

ÉVALUATION DES RISQUES DE CONTAMINATION MICROBIENNE DES EAUX RÉCRÉATIVES AU CANADA À L'AIDE D'IMAGES SATELLITES :

PROJET PILOTE SUR DES PLAGES PUBLIQUES
DU QUÉBEC MÉRIDIONAL



PROTÉGER LES CANADIENS CONTRE LES MALADIES



**PROMOUVOIR ET PROTÉGER LA SANTÉ DES CANADIENS GRÂCE AU LEADERSHIP, AUX PARTENARIATS,
À L'INNOVATION ET AUX INTERVENTIONS EN MATIÈRE DE SANTÉ PUBLIQUE.**

— Agence de la santé publique du Canada

Available in English under the title:
*Risk Assessment of Microbial Contamination of Recreational Waters in Canada
Using Satellite Imagery: Pilot Project on Public Beaches in Southern Quebec*

Pour obtenir des copies supplémentaires, veuillez communiquer avec :

Division Science des risques pour la santé publique,
Laboratoire de lutte contre les zoonoses d'origine alimentaire
Agence de la santé publique du Canada
Saint-Hyacinthe, Québec J2S 7C6
Tél. : 450-773-8521, ext 8492
Télééc. : 450-778-8129
Courriel : geomatics@phac-aspc.gc.ca

On peut obtenir, sur demande, la présente publication en formats de substitution.

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2013

IMPRIMÉ Cat.: HP40-79/2013
ISBN: 978-1-100-54478-6

PDF Cat.: HP40-79/2013F-PDF
ISBN: 978-0-662-76985-9

PUB 120181

ÉVALUATION DES RISQUES DE CONTAMINATION MICROBIENNE DES EAUX RÉCRÉATIVES AU CANADA À L'AIDE D'IMAGES SATELLITES :

PROJET PILOTE SUR DES PLAGES PUBLIQUES
DU QUÉBEC MÉRIDIONAL

PROJET RÉALISÉ PAR LA DIVISION SCIENCE DES RISQUES POUR LA SANTÉ PUBLIQUE
DU LABORATOIRE DE LUTTE CONTRE LES ZOOSES D'ORIGINE ALIMENTAIRE

AGENCE DE LA SANTÉ PUBLIQUE DU CANADA

MARS 2013

TABLE DES MATIÈRES

But du rapport	II
Mission et priorités de l'Agence de la santé publique du Canada	II
Équipe de recherche	II
Mise en contexte	1
Objectifs	1
Méthodologie	2
Plages à l'étude	2
Mesures de la contamination fécale	3
Déterminants environnementaux	3
Estimation des déterminants environnementaux par classification d'images satellites	4
Analyses statistiques	6
Comparaison des différents types d'images d'observation de la Terre	6
Résultats et évaluation	7
Performance des images d'observation de la Terre dans la caractérisation du territoire et l'évaluation du risque de contamination microbienne des eaux récréatives	7
Utilité des images d'observation de la Terre dans la surveillance des risques microbiens associés aux eaux récréatives	8
Conclusion et directions futures	9
Remerciements	11
Références	12

BUT DU RAPPORT

Ce rapport résume les principales activités scientifiques d'un projet de télé-épidémiologie intitulé : « Évaluation des risques de contamination microbienne des eaux récréatives au Canada à l'aide d'images satellites : Projet pilote sur les plages publiques du Québec méridional ». Ce projet a été réalisé grâce au financement du programme intergouvernemental en observation de la Terre de l'Agence spatiale canadienne (IGOT-ASC). Les travaux ont été accomplis à l'intérieur des trois années de financement du programme IGOT-ASC soit de 2009 à 2012.

MISSION ET PRIORITÉS DE L'AGENCE DE LA SANTÉ PUBLIQUE DU CANADA

La baignade en eaux naturelles peut représenter un risque pour la santé publique par la présence possible de bactéries nocives pour la santé dans l'eau des lacs et des rivières. Une des missions de l'Agence de la santé publique du Canada est de mieux comprendre l'étendue et les implications de ce risque afin de promouvoir et de protéger la santé des Canadiens et d'élaborer des initiatives de préventions ciblées pour cet enjeu. Dans le domaine de la gestion du risque, l'Agence souligne le besoin de renforcer nos habiletés à anticiper ou répondre aux risques potentiels ou réels pour la santé, et une de ses priorités est le développement de connaissances et d'outils qui aideront à la mise en place de recommandations afin de prévenir ces risques pour la population.

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Ces travaux ont été dirigés par la Division Sciences des risques pour la santé publique du Laboratoire de lutte contre les zoonoses d'origine alimentaire (SRSP-LLZOA) de l'Agence de la santé publique du Canada, en collaboration avec le département de géomatique appliquée de l'Université de Sherbrooke. Les membres de cette équipe font tous partie du Groupe de recherche en épidémiologie des zoonoses et santé publique de l'Université de Montréal (GREZOSP).

- Stéphanie Brazeau¹, M. Sc. (ASPC)²
- Francine Essono, M. Sc. (Université de Sherbrooke)
- Richard Fournier, M.Sc., Ph. D. (Université de Sherbrooke)
- Serge Olivier Kotchi, M. Sc, Ph. D.(Cand.) (ASPC)
- Martin-Pierre Lavigne, M. Sc. (ASPC)
- Pascal Michel, D.M.V., MPVM, Ph. D. (ASPC)
- Yann Pelcat, M.Sc. (ASPC)
- Patricia Turgeon, D.M.V., Ph. D. (ASPC)

¹ Personne-ressource : stephanie.brazeau@phac-aspc.gc.ca

² Agence de la santé publique du Canada

MISE EN CONTEXTE

La baignade et les activités en eaux naturelles peuvent être associées à différents risques pour la santé humaine, incluant des maladies infectieuses, des maladies reliées à des polluants chimiques et des blessures accidentelles (OMS, 2003). Bien que tous les baigneurs soient susceptibles de développer des problèmes de santé par suite de baignade, certains groupes courent un risque plus élevé comme les personnes âgées, les jeunes enfants et les personnes immunocompromises. Les maladies les plus souvent associées à la baignade sont les gastro-entérites, mais des infections respiratoires, cutanées et des otites ont également été liées à ce type d'activités (Pruss, 1998). Différents types de pollution peuvent affecter les eaux récréatives incluant la contamination fécale, les algues, les cyanobactéries, de même que des polluants chimiques (OMS, 2003). La contamination fécale peut amener un grand nombre de micro-organismes pouvant causer des maladies chez les humains qui y sont exposés et elle peut provenir de plusieurs sources, incluant les activités agricoles, les activités urbaines et la faune sauvage.

Actuellement, le suivi de la qualité des eaux récréatives est principalement basé sur la détection d'indicateurs microbiens de pollution fécale, comme la bactérie *Escherichia coli* et les coliformes fécaux, qui peuvent fournir une appréciation de la qualité des eaux relativement rapidement. Bien que ces mesures soient importantes et essentielles pour la prise rapide d'actions en santé publique, elles ne permettent pas une évaluation globale du risque de contamination fécale des eaux. En addition à l'analyse de l'eau, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande aussi l'évaluation et le suivi des sources de contamination et des caractéristiques de l'environnement (déterminants environnementaux) pouvant favoriser un risque accru de contamination fécale comme certaines utilisations du territoire et la topographie (OMS, 2003).

OBJECTIFS

Le projet visait à évaluer l'utilité et la valeur ajoutée des données satellitaires comme composantes dans la surveillance et la gestion des risques microbiens associés aux eaux récréatives. Plus spécifiquement, cette évaluation incluait le développement de mesures utilisant

PRINCIPALES MALADIES ASSOCIÉES À LA BAIGNADE EN EAUX NATURELLES

- Gastro-entérites
- Infections respiratoires
- Dermatitis
- Otites

La combinaison de ces deux composantes de suivi fournirait une base pour une évaluation globale et une classification des eaux de baignade selon le risque et le niveau actuel de pollution fécale. Suivant cette optique, il y avait donc un besoin de développer de nouvelles méthodes efficaces et robustes permettant de décrire l'environnement proximal de ces eaux et ainsi contribuer à l'identification des caractéristiques environnementales favorisant un risque accru de contamination fécale et par le fait même l'identification des plages à risque.

La télé-épidémiologie consiste à suivre et à évaluer la distribution de maladies animales et humaines fortement associées aux variations climatiques et environnementales à travers l'application de technologies spatiales, incluant les images d'observation de la Terre (IOT) issues des satellites de télédétection (Marechal et al., 2008). Étant donné qu'elles peuvent fournir de l'information détaillée sur la couverture et l'utilisation du territoire, les IOT font partie des nouvelles méthodes à explorer pour l'évaluation du risque de contamination fécale des eaux récréatives. Ce projet pilote constitue donc une première évaluation technique de l'utilisation des IOT, et plus spécifiquement des images satellites, dans l'évaluation de ce risque.

des données satellitaires et associées conceptuellement aux risques microbiens des eaux récréatives, ainsi que la construction et l'évaluation de modèles statistiques mettant en relation le niveau moyen de contamination des plages à l'étude et les mesures développées.

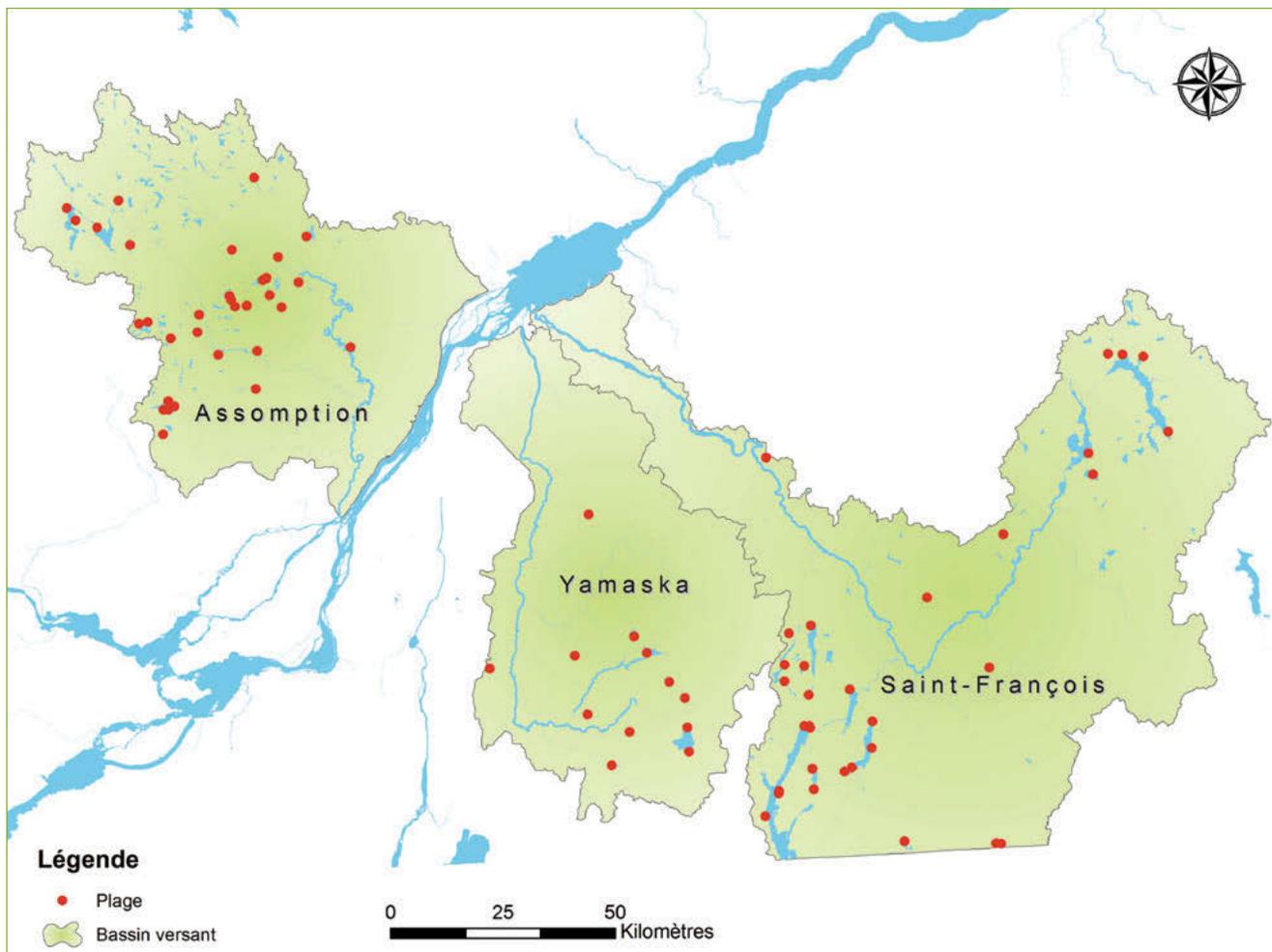
MÉTHODOLOGIE

PLAGES À L'ÉTUDE

Les plages à l'étude étaient localisées dans trois bassins versants du sud du Québec, soit les bassins des rivières Yamaska, Saint-François et L'Assomption (Figure 1). Seules les plages situées aux abords d'un lac et ayant participé

au programme de suivi des eaux récréatives du Québec, le programme Environnement-Plage, pendant au moins trois étés entre 2004 et 2011 inclusivement, furent retenues pour les analyses (n=78) (MDDEP, 2006).

FIGURE 1. Distribution des plages à l'étude dans les trois bassins versants



MESURES DE LA CONTAMINATION FÉCALE

Les mesures de contamination fécale utilisées pour ce projet provenaient du programme provincial de suivi des eaux récréatives du Québec, le programme Environnement-Plage. Grâce à ce programme, des échantillons d'eau ont été prélevés durant les mois de juin, juillet et août de chaque été à l'étude (2004 à 2011). Pour ce projet, la moyenne de la concentration en coliformes fécaux (indicateur microbien de pollution fécale) de toutes les collectes effectuées durant la période d'étude fut utilisée comme mesure représentant le niveau moyen de contamination pour chacune des plages. Cette mesure se voulait un indicateur général de la contamination d'une plage peu affectée par des valeurs extrêmes pouvant survenir à la suite de circonstances particulières associées à une séance d'échantillonnage spécifique, comme de fortes pluies ou une période de canicule.

DÉTERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX

Ce projet s'intéressait aux déterminants environnementaux associés à la contamination fécale des eaux récréatives qui demeurent relativement stables dans le temps comme l'occupation du territoire et la topographie, ce qui exclut par ailleurs les déterminants plus susceptibles à une variation temporelle élevée comme les conditions météorologiques ponctuelles. Selon une étude précédente, environ 40 % de la variation du niveau moyen de contamination fécale des plans d'eau récréatifs serait attribuable à ces déterminants plutôt stables dans le temps (Turgeon *et al.*, 2011). La figure 2 illustre les déterminants ciblés dans ce projet. Les mesures représentant ces déterminants et utilisées dans les modèles statistiques ont été basées principalement sur l'occupation du territoire et certaines caractéristiques géohydrologiques des plages à l'étude, incluant les conditions climatiques moyennes d'une région, la topographie du terrain, la capacité de drainage du sol ainsi que le nombre d'affluents et la superficie du lac auquel la plage est associée.

FIGURE 2. Schéma des déterminants environnementaux pouvant être associés à la contamination fécale des eaux récréatives

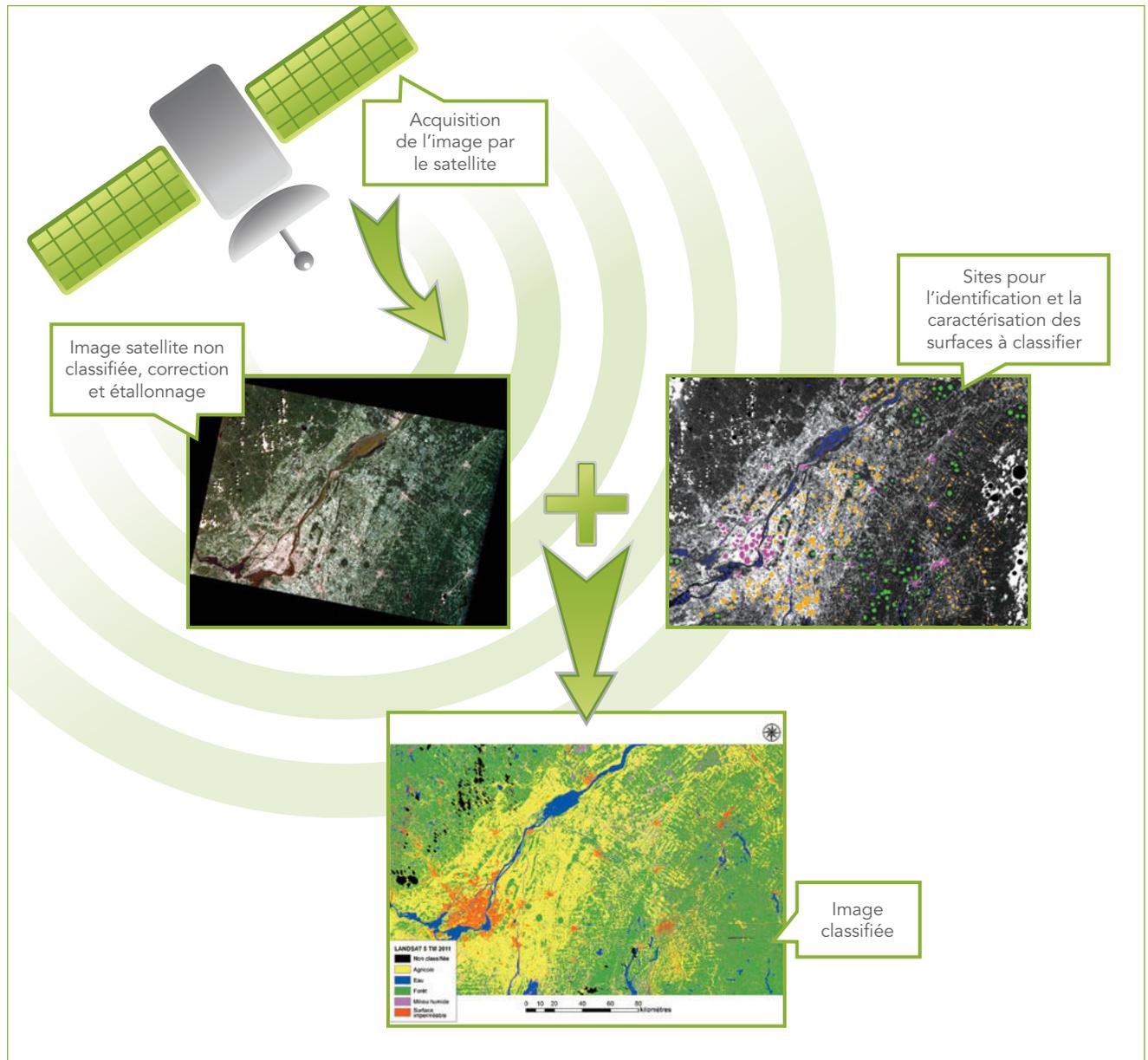


Les superficies correspondant aux types d'occupations du territoire étudié, soient les surfaces agricoles, imperméables, forestières et les milieux humides, ont été extraites à partir de données issues d'images satellites classifiées. Les surfaces agricoles incluent les terres en culture de même que les pâturages. Ces surfaces peuvent représenter une source de plusieurs micro-organismes fécaux et elles peuvent entraîner la contamination des eaux de surface par différentes voies incluant le dépôt direct de matières fécales par les animaux au pâturage et l'épandage de fumier. En télédétection, les surfaces imperméables à l'eau comme les routes, les édifices et les stationnements sont généralement utilisées comme un indice du degré d'urbanisation d'une région (Zhang *et al.*, 2010). Les milieux urbains peuvent représenter des sources de micro-organismes fécaux à travers différents mécanismes comme le ruissellement des eaux de pluie contenant des microbes issus des déchets domestiques, des animaux domestiques et de la faune urbaine, de même que par des déversements d'eaux usées directement dans les cours d'eau (Marsalek and Rochfort, 2004). Les surfaces forestières ont quant à elles été associées à une meilleure qualité des plans d'eau de par leur capacité à réduire le ruissellement de même que la charge de nutriments et de sédiments transportée vers les cours d'eau et aussi par leur influence positive sur l'augmentation de l'infiltration de l'eau vers la nappe phréatique (Matteo *et al.*, 2006). Les milieux humides peuvent aussi avoir une influence positive sur la qualité de l'eau en agissant comme filtre grâce à leur capacité de rétention des nutriments, sédiments et micro-organismes provenant du milieu environnant, incluant ceux d'origine fécale (Kao et Wu, 2001).

ESTIMATION DES DÉTERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX PAR CLASSIFICATION D'IMAGES SATELLITES

Les données issues d'images de divers satellites d'observation de la Terre ont été utilisées pour la cartographie et le suivi de l'occupation du territoire. Ces images satellites présentent des spécificités propres permettant de décrire des phénomènes survenant à des échelles variées. Dans cette étude, les images satellites ont été évaluées à travers les capacités qu'elles offrent dans l'estimation et le suivi des déterminants environnementaux. Les principaux capteurs satellitaires utilisés pour l'extraction des données d'occupation du territoire furent : SPOT-5, Landsat-5, Meris FRS1, MODIS, AVHRR, GeoEye et WorldView. La figure 3 présente le schéma méthodologique général du traitement des images issues des différents types d'IOT évalués.

FIGURE 3. Schéma méthodologique général du traitement des images issues des différents types d'IOT évalués



ANALYSES STATISTIQUES

Des analyses statistiques ont été effectuées afin de comparer la capacité des différents types d'IOT à décrire les environnements proximaux des plages à l'étude, ainsi qu'à identifier les déterminants environnementaux ayant la plus grande influence sur le niveau de pollution fécale de ces plages.

COMPARAISON DES DIFFÉRENTS TYPES D'IMAGES D'OBSERVATION DE LA TERRE

Différents critères de comparaison peuvent être pris en compte dans la comparaison des types d'IOT concernant leur capacité à identifier les caractéristiques de l'environnement associées à un plus haut niveau de pollution fécale et contribuer à l'identification des eaux récréatives à plus haut risque de contamination. De plus, certains critères doivent également être pris en compte lorsque ces informations sont recueillies dans un but éventuel de pouvoir être intégrées dans un programme de surveillance des eaux récréatives. Parmi ces critères, notons les résultats des analyses statistiques, le coût des images, les heures de travail ainsi que l'expertise et le matériel requis pour le traitement des images.

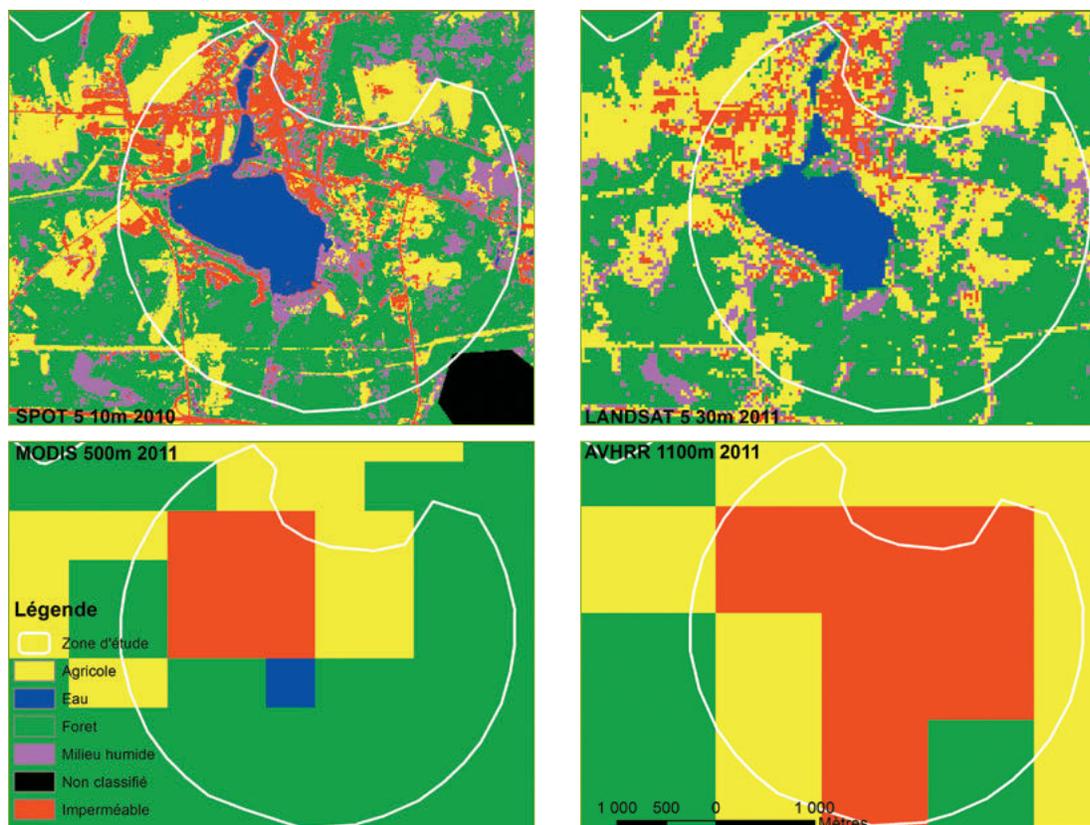
RÉSULTATS ET ÉVALUATION

PERFORMANCE DES IMAGES D'OBSERVATION DE LA TERRE DANS LA CARACTÉRISATION DU TERRITOIRE ET L'ÉVALUATION DU RISQUE DE CONTAMINATION MICROBIENNE DES EAUX RÉCRÉATIVES

La classification des images satellites issues des différents systèmes d'observation de la Terre donne globalement de bons résultats à l'échelle de la région d'étude. Des types d'occupation du sol s'étendant habituellement sur de grandes superficies homogènes comme les plans d'eau et les couverts forestiers ont été les mieux identifiés à l'aide des

différents types d'IOT. L'évaluation des images classifiées montre que l'estimation des surfaces correspondantes aux différents déterminants environnementaux étudiés est fortement dépendante du type d'IOT utilisé. Les IOT de plus faible résolution spatiale (pixel de 250 m et plus) masquent l'hétérogénéité des types de surface qu'il serait normalement possible d'observer dans les environnements proximaux des plages à l'étude. Les IOT à résolution spatiale plus fine (30 m ou moins) possèdent une meilleure capacité de discrimination (Figure 4). Cette variabilité est d'autant plus importante lorsque les types de surface étudiés occupent une plus petite superficie comme les surfaces imperméables et les surfaces agricoles. L'estimation des plus petites surfaces présente donc une plus grande incertitude comparativement à des surfaces de plus grande superficie comme les forêts.

FIGURE 4. Variabilité des types de surfaces représentant les déterminants environnementaux étudiés pour quatre types d'IOT différents



PRINCIPALES LIMITES RENCONTRÉES LORS DE LA CLASSIFICATION DES IMAGES SATELLITES

- Couverture nuageuse
- Variabilité des milieux humides
- Date d'acquisition des images

Malgré les bons résultats généraux de classification, des limites ont été rencontrées concernant la classification des images issues de tous les types d'IOT. Dans un premier temps, la présence de nuages et de l'ombre de ceux-ci a empêché la classification de tous les pixels des images dans plusieurs cas. Pour limiter ces situations, des IOT ont été captées à différentes dates et tout au long de l'été. Deuxièmement, les milieux humides, dus à leurs petites superficies et leur variation dans le temps, ont présenté certaines contraintes au niveau de la classification. Ces milieux constituent d'ailleurs le type d'occupation du sol qui présente les plus faibles valeurs de précision de classification. De plus, la date d'acquisition des IOT a un effet sur les résultats de classification de ces dernières et l'effet concerne principalement les surfaces végétales et les milieux humides. De façon générale, la distinction entre les différentes classes s'effectue plus facilement et plus précisément lorsque les images à classer ont été prises à la fin du printemps ou au début de l'été (fin mai, début juin). L'analyse concomitante d'IOT prises à plusieurs dates durant la période estivale se présente donc comme une approche prometteuse pour une meilleure discrimination des classes d'occupation du sol à divers niveaux de détails, selon les déterminants environnementaux d'intérêt.

Suite à l'évaluation des modèles statistiques, il a été possible de faire ressortir certaines occupations du territoire favorisant un risque accru de contamination des eaux récréatives. En effet, les eaux récréatives situées dans des environnements avec des proportions de terres agricoles et/ou de surfaces imperméables élevées sont sujettes à une contamination fécale plus élevée. Le satellite offrant les IOT obtenant la meilleure performance au niveau des modèles statistiques mettant en relation le niveau moyen de contamination fécale des plages et les mesures développées est Landsat-5.

Pour terminer, il a été possible d'effectuer la comparaison des différents types d'IOT suivant les critères abordés

précédemment. À la suite de cette comparaison, les images de MODIS semblent présenter quelques points intéressants par rapport aux autres, principalement en ce qui concerne les aspects techniques comme le coût des images, les heures de travail ainsi que le matériel et l'expertise requis pour le traitement des images. Par contre, le modèle statistique construit à l'aide des images issues de MODIS ne performe pas bien en terme de pouvoir de prédiction du niveau moyen de contamination fécale et cette limite peut représenter un inconvénient majeur pour un programme dont l'objectif est de cibler les plages à plus haut risque de contamination fécale. Une recherche de compromis entre tous les critères devra donc être nécessaire pour déterminer le meilleur type d'IOT à utiliser. Pour le moment, en offrant la meilleure performance au niveau du modèle statistique et en fournissant des images gratuitement, le satellite Landsat-5 apparaît comme le meilleur choix.

LANDSAT-5 OFFRE LE MEILLEUR COMPROMIS ENTRE TOUS LES CRITÈRES DE COMPARAISON DES CAPTEURS

UTILITÉ DES IMAGES D'OBSERVATION DE LA TERRE DANS LA SURVEILLANCE DES RISQUES MICROBIENS ASSOCIÉS AUX EAUX RÉCRÉATIVES

Ce projet nous a permis d'identifier deux principales influences sur la qualité microbiologique des eaux récréatives, soient les activités agricoles et les activités urbaines. Le niveau de classification utilisé ne nous permet pas d'identifier les mécanismes exacts impliqués dans cette contamination étant donné que nous ne pouvons identifier précisément quelles activités agricoles (épandage de fumier, animaux au pâturage, amas de fumier aux sites de production) et activités urbaines (densité de population, achalandage à la plage) influencent le plus le niveau de contamination fécale des plages. Par contre, les informations tirées de ce niveau de classification nous permettent de cibler certaines caractéristiques environnementales pouvant augmenter le risque de contamination. Ceci pourrait

donc nous permettre d'identifier les plages présentant un risque plus élevé de pollution fécale et ainsi favoriser une meilleure attribution des ressources.

PRINCIPAUX DÉTERMINANTS INFLUENÇANT LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES EAUX À L'ÉTUDE

- Activités agricoles
- Activités urbaines

Les données issues d'IOT peuvent procurer des avantages certains par rapport aux autres méthodes de cueillette de données. Dans un premier temps, les images satellitaires peuvent couvrir un très grand territoire ce qui peut s'avérer un bon avantage dans le contexte québécois et canadien. De plus, les données issues d'IOT d'un même satellite peuvent être reproductibles et constantes sur une longue période de temps. Dans le cadre d'un programme de surveillance des eaux récréatives, ces deux éléments pourraient permettre un suivi régulier de l'évolution des caractéristiques environnementales identifiées comme

celles favorisant un risque plus élevé de contamination microbienne. Contrairement aux données de recensement qui sont regroupées en régions administratives, certaines IOT peuvent servir à produire des cartes des caractéristiques environnementales et de l'occupation du territoire avec une bonne précision quant à leur emplacement par rapport aux cours d'eau, ce qui représente un avantage non négligeable.

PRINCIPAUX AVANTAGES DES IMAGES SATELLITES

- Grande couverture
- Reproductibilité
- Constance
- Précision

L'implantation des IOT dans le cadre d'un programme de surveillance de la qualité des eaux récréatives devrait toutefois se faire en tenant compte des ressources financières, techniques et humaines importantes pouvant être requises pour leur intégration.

CONCLUSION ET DIRECTIONS FUTURES

Dans les prochaines années, il est anticipé que les eaux de surface seront sujettes à des perturbations importantes. Une dégradation de leur qualité, notamment microbiologique, est à prévoir et pourra avoir des répercussions non négligeables sur différentes problématiques de santé publique, incluant l'incidence des maladies infectieuses transmises par l'eau, soient celles de consommation ou celles servant à des fins récréatives. En matière de gestion de la qualité de l'eau, l'OMS préconise un type de gestion appelé gestion multibarrières. Cette approche implique des mesures de contrôle et de prévention de la source au robinet, ou encore de la source jusqu'à l'exposition des utilisateurs. La gestion doit donc se faire à partir des sources de contamination potentielles, en passant par les différentes

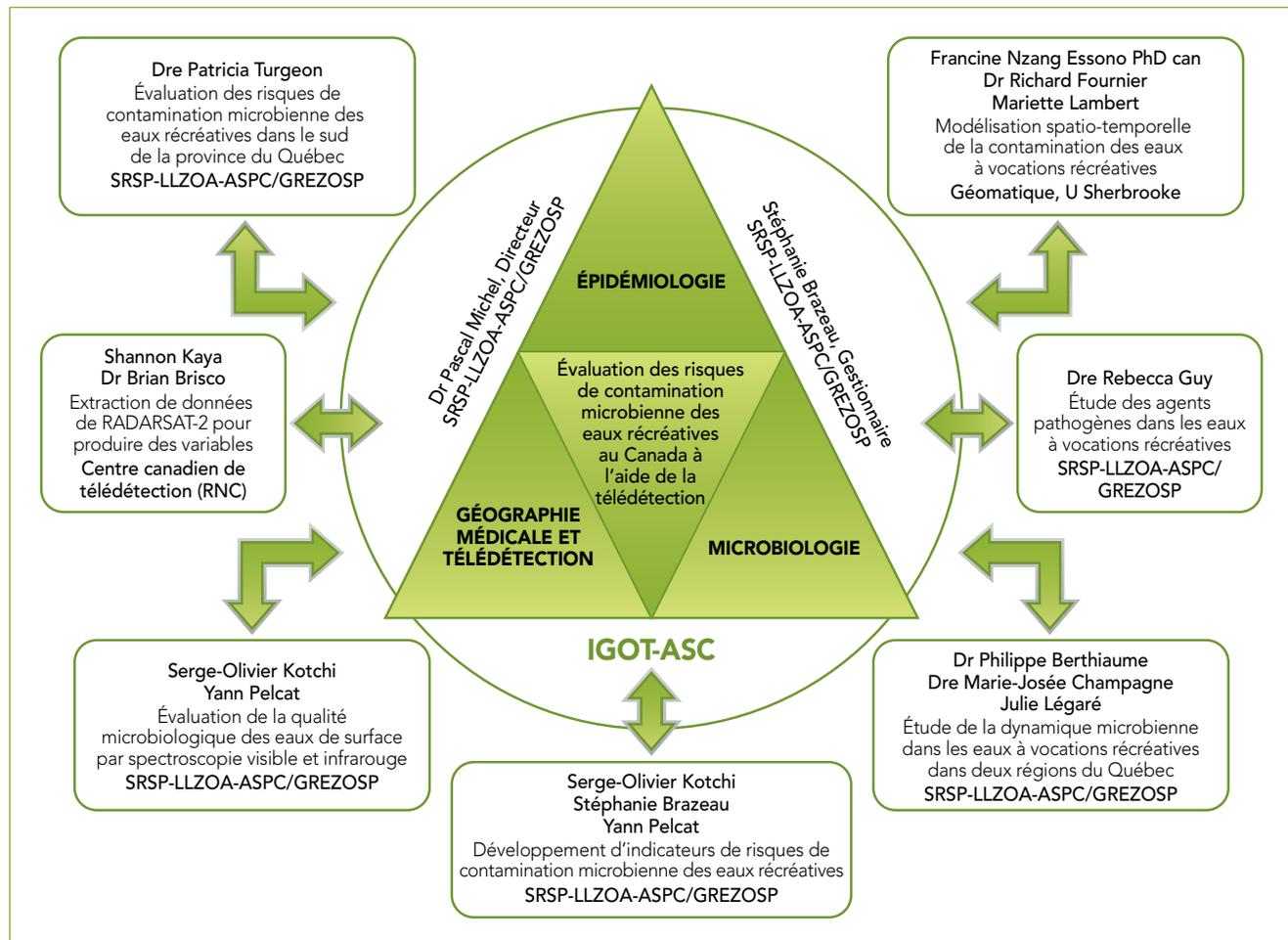
voies de contamination possibles et les traitements s'il y a lieu, jusqu'aux méthodes de consommation ou d'exposition.

En conséquence de cette approche, connaître les caractéristiques de l'environnement favorisant un risque plus élevé de pollution fécale des eaux de surface sera donc primordial afin d'assurer une bonne gestion de cette ressource et ainsi minimiser les risques pour la santé publique. Pour ce faire, de nouvelles méthodes d'évaluation doivent être développées afin de pouvoir décrire l'environnement de façon plus efficace et répétitive sur de grands territoires comme le Canada. C'est dans cette optique que ce projet pilote a été élaboré et conduit. Ce projet nous a donc permis d'évaluer l'utilité des images d'observation de la Terre, et plus

précisément des images satellites, pour l'évaluation du risque de contamination fécale des eaux récréatives en nous permettant d'identifier des caractéristiques de l'environnement proximal des plages favorisant un niveau de contamination plus élevé. Bien que l'utilisation des IOT puisse offrir une contribution certaine dans ce domaine, d'autres travaux seront nécessaires avant leur ajout dans les programmes de surveillance des eaux récréatives existants. Ces nouveaux travaux pourraient entre autres inclure le développement de nouvelles mesures développées à l'aide d'autres satellites comme RADARSAT-2, des analyses multicritères pour comparer les différents types d'IOT, ainsi que des analyses coûts-bénéfices.

La compréhension de la contamination microbienne des eaux à vocation récréative demeure complexe. Cette contamination est issue de diverses sources qui sont influencées par l'environnement et les événements climatiques affectant ainsi le transport et la survie des bactéries. Afin de mieux comprendre cette contamination et les mécanismes sous-jacents, différents projets de recherche sont en cours au sein de la division SRSP-LFZ et en collaboration notamment avec des partenaires de l'Université de Sherbrooke et le Centre canadien de télédétection de Ressources naturelles Canada. Ces projets ainsi que les membres de l'équipe sont présentés dans la figure 5.

FIGURE 5. Projets en cours sur les eaux récréatives



Affiliation : Centre canadien de télédétection, Ressources naturelles Canada; Département de géomatique appliquée et Centre d'application et de recherche en télédétection de l'Université de Sherbrooke; GREZOSP, Groupe de recherche en épidémiologie des zoonoses et santé publique de l'Université de Montréal; SRSP-LLZOA-ASPC, Division Science des risques pour la santé publique, Laboratoire de lutte contre les zoonoses d'origine alimentaire, Agence de la santé publique du Canada.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'Agence spatiale canadienne (ASC) et particulièrement messieurs Guy Aubé et Paul Brian du programme IGOT de l'ASC pour le financement et le soutien tout au long de ce projet.

MERCI À NOS NOMBREUX PARTENAIRES

Ce projet de recherche n'aurait pas été possible sans la participation de nos nombreux partenaires.

- Le Programme Environnement-Plage, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Gouvernement du Québec
- Les 27 municipalités, parcs, camps ou campings qui nous ont donné accès aux plages
- Le Groupe de recherche en épidémiologie des zoonoses et santé publique de l'Université de Montréal (GREZOSP)
- L'Université de Sherbrooke, Département de géomatique appliquée et Centre d'application et de recherche en télédétection
- Les quatre stagiaires du Département de géomatique appliquée de l'Université de Sherbrooke : Jean-Simon Bédard, Guillaume Desbiens, Pierre Tardif et Jean-David Rivard
- Le Ministère des Ressources naturelles du Canada, Centre canadien de télédétection

RÉFÉRENCES

- Kao C, Wu M (2001) Control of non-point source pollution by a natural wetlands. *Water Sci Technol* 43 (5):169–174
- Marechal F, Ribeiro N, Lafaye M, Güell A (2008) Satellite imaging and vector-borne diseases: the approach of the French National Space Agency (CNES). *Geospatial health* 3 (1):1–5
- Marsalek J, Rochfort Q (2004) Urban wet-weather flows: sources of fecal contamination impacting on recreational waters and threatening drinking-water sources. *J Toxicol Environ Health A* 67 (20–22):1765–1777
- Matteo M, Randhir T, Bloniarz D (2006) Watershed-scale impacts of forest buffers on water quality and runoff in urbanizing environment. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132 (3):144–152
- OMS (2003) Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and fresh waters. vol 1. World Health Organization, Geneva, Switzerland
- Programme Environnement-Plage (2006) Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. www.mddep.gouv.qc.ca/programmes/env-plage/
- Pruss A (1998) Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *Int J Epidemiol* 27 (1):1–9
- Turgeon P, Michel P, Levallois P, Archambault M, Ravel A (2011) Fecal Contamination of Recreational Freshwaters: the Effect of Time-independent Agroenvironmental Factors. *Water Qual Expo Health* 3 (2):109–118
- Zhang Y, Guindon B, Sun K, Sun L. La télédétection pour améliorer la compréhension de l'urbanisation du Canada. Ressources naturelles Canada. www.rncan.gc.ca/sciences-terre/limite-geographique/teledetection/optique/1402 Accessible en mai 2011