition de la vulnérabilité simplifie considérablement la décomposition hiérarchique et permet de limiter les efforts d'investigation à la zone d'aléa potentielle.

En d'autres mots, la vulnérabilité est ici vue comme une conséquence potentielle de l'aléa, car elle se base sur des éléments exprimant une potentialité du risque ou des facteurs d'impact qui ne sont pas déjà assurément exprimés. Par le fait même, elle est un risque estimé et s'oppose au risque avéré ou réel qui est fondé sur les conséquences historiques, mises de l'avant dans la dimension du même nom. Ceci repose aussi sur le fait qu'une conséquence historique ou passée s'est déjà produite et est de l'ordre de la certitude par opposition à une conséquence potentielle ou future qui ne s'est pas encore produite et dont les caractéristiques de sa manifestation sont incertaines. Les conséquences historiques sont l'expression tangible des facteurs d'impact de l'aléa sur les personnes et le matériel. L'intégration des conséquences potentielles, permet d'anticiper le risque d'inondation sous forme d'une trame homogène à l'échelle des bassins versants sans dépendre de la donnée rattachée aux conséquences historiques dont la trame est habituellement discontinue compte tenu de sa nature et de la façon dont elle est répertoriée. Ainsi, la vulnérabilité permet une comparaison équitable entre les différents bassins versants.

La hiérarchie de la dimension « Vulnérabilité » se décompose en deux critères « Vulnérabilité économique » et « Vulnérabilité environnementale » et deux sous-dimensions « Vulnérabilité des personnes » et « Vulnérabilité physique » (Figure 18). La Figure 19 illustre la décomposition complète de la dimension « Vulnérabilité ».

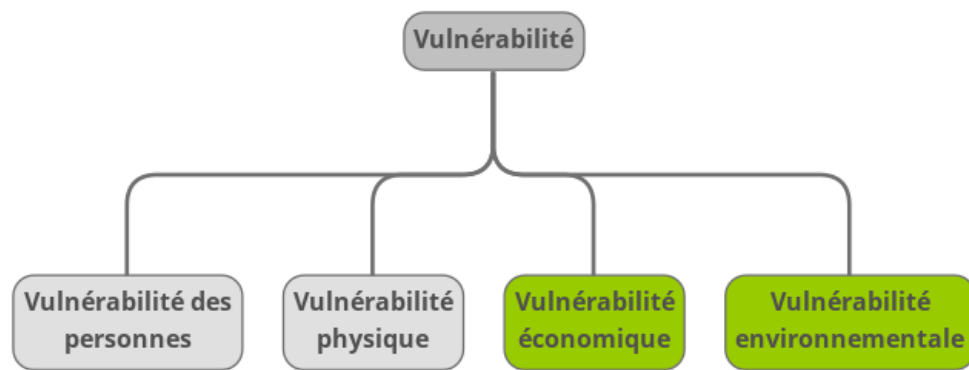


Figure 18. Premier niveau de la décomposition de la dimension « Vulnérabilité ».

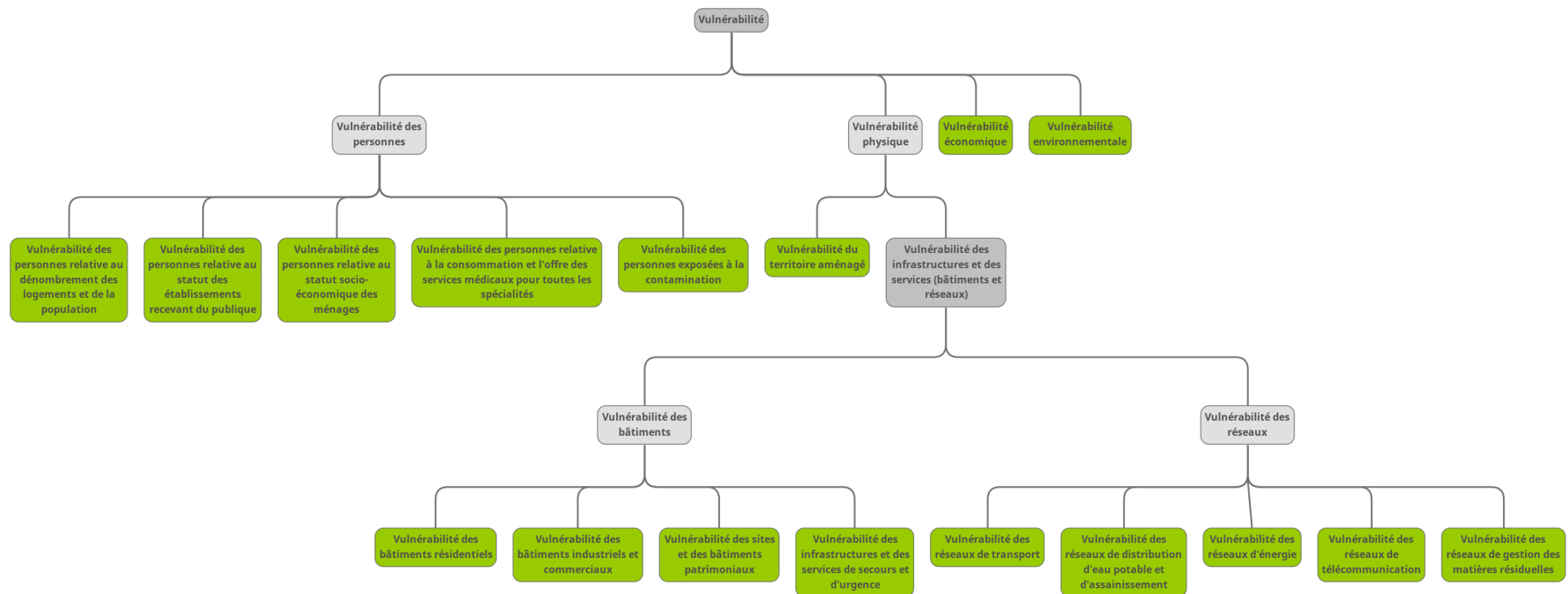


Figure 19. Décomposition complète de la dimension « Vulnérabilité ».

6.1.2.1 Critère « Vulnérabilité économique »

Le critère « Vulnérabilité économique » permet d'identifier les bassins versants dont le secteur économique pourrait avoir plus de difficulté à se rétablir à la suite de sinistres causés par des inondations. Les indicateurs choisis sont reliés au nombre et à la proportion d'emplois attribuables aux secteurs des industries d'extraction, des pêcheries, de la foresterie ou de l'agriculture situés à l'intérieur de la ZIP. Ces sous-secteurs économiques sont reconnus pour être davantage exposés aux aléas. Ainsi, plus il y a d'emplois de ce sous-secteur économique en ZIP, plus le secteur économique a de probabilité d'être impacté (ex. : temps de rétablissement plus long). La valeur des indicateurs est donc à maximiser.

6.1.2.2 Critère « Vulnérabilité environnementale »

Le critère « Vulnérabilité environnementale » permet de quantifier les milieux humides riverains et les aires naturelles reconnues ou protégées à l'intérieur de la ZIP potentiellement exposés à la contamination. Plus leur nombre et leur proportion territoriale sont élevés, plus l'exposition à la contamination est susceptible d'être grande. La valeur des indicateurs de ce critère est donc à maximiser.

6.1.2.3 Sous dimension « Vulnérabilité des personnes »

La sous-dimension « Vulnérabilité des personnes » se décompose en **cinq critères** : « **Vulnérabilité des personnes relative au dénombrement des logements et de la population** », « **Vulnérabilité des personnes relative au statut des établissements recevant du public** », « **Vulnérabilité des personnes relative au statut socio-économique des ménages** » et « **Vulnérabilité des personnes exposées à la contamination** » (Figure 18). Cet embranchement mène à des indicateurs qui permettent d'identifier le nombre, la proportion et la concentration de résidents permanents vivant à l'intérieur de la ZIP, mais aussi les ménages et les types de publics sensibles. D'autres indicateurs permettent de mesurer la vulnérabilité projetée en se basant sur l'accroissement démographique des municipalités par retranscription proportionnelle sur la position des logements en ZIP. Enfin des indicateurs sont attribués à la mesure du nombre et de la proportion d'habitants alimentés par des puits d'eau potable potentiellement exposé à la contamination. Plus la valeur de ces indicateurs est élevée, plus les conséquences potentielles pour les personnes sont grandes. Le **critère « Vulnérabilité des personnes relative à la consommation et l'offre des services médicaux pour toutes les spécialités »** n'est pas actif, car celui-ci desservait des indicateurs dont la construction et la signification exprimait une certaine redondance avec l'information implicite soulevée par les indicateurs de sensibilité socio-économique des ménages. En effet, il est démontré qu'il existe une certaine corrélation entre le statut socio-économique des personnes et leur niveau de santé. D'autre part, les indicateurs d'état de santé potentiel étaient notamment construits sur les résultats de l'indice de défavorisation sociale et matérielle eux-mêmes déduits des paramètres socio-économiques des ménages.

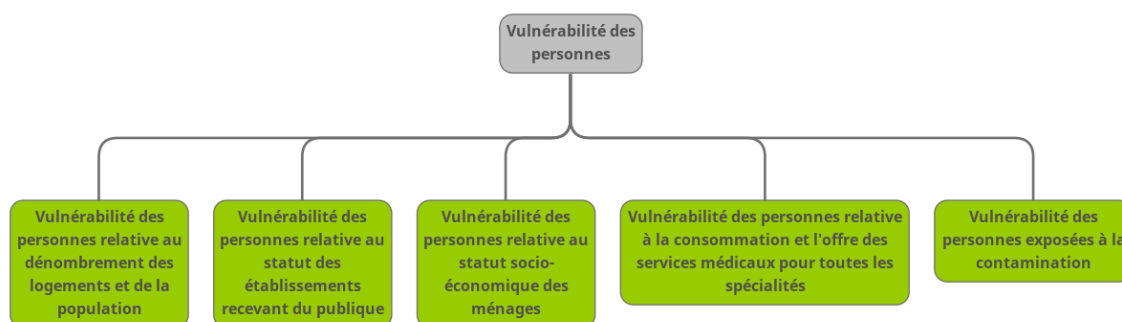


Figure 20. Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des personnes ».

6.1.2.4 Sous-dimension « Vulnérabilité physique »

La sous-dimension « Vulnérabilité physique » se décompose en un critère et une sous-dimension qui s'intitulent respectivement « Vulnérabilité du territoire aménagé » et « Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux) » (Figure 21).

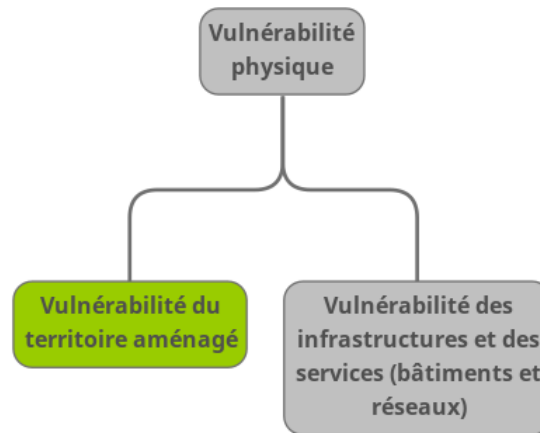


Figure 21. Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité physique ».

a) Critère « Vulnérabilité du territoire aménagé »

Par l'intermédiaire de ses indicateurs, le critère « Vulnérabilité du territoire aménagé » quantifie les zones urbaines traversées par des cours d'eau ou situées à l'intérieur de la ZIP. Les zones urbaines sont caractérisées par les îlots déstructurés et les périmètres d'urbanisation dans lesquels sont inclus les zones prioritaires d'aménagement (ZPA). L'hypothèse qui soutient la maximisation de la valeur des indicateurs de ce critère est que plus il y a de polygones urbains, plus il y a potentiellement d'entités administratives distinctes avec une gestion du risque distincte et plus la gestion du risque est susceptible d'être hétérogène à l'intérieur d'un même bassin versant. En effet, pour éviter d'ignorer les effets de certaines interventions d'urgence sur les municipalités en aval, une coordination décisionnelle amont/aval ou une gestion intégrée des bassins versant est essentielle. Aussi, on peut supposer que plus le tissu urbain d'une entité municipale est fragmenté, moins la densité urbaine est grande et plus l'effort d'intervention est dissipé dans l'espace. Enfin, plus la superficie et la proportion de zones urbaines à l'intérieur de la ZIP sont grandes, plus le risque est susceptible d'être élevé.

b) Sous-dimension « Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux) »

La sous-dimension « Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux) » se subdivise en deux sous-dimensions soit, « Vulnérabilité des bâtiments » et « Vulnérabilité des réseaux » (Figure 22).

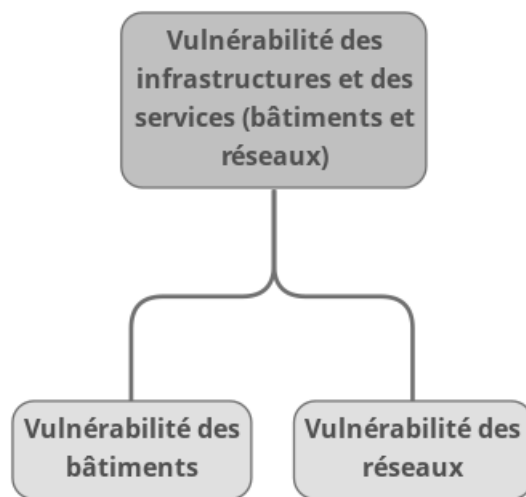


Figure 22. Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux) ».

La sous-dimension « **Vulnérabilité des bâtiments** » aboutie sur **quatre critères** que sont « **Vulnérabilité des bâtiments résidentiels** », « **Vulnérabilité des infrastructures et des services de secours et d'urgence** », « **Vulnérabilité des bâtiments industriels et commerciaux** » et « **Vulnérabilité des sites et des bâtiments patrimoniaux** » (Figure 23). Tous et chacun rapportent une information qui permet de faire l'état du nombre d'enjeux à l'intérieur de la ZIP. Les indicateurs du critère « Vulnérabilité des bâtiments résidentiels » permettent aussi de mesurer une proportion et une concentration de résidences à l'intérieur de la ZIP. De manière généralisée à l'ensemble de ces critères, plus la quantité d'enjeux en ZIP est importante, plus le risque est susceptible d'être élevé ou, en ce qui a trait aux infrastructures et aux services de secours et d'urgence, plus les communautés sont susceptibles de dépendre de l'aide extérieure. Bien que les sites et bâtiments patrimoniaux aient tendance, de prime abord, à être placés en bas de la liste des priorités lors d'un sinistre, leur importance peut s'exprimer à travers leur perte irrémédiable, leur valeur sentimentale ou leur valeur monétaire inestimable. La valeur des indicateurs de ces critères est à maximiser.

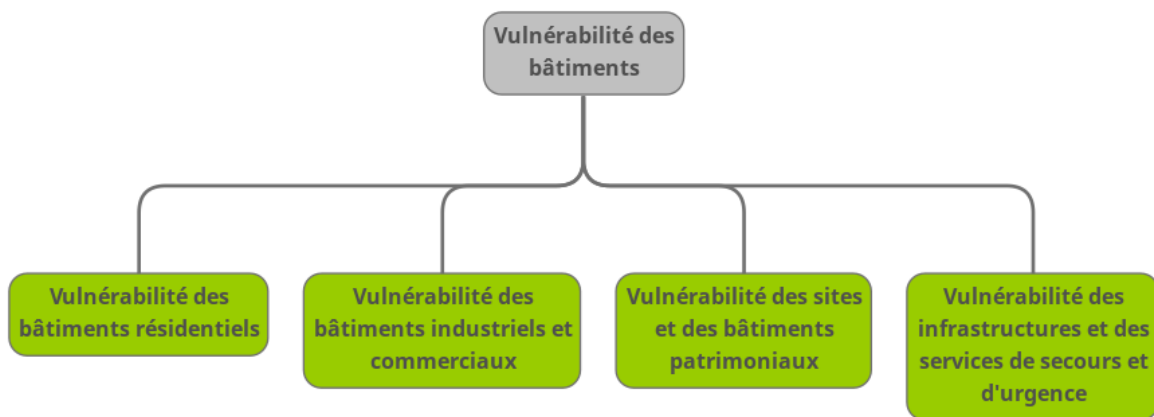


Figure 23. Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des bâtiments ».

La **sous-dimension « Vulnérabilité des réseaux »** aboutie sur cinq critères à savoir, « Vulnérabilité des réseaux de transport », « Vulnérabilité des réseaux de distribution d'eau potable et d'assainissement », « Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles », « Vulnérabilité des réseaux de distribution d'énergie » et « Vulnérabilité des réseaux de télécommunication » (Figure 24).

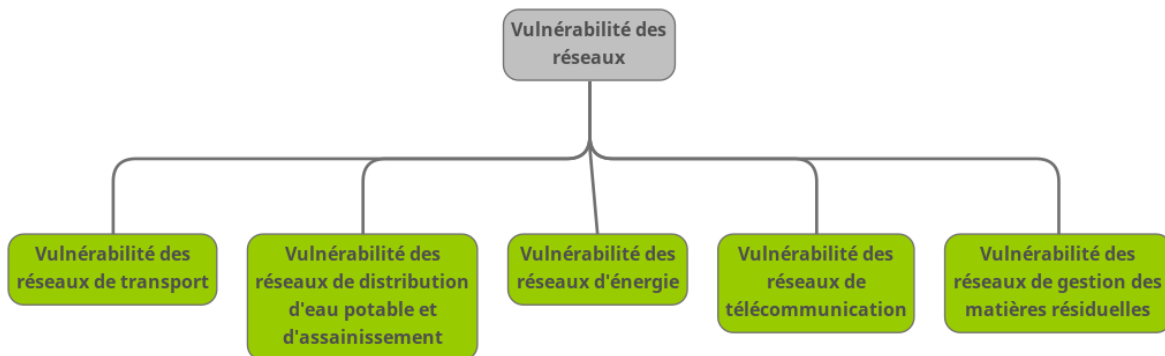


Figure 24. Décomposition de la sous-dimension « Vulnérabilité des réseaux ».

- Le **critère de « Vulnérabilité des réseaux de transport »** permet notamment de calculer la longueur et la proportion de route à l'intérieur de la ZIP ainsi que la concentration de ponts par kilomètre linéaire de cours d'eau. Plus la longueur, la proportion et la densité sont grandes, plus le risque potentiel pour le réseau routier est grand. Par conséquent, la valeur des indicateurs de ce critère est à maximiser.
- Le **critère de « Vulnérabilité des réseaux de distribution d'eau potable et d'assainissement »** réfère à des indicateurs qui prennent compte de l'importance des infrastructures ponctuelles du réseau de distribution d'eau potable et du réseau de récupération des eaux usées situés à l'intérieur de la ZIP selon la population et la proportion de la population qu'elles desservent. Plus la population réelle ou théorique et la proportion de la population réelle ou théorique

desservie par l'infrastructure est grande, plus le risque occasionné par l'infrastructure est susceptible d'être grand. De ce fait, la valeur des indicateurs de ce critère est à maximiser.

- Le **critère « Vulnérabilité des réseaux de distribution d'énergie »** réfère à un indicateur qui prend en compte la ponctualité des infrastructures du réseau de distribution d'énergie situés à l'intérieur de la ZIP tels que les transformateurs électriques, les infrastructures liées à la distribution de gaz ou de produits pétroliers et les pylônes électriques. D'après les bases de données connues, la connaissance de l'importance de ces infrastructures en termes de population desservie n'était pas accessible. Plus le nombre d'infrastructures est grand, plus les conséquences potentielles de leur dysfonctionnement sur les communautés sont susceptibles d'être importante. Ainsi, la valeur des indicateurs de ce critère est à maximiser.
- Les **critères « Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles »** et **« Vulnérabilité des réseaux de télécommunication »** sont inactifs dans le cadre de cet exercice de priorisation. La décision de rendre inactif le premier critère est que nous sommes partis de l'hypothèse que les réseaux de gestion des matières résiduelles impactés par les inondations peuvent temporairement être substitués par ceux des territoires voisins. Pour les indicateurs du second critère, nous avons décidé de les écarter par faute de temps d'investigation pour confirmer la vulnérabilité probable des réseaux de télécommunication québécois aux inondations. Nous émettons aussi l'hypothèse que si le MSP ne peut pas nous renseigner sur les risques associés aux réseaux de télécommunication en période d'inondation, c'est que ceux-ci ne sont probablement pas vulnérables. Les seuls documents trouvés sur ce sujet, sont associés aux inondations de la rivière Rouge au Manitoba qui ont touché les centres de commutation et les groupes de téléconcentrateur de lignes et, indirectement, provoqué un dysfonctionnement principalement restreint aux lignes locales [25]. Pour le Québec, au moment du projet, nous ne disposions pas de données géographiques spécifiques à ce type d'infrastructure.

6.1.3 DIMENSION « CONSÉQUENCES HISTORIQUES »

La dimension « Conséquences historiques » permet de rendre compte des impacts réels causés par les inondations historiques en quantifiant les personnes et les biens touchés ou en comptabilisant les dépenses qui y sont associées (Figure 25). Les dommages monétaires et non monétaires sont une preuve tangible de la manifestation des aléas et permettent d'identifier indirectement les foyers de vulnérabilité ainsi que la nature et l'intensité de l'aléa. La base des données des réclamations faites au MSP, bien que fragmentaire et spécifique aux biens essentiels, constitue une base minimale raisonnable en l'absence de bases de données plus complètes sur le dommage monétaire. Différentes formes de dommages peuvent être considérées (direct, indirect, tangible et intangible). Par contre, les indicateurs des formes de dommage indirect (ex. : pertes financières) et intangible (ex : impacts psychologiques) sont souvent exclus des analyses de risques en raison d'une documentation uniforme inexistante à leur sujet ou de la difficulté à les mesurer.

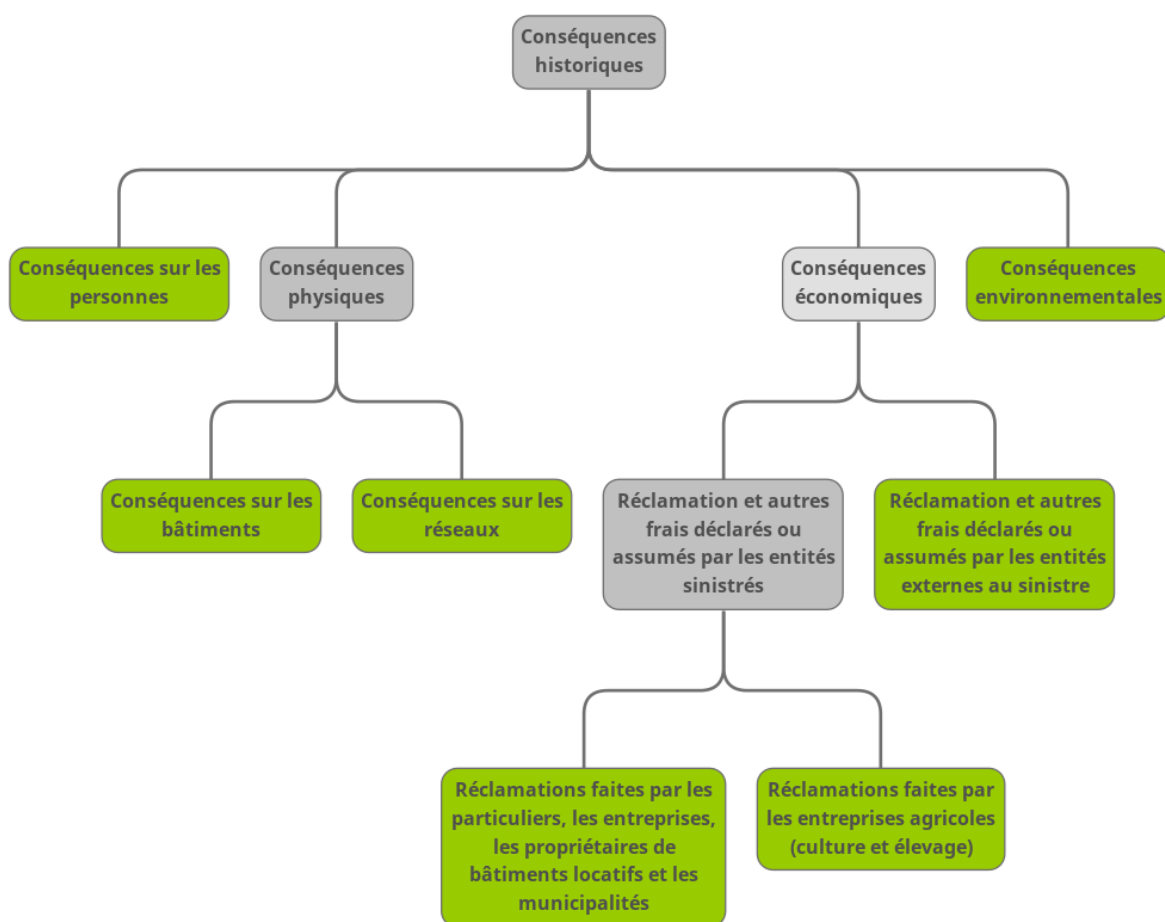


Figure 25. Décomposition complète de la dimension « Conséquences historiques ».

La hiérarchie de cette dimension se décompose en deux critères et deux sous-dimensions qui sont respectivement « Conséquences sur les personnes » et « Conséquences environnementales » ainsi que « Conséquences physiques » et « Conséquences économiques » (Figure 26). Ce premier niveau de décomposition suit un schéma identique à celui de la dimension « Vulnérabilité ». Autrement dit, les mêmes thématiques d'enjeu y sont abordées. Toutefois, les niveaux de décomposition suivants sont différents, car ils ont été construits en fonction de la disponibilité des données permettant d'alimenter les différentes thématiques d'enjeu.

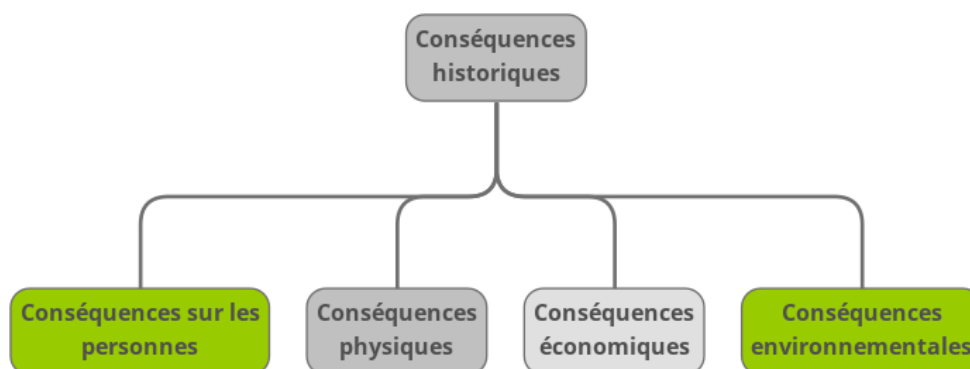


Figure 26. Décomposition de la dimension « Conséquences historiques ».

6.1.3.1 Critère « Conséquences sur les personnes »

Le critère « Conséquences sur les personnes » permet d'identifier les bassins versants pour lesquels davantage de signalements de symptômes se comparant à des problèmes gastro-intestinaux et des lésions traumatiques ont été rapportés à Info-Santé. Les indicateurs en lien avec ce critère sont donc uniquement orientés sur les impacts de santé humaine provoqués par l'aléa secondaire de contamination des eaux de consommation domestique. Plus le nombre et la proportion d'appels à Info-Santé pour la période printanière est grand, plus les impacts sur la santé potentiellement en lien avec les inondations sont grands. L'origine du pronostic est potentielle, car les données d'Info-santé ne permettent pas de confirmer que la cause de la contamination est assurément liée à l'aléa primaire. Les mois d'avril et mai désignés lors de l'extraction et l'obtention des données ont alors toute leur importance, car ils se restreignent à la période de l'année où l'occurrence et l'ampleur des inondations sont susceptibles d'être les plus grands au Québec et ainsi être en corrélation avec la hausse des volumes d'appels en lien avec les problèmes gastro-intestinaux. La valeur de ces indicateurs est donc à maximiser.

6.1.3.2 Critère « Conséquences environnementales »

Ce critère ne contient pas d'indicateur pour cette version de l'outil de priorisation. De prime abord et au moment de la réalisation du projet, aucune base de données existante et/ou accessible et/ou exploitable n'était connue.

6.1.3.3 Sous-dimension « Conséquences physiques »

La sous-dimension « Conséquences physiques » se subdivise en deux critères soit, « Conséquences sur les bâtiments » et « Conséquences sur les réseaux » (Figure 27). Les indicateurs du **critère « Conséquences sur les bâtiments »** permettent de comptabiliser le nombre d'inondations en eau libre historiques de

sévérité modérée à extrême répertoriées par le MSP (les niveaux de sévérité sont notamment définis en fonction du nombre de bâtiments touchés) et le nombre de fois qu'un propriétaire de bâtiment a déclaré à la direction du rétablissement du MSP être touché par une inondation. Plus les nombres d'évènements répertoriés et de réclamations sont grands, plus les conséquences sont élevées. Quant à l'indicateur du **critère « Conséquences sur les réseaux »**, celui-ci permet d'identifier le nombre d'artères routières entravées dont le débit journalier moyen annuel est supérieur ou égal à 25 000 passages de véhicule. Plus le nombre de voies entravées est grand, plus les conséquences sur le réseau routier sont grandes. La valeur des indicateurs de ces critères est donc à maximiser.

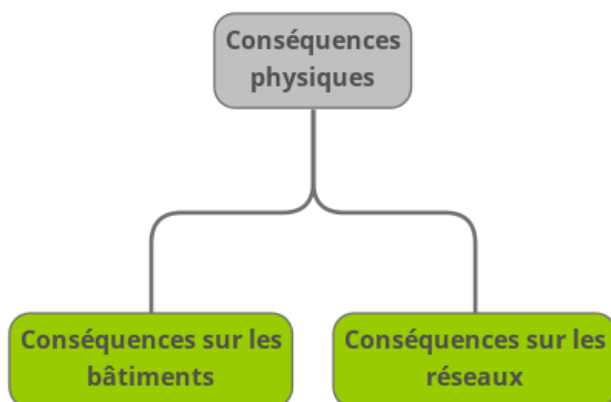


Figure 27. Décomposition de la sous-dimension « Conséquences physiques ».

6.1.3.4 Sous-dimension « Conséquences économiques »

La sous-dimension « Conséquences économiques » se subdivise en un critère « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités externes au sinistre » et une sous-dimension « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés » (Figure 28). Cet embranchement permet de relever les conséquences historiques d'un point de vue monétaire.

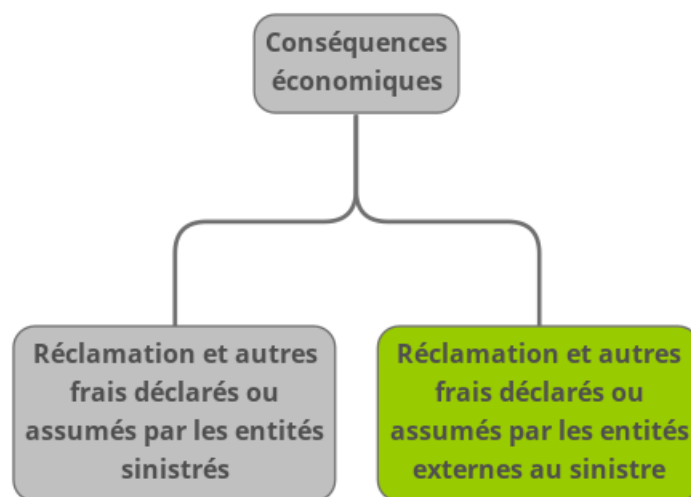


Figure 28. Décomposition de la sous-dimension « Conséquences économiques ».

a) Critère « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités externes au sinistre »

Le critère « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités externes au sinistre » exprime la somme des indemnités versée par la direction du rétablissement aux organismes et aux municipalités externes ayant porté aide et assistance. Plus la somme est grande, plus les conséquences économiques sont élevées. La valeur de cet indicateur est donc à maximiser.

b) Sous-dimension « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés »

La sous-dimension « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés » aboutie sur deux critères distincts à savoir, « Réclamations faites par les particuliers, les entreprises, les propriétaires de bâtiments locatifs et les municipalités » et « Réclamations faites par les entreprises agricoles (culture et élevage) » (Figure 29). Le **critère « Réclamations faites par les particuliers, les entreprises, les propriétaires de bâtiments locatifs et les municipalités »** fait l'état de la somme des montants réclamés à la direction du rétablissement du MSP par municipalité. Plus la somme est grande, plus les conséquences économiques sont élevées. La valeur de cet indicateur est donc à maximiser. Pour ce qui est du second **critère « Réclamations faites par les entreprises agricoles (culture et élevage) »**, celui-ci a été désactivé, car le secteur agricole n'est tout simplement pas un enjeu pour lequel la cartographie hydraulique sera appliquée.

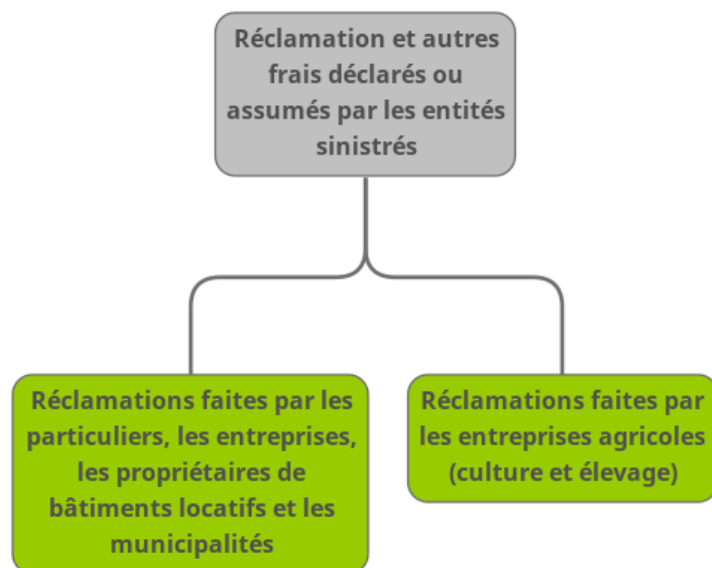


Figure 29. Décomposition de la sous-dimension « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés ».

6.1.4 DIMENSION « RÉSILIENCE »

La dimension « Résilience » est une composante essentielle en gestion des risques qui permet de mettre en exergue les éléments qui atténuent explicitement ou implicitement le risque d'inondation. Elle apparaît ici comme une dimension en soi, mais cela aurait pu être tout autre. Son évaluation demeure complexe et son importance dans l'exercice de priorisation est délicat (voir encadré). Une bonne compréhension et un développement rigoureux dans une structure hiérarchique de la dimension « Résilience » permettrait de mieux saisir ou de mieux distinguer l'origine véritable du niveau de risque observé à travers la dimension « Conséquences historiques ». Autrement dit, elle aurait alors permis de mieux comprendre, par exemple, si la cause d'une situation à haut risque découle davantage d'un manque de mesures d'atténuation du risque que de la présence de particularités prédisposant à l'endommagement. D'autre part, en incluant la résilience à une analyse de risque⁵ le portrait du risque potentiel est beaucoup plus justement dressé (ou plus complet), car le risque potentiel ne s'estime pas uniquement à travers l'incapacité à résister à l'aléa. Plus on décompose le risque mieux on en identifie les causes et plus il est facile de trouver des solutions appropriées pour l'atténuer. Toutefois, le véritable argument qui justifie que l'on ait eu raison de dissocier la résilience de la vulnérabilité est le court délai imposé par l'échéancier. Vraisemblablement, il nous aurait fallu davantage de temps pour investiguer et mieux comprendre comment intégrer cette sous-composante à la vulnérabilité compte tenu de la non nécessité de mettre le doigt sur les causes du risque, mais plutôt d'identifier les bassins versants avec le plus haut niveau de risque afin d'en prioriser leur cartographie qui servira à spatialiser l'aléa plus justement que la ZIP ne permet de le faire dans cette analyse préliminaire du risque d'inondation et ainsi de définir plus justement le risque et ultimement les solutions permettant d'atténuer ce dernier. La complexité à prendre position sur le rôle de la résilience dans la priorisation, nous a poussé à attribuer le plus faible poids de priorisation pour la dimension qui la représente et à en restreindre son nombre d'indicateurs. Ainsi, seuls quelques indicateurs avec une faible ambiguïté d'interprétation en ce qui a trait à la priorisation ont été retenus.

Remarque – ambiguïté interprétative de la résilience

Au fil du processus de hiérarchisation et d'inventaire des indicateurs, nous nous sommes aperçus que l'interprétation de la valeur des indicateurs de la dimension « Résilience » représentait un défi non négligeable. En effet, doit-on prioriser les bassins versants pour lesquels les communautés montrent une faible résilience ou ceux dont les communautés montrent une grande résilience? Autrement dit, doit-on continuer à favoriser les communautés qui font de réels efforts pour se protéger ou aider les communautés pour lesquelles il semblerait que moins d'actions de résistance et/ou d'adaptation aient été entreprises? Aussi, le niveau de résilience est-il dépendant de la manifestation de l'aléa? La réponse est probablement et minimalement « dans une certaine proportion » si l'on considère que la mise en place de mesures d'atténuation structurelles n'intervient uniquement que dans les environnements où l'aléa a déjà été observé ou a été détecté comme probable. Dans ce cas, et si la proportion des indicateurs en lien avec les mesures d'atténuation structurelles est plus grande que celle des indicateurs de résilience dont la variabilité des valeurs obtenues ne s'explique assurément pas par l'occurrence de l'aléa (ex. : indicateurs de capacité d'adaptation), il y aurait proportionnellement un moins grand intérêt à prioriser les bassins versants avec une faible résilience (pas d'aléa = pas de mise en place de moyens d'atténuation). En revanche, il n'est pas aussi facile de statuer de la sorte, car d'autres spéculations invérifiées nous empêchent

⁵ Ce ne sont pas toutes les analyses de risque qui tiennent compte de la composante ou sous-composante (dépendamment du point de vue) de la résilience.

d'entériner la corrélation conceptuelle reliant la manifestation de l'aléa au niveau de résilience observée. Par exemple, l'absence de mesures d'atténuation structurelles s'explique peut-être par le laxisme, la faible pro-activité ou l'absence de moyens techniques de certaines communautés. Vu sous cet angle, l'absence de l'aléa n'explique peut-être pas à lui seul la faible résilience. C'est pourquoi il est difficile de se prononcer sur le niveau de résilience qui donnerait la priorité.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une analyse exhaustive de la résilience en raison de la complexité évoquée précédemment, quelques indicateurs permettant de relever des actions qui sont menées pour prévenir les inondations ou qui permettent de constater un état implicite de capacité des communautés à résister contre les inondations ont été retenus. Cette dimension se décompose en un critère « Capacité à réduire le risque » et une sous-dimension « Mesures d'atténuation existantes » (Figure 30).

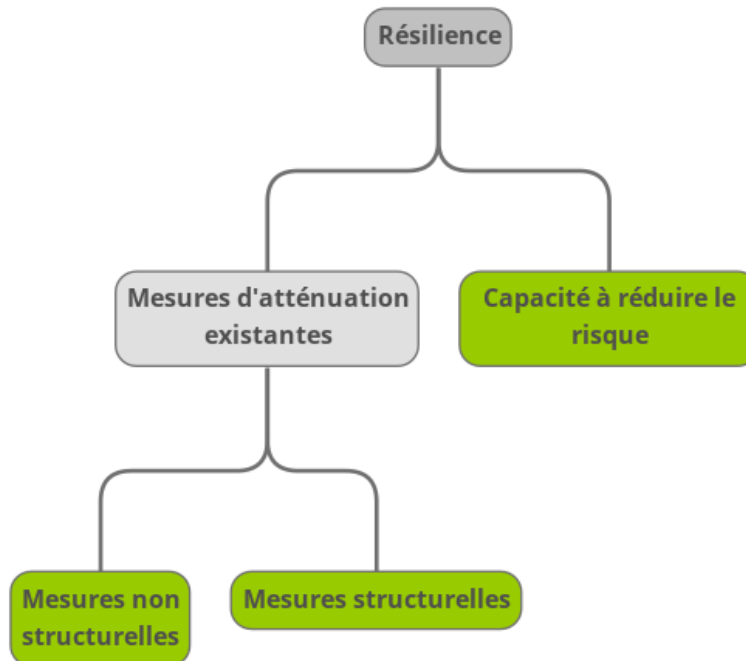


Figure 30. Décomposition de la dimension « Résilience ».

6.1.4.1 Critère « Capacité à réduire le risque »

Le critère « Capacité à réduire le risque » est constitué de l'indice de capacité à réduire le risque de proposé par [26], professeure-chercheuse à l'Université Laval, dans l'Atlas de vulnérabilité. Cet indice de capacité intrinsèque des communautés est surtout centré sur l'accessibilité géographique de la population ou la proximité de celle-ci avec certains services et infrastructures de secours/d'urgence et de santé publique. Toutefois, cet indice est calculé pour des aires de diffusion sans tenir compte de l'expression géographique du phénomène d'inondation. C'est pourquoi deux indicateurs sont proposés de façon à circonscrire l'analyse aux communautés exposées à la ZIP. Il s'agit d'indicateurs de superficie et de

proportion de la ZIP avec une capacité à faire face moyenne à très forte. Plus ces indicateurs ont une valeur élevée, meilleure est la résilience de la communauté du bassin versant. Ainsi, la valeur de ces indicateurs est minimisée pour donner l'avantage aux bassins versants pour lesquels ces indicateurs se traduisent par une faible valeur.

6.1.4.2 Sous-dimension « Mesures d'atténuation existantes »

La sous-dimension « Mesures d'atténuation existantes » permet de relever via l'analyse de mesures censées ou pouvant, à priori, atténuer le risque d'inondation, les bassins versants qui ont une faible résilience et qui devraient d'après cet état de fait être priorités. Cette sous-dimension aboutie sur deux critères à savoir, « Mesures non structurelles » et « Mesures structurelles » (Figure 31)

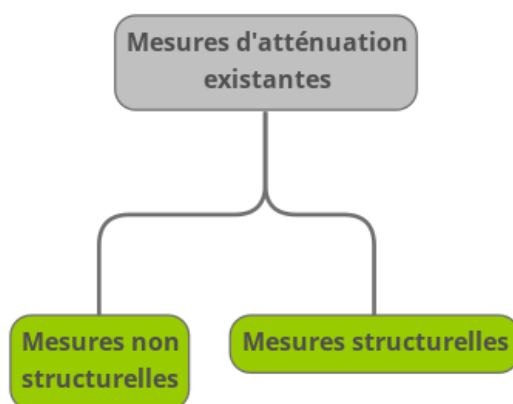


Figure 31. Décomposition de la dimension « Mesures d'atténuation existantes ».

a) Critère « Mesures non structurelles »

Les indicateurs desservis par le critère « Mesures non structurelles » assument un caractère implicite de résilience à travers le taux d'affectations territoriales ou d'usages prédominant dans la ZIP compatibles avec l'inondabilité et la proportion du bassin versant couvert par des municipalités et/ou MRC avec un plan de mesure d'urgence. Pour le second indicateur, il faut toutefois se questionner sur la valeur des plans dans un contexte de résilience aux inondations considérant que ce que requiert leur contenu est le minimum recommandé par la loi et qu'il s'adresse à une gestion multirisque.

Remarque – plan de mesures d'urgence

Le 9 novembre 2019, les municipalités du Québec devront appliquer le règlement sur les procédures d'alerte et de mobilisation et les moyens de secours minimaux pour protéger la sécurité des personnes et des biens en cas de sinistre. L'indicateur « Proportion du bassin versant couvert par des municipalités et/ou MRC avec un plan de mesure d'urgence » devrait alors, à partir de cette date, tomber désuet en raison d'une couverture totale du territoire par les plans de mesures d'urgence.

b) Critère « Mesures structurelles »

L'indicateur du critère « Mesures structurelles » porte sur le nombre de barrages avec utilisations "contrôle des inondations" et/ou "bassin de rétention". Cet indicateur possède une double signification possible qui nécessitait encore d'être débattu au moment de la rédaction de ce rapport. La première signification le positionne d'un point de vue annonciateur des efforts de mise en place structurelle pour réduire l'effet dévastateur des crues sur les communautés situées en aval de ces ouvrages hydrauliques. La seconde signification en est une interprétation inverse qui se positionne sur le fait que l'édification de tels ouvrages hydrauliques inhibe la culture du risque en prodiguant un faux sentiment de sécurité qui laisse place à l'urbanisation dans les zones que l'on considère désormais soustraites aux zones inondables suite à une diminution de la fréquence et de l'intensité hydraulique des crues. Ainsi, dépendamment de la signification choisie, l'indicateur sera minimisé ou maximisé. En optant pour la première signification, on accepte le fait que plus il y a de barrages destinés à ces utilisations, plus la communauté s'est adaptée et est devenue résiliente (diminution du risque). La valeur de l'indicateur est alors à minimiser. En choisissant la seconde signification, on accepte le fait que plus il y a de barrages destinés à ces utilisations, plus le risque d'inondation résiduelle est grand et plus la culture du risque est susceptible de s'être altérée avec le temps (augmentation du risque : on part du principe que le risque zéro n'existe pas). Dans ce cas, la valeur de l'indicateur est à maximiser. Pour opérationnaliser cet indicateur, des discussions supplémentaires incluant davantage de parties prenantes ainsi qu'une analyse de sensibilité de son impact sur la résilience sont suggérées.

6.2 INVENTAIRE ET SÉLECTION DES INDICATEURS

L'équipe de réalisation du projet a proposé une liste exhaustive d'indicateurs pour chaque critère en indiquant la disponibilité des données pour chacun des indicateurs. À partir de cette liste exhaustive, une liste simplifiée d'indicateurs composée seulement de ceux dont les données seraient disponibles/accessibles a été retenue par le comité thématique. Ces deux listes se retrouvent dans l'annexe 1. Deux rencontres ont eu lieu avec les membres du comité thématique pour valider le processus de sélection des indicateurs. Il est à noter qu'aucun représentant du ministère des affaires municipales et de l'habitation n'a pu participer au processus de discussion en lien avec les indicateurs.

Notre collaboration avec le MSP pour le développement méthodologique d'une priorisation des demandes de financement basée sur l'analyse de risques liés aux inondations (Cadre pour la prévention de sinistres 2013-2022) nous avait permis de cibler près de 300 indicateurs de vulnérabilité que nous avons pu associer aux différents critères contenus dans l'arbre hiérarchique. Des études récentes au Québec sur l'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle des municipalités et des MRC proposaient également des enjeux faciles à documenter que nous avons intégré dans la liste exhaustive d'indicateurs [26-29]. Par exemple, l'Atlas sur la vulnérabilité aux aléas hydrométéorologiques [30], auquel Ouranos a collaboré, a contribué à la réflexion quant aux choix des indicateurs ou indices pertinents à intégrer à l'outil d'aide à la décision.

Les indicateurs choisis dépendent de nombreuses prémisses liées à la disponibilité des bases de données permettant de les documenter, mais aussi des contraintes de temps imposées par l'échéancier du projet. La première liste d'indicateurs exhaustive a été dressée afin, notamment, de déterminer les indicateurs qui pourraient être intégrés à l'outil de priorisation mais aussi pour favoriser la discussion autour d'une sélection éclairée des indicateurs finaux. La seconde liste d'indicateurs retenus permettant de mesurer le risque d'inondation pour l'ensemble des bassins versants du Québec habité est donc issue de la liste exhaustive initialement proposée. Le Tableau 5 résume le nombre d'indicateurs retenus dans cette seconde liste ainsi que le nombre de critères selon les quatre dimensions fondamentales. Les indicateurs inactifs sont ceux pour lesquels l'extraction des données ou encore l'existence d'une base de données adéquates demeurent problématiques. Dans ces cas, les indicateurs se voient attribuer la même valeur pour tous les bassins versants pour les fins des calculs de priorisation.

Tableau 5. Récapitulatif du nombre de critères et du nombre d'indicateurs par dimension.

Dimension	Nb critères	Nb indicateurs	b indicateurs inacti	Nb indicateurs/critère
Aléa	15	20	5	1,33
Vulnérabilité	17	33	3	1,94
Conséquence	7	9	2	1,29
Résilience	3	5	2	1,67
Total	42	67	12	1,60

Plusieurs facteurs constituent un défi pour le choix des indicateurs. Le plus important de tous est sans nul doute celui de la disponibilité des données du point de vue de la vastitude de la zone d'étude - le Québec méridional habité - et de la grande variabilité dimensionnelle de l'objet d'étude qu'est le bassin versant (100 à 65 000 km²). En effet, une répartition spatiale homogène de la donnée à l'échelle de la zone d'étude

est nécessaire pour que puisse être comparé de façon équitable chaque bassin versant à tous les autres. À cet égard, une répartition spatiale homogène des données devrait également l'être à l'échelle de l'objet d'étude pour que l'interprétation de l'indicateur puisse représenter la réalité observée à cette même échelle. Par exemple, il est plus difficile d'obtenir une interprétation des indicateurs hydrométéorologiques ou hydrologiques qui soit applicable à l'échelle du bassin versant, car les données exploitables sont souvent extrapolées à partir de stations d'échantillonnage avec une distribution spatiale hétérogène attribuable à la position des zones habitées concentrées en périphérie des grands axes fluviaux et qui correspond à l'exutoire des bassins versants de niveau 1 et 2.

La taille de l'unité géographique dans laquelle la donnée est stockée est un des autres facteurs à considérer. Effectivement, pour les indicateurs intégrant la composante de l'exposition, si la résolution spatiale de leur donnée est trop faible, leur interprétation risque de ne pas être fidèle à la réalité. Par exemple, la donnée des aires de diffusion utilisée brute a tendance à surestimer le nombre de personnes et d'objets exposés en raison de leur grande taille qui peut largement dépasser de la zone inondable et ainsi englober des enjeux non exposés. Toutefois, ce biais peut être corrigé en redistribuant spatialement (ex. : via *dasymetric mapping*) la donnée à la position géographique d'objets avec une résolution spatiale plus grande (ex. : la population d'une aire de diffusion peut être divisée par le nombre de logements sur lesquels elle sera spatialement redistribuée $\approx$ nombre moyen de personnes par logement). L'analyse spatiale des enjeux exposés après la redistribution spatiale reflète alors plus fidèlement la réalité.

Une certaine imprécision est tolérée lorsque nous ne pouvons obtenir de meilleures bases de données pour calculer l'indicateur. La limite de l'imprécision est atteinte lorsque l'interprétation de l'indicateur ne fait plus de sens pour l'échelle de l'analyse ou lorsque cette dernière n'est plus capable de refléter les variabilités locales. Un indicateur avec un niveau de précision inacceptable qui n'a pas pu être remplacé par un indicateur avec une précision supérieure et dont la pertinence et la singularité apporte une plus-value essentielle à l'exercice de priorisation, peut cependant être retenu, mais déclaré inactif au moment d'exécuter le processus de priorisation, et ce, jusqu'à l'obtention d'une nouvelle base de données lui permettant d'atteindre un niveau de précision acceptable.

Les dimensions « Aléa », « Vulnérabilité » et « Conséquences historiques », desservent des indicateurs relevant la présence ou l'absence de l'aléa d'inondation, d'enjeux potentiellement exposés et d'impacts d'inondation historique contribuant à mettre en avant les bassins versant avec un haut risque d'inondation. Ceux-ci permettent généralement de mesurer une intensité par le dénombrement d'objets ou d'unités de surface, par la proportionnalité d'objet ou la proportionnalité surfacique et, dans une moindre mesure, la densité d'objet. Pour la plupart de ces indicateurs, la valeur obtenue est maximisée sur l'intervalle de valeurs (min/max) résultant de l'analyse de l'ensemble des bassins versants. Quant aux indicateurs de résilience permettant de relever les bassins versants ayant des prédispositions à se prémunir du risque d'inondation, leur valeur est minimisée afin de contrebalancer ou d'atténuer le risque d'inondation observée sur les bassins versants. Une fois ces indicateurs obtenus, leur valeur est multipliée par le poids de leur embranchement, d'où l'importance de l'étape de la pondération.

6.2.1 INVENTAIRE DES INDICATEURS

Dans le but de ne rien laisser au hasard et de pouvoir sélectionner adéquatement les indicateurs permettant de calculer un niveau de risque pour chaque bassin versant habité du Québec méridional, un inventaire des indicateurs mentionnés dans la littérature scientifique et des indicateurs déjà contextualisés à la situation du Québec a permis de constituer une première liste d'indicateurs adaptés à l'exercice de priorisation qui, à notre connaissance, est le premier de ce genre qui sera achevé en 2019, au Québec, dans le domaine de la gestion des risques. Par ailleurs, certains indicateurs de cette liste ont

spécifiquement été pensés pour les besoins du projet ou créés de toutes pièces à partir de données exclusives mises à la disposition par les institutions gouvernementales du Québec et du Canada. Parmi ces institutions on retrouve, entre autres, le ministère de la santé (MSSS), le ministère de l'environnement (MELCC), le ministère de l'éducation (MEE), le ministère de l'économie et de l'innovation (MEI), le ministère de la sécurité publique (MSP), le ministère des transports (MTQ), le ministère des affaires municipales (MAMH), le registraire des entreprises (organisme provincial), Statistique Canada (StatCan - agence fédéral) et l'institut de la statistique du Québec (ISQ). La recherche d'indicateurs a été adaptée aux courts délais impartis par le MELCC, laquelle ne représentait qu'une étape initiale et essentielle au démarrage des suivantes. Par conséquent, la recherche n'est pas tout à fait exhaustive et est restreinte aux différents aspects limitant la possibilité de calculer certains indicateurs. On peut toutefois parler d'une exhaustivité de la recherche d'indicateurs dans le cadre méthodologique que nous nous sommes imposés⁶, mais qui sera éventuellement et naturellement remise en cause par le temps compte tenu de l'évolution sans cesse grandissante des systèmes d'information géographique et des connaissances au sujet des enjeux territoriaux.

Les contraintes temporelles pour la réalisation du projet et d'indisponibilité de certaines données, nous ont également obligées à nous restreindre aux impacts et à l'exposition des enjeux explicites ou facilement documentables. Ainsi, ce sont principalement des indicateurs documentant les impacts directs et tangibles ainsi que l'exposition direct qui ont été documentés. En effet, les impacts indirects et/ou intangibles ou l'exposition indirect peuvent être plus difficiles à documenter (ex. : en raison de leur aspect intangible ou « impalpable », les impacts psychologiques d'une inondation sur les personnes sont difficilement mesurables). De plus, lorsque documentés, ils proviennent souvent d'études très localisées et limitées à des événements spécifiques. Les impacts et l'exposition indirects ne sont également pas toujours pris en compte dans les analyses de risque, car ils peuvent se manifester longtemps après l'inondation et s'étendre à l'extérieur de la zone inondable. Pour résumer, la méconnaissance de leurs limites spatiotemporelles les rendent souvent difficile à mesurer.

L'inventaire des indicateurs propose deux types d'indicateurs de vulnérabilité : les indicateurs d'exposition et les indicateurs de sensibilité. L'intitulé de l'indicateur exprime l'unité de mesure et le nom de l'enjeu quantifié par cette unité de mesures. Bien qu'elle ne figure pas dans l'intitulé des indicateurs de vulnérabilité et de conséquences historiques, les enjeux et les dommages sont bel et bien quantifiés à partir d'une exposition à l'aléa d'inondation. D'autre part, il est bon de rappeler que l'exposition mesurée à travers les différents indicateurs de vulnérabilité ce fait principalement vis-à-vis des inondations en eaux libre, car la ZIP utilisé est entre autre construite sur la projection d'une hauteur d'eau sur un modèle numérique de terrain qui ne tient pas compte des contextes météorologique et hydrogéomorphologique associés aux types d'inondations telles que les inondations par embâcles de glace et les inondations torrentielles dont la manifestation est souvent très circonscrite dans l'espace. Ainsi, cette approche répond à l'objectif principal du projet INFO-Crue qui est de compléter ou développer une cartographie des zones inondables en conditions d'eau libre selon la méthode hydraulique habituellement appliquée par le DEHA.

Bien que la majorité des indicateurs inventoriés mesure une exposition vis-à-vis de l'aléa primaire, c'est-à-dire, de l'aléa d'inondation, certains mesurent une exposition à la contamination qui est un des aléas secondaires pouvant être générés par l'aléa d'inondation. Seul l'aléa secondaire de la contamination transparaît principalement à travers la structure hiérarchique, car elle semble être la plus observée et

parce qu'elle a des impacts avérés sur la santé humaine et la qualité de l'environnement qui sont toutes deux mentionnées dans les orientations gouvernementales. Étant donné que l'exercice de priorisation a pour finalité principale de servir à la modélisation hydraulique de l'aléa primaire, il était important que les indicateurs liés à la contamination et les indicateurs liés à l'inondation puissent être mis en opposition dans la structure hiérarchique. Cette dualité est représentée à travers la structure hiérarchique des dimensions « Aléa », « Vulnérabilité » et « Conséquences historiques » par des sous-dimensions et des critères spécifiques à l'aléa primaire et à l'aléa secondaire. Comme tous les enjeux ne sont pas sensibles à la contamination ou parce que leur sensibilité à la contamination est peu évidente ou peu documentée, seules les catégories d'enjeux liées aux personnes et à l'environnement présentent cette dichotomie.

Il est important de noter que l'inventaire des indicateurs (annexe 1) n'a pas été réalisé en évitant la démultiplication d'une information redondante. Il s'agit avant tout de réaliser la plus grande liste d'indicateurs possible pour ensuite sélectionner ceux qui seraient le plus adéquat pour l'outil de priorisation.

Confusion à éviter – redondance interprétative des indicateurs

Il est important de faire la distinction entre les indicateurs sur la vulnérabilité des personnes et les indicateurs sur la vulnérabilité physique. En effet, certains indicateurs se basent sur des unités de mesure semblables et laissent croire que l'information qu'ils véhiculent est identique (ex. : « densité de logement » pour l'exposition des personnes vs « densité de résidence » pour l'exposition des biens). Or, leur interprétation est différente, car la première sous-dimension apporte un point de vue sur la vulnérabilité intrinsèque aux personnes ou à la population alors que la seconde apporte un point de vue sur la vulnérabilité intrinsèque à la structure physique des bâtiments. Cet amalgame est surtout constaté avec les bâtiments et les infrastructures dont la vocation est d'héberger, de desservir ou d'offrir des services à des personnes. Le dénombrement des bâtiments et des infrastructures peut donc servir à évaluer la vulnérabilité d'un lieu de vie ou d'un service et c'est pourquoi il est important de bien reconnaître les nuances de leur interprétation selon la thématique de la sous-dimension dans laquelle ils apparaissent et de ne pas voir leur multiple apparition comme une redondance de l'information qui ne devrait pas avoir lieu. Expliqué différemment, c'est l'appellation de la donnée ou la constitution nominative de l'indicateur à partir de l'appellation de la donnée qui confond le lecteur, car la donnée n'est pas toujours utilisée dans le sujet sous-entendu par son appellation. Elle peut s'en détacher pour servir à la mesure de l'exposition ou de la sensibilité d'un objet, d'un enjeu ou d'une thématique démunie d'une unité de mesure permettant de la faire adéquatement (ex. : le nombre de personnes est utilisé comme unité de mesure de l'importance des infrastructures d'eau potable municipales). Enfin et aussi, même si deux indicateurs semblaient apporter une redondance plus véridique, le fait qu'il soit situé sur des sous-dimensions et/ou des critères distinctes ferait en sorte d'annuler celle-ci compte tenu des pondérations distinctes de leurs embranchements. Par exemple, les indicateurs socio-économiques véhiculent une information implicite sur l'état de santé des populations (un faible niveau social est souvent corrélé à un haut taux de problème de santé), mais la position distincte de ces informations dans l'arbre hiérarchique et leur pondération différente évite une redondance trop élevée.

6.2.2 SÉLECTION DES INDICATEURS

Considérant le très grand nombre d'indicateurs répertoriés et les contraintes de temps imposées par l'échéancier, une sélection d'indicateurs a été faite à partir de l'inventaire d'indicateurs (annexe 1) afin de réduire le temps de collecte des bases de données et le temps de calcul des indicateurs. Ainsi, notamment et dans la mesure du possible, les indicateurs considérés essentiels, dont la donnée était accessible et qui ne nécessitait pas ou peu de traitement, sont ceux qui furent retenus.

Les indicateurs sélectionnés devraient avoir (critères de sélection) :

- une base de données existante et disponible à l'échelle des bassins versants habités du Québec méridional;
- une base de données rapidement exploitable : nécessitant peu de traitements (extraction, manipulation, compilation) avant utilisation;
- une donnée libre d'accès ou pouvant bénéficier d'une entente d'utilisation et de publication;
- une base de données dont la qualité est homogène et mise à jour à l'échelle de la zone d'étude : permettant une équité comparative entre les bassins versants;
- une base de données pertinente, crédible et dont le niveau de précision est suffisant pour répondre à l'objectif de la priorisation;
- une interprétation unique ou non redondante avec celle des autres indicateurs sélectionnés;
- une donnée géolocalisable (en x et y) ou dont l'unité spatiale dans laquelle elle est stockée permet d'en faire une interprétation qui fait du sens à l'échelle de la zone inondable si celle-ci doit être redistribuée à l'intérieur des zones inondables (ex. : par « dasymetric mapping »);
- une base de données permettant d'obtenir un résultat représentatif de la variabilité des paramètres mesurés à l'échelle du bassin versant.

Les contraintes temporelles pour la réalisation du projet et d'indisponibilité de certaines données ont principalement incité à retenir des indicateurs d'exposition plutôt que des indicateurs de sensibilité (28/33). En effet, ils existent moins de bases de données permettant de documenter facilement la sensibilité. Et ceci est d'autant plus vrai lorsque le niveau de résolution spatiale désiré est fin, car ce type de donnée est souvent classé confidentiel (attribuable à des renseignements personnels), à diffusion restreinte et difficilement transmis pour des échelles localisant des adresses civiques et des individus. Ainsi, de longues procédures complexes peuvent précéder l'obtention d'un droit d'utilisation, car la demande de la donnée doit être justifiée et la rigueur de manipulation, stockage et suppression de la donnée doit être décrite dans les plus justes détails. De plus, l'issue de cette procédure n'aboutit pas forcément sur l'obtention d'une donnée dont la résolution spatiale est compatible avec l'échelle de l'analyse de risque. Enfin, la gestion de ce type de donnée est parfois fragmentée entre différentes entités administratives ce qui rend l'effort d'acquisition de la donnée d'autant plus grand. Plus le nombre d'entités administratives est grand et plus le territoire à analyser est vaste, plus l'effort est important. Par exemple, les données des unités d'évaluation foncière caractérisant la résistance architecturale et matérielle des bâtiments sont, pour la plupart, non publiques et gérées par différentes compagnies d'évaluation. Pour résumer, les indicateurs d'exposition sont souvent préférés en raison d'une simple superposition des couches d'enjeux et d'aléa.

Pour terminer, il importe de souligner que pour certains critères, des indicateurs de pondération et des indicateurs de densité ont été considérés en plus de l'indicateur de dénombrement. La Figure 32 illustre les calculs réalisés pour les indicateurs de pondération et de densité à partir de l'enjeux des personnes.

Les indicateurs de proportion ont été intégrés pour conserver une certaine équité de priorisation entre les bassins versants qui contiennent davantage de municipalités de petites tailles et les bassins versants

qui contiennent plus municipalités de grandes tailles. En effet, les grandes municipalités offrent de plus grande probabilité de priorisation à leur bassin versant d'appartenance lorsque l'analyse de risque est uniquement basée sur le dénombrement d'enjeux touchés. À l'inverse, les petites municipalités offrent une plus grande opportunité de priorisation à leur bassin versant d'appartenance lorsque la proportion de la population de la catégorie d'enjeux touchés est intégrée à l'analyse de risque. Le calcul proposé pour mesurer la proportionnalité est un rapport entre le nombre d'enjeux exposés du bassin versant et le nombre d'enjeux dans les municipalités avec des enjeux exposés.

Les indicateurs de densité ont été intégrés pour représenter au mieux la volonté de cartographier en priorité les bassins versants avec les zones urbaines les plus densément peuplées. Leur inclusion permet de réduire les chances de priorisation des bassins versants avec un grand nombre d'enjeux exposés engendré par une très grande superficie de territoire avec des enjeux très étalés ou dispersée. Le calcul proposé pour mesurer la concentration d'enjeux est un rapport entre le nombre d'enjeux exposés du bassin versant et la superficie de ZIP des municipalités avec des enjeux exposés (cf. exemple Figure 32). En évitant d'inclure la superficie de ZIP des municipalités sans enjeu exposé, l'indicateur reflète plus fidèlement la réalité des zones ou territoires municipaux contenant des enjeux exposés.

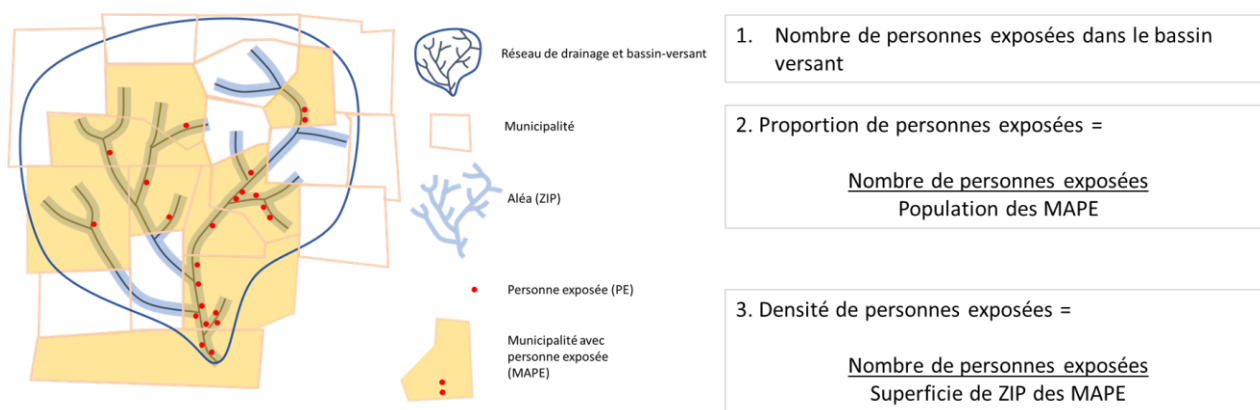


Figure 32. Exemple illustré de la mesure de l'exposition des personnes par la combinaison d'indicateurs de dénombrement (1), de proportion (2) et de densité (3) permettant une forme d'équité comparative des bassins versant au moment de la priorisation selon la taille des communautés exposées et la répartition spatiale des enjeux.

6.3 PONDÉRATION

Trois rencontres ont eu lieu pour pondérer les critères en utilisant l'approche AHP. Les critères ont été d'abord comparés deux à deux. Chaque comparaison a engendré des discussions entre les membres de l'équipe thématique. Les professionnels du ministère de la Sécurité publique n'ont pas participé à l'exercice de pondération des critères car il n'existe aucune orientation du ministère de la Sécurité publique permettant de privilégier un critère à un autre. Celle-ci a eu lieu avec les autres membres (une représentante du ministère de l'environnement et de lutte contre les changements climatiques, un représentant du regroupement des organismes de bassins versants du Québec et une représentante d'Ouranos). À l'issue de cette démarche, des scores communs selon l'échelle de Saaty ont été attribués à chaque comparaison par paire. Les pondérations ont été calculées par la suite et validées par l'équipe thématique lors de la dernière rencontre de concertation sur les poids. Cette section présente les résultats des comparaisons par paires dans la section 6.3.1 et les pondérations suite à l'application de la méthode AHP dans la section 6.3.2.

6.3.1 RÉSULTAT DES COMPARAISONS PAR PAIRES

Le Tableau 6 présente les résultats des comparaisons par paires qui ont résulté du processus de concertation. La valeur de la troisième colonne indique le niveau d'importance selon l'échelle de Saaty (voir Tableau 2). Par exemple la valeur 1/6 à la première ligne du tableau indique que la dimension vulnérabilité se situe entre fortement et très fortement plus importante que la dimension aléa. La valeur 5 de la troisième ligne indique que la dimension de l'aléa est fortement plus importante que la dimension de la résilience, etc.

Tableau 6. Résultats des comparaisons par paires.

Élément i	Élément j	Comparaison par paire de l'élément i par rapport à l'élément j
Aléa	Vulnérabilité	1/6
Aléa	Conséquences historiques	1/3
Aléa	Résilience	5
Vulnérabilité	Conséquences historiques	4
Vulnérabilité	Résilience	9
Conséquences historiques	Résilience	7
DIMENSION ALÉA		
Aléa primaire	Aléa secondaire	8
Données sur la cartographie hydraulique conventionnelle	Données historiques sur les inondations	1
Données sur la cartographie hydraulique conventionnelle	Données sur les zones d'inondation potentielle	1/8
Données sur la cartographie hydraulique conventionnelle	Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques	1/4
Données historiques sur les inondations	Données sur les zones d'inondation potentielle	1/7

Données historiques sur les inondations	Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques	1/4
Données sur les zones d'inondation potentielle	Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques	5
Données sur les inondations par embâcle de glace	Données sur les inondations torrentielles	1
Données sur les inondations par embâcle de glace	Données sur les inondations en eau libre	1
Données sur les inondations par embâcle de glace	Données sur les autres types d'inondation	1
Données sur les inondations torrentielles	Données sur les inondations en eau libre	1
Données sur les inondations torrentielles	Données sur les autres types d'inondation	1
Données sur les inondations en eau libre	Données sur les autres types d'inondation	1
Caractéristiques physiques actuelles	Perturbations anthropiques potentielles	4
Réponse hydrologique	Hydrométéorologie	5
Réponse hydrologique	Dynamique hydrosédimentaire	4
Hydrométéorologie	Dynamique hydrosédimentaire	1/3
Perturbations de la réponse hydrologique	Perturbations de l'hydrométéorologie	5
Perturbations de la réponse hydrologique	Perturbations de la dynamique hydrosédimentaire	4
Perturbations de l'hydrométéorologie	Perturbations de la dynamique hydrosédimentaire	1/3
Aléas secondaires d'origine anthropique	Aléas secondaires d'origine naturelle	1
Contamination	Rupture de barrage	1
VULNÉRABILITÉ		
Vulnérabilité des personnes	Vulnérabilité physique	5
Vulnérabilité des personnes	Vulnérabilité économique	9
Vulnérabilité des personnes	Vulnérabilité environnementale	9
Vulnérabilité physique	Vulnérabilité économique	7
Vulnérabilité physique	Vulnérabilité environnementale	7
Vulnérabilité économique	Vulnérabilité environnementale	1
Vulnérabilité des personnes relative au dénombrement des logements et de la population	Vulnérabilité des personnes relative au statut des établissements recevant du public	7
Vulnérabilité des personnes relative au dénombrement des logements et de la population	Vulnérabilité des personnes relative au statut socio-économique des ménages	7
Vulnérabilité des personnes relative au dénombrement des logements et de la population	Vulnérabilité des personnes relative à la consommation et l'offre des services médicaux pour toutes les spécialités (par territoire de CLSC)	8

Vulnérabilité des personnes relative au dénombrement des logements et de la population	Vulnérabilité des personnes relative à la contamination	5
Vulnérabilité des personnes relative au statut des établissements recevant du public	Vulnérabilité des personnes relative au statut socio-économique des ménages	1/2
Vulnérabilité des personnes relative au statut des établissements recevant du public	Vulnérabilité des personnes relative à la consommation et l'offre des services médicaux pour toutes les spécialités (par territoire de CLSC)	7
Vulnérabilité des personnes relative au statut des établissements recevant du public	Vulnérabilité des personnes relative à la contamination	1
Vulnérabilité des personnes relative au statut socio-économique des ménages	Vulnérabilité des personnes relative à la consommation et l'offre des services médicaux pour toutes les spécialités (par territoire de CLSC)	4
Vulnérabilité des personnes relative au statut socio-économique des ménages	Vulnérabilité des personnes relative à la contamination	1
Vulnérabilité des personnes relative à la consommation et l'offre des services médicaux pour toutes les spécialités (par territoire de CLSC)	Vulnérabilité des personnes relative à la contamination	1/5
Vulnérabilité du territoire aménagé	Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux)	1/2
Vulnérabilité des bâtiments	Vulnérabilité des réseaux	1
Vulnérabilité des bâtiments résidentiels	Vulnérabilité des bâtiments industriels et commerciaux	8
Vulnérabilité des bâtiments résidentiels	Vulnérabilité des sites et bâtiments patrimoniaux	8
Vulnérabilité des bâtiments résidentiels	Vulnérabilité des infrastructures et des services de secours et d'urgence	3
Vulnérabilité des bâtiments industriels et commerciaux	Vulnérabilité des sites et bâtiments patrimoniaux	1
Vulnérabilité des bâtiments industriels et commerciaux	Vulnérabilité des infrastructures et des services de secours et d'urgence	1/6
Vulnérabilité des sites et bâtiments patrimoniaux	Vulnérabilité des infrastructures et des services de secours et d'urgence	1/8
Vulnérabilité des réseaux de transport	Vulnérabilité des réseaux d'énergie	7
Vulnérabilité des réseaux de transport	Vulnérabilité des réseaux d'eau potable et d'eau usée	5
Vulnérabilité des réseaux de transport	Vulnérabilité des réseaux de communication	8
Vulnérabilité des réseaux de transport	Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles	9

Vulnérabilité des réseaux d'énergie	Vulnérabilité des réseaux d'eau potable et d'eau usée	1/4
Vulnérabilité des réseaux d'énergie	Vulnérabilité des réseaux de communication	2
Vulnérabilité des réseaux d'énergie	Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles	4
Vulnérabilité des réseaux d'eau potable et d'Eau usée	Vulnérabilité des réseaux de communication	7
Vulnérabilité des réseaux d'eau potable et d'Eau usée	Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles	7
Vulnérabilité des réseaux de communication	Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles	2
CONSÉQUENCES HISTORIQUES		
Conséquences sur les personnes	Conséquences physiques	6
Conséquences sur les personnes	Conséquences économiques	8
Conséquences sur les personnes	Conséquences environnementales	8
Conséquences physiques	Conséquences économiques	5
Conséquences physiques	Conséquences environnementales	5
Conséquences économiques	Conséquences environnementales	1
Conséquences sur les bâtiments	Conséquences sur les réseaux	3
Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés	Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités externes au sinistre	1
Réclamations regroupées par municipalité (incluant particuliers, entreprises, propriétaires de bâtiments locatifs, municipalités)	Réclamations faites par les entreprises agricoles (culture et élevage)	7
RÉSILIENCE		
Mesures d'atténuation existantes	Capacité à réduire le risque	7
Mesures non structurelles	Mesures structurelles	4

6.3.2 PONDÉRATIONS OBTENUES

Les Tableau 7 à Tableau 27, indiquent les pondérations obtenues par l'application de la méthode AHP pour chaque dimension, sous-dimension et critère en utilisant un outil de calcul externe. Les poids sont ajustés à un chiffre après la virgule à des fins de présentation.

Tableau 7. Pondération des 4 dimensions principales.

Objectif : Priorisation des bassins versants	
Aléa	11,5%
Vulnérabilité	61,1%
Conséquences historiques	23,6%
Résilience	3,8%
Indice de cohérence : 8,9%	

Tableau 8. Pondération des éléments de la dimension « Aléa ».

Dimension : Aléa	
Aléa primaire	88,9%
Aléa secondaire	11,1%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 9. Pondération des éléments de la sous-dimension « Aléa primaire ».

Sous-Dimension : Aléa primaire	
Données - Cartographie conventionnelle	6,5%
Données historiques sur les inondations	6,8%
Données sur les zones d'inondation potentielle	65,6%
Données sur les formes et les processus hydro géomorphologiques	21,2%
Indice de cohérence : 4,6%	

Tableau 10. Pondération des éléments de la sous-dimension « Données historiques sur les inondations ».

Sous-Dimension : Données historiques sur les inondations	
Données - Embâcle de glace	25%
Données – Inondations torrentielles	25%
Données – Inondations en eau libre	25%
Données - Inondations autres types	25%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 11. Pondération des éléments de la sous-dimension « Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques ».

Sous-Dimension : Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques	
Caractéristiques physiques actuelles	80%
Perturbations anthropiques potentielles	20%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 12. Pondération des éléments de la sous-dimension « Caractéristiques physiques actuelles ».

Sous-Dimension : Caractéristiques physiques actuelles	
Réponse hydrologique	67,4%
Hydrométéorologie	10,1%
Dynamique hydrosédimentaire	22,6%
Indice de cohérence : 9%	

Tableau 13. Pondération des éléments de la sous-dimension « Perturbations anthropiques potentielles ».

Sous-Dimension : Perturbations anthropiques potentielles	
Perturbations de la réponse hydrologique	67,4%
Perturbations de l'hydrométéorologie	10,1%
Perturbations de la dynamique hydrosédimentaire	22,6%
Indice de cohérence : 9%	

Tableau 14. Pondération des éléments de la sous-dimension « Aléa secondaire ».

Sous-Dimension : Aléa secondaire	
Aléa secondaire d'origine anthropique	50%
Aléa secondaire d'origine naturelle	50%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 15. Pondération des éléments de la sous-dimension « Aléa secondaire d'origine anthropique ».

Sous-Dimension : Aléa secondaire d'origine anthropique	
Contamination	50%
Rupture de barrage	50%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 16. Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité ».

Sous-Dimension : Vulnérabilité	
Vulnérabilité des personnes	65,4%
Vulnérabilité physique	24,9%
Vulnérabilité économique	4,8%
Vulnérabilité environnementale	4,8%
Indice de cohérence : 8,8%	

Tableau 17. Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des personnes ».

Sous-Dimension : Vulnérabilité des personnes	
Vulnérabilité des personnes relative au dénombrement des logements et de la population	59,6%
Vulnérabilité des personnes relative au statut des établissements recevant du publique	11,6%
Vulnérabilité des personnes relative au statut socio-économique des ménages	13,1%
Vulnérabilité des personnes relative à la consommation et l'offre des services médicaux pour toutes les spécialités (par territoire de CLSC)	3,4%

Vulnérabilité des personnes relative à la contamination	12,2%
Indice de cohérence : 8,6%	

Tableau 18. Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité physique ».

Sous-Dimension : Vulnérabilité physique	
Vulnérabilité du territoire aménagé	33,3%
Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux)	66,7%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 19. Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des infrastructures et des services ».

Sous-Dimension : Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux)	
Vulnérabilité des bâtiments	50%
Vulnérabilité des réseaux	50%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 20. Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des bâtiments ».

Sous-Dimension : Vulnérabilité des bâtiments	
Vulnérabilité des bâtiments résidentiels	58,0%
Vulnérabilité des bâtiments industriels et commerciaux	5,7%
Vulnérabilité des sites et bâtiments patrimoniaux	5,4%
Vulnérabilité des infrastructures et des services de secours et d'urgence	30,9%
Indice de cohérence : 4,5%	

Tableau 21. Pondération des éléments de la sous-dimension « Vulnérabilité des réseaux ».

Sous-Dimension : Vulnérabilité des réseaux	
Vulnérabilité des réseaux de transport	58,5%
Vulnérabilité des réseaux d'énergie	8,8%
Vulnérabilité des réseaux d'eau potable et d'eau usée	24,3%
Vulnérabilité des réseaux de communication	5,0%
Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles	3,4%
Indice de cohérence : 7,6%	

Tableau 22. Pondération des éléments de la sous-dimension « Conséquences historiques ».

Dimension : Conséquences historiques	
Conséquences sur les personnes	67,5%
Conséquences physiques	21,1%
Conséquences économiques	5,7%
Conséquences environnementales	5,7%
Indice de cohérence : 8,3%	

Tableau 23. Pondération des éléments de la sous-dimension « Conséquences physiques ».

Sous-Dimension : Conséquences physiques	
Conséquences sur les bâtiments	75%
Conséquences sur les réseaux	25%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 24. Pondération des éléments de la sous-dimension « Conséquences économiques ».

Sous-Dimension : Conséquences économiques	
Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrées	50%
Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités externes au sinistre	50%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 25. Pondération des éléments de la sous-dimension « Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés ».

Sous-Dimension : Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés	
Réclamations regroupées par municipalité (incluant particuliers, entreprises, propriétaires de bâtiments locatifs, municipalités)	87,5%
Réclamations faites par les entreprises agricoles (culture et élevage)	12,5%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 26. Pondération des éléments de la sous-dimension « Résilience ».

Dimension : Résilience	
Mesures d'atténuation existantes	87,5%
Capacité à réduire le risque	12,5%
Indice de cohérence : 0%	

Tableau 27. Pondération des éléments de la sous-dimension « Mesures d'atténuation existantes ».

Dimension : <i>Mesures d'atténuation existantes</i>	
Mesures non structurelles	80%
Mesures structurelles	20%
Indice de cohérence : 0%	

7. OUTIL DE PRIORISATION

Le troisième volet de la méthodologie consiste à développer un outil de priorisation de bassins versants à cartographier pour répondre à l'objectif 3 (cf. Section 4.3) en s'appuyant sur la méthodologie d'analyse multicritère décrite au niveau des sections 4.1 et 4.2.

Afin d'offrir le maximum de flexibilité quant à l'utilisation et au déploiement de l'outil, il a été développé sous la forme d'une application Web. Offrant ainsi la possibilité de le déployer soit sur un serveur Web et pour une accessibilité au travers d'Internet ou d'un réseau local, soit sur un poste de bureau pour accès local plus restreint.

Du point de vue technologique, nous avons opté pour l'utilisation exclusive de technologies et langages de développement qui sont distribués sous licences libres (code/ouvert, *open source*) qui sont bien documentés et soutenus par une grande communauté de contributeurs qui assurent leur pérennité.

C'est ainsi que le cadre de développement d'applications Web Shiny⁷ est utilisé. Ce dernier se base à son tour sur les langages de programmation R⁸ et JavaScript⁹, le langage de balisage HTML¹⁰ et le langage de style CSS¹¹. ElectronJS¹² a été utilisé pour le développement d'une version « Application de bureau » de l'outil pour une exécution locale.

7.1 FONCTIONNALITÉS DE L'OUTIL

L'outil de priorisation est constitué d'un ensemble de fonctionnalités intégrées et qui couvrent le processus complet de priorisation en combinant AHP et TOPSIS. Ces fonctionnalités sont présentées dans le Tableau 28.

Tableau 28. Fonctionnalités de l'outil.

#	Fonctionnalité	Référence
1	Visualisation de la hiérarchie et des pondérations résultantes de la concertation	Section 7.2.1.1
2	Téléchargement de la hiérarchie et des pondérations sous format JSON ¹³	
3	Sélection de dimensions, sous-dimensions, critères et indicateurs	Section 7.2.1.2
4	Chargement et visualisation des pondérations des paires	Section 7.2.2.1
5	Génération et visualisation des matrices AHP, des poids relatifs ainsi que des valeurs de consistance	Section 7.2.2.2
6	Téléchargement des matrices et tableaux sous format PDF, CSV et Excel	Section 7.2.2.3
7	Calcul des poids absolus (poids des critères, poids des indicateurs, tous les poids)	

⁷ <https://shiny.rstudio.com/>

⁸ <https://www.r-project.org/>

⁹ <https://www.w3.org/standards/webdesign/script>

¹⁰ <https://www.w3.org/html/>

¹¹ <https://www.w3.org/Style/CSS/>

¹² <https://electronjs.org/>

¹³ <https://www.w3.org/TR/json-ld11/>

8	Visualisation des poids absolus	Section 7.2.2.4
9	Téléchargement des poids absolus	
10	Téléversement de la matrice des données pour priorisation: bassins versants/indicateurs sous format CSV	Section 7.2.3.1
11	Visualisation de la matrice et possibilité de la télécharger formatée en PDF, CSV et Excel	
12	Calcul de la priorisation avec TOPSIS	Section 7.2.3.2
13	Visualisation des résultats de la priorisation sous forme d'un tableau	
14	Visualisation des résultats de la priorisation sur une carte interactive	
15	Triage des résultats de la priorisation selon l'ordre ascendant ou descendant des valeurs de n'importe quelle colonne du tableau	
16	Téléchargement des résultats de la priorisation au format PDF, CSV et Excel	Section 7.2.4
17	Modification du thème de l'interface graphique	
18	Guide interactif sur l'utilisation de l'outil	Section 7.2.5

7.2 DOCUMENTATION

La priorisation des bassins versants avec l'outil se fait en trois étapes :

- Sélection des composantes d'analyse de risques (cf. Section 7.2.1);
- Calcul des poids des critères/indicateurs avec AHP (cf. Section 7.2.2);
- Priorités des bassins versants avec TOPSIS (cf. Section 7.2.3);

L'application est composée de cinq onglets dont les trois premiers sont liés à la logique métier et correspondent aux étapes du processus d'analyse. Chacune de ces étapes est illustrée dans les sections ci-dessous avec des captures d'écrans qui simplifient la prise en main de l'outil. Le quatrième onglet permet de modifier l'apparence graphique de l'application (cf. Section 7.2.4). Le dernier onglet permet de déclencher un guide interactif sur l'utilisation de l'outil (cf. Section 7.2.5).

Lors d'une analyse, les opérations sont à effectuer en suivant dans l'ordre ces trois étapes; c'est ce même ordre qui est considéré pour la documentation du fonctionnement de l'outil à travers ces étapes.

7.2.1 SÉLECTION DES COMPOSANTES D'ANALYSE DE RISQUES

Au niveau de l'onglet du menu de navigation « Composantes d'analyse de risques », on y trouve deux sous-onglets : « Taxonomie » et « Sélection » (cf. Figure 33).

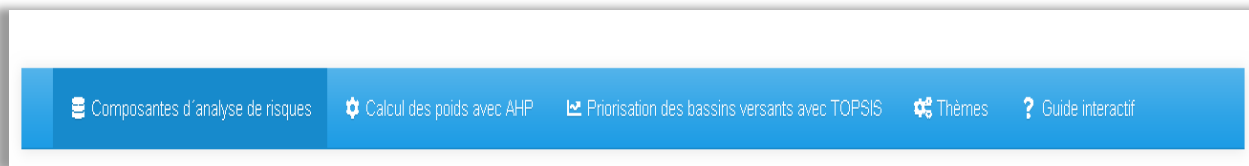


Figure 33. Menu pour la sélection des composantes d'analyse de risques.

7.2.1.1 Visualisation et téléchargement de la hiérarchie et des pondérations résultants de la concertation

L'onglet « Taxonomie » de l'onglet du menu de navigation « Composantes d'analyse de risques », permet de visualiser la base de connaissances de l'outil qui est composée de la hiérarchie des composantes d'analyse de risques et des comparaisons par paires résultantes de l'exercice de concertation (cf. Figure 34). Cet onglet donne aussi la possibilité de télécharger une copie locale de cette base sous format JSON (cf. Figure 35).

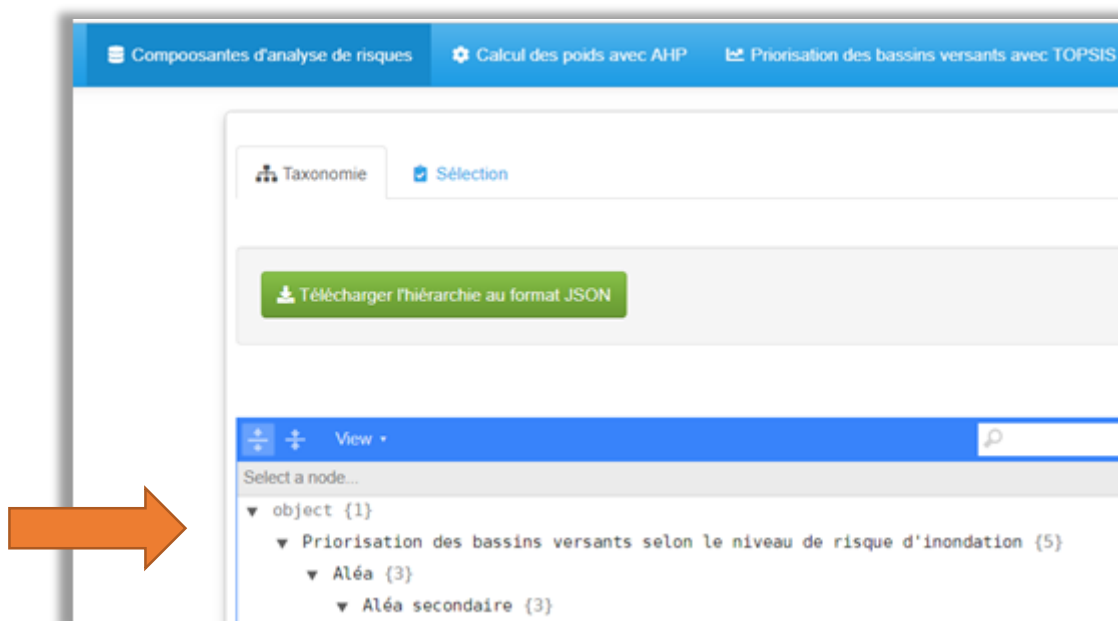


Figure 34. Hiérarchie des composantes d'analyse de risques.

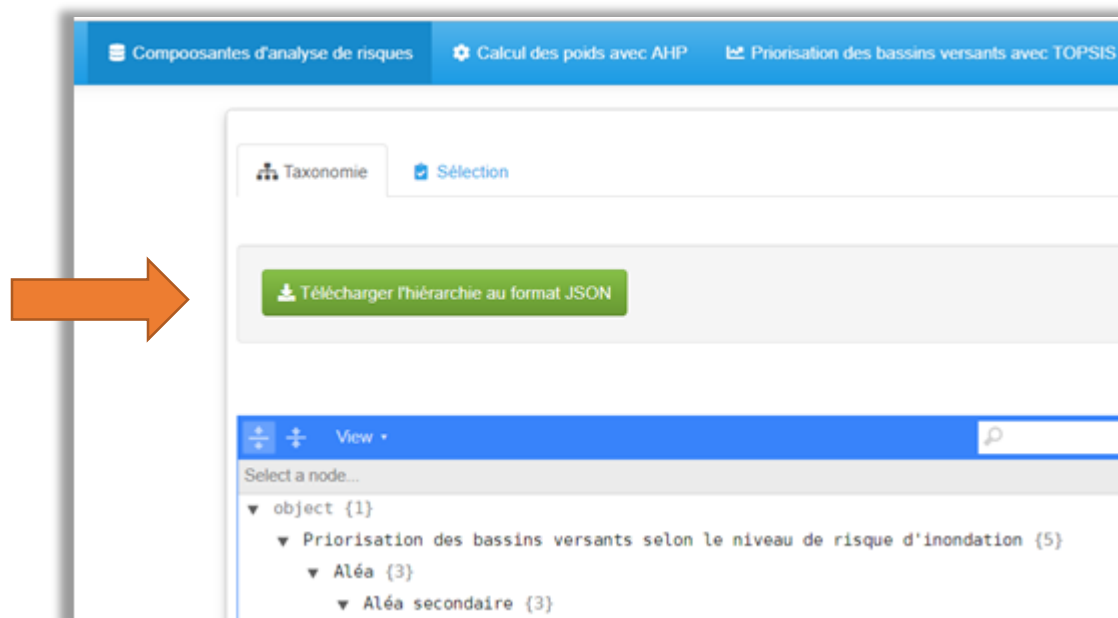


Figure 35. Accès à une version JSON de la base de connaissances.

7.2.1.2 Sélection de dimensions, sous-dimensions, critères et indicateurs

Une des flexibilités offertes par l'outil consiste en la possibilité de choisir les parties de la hiérarchie des composantes d'analyse de risques qui seront prises en compte dans un exercice de priorisation donné. Cette fonctionnalité est offerte à travers l'onglet « Sélection » (cf. Figure 36). Par défaut, toutes les composantes de la hiérarchie seront utilisées dans l'analyse. L'utilisateur peut décocher les parties qu'il souhaite exclure de l'analyse. Le niveau de granularité de l'outil de sélection est élevé. En effet, il permet non seulement de (dé)sélectionner les dimensions et les sous dimensions, mais aussi les critères et les indicateurs.

Les poids des critères et indicateurs non sélectionnés sont conservés et ne sont pas redistribués sur ceux qui restent. Les valeurs des indicateurs correspondants sont égalisées (mis à 1) au niveau de la matrice de priorisation. Ceci va éviter de refaire à chaque fois l'exercice de comparaison par paires des critères et de recalculer les poids. En procédant ainsi, les résultats de l'exercice de concertation sont toujours respectés à savoir les pondérations des critères obtenues et le niveau acceptable de l'indice de cohérence.

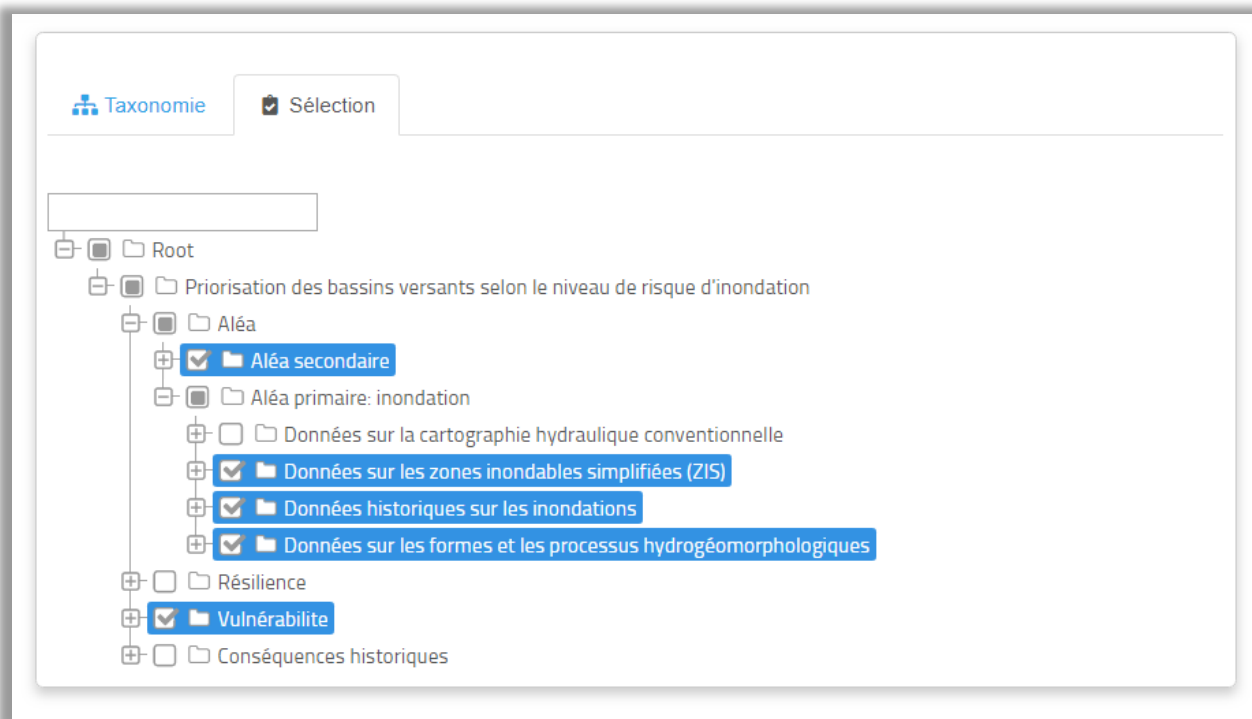


Figure 36. Sélection de branches de la hiérarchie.

7.2.2 POIDS DES CRITÈRES/INDICATEURS AVEC AHP

Au niveau de l'onglet du menu de navigation « Calcul des poids avec AHP », on y trouve trois sous-onglets : « Pondération des couples », « Génération de matrices » et « Calcul des poids absolus » (cf. Figure 37).

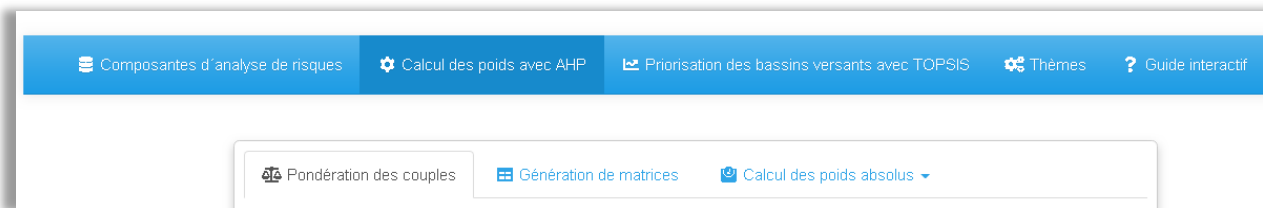


Figure 37. Calcul des poids avec AHP.

7.2.2.1 *Chargement et visualisation des pondérations des paires*

L'onglet « Pondération des couples » permet de charger et visualiser les pondérations qui correspondent aux couples de la sélection faite au niveau de la Section 7.2.1.2 (cf. Figure 38).

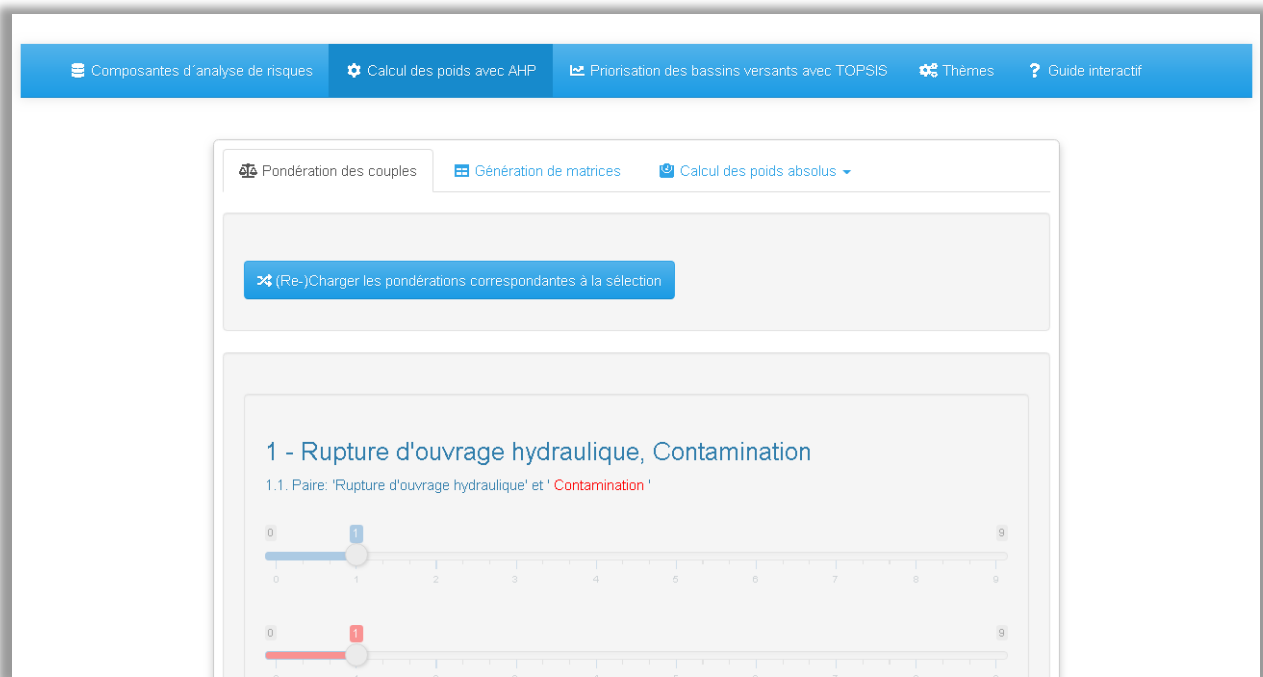


Figure 38. Extraction et visualisation des pondérations.

7.2.2.2 *Génération et visualisation des matrices AHP, des poids relatifs ainsi que des valeurs de consistance*

L'onglet « Génération de matrices » permet de générer et visualiser les matrices AHP ainsi que les poids relatifs des dimensions, sous-dimensions et critères de même que les valeurs de consistance (cf. Figure 39).

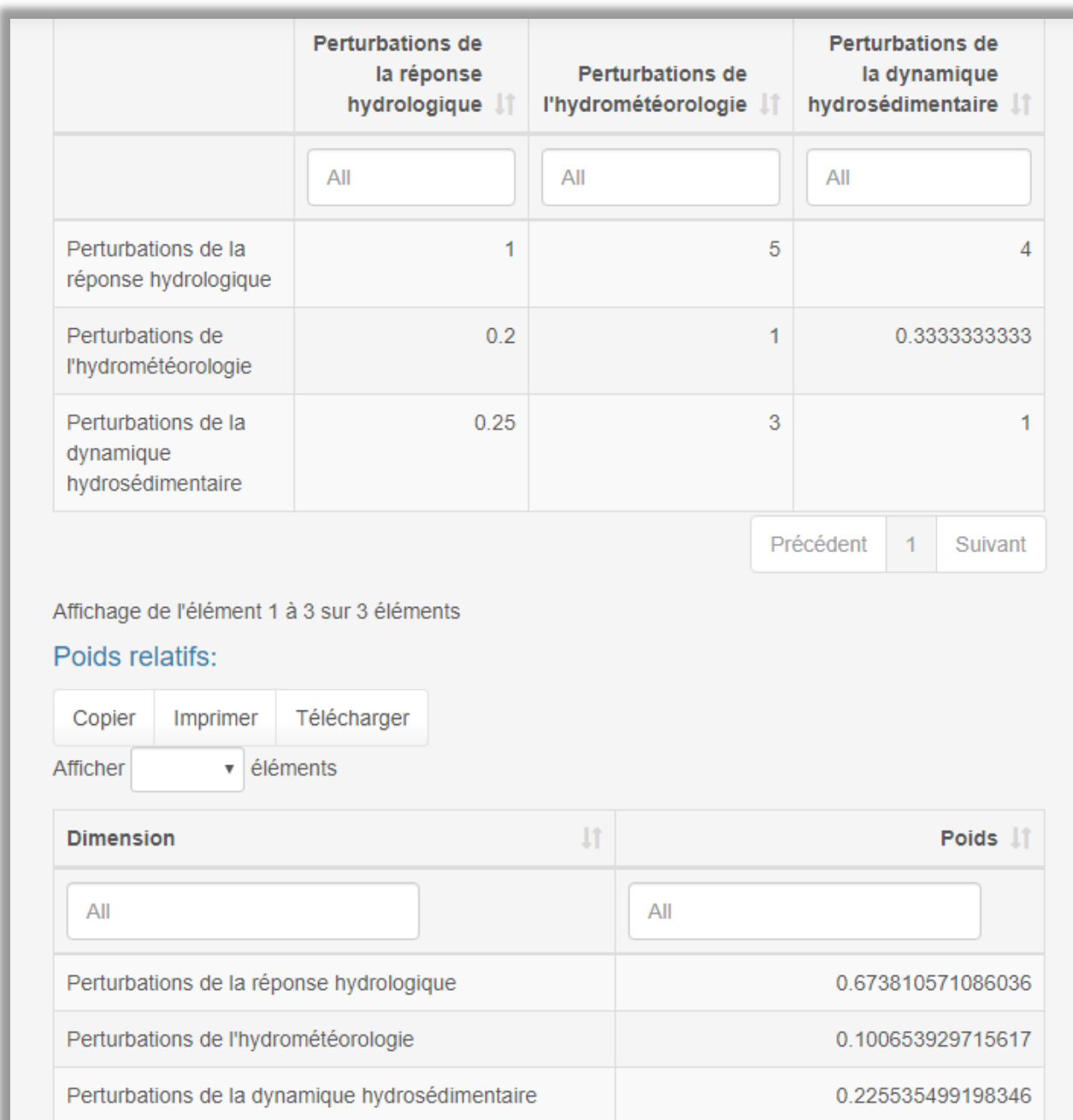


Figure 39. Génération des matrices AHP avec calcul des valeurs de consistance et des priorités (poids relatifs).

7.2.2.3 Téléchargement des matrices et tableaux sous format PDF, CSV et Excel

Tous les tableaux générés peuvent être téléchargés et sauvegardés sous format PDF, CSV et Excel (cf. Figure 40).

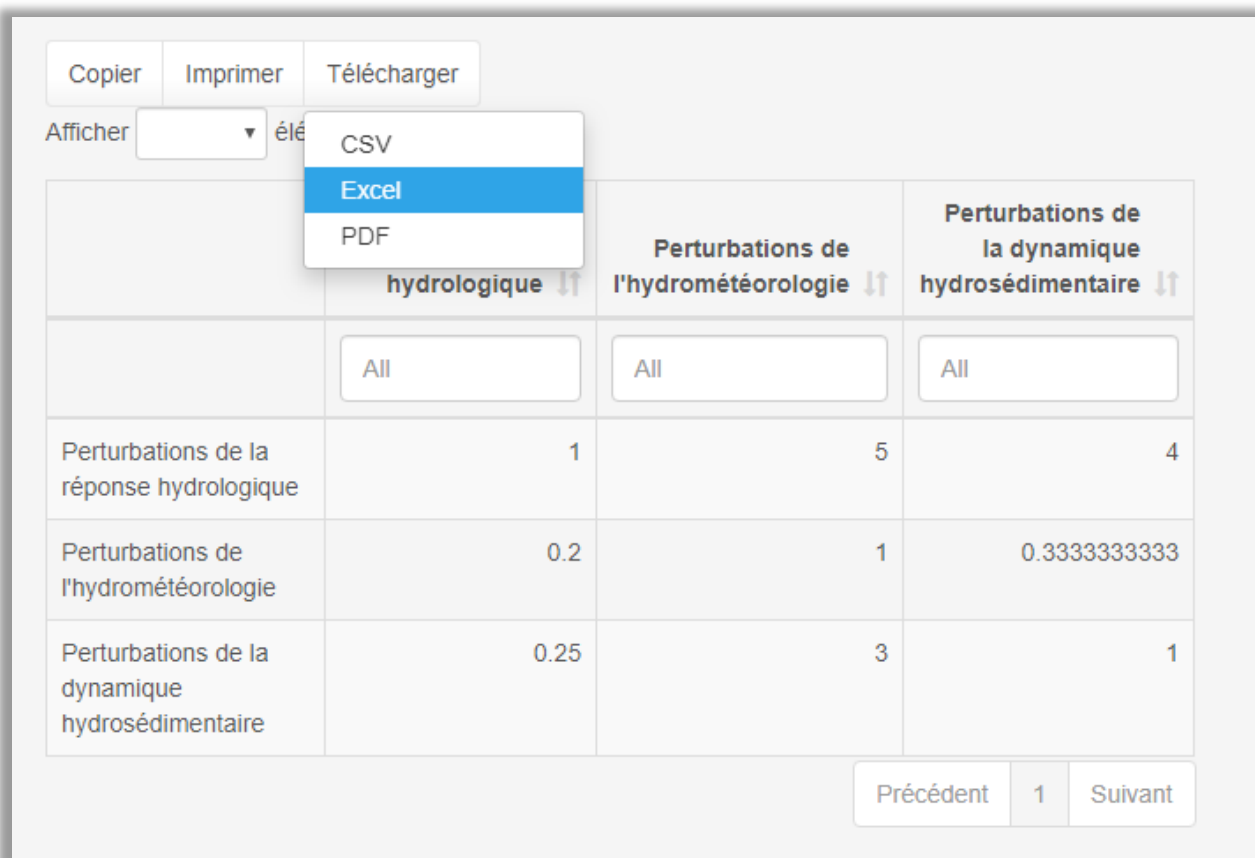


Figure 40. Téléchargement des tableaux résultant des calculs AHP.

7.2.2.4 Calcul des poids absolus (poids des critères, poids des indicateurs, tous les poids)

C'est au niveau de l'onglet « Calcul des poids absolus » que les poids absolus¹⁴ sont calculés.

Il est possible de visualiser et télécharger les poids absolus des dimensions, sous-dimensions, critères et indicateurs tous ensemble (cf. Figure 41), ou seulement ceux des critères (cf. Figure 42) ou des indicateurs (cf. Figure 43).

¹⁴ Poids qui agrègent les poids relatifs des niveaux hiérarchiques supérieurs dans l'arbre jusqu'à la racine. (Cf. formule 5.3 section 5.2)

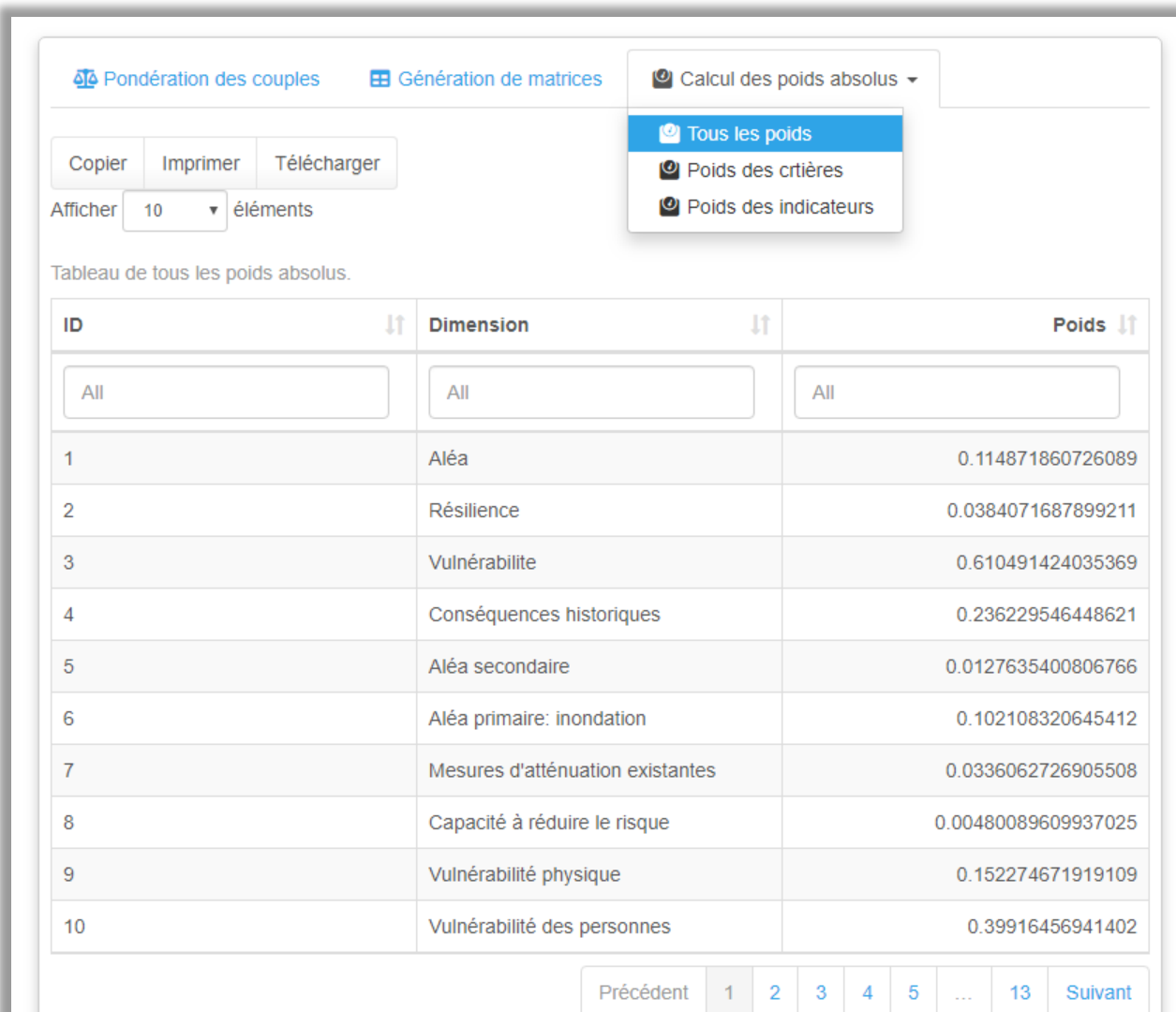


Figure 41. Tous les poids absolus.

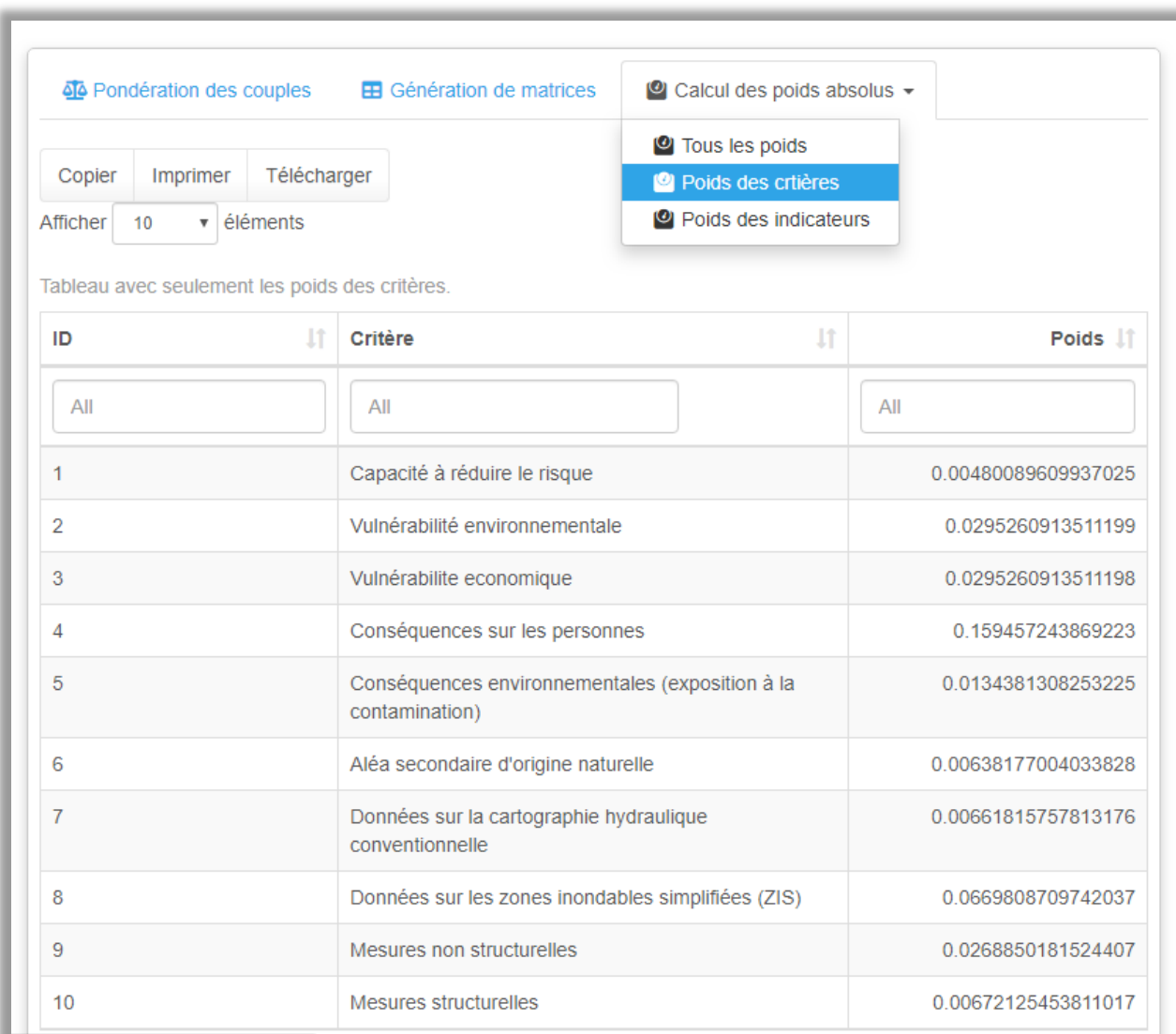


Figure 42. Poids absolus des critères.

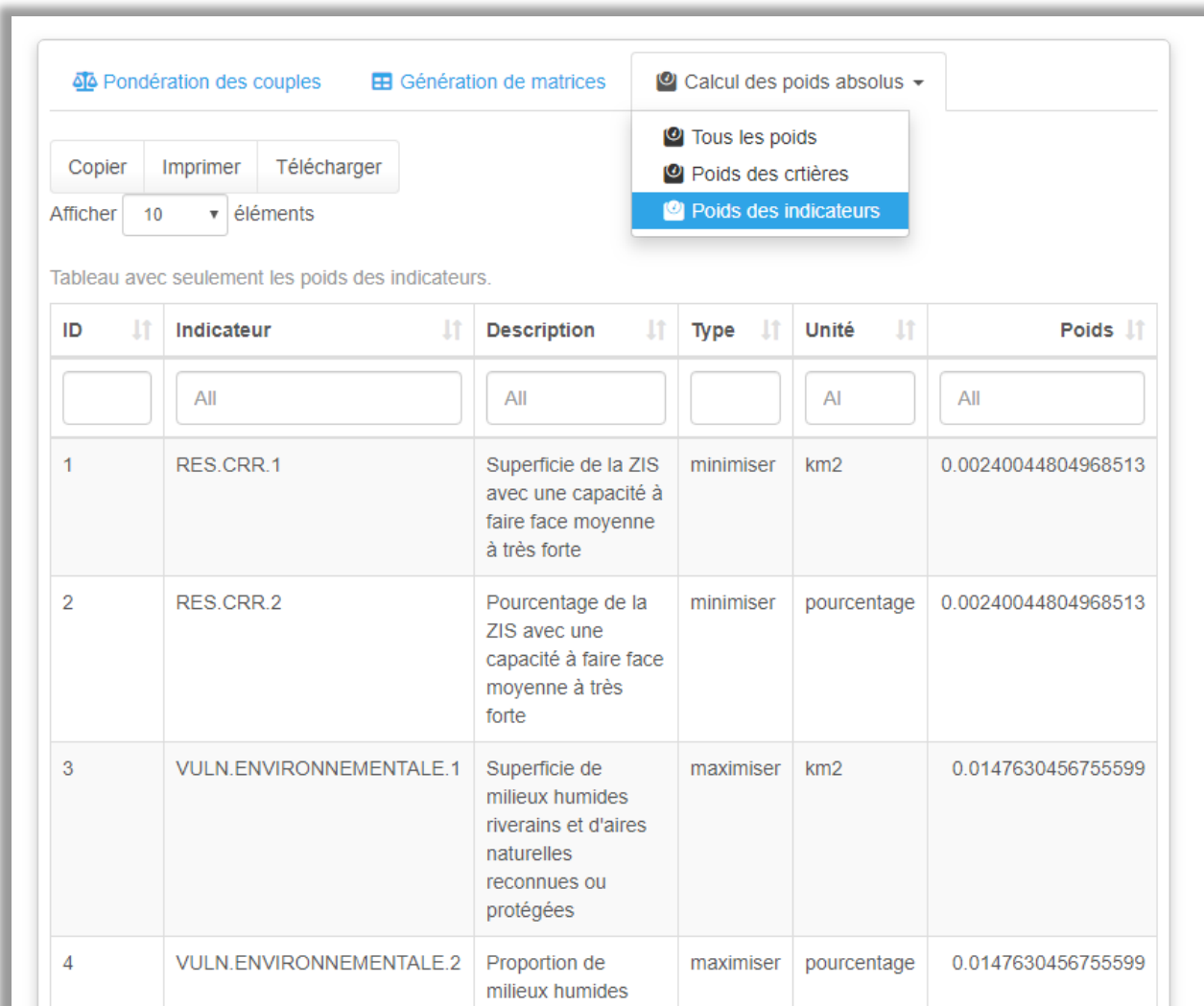


Figure 43. Poids absolus des indicateurs.

L'outil offre la possibilité de télécharger le contenu de chaque tableau affiché sous format PDF, CSV et Excel (cf. Figure 44). À noter que par défaut, un maximum de dix (10) éléments d'un tableau sont affichés et le reste peut être exploré via la pagination du bas du tableau (cf. Figure 45) ou simplement en modifiant le nombre d'éléments qu'on souhaite afficher au niveau d'une seule page. Concernant cette deuxième option, plusieurs valeurs par défaut sont offertes (5, 10, 25, 50, 100, Tout) (cf. Figure 46).

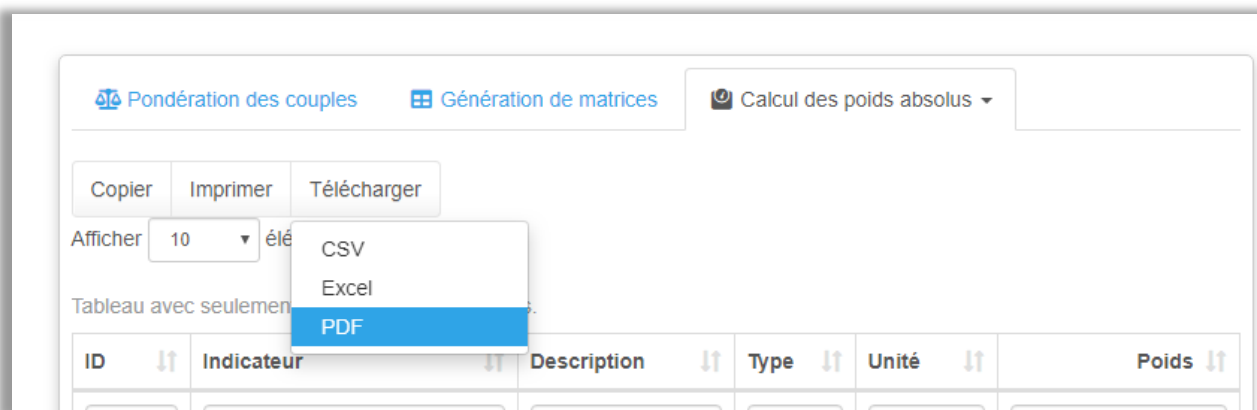


Figure 44. Téléchargement des tableaux de poids.



Figure 45. Parcours des poids par pagination.

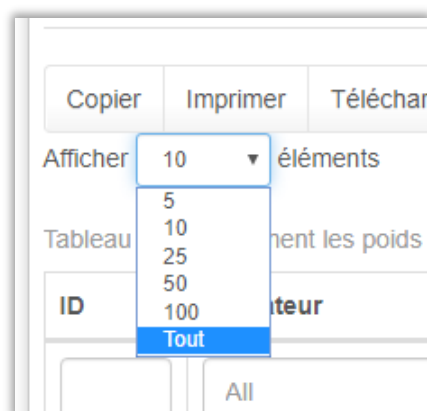


Figure 46. Nombre de poids à afficher par page.

7.2.3 PRIORITÉS DES BASSINS VERSANTS AVEC TOPSIS

Le troisième onglet du menu de navigation « Calcul des poids avec AHP », est composé de trois sous-onglets : « Matrice des bassins versants », « Priorisation (Tableau)» et « Priorisation (Carte)» (cf. Figure 47).

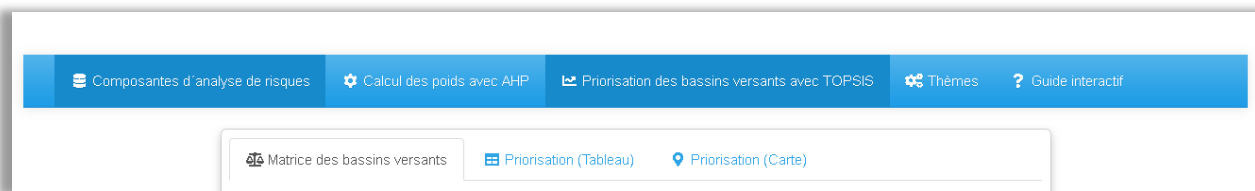


Figure 47. Priorisation des bassins versants avec TOPSIS.

7.2.3.1 Téléversement et visualisation de la matrice des données pour priorisation: bassins versants/indicateurs sous format CSV

Les données nécessaires pour effectuer une priorisation avec la méthode TOPSIS, sont à téléverser dans l'outil (cf Figure 48). Les données en question doivent être sous forme d'une matrice (tableau à deux dimensions). Les lignes représentent les bassins versants identifiés par des ID_bassins et Topo_Riv. Les colonnes, à partir de la troisième, représentent les indicateurs à considérer dans l'analyse¹⁵. À partir de la deuxième ligne / troisième colonne chaque cellule représente la valeur d'un indicateur pour le bassin versant correspondant¹⁶. Il faut s'assurer que chaque colonne de la matrice est complète (pas de cellules de données vides). Une version électronique d'un modèle d'une telle matrice est disponible et peut servir pour récolter des données et comme référence aux exercices de priorisation¹⁷.

Pour se prémunir de tout changement futur dans l'encodage des données des formats propriétaires, l'outil importe la matrice des données pour la priorisation des bassins versants sous le format standard CSV¹⁸. Ce format a l'avantage d'être basé sur du simple texte et qui s'importe/exporte à partir des différents outils de manipulation de données tabulaires.

Afin de tenir compte des caractères spéciaux avec accents, l'encodage UTF-8¹⁹ a été adopté. Le fichier CSV doit donc être sous format UTF-8²⁰. De plus, le séparateur des données considéré est le point-virgule (« ; ») ceci afin d'éviter que les éventuelles virgules des nombres décimaux ne viennent induire en erreur le parseur de l'outil.

Étant donné que la matrice de priorisation n'était pas encore disponible lors de la rédaction de ce présent rapport, et afin de pouvoir tester l'outil, un générateur automatique de matrices de données a été développé. Ce générateur permet de générer des valeurs pour les cellules de la matrice de priorisation de manière pseudo-aléatoire à l'intérieur d'un intervalle propre à chaque indicateur. La Figure 48 présente une vue partielle de l'une des matrices générées.

¹⁵ Les indicateurs considérés lors de la priorisation TOPSIS sont ceux communs à la matrice de bassins versants et la base de connaissance résultant de l'exercice de concertation.

¹⁶ Seulement les valeurs numériques sont acceptées.

¹⁷ Il est important de s'assurer que le fichier est formaté

¹⁸ <https://www.w3.org/TR/2016/NOTE-csvw-ucr-20160225/>

¹⁹ <https://www.w3.org/TR/encoding/>

²⁰ Beaucoup d'éditeurs de texte tel que NotePad++ (<https://notepad-plus-plus.org/fr/>) permettent de vérifier l'encodage et procéder à la conversion en UTF-8 si nécessaire

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	ID_bassins	Topo_Riv	ALEA.CHC.1	ALEA.CHC.2	ALEA.CHC.3	ALEA.GLACE	ALEA.TORR	ALEA.EAU.LIB	ALEA.ZIS.1	ALEA.ZIS.2	A
2	1010000	Grande Rivière, La	80	219	76	45	23	99	195	38	
3	1020000	Petit Pabos, Rivière du	27	272	13	60	25	191	168	94	
4	1030000	Grand Pabos, Rivière du	59	34	29	75	43	207	235	86	
5	1040000	Grand Pabos Ouest, Rivière	13	263	71	43	149	277	111	82	
6	1060000	Port-Daniel, Petite rivière	79	178	55	53	50	292	24	9	
7	1070000	Paspébiac, Rivière	121	277	98	76	89	130	14	9	
8	1080000	Bonaventure, Rivière	75	61	96	154	111	48	156	84	
9	1090000	Cascapédia, Petite rivière	68	341	16	68	6	222	93	42	
10	1100000	Cascapédia, Rivière	88	48	49	69	18	175	62	99	
11	1110000	Stewart, Rivière	90	259	38	89	122	44	40	91	
12	1120000	Nouvelle, Rivière	66	321	18	95	42	37	239	5	
13	1160000	Ristigouche, Rivière	35	363	67	158	7	143	47	62	
14	1180000	Port-Daniel, Rivière	106	324	86	70	84	154	17	41	
15	2010000	Malbaie, Rivière	112	31	12	142	189	196	215	72	
16	2030000	Saint-Jean, Rivière	35	222	31	2	198	217	233	69	
17	2040000	York, Rivière	127	371	36	19	61	277	3	55	
18	2060000	Dartmouth, Rivière	15	383	23	126	31	46	161	2	
19	2070000	Grande Vallée, Rivière de la	13	176	91	50	151	223	48	47	
20	2080000	Madeleine, Rivière	148	105	95	105	136	118	176	40	
21	2090000	Mont-Louis, Rivière de	20	262	36	73	165	306	67	20	
22	2100000	Mont-Saint-Pierre, Rivière d	7	138	92	44	181	192	86	69	
23	2120000	Marsoui, Rivière	29	365	89	104	128	135	180	62	
24	2140000	Sainte-Anne, Rivière	129	301	2	74	122	320	35	27	
25	2150000	Cap-Chat, Rivière	38	305	35	4	154	262	217	37	
26	2160000	Matane, Rivière	11	319	25	164	81	306	66	24	
27	2170000	Blanche, Rivière	68	4	76	10	130	189	165	92	
28	2180000	Tartigou, Rivière	43	121	99	110	72	6	243	85	
29	2190000	Mitis, Rivière	143	130	62	114	122	20	140	44	
30	2200000	Rimouski, Rivière	12	294	90	17	184	150	95	45	
31	2210000	Bic, Rivière du	136	82	92	117	142	232	55	8	
32	2220000	Sud-Ouest, Rivière du	115	351	79	93	189	159	216	34	
33	2230000	Trois Pistoles, Rivière des	14	45	46	64	178	197	8	22	

Figure 48. Exemple de matrice de données pour priorisation.

La matrice téléversée peut être visualisée et téléchargée sous différents formats (PDF, CSV et Excel).

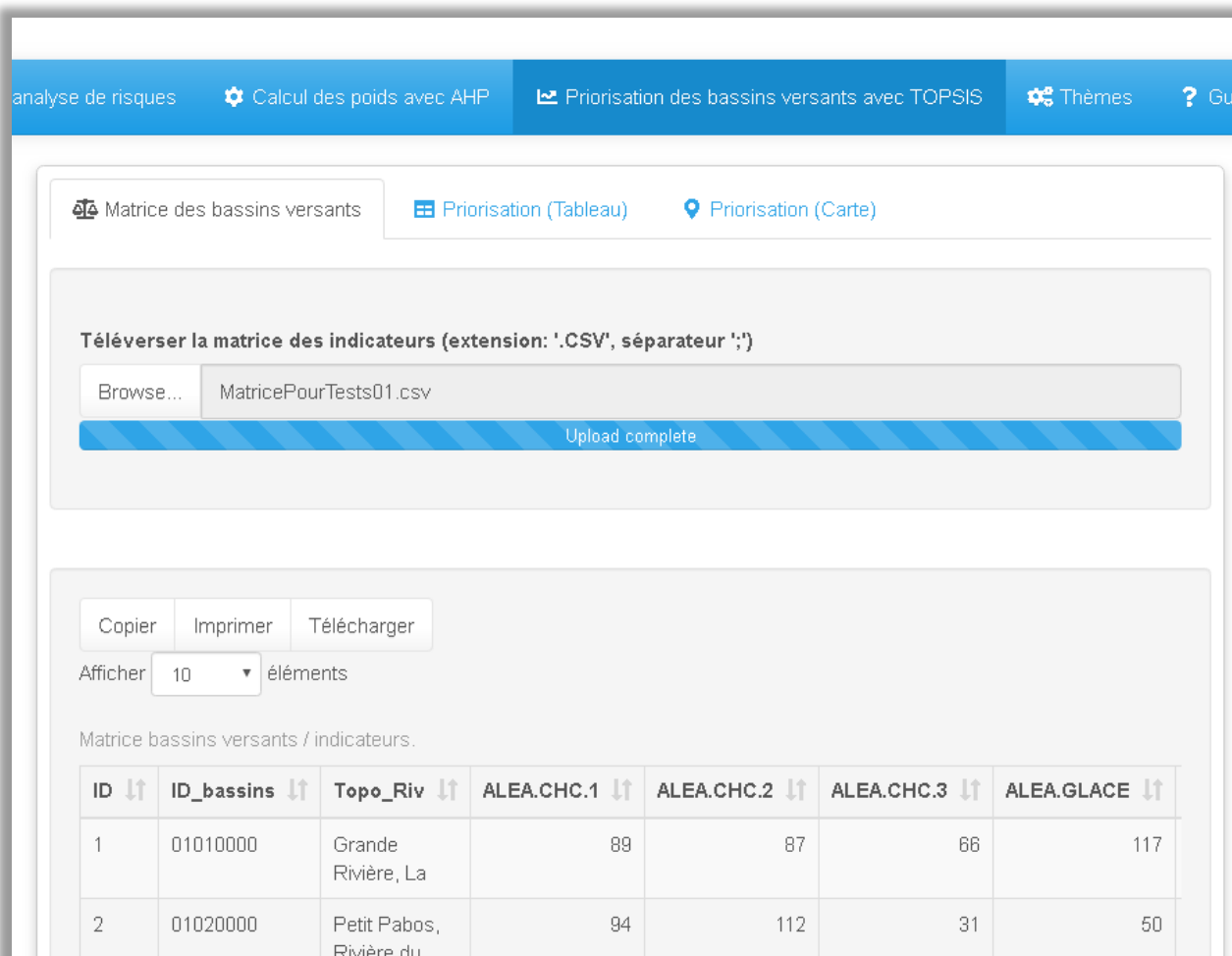


Figure 49. Chargement et visualisation d’une matrice de priorisation.

7.2.3.2 Calcul de la priorisation avec TOPSIS

Avec la matrice de données téléversée, les calculs de priorisation avec la méthode TOPSIS peuvent être effectués au niveau de l’onglet « Priorisation ». Le résultat de cette priorisation est affiché sous forme d’un tableau (cf. Figure 50) et d’une carte (cf. Figure 50). Comme mentionné au niveau de la Section 7.2.3.1, des données fictives ont été utilisées au niveau de la matrice de priorisation afin de tester l’outil. Le tableau de priorisation présenté au niveau de la Figure 50 n’a donc aucune valeur opérationnelle.

L’outil permet de :

- Afficher tout ou une partie du tableau à la fois.
- Filtrer le contenu du tableau selon l’ordre ascendant ou descendant des valeurs des différentes colonnes.
- Télécharger le tableau sous format PDF, CSV et Excel.
- Afficher une carte interactive des bassins versants avec les informations sur les bassins et leur classement.

- Afficher les X premiers bassins versants coloriés avec une niveau différents d'une couleur Y. La valeur de X est déterminée par l'utilisateur et Y choisie parmi une des couleurs supportées (cf. Figure 51).

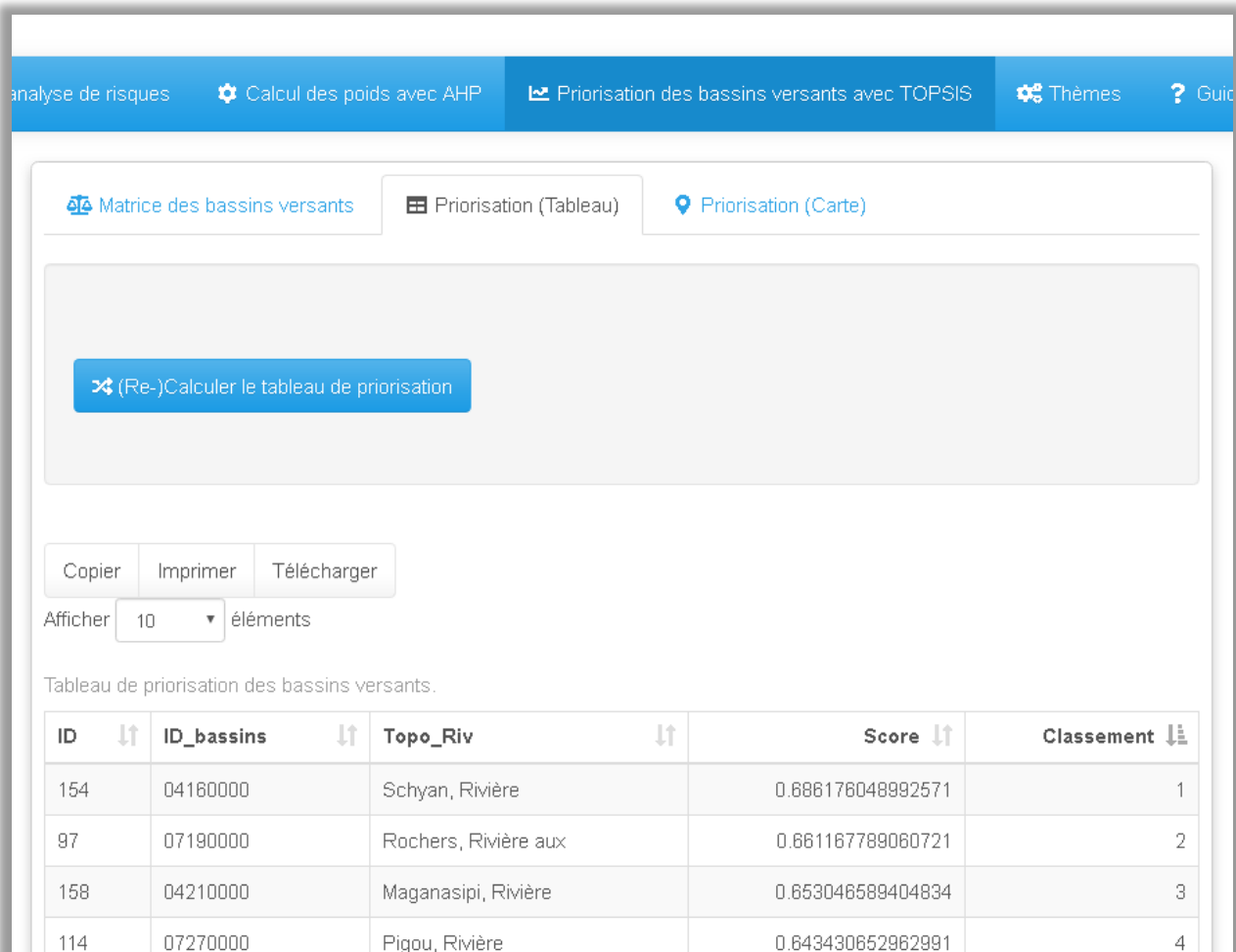


Figure 50. Priorisation avec TOPSIS (Tableau).

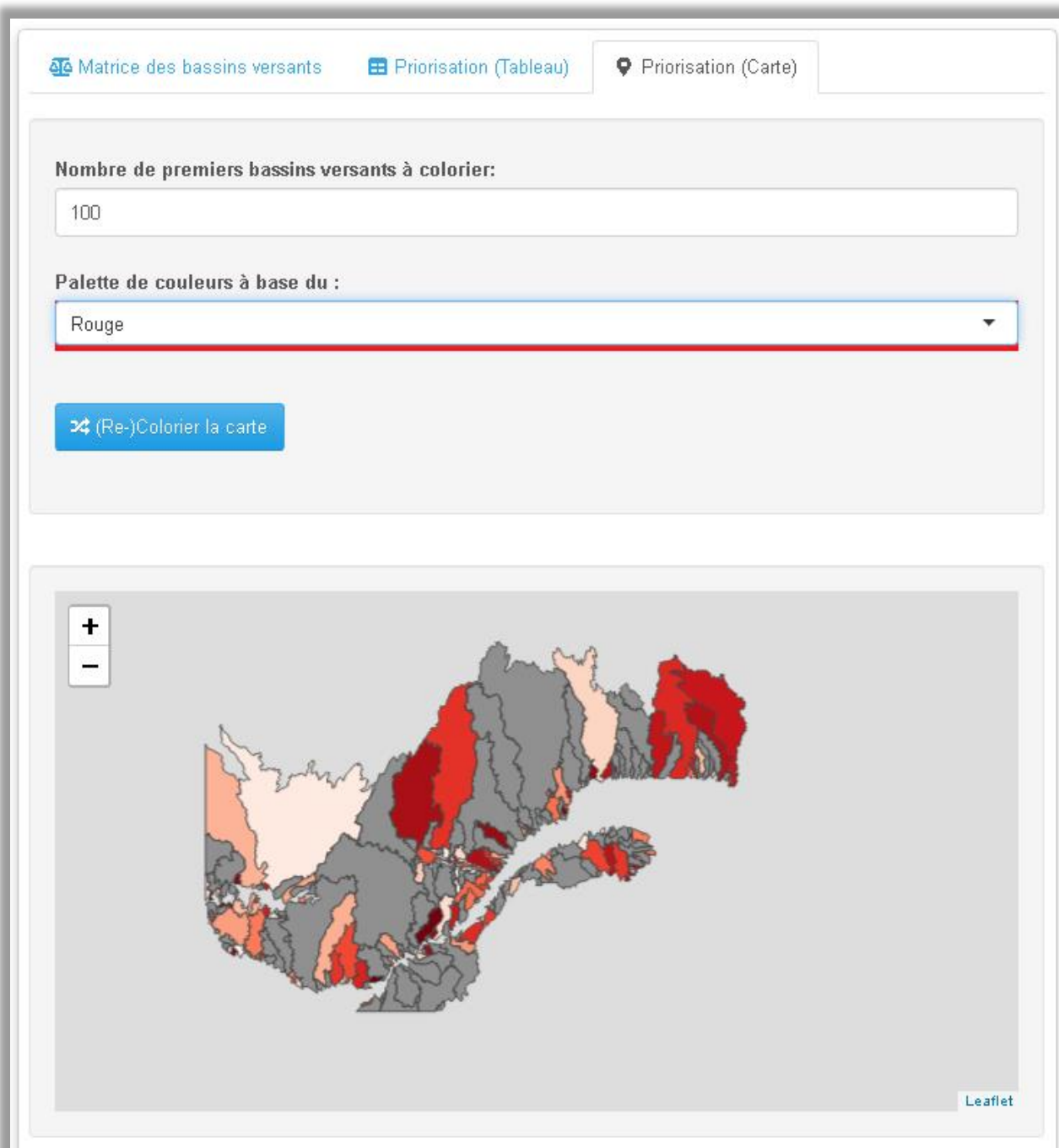


Figure 51. Priorisation avec TOPSIS (Carte).

Au niveau de la carte, il est possible d'effectuer les opérations suivantes :

- Zoomer et dézoomer avec les boutons « + » et « - » ou avec la combinaison de touches du clavier et de la souris (cf. Figure 52).
- Déplacer la carte dans les quatre directions (gauche, droite, haut et bas).

- Afficher le nom d'un bassin versant ainsi que son classement lors du survol par le curseur de la souris (cf. Figure 53).
- Afficher le nom d'un bassin versant ainsi que son classement, son identifiant et sa superficie par un clic de la souris (cf. Figure 54).



Figure 52. Priorisation avec TOPSIS (Carte : zoomer/dézoomer).

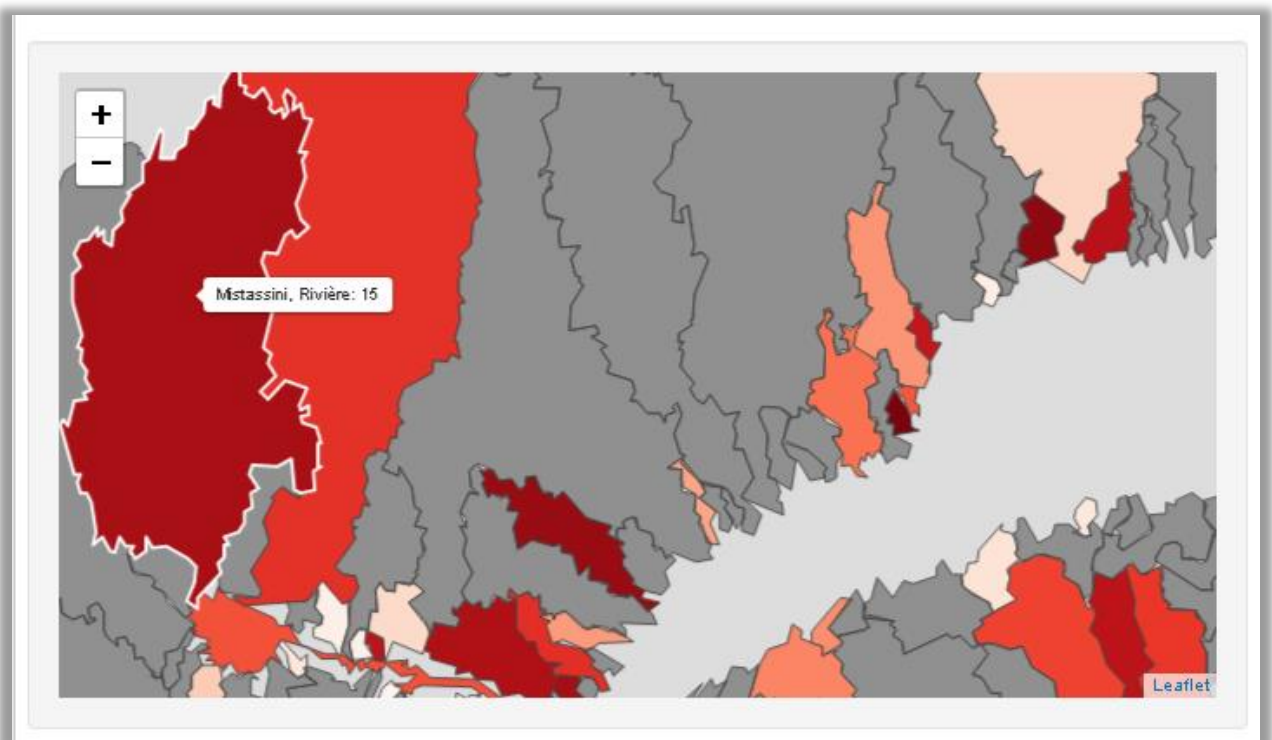


Figure 53. Priorisation avec TOPSIS (Carte : affichage d'informations de base).

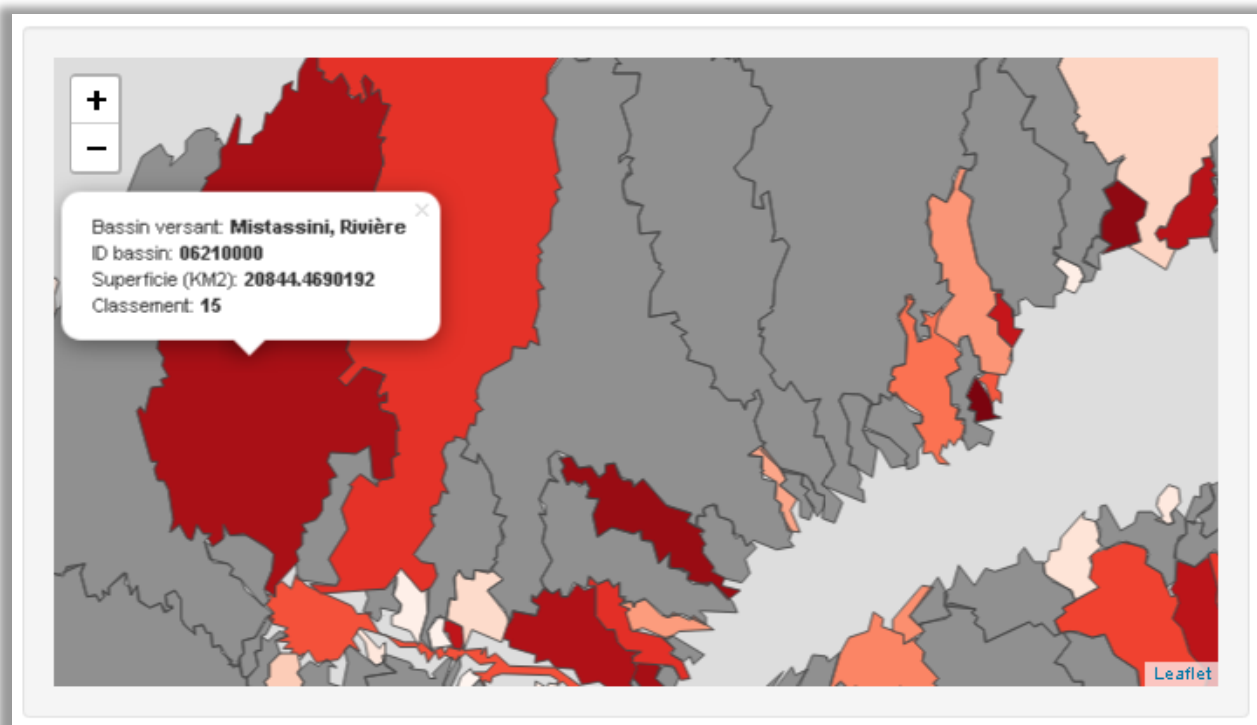


Figure 54. Priorisation avec TOPSIS (Carte : affichage d'informations supplémentaires).

7.2.4 MODIFICATION DU THÈME DE L'INTERFACE GRAPHIQUE

L'onglet « Thèmes » du menu principal permet de personnaliser l'apparence visuelle de l'application en sélectionnant un thème parmi ceux offerts (cf. Figure 55).

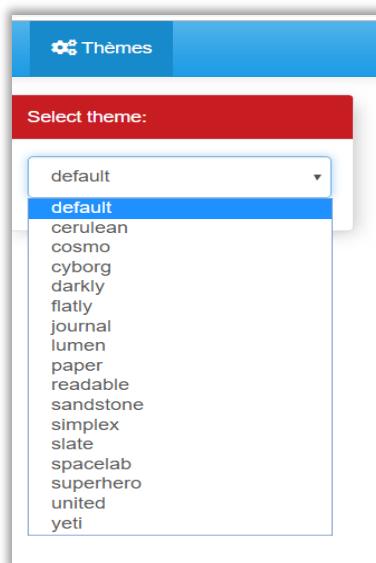


Figure 55. Modification du thème de l'Interface graphique.

7.2.5 GUIDE INTERACTIF SUR L'UTILISATION DE L'OUTIL

Le dernier onglet du menu principal de l'outil représente un guide interactif intégré (cf. Figure 56). Ce guide permet de présenter les fonctionnalités de l'outil et l'ordre dans lequel les différentes étapes d'une classification des bassins versants devrait s'effectuer. C'est en effet une introduction pas-à-pas de l'outil qui facilite sa prise en main. Ce guide, qui peut être lancé à n'importe quel moment, offre la possibilité d'avancer ou de reculer une étape à la fois en se basant sur le principe suivant : grisonner tout l'outil excepté l'étape courante à laquelle du texte explicatif est ajouté (cf. Figure 57).

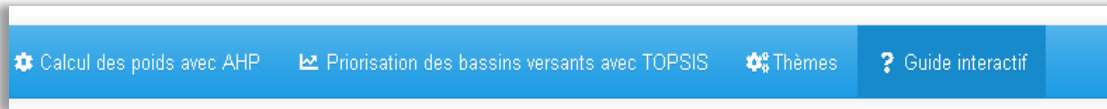


Figure 56. Onglet du guide interactif.

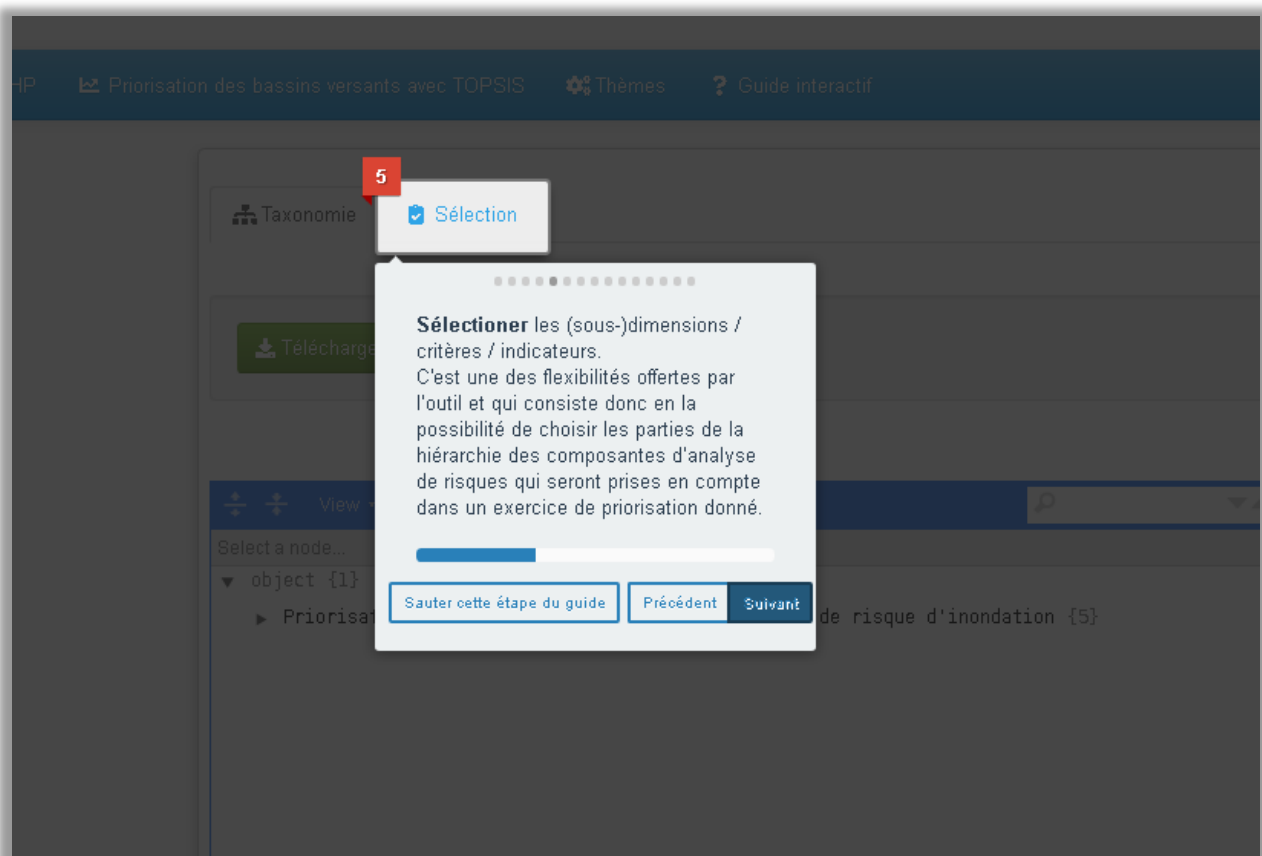


Figure 57. Une des étapes du guide interactif.

7.3 TEST ET VALIDATION

Afin de vérifier le bon fonctionnement de l'outil développé, des tests ont été effectués tout au long du processus de développement.

7.3.1 TESTS SÉPARÉS DE AHP ET TOPSIS

Les fonctions de l'outil qui implémentent les méthodes AHP et TOPSIS ont été testées séparément.

7.3.1.1 AHP

Le test le plus étendu de l'implémentation de la méthode AHP consistait à effectuer les calculs sur la même hiérarchie en utilisant un outil de référence externe. Les résultats obtenus de ces calculs ont été comparés avec ceux obtenus en utilisation l'outil.

Étant donné que la hiérarchie produite dans le cadre du présent projet présente un niveau de détail, de variété et d'embranchement assez élevé, elle a été utilisée comme donnée d'entrée pour les calculs réalisés.

Les différents fichiers correspondant à ce test se trouvent au niveau du répertoire « Livrable03_Test/ahp »²¹ et se décrivent comme suit :

- « criteres_indicateurs_ponderations-v06.json » : représente la hiérarchie utilisée en entrée pour les calculs. Ce fichier contient aussi bien les dimensions, sous-dimensions, critères et indicateurs que les comparaisons par paires.
- « calculsAHP_Matrices_Priorite_Consistance_complet.pdf » : présente les résultats des calculs AHP réalisés par l'outil. Cela comprend les matrices AHP, les poids relatifs (priorités) et les valeurs de consistance.
- « calculAHP_outil_externe.pdf » : présente les résultats des calculs AHP réalisés en utilisation un outil de référence externe²². Cela comprend les matrices AHP, les poids relatifs (priorités) et les valeurs de consistance.

La comparaison des valeurs obtenues permet de valider le bon fonctionnement de l'implémentation de la méthode AHP au niveau de l'outil. À noter que l'outil externe utilisé comme référence se limite à une précision de deux à trois chiffres après la virgule dans les calculs réalisés et a recours à l'arrondissement des chiffres. Il a été constaté que le recours à cet arrondissement rend les calculs moins précis et ne garantit pas le respect des règles de base des calculs au niveau de la méthode AHP. Une de ces règles énonce que la somme totale des priorités (poids locaux) au niveau de chaque matrice doit être égale à 1 (100%). Or, la perte de précision, due aux arrondissements, induit des sommes qui peuvent différer de 1. À titre d'exemple, au niveau de la page 21 du fichier « calculAHP_outil_externe.pdf », la somme est de 0.999 (99,9%) au lieu de 1 (100%).

Afin d'être le plus précis possible dans les calculs, l'outil développé n'a pas recours à l'arrondissement dans les calculs et permet donc d'obtenir des résultats précis qui respectent les règles de calculs de la méthode AHP.

²¹ Lien provisoire de téléchargement (une clé USB sera fournie lors de la séance de formation):

https://1drv.ms/u/s!AviCODWFO4beijSO_0Nxpm5GjH5e?e=tMbotc

²² BPMSG : <https://bpmsg.com/ahp-online-calculator/>

Cette différence dans la précision des deux outils, justifie la différence des chiffres obtenus lors des tests. À titre d'exemple, l'outil retourne la valeur « 0,653841403332956 » correspondant à 65,3841403332956% pour la sous-dimension « vulnérabilité des personnes »²³, alors que l'outil externe retourne une valeur arrondie de « 0,654 » correspondante à 65,4%²⁴.

7.3.1.2 TOPSIS

Les calculs au niveau de la méthode TOPSIS se basent sur trois données d'entrée : une matrice où les lignes représentent les alternatives et les colonnes les indicateurs, un vecteur de poids des indicateurs et un vecteur d'optimisation (indiquant le sens d'optimisation des indicateurs). Ce dernier contient des valeurs binaires : minimiser/maximiser.

Dans un premier test, la matrice de la Figure 58 a été utilisée. Concernant les poids, le vecteur suivant a été utilisé : <0,8; 0,2>. Pour ce test, l'« Indicateur 01 » est à maximiser alors que l'« Indicateur 02 » est à minimiser (cf. Figure 59).

	Indicateur 01	Indicateur 02
Alternative 01	13	45
Alternative 02	2	32
Alternative 03	64	78

Figure 58. Matrice de données pour test de priorisation avec TOPSIS.

Choices	Name	Negative	Weight	Qualitative
1	Indicateur 01	☐	0.8	☐
2	Indicateur 02	☒	0.2	☐

Figure 59. Vecteur de poids et optimisation pour test de priorisation avec TOPSIS.

Suite aux calculs avec l'outil externe²⁵, le résultat de l'exercice de priorisation est présenté au niveau de la Figure 60.

²³ Voir le tableau des priorités du fichier calculsAHP_Matrices_Priorite_Consistance_complet.pdf

²⁴ Voir le tableau des priorités du fichier calculAHP_outil_externe.pdf

²⁵ <https://decision-radar.com/>

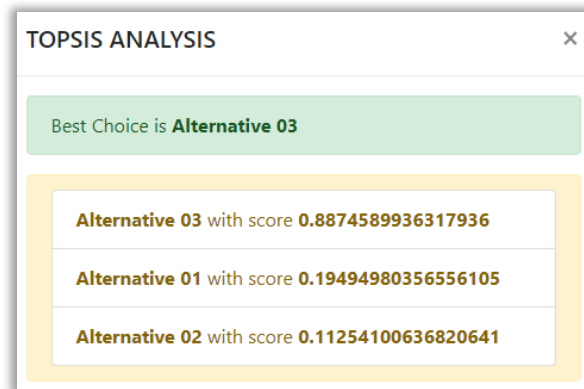


Figure 60. Résultat de priorisation avec l'outil externe (test 01)..

En utilisant l'implémentation TOPSIS au niveau de l'outil développé, le résultat de l'exercice de priorisation est présenté au niveau de la Figure 61.

Show	10	entries	Search:	
	Alternatives	Score	Classement	
3	3	0.887458993631794	1	
1	1	0.194949803565561	2	
2	2	0.112541006368206	3	

Figure 61. Résultat de priorisation avec l'outil développé (test 01)..

Il est à constater qu'avec les deux outils, les mêmes résultats de classement ont été obtenus. En effet, l'alternative 3 a été classée en premier suivie par la première alternative et finalement la troisième.

Dans un autre test, les vecteurs d'optimisation, ont été inversé et avec les deux méthodes, on obtient le résultat attendu : classement dans l'ordre inverse de celui obtenu dans le précédent test (cf. Figure 62 et Figure 63).

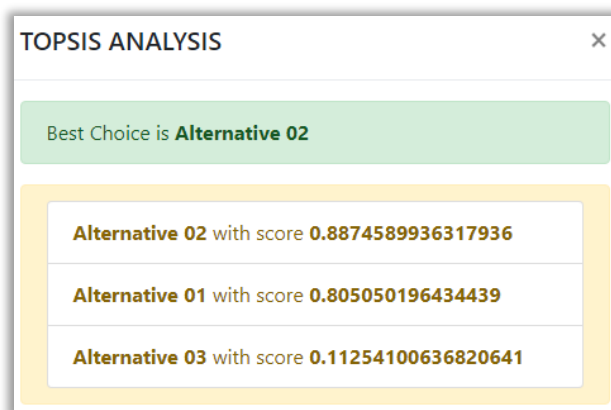


Figure 62. Résultat de priorisation avec l’outil externe (test 02).

Show entries Search:

	Alternatives	Score	Classement
2	2	0.887458993631794	1
1	1	0.805050196434439	2
3	3	0.112541006368206	3

Figure 63. Résultat de priorisation avec l’outil développé (test 02).

7.3.2 TESTS D’INTÉGRATION

En plus des tests « unitaires » au niveau des méthodes (AHP et TOPSIS), des tests d’intégration ont été réalisés. Ces tests ont comme objectif de tester la méthodologie au complet de la hiérarchie à la priorisation pour s’assurer que les différents modules de l’outil s’intègrent bien et fonctionnent correctement ensemble. Nous ne présentons ici que deux tests dont les résultats de priorisation attendus sont intuitifs.

Pour cette série de tests les fichiers de données suivants ont été utilisés²⁶²⁷ :

- « criteres_indicateurs_ponderations-v06_ALEA.REP.HYDRO.1_maximiser.json » : représente la hiérarchie utilisée en entrée pour les calculs réalisés au niveau du premier test. Ce fichier contient aussi bien les dimensions, sous-dimensions, critères et indicateurs que les comparaisons par paires. Pour ce test, la valeur d’optimisation de l’indicateur ALEA.REP.HYDRO.1 est « maximiser » (cf. Figure 64).

²⁶ Ces fichiers peuvent être retrouvés au niveau du répertoire : Livrable03_Tests/integration

²⁷ Lien provisoire de téléchargement (une clé USB sera fournie lors de la séance de formation):

https://1drv.ms/u/s!AviCODWfo4beijSO_0Nxpm5GjH5e?e=tMbotc

- « criteres_indicateurs_ponderations-v06_ALEA.REP.HYDRO.1_minimiser.json » : représente la hiérarchie utilisée en entrée pour les calculs réalisés au niveau du deuxième test. Ce fichier contient aussi bien les dimensions, sous-dimensions, critères et indicateurs que les comparaisons par paires. Pour ce test, la valeur d'optimisation de l'indicateur ALEA.REP.HYDRO.1 est « minimiser » (cf. Figure 65).
- « MatricePourTests_Indicateur_ALEA.REP.HYDRO.1.csv » : matrice de données de priorisation produite par le générateur automatique dont les valeurs des indicateurs sont toutes égales à 1 excepté pour les valeurs de l'indicateur ALEA.REP.HYDRO.1 qui représente la superficie du bassin versant. Pour ce dernier, les valeurs générées augmentent dans le même ordre que les valeurs des IDs des bassins versants. La première valeur est 1 et le pas d'incrémentation est de 1. Ainsi, le dernier bassin versant se voit attribuer la valeur 223 pour ce critère (cf. Figure 66).

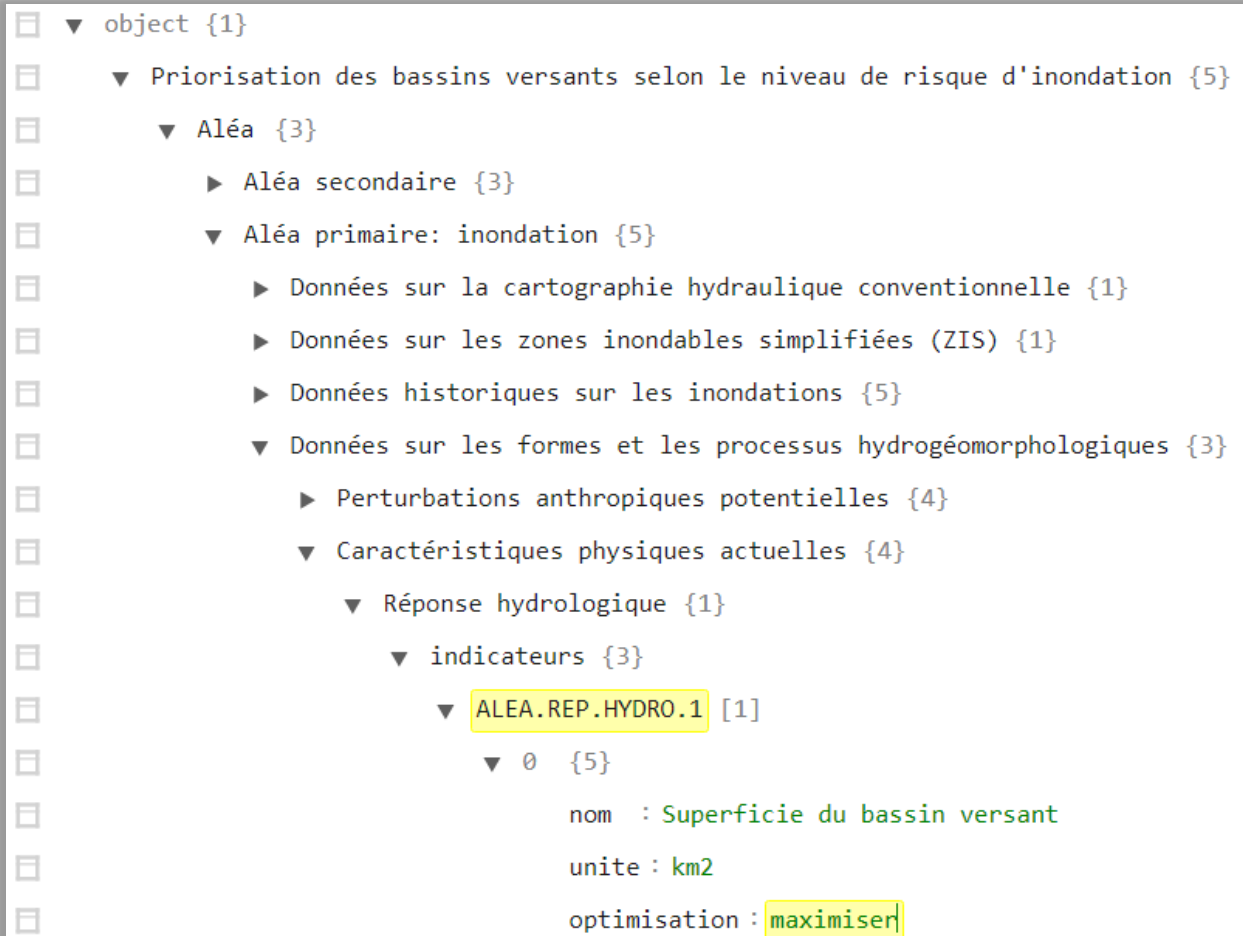


Figure 64. Vue partielle de la hiérarchie du test d'intégration 01.

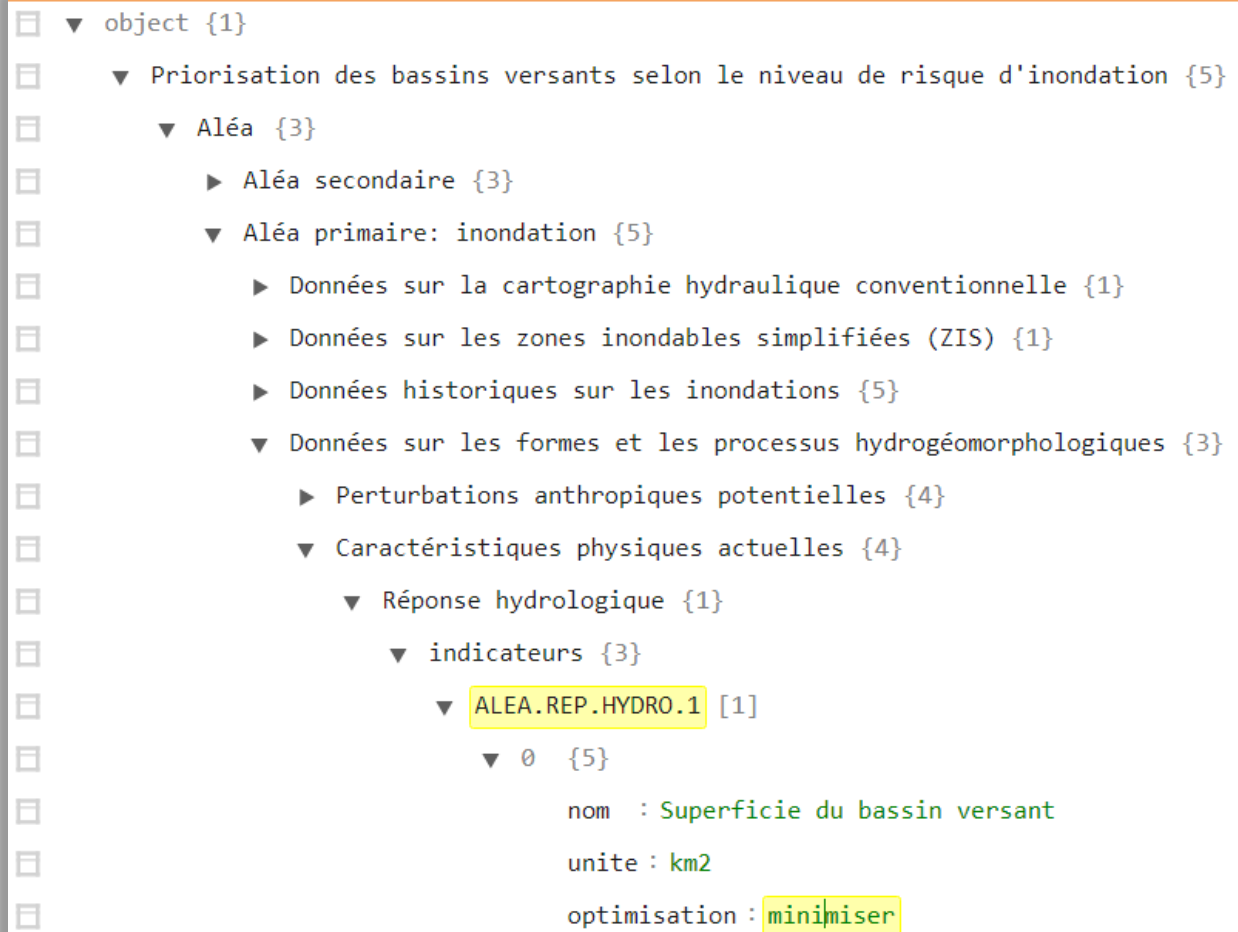


Figure 65. Vue partielle de la hiérarchie du test d'intégration 02.



Figure 66. Matrice de données pour test d'intégration.

Étant donné que les calculs AHP ont porté sur la même hiérarchie, les résultats de cette méthode sont les mêmes. Les résultats obtenus des calculs de priorisation ont été exportés au format Excel comme suit :

- « priorisations_fichier_MatricePourTests_indicateur_ALEA.REP.HYDRO.1_maximiser.xlsx » : résultats de la priorisation obtenus lors du premier test.
- « priorisations_fichier_MatricePourTests_indicateur_ALEA.REP.HYDRO.1_minimiser.xlsx » : résultats de la priorisation obtenus lors du deuxième test.

L'analyse de ces fichiers montre que l'outil procède à la priorisation comme attendu. Autrement dit :

- Lorsque l'indicateur ALEA.REP.HYDRO.1 est à maximiser, les bassins versants sont classés dans ordre qui est l'inverse de l'ordre de classement de leurs IDs (cf. Figure 67);
- Lorsque l'indicateur ALEA.REP.HYDRO.1 est à minimiser, les bassins versants sont classés dans le même ordre que celui de leur IDs (cf. Figure 68).

Copier
Imprimer
Télécharger

Afficher
10
éléments

Tableau de priorisation des bassins versants.

ID ↑↓	ID_bassins ↑↓	Topo_Riv ↑↓	Score ↑↓	Classement ↑↓
1	01010000	Grande Rivière, La	0	223
2	01020000	Petit Pabos, Rivière du	0.0045045045045045	222
3	01030000	Grand Pabos, Rivière du	0.00900900900900901	221
4	01040000	Grand Pabos Ouest, Rivière du	0.0135135135135135	220
5	01060000	Port-Daniel, Petite rivière	0.018018018018018	219
6	01070000	Paspébiac, Rivière	0.0225225225225225	218
7	01080000	Bonaventure, Rivière	0.027027027027027	217
8	01090000	Casapédia, Petite rivière	0.0315315315315315	216
9	01100000	Casapédia, Rivière	0.036036036036036	215
10	01110000	Stewart, Rivière	0.0405405405405405	214

Précédent
1
2
3
4
5
...
23
Suivant

Affichage de l'élément 1 à 10 sur 223 éléments

Figure 67. Résultats partiels de priorisation lors du test d'intégration 01.

Copier

Imprimer

Télécharger

Afficher

Tout

▼

éléments

Tableau de priorisation des bassins versants.

ID	ID_bassins	Topo_Riv	Score	Classement
1	01010000	Grande Rivière, La	1	1
2	01020000	Petit Pabos, Rivière du	0.995495495495496	2
3	01030000	Grand Pabos, Rivière du	0.990990990990991	3
4	01040000	Grand Pabos Ouest, Rivière du	0.986486486486487	4
5	01060000	Port-Daniel, Petite rivière	0.981981981981982	5
6	01070000	Paspébiac, Rivière	0.977477477477477	6
7	01080000	Bonaventure, Rivière	0.972972972972973	7
8	01090000	Cascapédia, Petite rivière	0.968468468468468	8
9	01100000	Cascapédia, Rivière	0.963963963963964	9
10	01110000	Stewart, Rivière	0.959459459459459	10
11	01120000	Nouvelle, Rivière	0.954954954954955	11
12	01160000	Ristigouche, Rivière	0.95045045045045	12
13	01180000	Port-Daniel, Rivière	0.945945945945946	13

Figure 68. Résultats partiels de priorisation lors du test d'intégration 02.

7.4 DÉPLOIEMENT

L'outil développé²⁸ est une application Web qui peut être déployée sur un serveur Web pour la rendre accessible sur Internet. Cependant, et afin de permettre son exécution localement, une version « Application Bureau » a été créée. Cette dernière inclut les dépendances nécessaires à son fonctionnement au sein d'un paquetage qui intègre aussi bien Shiny, une version portable de R ainsi que le cadre de développement ElectronJS²⁹. Le paquetage résultant est un répertoire qui contient les ressources nécessaires à l'exécution locale de l'outil. Pour le lancer, il suffit de double cliquer sur le fichier « PriorisationApp.exe » qui se trouve au niveau du répertoire Livrable03_Outil. Ce répertoire inclus aussi un fichier CSV³⁰ qui représente le modèle de la matrice dont l'outil a besoin pour l'exercice de priorisation.

²⁸ Lien provisoire de téléchargement (une clé USB sera fournie lors de la séance de formation):

<https://1drv.ms/u/s!AviCODWfo4beg7sdS5RmFruNHh4xcg?e=96K5gF>

²⁹ <https://electronjs.org/>

³⁰ Livrable03_Outil/Modele_Matrice_Pour_Priorisation_vo1.csv

Il est recommandé de se baser sur ce fichier pour produire une matrice de données sur les bassins versants.

La version actuelle de l'outil a été testée sur une machine ayant Windows 10 comme système d'exploitation ainsi que sur une machine virtuelle Windows 7 nue³¹.

7.5 ATELIER DE FORMATION

Un atelier de formation destiné aux futurs utilisateurs a eu lieu le 9 juillet 2019 de 13h30 à 16h. Deux représentants du ministère de l'environnement et de lutte contre les changements climatiques (Audrey Lavoie et Frédéric Côté), 2 représentants d'Ouranos (Alexandrine Bisaillon et Raphael Desjardins) et des membres de l'équipe de réalisation du projet étaient présents. La formation a été donnée par le professeur en informatique (Mehdi Adda) responsable du développement de l'outil. Il a commencé par présenter toutes les fonctionnalités de l'outil énoncées dans le Tableau 28. Les membres présents étaient invités à poser toutes leurs questions. Par la suite, des tests ont été faits avec l'outil considérant des matrices de données générés automatiquement. Un autre test considérant les données de la dimension aléa qui étaient collectées en date de la formation a été fait. Une version de l'outil a été transmise au ministère de l'environnement et à Ouranos.

³¹ Lors du test, et afin de s'assurer que le packaging de l'outil est autonome/portable, aucun logiciel supplémentaire n'a été installé sur cette machine virtuelle.

8. CONCLUSION

Ce rapport présente les résultats du projet de priorisation des bassins versants que nous avons conduit dans le cadre du projet INFO-Crue initié par le MELCC. Le projet INFO-Crue vise à produire une délimitation des zones inondables tenant compte des changements climatiques et à développer une cartographie prévisionnelle des secteurs problématiques pouvant être inondés en quelques jours. Afin d'identifier les bassins versants prioritaires pour la cartographie, un outil informatisé de priorisation a été développé. En s'appuyant sur les travaux existants en analyse multicritère, nous avons appliqué une méthodologie d'analyse qui utilise les méthodes multicritères AHP et TOPSIS. De plus, un comité thématique a été impliqué pour la structuration du problème. Tenant compte des grandes orientations gouvernementales en matière de la gestion du risque d'inondation, une structure hiérarchique comportant quatre dimensions fondamentales (aléa, vulnérabilité, conséquences historiques et résilience) et décliné en sous-dimensions et critères a été développée et validée par l'équipe thématique. Pour chaque critère, nous avons proposé une liste exhaustive et une liste simplifiée d'indicateurs selon la disponibilité et l'accessibilité des données. Parallèlement, des rencontres de concertation ont eu lieu pour effectuer les comparaisons par paires des sous-dimensions et critères, et ce en vue de l'application de la méthode AHP pour le processus de pondération.

Utilisant ces résultats, un outil de priorisation des bassins versants a été développé. Cet outil est constitué d'un ensemble de fonctionnalités intégrées couvrant le processus complet de priorisation en combinant les méthodes AHP et TOPSIS. Il comporte une base de connaissances composée de la hiérarchie des composantes d'analyse de risques et des comparaisons par paires résultants de l'exercice de concertation. L'outil développé est flexible puisqu'il offre la possibilité de choisir dans un exercice de priorisation donné seulement certains éléments de la hiérarchie des composantes d'analyse de risques. Par ailleurs, étant donné que la matrice de priorisation n'était pas encore disponible lors de la rédaction de ce présent rapport, et afin de pouvoir tester l'outil, un générateur automatique de matrices de données a été développé. Afin de vérifier le bon fonctionnement de l'outil développé, des tests ont été effectués tout au long du processus de développement.

En terme méthodologique, nous pensons que l'apprentissage automatique en général et l'apprentissage profond en particulier seront une piste à envisager pour valoriser les données collectées afin d'élaborer la cartographie. En effet, certaines publications récentes ont démontré la valeur ajoutée des algorithmes de l'apprentissage profond pour faire face au grand volume de données et à la nature peu conventionnelle de ces données qui n'a pas été envisagée dans les modèles hydrauliques classiques [4, 5]. Chaque nouvelle source de données (CubeSats, véhicules aériens sans pilote, photogrammétrie numérique combinée avec la vision par ordinateur, capteurs IoT) nécessite des modèles appropriés pour l'exploiter pleinement. A priori, les algorithmes d'apprentissage profond permettront un traitement rapide de ces données tout en intégrant l'expertise humaine dans la construction des modèles [4].

RÉFÉRENCES

- [1] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) - The Human Cost of Weather Related Disasters. https://www.unisdr.org/2015/docs/climatechange/COP21_WeatherDisastersReport_2015_FINAL.pdf, 2015.
- [2] Inondations du printemps 2017, bilan + perspectives, https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/inondation/retrospective_bilan_inondations2017.pdf
- [3] Radio-Canada. Crue printanière 2019 : Inondations : Québec a reçu près de 5000 réclamations jusqu'ici. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1174908/indemnisations-sinistres-crues-printanieres-refoulement-egout>, 6 juin 2019.
- [4] Shen, C., Laloy, E., Elshorbagy, A., Albert, A., Bales, J., Chang, F.-J., Ganguly, S., Hsu, K.-L., Kifer, D., Fang, Z., Fang, K., Li, D., Li, X., and Tsai, W.-P. (2018). "HESS Opinions: Incubating deep-learning-powered hydrologic science advances as a community", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 5639-5656
- [5] McCabe, M. F., Rodell, M., Alsdorf, D. E., Miralles, D. G., Uijlenhoet, R., Wagner, W., Lucieer, A., Houborg, R., Verhoest, N. E. C., Franz, T. E., Shi, J., Gao, H., and Wood, E. F. (2017). "The future of Earth observation in hydrology", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 3879–3914,
- [6] MSP (2008) Concepts de base en sécurité civile. Gouvernement du Québec, 42 p. + annexes https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/publications/concepts_base/concepts_base.pdf
- [7] Shivaprasad Sharma S V, Parth Sarathi Roy, Chakravarthi V & Srinivasa Rao G (2018). "Flood risk assessment using multi-criteria analysis: a case study from Kopili River Basin, Assam, India," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9:1, 79-93,
- [8] Elsheikh RFA, Ouerghi S, Elhag AR. (2015). "Flood risk map based on GIS, and multi criteria techniques (case study Terengganu Malaysia)". *J Geogr Inform Syst.* 07(04):348.
- [9] Musungu K, Motala S, Smit J. (2012). "Using multi-criteria evaluation and GIS for flood risk analysis in informal settlements of Cape Town: the case of Graveyard pond". *South African J Geomatics.* 1(1):92–108.
- [10] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill. International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised editions, Paperback (1996, 2000), Pittsburgh: RWS Publications.
- [11] Hwang, C.L.; Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag.
- [12] Hwang, C.L.; Lai, Y.J.; Liu, T.Y. (1993). "A new approach for multiple objective decision making". *Computers and Operational Research.* 20: 889–899. doi:10.1016/0305-0548(93)90109-v.
- [13] Yang W., Xu K., Lian J., Ma C., Bin L., (2018), Integrated flood vulnerability assessment approach based on TOPSIS and Shannon entropy methods, *Ecological Indicators*, vol 89, pp. 269-280.

- [14] Zhu F., Zhong P-A, Sun Y., (2018), Multi-criteria group decision-making under uncertainty: application in reservoir flood control operation, *Environmental modelling & software*, vol 100, pp. 236-251.
- [15] Lee G., Jun K.S., Chung E-S. (2014), Robust spatial flood vulnerability assessment for Han River using fuzzy TOPSIS with α -cut level set, *Expert systems with applications*, vol 41, issue 2, pp. 644-654.
- [16] Amorim. (2000). Aide à la Concertation et à la Décision dans le cadre de Processus de Décision Publique Complexes, Thèse de doctorat, Sciences de la gestion, Paris 9.
- [17] Damart, S., David, A., & Roy, B. (2001). « Comment organiser et structurer le processus de décision pour favoriser la concertation entre parties prenantes et accroître la légitimité de la décision ? », Rapport technique, Lamsade, 62 pages.
- [18] BASSERAS F., (1999) Mémoire principal de DEA « La concertation au sein du processus de décision en matière de ligne régulière de bus en région Ile-de-France », Université Paris IX Dauphine.
- [19] Chevallier, Jacques. 1999. « Synthèse ». In *La démocratie locale: Représentation, participation et espace public*. CRAPS et CURAPP, p. 405-415. Paris: Presses universitaires de France.
- [20] Tille, M. (2001), Choix de variantes d'infrastructures routières : méthodes multicritères, Thèse no 2294 École polytechnique fédérale de Lausanne, 412 pages.
- [21] Rousseau, A. et Martel, J.-M. (1996), La décision participative: une démarche pour gérer efficacement les conflits environnementaux, Document de Travail 96-24, CREDO, Faculté des sciences de l'Administration, Université Laval: 35 p.
- [22] Urli, B. (2013). « Méthode omniscritère : méthode d'aide à la concertation, à la décision et à la gestion de projet », rapport préparé pour le compte du ministère des Transports du Québec, 186 pages.
- [23] Choné G., Buffin-Bélanger T., Biron P. (2017). Évaluations Préliminaires du Risque d'Inondation, rapport final. CPS-15-16-01, sous-projet 2. Rapport transmis au ministère de la Sécurité publique.
- [24] Demoraes F., et D'Ercole R. (2009) Risques et accessibilité des lieux dans le District Métropolitain de Quito (Équateur). *Mappe Monde*, (95 (3-2009)), 1-20.
- [25] Gouvernement du Canada (2001) La vulnérabilité des télécommunications mobiles face aux risques naturels. Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile. 63 p. + annexes : http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/ps-sp/D82-82-2003F.pdf
- [26] Barette N., Lalonde B., Vandersmissen, M.-H., Roy F., Brousseau Y., Tanguay L.-P., Aubin, L., Turcotte S., Gilbert J.-P., Déry J.-S., Tedone J.-L., Dovonou P., Bertold É., Guilbert É. et Mercier G. (2018) Atlas de la vulnérabilité de la population québécoise aux aléas climatiques : un outil destiné aux aménagistes et au grand public. sciencesconf.org/aic2018:197814
- [27] Thomas I. et Gagnon A. (2019) Coaticook : Analyse scientifique de la vulnérabilité intégrant l'implication des acteurs locaux et citoyens pour une ville et une communauté plus résiliente. *ISTE OpenScience, Revue : Risques urbains*, vol. 3, n°1, pp. 1-19
- [28] Sayad S. et Thomas I. (2016) Tirer des apprentissages des catastrophes passées : L'analyse de la sensibilité de la Ville de Saint-Raymond face aux inondations. *Observation universitaire de la vulnérabilité, la résilience et la reconstruction durable*, Université de Montréal : <http://www.repertoiregrif.umontreal.ca/platform/pdf/2018SSayad.pdf>

- [29] Thomas I., Bleau N., Soto Abasolo P., Desjardin-Dutil G., Fuamba M. et Kadi S. (2012) Analyser la vulnérabilité sociétale et territoriale aux inondations en milieu urbain dans le contexte des changements climatiques, en prenant comme cas d'étude la ville de Montréal, Rapport final pour Ouranos, 137 p.
- [30] Université Laval (2018) Atlas web de la vulnérabilité de la population québécoise aux aléas climatiques : <https://atlas-vulnerabilite.ulaval.ca/>
- [31] CEPRI (2016) Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation. Les guides du CEPRI, 86 p.
- [32] Boivin M., Maltais M., et Buffin-Bélanger T. (2018) Guide d'analyse de la dynamique du bois mort en rivière. Guide scientifique présenté au Conseil de l'eau du Nord de la Gaspésie et à la Fondation de la Faune du Québec. 107 pages.
- [33] Demers (2018) L'indice de qualité morphologique appliqué à la conservation et la restauration de cours d'eau. Présentation et formation terrain dans le cadre du Rendez-vous des OBV, le 18 octobre 2018. Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale, UQAR : <https://robvq.qc.ca/public/documents/formations/rdv21/IQM.pdf>

ANNEXE 1

Tableau de synthèse des indicateurs inventoriés et sélectionnés pour l'exercice de priorisation des bassins versants

Légende :

cellule en gris : méconnaissance de la représentation spatiale de la donnée

cellule rouge : donnée, à priori, disponible à l'échelle du Québec

cellule orange : donnée partiellement disponible à l'échelle du Québec

cellule jaune pâle : recherche et développement de la donnée ou donnée disponible dans un avenir proche

cellule encadrée d'une ligne noire épaisse : indicateur sélectionné pour l'outil de priorisation. L'ensemble des indicateurs sélectionnés et activés pour l'exercice de priorisation possèdent un code alphanumérique 1 ou 2.

INDICATEUR EN MAJUSCULE : indicateur désactivé lorsqu'il y a :

- une donnée indisponible;
- une indécision sur le choix de l'optimisation et de l'interprétation de la valeur de l'indicateur;
- un manque d'investigation sur la disponibilité et l'exploitabilité de la donnée;
- une non pertinence ou une pertinence moindre de l'indicateur (allègement du nombre d'indicateurs) pour l'exercice de priorisation;
- une redondance interprétative de l'indicateur avec l'information d'un autre indicateur sélectionné;
- une vulnérabilité méconnue de l'enjeu représenté par l'indicateur;
- une donnée peu fiable ou exprimant une trop faible résolution spatiale.

(BV) : signifie que l'indicateur est calculé à l'échelle du bassin versant

Max ou Maximise : l'indicateur priorise les BV avec une valeur élevée

Min ou Minimise : l'indicateur priorise les BV avec une faible valeur

Code alphanumérique d'aide à la sélection des indicateurs déterminé selon la disponibilité, l'exploitabilité et la pertinence de la donnée

1	Données pertinentes pour l'exercice de priorisation	Données pouvant être libres d'accès (données ouvertes) ou ne nécessitant pas d'entente d'utilisation particulière (hormis pour les données de la DRE du MSP, les données des ministères consultés sur le groupe thématique ont été prises pour acquis) et facilement exploitables (avec croisement avec l'aléa, mais sans traitement).
1b		Idem à 1, mais nécessite du traitement : manipulations, extractions, compilation. Données produites par le laboratoire de RGDF
1c		Données disponibles nécessitant une entente d'utilisation et davantage de traitements.
2		Données disponibles nécessitant une entente d'utilisation et davantage de traitements. Données, à priori, non disponibles ou disponibles dans un avenir proche ou à utilisation restreinte ou nécessitant beaucoup de traitement/recherche/développement ou dont l'existence et l'exploitabilité n'ont pas pu être investiguées
3		Données, à priori, non disponibles ou disponibles dans un avenir proche ou à utilisation restreinte ou nécessitant beaucoup de traitement/recherche/développement ou dont l'existence et l'exploitabilité n'ont pas pu être investiguées
4	Données moins pertinentes selon (a) le jugement de l'expert basé sur l'objectif de priorisation, (b) sa représentativité à l'échelle du bassin versant et (c) le jugement de l'expert en lien avec la connaissance des phénomènes. Disponibilité et exploitabilité de la donnée non spécifiées.	

Remarques :

Bien que l'intitulé des indicateurs de vulnérabilité ne l'évoque pas toujours, ce dernier exprime une quantification de l'enjeu basée sur l'exposition à la ZIP. Aussi, les informations contenues dans ce répertoire peuvent être fondées sur des "à priori" dans les cas où les bases de données n'ont pas pu être visualisées. Ces informations ont été fournies au meilleur de nos connaissances et de nos investigations, mais pourraient rapidement être désuètes dans la mesure où les institutions mettent régulièrement à jour leurs bases de données et que de nouveaux produits SIG sont continuellement mis à disposition.

Listes des acronymes :

<i>Méthode et approche</i>
ACRIgéo : approche de coopération en réseau interministériel pour l'information géographique
ÉPRI : évaluation préliminaire des risques d'inondation
DRASTIC : méthode de détermination des aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et des indices de vulnérabilité : D : Profondeur de la nappe (Depth to water table); R : Recharge ou infiltration efficace (Recharge); A : Nature du milieu aquifère (Aquifer media); S : Type de sol (Soil media); T : Pente du terrain (Topography); I : Nature de la zone vadose ou non saturée (Impact of vadose zone); C : Conductivité hydraulique de l'aquifère (Conductivity).

<i>SIG</i>
SIEF : système d'information écoforestière
SIGAT : système d'information et de gestion en aménagement du territoire (intègre l'application Territoires)
SIGÉOM : système d'information géominière
SIH : système d'information hydrogéologique
SUPREME : système de surveillance et de prévention des impacts sanitaires des événements météorologiques extrêmes
Système DSRI : système des dépôts de sols et de résidus industriels
Système GTC : système de gestion des terrains contaminés

<i>Entité institutionnelle et autres entités</i>
BAC : Bureau d'assurance du Canada
DEB : Direction de l'expertise en biodiversité (MELCC)
DEH : direction de l'Expertise hydrique (MELCC)
DRE : direction du Rétablissement (MSP)
DRSCSI : directions et bureaux régionaux de la sécurité civile et de la sécurité incendie (MSP)
DSP : direction de santé publique "régionale" (MSSS)
INSPQ : Institut national de santé publique du Québec
IRDA : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
ISQ : Institut de la statistique du Québec
Labo RGDF : laboratoire de recherche de Géomorphologie et de dynamique fluviale (UQAR)
MAMH : ministère des Affaires municipales et de l'Habitation
MCC : ministère de la Culture et des Communications
MEES : ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur

<i>Entité institutionnelle et autres entités</i>
MEI : ministère de l'Économie et de l'Innovation
MELCC : ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques
MERN : ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
MFFP : ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MRC : municipalité régionale de comté
MSP : ministère de la Sécurité publique
MSSS : ministère de la Santé et des Services sociaux
MTQ : ministère des Transports du Québec
OSCQ : Organisation de la sécurité civile du Québec (MSP)
SHQ : Société d'habitation du Québec
StatCan : Statistique Canada

Base de données
BDGA : base de données géographiques et administratives
BDPT : base de données sur le potentiel des terres au Canada
BDTQ : base de données topographiques du Québec
BDZI : base de données des zones à risque d'inondation
BHM : base de données des bassins hydrographiques multiéchelles
CanVec : produit numérique de référence cartographique offrant des données vectorielles topographiques du Canada
CRHQ : cadre de référence hydrologique du Québec
DOGQ : données ouvertes du gouvernement du Québec (site internet)
LCE : base de données des lacs et cours d'eau
PPAT : portrait provincial en aménagement du territoire (section thématique de l'application Territoires)
REF : rôle d'évaluation foncière
RFU : richesse foncière uniformisée
RRN : base de données du réseau routier national

Autres termes
BV : bassin versant
EAIP : enveloppe approchée d'inondation potentielle
PPRLPI : politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
RCI : règlement de contrôle intérimaire
UEA : unités écologiques aquatiques
ZI : zone inondable
ZIP: zone d'inondation potentielle

DIMENSION

Composition hiérarchique de l'embranchement (de la DIMENSION > jusqu'à la dernière sous-dimension)

> critère

Nom de l'indicateur	Principale source de données permettant de documenter l'indicateur	Code alpha-numérique	Optimisation de la valeur de l'indicateur	Interprétation de l'indicateur (prémisse)
ALÉA				
ALÉA > Aléa primaire : l'inondation				
> Données sur la cartographie hydraulique conventionnelle				
Nombre de station hydrométrique et d'échelle limnimétrique (BV)	DEH	1	Min	Moins le phénomène d'inondation est documentable, plus il est difficile de connaître avec certitude l'absence totale du phénomène d'inondation. Autrement dit, plus il y a d'incertitude plus il est difficile de statuer sur l'occurrence exacte du phénomène. À cet égard, il est habituellement de mise de prendre davantage de précaution.
Longueur totale de cours d'eau d'ordre de Strahler >3 pour lequel il existe une cartographie reconnue ou non par la DEH (sans distinction par rapport à l'intégration au SAD ou l'application municipale) (BV)	DEH (BDZI), MAMH (PPAT)	1	Min	Moins le phénomène d'inondation est documenté, moins le phénomène d'inondation est connu et susceptible d'être adéquatement encadré par une législation.
Proportion linéaire de cours d'eau d'ordre de Strahler >3 pour lequel il existe une cartographie reconnue ou non par la DEH (sans distinction par rapport à l'intégration au SAD ou l'application municipale) (BV)	DEH (BDZI), MAMH (PPAT)	1	Min	Moins le phénomène d'inondation est documenté, moins le phénomène d'inondation est connu et susceptible d'être adéquatement encadré par une législation.
Année de planification de la disponibilité du LiDAR (BV)	MFFP	1		
Proportion des cours d'eau d'ordre de Strahler >3 couvert par le LiDAR (BV)	MELCC, MSP, MTQ, MFFP, MERN	1		

Résolution du LiDAR : densité de points de captage théorique, précision altimétrique, précision planimétrique (BV)	MELCC, MSP, MTQ, MFFP, MERN	1b
Ratio du nombre de cartographies sans élévation (pinceau large réalisé par les communautés locales) (BV)	DEH, MAMH (PPAT)	1
Ratio du nombre de cartographies avec élévation, mais sans ligne crue (floodways) (BV)	DEH, MAMH (PPAT)	1
Ratio du nombre de cartographies avec élévation et lignes de crue (floodways) (BV)	DEH, MAMH (PPAT)	1
Ratio du nombre de cartographies incluant la vitesse côtière (coastal velocity zones) (BV)	DEH, MAMH (PPAT)	4a
Ratio du nombre de cartographies existantes qui nécessitent seulement de petits ajustements (BV)	DEH, MAMH (PPAT)	1
Nombre d'événements d'inondation de sévérité modérée à élevée recensés depuis la dernière mise à jour de la cartographie en vigueur : désuétude (BV)	MSP/OSCQ, DEH (BDZI)	4b
Année de la cartographie la plus récente : désuétude (BV)	DEH (BDZI)	1

ALÉA > Aléa primaire : l'inondation > Données historiques sur les inondations

> Données sur les inondations par embâcle de glace

Nombre d'observations d'inondation par embâcle de glace (BV)	MSP/OSCQ	1	Max	Plus il y a d'observation, plus le phénomène est étendu dans le bassin versant.
Nombre de prévisions de 25 mm (en hiver), ou plus, de pluie en moins de 24 heures (BV)	Environnement Canada, INSPQ (SUPREME)	4c		
Nombre d'années avec inondation par embâcle de glace depuis 1996 (BV)	MSP/OSCQ	1		
Période annuelle et temps écoulé entre le début et la fin du bulletin d'avertissement émis par les autorités provinciales et/ou fédérales	MSP	3		
	Environnement Canada			
Période annuelle et temps d'avertissement (temps écoulé entre le début du premier bulletin d'alerte et le début de l'occurrence de l'inondation ou du premier enjeu inondé)		4		

> Données sur les inondations torrentielles				
NOMBRE DE PRÉVISIONS DE 50 MM OU PLUS, DE PLUIE EN MOINS DE 24 HEURES (BV)	Environnement Canada, INSPQ (SUPREME)	2	MAX	Plus il y a de prévisions, plus le phénomène est étendue dans le bassin versant.
Nombre d'observations d'inondation torrentielle	MSP/OSCQ	4a		
Nombre d'années avec inondation torrentielle depuis 1996 (BV)	Environnement Canada, INSPQ (SUPREME)	2		
Période annuelle et temps écoulé entre le début et la fin du bulletin d'avertissement émis par les autorités provinciales et/ou fédérales	MSP	3 et 4c		
	Environnement Canada			
Période annuelle et temps d'avertissement (temps écoulé entre le début du premier bulletin d'alerte et le début de l'occurrence de l'inondation ou du premier enjeu inondé)		4		
> Données sur les inondations en eau libre				
Nombre d'observations d'inondation en eau libre (BV)	MSP/OSCQ	1	Max	Plus il y a d'observation, plus le phénomène est étendue dans le bassin versant.
Nombre d'années avec inondation en eau libre depuis 1996 (BV)	MSP/OSCQ	1		
Période annuelle et temps écoulé entre le début et la fin du bulletin d'avertissement émis par les autorités provinciales et/ou fédérales	MSP	3		
	Environnement Canada			
Période annuelle et temps d'avertissement (temps écoulé entre le début du premier bulletin d'alerte et le début de l'occurrence de l'inondation ou du premier enjeu inondé)		4		
> Données sur les inondations d'autres types				
NOMBRE D'OBSERVATIONS D'INONDATION AUTRES TYPES (BV)		3	MAX	
Période de retour moyenne des événements d'inondation d'autres types depuis 1996 à l'échelle du bassin versant		3		
Période annuelle et temps écoulé entre le début et la fin du bulletin d'avertissement émis par les autorités provinciales et/ou fédérales		3		

Période annuelle et temps d'avertissement (temps écoulé entre le début du premier bulletin d'alerte et le début de l'occurrence de l'inondation ou du premier enjeu inondé)		3		
ALÉA > Aléa primaire : l'inondation				
> Données sur les zones d'inondation potentielle (ZIP)				
Superficie totale de ZIP (BV) : option 1 - zone obtenue à l'aide de la méthode présentée dans ce rapport ou option 2 – EAIP	Option 1 : Labo RGDF (INFO-Crue) ou option 2 : MSP (ÉPRI)	1c	Max	Plus il y a de superficie et/ou plus la proportion est grande, plus le phénomène d'inondation est susceptible d'être aperçu.
Proportion du bassin versant couvert de ZIP (BV) : option 1 zone obtenue à l'aide de la méthode présentée dans ce rapport ou option 2 - EAIP	Option 1 : Labo RGDF (INFO-Crue) ou option 2 : MSP (ÉPRI)	1c	Max	Plus il y a de superficie et/ou plus la proportion est grande, plus le phénomène d'inondation est susceptible d'être aperçu.
(1) Longueur et (2) proportion linéaire de cours d'eau pour lequel il existe une ZIP : : option 1 - zone obtenue à l'aide de la méthode présentée dans ce rapport ou option 2 - EAIP	DEH (CRHQ) + option 1 : Labo RGDF (INFO-Crue) ou option 2 : MSP (ÉPRI)	1c		
(1) Superficie des zones inondables sur les cônes alluviaux et (2) nombre de cônes alluviaux		3		
Ratio superficie des zones inondables sur les cônes alluviaux / superficie des ZIP		3		
Superficie des zones de mobilité potentielle des petits cours d'eau	MELCC (CRHQ), MFFP (SIEF)	1		
Ratio longueur du réseau hydrographique avec une zone de mobilité potentielle des petits cours d'eau / longueur totale du réseau hydrographique des cours d'eau d'ordre de Strahler ≤ 3	MELCC (CRHQ) , MFFP (SIEF)	1		
ALÉA > Aléa primaire : inondation > Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques > Caractérisitques physiques actuelles				
> Réponse hydrologique				

Superficie du bassin versant	DEH (BHM)	1	Max	Plus le BV est grand, plus les inondations en eau libre sont susceptibles d'être longue et plus le nombre de sites inondée risque d'être grand.
Proportion surfacique de lacs et de milieux humides (BV)	MELCC (CRHQ), MELCC (LCE), DEH (BHM), DEB (BDTQ/CANVEC/SIEF).	1	Min	Moins il y a de lacs/milieux humides, plus le débit de pointe est élevé et plus la réponse est rapide.
Proportion des sols couverts par une végétation naturelle et/ou forestière (BV)	MFFP (SIEF)	1	Min	Moins il y a de forêt, plus le débit de pointe est élevé et plus la réponse est rapide.
Pente moyenne du BV	MFFP (SIEF)	1		
Longueur totale du réseau hydrique	MELCC (CRHQ)	1		
Indice de compacité (indice de forme)	DEH (BHM)	1b		
Indice d'efficacité (indice hydromorphométrique)	DEH (BHM)	1b		
(1) Densité de drainage du BV ou (2) densité de confluence (indice croisé : réseau et forme)	MELCC (CRHQ), MELCC (LCE), DEH (BHM)	1		
Indice de Melton (indice croisé : relief et forme)	MFFP (SIEF), DEH (BHM)	1b		
Indice de pente du réseau (indice croisé : relief et réseau)		3		
Densité de lac	MELCC (LCE), DEH (BHM)	1		
Proportion des surfaces lithologiques schisteuses et karstiques	MERN (SIGÉOM), MELCC (DRASTIC)	1		
Proportion des sols ou des dépôts de surface avec un taux d'infiltration élevé	MAPAQ, MFFP (SIEF), IRDA, Gouvernement du Canada (BDPT)	1b		
Vitesse moyenne de montée des eaux		3		
> Réponse hydrométéorologie				
Total annuel des précipitations (moyenne pour le bv)	Ouranos (Portrait climatique)	1b	Max	Plus il y a de précipitations, plus la probabilité d'inondation est grande.
Température moyenne quotidienne (BV)	Gouvernement du Canada	1b		
Chute de neige accumulée annuelle (cm) (BV)	Gouvernement du Canada	1b		
Chute de pluie cumulée annuelle (mm) (BV)	Gouvernement du Canada	1b		

Tendance (1960-2013) des précipitations totales annuelle (mm/an)	MELCC	1b
Maximum des précipitations cumulées sur cinq jours (mm)	Ouranos (Portrait climatique)	1b
Nombre d'évènements de gel-dégel en hiver	Ouranos (Portrait climatique)	1b
Reconstitution historique des apports verticaux (eaux de fonte et de pluie) de 1900 à 2010	DEH	3
Fréquence des épisodes pluvieux > 50 mm	Environnement Canada, INSPQ (SUPREME)	1b

> Réponse hydrosédimentaire

PROPORTION DE COURS D'EAU MOBILE		3	MAX
Indicateurs (D1 à D6 et D9) de l'indice de dynamisme fluvial de l'outil de décision pour la gestion du bois mort en rivière [32]		3	
Indicateurs (F1 à F13) sur les processus, formes et bandes riveraines de l'IQM [33]		3	
<i>ou</i>	<i>ou</i>		
Type de plaine alluviale dominant (composition sédimentaire du plancher alluvial, puissance spécifique, style fluvial)	MELCC (UEA), MFFP (SIEF)	3	

ALÉA > Aléa primaire : inondation > Données sur les formes et les processus hydrogéomorphologiques > Perturbations anthropiques potentielles

> Perturbations de la réponse hydrologique

Proportion surfacique des changements observés dans l'utilisation des sols pour ce qui a trait à l'artificialisation des sols et l'expansion des terres agricoles (BV)	ISQ (Compte des terres du Québec méridional)	1b	Max	Plus l'imperméabilisation et le drainage des terres sont conséquents, plus la réponse hydrologique risque d'être rapide/perturbée.
Diminution significative de la superficie des milieux humides riverains (%) : phénomène de remblayage/empiètement	ISQ (Compte des terres du Québec méridional)	1b		
Augmentation du réseau de drainage (%)		3		
Augmentation des superficies urbaines ou imperméabilisation des surfaces (%)	MAMH	1b		

Augmentation des superficies agricoles et diminution des zones boisées (%)	Gouvernement du Canada (Données topographiques du Canada - Série CanVec), MAMH (cadastre)	1
Proportion imperméabilisée de la superficie du bassin versant : ruissellement	ACRIgéo, MAMH (PPAT), MFFP (SIEF)	1b
(1) Superficie de zone de développement planifié (ZPA et ZPR) et (2) proportion du périmètre d'urbanisation destiné au développement planifié situés en zone inondable : empiètement projeté	ACRIgéo, MAMH	1
Ratio de la longueur de cours d'eau artificiel sur la superficie du BV	MELCC (CRHQ) et DEH (BHM)	1
Proportion du bassin versant avec des perturbations et interventions forestières	MFFP (SIEF)	1
Proportion du bassin versant couvert par les types de coupe dont le TREC (taux régressif de l'effet de la coupe) est supérieur à 50%	MFFP (SIEF)	1
Proportion de terre agricole dans le BV	MAMH (PPAT)...	1
Proportion de terre forestière dans le BV	MAMH (PPAT)...	1
Proportion du bassin versant avec des contraintes d'érosion du sol et de sol mince	MFFP (SIEF)	1

> Perturbations de l'hydrométéorologie

Proportion d'augmentation du total annuel des précipitations pour l'horizon 2041-2070 (moyenne pour le BV) : scénario modéré, percentile 50	Ouranos (Portrait climatique)	1b	Max	Plus il y a de changement positif dans le total des précipitations annuelles dans le BV, plus la réponse sera perturbée
Augmentation probable à très probable du débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans au printemps (%) (BV)	DEH (Atlas hydroclimatique du Québec méridional)	1b		
Augmentation probable à très probable du débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans à l'été et à l'automne (%) (BV)	DEH (Atlas hydroclimatique du Québec méridional)	1b		
Maximum des précipitations cumulées sur cinq jours (mm) (BV)	Ouranos (Portrait climatique)	1b		

Nombre d'évènements de gel-dégel en hiver (BV)	Ouranos (Portrait climatique)	1b		
> Perturbations de la dynamique hydrosédimentaire				
TAUX DE CHANGEMENT ANNUEL MOYEN DE LA PROPORTION DE COURS D'EAU MOBILE		1 ou 3	MAX	
(1) Nombre de kilomètres de tronçon mobile et (2) proportion de tronçon mobile <i>ou</i>	<i>ou</i>	3		
Indicateurs D7 (fluctuation de la largeur) et D8 (mobilité du cours d'eau) de l'indice de dynamisme fluvial de l'outil de décision pour la gestion du bois mort en rivière [32]		3		
Nombre de ponts et traverses routières (calvets) : contrainte à l'écoulement (BV)	Acrigéo, MERN (BDGA et BDTQ), MTQ	1		
Nombre de ponts dont le statut routier est important	MTQ	1		
Indicateurs d'anthropisation (A1 à A12) de l'IQM [33] : perturbations hydro-sédimentaires, artificialités et interventions		3		
Indicateurs d'ajustement (C1 à C3) de l'IQM [33]		3		
Augmentation significative de la largeur du chenal		3		
Diminution significative de la sinuosité : phénomène de linéarisation des cours d'eau		3		
ALÉA > Aléas secondaires > Aléas secondaires d'origine anthropique				
> Contamination				
Nombre de sources de contamination industrielles et municipales à l'intérieur de la zone exposée	MELCC (système GTC et système DSRI), MAMH (PPAT), Gouvernement du Canada (Inventaire des sites contaminés fédéraux), MERN, ACRIgéo, SIGAT	1	Max	Plus il y a de sources de contamination, plus la contamination est possible

Nombre de sources de contamination industrielles et municipales (sans les sites contaminés) dont le niveau de dangerosité est élevé à l'intérieur de la zone exposée	MELCC (système GTC et système DSRI), MAMH (PPAT), Gouvernement du Canada (Inventaire des sites contaminés fédéraux), MERN, ACRIGéo, MAMH (SIGAT, REF)	1b		
Nombre de site contaminé non réhabilités, en réhabilitation et réhabilité dont la qualité des sols résiduels est ≤ B ou non mentionnée	MELCC (système GTC)	1		
> Rupture d'ouvrage hydraulique				
Nombre de barrages avec niveau de conséquences important à considérable en cas de rupture de barrage	DEH (Répertoire des barrages)	1	Max	Plus il y a de barrages de cette importance, plus il y a des probabilités qu'il y ait une rupture de barrage avec conséquences élevées.
Année de construction ou de modification ou de la dernière ou de la prochaine évaluation de la sécurité ou de correctifs mis en œuvre du barrage	DEH (Répertoire des barrages)	1		
(1) Longueur de digue, (2) superficie de la zone à risque résiduel en arrière de la digue, (3) nombre d'habitations protégés (détermine l'importance de la digue)		3		
ALÉA> Aléas secondaires				
> Aléas secondaires d'origine naturelle				
LONGUEUR DE COURS D'EAU POTENTIELLEMENT EXPOSÉE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN IDENTIFIÉS SUR LES CARTES DE CONTRAINTE	MAMH (SIGAT), MSP (SIGAT), MTQ (SIGAT)	1 ou 1b	MAX	
Longueur de cours d'eau encaissée dans des dépôts sensibles aux mouvements de masse	MFFP (SIEF), MELCC (UEA),	1b		
VULNÉRABILITÉ				
VULNÉRABILITÉ> Vulnérabilité des personnes				
> Vulnérabilité des personnes relative au dénombrement des logements et de la population				

Nombre d'habitants exposés (ou nombre approximatif d'habitants : NAH)	MAMH (REF), ISQ	1b	Max	Plus il y a d'habitants exposés ou plus la proportion moyenne d'habitant exposé des municipalités sinistrées est grande ou plus la concentration d'habitant à l'intérieur des ZIP des municipalités sinistrées est élevée, plus le risque encouru est susceptible d'être grand et plus le temps de rétablissement peut être long.
Proportion d'habitants exposés	MAMH (REF), ISQ	1b	Max	Plus il y a d'habitants exposés ou plus la proportion moyenne d'habitant exposé des municipalités sinistrées est grande ou plus la concentration d'habitant à l'intérieur des ZIP des municipalités sinistrées est élevée, plus le risque encouru est susceptible d'être grand et plus le temps de rétablissement peut être long.
Concentration d'habitants exposés	MAMH (REF), ISQ	1b	Max	Plus il y a d'habitants exposés ou plus la proportion moyenne d'habitant exposé des municipalités sinistrées est grande ou plus la concentration d'habitant à l'intérieur des ZIP des municipalités sinistrées est élevée, plus le risque encouru est susceptible d'être grand et plus le temps de rétablissement peut être long.
Projection du nombre d'habitants supplémentaires dans les municipalités sinistrées	ISQ	1b	Max	Plus le nombre est grand, plus la vulnérabilité est susceptible d'augmenter.
Densité de logement	MAMH (REF)	1		
(1) Nombre et (2) proportion de logements privés	StatCan	1b		
(1) Nombre et (2) proportion de logements privés occupés par des résidents habituels	StatCan	1b		
(1) Population et (2) proportion de la population	StatCan	1b		
<i>ou</i>	<i>ou</i>			
(1) Population ambiante et (2) proportion de la population ambiante	LandScan	2		

Densité de population au km ²	StatCan	1b		
> Vulnérabilité des personnes relative au statut des établissements recevant du publique				
Nombre d'établissements hébergeant du publique sensible	MSSS (Géoportail de santé publique ou Atlas de la Santé et des Services sociaux du Québec), MSP, SHQ (Géoportail de santé publique), MEES (DOGQ), MERN, ministère du Tourisme (DOGQ), ACRIgéo	1b	Max	Plus il y a d'établissements, plus le risque est susceptible d'être grand.
Nombre d'établissements recevant du publique	MAMH (REF)	1b		
(1) Capacité d'accueil des établissements hébergeant des personnes sensibles et (2) ratio de la population des établissements hébergeant des personnes sensibles sur le nombre approximatif d'habitants touchés (INFO-Crue)		3		
> Vulnérabilité des personnes relative au statut socio-économique des ménages				
<i>Choisir les indicateurs de l'une des 3 options suivantes :</i> Option 1 : Indice de sensibilité de l'Atlas de vulnérabilité [26]				
Nombre de résidents permanents des aires de diffusion avec un indices de sensibilité moyenne à très forte	Université Laval (Atlas web de la vulnérabilité de la population québécoise aux aléas climatiques : https://atlas-vulnerabilite.ulaval.ca/)	1b	Max	Plus le nombre et la proportion de résidents permanents des AD avec une sensibilité moyenne à très forte sont élevés (par rapport au nombre de résidents permanents sinistrés toutes sensibilités confondues), plus les municipalités sinistrées du bassin versant sont susceptibles de subir des impacts directs et des contrechocs important en situation d'inondation.

Proportion des résidents permanents des aires de diffusion avec un indices de sensibilité moyenne à très forte	Université Laval (Atlas web de la vulnérabilité de la population québécoise aux aléas climatiques : https://atlas-vulnerabilite.ulaval.ca/)	1b	Max	Plus le nombre et la proportion de résidents permanents des AD avec une sensibilité moyenne à très forte sont élevés (par rapport au nombre de résidents permanents sinistrés toutes sensibilités confondues), plus les municipalités sinistrées du bassin versant sont susceptibles de subir des impacts directs et des contrecoups important en situation d'inondation.
<i>ou</i>	<i>ou</i>			
Option 2 : Indices de défavorisation sociale et matérielle	MSSS/INSPQ (Indice de défavorisation national de 2011)	1b		
<i>ou</i>	<i>ou</i>			
Option 3 : indicateur socio-économique à la pièce des composantes 1, 2 et 4 de l'indice de sensibilité de l'Atlas de vulnérabilité [26]	StatCan	1b		
Proportion de personnes d'âges sensibles	StatCan	1b		
Proportion de personnes n'ayant aucun certificat, diplôme ou grade.	StatCan	1b		
Proportion de personnes immigrantes récentes	StatCan	1b		
Proportion de personnes ne connaissant pas une langue officielle	StatCan	1b		
Proportion de personnes vivant seules	StatCan	1b		
Proportion de familles monoparentales	StatCan	1b		
Proportion de logements loués	StatCan	1b		
Fréquence du faible revenu en 2005 fondé sur la mesure de faible revenu après impôt	StatCan	1b		
Proportion de locataires consacrant 30% ou plus du revenu du ménage	StatCan	1b		
Taux d'inactivité	StatCan	1b		
Valeur foncière moyenne des résidences unifamiliales	MAMH (REF)	1		

(1) Superficie du périmètre urbain exposée à 30 cm d'eau et plus (SPU_{≥30cm}), (2) Ratio SPU_{≥30cm}/SPU ou (3) longueur de route exposée à 30 cm d'eau et plus (LR_{≥30cm}), (4) Ratio LR_{≥30cm}/LR, (5) nombre approximatif d'habitants exposée à 30 cm d'eau et plus (NAH_{≥30cm}), (6) Ratio NAH_{≥30cm}/Population des municipalités sisnitrées : sensibilité des personnes en déplacement en fonction de la hauteur d'eau critique minimale

Acrigéo, MAMH (PPAT), Adresses Québec (Agréseau), INFO-Crue (NAH et aléa de récurrence 350 ans de l'ÉPRI)

1

> Vulnérabilité des personnes exposées à la contamination

Nombre d'habitants desservis par un puit privé, une prise d'eau potable ou une infrastructure de traitement d'eau potable municipale	MELCC/DEH (SIGAT) MAMH (PPAT), MELCC (DRASTIC)	1	Max	Plus il y a de personnes desservies par des puits ou des installations d'eau potable municipales exposés à de la contamination diffuse, plus la santé humaine est susceptible d'être impactée.
Proportion de la population desservis par un puit privé, une prise d'eau potable ou une infrastructure de traitement d'eau potable municipale	MELCC/DEH (SIGAT) MAMH (PPAT), MELCC (DRASTIC)	1	Max	Plus il y a de personnes desservies par des puits ou des installations d'eau potable municipales exposés à de la contamination diffuse, plus la santé humaine est susceptible d'être impactée.
Nombre moyen de personnes associées à une fosse sceptique		3		
Nombre moyen de personnes associées à un réservoir de mazoute		3		
(1) Population et (2) proportion de la population desservis par une prise d'eau potable ou une infrastructure de traitement d'eau potable municipale sensible à la contamination ou alimentés par un aquifère sensible à la contamination ou une zone de captage de l'eau potable potentiellement exposée à la contamination	MELCC/DEH (SIGAT) MELCC (SIGAT), MAMH (PPAT), MELCC (DRASTIC)	3 1		
Nombre moyen de personnes associées à un puit sensibles à la contamination ou un puit alimenté par un aquifère sensible à la contamination ou situés dans une zone de captage de l'eau potable potentiellement exposée à la contamination	MELCC (SIH) MELCC (DRASTIC), MELCC (SIGAT)	3 1		

> Vulnérabilité des personnes relative à la consommation et l'offre des services médicaux pour toutes les spécialités

VOLUME DE LA CONSOMMATION NORMALISÉE DE SERVICES MÉDICAUX EXPRIMÉE EN MÉDECINS ETP PAR 100 000 HABITANTS (NORMALISATION)	MSSS (CONSOM, 2011)	1	MAX	
--	---------------------	---	-----	--

Indice comparatif de consommation (consommation effective/consommation attendue)	MSSS (CONSOM, 2011)	1		
Indice d'autosuffisance (offre/consommation)	MSSS (CONSOM, 2011)	1		
Indicateurs de santé mentale : proportion de la population ayant un niveau élevé de détresse psychologique ou un stress quotidien élevé ou ne se percevant pas une bonne santé mentale	INSPQ/Info-Centre de santé publique (SUPREME)	2		
VULNÉRABILITÉ> Vulnérabilité physique				
> Vulnérabilité du territoire aménagé				
Nombre de périmètres d'urbanisation ou de zones habitées traversés par des cours d'eau	ACRIgéo, MAMH (PPAT)	1	Max	Plus il y a de polygones urbains, plus il y a potentiellement d'entités administratives distinctes avec une gestion du risque distincte et plus la gestion du risque est susceptible d'être hétérogène à l'intérieur d'un même BV. La coordination des intervention d'urgence amont/aval est essentiel pour réduire le risque d'inondation. OU plus le tissu urbain d'une entité municipale est fragmenté, moins la densité urbaine est grande et plus l'effort d'intervention est dissipé dans l'espace.
Superficie de périmètre d'urbanisation (<i>développé</i>) et d'îlot déstructuré	ACRIgéo, MAMH (PPAT)	1	Max	Plus la superficie et la proportion de PU développé sont grandes, plus le risque est grand.
Proportion de périmètre d'urbanisation (<i>développé</i>) et d'îlot déstructuré	ACRIgéo, MAMH (PPAT)	1	Max	Plus la superficie et la proportion de PU développé sont grandes, plus le risque est grand.
(1) Longueur et (2) pourcentage de berge urbanisée	ACRIgéo, MAMH (PPAT), MELCC (CRHQ)	1		
Densité de lot riverain	MAMH (REF), MELCC (CRHQ) ou ULaval/DEH	1		

(1) Superficie de zone de développement planifié (ZPA et ZPR) et (2) proportion du périmètre d'urbanisation destiné au développement planifié : vulnérabilité projetée

ACRigéo, MAMH

1

maximise : plus la superficie et la proportion de ZPA et de ZPR sont grandes, plus le risque est susceptible de s'accroître dans le futur.

(1) Superficie et (2) proportion des secteurs d'utilisation (CUBF niveau 1 ou usage prédominant) résidentiel et industriel\commercial

Acrigéo, MAMH (PPAT)

1

VULNÉRABILITÉ > Vulnérabilité physique > Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux) > Vulnérabilité des bâtiments

> Vulnérabilité des bâtiments résidentiels

Nombre de résidences	Adresses Québec (AQgéobâti)	1	Max	Plus il y a de résidences exposées ou plus la proportion de résidence exposée des municipalités sinistrées est grande ou plus la concentration de résidences à l'intérieur des ZIP des municipalités sinistrées est élevée, plus les conséquences peuvent être importantes.
Proportion de résidences	Adresses Québec (AQgéobâti)	1	Max	Plus il y a de résidences exposées ou plus la proportion de résidence exposée des municipalités sinistrées est grande ou plus la concentration de résidences à l'intérieur des ZIP des municipalités sinistrées est élevée, plus les conséquences peuvent être importantes.
Concentration de résidences	Adresses Québec (AQgéobâti)	1	Max	Plus il y a de résidences exposées ou plus la proportion de résidence exposée des municipalités sinistrées est grande ou plus la concentration de résidences à l'intérieur des ZIP des municipalités sinistrées est élevée, plus les conséquences peuvent être importantes.
Nombre de résidences principales	Adresses Québec (AQgéobâti)	1		
Densité de résidence	Adresses Québec (AQgéobâti)	1		
(1) Nombre et (2) proportion de maisons mobiles et de roulottes	MAMH (REF)	1		

(1) Nombre et (2) proportion de logements nécessitant des réparations majeures	StatCan	1		
> Vulnérabilité des infrastructures et des services de secours et d'urgence				
Nombre d'infrastructures et de services de secours et d'urgence	MSSS (DOGQ), MSP (DOGQ), ACRIgéo	1 et 2	Max	Plus le nombre est grand, plus les communautés sont susceptibles de dépendre de l'aide extérieur.
Nombre de bâtiments et infrastructures municipaux utiles à la gestion de crise	MAMH (REF)	3		
(1) Capacité d'accueil des hôpitaux ou (2) nombre de lits d'hôpital et (3) Ratio de la capacité d'accueil sur la population desservie	MSSS (DOGQ)	1		
Population desservis par les infrastructures et services de secours et d'urgence : importance du bâtiment	MSSS (DOGQ)	2		
> Vulnérabilité des bâtiments industriels et commerciaux				
Nombre de bâtiments industriels et commerciaux	MAMH (REF), Adresses Québec (Aqgéobâti)	1	Max	Plus le nombre et la proportion sont grands, plus le risque d'inondation pour les bâtiments de ces secteurs d'utilisation est grand.
Proportion de bâtiments industriels et commerciaux	MAMH (REF), Adresses Québec (Aqgéobâti)	1	Max	Plus le nombre et la proportion sont grands, plus le risque d'inondation pour les bâtiments de ces secteurs d'utilisation est grand.
> communs aux critères "Vulnérabilité des bâtiments résidentiels", "Vulnérabilité des bâtiments industriels et commerciaux" et "Vulnérabilité des infrastructures et des services de secours et d'urgence"				
(1) Nombre et (2) proportion de bâtiments de plain pied	MAMH (REF)	1		
Valeur uniformisée des bâtiments	MAMH (RFU et REF)	1b		
Valeur foncière uniformisée de l'emprise du premier étage (superficie x \$/m²)	MAMH (RFU et REF)	1b		
(1) Nombre et (2) proportion de bâtiment avec un sous-sol		3		
(1) Nombre et (2) proportion de bâtiment avec fondation ne surélevant pas le premier étage au-dessus du sol du terrain		3		

(1) Nombre et (2) proportion de bâtiments dont la nature des matériaux de construction est sensible à la submersion		3		
(1) Nombre et (2) proportion de bâtiments construits avant 1975	MAMH (REF)	1		
<i>ou</i>	<i>ou</i>			
(1) Nombre et (2) proportion de bâtiments construits avant l'application locale des lois de la PPRLPI ou avant l'inclusion des normes spécifiques aux inondations dans le règlement d'urbanisme local	MAMH (REF)	3		
> Vulnérabilité des sites et bâtiments patrimoniaux				
Nombre de sites et bâtiments patrimoniaux (historique et/ou culturel)	MCC, ACRIgéo	1	Max	Plus le nombre est grand, plus les pertes irréremédiables sont susceptibles d'être importante.
Nombre de sites archéologiques/paléontologiques	MCC, ACRIgéo	1		
Nombre de biens patrimoniaux classés par le/la ministre de la culture et des communications et de sites patrimoniaux déclarés par le gouvernement du Québec	MCC, ACRIgéo	1		
Valeur non uniformisée des objets patrimoniaux pouvant subir des impacts liés à l'inondation	MAMH (REF)	2		
VULNÉRABILITÉ > Vulnérabilité physique > Vulnérabilité des infrastructures et des services (bâtiments et réseaux) > Vulnérabilité des réseaux				
> Vulnérabilité des réseaux de transport				
Longueur de route	Adresses Québec (AQréseau)	1	Max	Plus la longueur et la proportion sont grandes, plus le risque potentiel pour le réseau routier est grand.
Proportion de route	Adresses Québec (AQréseau)	1	Max	Plus la longueur et la proportion sont grandes, plus le risque potentiel pour le réseau routier est grand.
Nombre de ponts par kilomètre linéaire de cours d'eau	MTQ (DOGQ) + DEH (CRHQ)	1	Max	Plus la densité est grande, plus le risque potentiel pour le réseau routier est grand.
Densité routière (longueur de routes ou nombre d'intersections routières)	Adresses Québec (AQréseau) ou Gouvernement du Canada (RRN)	1		

Longueur d'infrastructure linéaire des réseaux de transport supérieurs	MTQ (DOGQ)	1
Nombre d'intersections route/cours d'eau sur le réseau routier supérieur	MTQ (DOGQ) + DEH (CRHQ)	1
Nombre de ponts (ou d'intersections route/cours d'eau) sur le réseau routier supérieur dont le débit de circulation est important	MTQ (DOGQ)	1
Longueur d'infrastructure linéaire des réseaux de transport locaux	MTQ (DOGQ)	1
Nombre d'intersections route/cours d'eau sur le réseau routier local	MTQ (DOGQ) + DEH (CRHQ)	1
Nombre de ponts (ou d'intersections route et cours d'eau) sur le réseau routier local dont le débit de circulation est important	MTQ (DOGQ)	1
Longueur d'infrastructure linéaire donnant accès aux ressources	MTQ (DOGQ)	1
Nombre d'intersections route/cours d'eau sur le réseau routier d'accès aux ressources	MTQ (DOGQ) + DEH (CRHQ)	1
Nombre de ponts (ou d'intersections route et cours d'eau) sur le réseau d'accès aux ressources dont le débit de circulation est important	MTQ (DOGQ)	1
Longueur d'infrastructure linéaire des réseaux ferroviaire	MERN, ACRIgéo	2
Nombre journalier de passages de train de marchandise		3
Nombre journalier de passages de train de passager (avec la capacité de transport de voyageurs)		3
Nombre de réseaux important de transport en commun exposés	MTQ, ACRIgéo	2
(1) Nombre de transporteurs interurbains par autocar empruntant les voies routières exposées ou (2) nombre de passages journaliers d'autocar	MTQ, ACRIgéo	2

> Vulnérabilité du réseau de distribution d'eau potable et d'assainissement

Importance des infrastructures du réseau de distribution d'eau potable relative à la population desservies	MELCC (SIGAT)	1	Max	Plus la population desservie est grande, plus le risque est grand.
Importance des infrastructures du réseau de distribution d'eau potable relative à la proportion de la population desservies	MELCC (SIGAT)	1	Max	Plus la population desservie est grande, plus le risque est grand.
Importance des infrastructures du réseau de récupération des eaux usées relative à la population desservies	MELCC	1	Max	Plus la population de conception est grande, plus le risque est grand.
Importance des infrastructures du réseau de récupération des eaux usées relative à la proportion de la population desservies	MELCC	1	Max	Plus la population de conception est grande, plus le risque est grand.
Nombre d'infrastructures et de services collectifs ponctuels du réseau de distribution d'eau potable	MELCC (SIGAT)	1		
Nombre d'infrastructures et de services collectifs ponctuels du réseau de récupération des eaux usées	MERN (BDAT), MAMH (PPAT), MELCC	2?		
> Vulnérabilité des réseaux de gestion des matières résiduelles				
NOMBRE D'INFRASTRUCTURES ET DE SERVICES COLLECTIFS PONCTUELS DU RÉSEAU DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES	MERN (BDAT), MAMH (PPAT),	2	MAX	
(1) Nombre de bâtiments ou population et (2) proportion de bâtiment ou de la population desservis par les infrastructures exposées du réseau de gestion des matières résiduelles : importance des infrastructures		3		
> Vulnérabilité du réseau de distribution d'énergie				
Nombre d'infrastructures et de services collectifs ponctuels du réseau de distribution d'énergie	MERN (BDAT)	2		Plus le nombre est grand, plus le risque potentiel pour le réseau de distribution d'énergie est grand.
Longueur d'infrastructure linéaire du réseau de distribution d'énergie	MERN	2		

(1) Nombre de bâtiments ou population et (2) proportion de bâtiment ou de la population desservis par les infrastructures exposées du réseau de distribution d'énergie : importance de l'infrastructure		3	
Nombre de postes de transformation électrique d'importance régionale		2	
> Vulnérabilité des réseaux de télécommunication			
LONGUEUR D'INFRASTRUCTURE LINÉAIRE DES RÉSEAUX DE TÉLÉCOMMUNICATION	MERN	2	MAX
Nombre de tours de télécommunication	Producteur inconnu (visualisable sur le Géo-Portail du MSP)	2?	
Couverture des tours de télécommunication (km²)		3	
(1) Nombre et (2) proportion de bâtiments ou de personnes desservis par les tours de télécommunication : importance de l'infrastructure		2	
VULNÉRABILITÉ			
> Vulnérabilité économique			
Nombre d'employés dans les industries d'extraction, les pêcheries, la foresterie ou l'agriculture	StatCan	1	Plus le nombre et la proportion sont grands, plus les conséquences potentielles pour le secteur économique sont élevées.
Proportion de la population employé dans les industries d'extraction, les pêcheries, la foresterie ou l'agriculture	StatCan	1	Plus le nombre et la proportion sont grands, plus les conséquences potentielles pour le secteur économique sont élevées.
Nombre d'entreprises hébergées dans les bâtiments commerciaux et industriels	MAMH (REF), Registraire des entreprises	4a	
Nombre d'emplois	Registraire des entreprises	4a	
(1) Diversité et (2) proportion équitable des sous-secteurs d'utilisation (CUBF de niveau 2) commerciale et industrielle par municipalité	MAMH (REF)	1	

Nombre d'enjeux ou d'entités territoriales pratiquant des activités économiques/récréotouristiques tirant profit des milieux naturels riverains sensibles à la contamination	MELCC (SIGAT)	1		
Profits/revenus issu de l'exploitation des milieux naturels riverains ou générés par les entreprises		3		
Nombre d'entreprise à l'échelle du BV : potentialité d'impact économique	Registraire des entreprises	4a		
Nombre d'entreprises déterminantes à l'échelle du BV	MEI	2		
> Vulnérabilité environnementale				
Superficie de milieux humides riverains et d'aires naturelles reconnues ou protégées	MELCC (atlas des milieux naturels d'intérêt pour la conservation) MELCC (BDTQ/CANVEC/SIEF), Canard Illimité, MELCC (SIGAT)	1		Plus la superficie et la proportion sont grandes, plus l'exposition à la contamination est susceptible d'être grande.
Proportion de milieux humides riverains et d'aires naturelles reconnues ou protégées	MELCC (atlas des milieux naturels d'intérêt pour la conservation) MELCC (BDTQ/CANVEC/SIEF), Canard Illimité, MELCC (SIGAT)	1		Plus la superficie et la proportion sont grandes, plus l'exposition à la contamination est susceptible d'être grande.
Proximité amont et aval des milieux humides et des aires naturelles reconnues ou protégée avec les sources de pollution potentielles	INFO-Crue (sources de contamination) INFO-Crue (milieux humides riverains et d'aires naturelles reconnues ou protégées)	1		
CONSÉQUENCES HISTORIQUES				
CONSÉQUENCES HISTORIQUES				
> Conséquences sur les personnes				
Nombre d'appels aux services d'Info-Santé pour lésions traumatiques [code 5827] et problèmes gastro-intestinaux [code 5810] pour les mois d'avril et mai	INSPQ/Info-Centre de santé publique (SUPREME)	2	Max	Plus il y a d'appels, plus les conséquences sur les personnes sont élevées.

Taux d'utilisation des services d'Info-Santé pour lésions traumatiques [code 5827] et problèmes gastro-intestinaux [code 5810] pour les mois d'avril et mai	INSPQ/Info-Centre de santé publique (SUPREME)	2	Max	Plus il y a d'appels, plus les conséquences sur les personnes sont élevées.
(1) Nombre de personnes (ou adresses) évacuées, (2) nombre de cas de blessures diverses [d'origine traumatique] dues à l'inondation, (3) nombre de décès dus à l'inondation, (4) excès d'admissions à l'urgence pour lésions traumatiques (bilan sanitaire - mois d'avril et mai), (5) retour de période <10 ans et (6) nombre d'occurrences dont le temps écoulé avant le retour des résidents dans leur logement est >1 mois (relatif aux impacts psychologiques potentiels), (7) nombre de délais d'avertissement <30 min ou (8) nombre d'occurrences du type d'inondation torrentiel (relatif à la létalité potentiel), (9) nombre d'occurrences avec un temps de submersion >3 jours (relatif au niveau de salubrité potentiel)	MRC (Registre des adresses évacuées) ou DRSCSI-MSP via Urgence Santé Québec, DSP, banques administratives	2 et 3		
(1) Nombre de déclarations de MADO [infectieuses - période printanière si possible], (2) nombre de cas suspectés de maladies gastro-intestinales dues à l'inondation, (3) excès de maladies gastro-intestinales (bilan sanitaire)	DSP, banques administratives, MSSS (système de déclaration MADO)	2 et 3		
(1) Nombre de transports ambulanciers, (2) nombre de décès toutes causes, (3) nombre d'admissions aux urgences, (4) excès de transports ambulanciers (bilan sanitaire), (5) excès de décès (bilan sanitaire)	INSPQ (SUPREME)	2 et 3		
CONSÉQUENCES HISTORIQUES > Conséquences physiques				
> Conséquences sur les bâtiments				
Nombre d'inondations en eau libre historiques de sévérité modérée à extrême	MSP/OSCQ	1	Max	Plus le nombre est grand, plus les conséquences au bâti sont grandes.

Cumul du nombre de fois qu'un bâtiment est touché	MSP/DRE (TRAFIQ et SAFIR)	2	Max	Plus le nombre est grand, plus les conséquences sont élevées.
Nombre d'évènements d'inondation répertoriés par le MSP ou nombre de réclamations enregistrées par la DRE depuis la dernière mise à jour de la cartographie	DEH, MSP/OSCQ, MSP/DRE	1		
Nombre de bâtiments sinistrés	MSP/OSCQ, Urgence Santé Québec	3		
Nombre de propriétés avec plus d'une réclamation ou plus d'un préjudice	MSP/DRE (TRAFIQ et SAFIR) BAC	3		
> Conséquences sur les réseaux				
Nombre d'artères routières entravées dont le DJMA est ≥ 25 000	MTQ (DOGQ)	2	Max	Plus le nombre de voies entravées est grand, plus les conséquences sur le réseau routier sont élevées.
Nombre de barrages routiers	MSP	1		
CONSÉQUENCES HISTORIQUES > Conséquences économiques > Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités sinistrés				
> Réclamations faites par les particuliers, les entreprises, les propriétaires de bâtiments locatifs et les municipalités				
Somme des montants réclamés	MSP/DRE (TRAFIQ et SAFIR)	2	Max	Plus la somme est grande, plus les conséquences sont élevées.
Somme des indemnités versée par les assurances privés	BAC	3		
> Réclamations faites par les entreprises agricoles (culture et élevage)				
SOMME DES INDEMNITÉS POUR LA PERTE DE RENDEMENT ET DE QUALITÉ ET POUR LES TRAVAUX D'URGENCE ET LES RETARDS DE SEMIS ET DE PLANTATION	FINANCIÈRE AGRICOLE	2	MAX	
CONSÉQUENCES HISTORIQUES > Conséquences économiques				
> Réclamations et autres frais déclarés ou assumés par les entités externes au sinistre				
Somme des indemnités versée par la direction du rétablissement aux organismes et aux municipalités externes ayant porté aide et assistance	MSP/DRE	2	Max	Plus la somme est grande, plus les conséquences sont élevées.
Frais de main-d'œuvre et de matériel déclarés ou assumés par les ressources externes mobilisées		3		

CONSÉQUENCES HISTORIQUES

> Conséquences environnementales

SUPERFICIE CONTAMINÉE		3	MAX	
Nombre d'évènements de contamination (selon le type de pollution)		3		
Nature des impacts environnementaux		3		

RÉSILIENCE

RÉSILIENCE > Mesures d'atténuation existantes

> Mesures non structurales

Taux de compatibilité des affectations (ou usage prédominant)	MAMH (PPAT), ACRIGéo	1	Min	Plus le taux est faible, moins le bassin versant est résilient.
PROPORTION DU BASSIN VERSANT COUVERT PAR DES MUNICIPALITÉS ET/OU MRC AVEC UN PLAN DE MESURE D'URGENCE	MSP	3	MIN	Plus la proportion de municipalité avec un plan de mesure d'urgence est grande, plus le niveau de préparation au risque d'inondation est élevé.
Date de la dernière mise à jour du SAD ou du dernier RCI en lien avec les ZI mis en vigueur	MAMH (SAD et RCI)	3		
Conformité des SAD à la PPRLPI (au moins version 2005)	MAMH	3		
Conformité de la réglementation d'urbanisme avec le SAD	Municipalité	3		
Conformité des règlements d'urbanisme avec la PPRLPI (au moins version 2005)	Municipalité	3		
Existence de règlements d'urbanisme ou de normes de construction relatifs aux zones inondables qui vont au-delà des exigences du gouvernement provincial		3		
Proportion du linéaire de cours d'eau traversant les zones habitées couverte par une cartographie intégrée au SAD	MAMH (DOGQ), DEH (CRHQ)	1		
(1) Superficie et (2) proportion de ZIP ou (3) longueur et (4) proportion de cours d'eau couverte par une cartographie intégrée au SAD	MAMH (DOGQ), DEH (CRHQ)	1		

Ratio de la superficie de la couverture cartographique des zones inondables intégrée dans le SAD ou dans un RCI en vigueur dans la MRC sur la superficie de la couverture cartographique des zones inondables reconnue par la DEH	DEH (BDZI), MAMH (DOGQ)	1		
Ratio de cartes de zones inondables intégrées au SAD dont les dates d'entrée en vigueur sont supérieures à la date de la dernière observation d'inondation de sévérité élevée	DEH, MAMH, MSP (OSCQ)	3		
(1) Superficie et (2) proportion de la ZIP ou (3) longueur et (4) proportion de rive de cours d'eau en contact avec une zone légiférant l'implantation humaine (non relatif à la PPRLPI) permettant de préserver directement ou indirectement les fonctions naturelles fluviales	MELCC (Registre des aires protégées), MAMH (PPAT)	1		
Présence de plan de gestion des risques d'inondation		3		
Existence de travaux préventifs : affaiblissement du couvert de glace, dragage...	Plan de mesures d'urgence	3		
Présence de projets de recherche		3		
Nombre de collectivités membre du réseau ResAlliance et population totale des collectivités membre du réseau ResAlliance : initiative locale	ROBVQ	1		
> Mesures structurelles				
NOMBRE DE BARRAGES AVEC UTILISATION "CONTRÔLE DES INONDATIONS" ET/OU "BASSIN DE RÉTENTION"	DEH (Registre des barrages), Gouvernement du Canada (CanVec - "Manmade features" : digue)	1	MAX : pour le moment, mais n'est pas pris en compte. Il faudra trancher éventuellement.	Si minimise : plus il y en a, plus la communauté s'est adaptée et est devenue résiliente. Si maximise : plus il y en a, plus le risque d'inondation résiduelle est grand et plus la culture du risque peut s'altérer avec le temps (faux sentiment de sécurité qui peut encouragé la construction en zone inondable résiduelle).

Existence de projets structurels prévus ou en cours de réalisation visant la diminution des risques d'inondation		3		
Nombre de versements de fonds pour le déplacement d'un bâtiment ou l'acquisition d'un terrain cédé (allocation de départ) par un particulier, un propriétaire d'un bâtiment locatif ou une entreprise (aide financière DRE)	MSP/DRE (TRAFIQ et SAPHIR)	2		
Nombre de versements de fonds pour l'immunisation de propriétés d'un particulier un propriétaire d'un bâtiment locatif ou une entreprise (aide financière DRE)	MSP/DRE (TRAFIQ et SAPHIR)	2		
RÉSILIENCE				
> Capacité à réduire le risque				
Superficie de la ZIP avec une capacité à faire face moyenne à très forte	Université Laval (Indice de capacité à faire face issu des travaux [26] - Atlas web de la vulnérabilité de la population québécoise aux aléas climatiques : https://atlas-vulnerabilite.ulaval.ca/)	1b	Min	Plus la superficie et la proportion de ZIP avec une forte capacité à faire face sont grandes, meilleure est la résilience de la communauté du BV.
RÉSILIENCE				
> non classés				
Nombre de polices d'assurance avec une prime assurant les inondations	BAC	3		
Proportion des zones inondables ou du bassin versant ou des zones habitées couverte par les services de secours conventionnels non exposés	MSP	1		
(1) Nombre et (2) pourcentage de bâtiments avec un étage refuge situés dans la zone inondable	MAMH (REF)	1		
Degré de partage de données/collaboration		3		

Capacité d'accueil des services de santé autorisés au permis ou nombre de lits des installations publiques et privées	MSSS (DOGQ)	1
Capacité d'hébergement temporaire des salles communautaires et autres infrastructures de secours	MSP	3
Répartition de la clientèle des centres hospitaliers de soins généraux et spécialisés : origine de la clientèle	MSSS (Atlas de la Santé et des Services sociaux du Québec)	3
Répartition de la clientèle hospitalière des réseaux locaux de services : destination de la clientèle	MSSS (Atlas de la Santé et des Services sociaux du Québec)	3
Indicateurs d'accessibilité aux services médicaux : (1) distance parcourue par les patients hospitalisés dans un CHSGS (2) distance parcourue par les patients ayant fréquenté l'urgence (3) distance parcourue par les patients ayant fréquenté une clinique privée	MSSS (CONSOM/Atlas de la Santé et des Services sociaux du Québec)	3
Richesse foncière uniformisée des municipalités dont le territoire contient une ZIP	MAMH	1



550 SHERBROOKE OUEST, TOUR OUEST, 19^e ÉTAGE, MONTRÉAL, QC, CANADA, H3A 1B9 | TÉLÉPHONE 514 282.6464 | TÉLÉCOPIEUR 514 282.7131 | WWW.OURANOS.CA