

**Suivi des conditions de glaces de rives à proximité
d'infrastructures maritimes au Nunavik dans un contexte
de changements climatiques : Kuujuarapik, Umiujaq,
Ivujivik, Baie Déception, Quaqaq et Aupaluk**

Projet de recherche CC09.1

Rapport d'étape 1

remis à :

Bureau de la coordination du Nord-du-Québec,
Ministère des Transports du Québec

Par :

**Monique Bernier, Romain Latapie, Jimmy Poulin, Charles Gignac, Dominic
Thériault et Yves Gauthier**

Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement
490, rue de la Couronne
Québec (Québec) G1K 9A9

Rapport de recherche INRS no. 1627

30 mai 2015

© INRS 2015

Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Québec

Dépôt légal, Bibliothèque et Archives Canada

ISBN : 978-2-89146-852-7

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	III
1 INTRODUCTION	1
2 PHOTOGRAPHIES OBLIQUES DES GLACES DE RIVES AU NUNAVIK	3
2.1 DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS ET DONNEES.....	3
2.1.1 <i>Caractéristiques des caméras</i>	3
2.1.2 <i>Données requises pour la rectification des photos</i>	5
2.2 DEFIS A RELEVÉ POUR L'INTERPRETATION AUTOMATIQUE DES PHOTOS	6
2.2.1 <i>Défis liés à la classification glace/non glace</i>	6
2.2.2 <i>Défis liés à la rectification des photographies</i>	7
2.3 METHODOLOGIE POUR LE TRAITEMENT DES PHOTOS DE GLACES DE RIVES	8
2.3.1 <i>Nettoyage des données brutes</i>	9
2.3.2 <i>Redressement et géoréférencement d'une photo de référence</i>	10
2.3.3 <i>Recalage de l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence</i>	12
2.3.4 <i>Classification glace/eau de chaque photographie</i>	13
2.3.5 <i>Redressement et géoréférencement de l'ensemble des photographies</i>	14
2.4 RÉSULTATS.....	14
3 IMAGES SATELLITAIRES DES GLACES DE RIVES AU NUNAVIK	14
3.1 CARTOGRAPHIE MODIS DES CONDITIONS DE GLACES DE RIVES A UNE RESOLUTION SPATIALE DE 250M	15
3.2 CLASSIFICATION DES CONDITIONS DE GLACES DE RIVES A PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES LANDSAT	19
4 DISCUSSION ET CONCLUSION	22
4.1 TRAITEMENT DES PHOTOGRAPHIES OBLIQUES	22
4.2 RECOMMANDATIONS POUR OPTIMISER L'INSTALLATION DE NOUVELLES CAMERAS EN 2015.....	22
4.2.1 <i>Avant la mission d'installation</i>	22
4.2.2 <i>Pendant la mission d'installation</i>	23
4.3 CARTOGRAPHIE DES CONDITIONS DE GLACES DE RIVES À PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES.....	24
4.4 TRAVAUX À VENIR	24
5 REFERENCES	25
6 LEXIQUE	26

1 INTRODUCTION

Les infrastructures maritimes des quatorze villages du Nunavik ont été financées par le gouvernement fédéral du Canada et le gouvernement du Québec. Le coût de l'entretien de ces dernières est assumé en totalité par le ministère des Transports du Québec (MTQ) depuis leur construction. Ainsi, afin d'anticiper l'impact potentiel des conditions de glaces de rives futures dans un contexte de changements climatiques (CC) sur les infrastructures maritimes du Nunavik, le suivi de l'évolution des conditions de glaces de rives est essentiel afin d'optimiser la planification des interventions en entretien et en réhabilitation. À cet effet, il est nécessaire de documenter l'évolution des conditions de glaces de rives pour améliorer la compréhension de leur dynamique et des événements de glace qui pourraient endommager ces ouvrages. Les connaissances développées dans le cadre du présent projet, seront également utilisées comme intrant au modèle de projection des glaces de rives au Nunavik présentement en développement par l'Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER) (projet réalisé pour le MTQ). Ces travaux de recherche sont réalisés pour le MTQ dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020 (PACC 2013-2020), et ce, en continuité avec les travaux sur les glaces de mer au Nunavik et les CC, réalisés dans le projet de recherche intitulé « Projet de Recherche visant à évaluer l'impact des changements climatiques sur les infrastructures maritimes du Nunavik et à déterminer les solutions d'adaptation » du Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012 par le MTQ et ses partenaires entre 2009 et 2014. Les retombées de ces travaux seront également importantes pour documenter les enjeux d'accès au territoire pour la pratique des activités de subsistance.

Dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012, une première étude a été effectuée de 2009 à 2012 par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) pour caractériser le comportement des glaces au voisinage des ouvrages côtiers des villages d'Umiujaq, de Kuujuaq et de Quaqtaq. Pour se faire, des photographies provenant de caméras in situ, des images radar provenant du satellite RADARSAT-2 et des produits cartographiques provenant du Service Canadien des Glaces et du National Snow and Ice Data Center (NSIDC) avaient été analysés. Cette étude avait permis d'approfondir les connaissances concernant les conditions changeantes de la glace et de détecter sommairement certains événements de glace à risque pour les infrastructures maritimes. Les résultats obtenus ont aussi été utilisés par les chercheurs de l'ISMER afin de valider les sorties de leur modèle de simulation des glaces au Nunavik à une résolution de 10km (cf. St-Onge et Senneville, 2013).

Afin de poursuivre le développement de la connaissance sur l'impact des CC sur les conditions de glaces de rives à proximité des infrastructures d'autres villages du Nunavik et de recueillir les données pour valider le modèle de simulation des glaces de rive ayant une résolution spatiale plus fine (400 m) en développement, le présent projet a été mis de l'avant. L'INRS a été mandaté par le MTQ afin de fournir des données de concentration de glaces à fine résolution sur une longue séquence

temporelle (2009 à 2016) au voisinage de six infrastructures : Umiujaq, Quaqtac, Kuujuarapik, Ivujivik, Aupaluk, et Baie Déception (ce dernier en collaboration avec Glencore-Mine Raglan et l'Administration Régionale de Kativik). Ces données serviront à la calibration du modèle de simulation des glaces et aussi pour documenter l'évolution des conditions de glaces de rives au Nunavik dans un contexte de CC de 2009 à aujourd'hui.

Ce premier rapport d'étape présente les activités réalisées et les résultats obtenus à ce jour dans le cadre des objectifs 1, 2 et 4 du projet. Soient :

- 1 : Rectification des photos de glace de rive à Quaqtac et à Umiujaq (09-14).
- 2 : Identification automatique de la glace sur les photos de glace de rive.
- 4 : Identification automatique de la glace sur les images satellitaires.

Le troisième objectif n'est pas traité ici car il concerne la mise en place de nouvelles caméras in situ qui sera réalisé à l'automne 2015, en fonction de la qualité des résultats obtenus pour les objectifs (ou étapes) 1 et 2.

Ainsi, dans la première partie de ce rapport, nous allons nous intéresser à l'exploitation et à l'analyse des photographies in-situ à travers cinq composantes : la description des données utilisées, les défis liés à l'exploitation des photographies obliques, les méthodes de rectification et de classification des images mise en place, les résultats obtenus et enfin quelques recommandations pour l'installation des prochaines caméras pouvant permettre une amélioration des résultats. Les données utilisées proviennent des photographies recueillies à Umiujaq et Quaqtac pour la période 2009 à 2012. Ces photos sont issues des caméras qui avaient été mises en place dans ces deux communautés lors des travaux de recherche antérieurs.

Dans la seconde partie de ce rapport, nous présentons les méthodes de traitement des images satellitaires afin d'en extraire les concentrations de glace. Les capteurs MODIS (embarqués sur les satellites Terra et Aqua) et les satellites LANDSAT fournissent gratuitement des images optiques et thermiques sur lesquelles il est possible de distinguer la glace autour des infrastructures maritimes, et ce lorsqu'il n'y a pas de couverture nuageuse. La fréquence d'acquisition des images MODIS est de deux fois par jour, celle des images LANDSAT tous les 16 jours. Ces images (possibilité de 5 000 images) sont accessibles directement sur Internet. Toutes les images seront orthorectifiées et classifiées pour la présence de glace ou non.

Nous aimerions aussi préciser au lecteur que nous désignons par le terme « photos » les photographies acquises par les caméras in situ et par le terme « images » les données satellitaires issues des capteurs MODIS et LANDSAT.

2 PHOTOGRAPHIES OBLIQUES DES GLACES DE RIVES AU NUNAVIK

2.1 Description des équipements et données

2.1.1 Caractéristiques des caméras

Dans le cadre du projet précédent, deux caméras, de types différents, ont été installées par village. Le choix s'était effectué en fonction des critères suivants : le prix, la gamme de températures auxquelles les caméras doivent faire face, les possibilités d'alimentation et la présence d'un intervallo-mètre. Lors de l'achat, le redressement des photos n'avait pas été envisagé et donc aucun critère photogrammétrique n'avait été considéré. Les deux modèles retenus sont différents afin de maximiser les chances que l'un des deux modèles au moins fonctionne lors des températures extrêmes. Pour chaque village, les caméras sont installées sur un poteau en bois et alimentées par une batterie 12V elle-même rechargée par un panneau solaire. Le tableau 1 donne les caractéristiques des deux caméras.

Les deux caméras ont été programmées afin d'acquérir des photos toutes les heures de 6h à 18h pendant toute l'année. Au cours d'une année, l'éclairage solaire n'est pas constant et les deux caméras réagissent différemment : la caméra Reconyx, possédant un capteur fonctionnant aussi la nuit, acquiert des photos tout au long de la période étudiée tandis que la caméra Harbortronics n'acquiert aucune photo lorsque l'éclairage est insuffisant. Cependant, l'information disponible sur les photos Reconyx de nuit est quasiment inexistante (photo panchromatique) et la classification des pixels de glace ne peut pas être effectuée, elles sont utiles exclusivement pour une analyse visuelle.

À ce jour, les photos qui ont été analysées s'étendent sur une plage temporaire allant de 2009 à 2012, il y en a plus de 80 000 qui ont été acquises.

Aussi, au cours de ces trois années, plusieurs manipulations ont été effectuées sur les caméras. Les caméras Harbortronics ont été très sensibles aux températures froides, cessant de fonctionner pendant quelques temps en période hivernale. Dans le village d'Umiujaq, la caméra Harbortronics a été remplacée par une nouvelle caméra de type Reconyx. Aussi, à Quaqtuaq, afin d'avoir plus d'informations sur l'ensemble de la baie, la caméra Reconyx a été réorientée un peu plus vers le large au cours de l'été 2010. Cette dernière a cessé de fonctionner au mois de mars 2012. Elle sera remplacée à l'automne 2015.

Les nouvelles caméras qui devraient être installés dans les autres villages (Reconyx Hyperfire PC800) sont similaires au modèle PC85 de Reconyx (tableau 1). Elles ont été choisies en raison de leur robustesse aux températures extrêmes et leur efficacité démontrée dans le projet précédent (2009-2012).

Tableau 1 - Description des caractéristiques des caméras Reconyx et Harbotronix

Constructeur	Reconyx	Harbotronix
Modèle	PC 85	Pentax K200D
Description	Modèle pour amateur de la nature, détection d'animaux sauvages	Modèle utilisé pour la surveillance de projets, détection d'animaux sauvages, analyse de changements environnementaux...
Capteur nuit panchromatique	Oui	Non
Taille du capteur (mm)	6,4 x 4,8	23,5 x 15,7
Résolution du capteur (pixels)	2048 x 1536	3872 x 2592
Zoom	1,7x (fixe)	3x (variable)
Champ de vision vertical(°)	≈ 30	≈ 17 à 48
Champ de vision horizontal(°)	≈ 40	≈ 25 à 67
Sensibilité (ISO)	n.d.	100 à 1600
Fourchette de température d'utilisation (°C)	- 40 à + 40	0 à + 40* *Caméra sans le boîtier
Aperçu des caméras		
Coût approximatif d'acquisition	700\$US	2500\$US

La figure 1 illustre un exemple d'installation des deux caméras sur la même structure à Umiujaq, tandis que la figure 2 met en évidence les différents champs de vision des caméras à Quaqtq. L'Harbotronix - Grand angle permet de voir la glace sur l'ensemble de la baie, tandis que l'option zoom de l'Harbotronix et le champ de vue de la Reconyx se concentre sur les infrastructures maritimes.



Figure 1 – Caméras à Umiujaq.



Figure 2 - Comparaison des champs de vision des caméras à Quaqaq. L'Harbotronics - Grand angle permet de voir la glace sur l'ensemble de la baie, tandis que l'option zoom de l'Harbotronics et le champ de vue de la Reconyx se concentrent sur les infrastructures maritimes.

2.1.2 Données requises pour la rectification des photos

Il est très difficile d'obtenir des concentrations de glace précises tout comme les limites géographiques de l'étendue visible à partir des photos obliques, il est alors nécessaire de redresser et géoréférencer les photos. Pour cela, d'autres données ont été utilisées afin de définir les points d'appui à utiliser. Pour cela, nous avons utilisé des orthophotos et les données issues de levés LiDAR aériens dans les villages nordiques du Nunavik, effectués par le gouvernement du Québec en août 2010, pour interpoler l'altitude de chaque point de la surface d'intérêt sous format grille.

Le système de rattachement planimétrique utilisé pour Umiujaq est NAD 1983 CSRS MTM 09, le système de rattachement altimétrique est CGVD 28. NAD 1983 CSRS MTM 07 est le système de rattachement planimétrique qui a été utilisé pour Quaqaq, le système rattachement altimétrique utilisé est NAD 1983 (CSRS). La précision demandée au contrat était de 15 cm en altimétrie et 25 cm en planimétrie. Les données ont été épurées pour réaliser les modèles de numériques de terrain.

Cependant, l'étendue des zones de levés LiDAR prise en 2010, est inférieure pour les deux villages à l'étendue couverte par les photos obliques, et ainsi des données ouvertes provenant de la société DigitalGlobe (via Google Earth) ont été utilisées. Ces données sont disponibles à une résolution inférieure au mètre, provenant généralement des capteurs Quickbird et WorldView, dans le système géodésique WGS 84. Ces données n'ont été utilisées qu'en dernier recours, afin de pouvoir utiliser des points pour le redressement situés proches de l'horizon.

2.2 Défis à relever pour l'interprétation automatique des photos

2.2.1 Défis liés à la classification glace/non glace

La classification glace/non glace n'est pas une manipulation aisée compte tenu des données à disposition. Les capteurs photographiques à notre disposition sont des capteurs comprenant seulement trois bandes (obtenues par filtrage) : rouge (R), vert (V) et bleu (B). La présence de bandes spectrales n'appartenant pas au spectre visible (proche infrarouge par exemple) aurait permis une identification plus aisée des pixels de glace. La luminosité variable est un autre problème auquel il faut faire face. Suivant l'heure de la journée, et le moment de l'année à l'étude, la luminosité peut être très différente pour un même site, et donc la réponse spectrale en est affectée. La figure 3 met en évidence ce problème lors de la journée du 26/12/2009 à Umiujaq, la photo de gauche a été acquise à 11h, celle de droite a été acquise à 17h.

Les conditions météorologiques, qui sont souvent liées avec la luminosité, constituent également une contrainte non négligeable. Une journée ensoleillée n'aura pas le même effet qu'une journée nuageuse sur la réponse spectrale. La présence de nuages peut être génératrice d'ombres portées et donc devenir sources d'erreurs, de même que les réflexions du soleil sur l'eau ont des caractéristiques spectrales similaires à la glace. Cela est illustré par la figure 4. Sur la photo de gauche, on peut voir que même si le couvert de glace est complet, les valeurs des pixels s'étendent sur deux teintes principales en raison de l'ombre portée. Sur la photo de droite, on remarque que la réflexion du soleil dans l'eau modifie la valeur spectrale des pixels, la rendant similaire à la glace.

Aussi, en raison du changement de l'apparence de la glace ou de l'eau selon l'éclairage et les conditions atmosphériques et du fait que le volume de photos à traiter est important, nous ne pouvons classifier une image ou un lot d'images à l'aide d'échantillons (dites zones d'entraînement) préalablement définies par l'utilisateur comme zones de glace ou zones d'eau. L'approche retenue sera donc une transformation du système de couleur rouge/vert/bleu (RVB) vers le système teinte-saturation-valeur (TSV) et une classification non supervisée s'adaptant aux conditions d'une image donnée. La méthodologie retenue est décrite à la section 2.3.2. Le tableau 1 résume les défis à la classification de la glace et les solutions retenues.

Tableau 1 : Défis et solutions liés à la classification de la glace

Classification glace / non glace	
Défis	Solutions
Capteurs RVB	Transformation système RVB vers TSV
Luminosité	Transformation système RVB vers TSV
Conditions météorologiques	Transformation système RVB vers TSV
Méthode à mettre en œuvre	Méthode non supervisée



Figure 4 - Différence de luminosité lors d'une même journée. Le contraste entre la glace et l'eau est très marqué sur la photo de gauche alors qu'il est beaucoup moins sur la photo de droite.



Figure 3 - Effet des conditions climatiques. L'ombre présente sur l'image de gauche peut se confondre avec de l'eau alors que le reflet sur l'image de droite peut être confondu avec de la glace

2.2.2 Défis liés à la rectification des photographies

En raison de la présence de vent, la caméra n'est pas tout à fait immobile. Quelques pixels d'écart peuvent être observés d'une photo à l'autre. Ainsi, afin de contourner cette difficulté et de définir les coordonnées photos des points d'appui sur l'ensemble des photos, le redressement de l'ensemble des photographies se fait en trois étapes : a) redressement et géoréférencement d'une photographie de référence, b) recalage de l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence, c) redressement et géoréférencement de l'ensemble des photos. Ces étapes sont décrites à la section 2.3.1.

Pour le redressement de la photo de référence (a), les données fixées sont les coordonnées planimétriques du centre de perspective de la caméra. Les paramètres à déterminer sont les suivants : les éléments de rotation de la caméra, le champ de

vision horizontal (hfov) de la caméra et l'altitude de la caméra. Pour chaque paramètre à calculer, une estimation de la valeur et de la précision associée doit être établie à priori. Compte tenu du fait que les photos analysées proviennent de caméras installées sur le terrain et non calibrées avant leur installation, la valeur précise du hfov n'est pas connue. De la même manière, l'altitude de la caméra n'a pas été déterminée lors de l'implantation et doit être évaluée en fonction des photos à disposition et du modèle numérique de terrain. L'azimut de la direction de visée des caméras n'a pas non plus été mesuré. Tous ces paramètres à approximer ont des répercussions dans l'algorithme de redressement, celui-ci est moins robuste, la convergence du calcul vers une solution unique est réduite. Concernant les points d'appui (voir lexique) à utiliser pour effectuer le redressement, ces derniers sont difficilement repérables. En effet, la prise de vue des photos étant obliques et les données à disposition étant verticales, il est difficile de pouvoir définir précisément la correspondance entre les points visibles sur les photos et les points d'appui issus des orthophotos aériennes.

Pour réaliser le recalage des photos entre elles (b), des régions homologues définies au mieux pour être repérables automatiquement d'une photo à l'autre ont été créées. Cependant, en raison de difficultés déjà citées (luminosité, conditions climatiques), toutes les régions mises en place ne peuvent pas être repérées sur chaque photo, le recalage n'est donc pas homogène d'une photo à l'autre.

Enfin, les zones d'étude étant assez étendues (les caméras permettent d'avoir une vision à plusieurs kilomètres de la rive), les matrices générées sous Matlab sont importantes, des problèmes d'enregistrement surviennent, il est donc nécessaire de réduire la résolution afin de pouvoir obtenir des résultats convenables. Le tableau 2 énumère les trois principaux défis et les solutions trouvées décrites à la section 2.3.1. .

Tableau 2 : Défis et solutions liés à la rectification des photographies

Rectification des photographies	
Défis	Solutions
Connaissance précise des paramètres internes et externes	Estimation des paramètres pour les caméras actuelles et recommandations pour les caméras à installer
Repérage des points d'appui sur la photo de référence	Utilisation de différentes sources de données : MNT, orthophotos, Google Earth
Détection automatique des régions homologues	Rehaussement de la photo

2.3 Méthodologie pour le traitement des photos de glaces de rives

La méthodologie comprend cinq principales étapes de traitement qui sont décrites dans les cinq prochaines sous-sections:

1) le nettoyage des données brutes,

- 2) le redressement et le géoréférencement d'une photo de référence,
- 3) le recalage de l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence,
- 4) la classification glace/eau de chaque photographie et
- 5) le redressement et le géoréférencement de l'ensemble des photographies.

Il est à noter que l'ensemble de ces manipulations ont été effectuées via le logiciel MatlabTM (version complète) à cause de sa polyvalence et sa flexibilité, l'existence de routines de rectifications de photographies déjà programmées et sa disponibilité dans tous les milieux de recherche.

2.3.1 Nettoyage des données brutes

Le nettoyage des données brutes est une étape cruciale car elle permet de sélectionner uniquement les photos susceptibles d'être classifiées et redressées. Pour effectuer cette manipulation, trois étapes sont à considérer :

1) Élimination des photos qui ont été acquises avec le capteur nuit (si la caméra utilisée est de type Reconyx). Cette caractéristique est déterminée par l'absence de couleurs sur les photographies.

2) Application d'un filtre afin de réduire le bruit : ce processus a pour conséquence de « lisser » la photo et d'éliminer par conséquent les valeurs aberrantes des pixels. L'effet de cette manipulation est particulièrement visible pour les photos acquises lorsque l'objectif était obstrué (figure 5).

3) Détection de contours effectuée sur toute la photo. Cette détection de contour va permettre d'isoler la majorité des photos acquises lors des jours de brouillard, givre, ou toute autre condition obstruant le capteur de l'appareil : une photo acquise lors d'un jour de brouillard n'aura qu'un nombre restreint de pixels classés en contour tandis qu'une photo de jour ensoleillé contiendra davantage de pixels classés en contour. Un seuil est fixé empiriquement pour le nombre de pixels classés en contour ce qui permet d'isoler les photos pouvant subir la suite du traitement.

Les photos résultantes sont alors prêtes à être classifiées mais pas nécessairement à être recalées. En effet, si la brume n'occupe qu'une partie de la photo, la classification peut être réalisée sur la partie visible mais la stabilisation entraînera des résultats peu fiables suivant le nombre de régions homologues repérées. Ainsi, pour pallier à ce problème, une détection de contour appliquée à certaines parties de l'image est effectuée (et d'autres seuils sont fixés pour isoler les photos à traiter).

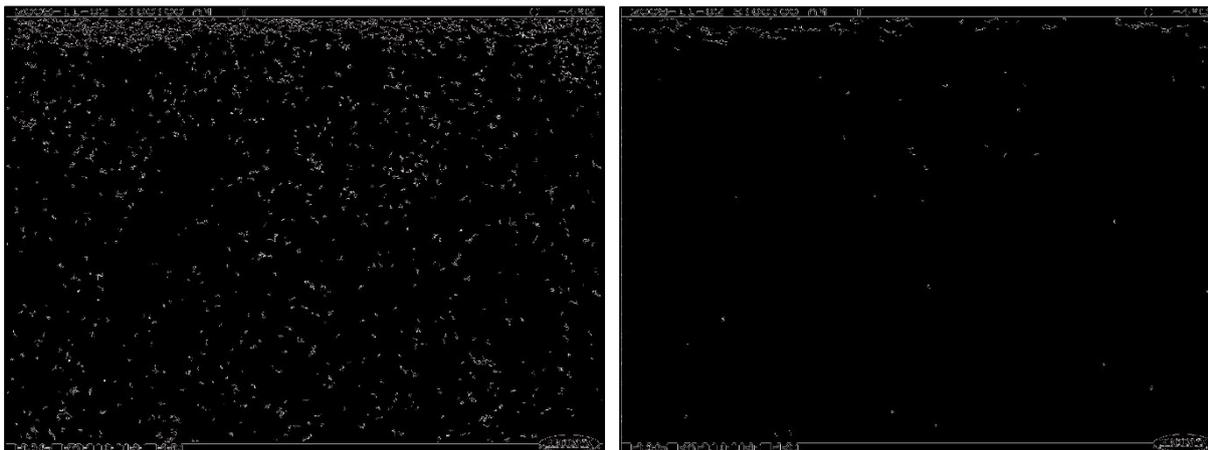


Figure 5 - Détection de contours (pixels blancs) sur une photo où le bruit n'a pas été diminué à gauche et sur une photo où le bruit a été diminué à droite (Caméra Reconyx, objectif avec du givre)

Ce nettoyage est essentiel mais pas évident à mettre en œuvre. En effet, la résolution des caméras étant différentes, les seuils à appliquer sont différents suivant le type de caméra utilisé. De la même manière, la configuration géométrique des lieux photographiés a un impact significatif sur l'élaboration des seuils : en effet, les structures visibles sont différentes (en taille et en forme) suivant les caméras, les seuils doivent donc aussi être déterminés en fonction du champ de vision. D'autres critères auraient pu être considérés pour effectuer cette manipulation (variance, entropie ...), mais après avoir effectué quelques tests, les résultats les plus probants sont obtenus avec cette méthode. L'élaboration d'un algorithme isolant automatiquement les photos exploitables est très difficile, voire impossible à réaliser. Un nettoyage manuel en visualisant chaque photo retenue par l'algorithme doit ensuite être fait.

2.3.2 Redressement et géoréférencement d'une photo de référence

La réalisation de cette partie a pu être effectuée à l'aide de l'outil Matlab permettant de rectifier des photos obliques développée par Daniel Bourgault de l'Université du Québec à Rimouski.

L'algorithme `g_rect` utilisé est une technique de photogrammétrie dérivée de ce que l'on appelle le relèvement spatial (Boulianne, 2012). Traditionnellement, cette manipulation est basée sur une transformation projective en trois dimensions, six inconnues sont à calculer (coordonnées planimétriques et altimétrique de la caméra, éléments de rotation de la caméra), et au minimum trois points d'appui sont nécessaires. Dans le script écrit par Daniel Bourgault et basé sur la technique de Rich Pawlowicz (2003), seulement cinq inconnues sont à déterminer, le nombre de points nécessaires est toujours égal à 3 mais l'avantage de cette technique est la redondance d'information, nécessaire à la réalisation d'une compensation par les moindres carrés.

Afin de faciliter la tâche de l'utilisateur dans la manipulation de la fonction `g_rect`, un fichier de paramètres doit être complété, les renseignements suivants doivent être inscrits :

- Les coordonnées planimétriques du centre de perspective de la caméra.
- Les coordonnées du point principal (si une calibration a été effectuée).
- L'estimation des éléments de rotation ainsi qu'une estimation de leurs précisions.
- L'estimation de l'altitude de la caméra ainsi qu'une estimation de sa précision.
- L'estimation du champ de vision horizontal de la caméra ainsi qu'une estimation de sa précision.
- Les coordonnées photos et terrestres des points d'appui.

Concernant le choix de la photo de référence, il est fait de façon à ce que les régions homologues utilisées pour l'étape de recalage puissent être repérées sur un maximum de photos. Une photo de référence doit être traitée pour chaque caméra avec le programme `g_rect`. Concernant la sélection des points d'appui, ces derniers ont été choisis de telle manière à être sur le même plan (altitude identique), facilement repérables sur la photo, et répartis équitablement sur l'ensemble de la photo.

Le calcul est ensuite lancé et il en résulte en sortie deux matrices LON et LAT de dimensions égales aux dimensions de la photographie, correspondant aux longitudes et latitudes de chaque pixel de la photo. L'algorithme tient en compte la ligne d'horizon et n'affecte aucune valeur aux pixels situés au-dessus de cette ligne. Une erreur moyenne quadratique est aussi calculée (les résidus utilisés étant égaux à la différence entre les coordonnées observées et les coordonnées calculées) permettant d'estimer la qualité du redressement.

Enfin, afin de connaître les dimensions des pixels à proximité de la caméra et au large, une fonction a été créée avec pour intrants les matrices LON et LAT. Sachant aussi qu'il sera difficile de classer des pixels situés près de l'horizon et afin de pouvoir comparer les résultats obtenus entre la caméra Reconyx et la caméra Harbortronics, les matrices LON et LAT peuvent être réduites en ne conservant que les pixels situés en deçà d'une distance préalablement fixée.

La photo redressée peut être créée sous différents formats dans le logiciel Matlab avec une résolution préalablement définie, entraînant une dégradation de la qualité à proximité de la caméra. Un fichier de géoréférencement peut aussi être créé permettant de lire la photo avec un logiciel d'information géographique (SIG). La figure 6 met en évidence un redressement de photo, la photo de gauche est la photo brute, l'image de droite est la photo redressée.



Figure 6 - Photo de référence brute à gauche et photo redressée à droite. On peut apercevoir le brise-lames à droite de la photo redressée (Caméra Reconyx)

2.3.3 Recalage de l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence

Cette étape est réalisée pour corriger les petits mouvements de la caméra, dus principalement à l'effet du vent. Pour cela, nous définissons des régions (appelées régions homologues) sur la photo de référence que l'on tente de retrouver sur les autres photos à redresser par un algorithme de corrélation. Une transformation permettant de recalibrer la photo considérée par rapport à la photo de référence est ensuite calculée, puis appliquée à l'image pour la stabiliser.

Afin de faciliter l'utilisation du programme, deux fichiers ont été créés : un fichier de paramètres et un fichier de points. Le fichier de paramètres contient les informations relatives au chemin des photos, le type de caméra utilisé, le nom du fichier de résultats à créer. Le fichier de points comporte les coordonnées des centres des régions homologues et les dimensions de ces régions (longueur et largeur).

Afin de recalibrer l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence, huit étapes doivent être suivies :

1. Rehaussement de la photo de référence : Amélioration du contraste, 'normalisation' des valeurs des pixels, calcul de gradient
2. Détermination de régions d'intérêt sur la photo de référence
3. Rehaussement de la photo à recalibrer : Amélioration du contraste, 'normalisation' des valeurs des pixels, calcul de gradient
4. Recherche des régions par corrélation
5. Calcul de la transformation suivant le nombre de régions détectées
6. Choix de la meilleure transformation
7. Création de la photo recalibrée et validation du recalibrage
8. Ecriture des résultats obtenus dans un fichier *.txt.

Ce fichier de résultats récapitule les résultats du redressement de la photo de référence et détermine l'erreur moyenne quadratique du recalibrage (RMSE). Elle est de 10 m environ pour les photos de référence.

2.3.4 Classification glace/eau de chaque photographie

Une fois le recalage des photos réalisé, il convient d'effectuer la classification de chaque pixel. Celle-ci comporte six étapes :

1. Création d'un masque
2. Conversion RGB vers HSV
3. Création d'une image RGBV
4. Classification hiérarchique via l'algorithme de Ward
5. Isolement des photos tout glace/tout eau
6. Classification KMeans des photos restantes

Tout d'abord, un masque est créé sur la photo permettant de ne considérer que les pixels sur l'océan. Le masque est créé de manière assez grossière de façon à ce que les perturbations liées aux vaguelettes se formant à proximité des infrastructures et de la rive ne soient pas prises en compte.

La seconde étape consiste à un changement de système de couleur, passant du système RVB (Rouge-Vert-Bleu) au système TSV (Teinte-Saturation-Valeur). Cette conversion permet de souligner davantage certaines propriétés des photographies. Notamment, le canal « Valeur » permet d'augmenter le contraste entre les régions de glaces et les étendues d'eau. Il permet aussi de diminuer un peu les effets des ombres sur la surface considérée.

Une image contenant les canaux « Rouge », « Vert », « Bleu » et « Valeur » est ensuite créée et une classification hiérarchique (cinq classes) est effectuée via l'algorithme de Ward. Cet algorithme permet de réduire la variance intra classe et d'augmenter la variance inter classe. Les valeurs des centroïdes de chaque classe sont ensuite calculées et la majorité des photos contenant uniquement de l'eau ou de la glace peuvent alors être détectées et classées. Les photos restantes sont traitées avec un algorithme de classification par KMeans.

Un programme de validation de la classification a ensuite été développé. Il permet de comparer les photos brutes avec les résultats de la classification et de choisir la meilleure des classifications. Les résultats obtenus sont assez hétérogènes : la classification peut fonctionner parfaitement pour certaines photos et être de mauvaise qualité pour d'autres.

La figure 7 montre la classification obtenue à l'aide de l'algorithme Fuzzy Kmeans pour une photo d'Umiujaq. Le ciel et la terre ont été masqués en vert. La glace est en cyan.

Figure 7 - Exemple de classification de la photographie prise le 26 décembre 2009 à 13h00 à Umiujaq. La photo en haut à gauche correspond à la photo brute, celle en bas à gauche désigne le masque (en vert) qui a été appliqué, la photo de droite représente le résultat de classification (la glace est en cyan).

2.3.5 Redressement et géoréférencement de l'ensemble des photographies

La classification glace/eau effectuée, il suffit par la suite de créer la photo redressée et son fichier de géoréférencement associé de la même manière que pour la photo de référence.

2.4 RÉSULTATS

Un total de 80000 photos ont été acquises entre 2009 et 2012 par l'ensemble des caméras installées par l'INRS. Pour Umiujaq, 2997 photos ont été acquises par la caméra Reconyx entre le mois d'octobre 2009 et le mois de juin 2010. Suite au nettoyage des données brutes, 1534 photos sont exploitables. Parmi celles-ci, 80 photos ont été analysées pour la période d'englacement et 620 pour la période de fonte. Pour la rectification des photos de référence, le RMSE est d'environ 10m. Les photos ont été recalées au pixel près. Pour l'identification automatisée de la glace, lorsque le couvert de glace est total ou lors d'absence totale de glace: la précision est de 80 à 90%. Pour les photos comprenant de la glace et de l'eau, les résultats sont variables et des approches alternatives sont envisagées.

3 IMAGES SATELLITAIRES DES GLACES DE RIVES AU NUNAVIK

Les caméras in situ peuvent prendre plusieurs photographies par jour mais elles ne montrent que les conditions de la glace au voisinage des infrastructures maritimes et sur la portion de la baie dans le champ de vision de la caméra (quelques kilomètres carrés). Les images satellitaires optiques permettent de voir l'évolution spatiale et temporelle de la couverture de glace sur de grandes superficies le long des côtes tout en offrant une résolution spatiale compatible avec le modèle de glaces de rive à échelle fine (400 m) de l'ISMER. Par exemple, une image LANDSAT-8 couvre une superficie de 34 425 km² à une résolution spatiale de 30 m.

Afin de valider les simulations du modèle de glaces de rive de l'ISMER, les concentrations de glace peuvent être extraites de ces images pour une date donnée. Ces images et les cartes de concentrations résultantes peuvent aussi servir à documenter l'évolution des conditions de glaces de rive dans un contexte de CC. Deux types d'images optiques ayant une résolution spatiale inférieure à 400m sont actuellement disponibles

gratuitement. Les images MODIS à la résolution de 250m et LANDSAT-8 ayant une résolution de 30m. Les images MODIS sont acquises chaque jour au dessus d'un site donné, les images LANDSAT aux quinze jours. La principale contrainte avec les images optiques est la couverture nuageuse ce qui n'est pas un problème avec l'imagerie radar.

Les deux sous-sections suivantes présentent les données satellitaires utilisées, le traitement appliqué pour la classification de la couverture de glace et le calcul des concentrations.

3.1 Cartographie MODIS des conditions de glaces de rives à une résolution spatiale de 250m

Les images utilisées proviennent du capteur MODIS (Figure 8) des satellites américains Terra et Aqua, respectivement opérationnels depuis 1999 et 2002. Le capteur MODIS fournit des images sur 32 bandes spectrales à des résolutions variant de 250m à 1km. Dans le cadre du présent projet, les données MODIS de 2009 à la fin de 2016 seront traitées. L'approche de cartographie utilisée pour la distinction de la glace à partir des données MODIS est celle développée par Charles Gignac (étudiant au doctorat, INRS) en 2014 pour répondre à l'un des objectifs du projet IcePAC (2013-2016) financé par NRCan et appuyé par OURANOS.

L'algorithme développé¹, nommé IceMap250, fait appel tant aux bandes du visible qu'aux bandes de l'infrarouge et est basé sur l'application de ratio et de seuils sur les données afin d'identifier si la glace est présente à la surface. Afin d'obtenir une résolution de 250m, une méthode de désagrégation spatiale² des bandes optiques de MODIS a été appliquée [Luo et al., 2008] et une nouvelle méthode de désagrégation spatiale des bandes de température de surface a été développée permettant ainsi d'avoir l'ensemble des données nécessaires à la cartographie des glaces à l'échelle du 250m.

L'évolution de l'algorithme de cartographie de la glace s'est faite par une multitude de tests et d'essais visant à pallier aux principales difficultés reliées à un tel exercice de cartographie, soit d'éviter la surestimation de la glace ou du couvert nuageux. Pour être en mesure de détecter adéquatement la glace, des modifications ont été apportées à l'approche originale de l'algorithme IceMap de la NASA [Hall et al., 2001]. L'utilisation du ratio spectral NDSII-2 [Xiao et al., 2001] (équation 2) plutôt

¹ L'algorithme proposé dans le cadre du projet IcePAC est inspiré de l'algorithme IceMap de la NASA (Hall, D. K., G. A. Riggs, V. V. Salomonson, J. Barton, K. Casey, J. Chien, N. DiGirolamo, A. Klein, H. Powell, and A. Tait (2001), Algorithm theoretical basis document (ATBD) for the MODIS snow and sea ice-mapping algorithms, NASA GSFC, September.). Cet algorithme propose une cartographie des glaces journalières à une résolution spatiale de 1km.

² La désagrégation spatiale, communément appelée "downscaling" vise à améliorer la résolution spatiale des pixels d'une image.

que le NDSI [Dozier, 1989] (équation 1) permet de discerner de manière plus précise la glace de l'eau et des nuages (Figure 9).

$$\text{NDSI} = (\text{Bande verte} - \text{infrarouge moyen}) / (\text{Bande verte} + \text{infrarouge moyen}) \quad (1)$$

$$\text{NDSII-2} = (\text{Bande verte} - \text{proche infrarouge}) / (\text{Bande verte} + \text{proche infrarouge}) \quad (2)$$

Bande Verte (4) : 553.6 nm;
Bande NIR (2): 856.5 nm;
Bande SWIR (6): 1629.1 nm

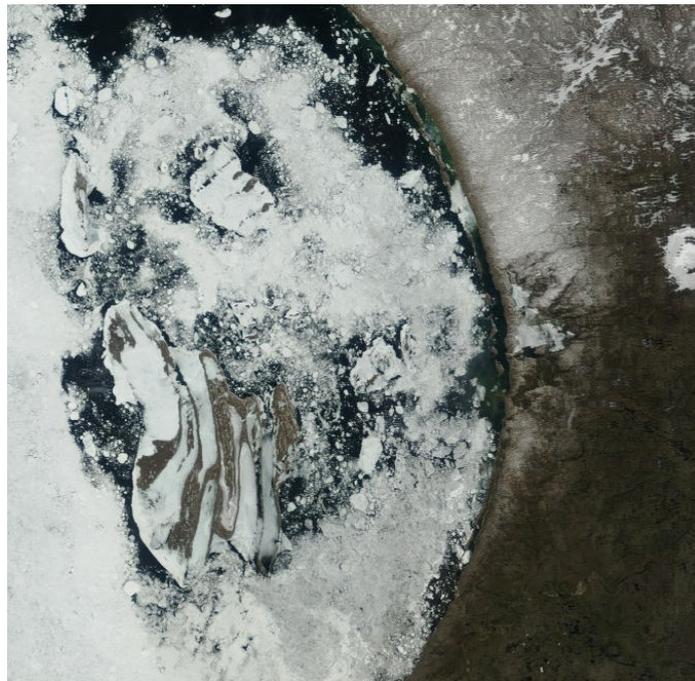


Figure 8 : Image MODIS sans nuage du 5 juin 2012, en couleurs réelles, sur la côte ouest du Nunavik

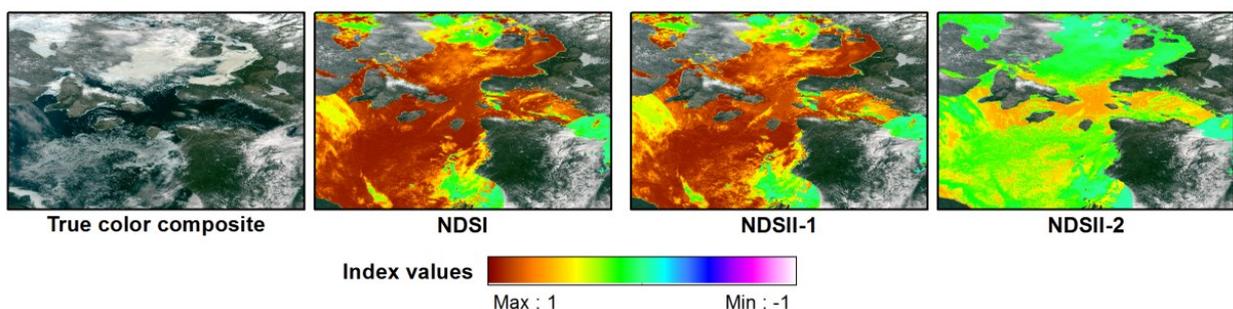


Figure 9 : Évaluation de l'efficacité à discerner les glaces de l'eau pour 3 ratios spectraux différents

Afin d'éviter les confusions entre les nuages et la glace, l'utilisation d'un masque de nuages est nécessaire. La NASA, de par son produit MOD35_L2, associé à MODIS-Terra et MODIS-Aqua, permet de masquer les nuages. Or, dans plusieurs cas, le masque de nuages de la NASA (MOD35_L2) surévalue la présence de nuages et génère ainsi une perte importante d'information sur les glaces sous-jacentes. Pour pallier à cette situation, un masque de visibilité spécifique pour l'étude du couvert de glace (CM_ICEmap250) a été créé via une approche par ratio spectral entre une bande reconnue pour représenter les températures de surface, soit la bande 20 de MODIS (3.7µm) et une autre bande, elle reconnue pour mieux représenter les températures en hautes altitudes (couvert nuageux), soit la bande 32 de MODIS (12µm). Pour encourager un contraste encore plus marqué, la bande 6 (1.64µm) de MODIS, reconnue pour bien discerner l'eau des nuages, est utilisée comme facteur multiplicatif. La valeur du ratio est donc calculable de la manière suivante (éq. 3):

$$CM_{ICEMap250} = (B6 * B20 - B32)/(B6 * B20 + B32) \quad (3)$$

A des fins d'illustration, les deux masques ont été appliqués sur deux images MODIS, l'une du 2 février 2005 et l'autre du 2 juillet 2007 (Figure 10). Il y a peu de différence à l'hiver entre les deux masques (en rouge), toutefois, en juillet, la région sans nuage ou sans brume et où l'océan est visible est plus importante (plus de pixels).

Pour ce projet, des cartes seront produites pour chaque image MODIS acquise (même avec une couverture nuageuse partielle) car elles serviront à valider les sorties du modèle de l'ISMER à un jour et une heure donnée. En date du 29 mai 2015, les cartes MODIS (250 m de résolution) de l'année 2009 ont été transmises à l'ISMER. Celles de 2010 sont en production. A un rythme de 5-6 minutes par image, si les serveurs ne posent pas de problème, nous aurons traité toutes les images MODIS des années 2009-2014 couvrant la Baie et le Détroit d'Hudson à la fin de juin.

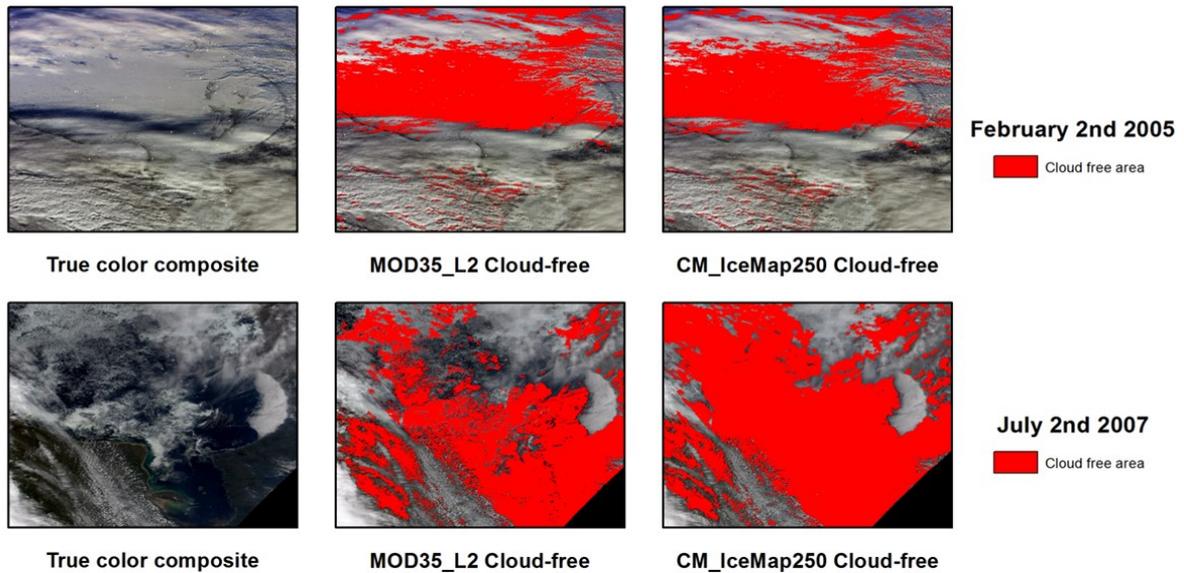


Figure 10 : Comparaison des masques de nuages pour le MOD32_L5 et le CM_IceMap250

En ce qui concerne la validation de ces classifications, 15 scènes MODIS ont été sélectionnées (5 durant l'englacement, 5 durant l'hiver et 5 en période de fonte). Pour chaque image, 4000 points de validation ont été extraits d'une grille systématique au 25km. La validation a été faite, point par point, par interprétation visuelle. De ces points 60 000 points, 14 257, étaient sans couvert nuageux. La précision de la classification de la glace est de 99%. Seules les ouvertures d'eau libre, étroites par rapport à la résolution de 250 m, ne sont pas toujours détectées (erreur d'omission de 2% (fonte), 4% (englacement) et 10% (hiver)). Un article en cours de rédaction détaillera la méthodologie et la validation des résultats.

3.2 Classification des conditions de glaces de rives à partir des images satellitaires LANDSAT

Une méthode de classification glace de rive/eau est en développement pour les images LANDSAT-8. Le tableau 3 donne les différentes bandes spectrales disponibles pour LANDSAT-8. Dans un premier temps, différents indices ont été testés.

Tableau 3 : Caractéristiques des bandes des capteurs OLI et TIRS Landsat-8 (NASA)

Landsat 8	Bandes spectrales	Longueur d'onde (micromètres)	Résolution (mètres)
Mis en orbite 11 février 2013	Bande 1 - aérosoll	0.43 - 0.45	30
	Bande 2 - bleu	0.45 - 0.51	30
Operational Land Imager (OLI)	Bande 3 - vert	0.53 - 0.59	30
	Bande 4 - rouge	0.64 - 0.67	30
	Bande 5 – proche infrarouge (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Bande 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Bande 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bande 8 - panchromatique	0.50 - 0.68	15
	Bande 9 - cirrus	1.36 - 1.38	30
	Bande 10 - infrarouge thermique	10.60 - 11.19	100 * (30)
	Bande 11 - infrarouge thermique	11.50 - 12.51	100 * (30)

Selon une vérification visuelle effectuée sur une série d'images LANDSAT-8 acquises pendant l'hiver 2014 - 2015, les indices permettant la meilleure différenciation des valeurs correspondant à la glace par rapport à celles correspondant à l'eau sont :

- le NDVI standard (bande proche infrarouge et bande rouge)
- le NDSII-2 (équation 2), liant la bande du proche infrarouge (bande 5) et le vert du visible (bande 3 de LANDSAT-8). Ce dernier indice est celui utilisé pour les images MODIS.

Par la suite, un masque de nuages est créé. A ce jour, nous avons utilisé les mêmes indices que pour la distinction de l'eau. Si on utilise le NDVI, tous les pixels ayant la valeur 1 sont classifiés comme étant des nuages. Nous sommes en train de tester les seuils visant la distinction de la glace et de l'eau (Tableau 4).

Pour les cinq infrastructures maritimes du Nunavik à l'étude dans le cadre du présent projet, des images du satellite LANDSAT-7, de bonne qualité (car certains détecteurs sont défectueux et les images présentent des rayures par endroit) étaient aussi disponibles pour la période 2009 à 2015 (Tableau 5). Cela double le nombre

d'images disponibles à 30 m de résolution. Dans un premier temps, nous allons nous concentrer sur le traitement des images LANDSAT-8 tel que spécifié dans le devis. Nous produirons les cartes de glace pour les images LANDSAT-7 en sus. Les capteurs sur LANDSAT -7 étant différents (ETM+) cela pourrait affecter les seuils de classification.

Tableau 4 : Seuils pour la classification glace/eau à partir du NDVI

Classe	Seuils
Eau	NDVI \leq -0.76 ET NDVI \geq -0.47
Glace	NDVI $<$ -0.47 ET NDVI \geq -0.22
Autres (sols)	NDVI $<$ -0.22
Nuages	NDVI = 1

En somme, l'algorithme de classification automatisé des images LANDSAT-8 est en cours d'implantation et les cartes de glace seront créées d'ici la fin juin. Les produits extraits seront les images d'indice avant l'application du masque des nuages et après l'application du masque, la classification (glace/eau/nuage) et un composé couleur RGB (figure 11). Les deux produits qui seront transmis à l'ISMER sont le composé couleur RGB et la classification (glace/eau/nuage) qui permettra d'extraire les concentrations de glace pour une maille donnée.

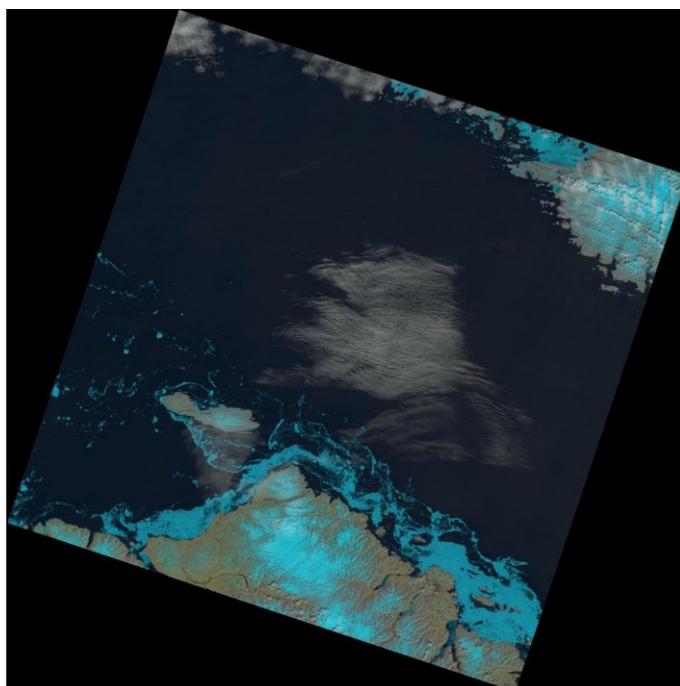


Figure 11 Image Landsat-8 du 27 juin 2013, composé couleur R (bande 6) V (bande 5) B (bande 4) montrant le détroit d'Hudson de Baie Déception à Douglas Harbor, Nunavik. La glace et la neige paraissent en bleu.

Tableau 5 : Liste des images LANDSAT-7 et LANDSAT-8 disponibles couvrant les anses au voisinage des infrastructures maritimes d' Aupaluk, Ivujivik, Kujjurapik, Quaqtac et Umiujaq.

Nombre d'images acquises pour Aupaluk		
	Landsat 7	Landsat 8
2009-2010	10	0
2010-2011	13	0
2011-2012	16	0
2012-2013	10	7
2013-2014	25	41
2014-2015	12	42
Total:	86	90

Nombre d'images acquises pour Umiujaq		
	Landsat 7	Landsat 8
2009-2010	8	0
2010-2011	21	0
2011-2012	13	0
2012-2013	15	4
2013-2014	22	23
2014-2015	12	16
Total:	91	43

Nombre d'images acquises pour Quaqtac		
	Landsat 7	Landsat 8
2009-2010	9	0
2010-2011	12	0
2011-2012	4	0
2012-2013	6	10
2013-2014	8	25
2014-2015	11	20
Total:	50	55

Nombre d'images acquises pour Ivujivik		
	Landsat 7	Landsat 8
2009-2010	3	0
2010-2011	6	0
2011-2012	9	0
2012-2013	20	11
2013-2014	15	28
2014-2015	14	20
Total:	67	59

Nombre d'images acquises pour Kuujjuaraapik		
	Landsat 7	Landsat 8
2009-2010	6	0
2010-2011	24	0
2011-2012	15	0
2012-2013	16	6
2013-2014	25	43
2014-2015	19	21
Total:	105	70

4 DISCUSSION ET CONCLUSION

À cette étape du projet, les activités prévues dans le contrat ont été réalisées. Cette section résume l'état d'avancement de chaque activité spécifique et les travaux à venir lors de la prochaine étape.

4.1 TRAITEMENT DES PHOTOGRAPHIES OBLIQUES

Concernant la rectification des photographies obliques (objectif 1), la procédure pour les rectifier est en place et a été validée. Une précision de 10 m a été obtenue. Nous sommes donc d'avis qu'il serait pertinent d'étendre le réseau de caméras pour la prise des photos obliques aux quatre autres villages inclus dans le projet à l'automne 2015. Toutefois, afin de faciliter le travail de rectification des photos obliques et d'améliorer la précision de l'algorithme de rectification, les nouvelles caméras seront calibrées avant d'être installées en conséquence. La section 4.1 donne les recommandations pour la calibration et leur installation.

Concernant le second objectif, soit l'identification automatique des pixels d'eau et de glace, l'approche performe bien pour les photos sans glace (90% de précision) et celles, avec un couvert de glace complet (90% de précision). Dans le cas de couverture partielle, la classification automatique des photos (non supervisée) se fait bien à l'automne (ciel souvent nuageux) mais elle est plus problématique au printemps (mares de fonte). Une approche semi-automatique (supervisée) est envisagée pour certaines photos, l'opérateur identifiant à l'algorithme de classification des pixels de glace et des pixels d'eau sur chacune des images difficilement identifiables. Un meilleur cadrage des photos (moins de ciel) va aussi aider la classification automatique de la glace.

Actuellement, seules les photos de la caméra Reconyx d'Umiujaq en 2009 ont été traitées avec la procédure automatisée. La procédure étant en place, suivront les photos de la caméra Harbortronix pour le même site. Et ensuite celles des deux caméras de Quaqtq.

4.2 RECOMMANDATIONS POUR OPTIMISER L'INSTALLATION DE NOUVELLES CAMERAS EN 2015

4.2.1 Avant la mission d'installation

La procédure de redressement de photos optiques obliques nécessite la connaissance des paramètres internes de la caméra. Ainsi, afin de modéliser au mieux la chambre de prise de vue, une calibration au préalable en laboratoire du système d'acquisition est recommandée. Cette calibration va permettre de définir : les coordonnées du point principal (intersection de l'axe optique avec le plan photo), la longueur de la focale, et les paramètres de distorsions radiales et tangentielles.

La calibration n'est pas une étape indispensable, on arrive à obtenir des résultats convenables sans calibration (erreur moyenne quadratique d'environ 10m

actuellement). Cependant, il est intéressant de connaître le maximum de paramètres possibles pour la réalisation du calcul de redressement (principe de compensation par les moindres carrés).

4.2.2 Pendant la mission d'installation

L'objectif principal de la mission est d'installer la caméra de telle sorte que l'océan occupe la majorité de la photo (maximum d'information utile) tout en conservant quelques détails du paysage visibles (pour avoir des repères géographiques) et bénéficiant d'un bon contraste nécessaires à la rectification de l'ensemble des photos. Les détails du paysage peuvent être ponctuels, servant par conséquent comme points d'appui pour le redressement (et donc connus dans un système de référence géographique ou projeté défini) ou surfaciques, servant au recalage des photos (point central de la région défini dans le système photo avec connaissances des dimensions de la région en pixels). Aussi, afin de faciliter la procédure de rectification des photos obliques, la caméra doit être installée suivant certaines précautions :

- Installer la caméra avec un angle d'inclinaison le plus élevé possible et de telle sorte à ce qu'un minimum de ciel soit visible, permettant de faciliter le redressement.
- Installer la caméra sur une structure immobile, protégée au mieux des conditions météorologiques, permettant de faciliter le recalage.
- Repérer les régions d'intérêt susceptibles de rester inchangées au cours de l'année et d'être utilisées pour le recalage ainsi que des points d'appui pouvant servir au redressement de la photo de référence.
- Si des îles situées au large sont visibles et facilement identifiables, il faut essayer de les inclure dans la photo, permettant de connaître la qualité du redressement au large.
- Si possible, installer des repères fixes au pied de la caméra avec un bon contraste, pouvant être visibles le plus longtemps possible au cours de l'année afin de faciliter le recalage.

De plus, les informations suivantes sont à récupérer lors de l'installation de la caméra afin d'effectuer au mieux le redressement :

- Mesurer les coordonnées planimétriques de points facilement identifiables sur les photographies situés au niveau du plan à redresser.
- Mesurer les coordonnées planimétriques et altimétriques du centre de perspective le plus précisément possible.
- Estimer au mieux la direction de prise de vue ϑ par rapport au Nord, l'angle d'inclinaison de la photo λ (horizontal : 0° , vertical bas : 90°), l'angle de rotation autour de l'axe de prise de vue ϕ .

Pour l'ensemble des paramètres précédents, une estimation de la précision de ces mesures doit aussi être effectuée.

4.3 CARTOGRAPHIE DES CONDITIONS DE GLACES DE RIVES À PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES

Quant aux cartes de glace dérivées des images satellitaires (objectif 4 du projet), les classifications MODIS journalières (2 images par jour) sont en production et nous devrions avoir traité la période 2009 à 2015 d'ici la fin de l'été.

Pour les images LANDSAT-8 les images acquises de la mise en opération en 2013 jusqu'au 29 mai 2015 ont été téléchargées ainsi que des images LANDSAT-7 de 2009 à 2015. Nous sommes à définir les seuils adaptés à notre région pour les classer. Nous devrions livrer les cartes LANDSAT-8 pour la période 2013 à 2015 d'ici la fin de l'été.

4.4 TRAVAUX À VENIR

Le prochain rapport d'étape est dû pour novembre 2015.

Étapes 1 et 2: Compléter le traitement des photos des sites d'Umiujaq et Quaqtac de 2009-2014.

Étape 3: Nous sommes à planifier l'acquisition des caméras et du matériel pour les quatre nouveaux sites : Kuujuarapik, Ivujivik, Baie Déception et Aupaluk. Nous procédons également à la sélection du lieu optimal d'installation, ainsi qu'à la demande d'autorisation des autorités locales concernées (corporations foncières, Avataq, NMRRB). La tournée d'installation et d'entretien des caméras est prévue pour la fin d'août et le début septembre.

Étape 4 : Finaliser le traitement des images MODIS et LANDSAT-8 de 2009-2015.

Également, valider le format de transfert des données avec l'ISMER

5 REFERENCES

St-Onge Drouin, S. Senneville S., 2013. Rapport final : Étude de la variation des glaces dans le système couplé océan – glace de mer de la baie d’Hudson, 63 p.

Boulianne, M., 2012, Photogrammétrie fondamentale, Université Laval, 170 p.

Dozier, J. 1989, Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper, Remote sensing of environment, 28, 9-22.

Hall, D. K., G. A. Riggs, V. V. Salomonson, J. Barton, K. Casey, J. Chien, N. DiGirolamo, A. Klein, H. Powell, and A. Tait, 2001., Algorithm theoretical basis document (ATBD) for the MODIS snow and sea ice-mapping algorithms, NASA GSFC, September.

Luo, Y., A. P. Trishchenko, and K. V. Khlopenkov, 2008. Developing clear-sky, cloud and cloud shadow mask for producing clear-sky composites at 250-meter spatial resolution for the seven MODIS land bands over Canada and North America, Remote Sensing of Environment, 112(12), 4167-4185.

Pawlowicz R. 2003, Quantitative visualization of geophysical flows using digital oblique time-lapse imaging, IEEE Journal of Oceanographic Engineering.

Xiao, X., Z. Shen, and X. Qin, 2001. Assessing the potential of VEGETATION sensor data for mapping snow and ice cover: a Normalized Difference Snow and Ice Index, International Journal of Remote Sensing, 22(13), 2479-2487.

Matlab package for georectifying oblique digital images (g rect), 2015, Institut des Sciences de la Mer à Rimouski.

URL:http://demeter.uqar.ca/g_rect/index.php/A_Matlab_package_for_georectifying_oblique_digital_images_%28g_rect%29

6 LEXIQUE

Classification supervisée : Les techniques de classification supervisée permettent de classer une image ou un lot d'images à l'aide d'échantillons (dites zones d'entraînement) préalablement définis sur une image.

Point d'appui : Détail ponctuel précis du terrain bien visible sur les photographies et dont les coordonnées planimétriques sont connues dans un système de référence géographique ou projeté.

Recalage : Le recalage des photographies est une manipulation permettant de corriger les petits mouvements de la caméra au cours du temps. Pour cela, on identifie des régions homologues entre deux photos (une photo dite de référence et une photo à recalier) puis on superpose la photo de référence avec la photo à recalier par un calcul de transformation géométrique entre les deux photos.

Rectification des photos : Ensemble des étapes de redressement de la photo de référence et de recalage de l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence.

Redressement : Le redressement vise à corriger l'effet de l'inclinaison de la photographie lors d'une prise de vue et de produire une image à échelle constante si le terrain ou l'objet photographié est relativement plat.

Région homologue (ou région d'intérêt) : Echantillon de la photo de référence, bénéficiant d'une structure reconnaissable et d'un bon contraste, pouvant être repérée automatiquement à l'aide d'un algorithme de corrélation sur plusieurs photos et définie dans notre cas par un rectangle (coordonnées du barycentre, dimensions : longueur et largeur).