



Utilisation de SIG et de données géospatiales dans l'évaluation des cours d'eau selon l'approche fondée sur les conditions de référence

Document d'orientation pour les participants du Réseau canadien de biosurveillance aquatique



N° de cat. : En84-337/2023F-PDF
ISBN : 978-0-660-48782-3
EC23118

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement et Changement climatique Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
12^e étage, édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Cœur
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 819-938-3860
Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Environnement et du Changement climatique, 2023

Also available in English

**Utilisation de SIG et de données géospatiales dans
l'évaluation des cours d'eau selon l'approche fondée sur les
conditions de référence : document d'orientation pour les
participants du Réseau canadien de biosurveillance aquatique**

Par Adam G. Yates¹, Edward M. Krynak¹ et Wendy A. Monk²

¹ Université de Waterloo, Département de biologie, Waterloo (Ontario)

² Environnement et Changement climatique Canada, Fredericton (Nouveau-Brunswick)

Table des matières

1	Objectif du document	1
2	Contexte.....	2
2.1	Qu'est-ce qu'un SIG?.....	2
2.2	Logiciels de SIG.....	3
2.3	Avantages d'une approche géospatiale pour l'évaluation des cours d'eau	4
3	Considérations générales pour l'utilisation de données géospatiales dans les évaluations de cours d'eau.....	6
3.1	Localisation et sélection des données	6
3.1.1	Sources de données	6
3.1.2	Échelle, résolution et couverture des données	9
3.1.3	Lacunes dans les données et couvertures incomplètes	11
3.1.4	Résolution des données.....	11
3.1.5	Cadre temporel des données.....	12
3.2	Gestion des données.....	12
3.2.1	AQ/CQ des données.....	13
3.2.2	Métadonnées.....	15
4	Utilisation des SIG pour l'évaluation de l'état des cours d'eau	15
4.1	Utilisation n° 1 – Description et sélection du site	15
4.1.1	Détermination des sites de référence	16
4.1.2	Localisation et description des sites	17
4.1.3	Applications des descriptions du paysage d'un site	17
4.1.4	Description de la variation naturelle	20
4.1.5	Description des activités humaines à l'aide de SIG.....	20
4.2	Utilisation n° 2 – Conception du modèle fondé sur l'ACR	23
4.2.1	Détermination des attributs du paysage qui différencient les groupes communautaires	24

4.2.2	Considérations relatives au cadre temporel pour l'utilisation des SIG dans les modèles utilisant l'approche des conditions de référence (ACR).....	25
4.2.3	Utilisation de données standardisées pour la conception du modèle	25
4.3	Utilisation n° 3 – Interprétation de l'évaluation	26
5	En résumé	30
6	Références	31
7	Glossaire.....	i
8	Guide de référence rapide	iii
8.1	Trouver des données géospatiales	iii
8.2	Sélectionner des données géospatiales	iii
8.3	AQ/CQ des données.....	iii
8.4	Métadonnées	iv
8.5	Sélection et description du site d'évaluation.....	iv
8.6	Conception d'un modèle fondé sur l'ACR.....	iv
8.7	Interprétation de l'évaluation.....	v
9	Ressources complémentaires	vi
9.1	Ressources liées aux SIG	vi
9.1.1	Introduction aux SIG et aux logiciels de SIG – Livres	vi
9.1.2	Introduction aux SIG et aux logiciels de SIG – Ressources en ligne	vi
9.1.3	Logiciels et outils de SIG.....	vii
9.2	AQ/CQ	vii
9.3	Métadonnées	viii
9.4	Pondération inverse à la distance (PID)	viii

1 Objectif du document

Le présent document d'orientation vise à donner aux participants du Réseau canadien de biosurveillance aquatique (RCBA) un aperçu général des systèmes d'information géographique (SIG) et des données géospatiales, ainsi que de la façon dont ils peuvent contribuer aux évaluations des cours d'eau du RCBA. Le document présente plus précisément de l'information sur deux objectifs. Tout d'abord, les auteurs décrivent une série de considérations générales sur le choix des données pertinentes et la manière de s'assurer qu'elles sont utiles en générant des métadonnées appropriées et en appliquant des protocoles d'assurance de la qualité et de contrôle de la qualité (AQ/CQ) pour le RCBA. Ensuite, les auteurs fournissent des orientations détaillées sur la façon dont les participants du RCBA peuvent se servir des données géospatiales pour atteindre trois objectifs clés de l'évaluation d'un cours d'eau : 1) choisir les sites d'étude et les sites de référence; 2) élaborer des modèles d'évaluation des conditions de référence et 3) interpréter les résultats de l'évaluation.

Bien que le document présente des orientations générales pour les participants du RCBA, il ne s'agit pas d'un guide pratique ou d'un guide étape par étape de l'utilisation des SIG. Il vise plutôt à fournir aux participants des connaissances sur la façon dont les SIG peuvent faciliter la réalisation des évaluations exhaustives, solides et éclairées. Le présent document décrit toutefois le processus de base que l'utilisateur doit suivre pour chaque application et détaille les principaux facteurs à prendre en considération pour utiliser les SIG afin d'évaluer les cours d'eau dans le cadre du RCBA. Pour obtenir des instructions plus détaillées sur la façon d'utiliser les SIG et les différents logiciels disponibles, nous encourageons l'utilisateur à consulter les ressources énumérées plus loin dans le document (voir Ressources liées aux SIG dans la section Ressources complémentaires).

2 Contexte

2.1 Qu'est-ce qu'un SIG?

Un SIG est un système informatique qui permet de saisir, d'assembler, de manipuler, d'analyser, de stocker et d'afficher des données géographiquement référencées, aussi appelées données géospatiales (Tsihrintzis et coll., 1996; Chrisman, 1999). Les SIG permettent de quantifier les paysages et le climat de façon longitudinale, latérale, verticale et temporelle, et ainsi de situer les cours d'eau dans le contexte du paysage. Les chercheurs et les décideurs peuvent alors visualiser la hiérarchie des cours d'eau et des habitats, les caractéristiques et les profils des paysages, ainsi que les zones d'influence pour lesquelles des décisions stratégiques sont élaborées (Johnson et Gage, 1997). En effet, les avantages de l'utilisation des SIG pour la planification et la mise en œuvre d'études des écosystèmes aquatiques et de la biosurveillance sont reconnus depuis la fin des années 1980 (p. ex. Osborne et Wiley, 1988; Tsihrintzis et coll., 1996 et les références qui s'y trouvent).

Au-delà de sa capacité à aider à visualiser l'emplacement d'un site d'échantillonnage dans le paysage, les SIG peuvent également améliorer l'efficacité de la détermination des gradients naturels environnementaux et anthropiques ainsi que la classification des sites de référence, qui sont des étapes essentielles de l'approche fondée sur les conditions de référence (ACR) qu'utilise le RCBA dans l'évaluation et la surveillance des écosystèmes aquatiques (Yates et Bailey, 2010a; Armanini et coll., 2013). La détermination à distance des gradients naturels et de l'activité humaine est devenue plus facile et plus efficace grâce aux SIG et à la disponibilité croissante de données de qualité sur le paysage (Yates et Bailey, 2010a). Les gradients environnementaux naturels comme le climat, la géologie et la topographie permettent de classer efficacement les cours d'eau et de déterminer les sites d'échantillonnage potentiels avec un engagement minimal en temps et en coûts comparativement au vaste échantillonnage chronophage qui serait autrement nécessaire pendant l'évaluation préalable (Yates et Bailey, 2010a). De plus, les SIG peuvent réduire la subjectivité qui accompagne souvent la sélection des sites de référence. En appliquant des données sur l'utilisation des terres (p. ex. cultures en rangs, urbanisation), les SIG facilitent la détermination des sites de référence et peuvent les placer dans un environnement naturel représentatif à l'échelle régionale avant même que les équipes de terrain quittent le bureau (Yates et Bailey, 2010a).

Les données géospatiales offrent l'avantage de réduire le niveau de variabilité entre les utilisateurs, qui peut avoir une incidence sur les programmes d'évaluation qui dépendent fortement des

descripteurs à l'échelle du site, comme l'habitat et la chimie de l'eau (Armanini et coll., 2013). Les protocoles de collecte des données sur le terrain ont tendance à évoluer au fil du temps, et leur interprétation peut varier d'un organisme à l'autre, voire d'une équipe à l'autre dans la même organisation, ce qui complique le partage des données entre les programmes. Cependant, la collecte de données de SIG peut être standardisée et repose sur des couches de SIG ou sur des données sources fortement réglementées. L'utilisation des SIG pour déterminer les caractéristiques du site et du paysage favorise la création d'ensembles de données fiables qui peuvent être partagés entre les organismes et les intervenants, ce qui facilite la gestion des réseaux de cours d'eau. De plus, la caractérisation des variables du paysage aide à déterminer et à prioriser les études et les évaluations futures, ce qui réduit les coûts (Ritters et Wickham, 1995).

2.2 Logiciels de SIG

Les options en matière de logiciels sont nombreuses, allant de logiciels commerciaux ou privés exigeant l'achat d'une licence à des logiciels gratuits et ouverts dont le code source original peut être distribué et modifié. Le présent document ne vise pas à recommander ou à examiner toutes les options possibles, mais seulement à fournir un aperçu et des ressources pour obtenir de plus amples renseignements. Le logiciel choisi dépendra probablement de l'historique de l'organisme, de la disponibilité du logiciel, des fonds et de la capacité de l'utilisateur. S'il est possible de choisir le logiciel, l'utilisateur doit tenir compte des besoins actuels et futurs avant de prendre une décision. La disponibilité des logiciels peut différer d'un système d'exploitation à l'autre, et certains logiciels peuvent ne pas répondre aux exigences pour effectuer toutes les tâches liées aux SIG, comme la création de cartes, l'analyse des données, la transformation des données et la fusion des données (c.-à-d. l'intégration de deux ensembles de données ou plus dans un nouvel ensemble de données) [Samal et coll., 2004; Steiniger et Hunter, 2013].

L'entreprise Esri (*Environmental Systems Research Institute*) a été fondée en 1969 peu après la conception des SIG au début des années 1960, et ses logiciels ArcMap et ArcGIS comptent parmi les SIG commerciaux les plus connus et les plus utilisés (www.esri.com). Cependant, la disponibilité et la puissance des logiciels gratuits et ouverts augmentent sans cesse (Coetzee et coll., 2020). QGIS (www.qgis.org) et GRASS GIS (www.grass.osgeo.org) sont deux exemples de logiciels ouverts bien connus ayant des capacités semblables à celles des logiciels privés (Steiniger et Hunter, 2013; Coetzee et coll., 2020). De plus, les langages de la science des données de source ouverte comme R, « un environnement logiciel gratuit pour l'informatique et les graphiques statistiques » (R Core Team, 2020),

sont de plus en plus courants pour le traitement et l'analyse des données géospatiales (Coetzee et coll., 2020). Plusieurs progiciels en R et tutoriels ont été élaborés explicitement pour l'analyse avec R au moyen de SIG (voir Ressources liées aux SIG dans la section Ressources complémentaires). En effet, le progiciel écrit en R « openSTARS », la version de source ouverte de l'ensemble d'outils *Spatial Tools for the Analysis of River Systems* (STARS) d'ArcGIS, permet aux utilisateurs de préparer des données de SIG pour les utiliser dans un programme de surveillance de cours d'eau uniquement à l'aide d'un logiciel gratuit et ouvert (Katkel et coll., 2020). Pour un examen plus complet des logiciels de SIG gratuits et ouverts et de leurs capacités, les participants devraient consulter le site Web de la *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) [www.osgeo.org] et les ouvrages de Steiniger et Hunter (2013) et Coetzee et coll. (2020).

2.3 Avantages d'une approche géospatiale pour l'évaluation des cours d'eau

Un cours d'eau est intimement lié au bassin versant dans lequel il se trouve et il en reflète le paysage par ses caractéristiques physiques et son biote (Hynes, 1975; Richards et Host, 1994). Les effets potentiels de la pluie sur un réseau hydrographique dépendent de l'endroit où les gouttes de pluie tombent en premier. Dans une zone agricole, la goutte de pluie peut transporter des éléments nutritifs, des pesticides et des sédiments supplémentaires dans les cours d'eau. Les surfaces imperméables accélèrent le passage de l'eau et des déchets routiers vers le cours d'eau, ce qui accroît la conductivité et l'instabilité de l'hydrogramme (Walsh et coll., 2005). En revanche, une goutte de pluie tombant dans un paysage naturellement végétalisé est plus susceptible de pénétrer dans le sol, avançant plus lentement vers le cours d'eau et recueillant du carbone organique dissous (COD), des éléments nutritifs, des sédiments et d'autres constituants chimiques en chemin (Allan, 2004; Burt et Pinay, 2005; Vidon et coll., 2010). La distance du trajet parcouru par la pluie dans le paysage peut être de quelques centimètres ou de dizaines de kilomètres avant d'atteindre le cours d'eau. Par le passé, l'évaluation des cours d'eau utilisait uniquement des descripteurs à l'échelle du site, comme le substrat, la qualité de l'eau et la communauté biotique, avec des liens limités avec le paysage plus vaste (Thoms et coll., 2018). Cependant, nous pouvons voir que nous devons également tenir compte du bassin plus vaste lorsque nous entreprenons l'évaluation des cours d'eau.

La nature hiérarchique des réseaux hydrographiques nous permet de conceptualiser la connexion d'un point unique dans un cours d'eau au paysage plus vaste (figure 1; Frissell et coll., 1986). Un réseau hydrographique est composé d'une série de niveaux d'organisation imbriqués à différentes échelles temporelles et spatiales, chaque niveau étant intimement relié aux niveaux supérieur et

inférieur. À l'échelle du bassin versant, la géologie, la topographie et le climat sont les facteurs de chaque échelle séquentiellement plus petite en raison des influences sur l'hydrologie, la couverture végétale, la morphologie du chenal et les régimes thermiques. Les influences deviennent progressivement plus localisées à des échelles temporelles et spatiales plus petites. Par exemple, à l'échelle du segment du cours d'eau, la géologie de surface et la couverture terrestre sont représentées dans des variables comme la morphologie du chenal, l'apport d'eau souterraine et la chimie de l'eau (p. ex. conductivité, alcalinité) (figure 1). De même, les apports de sédiments et d'éléments nutritifs, ainsi que les matériaux dominants du substrat, reflètent la géologie de surface et la couverture terrestre à l'échelle du tronçon de cours d'eau (figure 1). Ainsi, en établissant le modèle de référence pour les habitats, les variables du paysage à l'échelle du bassin versant déterminent indirectement le biote qui réside dans le cours d'eau, car seul le biote adapté à la combinaison des habitats et de la chimie de l'eau dans un cours d'eau peut l'occuper. La connaissance des conditions du paysage à partir desquelles un cours d'eau se forme peut donc fournir un aperçu important de la communauté biologique résidente. C'est pourquoi les études de l'état des cours d'eau intègrent de plus en plus la collecte et l'application de l'information sur le paysage dans les procédures d'évaluation. Les SIG sont des outils de plus en plus efficaces qui nous permettent de visualiser et d'analyser les caractéristiques d'un cours d'eau dans son bassin versant et ainsi d'améliorer l'évaluation et la biosurveillance des écosystèmes aquatiques.

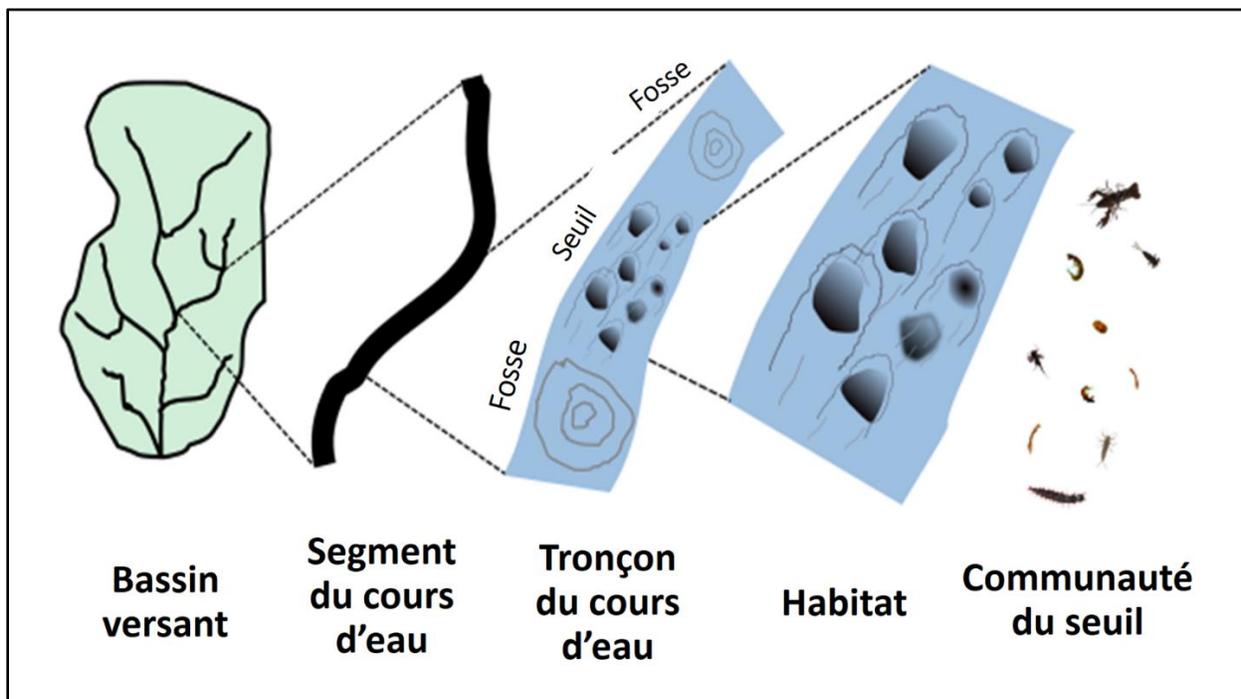


Figure 1. La structure hiérarchique d'un réseau hydrographique.

3 Considérations générales pour l'utilisation de données géospatiales dans les évaluations de cours d'eau

Avant d'inclure des données géospatiales dans l'évaluation d'un cours d'eau, les participants doivent tenir compte de divers facteurs, comme la localisation et la sélection des données géospatiales appropriées, la résolution des problèmes concernant les données, la validation et la vérification des données générées et l'annotation adéquate des données générées au moyen des SIG. Il faut également veiller à éviter de mal appliquer les données géospatiales. Les sous-sections suivantes abordent bon nombre de ces considérations. Les décisions entourant ces considérations doivent répondre à l'objectif et aux conditions de l'évaluation de cours d'eau à entreprendre.

3.1 Localisation et sélection des données

3.1.1 Sources de données

De nombreuses sources de données géospatiales peuvent être utilisées dans un SIG pour faciliter divers aspects de l'évaluation des cours d'eau. Bien que l'examen des sources de données sorte du cadre du présent document, les participants peuvent se référer au document de Yates et coll. (2019) pour un examen complet des sources de données géospatiales à utiliser lors de l'évaluation de cours d'eau. Les participants auront presque certainement besoin d'un modèle altimétrique numérique (MAN) et d'un réseau hydrographique pour toutes les applications de SIG liées à l'évaluation des cours d'eau afin de délimiter le bassin versant associé à leurs sites d'échantillonnage. De plus, selon l'application, des données géospatiales décrivant des aspects de la géologie, du climat, de l'utilisation des terres et de la couverture terrestre seront sans doute utiles. L'utilité et la pertinence de ces sources et d'autres sources de données géospatiales plus thématiques dépendront de l'application et des objectifs particuliers de l'évaluation en question.

De nombreux centres d'échange de données géospatiales en ligne offrent un accès gratuit aux données canadiennes de SIG (tableau 1). Le présent document porte uniquement sur les sources bien connues de données géospatiales ouvertes applicables aux évaluations de cours d'eau et qui nécessitent peu ou pas de prétraitement pour être utilisées dans un SIG. Presque toutes les provinces et tous les territoires ont des données géospatiales qui peuvent être téléchargées gratuitement, mais une inscription est parfois requise pour y avoir accès. Les données à grande échelle sont distribuées par les organismes fédéraux sur des sources en ligne, comme la page Gouvernement ouvert

(open.canada.ca/fr), qui contient de nombreuses sources de données géospatiales faciles à télécharger. Ces sources en ligne fournissent bon nombre des données qui sont généralement nécessaires pour les évaluations des cours d'eau, y compris les données sur les réseaux hydrographiques, les données topographiques sous forme de MAN et les descriptions thématiques du paysage (p. ex. couverture terrestre, géologie et climat).

Tableau 1. Sources de données géospatiales et sites Web connexes aux échelles nationale, provinciales et territoriales du Canada*.

Administration	Fournisseur	Page Web
Canada	Gouvernement du Canada	https://geogratias.gc.ca/
Alberta	GeoDiscover Alberta	https://geodiscover.alberta.ca/
Colombie-Britannique	DataBC	https://catalogue.data.gov.bc.ca/
Île-du-Prince-Édouard	Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard	http://www.gov.pe.ca/gis/ https://data.princeedwardisland.ca/fr/
Manitoba	Initiative de gestion des terres du Manitoba	https://www.gov.mb.ca/sd/research-data-and-maps/index.fr.html
Nouveau-Brunswick	GeoNB	http://www.snb.ca/geonb1/f/DC/catalogue-F.asp
Nouvelle-Écosse	Portail de données ouvertes du gouvernement de la Nouvelle-Écosse	https://data.novascotia.ca/
Ontario	CarrefourGéo Ontario	https://geohub-fr.lio.gov.on.ca/?locale=fr
Québec	Portail de données ouvertes du Québec	https://www.donneesquebec.ca/
Saskatchewan	Saskatchewan GeoHub	https://geohub.saskatchewan.ca/
Terre-Neuve-et-Labrador	GeoHub – Ministère des Pêches, de la Foresterie et de l'Agriculture	https://geohub-gnl.hub.arcgis.com/
	Environnement et Changement climatique	https://www.gov.nl.ca/ecc/
Territoires du Nord-Ouest	Centre de géomatique des Territoires du Nord-Ouest	https://www.geomatics.gov.nt.ca/fr
	Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest	https://ntgs-open-data-ntgs.hub.arcgis.com/
Yukon	Données ouvertes du gouvernement du Yukon	https://open.yukon.ca/fr/data

* À l'heure actuelle, il n'existe pas de données géospatiales en libre accès pour le Nunavut.

Il existe également des ensembles de données régionaux utiles applicables aux évaluations à plus petite échelle. Le site CanadianGIS.com propose une longue liste de liens vers de telles sources, ainsi que des liens vers des bases de données des gouvernements provinciaux et nationaux que l'utilisateur pourrait trouver utiles lorsqu'il cherche des données géospatiales. Toutefois, l'utilisateur doit savoir que les types de données géospatiales disponibles, de même que les échelles, les résolutions et les couvertures auxquelles ces données ont été générées, varient considérablement selon la source.

L'amélioration de la puissance de calcul, l'acquisition de données et la récente volonté de rendre les données disponibles gratuitement en ligne ont mené à une vaste gamme de sources de données pouvant être utilisées dans les SIG. Pour obtenir les données les plus appropriées, il est recommandé que l'utilisateur détermine à l'avance les données géospatiales qui conviennent le mieux en fonction des objectifs du projet de chaque évaluation avant de commencer une recherche pour acquérir des données. De cette façon, l'utilisateur peut avoir un objectif et un but ultime clairs dans sa recherche de données dès le début de son projet. Un plan clair lui permettra d'éviter de recueillir trop de données ou de se contenter de sources de données moins appropriées. Toutefois, l'utilisateur doit savoir que, dans de nombreux cas, la source de données « parfaite » n'existe peut-être pas, et qu'il devra alors modifier son plan de recherche de données à mesure que le processus de recherche lui procure l'information sur la disponibilité des données.

3.1.2 Échelle, résolution et couverture des données

Avant de sélectionner et d'analyser des données géospatiales, il est essentiel de déterminer l'échelle, la résolution et la couverture les plus appropriées pour ces données. Dans ce cas, l'échelle est définie comme le rapport de réduction entre le monde réel et sa représentation graphique. Sur les cartes papier, l'échelle relie la distance sur la carte à la distance dans le monde réel. Cet élément est moins important dans un SIG puisque l'échelle cartographique est fondée sur les paramètres d'affichage du SIG (c.-à-d. le facteur d'agrandissement de la carte), car les sources de données géospatiales de plus grande résolution refléteront mieux les changements des propriétés du paysage qui se produisent sur de petites distances. Enfin, la couverture des données géospatiales correspond à la superficie totale décrite par les données. Par exemple, une couverture spatiale pourrait être la province du Manitoba ou l'Amérique du Nord. La couverture peut également être envisagée du point de vue temporel, puisque toutes les données géospatiales refléteront un point dans le temps ou une plage de temps. Par exemple, une couche de couverture terrestre pourrait être fondée sur l'imagerie satellite d'une année donnée, et une couche sur le climat pourrait être constituée des moyennes sur 30 ans.

Plusieurs facteurs clés doivent être pris en compte pour s'assurer de sélectionner les données géospatiales à l'échelle, à la résolution et à la couverture les plus appropriées pour le projet. Tout d'abord, ces caractéristiques des données doivent être prises en compte dans le cadre des objectifs et du contexte du projet d'évaluation. La plus facile est peut-être la couverture. Les données sélectionnées doivent offrir une couverture suffisante pour inclure toutes les zones pertinentes pour l'évaluation. Il est essentiel que l'utilisateur des données ait une idée claire des limites de sa zone d'évaluation. Par exemple, dans bien des cas, les données provinciales ou territoriales offriront le meilleur équilibre entre la résolution et la couverture pour les évaluations propres à une région dans une province. Sinon, lorsque les évaluations englobent plusieurs limites provinciales ou territoriales, les données générées à l'échelle nationale sont probablement les plus appropriées. Il convient toutefois de souligner que la zone d'intérêt est souvent beaucoup plus vaste que prévu, car les bassins versants cumulatifs des cours d'eau peuvent s'étendre sur de grandes distances au-delà des sites d'échantillonnage et des limites politiques d'intérêt. L'étendue spatiale des bassins versants a souvent peu de rapport avec les limites politiques qui représentent fréquemment les limites de la couverture des données pour une couche de données individuelle. De ce fait, les participants peuvent se trouver dans des situations où la région d'intérêt traverse des limites ou des frontières politiques.

Les bassins versants transfrontaliers peuvent poser des difficultés en matière de couverture, car les données de choix peuvent ne pas être disponibles d'un côté de la limite ou peuvent être représentées à une résolution différente ou à l'aide d'un système de classification différent. Dans ces cas, il faudra peut-être utiliser une couche de données qui a une grande étendue et dont la résolution n'est pas optimale. Par exemple, il peut être nécessaire de passer d'une couche provinciale à une couche nationale lorsqu'un bassin versant traverse une limite provinciale. Dans certaines circonstances, comme dans le cas des bassins versants qui traversent la frontière internationale entre le Canada et les États-Unis, les données qui couvrent une plus grande étendue ne sont pas souvent disponibles et les participants pourraient alors devoir harmoniser des couches de données semblables qui sont disponibles des deux côtés. Un tel assemblage des sources de données ne devrait être utilisé qu'en dernier recours, car il peut entraîner des classifications inappropriées et des niveaux d'erreur accrus. Heureusement, de tels cas seront rares pour la plupart des participants, car la majorité des projets seront probablement limités dans une province ou un territoire ou dans quelques provinces ou territoires.

3.1.3 Lacunes dans les données et couvertures incomplètes

Les utilisateurs du présent document doivent également savoir que même si l'étendue spatiale d'une couche de données est suffisante, il peut y avoir des problèmes de couverture. Les couches de données peuvent comporter des lacunes dans la couverture qui sont associées à des régions n'ayant pas fait l'objet de relevés (p. ex. régions éloignées) ou à des régions qui n'ont pas pu être classées de façon appropriée. Une couverture incomplète des données survient le plus souvent dans les couches de données décrivant les attributs du paysage qui varient à de plus petites échelles temporelles, comme la couverture terrestre, et qui ont donc souvent de courtes périodes d'acquisition de données. Par exemple, les couches de couverture terrestre sont souvent générées à partir d'images satellites qui peuvent être gênées par la couverture nuageuse ou les ombres créées par des pentes abruptes. En raison de ces zones non classées, des parties importantes d'un bassin versant n'ont alors pas de description significative. D'autres cas de données manquantes surviennent lorsqu'il manque des stations de mesure ou qu'elles sont trop éloignées les unes des autres pour générer une couverture de données continue. De telles situations sont plus courantes dans les régions éloignées, où les stations de mesure, comme les stations météorologiques, ne sont pas toujours présentes en densité suffisante pour permettre une interpolation adéquate des données afin de compléter la couverture géographique.

Avant d'utiliser des données géospatiales, les participants doivent examiner attentivement toutes les données pour repérer les lacunes et s'assurer de lire toutes les métadonnées disponibles afin de ne pas utiliser les classifications (p. ex. couverture nuageuse) de manière erronée. S'il détermine qu'il y a des zones sans données ou que les classifications comprennent des catégories avec des espaces réservés pour les zones où les données n'ont pas pu être obtenues, l'utilisateur doit clairement indiquer dans les métadonnées de toutes les données générées que les données sont incomplètes. L'utilisateur doit examiner attentivement la prévalence des données manquantes avant d'appliquer les données à son évaluation du cours d'eau; les données manquantes pourraient mener à des conclusions erronées sur l'état du bassin versant. S'il manque des données sur de grandes parties du bassin versant, un autre ensemble de données pourrait être plus approprié.

3.1.4 Résolution des données

Il faut sélectionner une résolution des données et une étendue spatiale de la zone d'étude appropriées pour répondre le mieux possible aux questions de l'évaluation. Les attributs du paysage qui varient de façon importante sur de plus grandes distances (p. ex. sur des dizaines ou des centaines de

kilomètres), comme le climat et la géologie de la roche-mère, peuvent être représentés à l'aide de données à très faible résolution. En revanche, la description des activités humaines peut varier considérablement sur de petites distances (p. ex. sur des dizaines ou des centaines de mètres) et devrait donc être présentée à des résolutions beaucoup plus élevées afin de bien représenter les profils spatiaux. Dans de nombreux cas, l'utilisateur devra travailler avec les données disponibles pour sa région d'étude, quelle que soit la résolution. Le problème de la résolution des données s'applique souvent aux études ayant une très grande couverture spatiale (p. ex. une province entière) ou se déroulant dans des régions éloignées, où les sources de données à plus haute résolution sont moins susceptibles d'être disponibles.

3.1.5 Cadre temporel des données

Les analyses au moyen de SIG sont de nature spatiale; cependant, certaines données sont souvent associées à un cadre temporel précis. Les données qui décrivent les attributs du paysage peuvent représenter des échelles de temps extrêmement longues, comme la géologie, les sols et les réseaux hydrographiques. On se préoccupe peu du moment où les données ont été générées, car il est très peu probable que ces caractéristiques aient changé. Toutefois, pour les descripteurs de l'activité humaine et de la couverture terrestre, la pertinence temporelle des données peut être importante. Même les normales climatiques à long terme doivent être utilisées avec prudence étant donné la rapidité des changements climatiques dans de nombreuses régions du Canada. Dans de tels cas, l'utilisateur devrait tenter de trouver des données géospatiales qui correspondent le plus étroitement à la période de pertinence temporelle pour les échantillons de cours d'eau qui ont été ou qui seront prélevés.

3.2 Gestion des données

Les SIG permettent à l'utilisateur de générer d'immenses quantités de données en relativement peu de temps. Par exemple, des applications simples comme les intersections, les jointures spatiales et les calculs spatiaux peuvent générer des tableaux de données constitués de centaines de rangées et de colonnes décrivant divers attributs d'un paysage, même en commençant par des couches de données composées d'un petit nombre d'attributs. Toutefois, l'utilisateur doit prendre des précautions pour s'assurer que : 1) les données générées sont de qualité appropriée; 2) les données sont annotées correctement avec des métadonnées complètes. Le fait de négliger l'un ou l'autre de ces points peut

créer des problèmes importants, tant pour l'évaluation pour laquelle les données ont été générées que pour les évaluations futures pour lesquelles les données générées pourraient être utiles.

3.2.1 AQ/CQ des données

La qualité des données est essentielle pour générer des évaluations de cours d'eau fiables et défendables. L'analyse au moyen de SIG générera des données fondées sur les intrants et les étapes définis dans la procédure. S'il y a une rupture dans la ligne d'un cours d'eau, un point artificiellement plat dans un MAN ou un autre des innombrables problèmes possibles, le SIG générera tout de même des données. Les erreurs dans les couches utilisées dans l'analyse seront multipliées dans les sorties. Les couches décrivant les réseaux hydrographiques et la topographie sont utilisées ensemble pour déterminer les limites des bassins versants et les erreurs dans l'un ou l'autre des intrants peuvent donner des bassins versants qui ne reflètent pas fidèlement le paysage, de différentes façons (figure 2). Certaines erreurs, comme les exutoires multiples, peuvent facilement être repérées à l'aide de fonctions logicielles particulières, mais d'autres, comme la troncation incorrecte du bassin versant ou l'emplacement inexact des sites d'échantillonnage, peuvent seulement l'être au moyen de vérifications manuelles. Des protocoles d'AQ/CQ doivent être en place à toutes les étapes de la génération des données afin de garantir leur qualité et leur pertinence. Les processus d'AQ/CQ des données prennent généralement plus de temps que les analyses elles-mêmes. Bien que certaines vérifications d'assurance de la qualité puissent être automatisées, rien ne peut remplacer les vérifications manuelles.

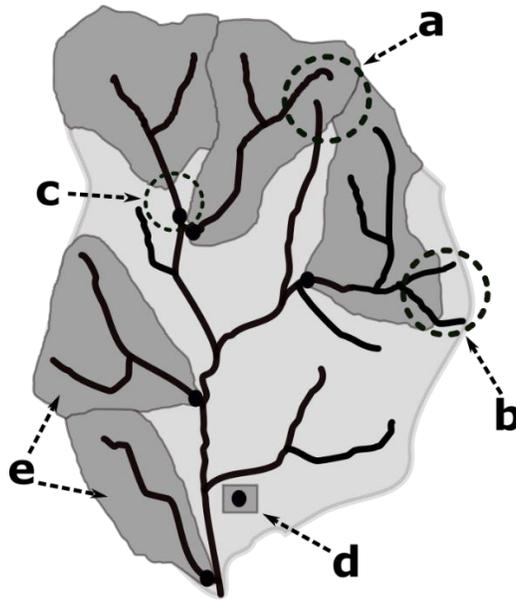


Figure 2. Erreurs courantes dans la génération de bassins versants. Exemples : des erreurs dans les limites du bassin versant (a); des parties manquantes du bassin versant délimité (b); des points qui ne sont pas insérés correctement dans le réseau hydrographique, ce qui se traduit par des limites manquantes ou incorrectes (c et d). La lettre (e) indique des bassins versants correctement générés.

Trois étapes générales sont recommandées pour assurer la qualité et la pertinence des données :

1. Vérifier l'intégralité et l'exactitude de toutes les données téléchargées à partir de sources géospatiales avant de les utiliser.
2. Vérifier la qualité des sorties de données géospatiales à toutes les étapes du traitement des données afin de s'assurer que les erreurs sont corrigées avant qu'elles puissent se propager dans plusieurs phases de l'analyse.
3. Évaluer les sorties de données et les rapports pour s'assurer que les valeurs des paramètres (p. ex. longueur du chenal, pourcentage de couverture forestière, superficie du bassin versant) se situent dans les plages prévues. Par exemple, la vérification de la superficie du bassin versant après la délimitation de celui-ci peut être un moyen efficace de déceler les erreurs de délimitation, car des valeurs extrêmement faibles peuvent indiquer que le bassin versant d'un site n'a pas été entièrement délimité.

Pour obtenir des renseignements détaillés et des stratégies pour élaborer des protocoles d'AQ/CQ, il est conseillé à l'utilisateur de se reporter à la sous-section AQ/CQ de la section Ressources complémentaires.

3.2.2 Métadonnées

Les applications des SIG pour l'évaluation des cours d'eau génèrent une mine de données très précieuses. La base de données du RCBA offre un espace de stockage sécurisé et accessible pour les données des SIG. La possibilité d'échanger des données géospatiales pour les évaluations de cours d'eau est inestimable, car elle permet aux participants d'éviter le dédoublement des efforts. À mesure que les analystes de tout le pays effectuent des analyses pour l'évaluation des cours d'eau, de grandes quantités de données décrivant les cours d'eau du Canada sont générées. Les données doivent être accompagnées de suffisamment de métadonnées qui expliquent clairement tous les aspects des données aux futurs participants afin d'assurer leur valeur et leur comparabilité.

Les métadonnées sont les « données sur les données ». Elles fournissent des renseignements descriptifs sur la couverture temporelle et spatiale, la résolution et la source des données. À tout le moins, les participants doivent indiquer le nom et les coordonnées de l'analyste responsable des SIG, les données sources utilisées, la couverture, la résolution et les renseignements sur le cadre temporel, ainsi que de courtes descriptions des champs de données dans les couches de sortie. Les détails sur la façon de générer des métadonnées complètes et probantes sortent du cadre du présent document. Nous suggérons à l'utilisateur de consulter la sous-section Métadonnées de la section Ressources complémentaires.

4 Utilisation des SIG pour l'évaluation de l'état des cours d'eau

4.1 Utilisation n° 1 – Description et sélection du site

L'intégration d'un SIG et de données géospatiales décrivant les paysages aux étapes de la sélection et de la description des sites d'une évaluation de l'état d'un cours d'eau est un atout énorme pour l'élaboration des plans de surveillance, de même que pour la détermination et la sélection de sites de référence appropriés. Les SIG permettent à l'utilisateur de générer une description complète et à grande échelle des caractéristiques et de l'état du bassin versant d'un cours d'eau avant les visites sur le terrain. Ces données sont essentielles pour pouvoir prendre des décisions éclairées au sujet du plan d'étude et de l'échantillonnage.

Grâce à la puissance de calcul actuelle, il est possible de délimiter et de décrire les zones du bassin versant d'un grand nombre de points d'échantillonnage potentiels en relativement peu de temps. D'énormes quantités de renseignements sur les caractéristiques du paysage peuvent être recueillies,

que la zone d'étude soit un seul bassin fluvial (p. ex. la rivière Thames), une région géographique entière (p. ex. les flancs est des Rocheuses) ou une administration politique (p. ex. la province de la Nouvelle-Écosse). On peut analyser les profils des caractéristiques du paysage (p. ex. géologie de surface et topographie) et de l'activité humaine (p. ex. types d'utilisation des terres) afin de déterminer les sous-régions présentant un caractère naturel ou humain distinct qui peuvent nécessiter la stratification du choix du site et de l'échantillonnage. Ces données peuvent servir à déterminer les bassins versants, les segments de cours d'eau ou les sites de cours d'eau qui sont exposés à l'activité humaine ou non, et à cibler les sites d'échantillonnage en fonction de l'influence humaine ou de la condition de référence.

4.1.1 Détermination des sites de référence

Les sites de référence sont des sites peu exposés aux perturbations humaines. L'appariement des sites d'étude à une condition de référence appropriée pour l'évaluation biologique exige que les sites de référence présentent tous les mêmes attributs naturels que les sites d'étude à évaluer, mais qu'ils soient peu exposés aux pressions anthropiques, notamment celles qui sont particulièrement préoccupantes pour l'évaluation (Bailey et coll., 2004). Un écart par rapport aux conditions correspondantes du site de référence permet de supposer que les activités humaines et les pressions connexes auxquelles le site d'étude a été exposé ont des effets sur ce dernier. La sélection des sites de référence doit satisfaire à deux critères :

1. les sites de référence sont aussi peu exposés que possible à l'activité humaine ou, à tout le moins, les quantités et les types d'activités doivent être bien compris afin de permettre la détection des effets sur les sites d'étude, le cas échéant;
2. les sites de référence et les sites d'étude sont aussi semblables que possible pour tous les attributs non liés à l'activité humaine.

L'utilisation appropriée d'un SIG et de données géospatiales sur le paysage est très utile pour répondre à ces deux critères.

Les SIG déterminent les meilleurs sites de référence disponibles parce qu'il est possible de générer les distributions statistiques de l'exposition à l'activité humaine à partir de descriptions obtenues au moyen de SIG. Ces distributions ou « gradients de l'activité humaine » servent à déterminer le nombre requis de sites de référence en connaissant parfaitement l'étendue et l'intensité des types d'activité humaine présents (Yates et Bailey, 2010a). Il est essentiel de définir le niveau de détail à

utiliser et de générer des critères objectifs solides pour déterminer ce qui constitue un site de référence avant d'effectuer des analyses au moyen de SIG.

4.1.2 Localisation et description des sites

Les SIG sont utilisés pour générer des descriptions des zones d'étude lorsque l'utilisateur : 1) a déjà déterminé un ensemble d'emplacements; ou 2) cherche à trouver des emplacements potentiels (figure 3). Si les emplacements ont déjà été déterminés, l'utilisateur n'a besoin que des coordonnées géographiques exactes de l'emplacement de chaque site pour générer une couche de points (c.-à-d. une représentation des différents emplacements dans une zone). Une couche du réseau hydrographique et un MAN peuvent être utilisés avec la couche de points pour générer les bassins versants ou d'autres zones d'intérêt (p. ex. le corridor riverain) pour chaque site. Les attributs naturels et anthropiques pertinents pour chaque bassin versant défini peuvent être générés en effectuant une série de jointures spatiales.

Dans les cas où l'utilisateur n'a pas de sites prédéfinis, les sites potentiels peuvent être générés automatiquement pour l'ensemble de la zone d'étude, puis évalués en fonction des descriptions des bassins versants qui répondent aux objectifs de l'étude (c.-à-d. activité humaine minimale ou perturbation humaine ciblée). Ce processus nécessite une couche du réseau hydrographique de grande qualité qui servira de base à l'analyse. Par exemple, les points peuvent être placés automatiquement aux extrémités des segments de cours d'eau dans l'ensemble du réseau ou dans des parties précises du réseau (c.-à-d. dans des segments de l'ordre du cours d'eau souhaité ou à tous les franchissements des cours d'eau par des routes). Il faut veiller à ce que la couche de cours d'eau soit complète et à ce que les points générés automatiquement s'affichent seulement là où on le souhaite et non à des nœuds artificiels ou à des ruptures. Une fois que les sites potentiels ont été déterminés, il est possible de générer les bassins versants et les attributs du paysage correspondants de la façon décrite dans le paragraphe précédent.

4.1.3 Applications des descriptions du paysage d'un site

Une description régionale des conditions du paysage permet aux participants de prendre des décisions éclairées au sujet du choix du site, de l'intensité de l'échantillonnage et du plan d'étude, particulièrement dans une zone vaste. Ces données sont très efficaces pour étayer les plans probabilistes aléatoires lorsque les sites d'échantillonnage sont choisis au hasard, car elles déterminent un ensemble essentiellement exhaustif de sites qui représentent tous les types possibles de conditions

du paysage dans la région. De même, ces données sont également très utiles pour les plans stratifiés visant à refléter l'éventail des conditions naturelles et humaines présentes dans la région, car elles permettent de déterminer l'éventail existant de variabilité et de l'utiliser pour s'assurer que les sites sélectionnés sont suffisants pour représenter les conditions régionales. Ces données sont également utiles pour déterminer les conditions particulières du paysage pour une sélection plus ciblée de sites qui répondent aux objectifs de l'étude. Par exemple, l'objectif peut être de trouver les sites de référence les moins perturbés.

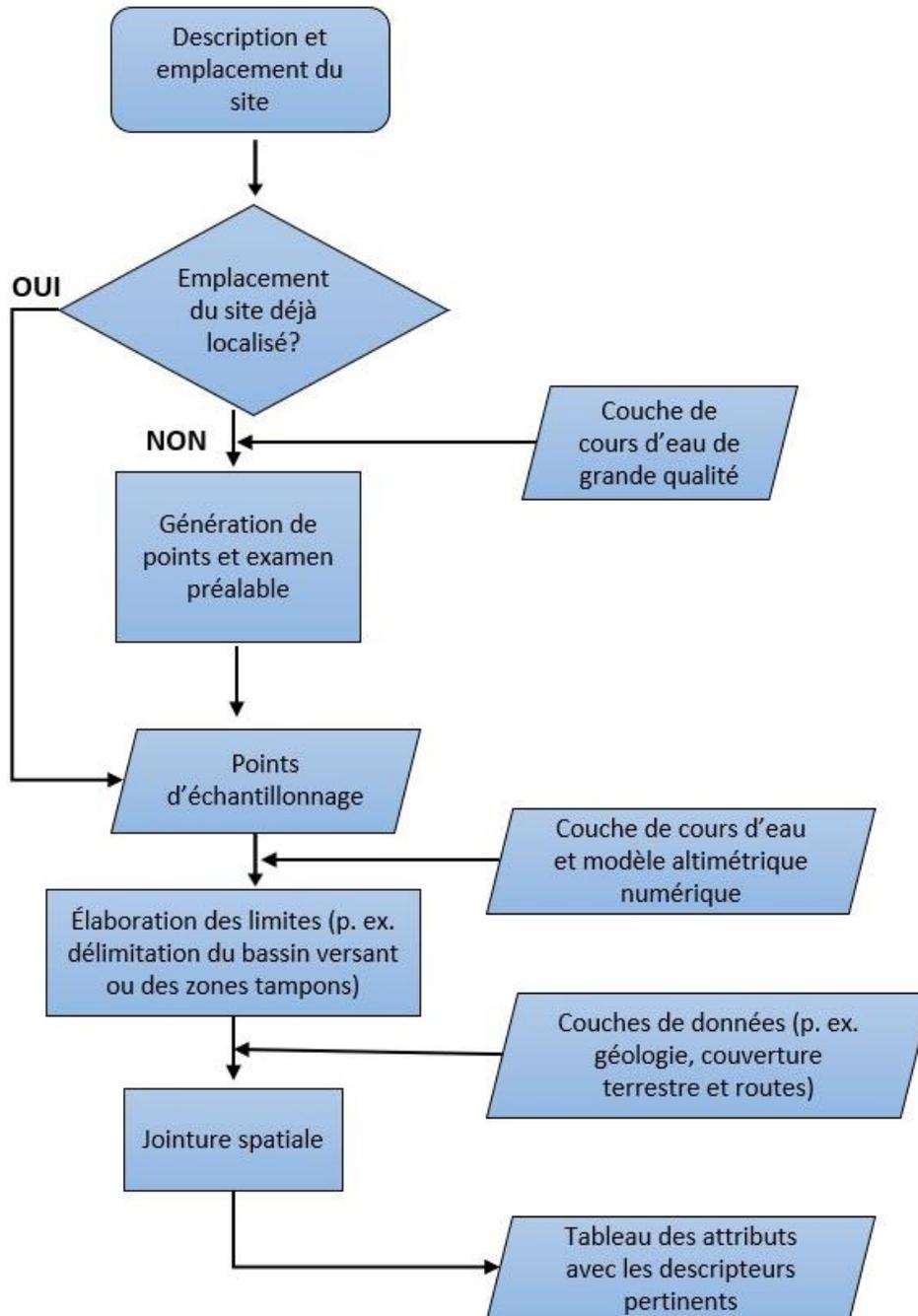


Figure 3. Étapes de l'élaboration des descripteurs d'une zone d'étude.

4.1.4 *Description de la variation naturelle*

Pour que l'on puisse appliquer efficacement une évaluation fondée sur l'ACR comme celle utilisée par le RCBA, il faut que les sites de référence représentent le même éventail d'attributs environnementaux naturels que les sites d'étude qui feront l'objet d'une évaluation. Idéalement, on détermine l'éventail des conditions naturelles présentes dans la zone d'étude, puis on échantillonne les sites de référence dans tout cet éventail au moyen d'un plan d'échantillonnage stratifié. Les SIG peuvent être utilisés pour caractériser les conditions environnementales naturelles dans la zone d'étude à la première étape de la détermination des sites de référence. Il est essentiel d'utiliser uniquement les attributs environnementaux non touchés par l'activité humaine pour décrire l'éventail des conditions environnementales naturelles. Par exemple, il est recommandé que les descriptions des conditions environnementales naturelles soient fondées sur des facteurs à grande échelle qui ne sont pas touchés par les activités humaines à court terme et qui, au bout du compte, contrôlent les conditions à petite échelle des cours d'eau (p. ex. gradient de chenal, substrat, chimie de l'eau, débit des cours d'eau) qui ont une incidence directe sur le biote, comme la topographie, la géologie de surface et de la roche-mère, ainsi que sur les normes climatiques à long terme. Il ne faut pas utiliser des descriptions de la couverture terrestre, des attributs des chenaux (p. ex. sinuosité) et d'autres attributs environnementaux qui peuvent être modifiés par les activités humaines pour décrire l'éventail des conditions du milieu naturel. Une fois les attributs environnementaux choisis, les processus de SIG de base (p. ex. jointures spatiales et intersections) peuvent générer des descriptions des zones du bassin versant du site potentiel. On peut comparer les conditions environnementales entre les sites d'étude et les sites de référence afin de s'assurer que l'éventail complet des conditions environnementales naturelles présentes dans les sites d'étude est également englobé par les sites de référence.

4.1.5 *Description des activités humaines à l'aide de SIG*

Les descriptions de l'activité humaine pour déterminer les meilleures conditions disponibles peuvent être aussi simples qu'une description de l'étendue spatiale (c.-à-d. superficie des terres) des activités humaines à l'aide d'une couche d'utilisation des terres, ou beaucoup plus détaillées et inclure des descriptions de l'activité humaine à l'aide de méthodes d'analyse spatiale relativement complexes. Une analyse détaillée des types de données et des approches qui peuvent être utilisés pour générer des descriptions détaillées de l'activité humaine à l'aide d'un SIG sort du cadre du présent document, mais se trouve dans Yates et coll. (2019). Aux fins du présent document, nous limiterons la discussion à une présentation des principaux éléments du processus de description de l'activité humaine.

Le niveau de résolution idéal pour une activité humaine donnée dépendra principalement de la nature de cette activité et de la lentille spatiale nécessaire pour l'observer. Par exemple, une couche d'utilisation générale des terres peut suffire si l'objectif principal de l'évaluation est d'établir l'état général des cours d'eau exposés à des types génériques d'activités humaines, comme l'agriculture et l'utilisation des terres en milieu urbain. En revanche, une couche d'utilisation générale des terres fournira un aperçu limité si l'objectif d'une évaluation est de déterminer les effets de certaines opérations forestières, par exemple. Dans ce cas, des renseignements spatiaux détaillés sur l'activité forestière, décrivant la position et l'âge des zones de coupe de la forêt seront nécessaires pour que les descriptions de l'intensité et de l'étendue spatiale soient pertinentes.

L'évaluation de la configuration spatiale des activités humaines auxquelles un cours d'eau est exposé dans son bassin versant peut être abordée de plusieurs façons. La plus simple est de déterminer la proportion de la zone qu'un type d'activité couvre dans l'ensemble du bassin versant. Des descriptions plus explicites sur le plan spatial peuvent permettre de mieux comprendre l'exposition d'un cours d'eau à une activité donnée. Par exemple, il a été bien établi que les activités qui se déroulent près d'un cours d'eau ou dans des zones où le ruissellement est concentré (c.-à-d. des zones hydrologiquement reliées) ont un effet disproportionné sur le cours d'eau comparativement aux activités qui se déroulent dans les hautes terres du bassin versant. (Yates et coll., 2014; Holmes et coll., 2016; Grimstead et coll., 2018). Plusieurs approches permettent de tenir compte de l'effet disproportionné de la proximité et de la connectivité hydrologique. Par exemple, l'utilisateur peut délimiter des zones supplémentaires à l'intérieur du bassin versant en générant des zones tampons autour du cours d'eau ou de segments du cours d'eau (figure 4a-c). Ces zones supplémentaires peuvent ensuite être décrites en fonction de la quantité et de l'intensité de l'activité humaine dans chacune des zones délimitées.

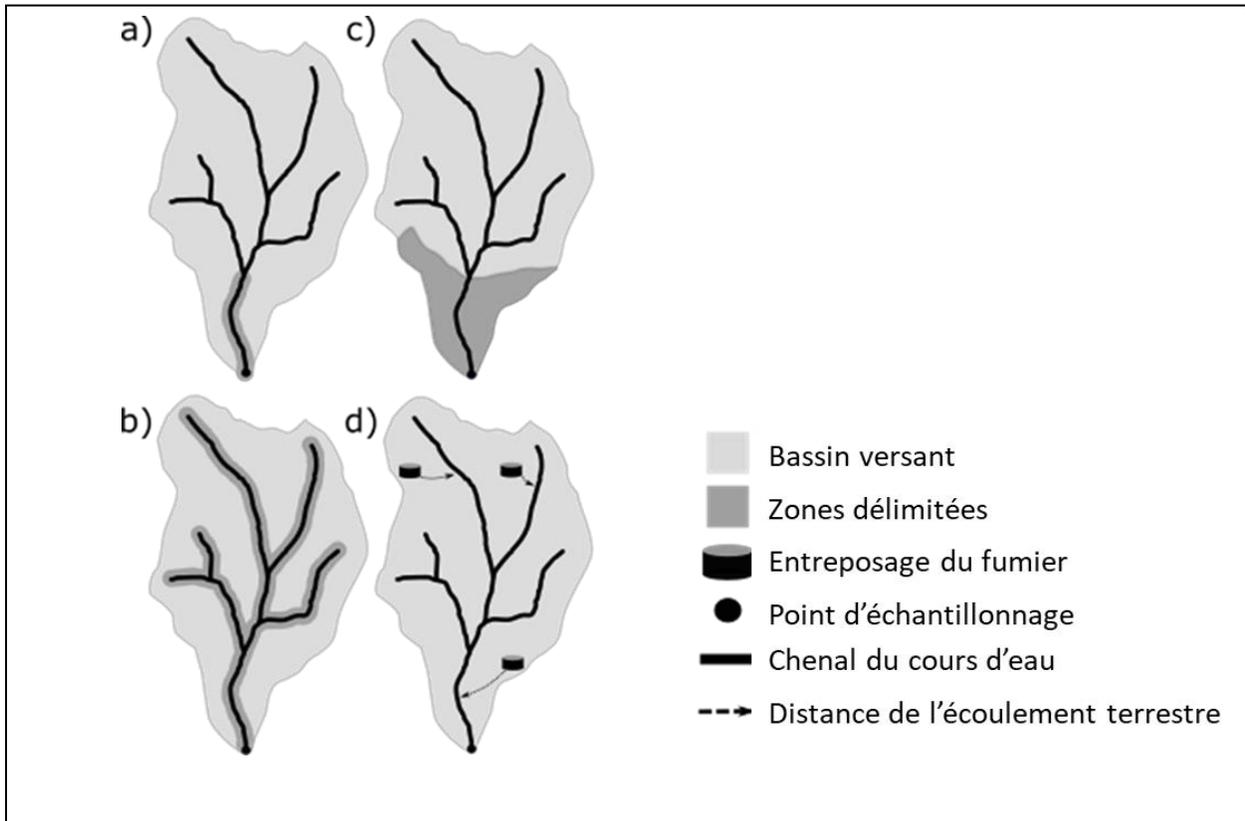


Figure 4. Approches permettant de tenir compte de l'effet disproportionné de la proximité et de la connectivité hydrologique. Par exemple, l'utilisateur peut délimiter des zones supplémentaires à l'intérieur d'un bassin versant, comme une zone tampon autour d'un segment (a), des zones tampons autour de tous les segments du bassin versant (b) ou un sous-bassin versant (c). Une approche plus poussée sur le plan informatique consisterait à utiliser des approches de la distance inversée qui tiennent compte de la distance de l'écoulement entre une source de pollution et le point d'échantillonnage (d).

Pour générer des descriptions spatialement explicites des activités humaines, on a recours à des approches de la distance inversée, plus complexes sur le plan informatique (figure 4d). Bien qu'il existe de nombreuses méthodes pour générer des distances par pondération inverse, on détermine généralement les distances à partir du point dans le cours d'eau où l'échantillonnage doit avoir lieu dans le bassin versant (ce qui est plus facile à effectuer au moyen d'une représentation matricielle du bassin versant). On prend ensuite l'inverse des distances, ce qui accroît la pondération des activités les plus près du cours d'eau pour expliquer les conditions dans le cours d'eau. Bien qu'elle soit plus exigeante sur le plan des calculs, il a été prouvé que cette approche est plus susceptible de générer les descriptions de l'activité humaine qui reflètent le mieux les effets probables sur l'état du cours d'eau (King et coll., 2005; Walsh et Kunapo, 2009; Peterson et coll., 2011; Yates et coll., 2014). Pour obtenir de plus amples renseignements sur les approches de la distance inversée, l'utilisateur est invité à consulter les ressources présentées dans la sous-section Pondération inverse à la distance de la section Ressources complémentaires.

4.2 Utilisation n° 2 – Conception du modèle fondé sur l'ACR

Les évaluations de l'état d'un cours d'eau réalisées selon l'ACR nécessitent un moyen d'apparier les sites d'étude à un groupe de sites de référence qui devraient présenter la même condition biologique en l'absence d'effets associés aux activités humaines (comme décrit au point 4.1). Le RCBA, ainsi que de nombreux autres programmes de biosurveillance fondés sur l'ACR, aborde le processus d'appariement des sites d'étude et de référence par la génération d'un modèle reprenant cette approche. Le processus de modélisation de l'ACR comporte six étapes (Reynoldson et coll., 1995; Reynoldson et coll., 1997; Reynoldson et coll., 2001; Armanini et coll., 2013; Strachan et Reynoldson, 2014) :

1. Sélection des sites de référence (détaillée dans la sous-section précédente).
2. Collecte de données d'habitat et de données sur les invertébrés benthiques à partir des sites de référence.
3. Agrégation des méthodes pour regrouper les sites de référence en fonction des similitudes dans la composition de la communauté benthique.
4. Analyse de la fonction discriminante pour déterminer les variables d'habitat qui peuvent différencier les groupes de référence.
5. Prédiction de la communauté benthique prévue dans chaque groupe de référence.

6. Attribution des sites d'étude à un groupe de référence approprié à l'aide du modèle prédictif.

Les SIG jouent un rôle essentiel dans l'élaboration du modèle fondé sur l'ACR car ils sont utilisés pour l'acquisition des variables d'habitat à l'échelle du paysage qui décrivent les sites de référence (étape 2). L'utilisation de SIG dans la conception d'un modèle d'ACR est semblable au processus décrit pour la sélection des sites de référence potentiels (sous-section 4.1) et bon nombre des mêmes considérations s'appliquent, tout comme les processus de génération de ces descriptions.

4.2.1 *Détermination des attributs du paysage qui différencient les groupes communautaires*

Tous les modèles de l'ACR comportent la collecte de variables d'habitat à plusieurs échelles, comme la pente du cours d'eau à l'échelle du segment du cours d'eau et la géologie à l'échelle du bassin versant. En s'assurant que les attributs de l'habitat sont décrits à l'échelle qui est la plus pertinente pour un attribut d'intérêt, on augmente la probabilité de représenter le rôle joué par cet attribut dans le contrôle des conditions environnementales locales. De meilleures descriptions du paysage amélioreront à leur tour la définition des ensembles de conditions environnementales qui différencient les groupes biologiques de référence (voir l'étape 4 ci-dessus). Pour s'assurer que les attributs du paysage sont décrits à l'échelle la plus appropriée, l'utilisateur doit élaborer des modèles conceptuels décrivant l'influence prévue d'un descripteur du paysage, comme le type de roche-mère, sur les conditions locales du cours d'eau et, en fin de compte, sur la communauté benthique. Par exemple, on s'attendrait à ce que la topographie influe sur le gradient du chenal, ce qui permettra de déterminer la forme du chenal et la vitesse du courant du cours d'eau qui, à leur tour, influenceront sur la distribution des tailles du substrat du cours d'eau et détermineront ainsi les biotes qui sont probablement présents. Dans cet exemple de conceptualisation, la topographie du segment de cours d'eau en amont du site, mesurée en fonction de sa pente, est sans doute un meilleur prédicteur que la pente moyenne de l'ensemble du bassin versant. Il faudrait procéder à de telles conceptualisations pour tous les descripteurs potentiels avant de réaliser les analyses au moyen de SIG afin de s'assurer que les paramètres générés par ces analyses répondent aux besoins de l'évaluation de cours d'eau. De plus, l'utilisation de l'information sur l'habitat à l'échelle du paysage pour apparier les sites d'étude à un groupe de sites de référence (voir l'étape 6 ci-dessus) est essentielle pour tous les modèles fondés sur l'ACR utilisés par le RCBA.

4.2.2 Considérations relatives au cadre temporel pour l'utilisation des SIG dans les modèles utilisant l'approche des conditions de référence (ACR)

Compte tenu des considérations sur l'échelle spatiale et l'influence de l'activité humaine décrites dans les paragraphes précédents, l'échelle temporelle des données géospatiales devrait également être prise en compte lors de la sélection des variables. Les données géospatiales à forte variabilité temporelle peuvent ne pas convenir lors de la conception du modèle. Par exemple, le pourcentage de couvert forestier dans les zones tempérées peut varier grandement selon la saison et ne pas refléter correctement les conditions de référence. De même, la couverture terrestre peut changer radicalement sur des périodes relativement courtes (p. ex. des années) et soulève donc la question de l'appariement de la portée temporelle des données géospatiales avec celle de l'échantillonnage des cours d'eau. De ce fait, seules les données géospatiales qui ne sont pas intrinsèquement variables sur de courtes périodes (c.-à-d. moins de cinq ans) sont utilisées pour les modèles fondés sur l'ACR. L'application de cette recommandation éliminera la nécessité d'associer temporairement les descripteurs environnementaux aux dates d'échantillonnage et réduira les préoccupations quant à savoir si les futurs sites d'étude échantillonnés peuvent être appariés à d'anciens sites de référence. Les données géospatiales décrivant les attributs du paysage qui varient sur des décennies, comme les moyennes climatiques à long terme, peuvent être plus faciles à appliquer. Même en suivant ces conseils sur le cadre temporel, on n'élimine pas complètement la nécessité de vérifier et d'actualiser tous les attributs d'habitat utilisés dans les modèles fondés sur l'ACR du RCBA au fil du temps. Étant donné que les données géospatiales sont de plus en plus détaillées et que leur collecte se fait de plus en plus rapidement, il faudrait actualiser les descriptions de paysage si des données géospatiales plus appropriées sur le plan spatial ou temporel deviennent disponibles, ce qui permettra d'utiliser les meilleurs modèles possibles pour l'évaluation des cours d'eau.

4.2.3 Utilisation de données standardisées pour la conception du modèle

Il peut y avoir des avantages et des inconvénients à utiliser des couches de données géospatiales qui ont une couverture nationale pour les modèles fondés sur l'ACR du RCBA. Les avantages de générer des modèles d'évaluation à l'aide d'un ensemble de descripteurs à l'échelle nationale sont principalement que les modèles générés à partir de ces descripteurs peuvent être appliqués à de plus grandes échelles spatiales. Ces échelles traversent probablement les limites provinciales et territoriales, offrant une uniformité nationale, qui est une composante importante du RCBA. Les modèles conçus de cette façon seront toutefois plus limités à une petite série d'ensembles de données géospatiales, en

particulier la géologie de surface et de la roche-mère, le climat et la topographie à l'échelle nationale (provenant des MAN), ainsi que les informations sur les réseaux hydrologiques qui ont des données à l'échelle nationale (tableau 2). Bien que l'utilisation de telles couches à grande échelle présente des avantages sur le plan de la transférabilité des modèles au-delà des limites politiques, elle peut aussi se traduire par des prédictions déficientes du modèle, car ces couches à plus grande échelle ont une mauvaise résolution comparativement à de nombreux ensembles de données provinciaux et régionaux. Les descriptions du paysage vont sans doute devenir plus générales et il sera plus probable que les classifications ne reflètent pas pleinement le caractère du bassin versant d'un cours d'eau. Comme pour toutes les analyses au moyen de SIG, les participants doivent se référer aux objectifs de leur évaluation pour déterminer si l'utilisation de couches nationales convient bien à leur exercice.

Tableau 2. Liste des sources de données géospatiales disponibles à l'échelle nationale qui pourraient être utilisées pour générer des modèles standardisés d'évaluation des conditions de référence.

Nom	Descripteur	Échelle ou résolution	Source
Carte géologique de la roche-mère du Canada	Roche-mère	1/5 000 000	<i>Ressources naturelles Canada – Portail du gouvernement ouvert</i>
Normales climatiques (1980 à 2010)	Climat	7,5 km	<i>Ressources naturelles Canada – disponible sur demande</i>
Réseau hydro national	Hydrologie	1/50 000	<i>Ressources naturelles Canada / GéoGratis Canada</i>
Mission topographique de la navette Radar V. 3	Topographie (MAN)	30 m	<i>NASA – EarthData Search</i>
Matériaux de surface du Canada	Géologie de surface	1/5 000 000	<i>Ressources naturelles Canada – Portail du gouvernement ouvert</i>

4.3 Utilisation n° 3 – Interprétation de l'évaluation

Les évaluations de l'état des sites effectuées à l'aide d'un modèle prédictif fondé sur l'ACR indiquent si la condition biologique d'un site d'étude s'écarte nettement des conditions observées à des sites de référence comparables. Les approches actuelles fondées sur l'ACR ne fournissent aucune

indication de la cause probable de la défaillance ou de l'écart d'un site. Il incombe plutôt à l'utilisateur d'effectuer des analyses de suivi pour déterminer la cause probable de l'écart du site par rapport à la référence afin que des mesures appropriées de gestion des cours d'eau puissent être prises. Les données dérivées de SIG peuvent aider à orienter de telles analyses.

La capacité des SIG à fournir des descriptions de grande qualité des quantités et des types d'activités humaines pour l'ensemble du bassin versant est un atout essentiel pour l'interprétation de l'évaluation, puisque cela permet de produire un résumé complet des activités qui ont pu avoir des effets sur le biote du cours d'eau. L'interprétation des résultats de l'évaluation nécessite bon nombre des mêmes données que celles utilisées pour sélectionner les sites d'étude et de référence et, par conséquent, bon nombre des mêmes considérations s'appliquent à la résolution des données géospatiales, en plus de la résolution et de l'étendue spatiale. Toutefois, la principale différence découle de l'objectif de l'utilisation, qui est de déterminer la cause probable de l'écart d'un site par rapport à l'état de référence. Il est probable que les données les plus appropriées et le processus de synthèse de ces données différeront de celui utilisé pour mener les procédures de sélection des sites.

Dans le cadre du processus d'interprétation de l'évaluation, nous recommandons aux participants de générer d'abord un modèle conceptuel qui établit les voies probables par lesquelles les activités humaines présentes dans le bassin versant du site d'étude peuvent influencer sur les conditions biologiques (figure 5). Il est préférable de commencer par examiner les types et les emplacements généraux des diverses activités humaines présentes dans le bassin versant à l'aide de SIG. Si le site faisait partie d'une initiative de sélection de sites, les données ont peut-être déjà été générées. Toutefois, si un processus de sélection de sites n'a pas été entrepris, nous recommandons à l'utilisateur de se référer aux renseignements donnés dans la sous-section ci-dessus (Utilisation n° 1). Le processus de sélection des sites est axé sur la découverte et vise à générer une description générale des types et des quantités d'activités humaines présentes et de leurs positions relatives dans le bassin versant. Les couches de données de base sur l'utilisation des terres et la couverture terrestre peuvent servir à déterminer les types généraux d'activités présentes (p. ex. zones urbaines, terres agricoles, exploitation minière) dans une zone d'étude. Une fois que les différents types d'activités présentes dans le bassin versant ont été déterminés, l'utilisateur peut alors chercher des données géospatiales plus détaillées sur des types d'activités précis (p. ex. renseignements sur les zones de coupe forestière, les types de cultures agricoles) afin de mieux déterminer les pratiques de gestion précises qui sont mises en œuvre. En général, pour interpréter les résultats de l'évaluation de l'état d'un cours d'eau, il est recommandé

d'avoir des descriptions géospatiales plus détaillées des activités présentes dans le bassin versant. Il sera ainsi possible d'établir des liens plus précis entre l'activité et les effets, ce qui donnera des mesures de gestion futures plus ciblées.

Une meilleure compréhension de la position relative des activités humaines dans le bassin versant d'un cours d'eau aidera également à cibler les mesures de gestion. Les activités humaines sont rarement réparties uniformément dans un paysage. La compréhension des positions relatives des différentes activités aidera également à déterminer la cause probable de l'écart d'un site d'étude par rapport aux conditions de référence. Les configurations spatiales peuvent être établies dans les SIG de la façon décrite dans les sous-sections ci-dessus (voir Utilisation n° 1) et permettront à l'utilisateur de préciser les hypothèses sur les voies de passage dans son modèle conceptuel qui sont probablement les plus importantes pour déterminer la condition biologique observée.

Une description géospatiale détaillée des types, de la quantité, de la nature et de la position de l'activité humaine est un complément puissant des descriptions d'habitat à l'échelle du site générées dans le cadre du protocole d'échantillonnage du RCBA (p. ex. taille du substrat, chimie de l'eau, forme du chenal). De nombreuses activités humaines influent sur les milieux des cours d'eau au moyen d'un ensemble de voies d'entrée particulières, et des données d'habitat à l'échelle du site peuvent permettre de déterminer les activités humaines qui sont les plus susceptibles d'être associées aux effets. Par exemple, l'activité agricole peut être associée au redressement du chenal, qui se refléterait dans les mesures de la sinuosité du chenal ou de la variation de la largeur du chenal et qui pourrait entraîner des changements dans la condition biologique (c.-à-d. une réduction de la richesse en taxons). Les liens établis au moyen d'un processus de modèle conceptuel, tel que décrit ici, sont les meilleures hypothèses des causes probables. Une évaluation plus poussée de la condition biologique du cours d'eau serait nécessaire pour déterminer la cause de la dégradation.

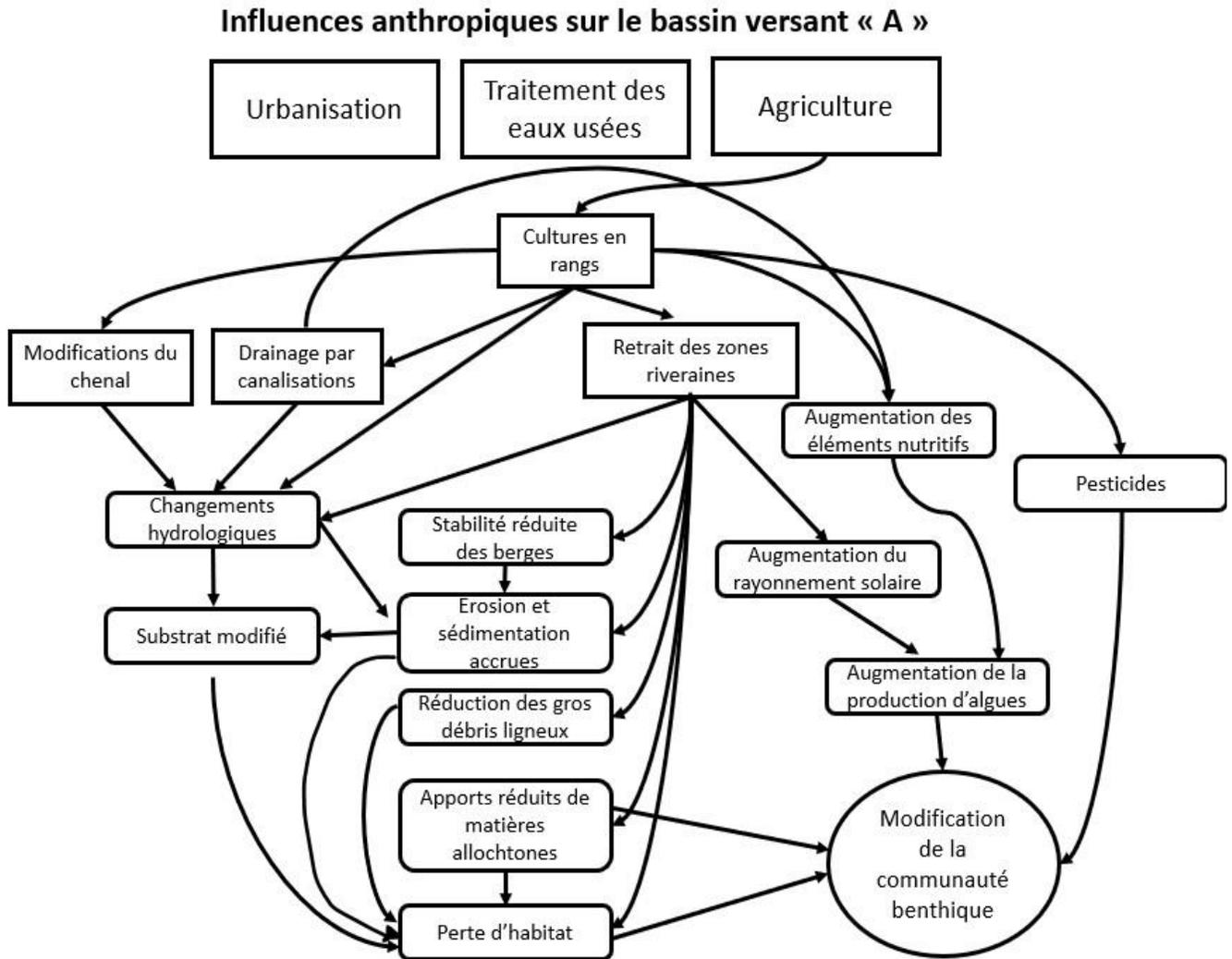


Figure 5. Exemple de schéma conceptuel représentant les influences anthropiques potentielles dans le bassin versant « A », mettant l'accent sur les activités agricoles propres au bassin versant et le lien avec la communauté benthique.

5 En résumé

Les SIG sont des outils puissants qui peuvent grandement améliorer plusieurs aspects de la bioévaluation de l'état des cours d'eau, telle qu'elle est réalisée actuellement dans le cadre des protocoles du RCBA. Le présent document et ses orientations sont destinés à être utilisés conjointement avec les protocoles d'échantillonnage, de modélisation et d'évaluation ou d'analyse déjà en place dans le cadre du RCBA. Ce document décrit plus particulièrement la façon dont les SIG peuvent être utilisés pour caractériser et sélectionner des sites pour obtenir des plans d'étude plus puissants et des définitions plus objectives des sites de référence. De même, les SIG sont des outils précieux pour générer des descriptions des attributs d'habitat à grande échelle que l'on peut utiliser dans les modèles fondés sur l'ACR pour appairer efficacement les sites d'étude avec les sites de référence appropriés. Enfin, les SIG peuvent renforcer l'interprétation post-évaluation en fournissant des renseignements nuancés concernant la quantité et l'emplacement des activités humaines qui peuvent influencer l'état d'un site.

Comme tous les outils, les SIG ont leurs limites, et l'utilisateur devrait toujours en être conscient. D'abord et avant tout, les résultats des analyses au moyen de SIG dépendent de la qualité des données géospatiales utilisées pour l'analyse. La disponibilité des données géospatiales est souvent le facteur le plus limitatif dans l'information qui peut être recueillie au moyen de SIG. Ensuite, bien que de nombreuses analyses puissent être effectuées et que de nombreux paramètres de sortie puissent être générés, l'utilisateur devrait s'assurer que tous les processus et paramètres générés ont un fondement conceptuel clair qui relie les résultats aux questions de l'évaluation à l'étude. Par conséquent, nous encourageons fortement tous les participants à élaborer des modèles conceptuels de base avant de réaliser les utilisations décrites ci-dessus, afin de s'assurer que les analyses et les résultats sont étroitement liés aux objectifs de l'évaluation.

6 Références

- Allan, J. D., 2004. *Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems*. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics 35 : 257-284.
- Armanini, D. G., W. A. Monk, L. Carter, D. Cote, et D. J. Baird, 2013. *Towards generalised reference condition models for environmental assessment: a case study on rivers in Atlantic Canada*. Environmental Monitoring and Assessment 185 : 6247-6259.
- Burt, T. P., et G. Pinay, 2005. *Linking hydrology and biogeochemistry in complex landscapes*. Progress in Physical Geography 29 : 297-316.
- Chrisman, N. R., 1999. *What does 'GIS' mean?* Transactions in GIS 3 : 175-186.
- Coetsee, S., I. Ivánová, H. Mitsova, et M. A. Brovelli, 2020. *Open geospatial software and data: a review of the current state and a perspective into the future*. ISPRS International Journal of Geo-Information Multidisciplinary Digital Publishing Institute 9 : 90.
- Frissell, C., W. Liss, C. Warren, et M. Hurley, 1986. *A hierarchical framework for stream habitat classification - viewing streams in a watershed context*. Environmental Management 10 : 199-214.
- Grimstead, J. P., E. M. Krynak, et A. G. Yates, 2018. *Scale-specific land cover thresholds for conservation of stream invertebrate communities in agricultural landscapes*. Landscape Ecology 33 : 2239-2252.
- Holmes, R., D. G. Armanini, et A. G. Yates, 2016. *Effects of best management practice on ecological condition: does location matter?* Environmental Management 57 : 1062-1076.
- Hynes, H. B. N., 1975. *The stream and its valley*. SIL Proceedings, 1922-2010 Informa UK Limited 19 : 1-15.
- Johnson, L., et S. Gage, 1997. *Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems*. Freshwater Biology 37 : 113-132.
- Kattwinkel, M., E. Szöcs, E. Peterson, et R. B. Schäfer, 2020. *Preparing GIS data for analysis of stream monitoring data: The R package openSTARS*. PLOS ONE Public Library of Science 15 : e0239237.
- King, R. S., M. E. Baker, D. F. Whigham, D. E. Weller, T. E. Jordan, P. F. Kazzyak, et M. K. Hurd, 2005. *Spatial considerations for linking watershed land cover to ecological indicators in streams*. Ecological Applications 15 : 137-153.
- Osborne, L. L., et M. J. Wiley, 1988. *Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed*. Journal of environmental management 26 : 9-27.

- Peterson, E. E., F. Sheldon, R. Darnell, S. E. Bunn, et B. D. Harch, 2011. *A comparison of spatially explicit landscape representation methods and their relationship to stream condition*. *Freshwater Biology* 56 : 590-610.
- R Core Team, 2020. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.
- Reynoldson, T. B., R. C. Bailey, K. E. Day, et R. H. Norris, 1995. *Biological guidelines for freshwater sediment based on Benthic Assessment of Sediment (the BEAST) using a multivariate approach for predicting biological state*. *Australian Journal of Ecology* 20 : 198-219.
- Reynoldson, T. B., R. H. Norris, V. H. Resh, K. E. Day, et D. M. Rosenberg, 1997. *The reference condition: a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates*. *Journal of the North American Benthological Society* 16 : 833-852.
- Reynoldson, T. B., D. M. Rosenberg, et V. H. Resh, 2001. *Comparison of models predicting invertebrate assemblages for biomonitoring in the Fraser River catchment, British Columbia*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58 : 1395-1410.
- Richards, C., et G. Host, 1994. *Examining land use influences on stream habitats and macroinvertebrates: a GIS approach*. *Journal of the American Water Resources Association* 30 : 729-738.
- Ritters, K. H., et J. D. Wickham, 1995. *A landscape atlas of the Chesapeake Bay watershed*. Naval Research Lab Stennis Space Center MS Coupled Dynamic Processes Section, <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA350198>.
- Samal, A., S. Seth, et K. Cueto, 2004. *A feature-based approach to conflation of geospatial sources*. *International Journal of Geographical Information Science* Taylor & Francis 18 : 459-489.
- Steiniger, S., et A. J. S. Hunter, 2013. *The 2012 free and open-source GIS software map - a guide to facilitate research, development, and adoption*. *Computers Environment and Urban Systems* Elsevier Sci Ltd, Oxford 39 : 136-150.
- Strachan, S. A., et T. B. Reynoldson, 2014. *Performance of the Standard CABIN Method: Comparison of BEAST Models and Error Rates to Detect Simulated Degradation from Multiple Data Sets*. *Freshwater Science* 33 : 1225-1237.
- Thoms, M., M. Scown, et J. Flotemersch, 2018. *Characterization of river Networks: a GIS approach and its applications*. *Journal of the American Water Resources Association* 54 : 899-913.
- Tsihrintzis, V. A., R. Hamid, et H. R. Fuentes, 1996. *Use of Geographic Information Systems (GIS) in water resources: a review*. *Water Resources Management* 10 : 251-277.
- Vidon, P., C. Allan, D. Burns, T. P. Duval, N. Gurwick, S. Inamdar, R. Lowrance, J. Okay, D. Scott, et S. Sebestyen, 2010. *Hot spots and hot moments in riparian zones: potential for improved water quality management*. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 46 : 278-298.

- Walsh, C. J., et J. Kunapo, 2009. *The importance of upland flow paths in determining urban effects on stream ecosystems*. Journal of the North American Benthological Society 28 : 977-990.
- Walsh, C. J., A. H. Roy, J. W. Feminella, P. D. Cottingham, P. M. Groffman, et R. P. Morgan, 2005. *The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure*. Journal of the North American Benthological Society 24 : 706-723.
- Yates, A., J. Culp, R. Bailey, et P. Chambers, 2019. *Strengths and weaknesses of data sources for describing exposure of aquatic ecosystems to human activity* dans Hughes, R. M., D. M. Infante, K. Chen, L. Wang, et B. de F. Terra (dir.), *Advances in Understanding Landscape Influences on Freshwater Habitats and Biological Assemblages*. American Fisheries Society, <https://doi.org/10.47886%2F9781934874561.ch2>.
- Yates, A. G., et R. C. Bailey, 2010a. *Selecting objectively defined reference sites for stream bioassessment programs*. Environmental Monitoring and Assessment 170 : 12-140.
- Yates, A. G., et R. C. Bailey, 2010b. *Improving the description of human activities potentially affecting rural stream ecosystems*. Landscape Ecology 25 : 371-382.
- Yates, A. G., R. B. Brua, J. Corriveau, J. M. Culp, et P. A. Chambers, 2014. *Seasonally driven variation in spatial relationships between agricultural land use and in-stream nutrient concentrations*. River Research and Applications 30 : 476-493.

7 Glossaire

Assurance de la qualité	Processus utilisés pour s'assurer que les données répondent aux objectifs de qualité des données et pour prévenir les anomalies.
Attribut	Information non spatiale sur une caractéristique, stockée dans un tableau et liée à la caractéristique.
Bassin versant	Zone de terre délimitée en périphérie par une ligne de partage et qui finit par s'écouler dans un cours d'eau donné.
Contrôle de la qualité	Processus utilisés pour s'assurer que les produits répondent aux objectifs et critères de qualité globaux.
Couverture	Superficie totale décrite par un ensemble de données géospatiales précis.
Délimiter	Décrire de façon géospatiale la limite ou la frontière d'un attribut (p. ex. bassin versant).
Données géospatiales	Données associées à un emplacement géographique précis.
Échelle	Relation entre la distance sur une carte et la distance correspondante en réalité.
Fusion de données	Combinaison ou rapprochement de deux ensembles de données géospatiales qui se chevauchent.
Gradient anthropique	Tout l'éventail d'une activité humaine donnée (p. ex. pourcentage d'utilisation des terres agricoles) dans une zone d'intérêt.
Gradient de l'activité humaine (GAH)	Ensemble d'écosystèmes (p. ex. tronçons, bassins ou autres unités géographiques d'intérêt) dont l'exposition aux activités humaines varie (Yates et Bailey, 2010b).
Gradient naturel	Tout l'éventail d'un attribut naturel donné du paysage (p. ex. géologie de surface, taille du cours d'eau) dans une zone d'intérêt.
Hydrogramme	Représentation graphique du débit d'un cours d'eau sur une période donnée.
Intersection	Sélection d'attributs à partir d'une couche de données en fonction de l'emplacement où les données se recoupent dans deux sources ou plus.
Jointure spatiale	Fonction qui ajoute des attributs d'une couche de caractéristiques à une autre en fonction de leur relation spatiale.

Métadonnées	Information sur les données. Les métadonnées contiennent souvent, sans s’y limiter, des renseignements sur l’origine des données, la date de composition, la qualité, la projection, l’échelle, la résolution et les descriptions des attributs.
Modèle altimétrique numérique (MAN)	Caractérisation numérique de la topographie de surface.
Ordre du cours d’eau	Méthode pour indiquer la taille des segments de cours d’eau, en commençant par le premier ordre, qui est la désignation la plus petite, et en augmentant l’ordre lorsque des segments de taille égale se réunissent (p. ex. deux cours d’eau de deuxième ordre convergent pour devenir un cours d’eau de troisième ordre).
Plan probabiliste	Les sites d’échantillonnage sont choisis au hasard dans la zone d’intérêt.
Plan stratifié	Les sites d’échantillonnage sont placés en groupes en fonction d’attributs environnementaux semblables représentant l’ensemble des conditions naturelles et humaines présentes dans la région.
Résolution	Plus petite différence entre des positions adjacentes qui peut être enregistrée. Une résolution plus élevée indique que plus de détails sont détectables.
Segment	Partie de cours d’eau située longitudinalement entre deux confluent.
Sinuosité	Rapport entre la longueur du cours d’eau et la longueur de la vallée.
Site d’étude	Site qui peut être touché par l’activité humaine et qui fait l’objet d’une évaluation de l’état du cours d’eau.
Site de référence	Site peu exposé aux activités humaines.
Source ouverte	Logiciel dont le code source est ouvertement disponible afin que l’utilisateur puisse le modifier, le copier et le partager.
Stratification des données	Tri des données en groupes distincts en fonction de la similarité des attributs.
Système d’information géographique (SIG)	Système informatique dédié à la saisie, l’assemblage, la manipulation, l’analyse, le stockage et l’affichage de renseignements géographiquement référencés.
Tronçon	Partie du cours d’eau dans laquelle l’évaluation doit avoir lieu. En pratique, toute partie d’un cours d’eau telle que définie par l’utilisateur.

8 Guide de référence rapide

8.1 Trouver des données géospatiales

1. La plupart des provinces et des territoires proposent des données géospatiales à télécharger, tout comme le gouvernement fédéral du Canada.
2. Avant de chercher des données géospatiales, élaborer un plan de recherche de données en fonction des données idéales pour les objectifs d'évaluation de l'état du cours d'eau.
3. Les données parfaites ne sont peut-être pas disponibles, mais vous trouverez probablement des données qui répondent aux besoins de votre projet.

8.2 Sélectionner des données géospatiales

1. Vérifiez que les données sélectionnées couvrent toute l'étendue spatiale de la zone d'étude d'intérêt.
2. Assurez-vous que les données sélectionnées ont un cadre temporel pertinent pour la période d'étude.
3. La résolution des données sélectionnées devrait être suffisante pour illustrer les différences de caractère du paysage qui sont pertinentes pour les objectifs de l'évaluation du cours d'eau.
4. Il peut être nécessaire d'utiliser des données de résolution plus grossière pour équilibrer les besoins entre la couverture et la résolution, en particulier lorsque les zones d'étude traversent des limites ou des frontières politiques.

8.3 AQ/CQ des données

1. Des protocoles d'AQ/CQ devraient être en place pour toutes les étapes de la sélection, de l'utilisation des données et de la production de rapports.
2. Vérifiez la qualité des données avant de les utiliser : les vérifications devraient permettre d'évaluer si l'ensemble de données est complet, exact et conforme à ce qui est annoncé.
3. Procédez à une AQ/CQ des données après chaque processus réalisé au moyen de SIG pour vous assurer que les erreurs sont corrigées avant qu'elles ne se propagent.

4. Examinez les sorties de données pour vérifier que les valeurs des paramètres répondent aux attentes des données analysées.

8.4 Métadonnées

1. Les métadonnées devraient être produites pour toutes les données de SIG générées en vue d'une utilisation dans une évaluation de cours d'eau.
2. Les métadonnées doivent comprendre des renseignements sur l'analyste qui a généré les données, les données sources originales (p. ex. résolution, couverture, cadre temporel) et les descriptions des nouvelles données (p. ex. définition des noms de champs).

8.5 Sélection et description du site d'évaluation

1. Les SIG peuvent être utilisés pour déterminer automatiquement les sites de cours d'eau potentiels qui répondent à des critères précis (p. ex. à un franchissement du cours d'eau par une route).
2. Les SIG peuvent aider à déterminer les meilleurs sites de référence disponibles car ils permettent de générer les distributions statistiques de l'exposition à l'activité humaine à partir de descriptions obtenues au moyen de SIG.
3. Le niveau de résolution idéal de la description d'une activité humaine donnée dépendra principalement de la nature de cette activité et de la lentille spatiale nécessaire pour l'observer.
4. L'utilisation d'approches spatialement descriptives (p. ex. zones de sous-bassins versants, modèles axés sur la pondération inverse à la distance) permet de mieux comprendre l'exposition probable d'un cours d'eau à une activité donnée.
5. L'utilisation des SIG pour générer des descriptions complètes des conditions environnementales naturelles est une approche puissante pour créer un plan d'échantillonnage stratifié.

8.6 Conception d'un modèle fondé sur l'ACR

1. Les SIG sont un moyen pratique d'acquérir des descriptions à grande échelle de sites de référence qui ne sont pas touchés par l'activité humaine.
2. Il faut vérifier que les attributs géospaciaux décrits ne sont pas touchés par les activités humaines présentes sur les sites d'étude avant de les utiliser dans les exercices de conception de modèles.

3. En utilisant des données géospatiales qui ne sont pas intrinsèquement variables sur de courtes périodes, il ne sera plus nécessaire d'apparier temporellement les descripteurs environnementaux avec les dates d'échantillonnage du cours d'eau et on pourra réduire la fréquence à laquelle les modèles devront être actualisés en raison des changements temporels dans les prédictors géospatiaux utilisés.
4. Il faut examiner régulièrement les prédictors du modèle dérivés au moyen du SIG et les actualiser au besoin pour s'assurer que les données demeurent les renseignements géospatiaux les plus appropriés disponibles pour atteindre les objectifs de l'évaluation du cours d'eau.
5. L'utilisation d'un ensemble de couches de données géospatiales à l'échelle nationale pour générer des modèles fondés sur l'ACR présente l'avantage que les modèles obtenus peuvent être appliqués à de plus grandes étendues spatiales et au-delà des limites ou frontières politiques.

8.7 Interprétation de l'évaluation

1. Les SIG peuvent fournir des descriptions de grande qualité des quantités et des types d'activités humaines et permettent de produire un résumé complet des activités qui ont pu avoir des effets sur le biote du cours d'eau.
2. Un modèle conceptuel établissant les voies probables par lesquelles les activités humaines menées dans le bassin versant du site d'étude peuvent influencer sur les conditions biologiques devrait permettre de déterminer les données géospatiales à utiliser pour interpréter les résultats de l'évaluation du cours d'eau.
3. Les données géospatiales qui fournissent le plus de détails sur les activités humaines sont les plus recommandées pour interpréter les causes probables des résultats de l'évaluation des cours d'eau.

9 Ressources complémentaires

9.1 Ressources liées aux SIG

9.1.1 Introduction aux SIG et aux logiciels de SIG – Livres

Bolstad, P., 2019. *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*, 6^e éd. mise à jour. XanEdu Publishing.

Brunsdon, C., et L. Comber, 2019. *An Introduction to R for Spatial Analysis and Mapping*. SAGE Publications, Thousand Oaks (Calif.).

Cutts, A., et A. Graser, 2018. *Learn QGIS: Your step-by-step guide to the fundamental of QGIS 3.4*, 4^e éd. Packt Publishing.

Kwast, H. V. D., et K. Menke, 2019. *QGIS for Hydrological Applications: Recipes for Catchment Hydrology and Water Management*. Locate Press.

Law, M., et A. Collins, 2021. *Getting to Know ArcGIS Desktop 10.8*. Esri Press.

MacLeod, C. D., 2015. *GIS For Biologists: A Practical Introduction For Undergraduates*. Pictish Beast Publications, Glasgow (R.-U.).

Shellito, B. A., 2017. *Discovering GIS and ArcGIS*. WHFreeman, New York (N.Y.).

Wegmann, M. J. Schwalb-Willmann, et S. Dech, 2020. *Introduction to Spatial Data Analysis*. Pelagic Publishing, Exeter (R.-U.).

Wegmann, M., B. Leutner, et S. Dech (dir.), 2015. *Remote Sensing and GIS for Ecologists: Using Open-source Software*. Pelagic Publishing, Exeter (R.-U.).

9.1.2 Introduction aux SIG et aux logiciels de SIG – Ressources en ligne

Bivand, R., 2021. *CRAN Task View: Analysis of Spatial Data*. <https://CRAN.R-project.org/view=Spatial>

Campbell, J. E., et M. Shin, 2011. *Essentials of Geographic Information Systems*. Saylor Foundation. Open Textbook Library. <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/67>

Geospatial Analysis - spatial and GIS analysis techniques and GIS software. 2021. <https://spatialanalysisonline.com/index.html>

GRASS GIS. <https://grass.osgeo.org/>

Lansley, G., et J. Cheshire, 2016. *An Introduction to Spatial Data Analysis and Visualisation in R* | CDRC Data. <https://data.cdrc.ac.uk/dataset/introduction-spatial-data-analysis-and-visualisation-r>

Manuel d'exercice QGIS — QGIS Documentation. https://docs.qgis.org/3.16/fr/docs/training_manual/

Sadler, J. *Introduction to GIS with R*. Jesse Sadler. <https://jessesadler.com/post/gis-with-r-intro/>

Spatial Data Science with R — R Spatial. <https://www.rspatial.org/>

Sutton, T., O. Dassau, et M. Sutton, 2021. *Une rapide introduction aux SIG*.
https://docs.qgis.org/3.16/fr/docs/gentle_gis_introduction/index.html

9.1.3 Logiciels et outils de SIG

Bivand, R., 2021. *CRAN Task View: Analysis of Spatial Data*. <https://CRAN.R-project.org/view=Spatial>

Esri - Environmental Systems Research Institute. <https://www.esri.com/fr-fr/home>

GRASS GIS. <https://grass.osgeo.org/>

Kattwinkel, M., et E. Szöcs, 2020. *openSTARS: An open-source implementation of the "ArcGIS" Toolbox "STARS."* <https://CRAN.R-project.org/package=openSTARS>

OSGeo - The Open-source Geospatial Foundation. <https://www.osgeo.org/>

QGIS. <https://www.qgis.org/fr/site/>

R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

9.2 AQ/CQ

ArcGIS Geodatabase Topology Rules.
https://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/001t/pdf/topology_rules_poster.pdf

Bolstad, P., 2019. *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*, 6^e éd. mise à jour. XanEdu Publishing.

Johnson, M., et M. Mozingo. *QA/QC for your GIS data*. <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/about/events/media/UC-2019/technical-workshops/tw-6391-1016.pdf>

Pascual, P. S., 2011. *GIS Data: A Look at Accuracy, Precision, and Types of Errors*. GIS Lounge.
<https://www.gislounge.com/gis-data-a-look-at-accuracy-precision-and-types-of-errors/>

Rozenfeld, N., 2013. *How to Check Your GIS Data*. GIS Lounge. <https://www.gislounge.com/check-gis-data/>

Smith, S., et J. Cary, 2010. *Developing a quality assurance plan*. ArcGIS Blog.
<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/data-reviewer/data-management/developing-a-quality-assurance-plan/>

Srivastava, R. N., 2008. *Spatial Data Quality: An Introduction*. GIS Lounge.
<https://www.gislounge.com/spatial-data-quality-an-introduction/>

United States Geological Survey. *Data Management - Manage Quality*.
<https://www.usgs.gov/products/data-and-tools/data-management/manage-quality>

9.3 Métadonnées

Bolstad, P., 2019. *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*, 6^e éd. mise à jour. XanEdu Publishing.

FGDC Technical Guidance — Federal Geographic Data Committee. <https://www.fgdc.gov/technical-guidance>

Ressources naturelles Canada. *Métadonnées géospatiales numériques*.
<https://www.rncan.gc.ca/node/projet-pilote-dinteroperabilite-de-licdg-video/metadonnees-geospatiales-numeriques/8913>

United States Geological Survey. *Formal metadata: information and software*.
<https://geology.usgs.gov/tools/metadata/>

United States Geological Survey. *Data Management - Metadata Creation*.
<https://www.usgs.gov/products/data-and-tools/data-management/metadata-creation>

9.4 Pondération inverse à la distance (PID)

Peterson, E. E., F. Sheldon, R. Darnell, S. E. Bunn, et B. D. Harch, 2011. *A comparison of spatially explicit landscape representation methods and their relationship to stream condition*. *Freshwater Biology* 56 : 590-610.

Staponites, L. R., V. Barták, M. Bílý, et O. P. Simon, 2019. *Performance of landscape composition metrics for predicting water quality in headwater catchments*. *Scientific Reports Nature Publishing Group* 9 : 14405.

Yates, A. G., R. B. Brua, J. Corriveau, J. M. Culp, et P. A. Chambers, 2014. *Seasonally driven variation in spatial relationships between agricultural land use and in-stream nutrient concentrations*. *River Research and Applications* 30 : 476-493.