Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec

SUIVI DES CONDITIONS DE GLACES DE RIVES À PROXIMITÉ D'INFRASTRUCTURES MARITIMES AU NUNAVIK DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES : KUUJJUARAPIK, UMIUJAQ, IVUJIVIK, BAIE DÉCEPTION, QUAQTAQ ET AUPALUK

PROJET CC09.1

Monique Bernier, Jimmy Poulin, Yves Gauthier et Charles Gignac
Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement
490, rue de la Couronne
Québec (Québec) G1K 9A9

INRS
UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Réalisé pour le compte du ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, Bureau de la coordination du Nord-du-Québec (BCNQ), Sous-ministériat aux territoires.

Mai 2017

Fondsvert

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, Bureau de la coordination du Nord-du-Québec (BCNQ), Sous-ministériat aux territoires dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020 et a été financé par le Fonds vert.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transport, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'Administration régionale Kativik (ARK) pour leur support au projet, plus particulièrement Mme Véronique Gilbert du service des ressources renouvelables, de l'environnement, du territoire et des parcs, ainsi que le personnel du service Transport tant à Kuujjuaq que dans les communautés. Merci également aux deux gérants qui se sont succédé à la station de recherche du Centre d'Étude Nordique à Kuujjuarapik, MM. Claude Tremblay et Maxime Saunier, votre aide a été précieuse. Finalement, plusieurs étudiants de l'Institut national de recherche scientifique (INRS) ne figurant pas comme auteurs ont participé à ce projet. Il est important de souligner la contribution de M. Romain Latapie au niveau de la méthode de redressement des photographies et la mise en place du système de caméras à Aupaluk, M. Dominic Thériault pour son travail sur les images Landsat et MM. Étienne Lauzier-Hudon et Dominic Phaneuf pour la classification des photographies.

SOMMAIRE

Le projet de recherche avait pour but de fournir des données d'observation des conditions de glace de rive à proximité de six infrastructures maritimes au Nunavik dans un contexte de changements climatiques. Les infrastructures visées sont situées à Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk. Les observations ont été réalisées en utilisant deux sources de données: des photographies provenant de caméras in situ et des images satellites optiques. Les données extraites ont permis de documenter l'évolution des conditions de glaces de rive dans un contexte de changements climatiques et les conditions de glace qui peuvent représenter un risque pour ces ouvrages côtiers pour les six (6) sites à l'étude. Ces données servent aussi au calcul de la concentration de glace pour la validation des simulations d'un modèle de glaces de rive à échelle fine développé à l'ISMER.

Les sites d'Umiujaq et de Quaqtaq étant les seuls qui possédaient déjà un système de caméras en début de projet (mis en place en 2009), le réseau a dû être étendu aux quatre autres sites à l'été 2015. Une mise à niveau des systèmes existants a également été réalisée. Cette mise à niveau était particulièrement nécessaire à Quaqtaq où l'une des caméras installées en 2009 avait cessé de fonctionner en 2012 et n'avait pas été remplacée tandis que l'autre poursuivait l'acquisition sans toutefois noter la date et l'heure des photos les rendant pratiquement inutilisables. À l'été 2016, les sites ont été visités et près de 144 000 photographies ont été récupérées dans l'ensemble des six (6) sites. Des problèmes ont été identifiés à Baie Déception où un panneau solaire avait été abîmé et à Aupaluk où le mauvais fonctionnement d'une carte mémoire avait empêché la caméra d'acquérir des photographies à partir du mois de décembre. Le problème à Aupaluk a été résolu en remplaçant la carte défectueuse. À Baie Déception, le panneau solaire a été réparé et devrait être remis en place en avril 2017.

Afin d'identifier la glace sur les photographies et de la positionner, deux étapes de traitement ont été réalisés : 1) la rectification et 2) l'identification de la glace. La première étape sert à corriger géométriquement les photographies afin de passer d'une vue oblique à une vue simulant une acquisition verticale (à partir du ciel) et de les géoréférencer à partir de points de contrôle. Ces points se sont avérés difficiles à obtenir en raison de l'absence d'éléments facilement identifiables au niveau de la zone de marnage et de l'absence d'éléments anthropiques sur la majorité des photos. Afin d'éliminer ce problème, un opérateur muni d'un récepteur GPS mesurant sa position en continu a servi de point de contrôle en se déplaçant dans le champ de vision des caméras alors

que celles-ci prenaient des photos à répétition. Il fut ensuite possible de faire le lien entre la position de la personne sur les photos et les coordonnées mesurées sur le terrain avec le récepteur GPS. Au terme de la rectification, la position sur le terrain associée à chaque pixel des photographies est obtenue. En parallèle, la présence ou non de glace doit être déterminée pour chacun des pixels. La classification glace / non glace comporte son lot de défis en raison de la luminosité qui est variable dans le temps et dans l'espace. Au niveau temporel, lors d'une même journée, l'eau et la glace apparaissent fort différemment selon la position du soleil par rapport à la caméra. Au niveau spatial, la présence d'un couvert nuageux discontinu peut occasionner des zones d'ombre dans l'image dont les teintes se rapprochent plus de celles de l'eau que de la glace. Le reflet du soleil sur l'eau lorsque celui-ci est face à la caméra peut, à l'inverse, laisser croire à la présence de glace. Pour ces raisons, l'identification de la glace a demandé l'intervention d'un photo-interprète et n'a pu être entièrement automatisée. La classification a été réalisée en utilisant le logiciel Adobe Photoshop. Les étapes préalables à la classification ont été automatisées (tri des photographies, ouverture successive des photographies) de même que celles suivant la classification (enregistrement, ouverture de l'image suivante). La sélection des pixels représentant la glace s'est fait en utilisant les différents outils de sélection offerts par le logiciel.

Dans le but d'obtenir des observations plus régionales, deux sources d'imagerie satellitaire ont été utilisées : le satellite Landsat-8 et le capteur MODIS embarqué sur le satellite Terra. Une procédure de classification automatique (glace-eau-nuage) a été développée pour traiter les images de ces deux sources de données. Pour le traitement des images Landsat-8, l'approche utilisée est une adaptation de l'algorithme présenté par Zhu et al (2012, 2015) où des modifications ont été faites considérant que le domaine d'étude se limitait à un milieu maritime subarctique. L'algorithme identifie en premier lieu les pixels qui sont potentiellement contaminés par des nuages au moyen de différents tests. En parallèle, un test est appliqué sur tous les pixels afin d'identifier les pixels d'eau. Par la suite, différents tests et seuils sont utilisés afin de calculer la probabilité que le pixel soit un nuage sachant qu'il s'agit d'un pixel d'eau ou non. Finalement, les probabilités sont combinées avec la couche de pixels probables identifiés à la première étape pour créer ce qui sera la couche de nuages. Les pixels qui ne sont pas identifiés comme un nuage ou comme de l'eau libre sont présumés être de la glace. Environ 1600 images ont été classifiées pour les six (6) sites à l'étude d'avril 2013 à janvier 2017. L'évaluation de la performance de l'algorithme a montré un taux de succès de 91% dans la classification. Au niveau des images MODIS,

l'algorithme IceMap250 a été utilisé (Gignac et al, 2017). L'algorithme utilise en parallèle deux masques de nuages différents pour éviter que les pixels montrant un couvert nuageux n'interviennent dans les calculs statistiques servant à identifier la glace et l'eau. L'un de ces masques correspond au masque de nuage distribué dans les produit MODIS (MOD35), l'autre (VIS) provient d'un ratio des températures de brillance à 3.7 µm (bande 20) et 12 µm (bande 32), lesquelles sont connues pour être sensibles à la température de surface et la température des nuages. La glace identifiée en utilisant le masque MOD35 est ensuite combinée à l'eau identifiée en utilisant le masque VIS pour générer la classification finale. Environ 7 500 cartes ont été produites de 2002 à 2016. L'évaluation de la performance de l'algorithme de classification a montré un taux de succès de 98% (Gignac et al, 2017).

Finalement, l'analyse des photographies et des images Landsat-8 ont permis d'effectuer une synthèse des conditions de glace de rive pour la période 2009-2016 pour les six sites à l'étude. Les photographies ont permis plus particulièrement de décrire l'englacement et le retrait des glaces (type de glace, méthode de formation et de dégradation, période des glaces fixes et mobiles, nombre d'épisode de glace mobile, dates d'englacement et de fonte). Lorsque des phénomènes rares ou dignes d'intérêt ont été observés, les dates, durées, localisation et ampleur ont été notées. Au niveau de l'imagerie Landsat-8, la résolution spatiale de 30 m et la faible fréquence d'acquisition (potentiel de 2 à 3 images par 16 jours) ne permettent pas une analyse aussi détaillée des conditions de glace. Seuls la présence / absence de glace ainsi que le type de couvert (partiel, complet) ont été documentés. La synthèse a permis de constater à Umiujaq des conditions de glace en 2015-2016 particulièrement différentes de celles des trois (3) années précédentes et ce, à plusieurs niveaux: une durée d'englacement plus courte (8 jours) et une plus longue période de couvert complet, ensuite, au printemps de nombreux épisodes de glace mobiles sont aperçus durant une longue période. Cette comparaison ne peut se faire aux autres sites faute de photographies des infrastructures. Elle met aussi en évidence l'importance d'un suivi pluriannuel.

SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce projet a permis de fournir des données d'observation des conditions de glace au voisinage de six (6) infrastructures maritimes au Nunavik en utilisant trois types d'information ayant des échelles différentes, soit des photographies acquises à proximité du rivage, des images de haute résolution spatiale (30 m) du satellite Landsat-8 et des images de moyenne résolution spatiale (250 m) du capteur MODIS. Pour y parvenir, un réseau de caméras autonome en énergie a dû être mis en place dans les sites de Kuujjuarapik, d'Ivujivik, Baie Déception et Aupaluk. Les sites d'Umiujaq et Quaqtaq ont été mis à niveau, car ils possédaient des systèmes datant de 2009 qui étaient, dans le cas de Quaqtaq, devenu partiellement inopérant. En faisant l'acquisition à toutes les heures durant le jour, les caméras ont acquis près de 144 000 photos de l'été 2015 à l'été 2016.

Un des buts des observations de glace étant d'offrir à l'ISMER un jeu de données permettant le calcul de concentration de glace pour valider un modèle de glaces de rives à l'échelle d'une infrastructure maritime, les photographies et images des trois sources de données ont été traitées afin d'identifier chaque pixel comme étant de l'eau ou de la glace. Une troisième classe s'ajoute pour les images Landsat-8 et MODIS en raison de la présence de nuages qui peuvent empêcher le capteur de voir ce qui se passe au niveau du sol. Malgré une précision générale de 91%, l'algorithme utilisé pour la classification des images Landsat-8 a paru sensible à la présence des nuages de type cirrus. Ces nuages se présentant souvent comme un voile nuageux peu opaque, il est parfois possible d'identifier visuellement la présence d'élément au sol malgré leur présence. De plus, ils sont parfois continus sur de grandes superficies rendant inutilisables les images acquises à ce moment. Il est suggéré de poursuivre le développement de l'algorithme utilisé afin de diminuer la sensibilité à ce type de nuage. L'algorithme utilisé pour la classification des images MODIS semble plus mature avec une efficacité de 98%.

Au niveau des photographies, les grandes variations de luminosité observables sur une même photographie, ou d'une photographie à l'autre, ont conduit à l'implication de photos-interprètes pour l'identification partiellement manuelle des pixels de glace. La reproductibilité de la méthode a été évaluée à 84% pour des personnes différentes et 92% lorsqu'il s'agit d'une même personne. Le défi reste ouvert pour l'automatisation complète de la classification. Les photographies doivent également être géoréférencées et rectifiées afin que leur contenu soit représentable sur une carte. De leur côté,

les produits satellitaires utilisés étaient déjà géoréférencés. Pour y parvenir, des points de contrôle donnant la position réelle sur le terrain de certains éléments présents sur les photos doivent être utilisés. Les photographies montrant peu d'éléments anthropiques ou facilement identifiables, il est difficile de trouver les points de contrôle à utiliser. Ce problème a été éliminé en faisant l'acquisition d'une série d'images dans un intervalle très court pendant qu'un opérateur se déplaçait dans le champ de vision des caméras, à pied ou en canoë, tout en mesurant sa position en continu à l'aide d'un récepteur GPS. Il a ensuite été possible d'associer la position de la personne sur la photographie à la position mesurée par le récepteur GPS. À l'avenir, afin de faciliter le géoréférencement des parties des photographies montrant les régions les plus éloignées, il est suggéré d'étendre jusqu'à au moins 3 000 m l'acquisition des points de contrôle en canoë et davantage si l'embarcation est de plus grandes dimensions. La limite correspondant à la limite de détection de l'embarcation dans la photographie.

L'analyse des photographies et des images Landsat-8 a également permis d'effectuer une synthèse des conditions de glace de rive pour les six sites à l'étude. Pour les sites de Kuujjuarapik, Ivujivik, Baie Déception et Aupaluk, où un seul hiver de photographies est disponible, il n'est pas possible d'établir réellement de constat sur les conditions de glace de rive présentes. De plus, aucune tempête posant un risque pour les infrastructures n'a été observée sur les photographies durant cette période. Les photographies ont néanmoins permis de bien décrire les processus de l'hiver en question. Pour le site d'Umiujaq, où sept (7) hivers ont été suivis, il a été possible de constater des différences notables dans les conditions d'englacement en 2015-2016 par rapport aux années précédentes: une durée d'englacement plus courte (8 jours) et une plus longue période de couvert complet, aussi, la période de couvert partiel au printemps est plus longue et de nombreux épisodes de glace mobiles ont été aperçus. Cette période de glace mobile, qui est plus longue que le temps de désagrégation du cordon protecteur autour de l'infrastructure, amène une période d'exposition accrue pour l'infrastructure. L'analyse faite à Umiujaq met en évidence l'importance d'un suivi pluriannuel.

Depuis 2009, les caméras ont acquis plus de 268 000 photos, ce qui en fait une base d'information de premier plan sur les conditions de glace de rive au Nunavik. Il sera donc profitable de maintenir les efforts et les fonds nécessaires à l'entretien du réseau de caméras mis en place dans le cadre de ce projet afin de poursuivre l'observation de l'environnement dans ces sites dans un contexte de changement climatique, afin d'enrichir la base de données sur les risques aux infrastructures dues aux glaces mobiles ou aux

vagues et de poursuivre le développement de la connaissance sur les conditions de glaces de rive au Nunavik.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 26

1.1 Mise en contexte 26
1.2 Problématique 26
1.3 Objectifs 27

2 MÉTHODOLOGIE 29

2.1 Réseau de caméras *in situ* 29
2.1.1 Mise en œuvre du réseau de caméras 29
2.1.2 Traitement des photographies acquises par les caméras 39
2.2 Images satellitaires 50
2.2.1 Classification des conditions de glace de rive à partir des images satellitaires Landsat-8 51
2.2.2 Cartographie MODIS des conditions de glaces de rive 55

3 BILAN DES CONDITIONS DE GLACE DE RIVE OBSERVÉES AUX SITES À L'ÉTUDE ENTRE 2009 ET 2016 59

3.1 Description du régime des glaces à Kuujjuarapik 62
3.2 Description du régime des glaces à Umiujaq 67
3.3 Description du régime des glaces à Ivujivik 77
3.4 Description du régime des glaces à Baie Déception 82
3.5 Description du régime des glaces à Quaqtaq 87
3.6 Description du régime des glaces à Aupaluk 95

4 CONCLUSION 101

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 105

ANNEXE A 107

ANNEXE B 118

ANNEXE C 126

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Résolution spatiale, fréquence et période de disponibilité des données pour les satellites utilisés 51

Tableau 2 Nombre de jours par année où au moins une carte a été produite par IceMap250 sur les images MODIS (au 27 février 2017) 57

Tableau 3 Disponibilité des données des caméras et des images Landsat-8 pour les sites à l'étude 60

Tableau 4 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Kuujjuarapik en 2015-2016 66

Tableau 5 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Kuujjuarapik 66

Tableau 6 Résumé des observations de glace pour Umiujaq de 2012 à 2016 réalisé à partir de l'analyse des photographies 73

Tableau 7 Données pluriannuelles sur les durées des différents stades du couvert de glace obtenues par les caméras à Umiujaq 74

Tableau 8 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Ivujivik en 2015-2016 81

Tableau 9 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Ivujivik 81

Tableau 10 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Baie Déception en 2015-2016 86

Tableau 11 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Baie Déception 86

Tableau 12 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Quaqtaq en 2015-2016 93

Tableau 13 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Quaqtaq 93

Tableau 14 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Aupaluk en 2015-2016 100

Tableau 15 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Aupaluk 100

Tableau 16 Caractéristiques des bandes des capteurs OLI et TIRS Landsat-8 (NASA) 109

Tableau 17 Matrice de confusion pour l'évaluation de l'algorithme utilisé ... 114

Tableau 18 Matrice de confusion pour l'évaluation de l'algorithme testé pour percer le couvert nuageux 115

Tableau 19 Performance de IceMap250..... 125

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Sites à l'étude 28

Figure 2 Exemple du système de caméras installé à Ivujivik en 2015 30

Figure 3 Emplacement des caméras pour le site de Kuujjuarapik de même que l'orientation approximative de chacune des caméras..... 31

Figure 4 Régions couvertes par les caméras de Kuujjuarapik 31

Figure 5 Emplacement des caméras pour le site d'Ivujivik de même que l'orientation approximative de chacune des caméras 32

Figure 6 Régions couvertes par les caméras d'Ivujivik..... 32

Figure 7 Emplacement des caméras pour le site de la Baie Déception de même que l'orientation approximative de chacune des caméras..... 33

Figure 8 Prises de vue la caméra du site #1. La caméra étant mobile, les vues peuvent être modifiées. 34

Figure 9 Prise de vue des caméras du site #2. La caméra Reconyx offre la vue de droite..... 34

Figure 10 Région couverte par les caméras du site #3. La caméra Reconyx offre la vue en rouge. 34

Figure 11 Orientation des caméras présentes à Aupaluk..... 35

Figure 12 Régions couvertes par les caméras d'Aupaluk 35

Figure 13 Emplacement des caméras pour le site d'Umiujaq de même que l'orientation approximative de chacune des caméras 37

Figure 14 Régions couvertes par les caméras d'Umiujaq 37

Figure 15 Emplacement des caméras pour le site de Quaqtaq de même que l'orientation approximative de chacune des caméras 38

Figure 16 Prise de vue des caméras de Quaqtaq. 38

Figure 17 Différence de luminosité lors d'une même journée à Umiujaq. Le contraste entre la glace et l'eau est très marqué sur la photo de gauche (A) alors qu'il l'est beaucoup moins sur la photo de droite (B). 42

Figure 18 Effet des conditions climatiques au site d'Umiujaq. L'ombre présente sur l'image de gauche (A) peut se confondre avec de l'eau alors que le reflet sur l'image de droite (B) peut être confondu avec de la glace..... 42

Figure 19 Procédure de classification mise en place avec le logiciel Adobe Photoshop permettant à un opérateur de déterminer la présence ou non de glace sur les photographies..... 43

Figure 20 Résultat d'une classification réalisée sur une photographie de Quaqtaq le 20 juin 2016 44

Figure 21 Photographie de Quaqtaq le 27 juin 2016 montrant un cas typique de classification où le pourcentage de pixels identiques correspond à la moyenne de la série évaluée, soit 84 %. 45

Figure 22 Montage photo réalisé à partir des photographies acquises à différents moments lors de la prise des points de contrôle à Kuujjuarapik. Un point rouge a été ajouté à l'emplacement de l'opérateur mesurant des coordonnées à l'aide du GPS. 47

Figure 23 Vue de la caméra Ouest d'Ivujivik avant (A) et après (B) le déplacement du 14 mars 2016 48

Figure 24 Position des points de contrôle utilisés pour la rectification des photographies de la caméra Ouest à Ivujivik..... 48

Figure 25 Exemple de rectification pour Ivujivik pour les photographies acquises avant le 14 mars 2016 et après cette date. Chaque point représente la position d'un pixel des photos acquises par la caméra. 49

Figure 26 Exemple de rectification pour le site de Pointe Noire à Baie Déception. Chaque point représente la position d'un pixel des photos acquises par la caméra. 50

Figure 27 Étendue des domaines de modélisation de l'ISMER pour chacun des sites 52

Figure 28 Exemple de situations présentes sur une image Landsat-8 du 24 janvier 2015 au large d'Umiujaq 53

Figure 29 Exemple de classification d'une image Landsat-8 du 24 janvier 2015 au large d'Umiujaq 54

Figure 30 Image Landsat-8 du détroit d'Hudson acquise le 27 janvier 2016 au moment où un couvert nuageux peu opaque est présent 55

Figure 31 Classifications produites en utilisant les deux masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq 56

Figure 32 Classification produite en combinant les résultats obtenus avec les masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq 57

Figure 33 Exemple de graphique de saisons d'englacement 61

Figure 34 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Kuujjuarapik (1 : 27 novembre 2015, 2 : 10 décembre 2015, 3 : 20 décembre) 63

Figure 35 Déroulement de la fonte au printemps 2016 à Kuujjuarapik (1-30 mai 2016, 2-4 juin 2016, 3-24 juin 2016, 4-28 juin 2016) 65

Figure 36 Images Landat-8 acquises pendant la fonte 2016 à Kuujjuarapik. 65

Figure 37 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 pour Kuujjuarapik en 2013-2017 66

Figure 38 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Umiujaq (1-16 décembre 2015, 2-22 décembre 2015) 68

Figure 39 Déroulement de l'englacement 2012-2013 à Umiujaq (1-16 décembre 2012, 2-27 décembre 2012) 68

Figure 40 Déroulement de la fonte 2016 à Umiujaq (1- 24 et 26 mai, 2- 27 et 30 mai, 3- 4 et 17 juillet) 70

Figure 41 Agrandissement d'une photo du 4 juillet 2016 montrant une grande quantité de blocs agglomérés autour de l'infrastructure 71

Figure 42 Déroulement de la fonte 2015 à Umiujaq (1-6 juin, 2-9 juin, 3-21 juin, 4-28 juin) 71

Figure 43 Déroulement de la fonte 2014 à Umiujaq (1-1 juin, 2-17 juin) 72

Figure 44 Déroulement de la fonte 2013 à Umiuajq (1- 17 mai, 2- 20 mai, 3- 28mai, 4- 4 juin) 72

Figure 45 Saisons de glace déterminées par les caméras (2013-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2017) pour Umiujaq 74

Figure 46 Vagues frappant l'infrastructure maritime d'Umiujaq le 20 novembre 2015 75

Figure 47 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Ivujivik (1-10 et 14 novembre 2015, 2-24 novembre 2015, 3-25 novembre 2015, 4-1 décembre 2015) 78

Figure 48 Déroulement de la fonte 2016 à Ivujivik (1-11 mars, 2-12 avril, 3-15 mai, 4-4 juin, 5-9 juin, 6-10 juin, 7-11 juin) 80

Figure 49 Image Landsat-8 acquise pendant la fonte 2016 à Ivujivik..... 80

Figure 50 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Ivujivik..... 81

Figure 51 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Baie Déception (1-29 octobre, 2-1 novembre, 3-14 novembre, 4-22 novembre, 5-24 novembre)..... 84

Figure 52 Déroulement de la fonte 2016 à Baie Déception (1-22 juin, 2-23 juin, 3-24 juin, 4-1 juillet) 85

Figure 53 Images Landsat-8 acquises pendant la fonte 2016 à Baie Déception 85

Figure 54 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Baie Déception 86

Figure 55 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Quaqtaq (1-17 novembre 2015, 2-23 novembre 2015, 3-24 novembre 2015, 4-27 novembre 2015) 89

Figure 56 Déroulement de la fonte 2016 à Quaqtaq (1-17 juin, 2-23 juin, 3-8 juillet) 90

Figure 57 Fonte au niveau de la deuxième infrastructure de Quaqtaq en 2016 (1-2 juillet, 2-3 juillet, 3-10 juillet, 4-20 juillet)..... 91

Figure 58 Image Landsat-8 du 8 juillet 2016 montrant la présence de glace mobile dans la baie Diana 92

Figure 59 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Quaqtaq 93

Figure 60 Déroulement de la saison d'englacement 2015-2016 à Aupaluk (1-1 novembre 2015, 2-11 novembre 2015, 3-18 novembre 2015, 4-28 novembre 2015) 96

Figure 61 Image Landsat-8 montrant une faible présence de glace dans la baie d'Aupaluk le 21 novembre 2015 97

Figure 62 Déroulement de la fonte 2016 à Aupaluk (1- 17 juin, 2- 22 juin, 3- 2 juillet, 4- 6 juillet)..... 98

Figure 63 Blocs se déposant près de l'infrastructure maritime (1-26 juin, 2-6 juillet, 3-10 juillet 2016)..... 99

Figure 64 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Aupaluk..... 100

Figure 65 Comparaison des bandes spectrales de Landsat-8 par rapport aux missions précédentes. Figure tirée de https://landsat.usgs.gov/how-does-landsat-8-differ-previous-landsat-satellites..... 109

Figure 66 Test initiaux pour la détermination des pixels possiblement affectés par des nuages..... 111

Figure 67 Algorithme pour l'identification des nuages. Modifié de Zhu et al (2015) 112

Figure 68 Modifications faites à l'algorithme original 113

Figure 69 Exemple de classification sans l'utilisation de la bande 9 en période hivernale (détroit d'Hudson, au nord de Quatqaq) 116

Figure 70 Exemple de classification sans l'utilisation de la bande 9 en période automnale (détroit d'Hudson, sud de l'île de Baffin)..... 117

Figure 71: Image MODIS en couleurs réelles de la partie sud de la Baie d'Hudson (31 mai 2016). 119

Figure 72 Résultat de désagrégation, Baie d'Ungava (A - 1km, B-250m)... 122

Figure 73 Classifications produites en utilisant les deux masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq 123

Figure 74 Classification produite en combinant les résultats obtenus avec les masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq 123

Figure 75 Organigramme des étapes de l'algorithme IceMap250 124

GLOSSAIRE

Floes : Fragment de glace de mer en forme de radeau plat, de 20 mètres ou plus d'extension horizontale.

Frasil : Fines aiguilles ou plaquettes de glace en suspension dans l'eau.

Glace en crêpes : Morceaux de glace de mer habituellement ronds pouvant atteindre jusqu'à 10 centimètres d'épaisseur et dont le diamètre varie entre 30 centimètres et trois mètres. Le relèvement des bords s'explique par le frottement des morceaux les uns contre les autres.

Glace de rive : Glace de mer attachée à la terre ferme. Il peut arriver que les marées et les vagues déplacent la glace, laissant derrière elles une crevasse de marée qui épouse la forme de la rive.

Sarrasin **:** Accumulation de glaces flottantes composées de fragments qui n'ont pas plus de 2 m d'extension et qui proviennent de la destruction d'autres formes de glace.

Sorbet : Stade de congélation postérieur au frasil; les cristaux commencent à s'agglutiner pour former en surface une couche épaisse comme de la soupe. Le sorbet réfléchit peu la lumière et donne à l'eau une apparence mate. Ce type de glace est souvent confondu avec une nappe de pétrole en raison de son apparence semblable en eau libre.

1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques (PACC) 2006-2012, le Ministère des Transports a mené une initiative de recherche intitulée «Évaluation de l'impact des changements climatiques sur les infrastructures maritimes du Nunavik et solutions d'adaptation» en collaboration avec différents partenaires dont le Consortium Ouranos, l'Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER) et l'Institut national de la recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE). Dans le cadre de cette initiative, l'INRS-ETE a réalisé une étude utilisant la télédétection et des caméras *in situ* pour caractériser le comportement des glaces au voisinage des infrastructures maritimes de trois villages nordiques, soit Umiujaq, Quaqtaq et Kuujjuaq pour la période 2009-2012 (Clerc *et al*, 2013). Les données et observations récoltées ont permis d'alimenter les travaux du Ministère concernant les conditions de glace pouvant représenter un risque pour les infrastructures maritimes du Nunavik dans un contexte de changements climatiques (CC). Les données recueillies sur les périodes d'englacement et de fonte ainsi que sur les concentrations de glace ont servi à valider et calibrer un modèle de glace de mer développé par l'ISMER dans le cadre de la même initiative de recherche. Ce modèle, dont le domaine couvre la baie et le détroit d'Hudson, la baie d'Ungava et la baie James, a permis de reconstituer des séries temporelles de concentration et d'épaisseur de glaces de mer à une résolution spatiale de 10 km pour les périodes 1981-2010 et 2041-2070 (Senneville et St-Onge-Drouin, 2013).

1.2 Problématique

Dans l'étude de Clerc et al. (2013), les conditions de glace ont été documentées sur seulement trois sites (Quaqtaq, Umiujaq et Kuujjuaq) pour la période 2009-2012. Les caméras installées sur ces sites ont continué d'acquérir des données durant la période 2012-2015, mais ces dernières n'ont fait l'objet d'aucun traitement ou analyse. Par ailleurs, afin d'améliorer les connaissances sur les conditions de glaces de rives pouvant représenter un risque pour les ouvrages côtiers du Nunavik dans un contexte de changements climatiques et de poursuivre le développement du modèle de simulation des glaces de rive à l'échelle d'une infrastructure maritime (400 m à 2000 m), le Ministère doit acquérir des données sur les observations de glace

sur un plus grand nombre de sites au Nunavik. En effet, dans le cadre d'un autre projet de recherche du Ministère, l'ISMER a besoin de données de concentration de glace à proximité des infrastructures de Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk afin d'être en mesure de valider et calibrer un modèle de glace de rive à fine résolution (400 à 2000 m) et d'effectuer des projections des conditions de rive dans un contexte de changements climatiques. Ces données serviront à évaluer la vulnérabilité de ces ouvrages côtiers aux conditions de glace dans un contexte de changements climatiques.

De plus, la poursuite des observations des conditions de glaces permettra de débuter la documentation des concentrations de glace à l'échelle des infrastructures maritimes sur une longue séquence temporelle.

1.3 Objectifs

L'objectif principal du projet est de fournir des données d'observations des conditions de glace de rive à proximité des six infrastructures maritimes suivantes : Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk (Figure 1). Ces données d'observations proviennent de deux sources : des caméras *in situ* et des images satellites optiques. Les données sur les conditions de glaces de rive permettront le calcul de la concentration de glace pour la validation des simulations d'un modèle de glaces de rive à échelle fine développé à l'ISMER, de documenter l'évolution des conditions de glaces de rive dans un contexte de CC et les conditions de glace qui peuvent représenter un risque pour ces ouvrages côtiers pour les six (6) sites à l'étude.

Les objectifs spécifiques du projet de recherche sont :

1) Compléter ou mettre à niveau le réseau de caméras pour la surveillance des glaces de rives pour les sites à l'étude au Nunavik;
2) Calculer les concentrations de glace à partir des photos horaires acquises par des caméras *in situ* à Umiujaq et Quaqtaq sur la période 2009-2015;
3) Calculer les concentrations de glace à partir des photos horaires acquises par des caméras *in situ* sur l'ensemble des sites pour l'hiver 2015-2016;
4) Calculer les concentrations de glace à partir d'images des satellites optiques MODIS et LANDSAT-8 pour les six sites sur la période 2009-2016;

5) Effectuer un portrait synthèse de l'évolution des conditions de glaces de rives pour les sites à l'étude au Nunavik entre 2009 et 2016.

Le calcul des concentrations de glace prévu aux objectifs spécifiques 2, 3 et 4 sert à la validation des simulations du modèle de glaces de rive à fine échelle développé par l'ISMER. Dans le cadre du projet qui fait l'objet de ce rapport, le rôle de l'INRS dans le calcul des concentrations de glace s'est limité à identifier la présence de glace sur les photos et les images satellites et à transmettre cette information à l'ISMER.

Figure 1 Sites à l'étude

2 MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre de ce projet de recherche, les données sur les observations des conditions de glace à proximité des sites à l'étude proviennent de deux sources : un réseau de caméras *in* situ et des images satellites (Landsat-8 et MODIS).

2.1 Réseau de caméras *in situ*

2.1.1 Mise en œuvre du réseau de caméras

La mise en œuvre du réseau de caméras impliquait l'installation de nouvelles caméras à Kuujjuarapik, Ivujivik, Baie Déception et Aupaluk (section 2.1.1.1) ainsi que la mise à niveau des caméras existantes à Quaqtaq et Umiujaq (section 2.1.1.2).

2.1.1.1 *Mise en place des caméras à Kuujjuarapik, Ivujivik, Baie Déception et Aupaluk*

La première étape du projet a consisté en la mise en place, à l'été 2015, de systèmes de caméras autonomes aux quatre nouveaux sites à l'étude, soit Kuujjuarapik, Ivujivik, Baie Déception et Aupaluk, et ce, afin d'être en mesure de documenter les conditions de glace de rive à l'hiver 2015-2016.

Les caméras choisies sont de marque Reconyx, modèle PC800. Les caméras installées à Quaqtaq et Umiujaq depuis 2009 sont de la même marque, mais d'un modèle précédent. Leur rapport coût/résolution-fiabilité est excellent. Deux caméras par site ont été installées pour offrir une sécurité en cas de panne et augmenter le champ de visée. Les caméras sont alimentées par une batterie 12V qui est maintenue chargée par un panneau solaire (Figure 2).

Pour chaque site, l'endroit exact où les caméras sont installées a été déterminé en tenant compte des objectifs recherchés par le projet et des commentaires de personnes locales. Par la suite, les demandes d'autorisations pour permettre l'occupation de ces sites ont été effectuées auprès des Corporations foncières du Nunavik, de l'Institut culturel Avataq et de l'Administration régionale Kativik. Les détails techniques concernant l'installation des caméras et les copies des autorisations obtenues sont disponibles dans le rapport technique 1 du présent projet (Poulin et al. 2015).

Figure 2 Exemple du système de caméras installé à Ivujivik en 2015

2.1.1.1.1 Site de Kuujjuarapik

Le système de caméras de Kuujjuarapik couvre le secteur de l'infrastructure maritime situé à 13 km au nord du village. Plus précisément, les caméras sont à environ 500 m au sud de l'infrastructure (Figure 3). La caméra de droite couvre l'infrastructure maritime (Figure 4).

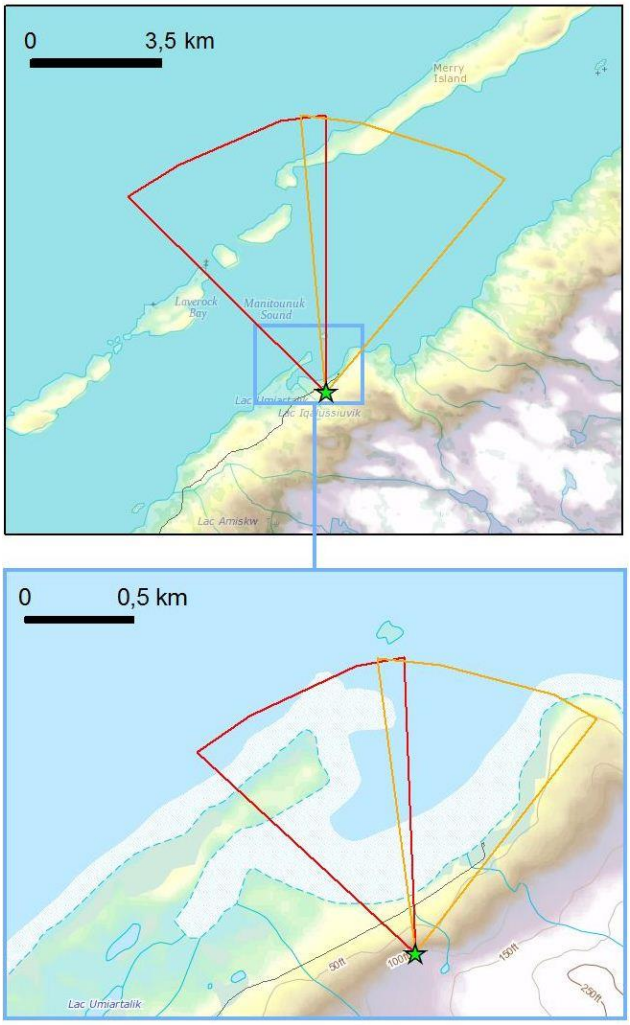


Figure 3 Emplacement des caméras pour le site de Kuujjuarapik de même que l'orientation approximative de chacune des caméras

Figure 4 Régions couvertes par les caméras de Kuujjuarapik

2.1.1.1.2 Site d'Ivujivik

Après discussion et rencontre avec la Corporation foncière Nuvummi, les caméras ont été installées sur la rive est de la baie d'Ivujivik, face au village (Figure 5). Ce site permet une vue sur le secteur de l'infrastructure maritime et la baie, de même que sur la passe Digges plus au nord (Figure 6). Les caméras sont situées à environ 1000 m au nord-est de l'infrastructure.

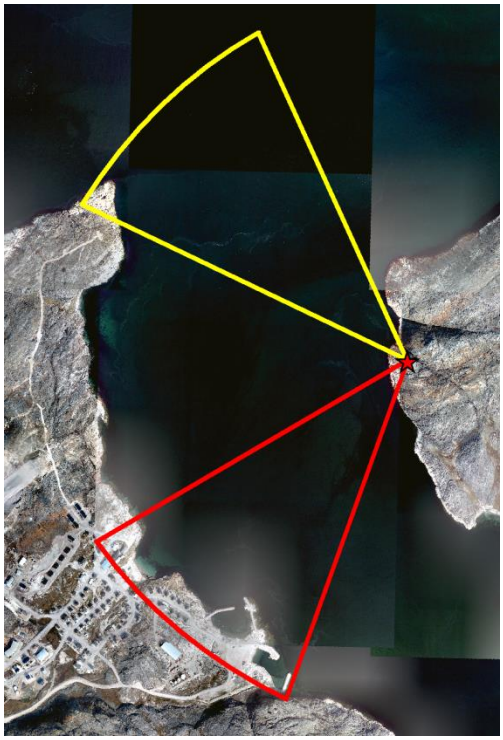


Figure 5 Emplacement des caméras pour le site d'Ivujivik de même que l'orientation approximative de chacune des caméras

Figure 6 Régions couvertes par les caméras d'Ivujivik

2.1.1.1.3 Site de Baie Déception

Le site de la Baie Déception faisant l'objet d'un autre projet de suivi de la glace en parallèle (Ice monitoring in Deception Bay with control sites in Salluit and Kangiqsujuaq), les caméras ont été installées en deux sites distincts (Figure 7). À chacun de ces sites, une caméra d'une autre marque a été installée au même système afin d'en vérifier les performances. Un troisième site a été équipé d'une caméra IP liée au réseau informatique de Glencore - Mine Raglan (Figure 8). Au site numéro 2 situé au milieu de la baie, la caméra Reconyx est orientée vers l'est, soit vers l'île Moosehead (Figure 9) alors qu'au site numéro 3 situé sur la Pointe Noire, elle est orientée vers l'ouest (Figure 10).

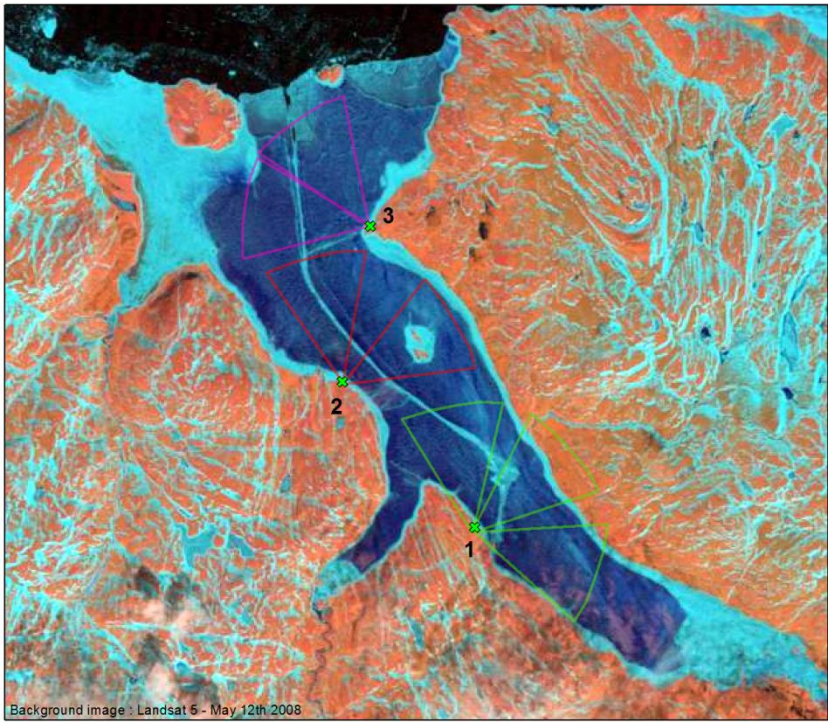


Figure 7 Emplacement des caméras pour le site de la Baie Déception de même que l'orientation approximative de chacune des caméras

Vers le nord -> -> Vers le sud

Figure 8 Prises de vue la caméra du site #1. La caméra étant mobile, les vues peuvent être modifiées.

Figure 9 Prise de vue des caméras du site #2. La caméra Reconyx offre la vue de droite.

Figure 10 Région couverte par les caméras du site #3. La caméra Reconyx offre la vue en rouge.

2.1.1.1.4 Site d'Aupaluk

À Aupaluk, le système de caméras a été installé dans une tour de la Garde Côtière du Canada d'une hauteur de 30 pieds située à 650 m au nord de l'infrastructure maritime (Figure 11). L'une des caméras est orientée vers le sud-ouest et permet de voir l'infrastructure maritime ainsi que l'Anse Funnel. L'autre caméra est orientée à 90° de la première vers le nord-ouest et donne une vue de Hope Advance Bay (Figure 12).

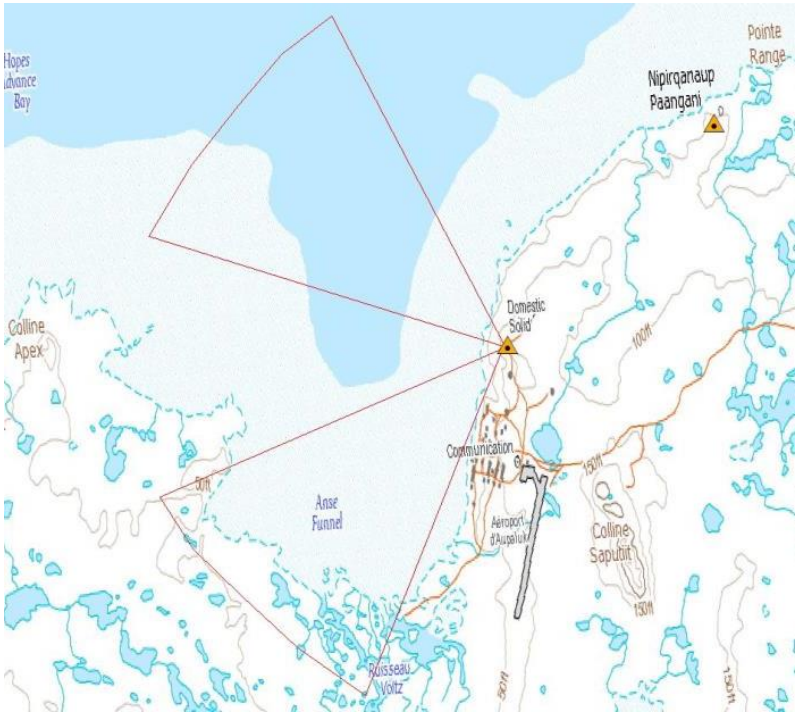


Figure 11 Orientation des caméras présentes à Aupaluk

Figure 12 Régions couvertes par les caméras d'Aupaluk

2.1.1.2 *Mise à niveau des caméras à Quaqtaq et Umiujaq*

À l'été 2015, les villages déjà instrumentés de Quaqtaq et Umiujaq ont également été visités. Cette visite avait pour but de réaliser l'entretien, la réparation des équipements et la collecte des photos enregistrées depuis la dernière visite (Umiujaq : septembre 2014, Quaqtaq : octobre 2014) et de s'assurer que les équipements étaient fonctionnels avant la saison d'englacement. L'un des points important de cette tournée fut la découverte d'un bris au panneau solaire de Quaqtaq. La couche protectrice recouvrant le panneau était fracturée, possiblement suite à un impact de projectile, et les fissures rendaient l'infiltration d'eau possible. Le panneau étant toujours fonctionnel, il a été réparé temporairement avant d'être remplacé à l'été 2016. Davantage de détails sur l'installation et l'entretien des systèmes à l'été 2015 peuvent être retrouvés dans le rapport technique 1 (Poulin et al., 2015).

2.1.1.2.1 Site d'Umiujaq

À Umiujaq, les caméras sont fixées sur un poteau d'Hydro-Québec situé sur la Hudson road, environ 250 m à l'est de l'infrastructure (Figure 13). La caméra orientée davantage vers le nord couvre l'infrastructure maritime (Figure 14).

Figure 13 Emplacement des caméras pour le site d'Umiujaq de même que l'orientation approximative de chacune des caméras

Figure 14 Régions couvertes par les caméras d'Umiujaq

2.1.1.2.2 Site de Quaqtaq

Les caméras de Quaqtaq, installées en 2009, sont situées sur la colline au nord-est du village. Elles sont à une distance d'environ 300 m de l'infrastructure la plus ancienne et de 600 m de l'infrastructure la plus récente (Figure 15). La caméra orientée vers le sud-est couvre les deux infrastructures alors que celle orientée vers l'ouest offre une vue plus large sur la baie Diana, à la limite du détroit d'Hudson (Figure 16).

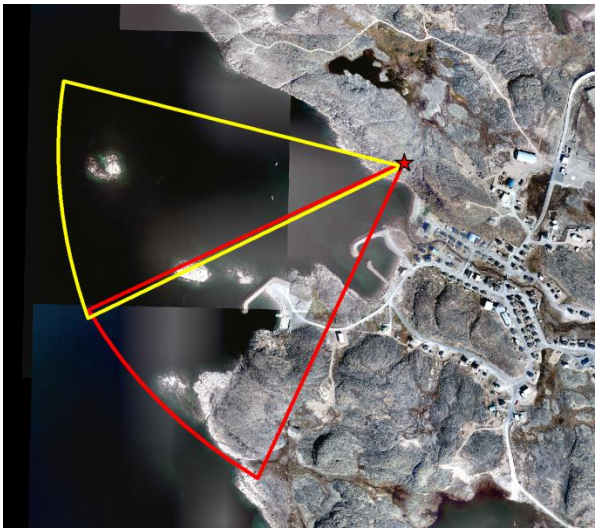


Figure 15 Emplacement des caméras pour le site de Quaqtaq de même que l'orientation approximative de chacune des caméras

Figure 16 Prise de vue des caméras de Quaqtaq.

2.1.1.3 *Récupération des photographies*

À l'été 2016, une tournée des six sites a permis de récupérer les photos acquises depuis l'été 2015 et de s'assurer que les systèmes étaient toujours en bon état. De manière générale, l'état des systèmes est bon. Les caméras ont acquis plus de 144 000 photographies de l'automne 2015 à l'automne 2016.

La tournée a permis de constater qu'un des panneaux solaires à Baie Déception n'était plus fixé à la structure et n'alimentait plus le système. En conséquence, les caméras ont cessé de fonctionner en janvier 2016. Le panneau abîmé a été retrouvé et réparé et sera réinstallé si possible en avril 2016 ou lors d'une future tournée d'entretien. Suite à la constatation du bris, la batterie 12V a été rechargée et les caméras ont été équipées de piles AA supplémentaires afin de permettre au système de fonctionner de nouveau dans l'espoir de couvrir l'englacement 2016-2017. L'une des caméras d'Aupaluk a également cessé de fonctionner en décembre 2015 suite à un problème d'écriture sur la carte mémoire. La carte mémoire a été remplacée et la caméra remise en fonction.

Les détails concernant l'entretien des systèmes et la récupération des données à l'été 2016 sont disponibles dans le rapport technique 2 (Poulin et al., 2016).

2.1.2 Traitement des photographies acquises par les caméras

Le traitement des photographies se réalise en deux étapes indépendantes : 1) la rectification et 2) l'identification de la glace. Les caméras ont une vue oblique sur les infrastructures maritimes et leurs environs. Par conséquent, afin d'en tirer une information relative à la concentration de glace, les photos doivent être redressées (vue verticale) comme si elles avaient été acquises à partir du ciel, corrigées géométriquement et géoréférencées. Au terme du redressement, la position sur le terrain associée à chaque pixel des photographies est obtenue. En parallèle, la présence ou non de glace doit être déterminée pour chacun des pixels. La méthodologie employée pour le traitement des photographies est détaillée dans le rapport d'étape de ce projet (Bernier et al., 2015).

Le traitement des photographies a été réalisé pour tous les sites de 2009 à 2016 en fonction des photographies disponibles. Au total, environ 55 000 images ont été rectifiées et classifiées.

Aux sites d'Umiujaq et de Quaqtaq instrumentés en 2009, les deux caméras avaient originalement été orientées de façon à présenter un très grand recouvrement dans leur prise de vue, et ce, afin de minimiser les risques de perte de données en cas de défaillance de l'une des caméras. Par conséquent, les photographies d'une seule des deux caméras ont été traitées pour la période 2009-2015 à ces deux sites. Les caméras avaient été programmées pour acquérir des photos toutes les heures de 6h à 18h pendant toute l'année.

À partir de 2015, les caméras de tous les sites ont été configurées de façon à acquérir trois photos au début de chaque heure : une première photo à l'heure juste, suivie de deux autres après une minute et deux minutes. L'acquisition de plusieurs photos a pour but de rendre disponible une information sur le mouvement des glaces, et ce, afin d'éventuellement être en mesure de calculer des vitesses de déplacement. Dans le cadre du projet, uniquement la photographie acquise à l'heure juste a été traitée.

2.1.2.1 *Classification glace/non glace*

La classification glace/non glace sur les photographies comporte son lot de défis. Les problèmes inhérents à la classification glace/non glace des pixels sont principalement causés par deux éléments, soit la luminosité variable et les conditions météorologiques.

Premièrement, la luminosité peut être très différente pour un même site suivant l'heure de la journée et le moment de l'année. La Figure 17 met en évidence ce problème lors de la journée du 26 décembre 2009 à Umiujaq, la photo de gauche a été acquise à 11h, celle de droite a été acquise à 17h. Sur ces photos, les teintes de l'eau et de la glace, de même que le contraste entre ces éléments, sont très différents d'une photo à l'autre. Cela a un impact majeur sur la classification glace/eau puisque celle-ci est basée principalement sur la teinte et le contraste.

Deuxièmement, les conditions météorologiques, qui ont souvent un impact sur la luminosité, constituent également une contrainte non négligeable. Pour un pixel donné, que ce dernier représente de l'eau ou de la glace, l'intensité enregistrée par les caméras lors d'une journée ensoleillée ne sera pas la même que lors d'une journée nuageuse. De plus, un couvert nuageux discontinu peut générer la présence d'ombres au sol ou sur la glace qui peut devenir sources de confusion avec l'eau. À l'opposé, les réflexions du soleil sur l'eau peuvent ressembler à de la glace (Figure 18).

Le défi lié à la classification survient principalement lorsqu'il est question d'automatiser la procédure. Les conditions changeantes ne permettent alors pas de déterminer des caractéristiques propres à l'eau ou à la glace permettant de les séparer sans intervention humaine. Le devis du projet de recherche prévoyait d'automatiser la détection de la glace sur les photographies. Le désir d'automatiser la procédure de classification reposait sur la grande quantité de photographies acquises depuis 2009 et sur la recherche d'un traitement le plus objectif possible.

Suite à l'essai de différentes méthodes totalement automatiques, nous avons déterminé que dans le cadre du projet, de telles méthodes ne seraient pas applicables. Nous avons ensuite réorienté notre recherche afin d'automatiser au maximum les étapes entourant une classification manuelle des photographies par un opérateur. Par exemple, le nettoyage des données brutes, qui consiste à éliminer les photographies acquises en absence d'éclairage suffisant, se fait de façon automatisée. Cela permet de réduire le nombre de photographie que l'opérateur doit traiter sans éliminer de données pertinentes. Les photographies restantes ont été traitées par un opérateur à l'aide du logiciel commercial de traitement de photographies Adobe Photoshop CC. À l'intérieur du logiciel, certaines étapes du traitement ont pu être automatisées. À l'aide des touches de raccourci et de scripts, il a été possible par exemple de faire afficher la prochaine photo à classifier au moyen d'une seule touche. À cette photo, étaient ajoutées au chargement, une couche montrant le résultat de la classification de la dernière photo classifiée (généralement la photo de l'heure précédente) ainsi qu'un masque préétabli séparant la terre de l'eau. Suite à cela, l'opérateur devait utiliser les outils de sélection offert par le logiciel afin de sélectionner les pixels montrant de la glace. En absence d'eau ou de glace, l'opérateur pouvait appliquer la même classification sur toute l'image et passer à la suivante au moyen d'une touche, l'une pour générer une classification 100 % glace et l'autre pour générer une classification 100 % eau. La procédure suivie est présentée à la Figure 19.

A.

26 décembre 2009 – 10h00

B.

26 décembre 2009 – 17h00

Figure 17 Différence de luminosité lors d'une même journée à Umiujaq. Le contraste entre la glace et l'eau est très marqué sur la photo de gauche (A) alors qu'il l'est beaucoup moins sur la photo de droite (B).

A.

30 mars 2010 – 17h00

B.

1er juin 2010 – 18h00

Figure 18 Effet des conditions climatiques au site d'Umiujaq. L'ombre présente sur l'image de gauche (A) peut se confondre avec de l'eau alors que le reflet sur l'image de droite (B) peut être confondu avec de la glace.

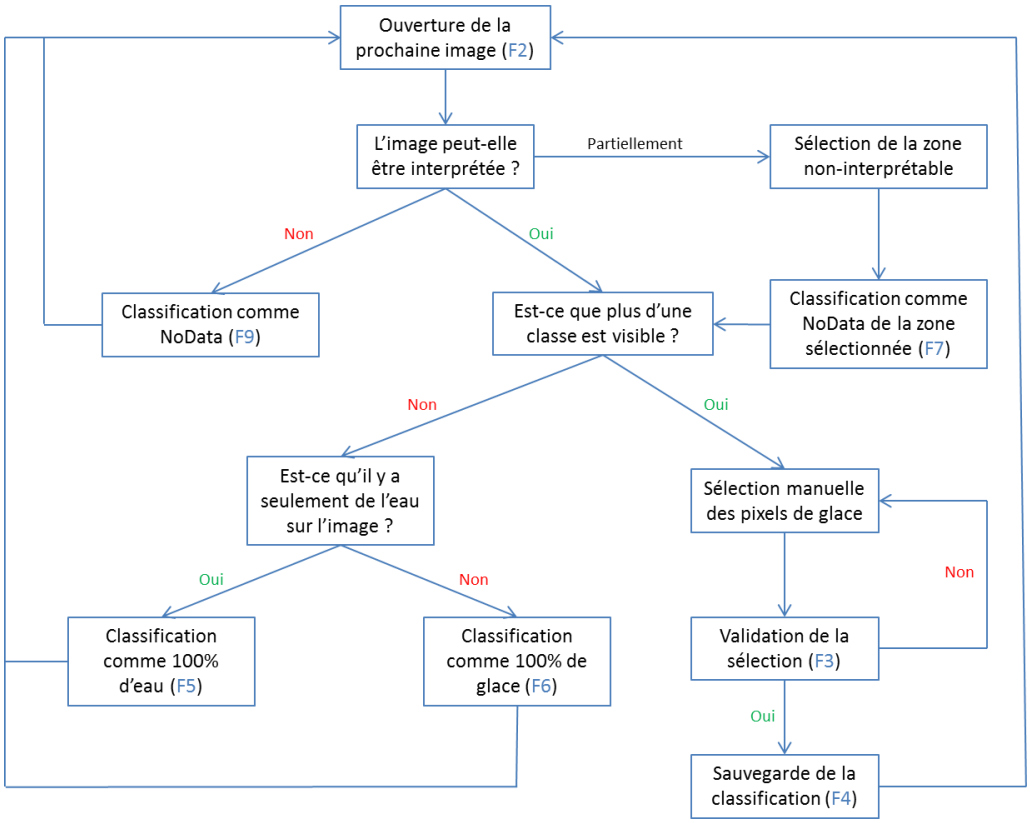


Figure 19 Procédure de classification mise en place avec le logiciel Adobe Photoshop permettant à un opérateur de déterminer la présence ou non de glace sur les photographies

Puisque la classification se fait en partie de façon manuelle, il existe une marge d'erreur associée à la perception de l'opérateur. Afin d'estimer la précision de la classification, un échantillon aléatoire de 30 images a été sélectionné au cours de la période de fonte au printemps 2016 à Quaqtaq. Cet échantillon a été classifié (Figure 20) trois fois par des personnes différentes puis les images correspondantes ont été comparées. Sur les 30 images, les valeurs des pixels étaient identiques en moyenne dans 84 % des cas (Figure 21), avec une valeur médiane située à 88 %. Le pire cas, affichait une correspondance de 48 %. Il correspond à une photographie acquise en période avancée de fonte sous un couvert partiellement nuageux. L'exercice a été fait également avec deux classifications des mêmes 30 photographies effectuées par la même personne. Cet exercice a donné comme résultat une

reproductibilité moyenne de 92 %, avec une valeur médiane à 95 %. Le traitement des photographies pour un même site ayant toujours été réalisé par une seule personne, la cohérence attendue des résultats est supérieure à 90%.

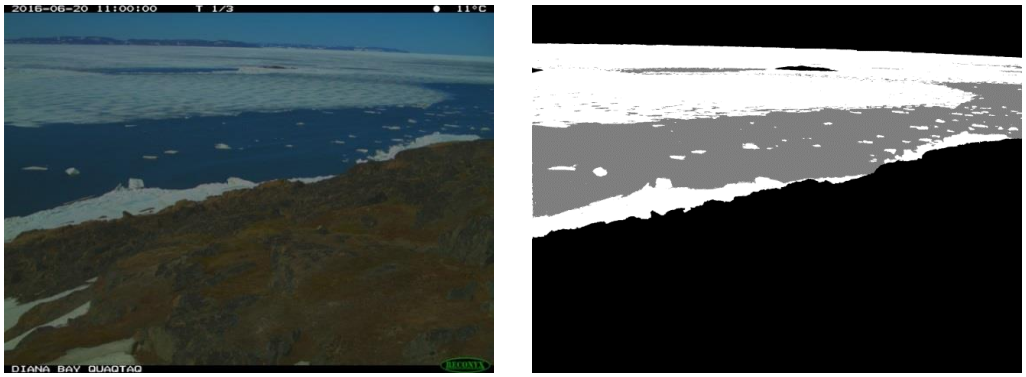


Figure 20 Résultat d'une classification réalisée sur une photographie de Quaqtaq le 20 juin 2016

Quaqtaq
27 juin 2016

Opérateur 1 Opérateur 2 Opérateur 3

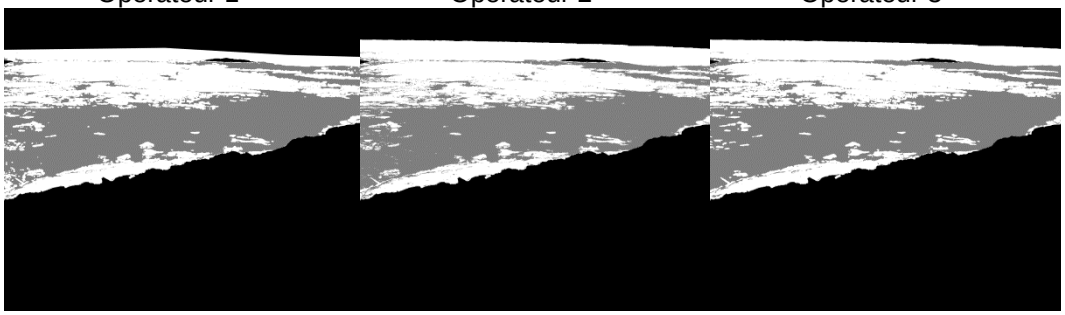


Figure 21 Photographie de Quaqtaq le 27 juin 2016 montrant un cas typique de classification où le pourcentage de pixels identiques correspond à la moyenne de la série évaluée, soit 84 %.

2.1.2.2 *Rectification des photographies*

La rectification des photographies nécessite de connaître les coordonnées géographiques (latitude, longitude) précises d'éléments présents sur les photos. Or, comme l'environnement sur la majorité des photos est dépourvu d'éléments anthropiques, il est difficile de déterminer ces coordonnées à partir des banques de données existantes. De plus, l'absence d'éléments facilement distinguables sur les photographies au niveau de la zone de marnage rend complexe le choix de points.

Afin d'éliminer ce problème, une procédure d'acquisition de points de contrôle a été mise en place pour l'ensemble des sites à l'étude. Afin d'augmenter le nombre de points d'appui utilisables pour le redressement des photographies, nous avons créé nous-même des éléments devant servir de points de contrôle et mesuré leurs coordonnées. Pour ce faire, lors de l'entretien à chaque site à

l'été 2016, la fréquence d'acquisition des caméras a été temporairement augmentée à 1 image / minute. Ensuite, une personne s'est déplacée à pied et/ou en canoë dans le champ de vision des caméras en enregistrant sa position à chaque seconde avec un récepteur GPS de poche. Il fut ensuite possible de faire le lien entre la position de la personne sur les photos et les coordonnées mesurées sur le terrain avec le récepteur GPS (Figure 22). Bien que ce fût la position d'une personne qui fut utilisée comme points de contrôle, une attention particulière a été portée sur le choix des endroits où se rendait cette personne lorsqu'elle se déplaçait à pied afin de se trouver, si possible, sur des éléments identifiables sur les photos. Ainsi, il a été possible d'utiliser certaines des positions mesurées comme points de contrôle pour les systèmes en place depuis 2009, mais dont l'orientation de caméras a changé dans le temps.

Lors du processus de rectification, nous avons constaté un manque de points de contrôle pour certains sites dans les régions les plus éloignées de la caméra. Ces régions sont situées au-delà des régions couvertes en canoë. Pour pallier ce manque de points de contrôle, des éléments du paysage côtier ont été utilisés, mais il a été plus difficile de faire le lien entre ces éléments visibles sur l'imagerie satellitaire ou sur des cartes et leur position exacte sur les photos. Ces nouveaux points de contrôle ont néanmoins permis de couvrir une plus grande étendue lors de la rectification. Lors des prochaines campagnes de terrain, il est suggéré d'étendre l'acquisition des points de contrôle en canoë jusqu'à une distance minimale de 3000 m de la caméra.

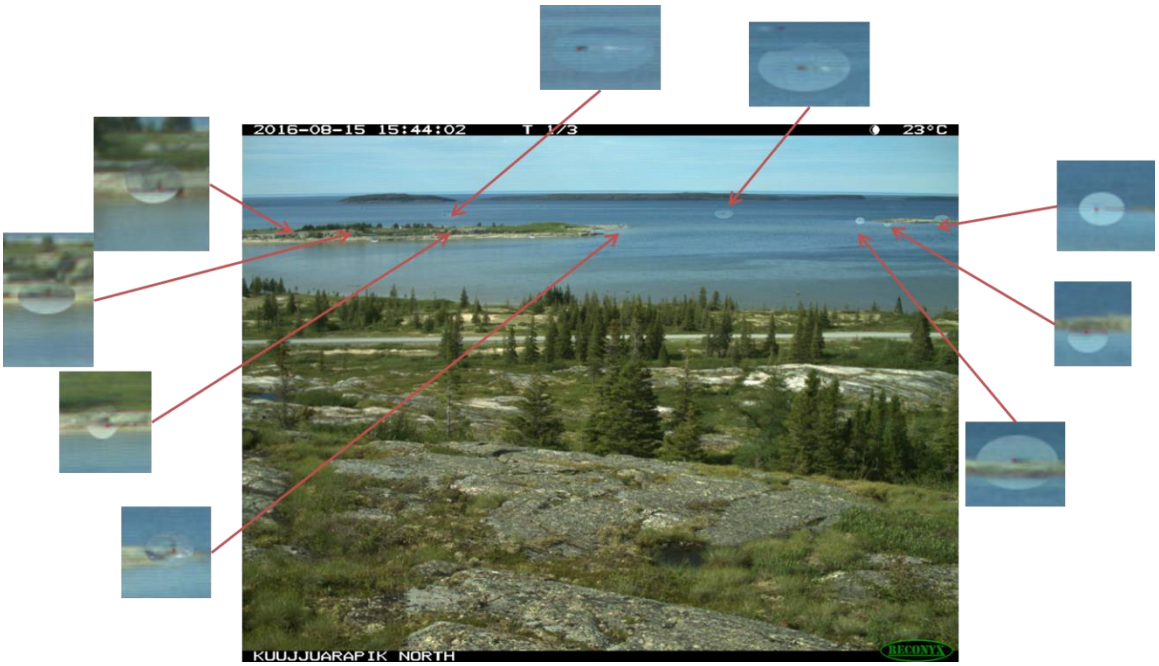


Figure 22 Montage photo réalisé à partir des photographies acquises à différents moments lors de la prise des points de contrôle à Kuujjuarapik. Un point rouge a été ajouté à l'emplacement de l'opérateur mesurant des coordonnées à l'aide du GPS.

Le site d'Ivujivik est celui où la rectification des photographies a nécessité le plus de traitements, et ce, en raison d'un déplacement non désiré des caméras survenu le 14 mars 2016. Suite à ce déplacement, près de la moitié de la baie n'était plus visible sur les photos de la caméra orientée vers l'infrastructure maritime (Figure 23). Lors de l'entretien réalisé le 22 août 2016, cette caméra a été repositionnée afin d'obtenir une vue semblable à celle présente avant le 14 mars 2016. Par conséquent, les points de contrôle en canoë ont été acquis avec la prise de vue existante avant le déplacement des caméras (Figure 24). Pour être en mesure de redresser les photographies de la période du 14 mars au 22 août 2016, les images prises *après* le déplacement des caméras du 14 mars ont été ramenées sur celles *d'avant* le 14 mars au moyen d'une transformation affine. Ensuite, pour l'image *d'après*, la position des pixels est obtenue en prenant celle du pixel le plus près sur l'image *d'avant*. La position de chacun des pixels des photographies acquises avant et après le 14 mars est montrée à la Figure 25. En raison du grand nombre de pixel et de la proximité des positions il est difficile de discerner chacun des pixels à proximité de la caméra.

Pour les autres sites, les photographies ont été traitées de la même façon pour toute la période d'acquisition. La Figure 26 présente un exemple pour le site de Pointe Noire à Baie Déception.

A.

B.

Figure 23 Vue de la caméra Ouest d'Ivujivik avant (A) et après (B) le déplacement du 14 mars 2016

Figure 24 Position des points de contrôle utilisés pour la rectification des photographies de la caméra Ouest à Ivujivik

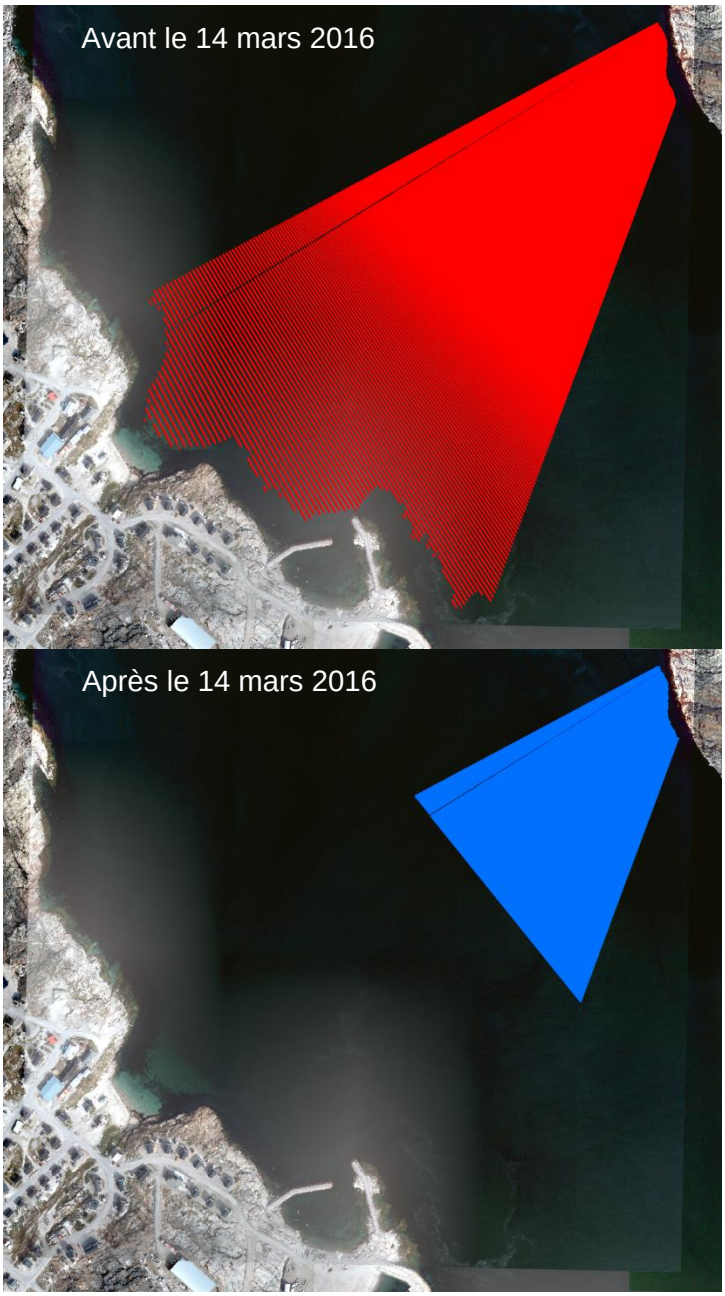


Figure 25 Exemple de rectification pour Ivujivik pour les photographies acquises avant le 14 mars 2016 et après cette date. Chaque point représente la position d'un pixel des photos acquises par la caméra.

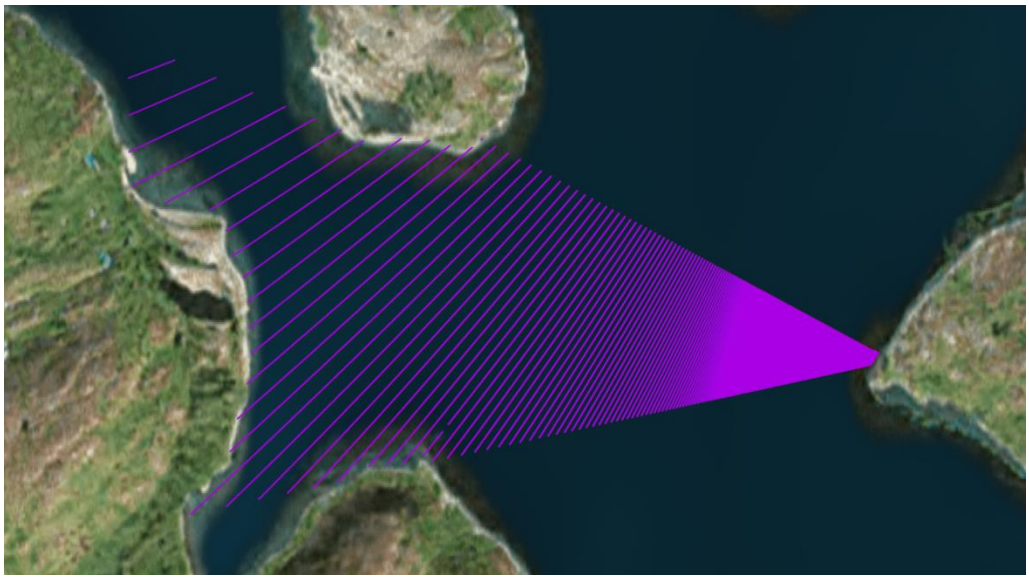


Figure 26 Exemple de rectification pour le site de Pointe Noire à Baie Déception. Chaque point représente la position d'un pixel des photos acquises par la caméra.

2.2 Images satellitaires

Les caméras *in situ* montrent les conditions de glace uniquement au voisinage des infrastructures maritimes et sur la portion de la baie présente dans le champ de vision de la caméra (quelques km^2). 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 fine échelle développé par l'ISMER.

Les satellites optiques MODIS (Terra et Aqua) et Landsat-8 fournissent gratuitement des images satellites à partir desquelles il est possible d'identifier la présence de glace autour des infrastructures maritimes lorsqu'il n'y a pas de couverture nuageuse. Des images provenant de ces deux satellites ont donc été analysées pour déterminer la présence de glace ou non à proximité des six sites à l'étude pour la période 2002 à 2016, selon la disponibilité des données. La résolution, la fréquence et la période d'acquisition des images en fonction du satellite sont présentées au Tableau 1.

Tableau 1 Résolution spatiale, fréquence et période de disponibilité des données pour les satellites utilisés

Satellite	Résolution	Fréquence d'acquisition	Période couverte
MODIS	250 m	2x par jour	2002-aujourd'hui (toujours en fonction)
Landsat-8	15-30 m	Tous les 16 jours ou mieux	2013-aujourd'hui (toujours en fonction)

Les données traitées ont été fournies à l'ISMER qui les utilisera pour calculer les concentrations de glace sur l'ensemble des domaines couverts par le modèle de glace de rive à 400 m et 2 km de résolution (Figure 27).

Les images Landsat-8 ont servi également à appuyer les observations faites sur les photographies en fournissant une prise de vue plus régionale et à évaluer la longueur des saisons d'englacement à chaque site pour la période d'octobre 2013 à janvier 2017. Les résultats sont présentés à la section 4 de ce rapport.

2.2.1 Classification des conditions de glace de rive à partir des images satellitaires Landsat-8

Une procédure de classification automatique (glace-eau-nuage) a été développée pour traiter les images Landsat-8. Le rapport d'étape (Bernier et al., 2015) présente succinctement la méthode, car les algorithmes pour détecter la glace étaient cours de développement à ce moment. La méthodologie détaillée est présentée à l'annexe A. La procédure permet de déterminer pour chaque pixel des images la présence de glace, d'eau ou de nuage.

Durant la saison de glace, diverses situations peuvent se présenter et les images Landsat-8 permettent de bien le constater sur une grande étendue spatiale. À titre d'exemple, la Figure 28 montre une image Landsat-8 du 24 janvier 2015 de la région d'Umiujaq. Sur l'image, il est possible de remarquer différents types de nuages ainsi que l'ombre qu'ils projettent au sol. Aussi, le couvert de glace est pratiquement complet, mais mobile et une grande quantité de fractures sont visibles.

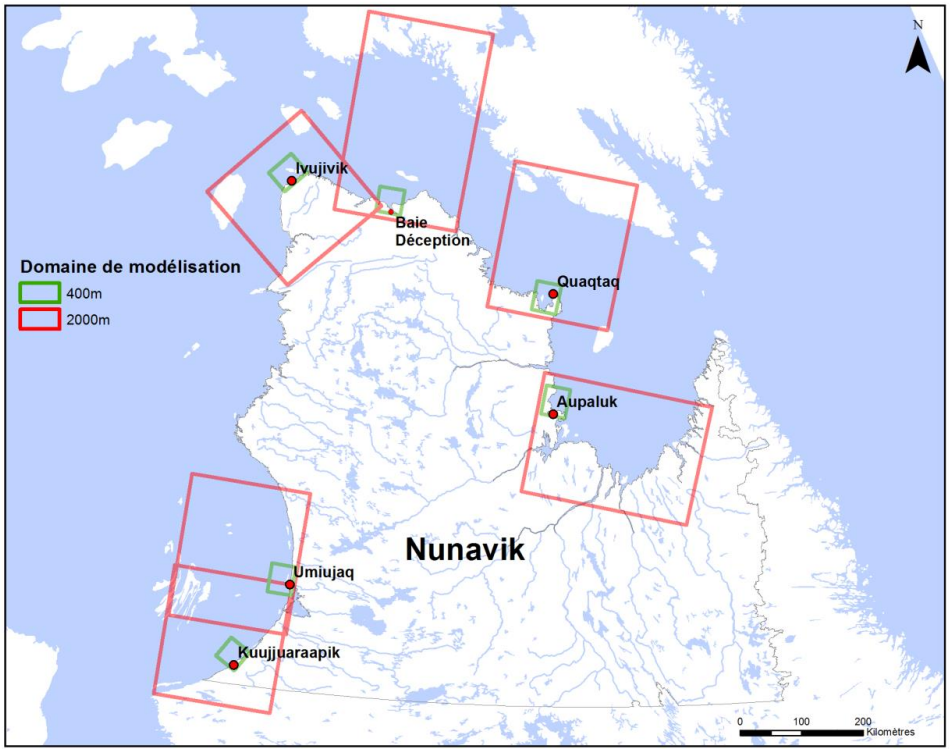


Figure 27 Étendue des domaines de modélisation de l'ISMER pour chacun des sites

L'application de l'algorithme sur les images Landsat-8 a permis de séparer le contenu des images en trois différentes classes (eau, glace, nuage). Sur la Figure 29, l'image présentée à la Figure 28 a été classifiée en utilisant l'algorithme. La glace et l'eau y sont généralement bien représentées. Une partie des nuages a pu être classifiée comme glace de même que l'ombre qu'ils produisaient. Au niveau des fractures, les agrandissements permettent de remarquer différentes teintes associées à différents types de glace de même que des régions découvertes où l'eau est visible. Sur la Figure 29, ces zones d'eau et de glace sont correctement classifiées. Sur la Figure 28, la présence d'un voile nuageux peu opaque montre une des faiblesses de l'algorithme, soit la capacité à bien identifier la glace et l'eau en présence d'un tel couvert nuageux.

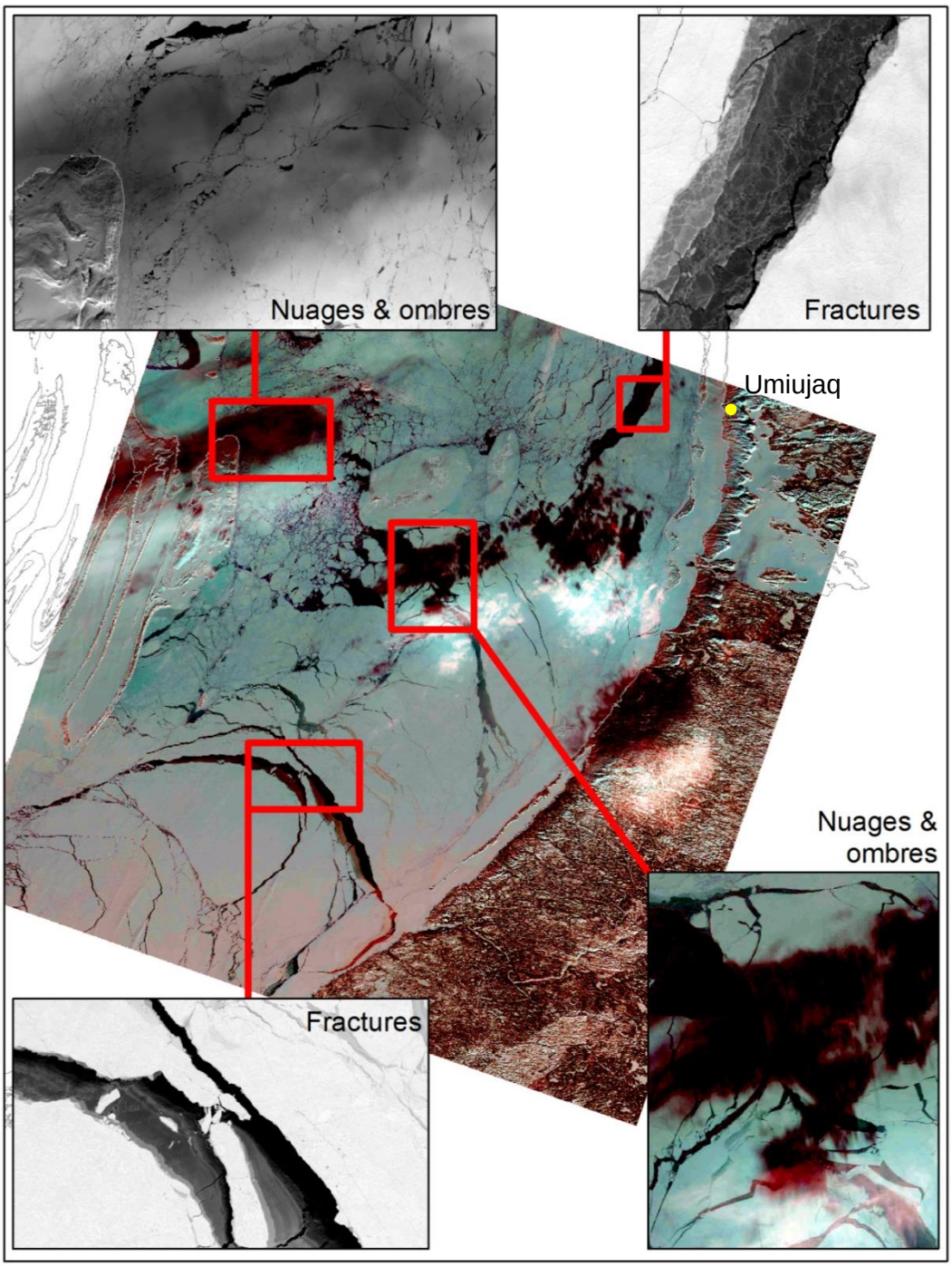


Figure 28 Exemple de situations présentes sur une image Landsat-8 du 24 janvier 2015 au large d'Umiujaq

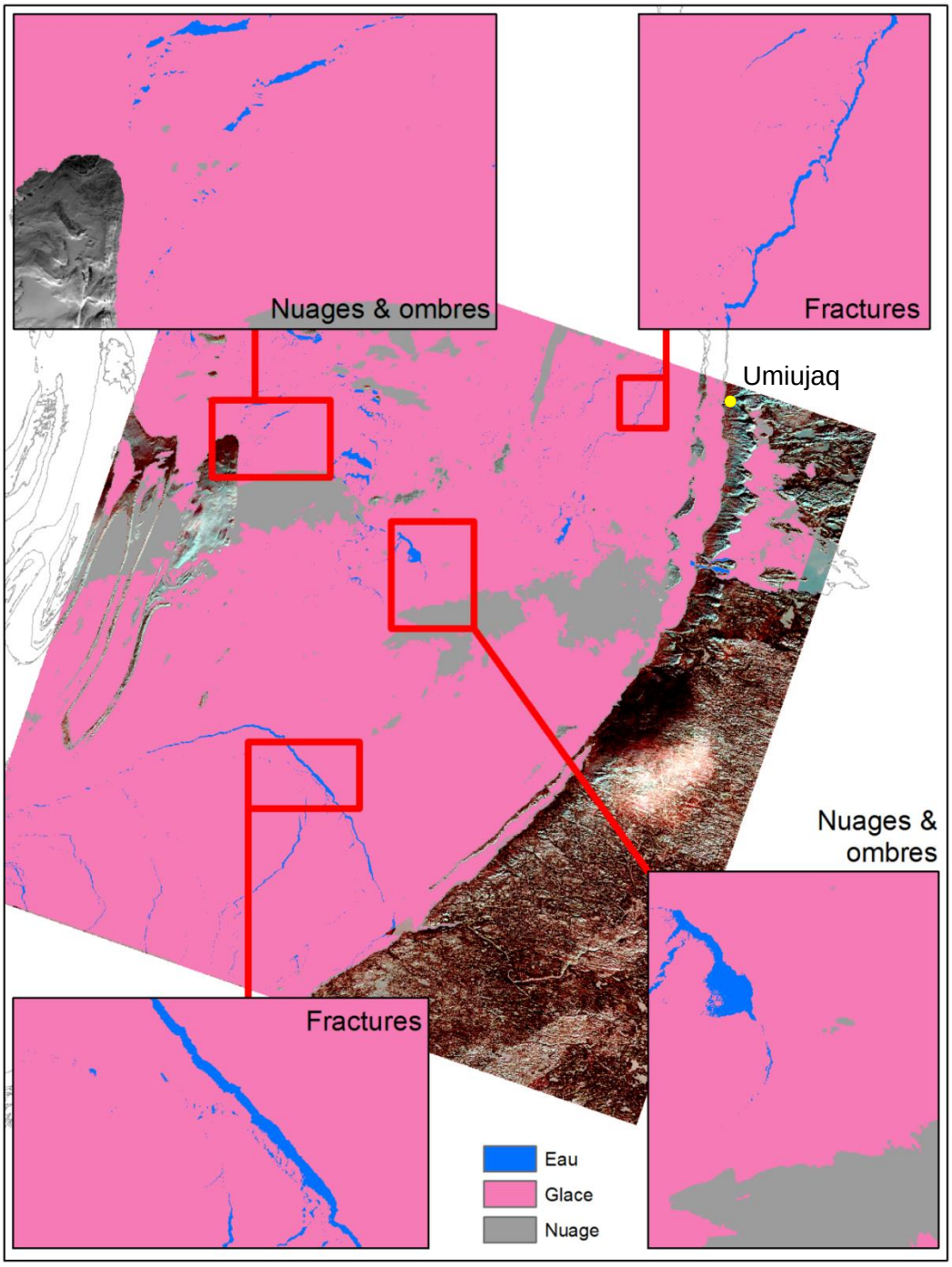


Figure 29 Exemple de classification d'une image Landsat-8 du 24 janvier 2015 au large d'Umiujaq

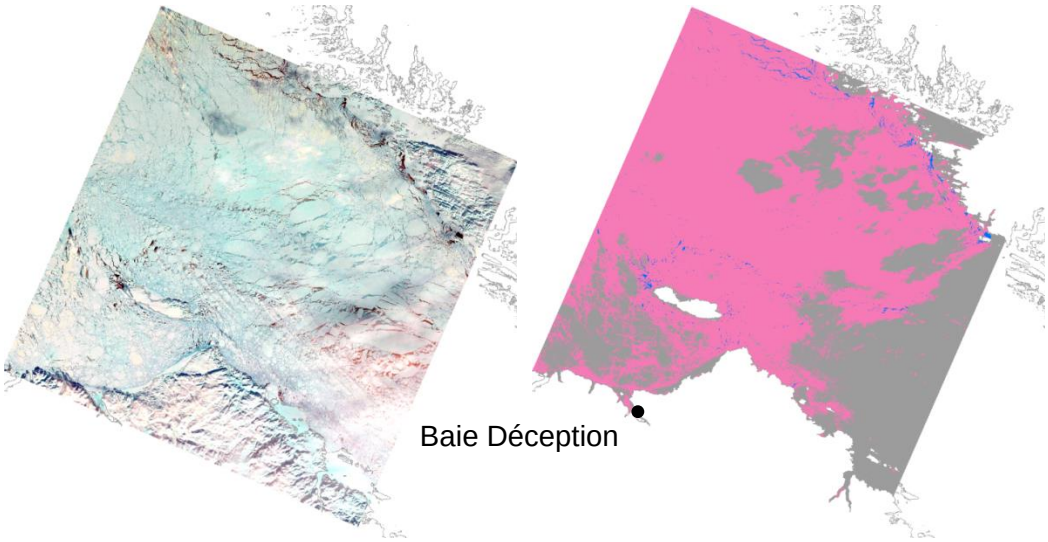


Figure 30 Image Landsat-8 du détroit d'Hudson acquise le 27 janvier 2016 au moment où un couvert nuageux peu opaque est présent

2.2.2 Cartographie MODIS des conditions de glaces de rive

Un algorithme de détection automatique de glace pour les images MODIS, nommé IceMap250, a été développé par l'INRS dans le cadre du projet IcePAC (Gignac et al, 2017). Le rapport d'étape (Bernier et al, 2015) présente cet algorithme et des détails techniques sont également présentés à l'annexe B. L'algorithme IceMap250 permet de déterminer pour chaque pixel des images la présence de glace, d'eau ou de nuage. Il utilise en parallèle deux masques de nuages différents pour éviter que les pixels montrant un couvert nuageux n'interviennent dans les calculs statistiques servant à identifier la glace et l'eau. L'un de ces masques correspond au masque de nuage distribué dans les produit MODIS (MOD35), l'autre (VIS) provient d'un ratio des températures de brillance à 3.7 µm (bande 20) et 12 µm (bande 32), lesquelles sont connues pour être sensible à la température de surface et la température des nuages (Figure 31). Les deux résultats sont ensuite combinés (Figure 32). La résolution des images MODIS est de 250 m, ce qui n'est pas suffisant pour détecter la présence de glace à fine échelle à proximité des infrastructures maritimes. Pour ce projet, des cartes de présence de glace ont été produites pour l'ensemble de la baie d'Hudson et du détroit d'Hudson pour l'ensemble des images MODIS disponibles pour la plateforme TERRA pour la période

2002-2016[1]. Des cartes élaborées à partir des données AQUA seront produites ultérieurement dans le cadre d'un autre projet et seront disponibles librement pour téléchargement en ligne à partir d'un portail web. Lorsque celui-ci sera mis en place, les cartes produites à partir des données TERRA seront également disponible au téléchargement.

Le tableau 2 présente le nombre de jours où au moins une carte de présence de glace a été produite à partir des images MODIS de 2002 à 2016 en date du 27 février 2017. Ces cartes ont été fournies à l'ISMER qui les utilisera pour calculer les concentrations de glace sur l'ensemble du domaine de son modèle de glace de mer et de rive.

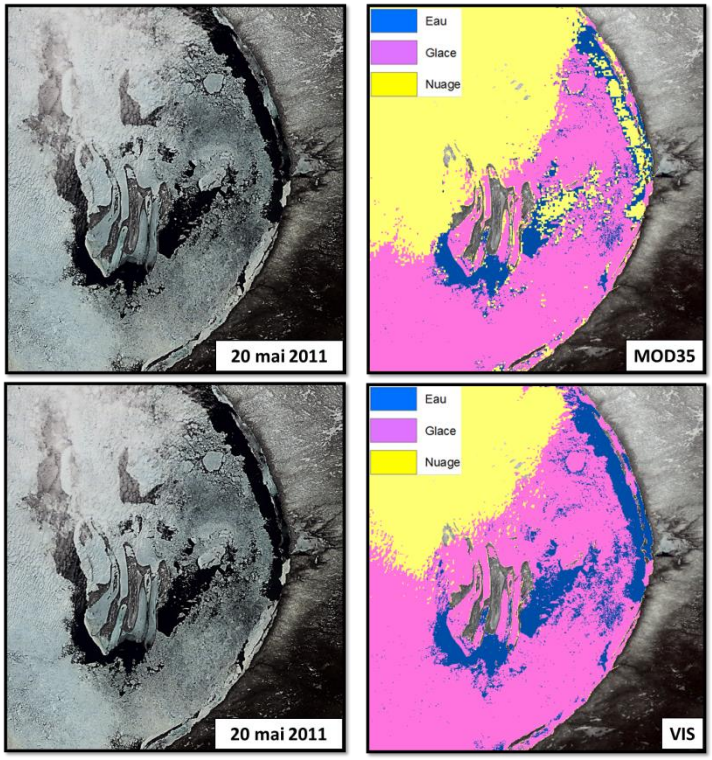


Figure 31 Classifications produites en utilisant les deux masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq

[1] Au devis de recherche, il est prévu que seule la période 2009-2016 soit couverte. Les données de 2002-2008 ont été traitées dans le cadre du projet IcePAC.

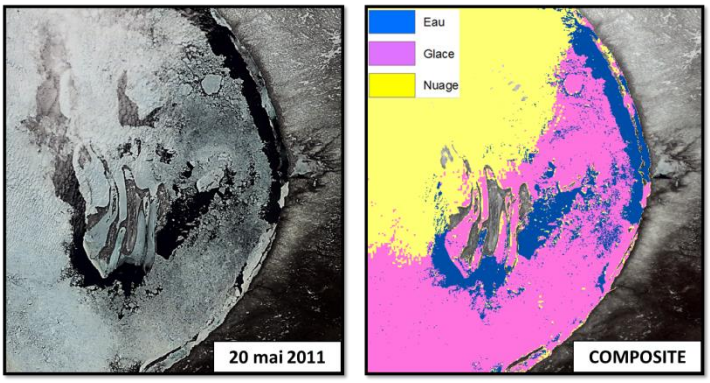


Figure 32 Classification produite en combinant les résultats obtenus avec les masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq

Tableau 2 Nombre de jours par année où au moins une carte a été produite par IceMap250 sur les images MODIS (au 27 février 2017)

Année	Nombre de jours traités
2002	14
2003	324
2004	0
2005	79
2006	337
2007	341
2008	55
2009	338
2010	337
2011	338
2012	56
2013	342
2014	339
2015	338
2016	283

Les différences dans le nombre de cartes produites pour certaines années peuvent dépendre de deux facteurs. Le premier facteur est au niveau logiciel, le serveur FTP pouvant parfois perdre la connexion et déclarer le transfert des fichiers comme échec, dans lequel cas, l'algorithme continue son chemin, déclarant cette journée "non-cartographiable". La NASA a récemment modifiée son mode de distribution des données passant d'un serveur FTP à un mode HTTPS ce qui a eu pour effet d'éliminer les erreurs de connexion. L'algorithme a été modifié et a été relancé à son point de départ afin de récupérer les images disponibles n'ayant pas été téléchargées auparavant. Le Tableau 2 ne tient cependant pas compte de cette nouvelle recherche. La seconde erreur, expliquant beaucoup des données manquantes, repose sur l'absence de données sur les serveurs de la NASA due à l'entretien ou au mauvais fonctionnement du capteur MODIS. Ce type d'erreur ne peut pas être corrigé.

3 BILAN DES CONDITIONS DE GLACE DE RIVE OBSERVÉES AUX SITES À L'ÉTUDE ENTRE 2009 ET 2016

Cette section présente une synthèse des conditions de glaces de rive observées pour la période 2009-2016 pour les six sites à l'étude, si les données existent. Les données proviennent des photographies obtenues par les caméras et de l'imagerie satellitaire Landsat-8 (Tableau 3).

Pour chaque site, l'analyse des photographies a permis de documenter les informations suivantes lorsque cela était possible[2] :

- Description de l'englacement et du retrait des glaces:
    - Périodes de glace mobile et de glace ancrée sur la rive
    - Date moyenne, maximale et minimale de l'englacement et de la fonte des glaces
    - Nombre d'épisodes de glace mobile
    - Méthodes de formation observées (frasil, accumulation venant du large, etc.)
    - Méthode de dégradation observées (thermique, fracture, etc.)
    - Types de glace observés (couvercle rigide, empilement, frasil, etc.) lors de l'englacement et de la fonte
- Description des phénomènes rares observés tels que la présence d'iceberg, d'empilement, etc. :
    - Dates et durées
    - Localisation
    - Ampleur
- Description des glaces lors des tempêtes
    - Type de glace (frasil, plaque, accumulation, etc.)
    - Évolution et mouvements de la glace

Au niveau de l'imagerie Landsat-8, la résolution spatiale de 30 m et la faible fréquence d'acquisition (potentiel de 2 à 3 images par 16 jours) ne permettent

[2] Pour les sites à l'étude avec une seule année de données acquises par les caméras, il n'est pas possible d'identifier des moyennes ou des tendances.

pas une analyse aussi détaillée des conditions de glace. Seuls la présence ou absence de glace ainsi que le type de couvert (partiel, complet) ont été documentés.

Pour les images MODIS, aucune analyse autre que la présence ou l'absence de glace sur chaque pixel n'a été effectuée.

Tableau 3 Disponibilité des données des caméras et des images Landsat-8 pour les sites à l'étude

Site	Caméras	Landsat-8
Kuujjuarapik	2015-2016	2013-2017
Umiujaq	2009-2016	2013-2017
Ivujivik	2015-2016	2013-2017
Baie Déception	2015-2016	2013-2017
Quaqtaq	2009-2012, 2015-2016	2013-2017
Aupaluk	2015-2016	2013-2017

À partir des observations faites sur les photographies et l'imagerie Landsat-8, des graphiques des saisons d'englacement ont été produits pour chaque site. La Figure 33 présente un exemple de ce type de graphique. Ces graphiques représentent, sur une base annuelle, les périodes d'eau libre (bleu foncé), de couvert partiel et de glace mobile (bleu pâle) et de couvert complet (gris) pour chaque année déterminées à partir des photographies. Les points représentent, à titre informatif, les journées avec des observations de l'imagerie Landsat-8. La couleur visible à l'intérieur du point indique la classification de l'image à proximité du site à l'étude (bleu foncé = eau, bleu pâle = couvert partiel, gris = glace). Un point de couleur blanc représente une image où des nuages ne permettent pas d'identifier la présence ou non de glace. Les périodes de couvert partiel et de glace mobile ont été établies à partir des photographies comme suit : pour l'englacement, la période de couvert partiel s'étend de la dernière date d'eau libre à la date où le couvert était complet et fixe pour l'hiver; pour la fonte, la période de couvert partiel s'étend entre la dernière date où le couvert est complet et fixe et la dernière date où des glaces sont observées.

Comme mentionné précédemment, les nuages sont une source d'obstruction importante pour l'imagerie satellitaire Landsat-8 empêchant de voir à un moment donné ce qui se passe au niveau du sol. Par conséquent, il est difficile

d'identifier les dates de changement dans le couvert de glace. En effet, plus le nombre de jours sans données utilisables est grand, plus il y a de l'incertitude au niveau de l'identification des dates d'englacement et de fonte à partir des images Landsat-8. Cette incertitude parfois importante pourrait conduire à une mauvaise interprétation des périodes réelles des différents stades de glace. Pour cette raison, les classifications des images Landsat-8 sont présentées uniquement de façon ponctuelle dans le graphique. Au niveau des photographies, le problème du couvert nuageux ne se pose pas, mais les conditions météorologiques peuvent néanmoins nuire occasionnellement à l'interprétation des photos en rendant le paysage indétectable ou en provocant la présence de buée ou de givre sur l'objectif de la caméra. Ces phénomènes se produisent parfois pendant quelques jours rendant impossibles l'observation des phénomènes glaciels.

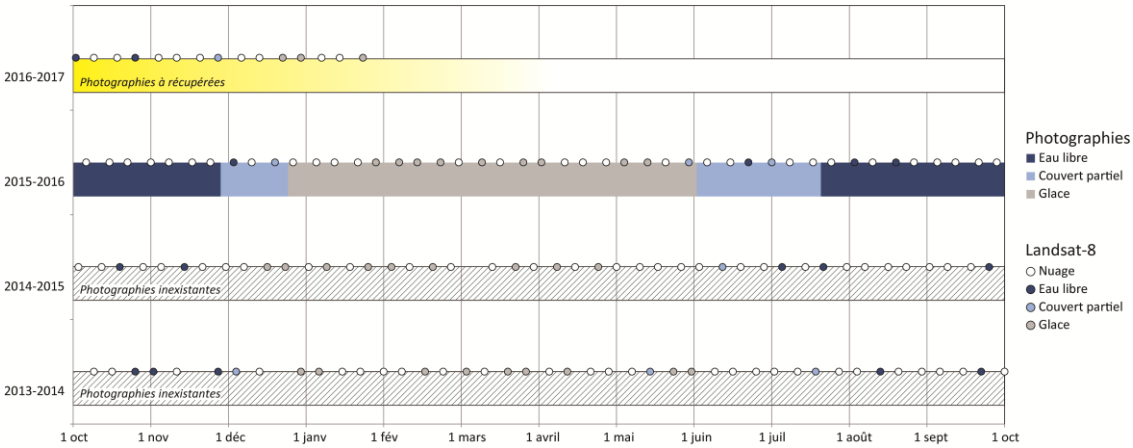


Figure 33 Exemple de graphique de saisons d'englacement

3.1 Description du régime des glaces à Kuujjuarapik

La description du régime des glaces à Kuujjuarapik repose sur l'analyse des photographies disponibles de l'hiver 2015-2016 et sur les images Landsat-8 d'avril 2013 à janvier 2017.

En 2015-2016, la présence de glace (*sorbet*) est observée ponctuellement dès la fin novembre 2015 (Figure 34-A), mais les observations sont de plus en plus fréquentes à partir de la mi-décembre au moment où la glace de rive s'installe près de la côte (Figure 34-B). Du 19 au 20 décembre, un couvert compact s'installe rapidement dans toute la zone. Il sera complet et définitif 1 ou 2 jours plus tard (Figure 34-C).

Au printemps 2016, la glace se dégrade thermiquement pendant tout le mois de mai comme le montre la Figure 35. L'estran se dégage entre le 12 et le 28 mai, ce qui est aussi visible sur l'image Landsat-8 du 27 mai (Figure 36). À partir du 29 mai, la zone dégagée s'étend légèrement (Figure 35-A). Du 2 au 5 juin, la fonte progresse vers le large. La zone sera temporairement libre de glace le 6 juin (Figure 35-B). S'ensuivra une longue période (1 mois) d'eau libre et de fréquents retours de masses de glace et de blocs en dérive (Figure 35-C,D). Quelques blocs en dérive sont visibles sur l'image Landsat-8 du 28 juin (Figure 36) et demeurent observables jusqu'au 16 juillet sur les photographies. Ceux-ci peuvent se déposer sur l'estran. Un résumé des dates importantes des observations faites sur les photographies est présenté au Tableau 4 tandis que la durée des différents stades du couvert de glace est présentée au Tableau 5. L'information de ces deux tableaux est également représentée graphiquement avec les observations faites sur les images Landsat-8 à proximité du site (Figure 37)

A

B

C

Figure 34 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Kuujjuarapik (A - 27 novembre 2015, B - 10 décembre 2015, C - 20 décembre)

A

2018-05-30 12:00:00
KUUJJUARAPIK NORTH

2018-05-30 08:00:00
KUUJJUARAPIK MARINE

B

2018-08-04 16:00:00
KUUJJUARAPIK NORTH

2018-08-04 12:00:00
KUUJJUARAPIK MARINE

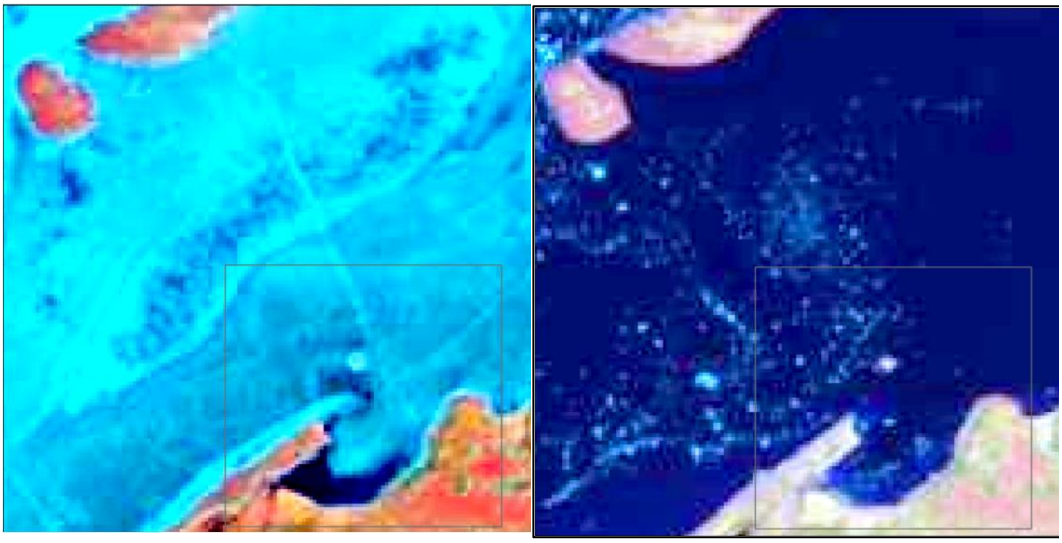
C

2018-08-24 12:00:00
KUUJJUARAPIK NORTH

2018-08-24 15:00:00
KUUJJUARAPIK MARINE

D

Figure 35 Déroulement de la fonte au printemps 2016 à Kuujjuarapik (A- 30 mai 2016, B- 4 juin 2016, C- 24 juin 2016, D- 28 juin 2016)



27 mai 2016 28 juin 2016

Figure 36 Images Landat-8 acquises pendant la fonte 2016 à Kuujjuarapik

Tableau 4 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Kuujjuarapik en 2015-2016

	Premières observations de glace	Englacement complet	Premiers signes d'eau	Première libération complète	Dernières observations de glace
Caméra Nord (Infrastructure Maritime)	27 novembre 2015	23 décembre 2015	29 mai 2016	06 juin 2016	16 juillet 2016
Caméra Sud	26 novembre 2015	21 décembre 2015	29 mai 2016	06 juin 2016	16 juillet 2016

Tableau 5 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Kuujjuarapik

	2015-2016
Durée de l'englacement (jours)	26
Nombre de jours du couvert complet	158
Nombre de jours entre la première apparition d'eau et l'évacuation	8
Nombre de jour entre l'évacuation et la dernière apparition de glace	40
Nombre d'épisodes de glace mobile	2
Durée moyenne des épisodes de glace mobile (jours)	15

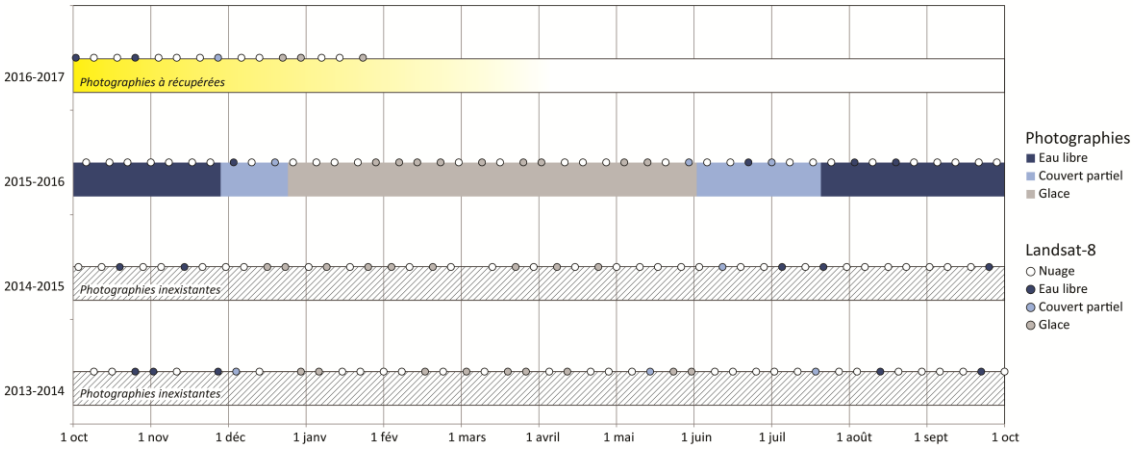


Figure 37 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 pour Kuujjuarapik en 2013-2017

3.2 Description du régime des glaces à Umiujaq

La description du régime des glaces à Umiujaq repose sur l'analyse des photographies disponibles à partir de l'automne 2012 jusqu'à l'été 2016 et sur les images Landsat-8 d'avril 2013 à janvier 2017. Les observations faites sont comparées avec celles présentées dans Clerc et al (2013) pour les années 2009 à 2012.

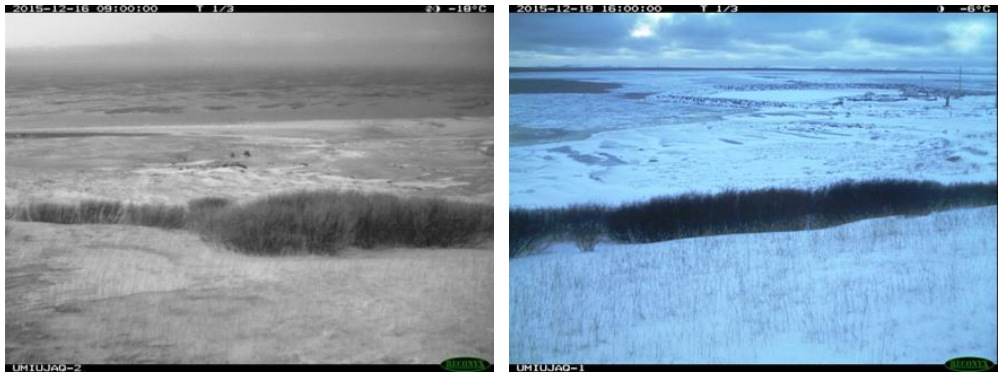
En 2015, l'englacement à Umiujaq est très rapide. Les premières observations de glace (*sorbet*) se font le 16 décembre 2015 (Figure 38-A). Dans la nuit du 21 au 22 décembre, le couvert s'installe (Figure 38-B). Quelques petites plaques d'eau persisteront au cours des jours suivants.

En 2014, le détroit de Nastapoka est à l'eau libre le 28 novembre. Par la suite, les caméras sont obstruées par le givre. Ce n'est que le 19 décembre que l'on peut voir à nouveau, et le couvert est alors déjà complet.

En 2013, le détroit de Nastapoka est à l'eau libre le 10 décembre. Par la suite, les caméras sont obstruées par le givre. Ce n'est que le 26 décembre que l'on peut voir à nouveau, et le couvert est alors déjà complet.

En 2012, le détroit de Nastapoka est à l'eau libre jusqu'au 14 décembre. Un couvert de glace assez dense se forme le 15 décembre. Les couverts partiels et denses se succéderont pendant une douzaine de jours (Figure 39-A). Le couvert sera finalement complet le 28 décembre (Figure 39-B).

A



B

Figure 38 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Umiujaq (A- 16 décembre 2015, B- 22 décembre 2015)

A.

B.

Figure 39 Déroulement de l'englacement 2012-2013 à Umiujaq (A- 16 décembre 2012, B- 27 décembre 2012)

Au printemps 2016, la neige et la surface de la glace se dégradent tout le mois de mai. La première trouée d'eau apparaît au nord le 24 mai (Figure 40-A). Elle progressera vers le sud et l'ensemble de la zone sera dégagé le 30 mai (Figure 40-B). Le cordon de glace autour de l'infrastructure tiendra 5 ou 6 jours de plus.

Puis, après 3 semaines d'eau libre, il y aura un va et vient ponctuel, mais fréquent, de masses et de blocs de glace du 24 juin au 18 juillet (Figure 40-C). Ce sont probablement les glaces qui se désagrègent dans la baie d'Hudson et pénètrent dans le détroit de Nastapoka. Elles viennent s'appuyer sur l'infrastructure, mais les morceaux semblent petits (Figure 41).

Au printemps 2015, un peu d'eau apparaît sur l'estran le 21 mai, mais ce n'est que le 2 juin que la percée d'eau apparaît au nord, à l'extrême droite de la photo. La trouée d'eau s'agrandira progressivement et toute la zone sera libre de glace le 9 juin (Figure 42-A,B). Le cordon de glace de l'infrastructure disparaît dès le 8 juin. La période de va et vient sera longue, du 12 juin au 20 juillet (39 jours) (Figure 42-D). À chaque fois, des blocs de glace viennent s'appuyer sur l'infrastructure (Figure 42-C). On ne dénote toutefois pas de conditions de vagues fortes durant cette période.

Au printemps 2014, le même processus se reproduit, avec la percée d'eau qui apparaît au nord le 24 mai et progresse sur l'ensemble de la zone qui devient libre de glace le 29 mai. Le cordon de glace sur l'infrastructure est également disparu à cette date. La période de va et vient des glaces s'étire du 30 mai au 23 juin (25 jours) (Figure 43-A,B). Le temps y est généralement calme. Il y a un seul épisode où des blocs de glace se déposent près de l'infrastructure.

Au printemps 2013, la percée d'eau qui arrive du nord apparaît à la mi-mai (Figure 44-A). En 4 jours, elle progresse vers le sud, dégage l'estran et s'étend ensuite au large pour libérer toute la zone le 21 mai (Figure 44-B). Le cordon de glace sur l'infrastructure persiste jusqu'au 27 mai. La période de va et vient des glaces sera très courte cette fois, entre le 26 mai et le 7 juin (13 jours) (Figure 44-C,D). Les glaces viennent rarement s'appuyer sur l'infrastructure.

A

B

C

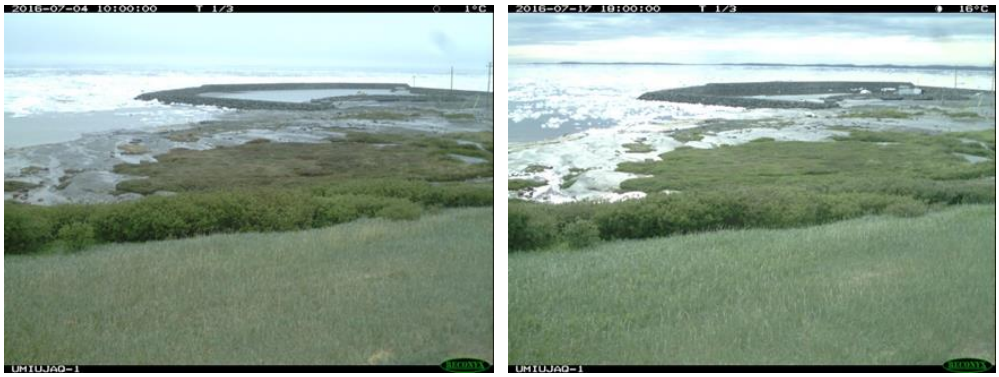


Figure 40 Déroulement de la fonte 2016 à Umiujaq (A- 24 et 26 mai, B- 27 et 30 mai, C- 4 et 17 juillet)

Figure 41 Agrandissement d'une photo du 4 juillet 2016 montrant une grande quantité de blocs agglomérés autour de l'infrastructure

A.

B.

C.

D.

Figure 42 Déroulement de la fonte 2015 à Umiujaq (A- 6 juin, B- 9 juin, C- 21 juin, D- 28 juin)

A.

B.

Figure 43 Déroulement de la fonte 2014 à Umiujaq (A- 1 juin, B- 17 juin)

A.

B.

C.

D.

Figure 44 Déroulement de la fonte 2013 à Umiuajq (A- 17 mai, B- 20 mai, C- 28mai, D- 4 juin)

L'acquisition de données pluriannuelles à Umiujaq permet une analyse des variations interannuelles des dates d'observations de la glace (Tableau 6) et des durées des différents stades du couvert de glace (Tableau 7). La combinaison des conditions de glace en 2015-2016 est particulièrement différente de celle des 3 années précédentes et ce, à plusieurs niveaux : la durée de l'englacement est très courte (8 jours) et la période de couvert complet dure très longtemps, ensuite, une longue période s'installe avant la fin de la présence de la glace et de nombreux épisodes de glace mobiles sont aperçus. Les événements identifiés suite à l'observation des images Landsat-8 ne permettent pas de corroborer ceux des photographies en raison d'un trop grand nombre d'images avec un couvert nuageux aux périodes critiques identifiées par les photos (Figure 45). Toutefois, l'englacement 2016-2017 est assez bien circonscrit, ce qui en fait le plus court parmi toutes les observations de Landsat-8. Il devrait donc se rapprocher davantage de ce qui sera observé sur les photographies lorsqu'elles seront disponibles. Sa durée reste néanmoins supérieure aux durées d'englacement observées par le passé à partir des photographies.

L'analyse des photographies a également permis de noter qu'en dehors de la saison de glace, l'automne semble être la période la plus venteuse, car de fortes vagues venant frapper l'infrastructure ont été observées (Figure 46). À l'inverse, la période printanière est particulièrement calme.

Tableau 6 Résumé des observations de glace pour Umiujaq de 2012 à 2016 réalisé à partir de l'analyse des photographies

Années	Premières observations de glace	Englacement complet	Premiers signes d'eau	Première libération complète	Dernières observations de glace
2015-2016	16 déc. 2015	24 déc. 2015	26 mai 2016	30 mai 2016	18 juillet 2016
2014-2015	>28 nov. 2014	<19 déc. 2014	29 mai 2015	9 juin 2015	20 juillet 2015
2013-2014	>10 déc. 2013	<26 déc. 2013	24 mai 2014	29 mai 2014	23 juin 2014
2012-2013	15 déc. 2012	28 déc. 2012	17 mai 2013	21 mai 2013	6 juin 2013
Moyenne	9 décembre	24 décembre	24 mai	30 mai	2 juillet
Minimum	> 28 novembre	<19 décembre	17 mai	21 mai	6 juin
Maximum	16 décembre	28 décembre	29 mai	9 juin	20 juillet

Tableau 7 Données pluriannuelles sur les durées des différents stades du couvert de glace obtenues par les caméras à Umiujaq

	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	Moyenne	Minimum	Maximum
Durée de l'englacement (jours)	13	16*	21*	8	17	8	21
Nombre de jours du couvert complet	140	149	161	154	151	140	161
Nombre de jours entre la première apparition d'eau et l'évacuation	4	5	11	4	6	4	11
Nombre de jours entre l'évacuation et la dernière apparition de glace	16	25	41	49	33	16	49
Nombre d'épisode de glace mobile	2	4	4	6	4	2	6
Durée moyenne des épisodes de glace mobile (jours)	5	3	8	3	5	3	8

*Nombre de jours incertain

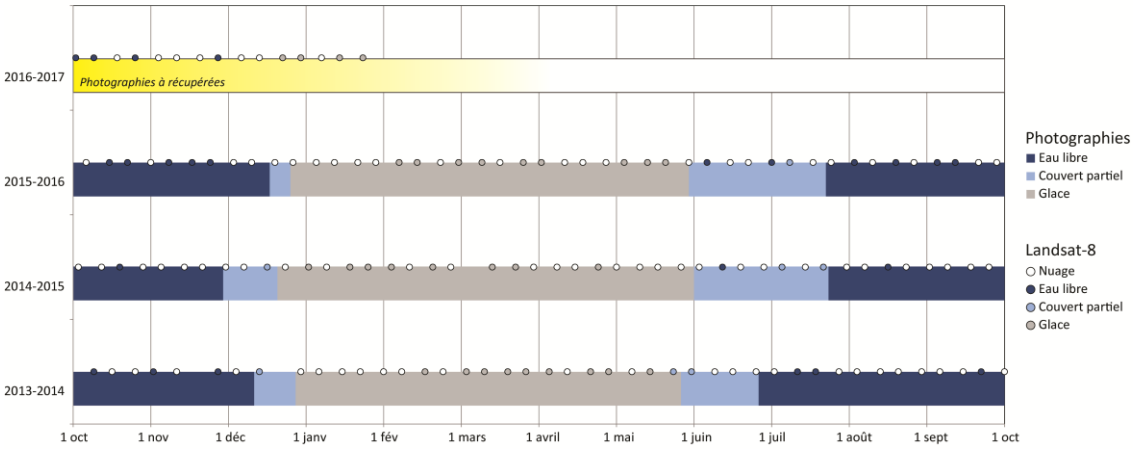


Figure 45 Saisons de glace déterminées par les caméras (2013-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2017) pour Umiujaq

Figure 46 Vagues frappant l'infrastructure maritime d'Umiujaq le 20 novembre 2015

Les observations sur les conditions de glace entre 2012 et 2016 sont cohérentes avec celles documentées par Clerc et al (2012) de 2009-2012:

> *« Pour la communauté d'Umiujaq, que ce soit lors de la fonte printanière ou de l'englacement, les conditions à risques pour l'infrastructure maritime sont généralement limitées et plutôt faibles. Les deux raisons principales sont probablement la faible amplitude des marées et la protection apportée par les îles Nastapoka, face au village. La mobilité des glaces est largement influencée par les vents et les courants littoraux. À marée haute, le courant littoral (flot) se dirige vers le nord et à l'inverse vers le sud (jusant).*
>
> *Il n'y a pas de grands risques associés à l'englacement, mis à part un décrochement de la banquise avec des niveaux d'eau élevés ou des vents forts, conditions peu ou pas observées depuis l'automne 2009.*
>
> *Les trois saisons de fonte suivies par les photos des caméras mettent en avant l'importance de la dégradation thermique, qui s'effectue graduellement et sans présenter de réel danger pour les brise-lames. Les trous de fonte en élargissement peuvent progresser tranquillement vers l'infrastructure et le décrochement de la banquise côtière encore en place se réalise habituellement à l'approche de la vive-eau (28 avril en 2010, et 18 mai en 2011 et le 30 mai en 2012) surtout durant les cycles de marée descendante. Le couvert déjà fragilisé par le rayonnement solaire et les courants s'est mis en mouvement suivant la période de vive-eau au baissant (jusant). En 2010, le trou d'eau libre au nord du village avait déjà progressé jusqu'aux abords de l'infrastructure*

lorsque ce qu'il restait de banquise côtière s'est détachée. En 2011, les photos laissent penser que le décrochement de la banquise juste en face du village s'est fait de façon complète et soudaine. Pour le reste, les glaces dans la marina ont été dégradées sur place et le couvert de glace a disparu le 16 mai en 2010, le 30 mai en 2011 sur le baissant et le 4 juin en 2012.

C'est en fait après le décrochement de la banquise que les brise-lames semblent le plus vulnérable à des impacts avec des morceaux de glace. Pendant la fonte, beaucoup de floes et de glaçons sont à la dérive, ayant réussi à passer le chapelet des îles Nastapoka ou en provenance du goulet du Lac Guillaume Delisle, plus au sud. À cause des vents dominants, ces glaces sont généralement poussées d'ouest en est en s'évacuant par le nord du détroit Nastapoka et peuvent donc entrer en collision avec le brise-lames. Si des niveaux d'eau élevés et des vents forts de l'ouest sont observés, le risque peut devenir accru pour l'infrastructure maritime. Rappelons qu'en plus le brise-lames d'Umiujaq n'est protégé que par un cordon de glace étroit et peu épais, conséquence de la faible amplitude des marées.»

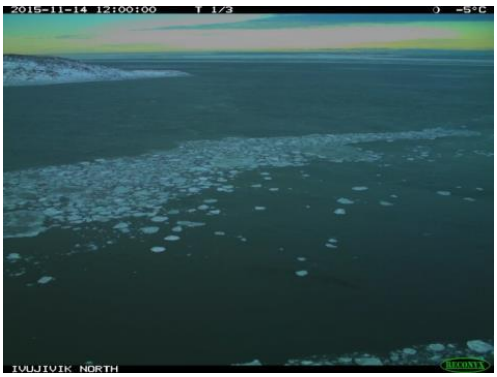
3.3 Description du régime des glaces à Ivujivik

La description du régime des glaces à Ivujivik repose sur l'analyse des photographies disponibles de l'hiver 2015-2016 et sur les images Landsat-8 d'avril 2013 à janvier 2017.

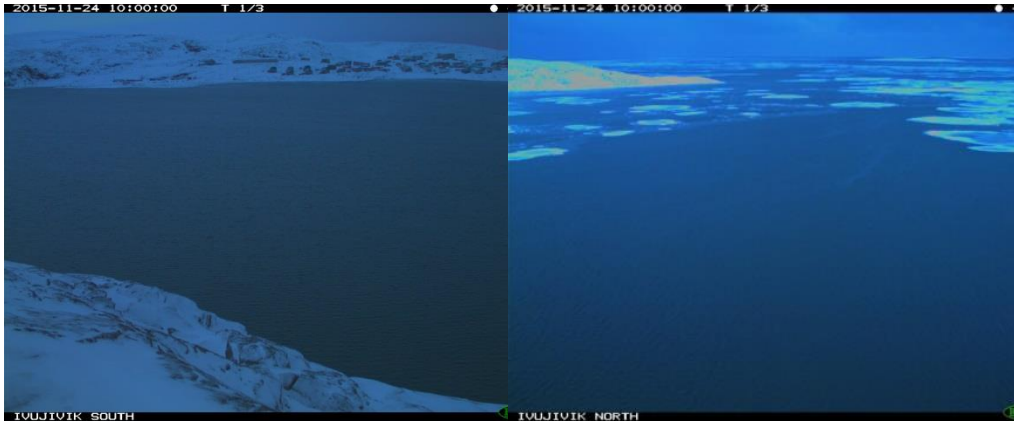
En 2015-2016, quelques morceaux de glace à la dérive (glace en crêpe, petits floes) apparaissent à partir de la mi-novembre avec une densification plus importante dans le fond de la baie (Figure 47-A). Le 24 novembre, de plus grands floes peuvent être aperçus au large (Figure 47-B). Le 25 novembre, une masse de glace a envahi la baie durant la nuit (Figure 47-C). Le 28 novembre la glace ne bouge plus dans le fond de la baie et le 1er décembre, l'englacement est complet au large également (Figure 47-D).

Dès le 11 mars 2016, des trouées d'eau apparaissent dans la passe Digges (Figure 48-A). Puis, le phénomène se répète plus près de la baie du début avril au début juin (Figure 47-B). À partir de la fin mai, la banquise est tranquillement grugée vers l'intérieur de la baie (Figure 48-C). Mais c'est uniquement le 3 juin que le dégagement commence réellement vers l'intérieur (Figure 47-D). À partir du 10 juin, la zone vers la passe Digges est passablement dégagée (Figure 47-F). Jusqu'au début juillet, des floes et du sarrasin entreront et sortiront de la baie (Figure 48-E). Ce n'est que le 11 juin qu'apparaîtra l'eau sur la caméra sud, qui depuis la mi-mars, est orientée vers le bas à cause d'un problème technique (Figure 48-G). Jusqu'au 16 juin, on perçoit encore une partie de glace intacte dans le champ de visée de la caméra qui vise l'infrastructure, ce qui peut être vu sur l'image Landsat-8 du 15 juin (Figure 49).

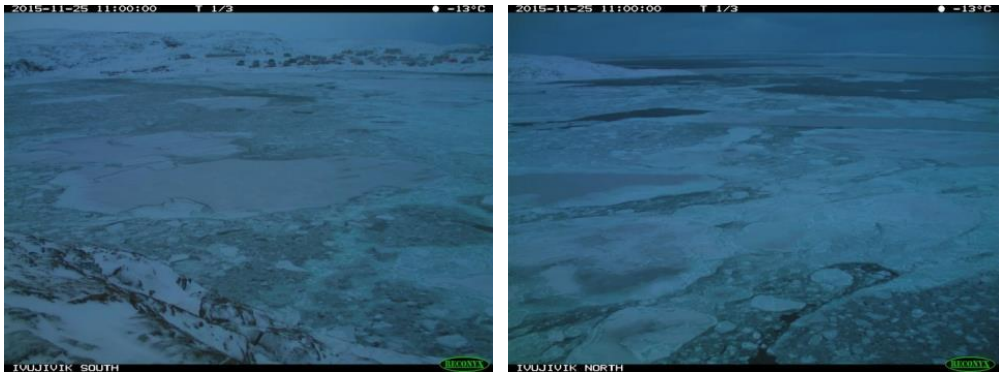
A



B



C



D

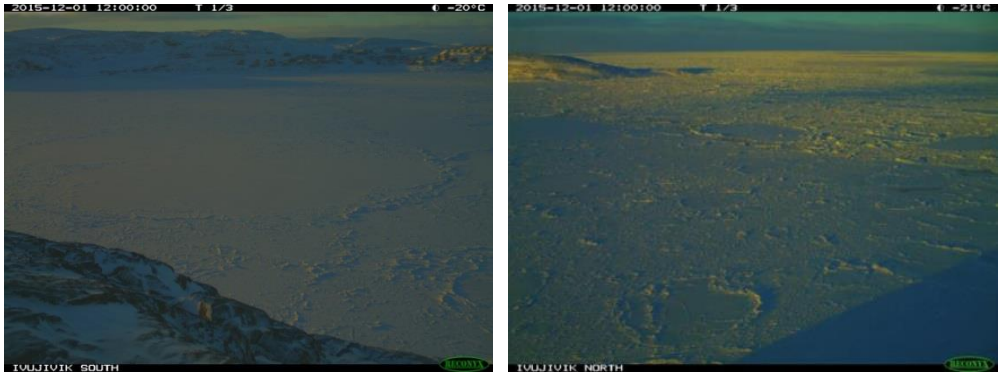


Figure 47 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Ivujivik (A- 10 et 14 novembre 2015, B- 24 novembre 2015, C- 25 novembre 2015, D- 1 décembre 2015)

A.

2016-03-11 17:00:00
-20°C
IVUJIVIK NORTH

B.

2016-04-12 09:00:00
-18°C
IVUJIVIK NORTH

C.

2016-05-15 08:00:00
1°C
IVUJIVIK NORTH

D.

2016-06-04 07:00:00
0°C
IVUJIVIK NORTH

E.

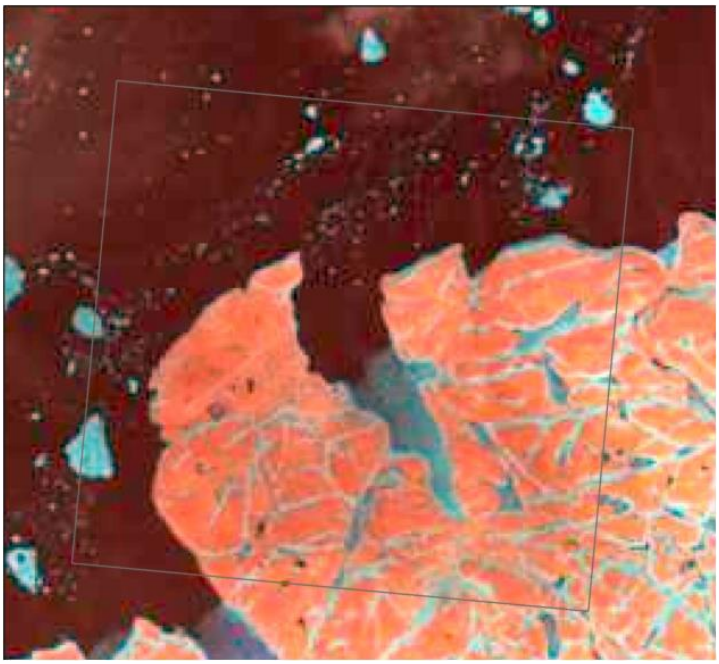
2016-06-09 18:00:00
2°C
IVUJIVIK NORTH

F.

2016-06-16 16:00:00
4°C
IVUJIVIK NORTH

G.

Figure 48 Déroulement de la fonte 2016 à Ivujivik (A- 11 mars, B- 12 avril, C- 15 mai, D- 4 juin, E- 9 juin, F- 10 juin, G- 11 juin)



15 juin 2016

Figure 49 Image Landsat-8 acquise pendant la fonte 2016 à Ivujivik

Tableau 8 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Ivujivik en 2015-2016

	Premières observations de glace	Englacement complet	Premiers signes d'eau	Première libération complète	Dernières observations de glace
Caméra Nord	11 novembre 2015	1er décembre 2015	10 avril 2016	4 juillet 2016	10 juillet 2016
Caméra Sud (Infrastructure maritime)	10 novembre 2015	28 novembre 2015	11 juin 2016	17 juin 2016	8 juillet 2016

Tableau 9 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Ivujivik

	2015-2016
Durée de l'englacement (jours)	18
Nombre de jours du couvert complet	196
Nombre de jours entre la première apparition d'eau et l'évacuation	6
Nombre de jour entre l'évacuation et la dernière apparition de glace	21
Nombre d'épisode de glace mobile	3
Durée moyenne des épisodes de glace mobile (jours)	6

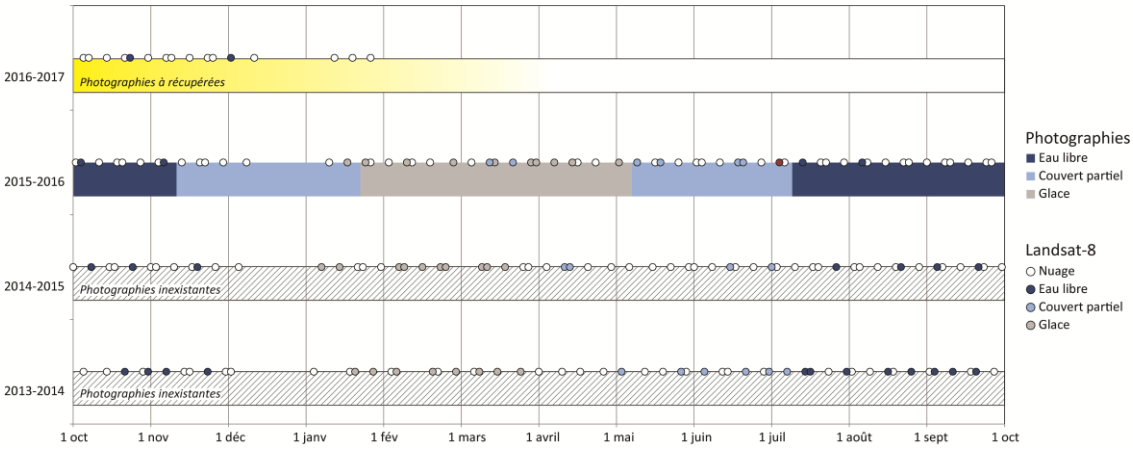


Figure 50 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Ivujivik

3.4 Description du régime des glaces à Baie Déception

La description du régime des glaces à Baie Déception repose sur l'analyse des photographies disponibles de l'hiver 2015-2016 et sur les images Landsat-8 d'avril 2013 à janvier 2017.

En 2015-2016, mis à part une observation ponctuelle le 19 octobre 2015, les premières glaces (frasil, slush) sont observées à partir du 29 octobre (Figure 51-A). À partir du 31 octobre, des traînées de glaces en crêpes et petits floes entrent le long de la rive ouest de la baie. En même temps, la partie à l'est de Moosehead Island et le fond de la baie s'englacent alors que le détroit est libre de glace (Figure 51-B).Dans la baie, le couvert complet est atteint le 14 novembre (Figure 51-C). Il est plus instable dans le détroit. La glace se brisera dans le détroit le 18 novembre pour revenir à l'eau libre les 21 et 22 novembre (Figure 51-D). C'est à cette période que la glace se brisera aussi dans la baie. Le couvert se reformera rapidement et sera complet le 24 novembre dans la baie (Figure 51-E). Il persistera quelques trouées d'eau dans le détroit jusqu'au 27 novembre.

La caméra face à l'île Moosehead a cessé de fonctionner le 27 janvier 2016 en raison d'un bris du système d'alimentation. Celle de Pointe-Noire, près du détroit d'Hudson, sera exempte de bris et fonctionnera toute l'année. Les premières observations d'eau s'y font le 22 juin 2016 (Figure 52-A). Dès le 23 juin, le couvert se brise (Figure 52-B). De bonnes concentrations de glace vont et viennent dans cette zone jusqu'au 28 juin (Figure 52-C), puis quelques blocs isolés jusqu'au 2 juillet (Figure 52-D). Aucune image Landsat-8 n'a permis de voir la baie durant cette période. Dans les semaines précédentes, deux images ont été acquises les 3 et 19 juin avec des vues partielles de la baie. Dans les deux cas, le couvert de glace s'étend encore au nord de Pointe Noire, hors du champ de visée de la caméra.

Un résumé des dates importantes des observations faites sur les photographies est présenté au Tableau 10 tandis que la durée des différents stades du couvert de glace est présentée au Tableau 11. L'information de ces deux tableaux est également représentée graphiquement avec les observations faites sur les images Landsat-8 à proximité du site (Figure 54)

	Pointe Noire	Face à Moosehead Island
A		
B		
C		

D.

E.

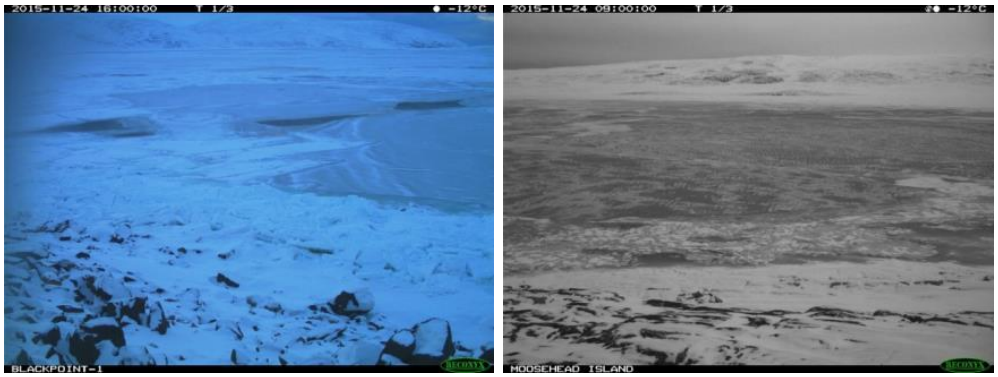


Figure 51 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Baie Déception (A- 29 octobre, B- 1 novembre, C- 14 novembre, D- 22 novembre, E- 24 novembre)

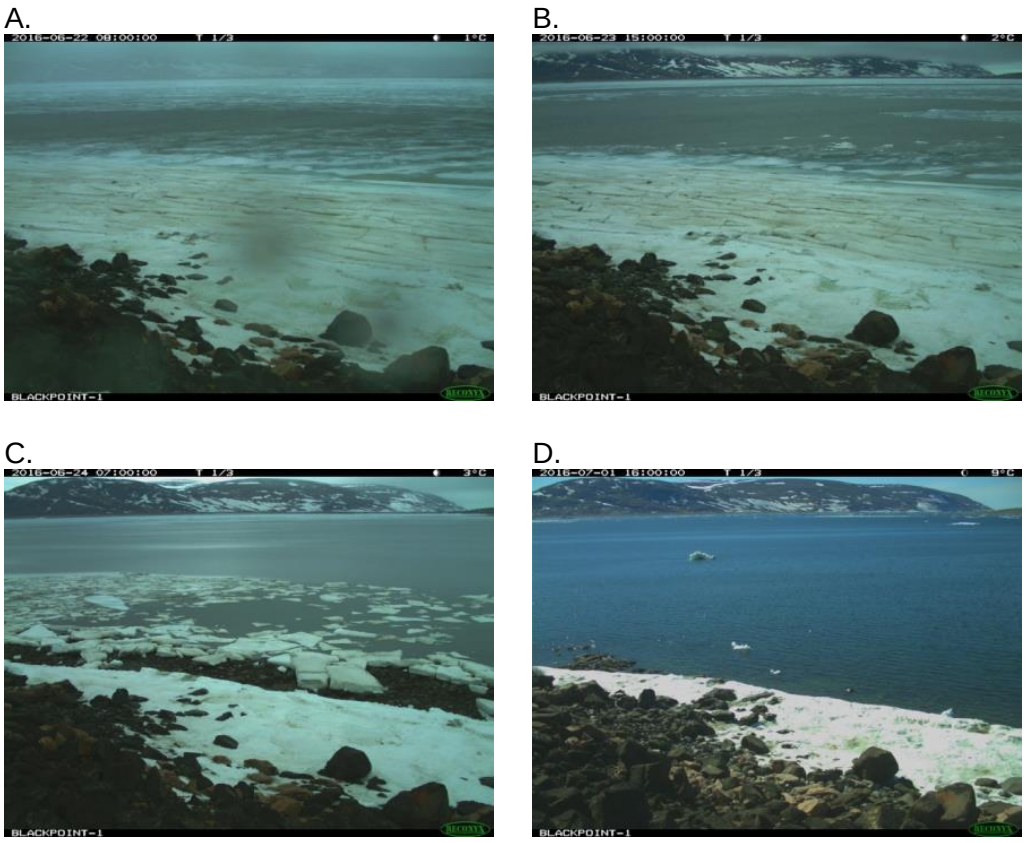
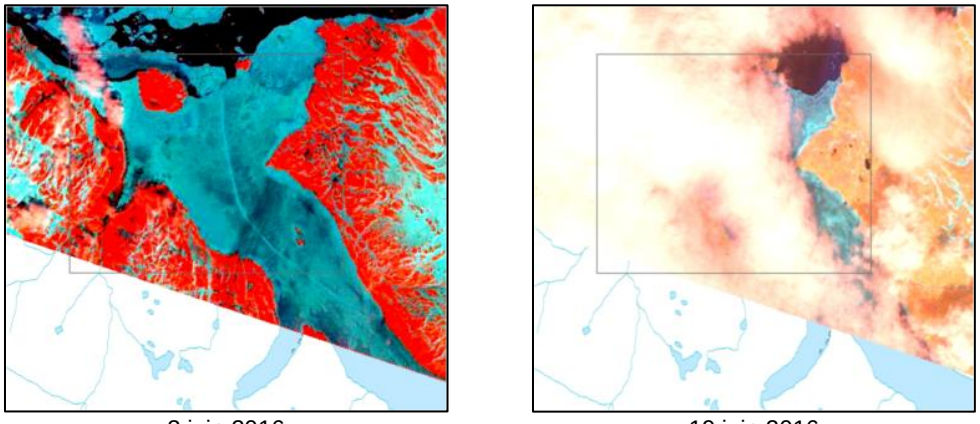


Figure 52 Déroulement de la fonte 2016 à Baie Déception (A- 22 juin, B- 23 juin, C- 24 juin, D- 1 juillet)



3 juin 2016 19 juin 2016

Figure 53 Images Landsat-8 acquises pendant la fonte 2016 à Baie Déception

Tableau 10 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Baie Déception en 2015-2016

	Premières observations de glace	Englacement complet	Premiers signes d'eau	Première libération complète	Dernières observations de glace
Détroit	19 octobre 2015	27 novembre 2015	22 juin 2016	29 juin 2016	2 juillet 2016
Baie	29 octobre 2015	14 novembre 2015	-	-	-

Tableau 11 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Baie Déception

	2015-2016
Durée de l'englacement (jours)	39
Nombre de jours du couvert complet	208
Nombre de jours entre la première apparition d'eau et l'évacuation	2
Nombre de jour entre l'évacuation et la dernière apparition de glace	8
Nombre d'épisode de glace mobile	1
Durée moyenne des épisodes de glace mobile (jours)	8

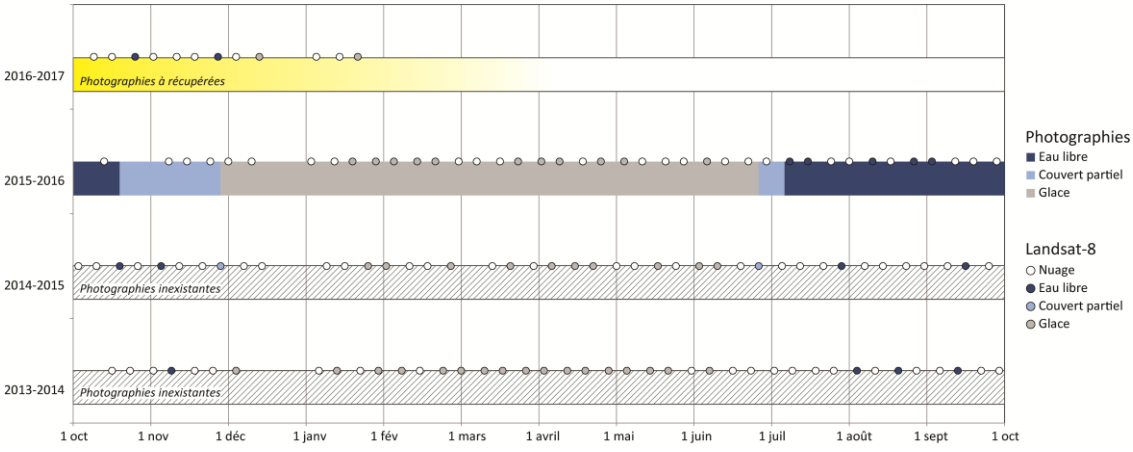


Figure 54 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Baie Déception

3.5 Description du régime des glaces à Quaqtaq

La description du régime des glaces à Quaqtaq repose sur l'analyse des photographies disponibles de l'hiver 2015-2016 et sur les images Landsat-8 d'avril 2013 à janvier 2017.

En 2015-2016, les premiers signes de glace (glace en crêpe et petits floes) apparaissent sur les 2 caméras vers la mi-novembre 2015 (Figure 55-A). Dans la nuit du 23 au 24 novembre, une masse de glace s'installe dans toute la zone visible sur les photos (Figure 55-B,C). Ce couvert s'installera immédiatement de façon permanente dans la baie, mais plus au large, on apercevra encore quelques petites trouées d'eau jusqu'au 28 novembre (Figure 55-D).

Au printemps 2016, la neige fond et la surface de la glace se dégrade à partir de la mi-mai, jusqu'au début juin. Dès le 12 juin, de l'eau apparaît sur l'estran et le long des rives. La glace se défait graduellement près de la première infrastructure mais le cordon de glace reste en place (Figure 56-A). Des blocs de glace sont poussés par les marées jusqu'au 19 juillet (Figure 56-B). Le cordon de glace finit de se désintégrer au même moment. Pendant la première semaine de juillet, le cordon n'aurait pas été d'une grande protection contre les blocs de glace (Figure 56-C).

La seconde infrastructure est prise dans la glace jusqu'à la fin juin. La glace s'y désagrège entre le 30 juin et le 3 juillet 2016 (Figure 57). Le cordon se désagrège jusqu'au 10 juillet. Pendant une dizaine de jours, il sera exposé aux blocs de glace qui sont repoussés vers la rive.

Une image Landsat-8 acquise le 9 juillet 2016 montre la présence d'une grande quantité de glace mobile dans la baie Diana (Figure 58).

Un résumé des dates importantes des observations faites sur les photographies est présenté au Tableau 12 tandis que la durée des différents stades du couvert de glace est présentée au Tableau 13. L'information de ces deux tableaux est également représentée graphiquement avec les observations faites sur les images Landsat-8 à proximité du site de Quaqtaq (Figure 59)

A

2015-11-17 15:00:00
MARINE INFRA QUAQTAQ

2015-11-17 15:00:00
DIANA BAY QUAQTAQ

B

2015-11-23 15:00:00
MARINE INFRA QUAQTAQ

2015-11-23 15:00:00
DIANA BAY QUAQTAQ

C

2015-11-24 10:00:00
MARINE INFRA QUAQTAQ

2015-11-24 10:00:00
DIANA BAY QUAQTAQ

D

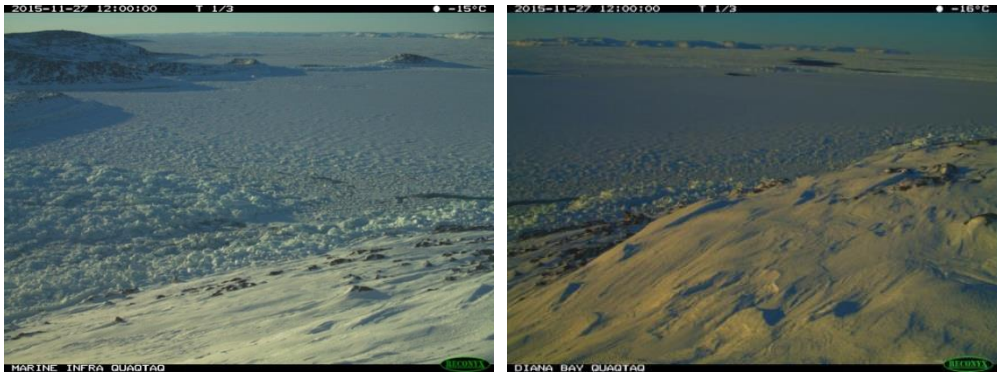
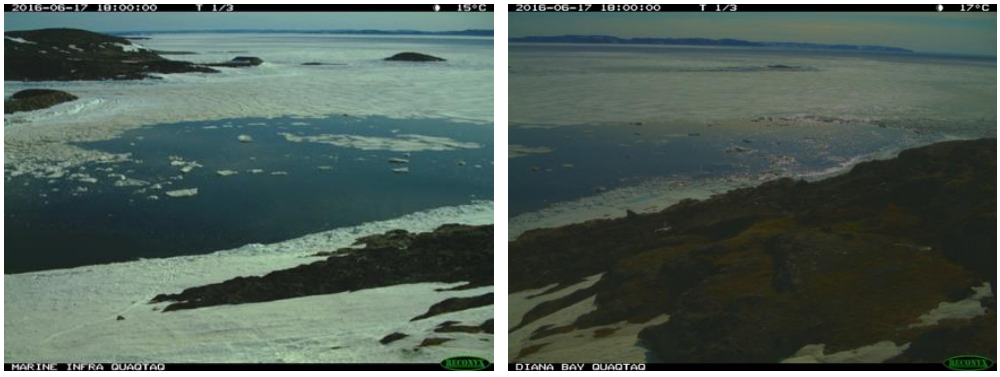
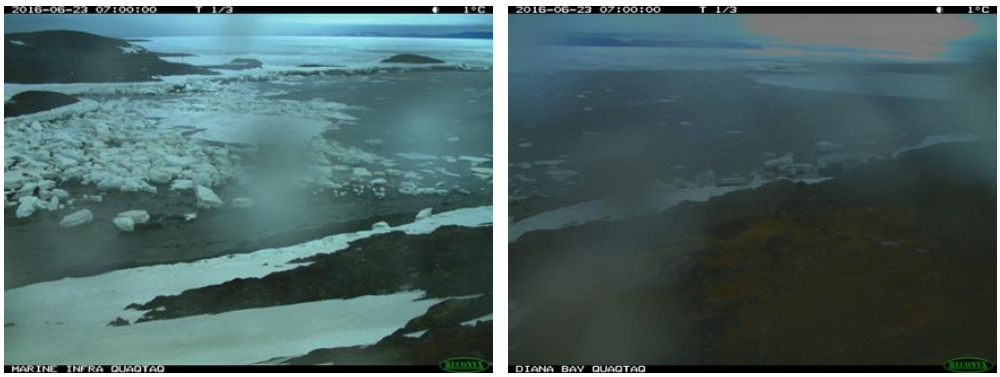


Figure 55 Déroulement de l'englacement 2015-2016 à Quaqtaq (A- 17 novembre 2015, B- 23 novembre 2015, C- 24 novembre 2015, D- 27 novembre 2015)

A



B



C

Figure 56 Déroulement de la fonte 2016 à Quaqtaq (A- 17 juin, B- 23 juin, C- 8 juillet)

A.

B.

C.

D.

Figure 57 : Fonte au niveau de la deuxième infrastructure de Quaqtaq en 2016 (A- 2 juillet, B- 3 juillet, C- 10 juillet, D- 20 juillet).

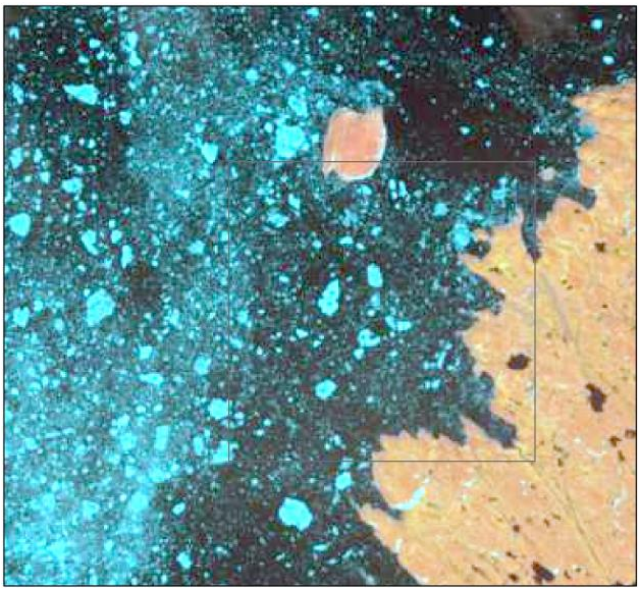


Figure 58 Image Landsat-8 du 8 juillet 2016 montrant la présence de glace mobile dans la baie Diana

Tableau 12 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Quaqtaq en 2015-2016

	Premières observations de glace	Englacement complet	Premiers signes d'eau	Première libération complète	Dernières observations de glace
Caméra Nord	12 novembre 2015	29 novembre 2015	12 juin 2016	4 juillet 2016	18 juillet 2016
Caméra Sud (IM)	11 novembre 2015	25 novembre 2015	12 juin 2016	3 juillet 2016	19 juillet 2016

Tableau 13 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Quaqtaq

	2015-2016
Durée de l'englacement (jours)	17
Nombre de jours du couvert complet	196
Nombre de jours entre la première apparition d'eau et l'évacuation	22
Nombre de jours entre l'évacuation et la dernière apparition de glace	16
Nombre d'épisodes de glace mobile	2
Durée moyenne des épisodes de glace mobile (jours)	7

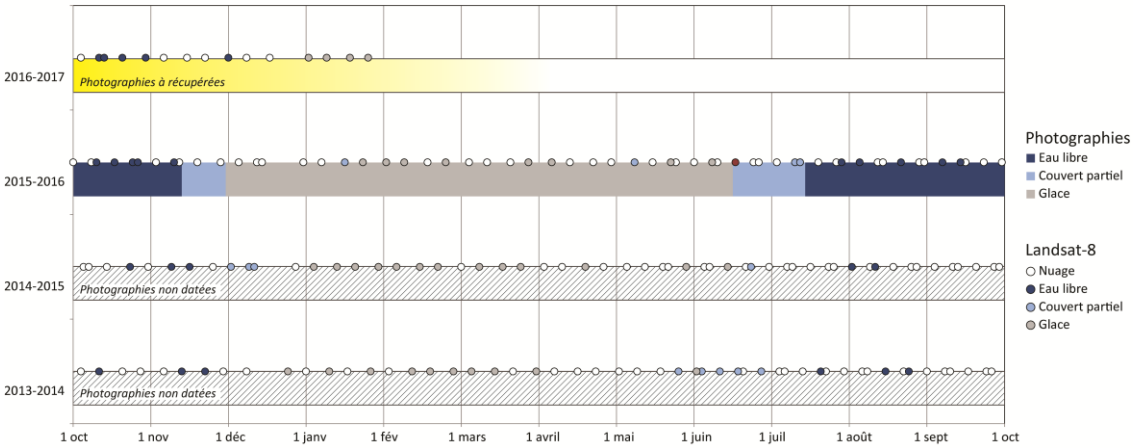


Figure 59 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Quaqtaq

Ces informations corroborent les constats du rapport de Clerc et al (2012) :

> *« De manière générale, pour la région de la baie Diana et la communauté de Quaqtaq, les infrastructures maritimes sont beaucoup moins exposées durant l'englacement que la fonte, sauf s'il y a des phénomènes extrêmes comme le décrochement de la banquise du 20 décembre 2009 ou lorsque des glaces mobiles sont combinées à des hauts niveaux d'eau et des vents forts.*
>
> *C'est donc au printemps, lorsque les glaçons et les floes dérivent au large des infrastructures que celles-ci sont les plus vulnérables. Au début de la fonte, le cordon de glace fixé sur le brise-lames assure une certaine protection même si la banquise côtière a disparu. Mais vers la fin de la période de fonte, ce cordon n'est plus présent et pourtant des blocs ou des plaques de glace peuvent encore se rapprocher des structures. »*

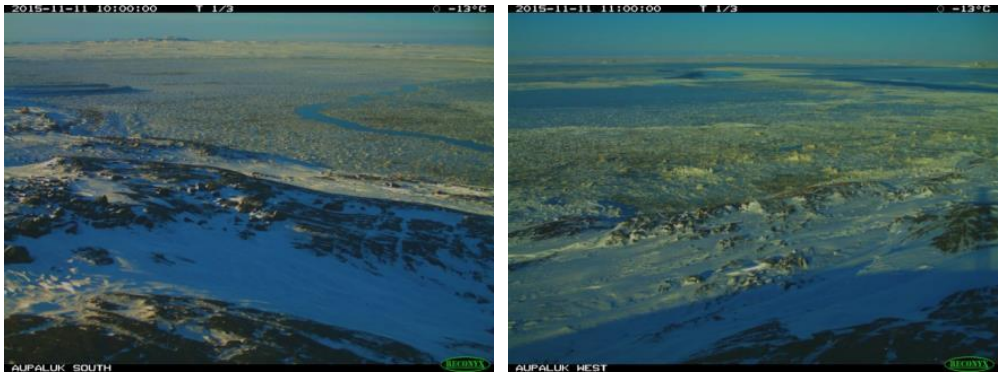
3.6 Description du régime des glaces à Aupaluk

La description du régime des glaces à Aupaluk repose sur l'analyse des photographies disponibles de l'hiver 2015-2016 et sur les images Landsat-8 d'avril 2013 à janvier 2017.

En 2015-2016, les premières glaces apparaissent le 1er novembre, mis à part quelques traces de sorbet visibles les jours précédents (Figure 60-A). Les glaces seront de tailles et de concentrations variables pendant quelques jours. À chaque marée haute, de la glace (frasil, petits floes) arrive du large et une partie se dépose sur l'estran à marée baissante. Ce processus se poursuit pendant près d'un mois (1er au 28 novembre 2015). Le 8 novembre, un couvert plus stable s'installe et perdurera jusqu'au 17 novembre (Figure 60-B). Le 18 novembre, la glace se défait (Figure 60-C). La baie apparaît pratiquement sans glace sur l'image Landsat-8 du 21 novembre, prise à marée basse (Figure 61). Un couvert plus compact recommencera à se former durant la dernière semaine de novembre. Il sera complet le 28 novembre sur la caméra visant l'infrastructure (Figure 60-D). À un certain point, on ne voit plus l'eau, mais seulement le couvert de glace qui se soulève au gré des marées. La 2e caméra, qui vise vers la sortie de la baie, montre aussi un estran important. On y voit la glace (frasil et floes) qui se forme au large souvent pendant la nuit et qui est aussi poussée dans la baie à marée haute. La caméra visant vers le large cessera de fonctionner le 28 novembre en raison d'un mauvais fonctionnement de la carte mémoire. À ce moment, quelques trouées d'eau étaient encore visibles (Figure 60-D).

A

B



C

D

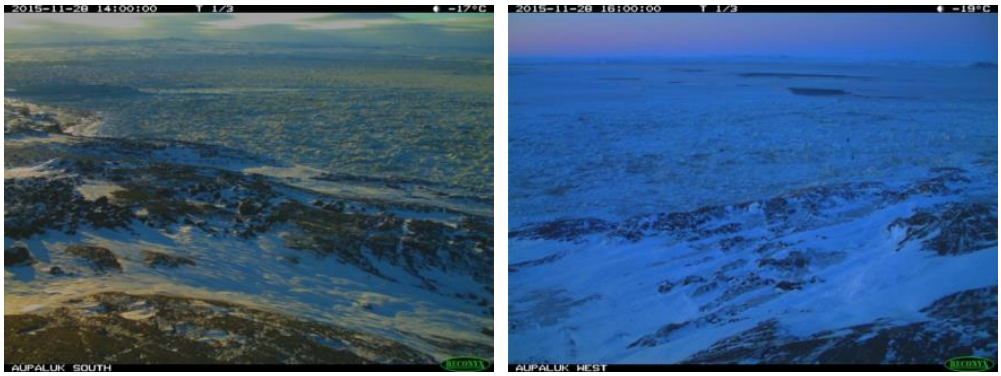
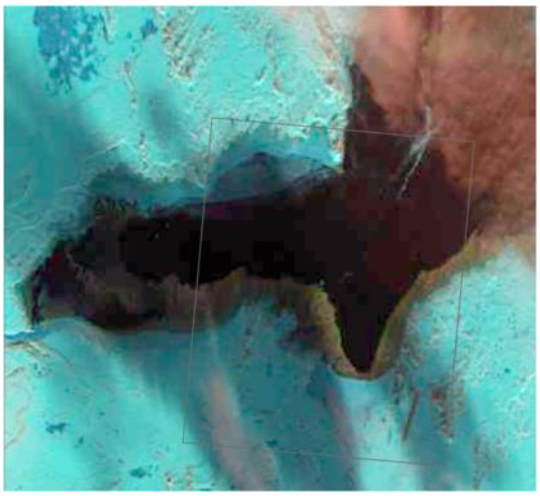


Figure 60 Déroulement de la saison d'englacement 2015-2016 à Aupaluk (A- 1 novembre 2015, B- 11 novembre 2015, C- 18 novembre 2015, D- 28 novembre 2015)



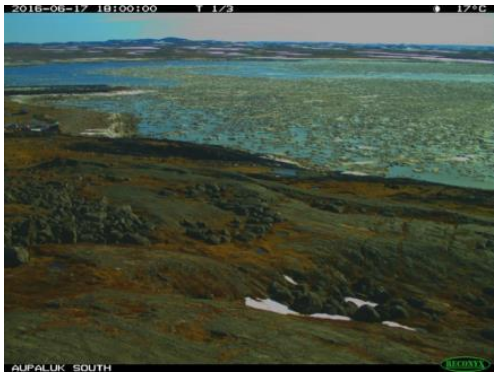
21 novembre 2015

Figure 61 Image Landsat-8 montrant une faible présence de glace dans la baie d'Aupaluk le 21 novembre 2015

Au printemps 2016, la dégradation de la glace sur l'estran est thermique et dure environ 1 mois (mi-mai à mi-juin). Au fil des marées hautes, l'eau finie par soulever et désagréger des parties du couvert de glace présent sur l'estran. Les premières traces d'eau sont observées le 11 juin 2016 sur l'estran. La glace sera évacuée le 17 juin (Figure 62-A) lors de la marée haute.

Pendant un mois de début juin à début juillet) des masses de blocs de glace arrivent, se déposent et repartent au fil des marées, (Figure 62-B). Ces blocs peuvent être de bonne taille. Ils s'accumulent autour et à l'intérieur de l'infrastructure, et s'appuient dessus. La zone est complétement libre de glace le 2 juillet (Figure 62-C). Des blocs s'y redéposeront cependant entre le 5 et le 9 juillet (Figure 62-D; Figure 63), puis entre le 15 et le 16 juillet. Nous n'avons pas observé de conditions de vagues et de vent qui auraient pu empirer la situation. Les marées sont réellement les moteurs du mouvement de ces blocs.

A.



B.

C.

D.

Figure 62 Déroulement de la fonte 2016 à Aupaluk (A- 17 juin, B- 22 juin, C- 2 juillet, D- 6 juillet)

Un résumé des dates importantes des observations faites sur les photographies est présenté au Tableau 14 tandis que la durée des différents stades du couvert de glace est présentée au Tableau 15. L'information de ces deux tableaux est également représentée graphiquement avec les observations faites sur les images Landsat-8 à proximité du site d'Aupaluk (Figure 64).

A.

B.

C.

Figure 63 Blocs se déposant près de l'infrastructure maritime (A- 26 juin, B- 6 juillet, C- 10 juillet 2016)

Tableau 14 Résumé des observations de glace obtenues par les caméras pour Aupaluk en 2015-2016

	Premières observations de glace	Englacement complet	Premiers signes d'eau	Première libération complète	Dernières observations de glace
Caméra Nord	1er novembre 2015	Près du 28 novembre 2015	-	-	-
Caméra Ouest (Infrastructure maritime)	1er novembre 2015	28 novembre 2015	11 juin 2016	2 juillet 2016	16 juillet 2016

Tableau 15 Durée des différents stades du couvert de glace obtenue par les caméras pour Aupaluk

	2015-2016
Durée de l'englacement (jours)	27
Nombre de jours du couvert complet	196
Nombre de jours entre la première apparition d'eau et l'évacuation	21
Nombre de jours entre l'évacuation et la dernière apparition de glace	14
Nombre d'épisodes de glace mobile	2
Durée moyenne des épisodes de glace mobile (jours)	4

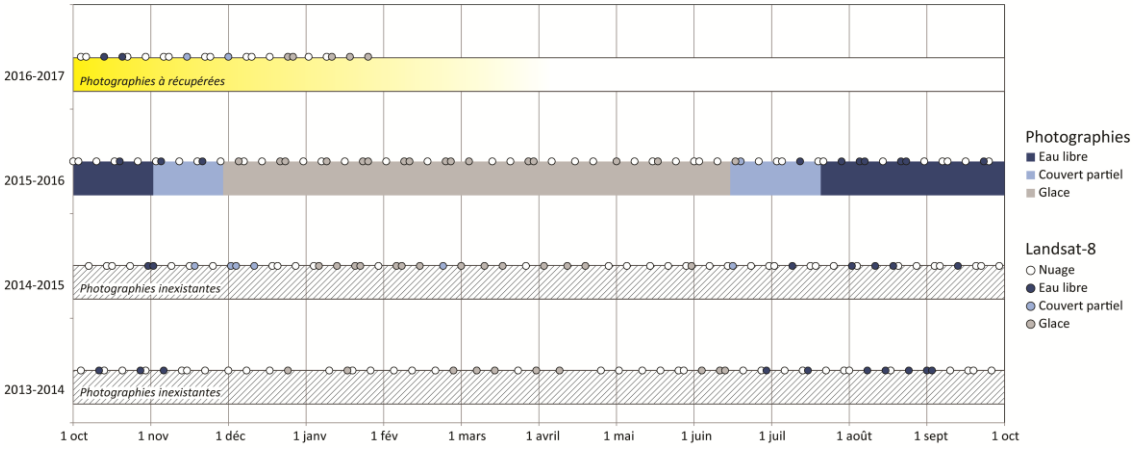


Figure 64 Saison de glace déterminée par les caméras (2015-2016) et observations faites sur les images Landsat-8 (2013-2016) pour Aupaluk

4 CONCLUSION

Le projet de recherche avait pour but de fournir des données d'observations des conditions de glace de rive à proximité de six infrastructures maritimes au Nunavik dans un contexte de changements climatiques. Les infrastructures visées sont situées à Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk. Les observations ont été réalisées en utilisant deux sources de données : des photographies provenant de caméras in situ et des images satellites optiques Landsat-8 et MODIS.

Un total de 55 000 photos et de 9 100 images ont été exploitées. Dans un premier temps, elles ont permis de documenter l'évolution des conditions de glaces de rive dans un contexte de CC et les conditions de glace qui peuvent représenter un risque pour ces ouvrages côtiers pour les six (6) sites à l'étude. Les photos horaires permettent de bien distinguer l'arrivée et le départ de la glace, ainsi que la présence de blocs en dérive qui peuvent représenter un risque pour l'infrastructure maritime. Par contre, il est essentiel de déterminer des procédures précises et un vocabulaire commun, afin d'éviter l'incertitude au niveau du choix de la date exacte d'englacement et de fonte. Sur certains sites, la caméra peut même être obstruée par le givre pendant les périodes d'englacement et de fonte. Dans l'ensemble, le système de caméras a très bien fonctionné. Deux incidents sont survenus à Baie Déception et Ivujivik où un panneau solaire a été abîmé dans le premier cas et les caméras ont été déplacées dans le second. Un problème électronique a également causé l'arrêt d'une des caméras d'Aupaluk. Le problème a été résolu à Aupaluk en remplaçant la carte mémoire défectueuse de même qu'à Ivujivik où les caméras ont été replacées. À Baie Déception, le panneau solaire a été réparé et devrait être remis en place en avril 2017. Les images Landsat-8 viennent compléter l'information des photos en fournissant une vue plus régionale des conditions de glace. Par contre, rares sont les images acquises sans nuage pendant les périodes critiques (englacement et fonte) et qui permettent de voir la zone observée par la caméra.

Dans un deuxième temps, les photos et les images ont été utilisées pour identifier automatiquement ou semi-automatiquement la présence d'eau et de glace, dans le but de calculer les concentrations de glace. La précision de la classification automatisée glace/non glace à partir de l'imagerie satellitaire est évaluée à 91% pour les images Landsat-8 et à 98% pour les images MODIS. La principale source d'erreur est la présence de voile nuageux. Elle peut nuire

à la bonne distinction entre la glace et l'eau ou simplement masquer de larges superficies où l'information aurait pu être disponible. Au niveau des photographies, les variations de luminosité d'une image à l'autre ou à l'intérieur de la même image posent un réel défi à la mise en place d'une classification automatisée. Pour cette raison, l'identification de la glace a demandé l'intervention d'un photo-interprète et le processus de classification n'a donc pas été complètement automatisé. La reproductibilité de la méthode a été évaluée à 84% pour des personnes différentes et 92% lorsqu'il s'agit d'une même personne.

La déformation liée à la vue oblique des caméras nécessite que les photographies soient redressées et géoréférencées pour être en mesure de les utiliser pour un calcul de concentration. Les points de contrôle nécessaire à cette opération étant difficiles à obtenir à partir des banques de données existantes ou par le positionnement d'éléments anthropiques visibles sur les photographies, il est suggéré de les créer soit même. Il suffit qu'on opérateur mesurant sa position en continu à l'aide d'un récepteur GPS se déplace à pied ou en canoë dans le champ de vision des caméras alors que celles-ci acquièrent des photographies. Il est ensuite possible d'associer la position de l'opérateur sur le terrain à sa position sur les photos. A l'avenir, afin de faciliter le géoréférencement des parties des photographies montrant les régions les plus éloignées, il est suggéré d'étendre jusqu'à au moins 3 000m l'acquisition des points de contrôle en canoë et davantage si l'embarcation est de plus grandes dimensions. La limite correspondant à la limite de détection de l'embarcation dans la photographie. La déformation liée à la vue oblique des caméras est une autre source potentielle d'erreur pour le calcul des concentrations de glace.

Au final, ce projet a permis d'identifier la présence de glaces au voisinage de six infrastructures maritimes au Nunavik en utilisant trois types d'informations ayant des échelles différentes, soit des photographies acquises à proximité du rivage, des images de haute résolution spatiale (30 m) du satellite Landsat-8 et des images de moyenne résolution spatiale (250 m) du capteur MODIS. La production de carte de glace permettra à l'ISMER de calculer les concentrations de glace nécessaires pour valider un modèle de glaces de rives à l'échelle de l'infrastructure et d'effectuer des projections de celles-ci dans un contexte de changements climatiques dans le cadre d'un autre projet de recherche financé par le Ministère. Également, les observations effectuées permettront de poursuivre le développement de la connaissance sur les conditions de glaces de rive au Nunavik qui peuvent représenter un risque pour les ouvrages côtiers, la navigation et la circulation de la population du

Nunavik sur le couvert de glace pour la pratique des activités de subsistance dans un contexte de changements climatiques. Le réseau de caméras mis en place dans le cadre de ce projet permettra également de poursuivre l'observation de l'environnement et des conditions climatiques au voisinage des six infrastructures maritimes visées. Depuis 2009, les caméras ont acquis plus de 268 000 photos, ce qui en fait une base d'information de premier plan sur les conditions de glace de rive au Nunavik.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bernier, Monique; Poulin, Jimmy; Gignac, Charles; Thériault, Dominic; Gauthier, Yves Bernier, Monique; Latapie, Romain; Poulin, Jimmy; Gauthier, Yves (2015). **Suivi des conditions de glaces de rives à proximité d'infrastructures maritimes au Nunavik dans un contexte de changements climatiques: Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk: Projet de recherche CC09.1. Rapport d'étape 1.** Rapport de recherche (R1627). INRS, Centre Eau Terre Environnement, Québec.

Clerc, Clément; Poulin, Jimmy; Gauthier, Yves; Bernier, Monique; Bleau, Stéphanie; Gignac, Charles; Bédard, Jean-Simon; Duhamel-Beaudry, Émilie (2012). **Descripteurs et indicateurs de la couverture glacielle au Nunavik : Quaqtaq, Umiujaq et Kuujjuaq : changements climatiques et infrastructures marines au Nunavik : impacts et adaptations.**Rapport de recherche (R1389). INRS, Centre Eau, Terre et Environnement, Québec.

Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment* 1991, *37*, 35-46.

Gignac, C.; Bernier, M.; Chokmani, K.; Poulin, J. Icemap250—automatic 250 m sea ice extent mapping using modis data. *Remote Sensing* 2017, *9*, 70.

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

Jenks, G.F. The data model concept in statistical mapping. *International yearbook of cartography* 1967, *7*, 186-190.

Keshri, A. K., A. Shukla, and R. P. Gupta (2008), ASTER ratio indices for supraglacial terrain mapping, *International Journal of Remote Sensing*, *30*(2), 519-524, doi:10.1080/01431160802385459.

Poulin, Jimmy; Bernier, Monique; Gauthier, Yves (2016). *Installation et entretien de caméras afin de suivre les mouvements des glaces de rive aux abords d'infrastructures maritimes du Nunavik - Rapport technique no.2.* Dans le cadre du projet CC09.1 : Suivi des conditions des glaces de

rive à proximité d'infrastructures maritimes dans un contexte de changements climatiques au Nunavik: Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk. INRS, Centre Eau Terre Environnement, Québec.

Poulin, Jimmy; Bernier, Monique; Gauthier, Yves (2015). *Installation et entretien de caméras afin de suivre les mouvements des glaces de rive aux abords d'infrastructures maritimes du Nunavik - Rapport technique no.1.* Dans le cadre du projet CC09.1 : Suivi des conditions des glaces de rive à proximité d'infrastructures maritimes dans un contexte de changements climatiques au Nunavik: Kuujjuarapik, Umiujaq, Ivujivik, Baie Déception, Quaqtaq et Aupaluk. INRS, Centre Eau Terre Environnement, Québec.

Senneville, Simon et Simon St-Onge Drouin (2013) Étude de la variation des glaces dans le système couplé océan-glace de mer de la baie d'Hudson. Rapport Préparé pour le Ministère des Transports du Québec. Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski. 63 p.

Trishchenko, A.P.; Luo, Y.; Khlopenkov, K.V. In *A method for downscaling modis land channels to 250-m spatial resolution using adaptive regression and normalization*, 2006.

Zhu, Zhe, S Wang, CE Woodcock (2015). Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. Remote Sensing of Environment, Volume 159, 15 March 2015, Pages 269–277

Zhu, Zhe; Woodcock Curtis E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, Volume 118, 15 March 2012, Pages 83–94.

ANNEXE A
Algorithme de classification des images Landsat-8

Cette annexe présente les caractéristiques de l'imagerie Landsat-8 ainsi que l'algorithme utilisé pour la classification des images et l'identification de la glace. Une évaluation de l'algorithme utilisé est également présentée de même que les résultats d'une tentative de modification de l'algorithme afin de réduire la sensibilité aux nuages.

Description des données et capteurs

Le 8^{e} satellite de la mission Landsat a été lancé en février 2013. Il possède deux capteurs permettant l'acquisition simultanée de 9 bandes dans le visible et le proche infrarouge (capteur OLI) ainsi que 2 bandes dans l'infrarouge thermique (capteur TIRS). Par rapport aux missions précédentes, Landsat-8 possède entre autre une bande dans le proche infrarouge (bande 9) favorisant la détection des nuages de type cirrus (Tableau 16 et Figure 65). Les images sont aussi distribuées avec une bande supplémentaire d'évaluation de la qualité (*quality assessment*). Cette bande fournie de l'information sur des éléments comme la présence de nuage, de neige ou d'eau.

La dimension d'une image Landsat-8 est d'approximativement de 170 km (nord-sud) par 183 km (est-ouest) ce qui correspond à environ 2 Go de données. À la livraison, les données sont déjà corrigées géométriquement avec une précision acceptable pour les besoins du projet (12 mètres d'erreur circulaire dans 90 % des cas pour le capteur OLI et 41 m pour le capteur TIRS). Le satellite se déplace sur une orbite ayant un cycle de 16 jours, ce qui signifie que le satellite repasse exactement au même endroit à cette fréquence. Un site peut toutefois être observé par le satellite à une fréquence plus grande en considérant d'autres passages du satellite dans la même région à l'intérieur du même cycle.

Tableau 16 Caractéristiques des bandes des capteurs OLI et TIRS Landsat-8 (NASA)

Landsat 8 Mis en orbite 11 février 2013	Bandes spectrales	Longueur d'onde (micromètres)	Résolution (mètres)
Operational Land Imager (OLI)	Bande 1 - aérosol	0.43 - 0.45	30
	Bande 2 - bleu	0.45 - 0.51	30
	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
	Bande 8 - panchromatique	0.50 - 0.68	15
----------	Bande 9 - cirrus	1.36 - 1.38	30
Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bande 10 - infrarouge thermique	10.60 - 11.19	100[3] (30)
	Bande 11 - infrarouge thermique	11.50 - 12.51	100[1] (30)

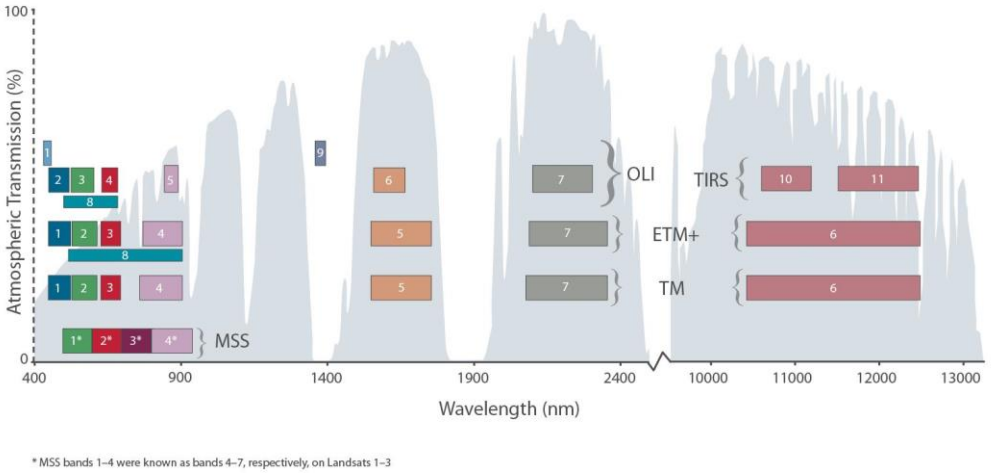


Figure 65 Comparaison des bandes spectrales de Landsat-8 par rapport aux missions précédentes. Figure tirée de https://landsat.usgs.gov/how-does-landsat-8-differ-previous-landsat-satellites

[3] L'acquisition se fait à 100m mais les données sont rééchantillonnées à 30m pour correspondre aux bandes du capteur OLI.

Algorithme pour l'identification de la glace

L'approche utilisée pour l'identification de la glace sur les images Landsat-8 est basée sur l'algorithme développé par Zhu et Woodcock (2012) et modifié par Zhu et al (2015). Cet algorithme a pour but premier d'identifier les nuages et les ombres créées par ces derniers sur des images Landsat, quel que soit l'environnement. Les résultats de cet algorithme sont inclus dans certains produits dérivés des images Landsat distribués par la NASA. L'algorithme identifie en premier lieu les pixels qui sont potentiellement contaminés par des nuages au moyen de quatre différents tests faisant intervenir les 7 premières bandes du capteur OLI (Figure 66). En parallèle, un test est appliqué sur tous les pixels afin de les séparer en deux classes, soit de l'eau ou de la terre (test de l'eau). Par la suite, dépendamment de la classe, différents tests et seuils sont utilisés afin de calculer la probabilité que le pixel soit un nuage (Figure 67). Finalement, les probabilités sont combinées avec la couche de pixels probables identifiés à la première étape pour créer ce qui sera la couche de nuage. Une fois les nuages détectés, l'algorithme utilise l'information sur l'angle de visée du satellite ainsi que l'angle d'élévation et la position du soleil, afin de chercher une correspondance entre la forme des nuages et la forme d'objets possiblement plus sombre au sol.

Dans le cadre du projet, des modifications ont été appliquées à cet algorithme dans le but d'obtenir le résultat souhaité, soit une identification des nuages, mais aussi de la glace et de l'eau. Le domaine pour lequel le traitement est désiré se limitant à un milieu maritime subarctique, certaines simplifications ont pu être mise en place (Figure 68). Ainsi, suite au test permettant de séparer l'eau de la terre, il est inutile de poursuivre pour les pixels ayant réussi le test, car ils sont présumés être de l'eau. Ici le terme *terre* étant équivalent à *pas de l'eau*, il devient synonyme de *glace*. La partie identification des zones d'ombre (non présentée dans les Figure 66 et Figure 67) a également été laissée de côté dans la mesure où que de l'ombre sur de l'eau est difficilement détectable, les zones d'ombres détectées ne peuvent correspondre qu'à de la glace.

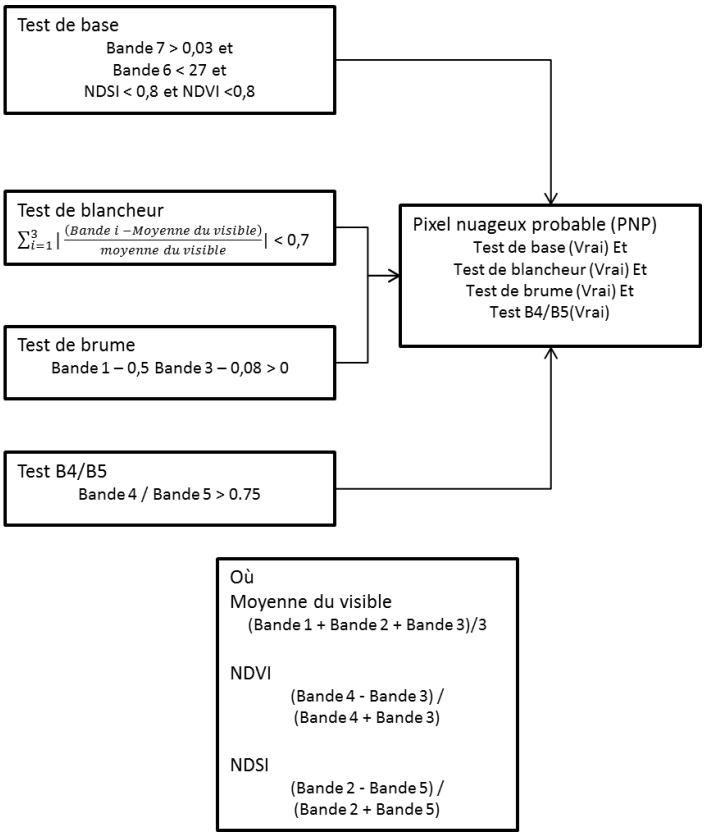


Figure 66 Test initiaux pour la détermination des pixels possiblement affectés par des nuages.

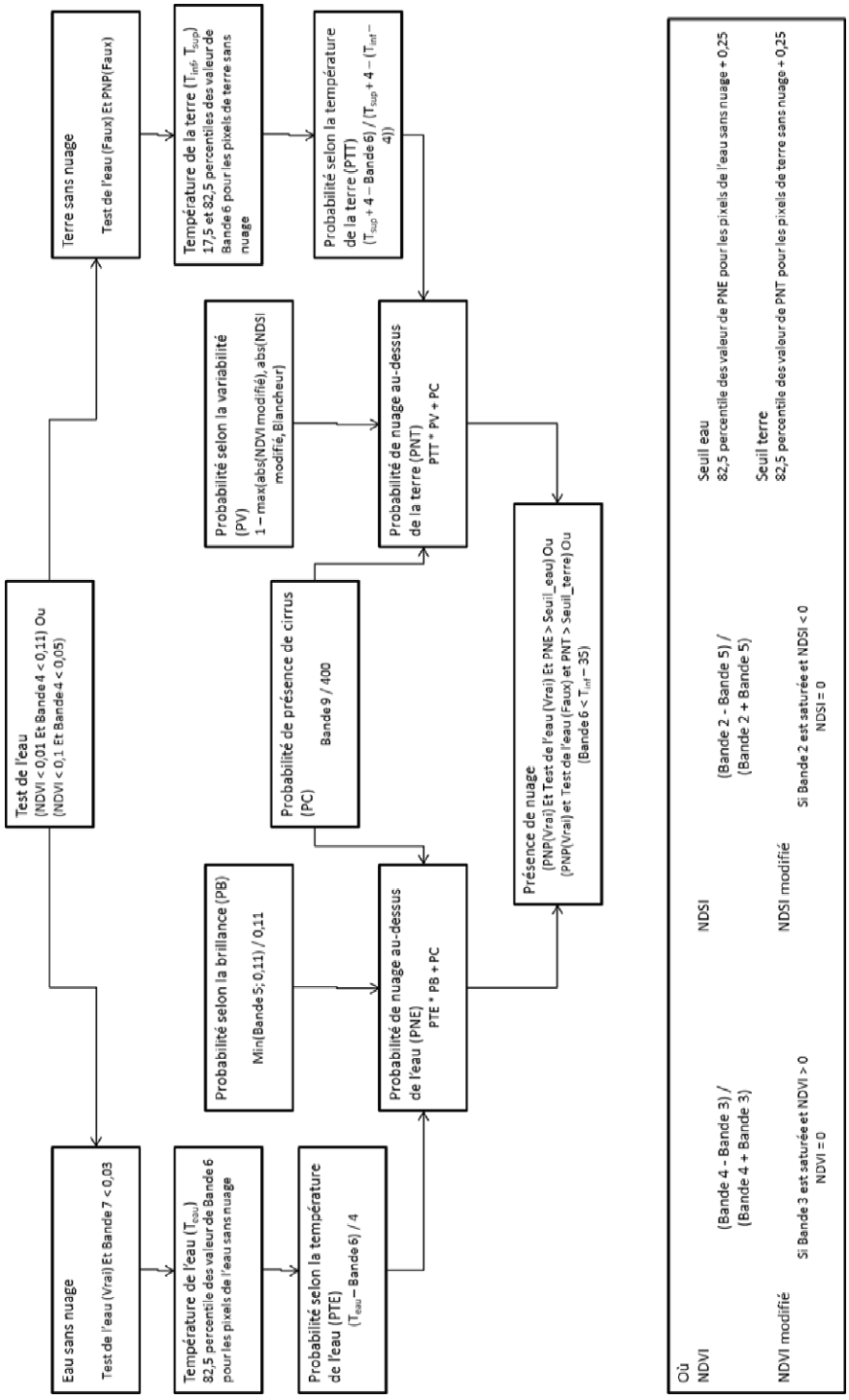


Figure 67 Algorithme pour l'identification des nuages. Modifié de Zhu et al (2015)

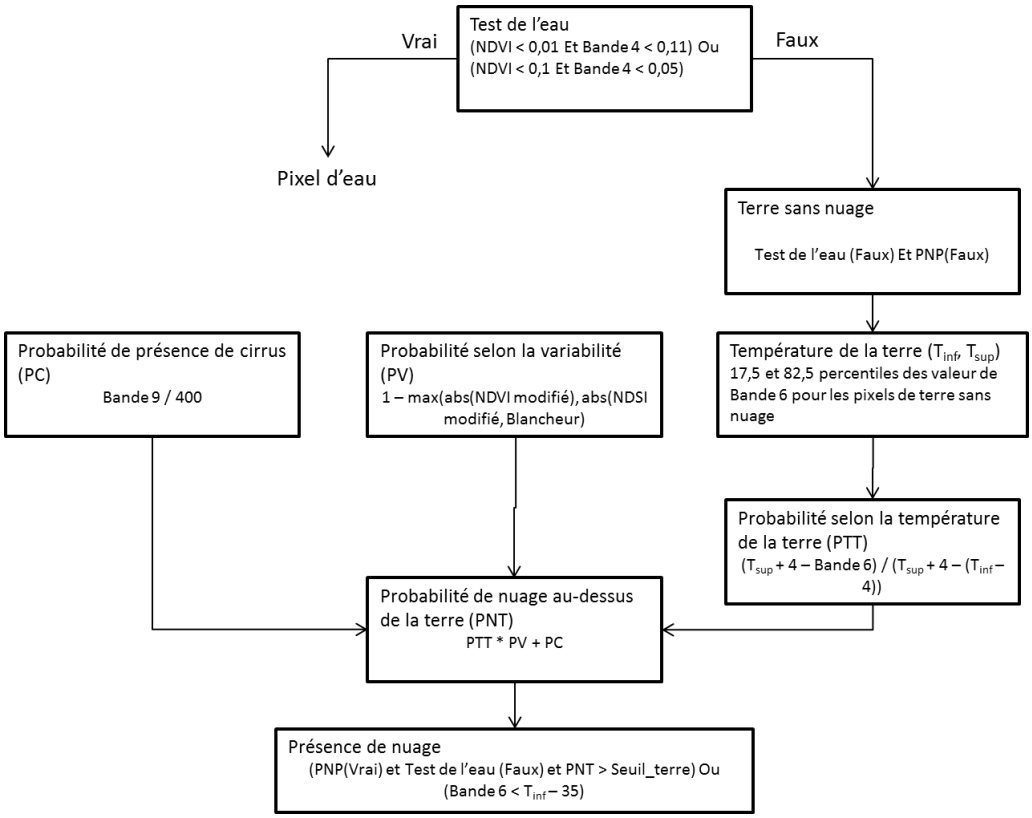


Figure 68 Modifications faites à l'algorithme original

L'évaluation de la qualité des résultats de l'algorithme a été effectuée en interprétant visuellement le contenu de 8 images Landsat-8 acquises à différentes dates et à des endroits différents, mais à proximité des sites à l'étude. Sur ces images, des zones d'eau, de glace et de nuage ont été identifiées puis comparées aux images classifiées en utilisant l'algorithme. La comparaison a permis de calculer un niveau de précision de 90,6% (Tableau 17).

Tableau 17 Matrice de confusion pour l'évaluation de l'algorithme utilisé

		Interprétation visuelle				
Classification		Eau	Glace	Nuage	Total	Erreur de commission (%)
	Eau	3813163	27835	341675	4182673	91,2
	Glace	94056	3415453	349220	3858729	88,5
	Nuage	186866	27913	2671018	2885797	92,6
	Total	4094085	3471201	3361913	10927199	
	Erreurs d'omission (%)	93,1	98,4	79,4		90,6

Le capteur OLI de Landsat-8 possédant une bande pour la détection des nuages de type cirrus (bande 9), la modification de l'algorithme faite par Zhu et al (2015) inclut cette bande dans l'évaluation des probabilités de présence de nuages pour les pixels Eau et Terre (Figure 67). Les cirrus se présentant souvent comme un voile nuageux peu opaque, il est parfois possible de voir l'eau ou la glace à travers (Figure 30). Bien qu'il soit légitime de classifier ces pixels comme des nuages dans la mesure où il y a bien présence de nuages, nous poursuivons nos travaux afin d'adapter l'algorithme dans le but qu'il identifie l'eau et la glace malgré la présence de ce voile. Une diminution du nombre de pixels classifiés comme nuage apporterait une augmentation du nombre de pixels utilisables par l'ISMER pour le calcul de concentration et pour la validation du modèle de glace. Des tests ont été faits en laissant de côté complétement la bande 9, mais le résultat n'est pas satisfaisant dans toutes les situations. En effet, ayant déjà éliminé la détection des nuages au-dessus de l'eau, la détection de cirrus par la bande 9 n'intervient que dans le calcul de la probabilité de nuage au-dessus de la glace. En laissant de côté les nuages détectés par la bande 9, les pixels touchés se retrouvent tous dans la classe glace. En période hivernale, où le couvert de glace est pratiquement complet, ce changement cause peu d'erreur. Une matrice de confusion a été réalisée avec cette nouvelle version d'algorithme en utilisant les mêmes images (Tableau 18). Le résultat semblait acceptable. Une perte de précision de 8% était notée mais accompagnée d'une baisse moyenne de 16% du nombre de pixel de couvert nuageux. Toutefois, en période estivale et automnale, un trop grand nombre de pixels sont faussement classifiés comme de la glace pour adopter cette version d'algorithme. Bien que l'algorithme utilisé montre un bon pourcentage d'efficacité, le travail se poursuit sur cet aspect afin de maximiser le potentiel des images Landsat-8 comme outils de validation pour les travaux de l'ISMER.

Tableau 18 Matrice de confusion pour l'évaluation de l'algorithme testé pour percer le couvert nuageux

		Interprétation visuelle				
Classification		Eau	Glace	Nuage	Total	Erreur de commission (%)
	Eau	3813163	27835	341675	4182673	87,7
	Glace	94056	3415453	349220	3858729	76,1
	Nuage	186866	27913	2671018	2885797	86,3
	Total	4094085	3471201	3361913	10927199	
	Erreurs d'omission (%)	93,4	96,2	50,3		82,1

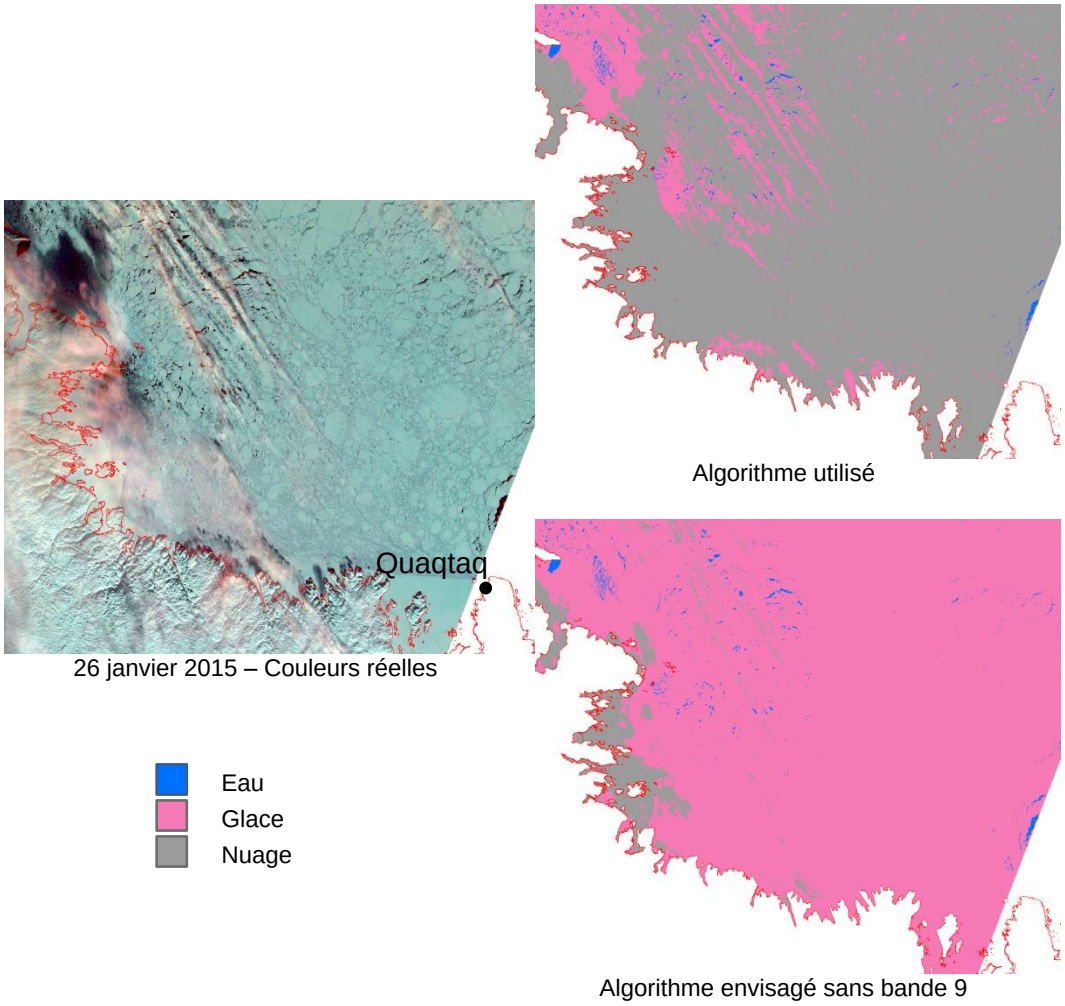


Figure 69 Exemple de classification sans l'utilisation de la bande 9 en période hivernale (détroit d'Hudson, au nord de Quatqaq)

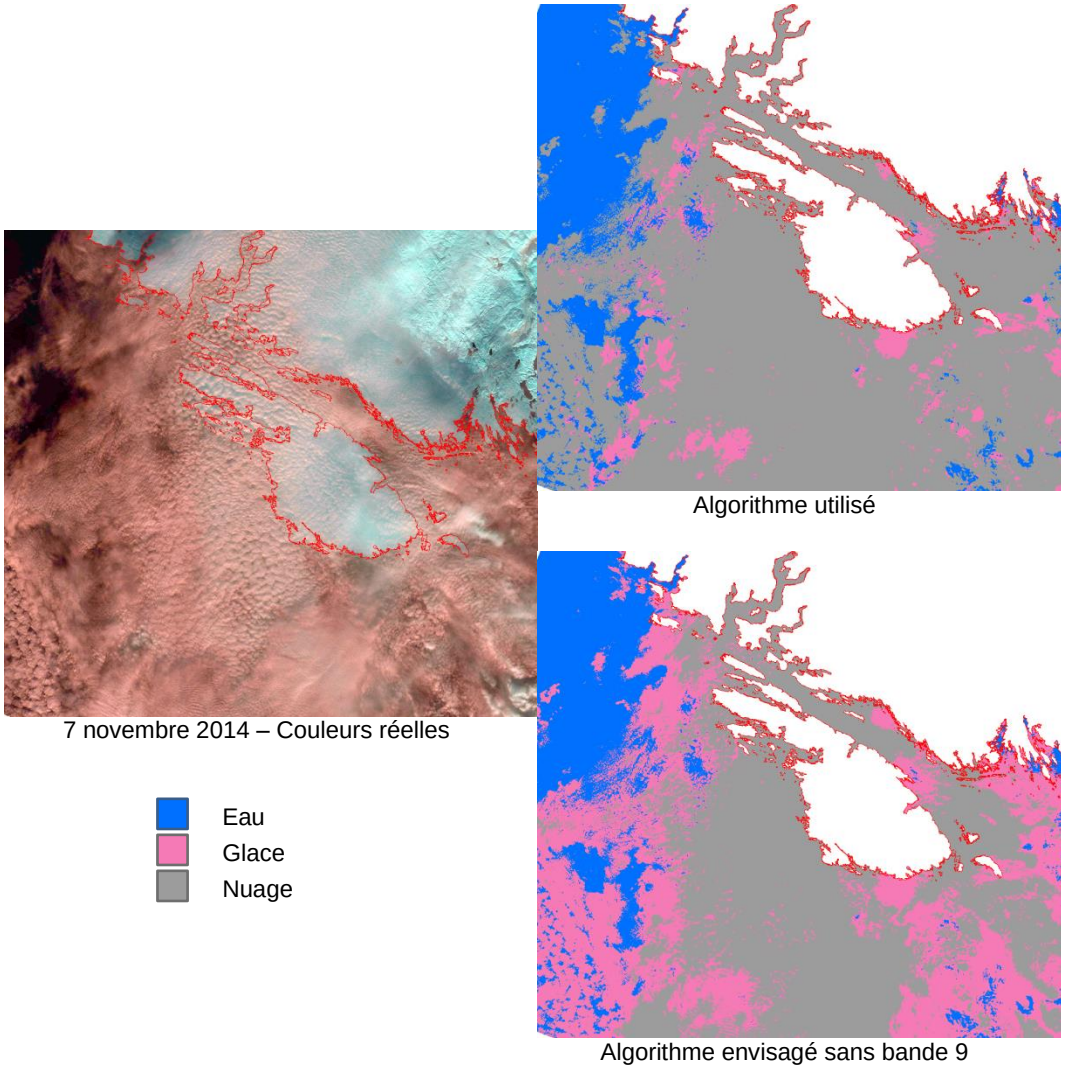


Figure 70 Exemple de classification sans l'utilisation de la bande 9 en période automnale (détroit d'Hudson, sud de l'île de Baffin)

ANNEXE B
Algorithme de classification des images MODIS

Cette annexe présente les caractéristiques de l'imagerie MODIS ainsi que l'algorithme utilisé pour la classification des images et l'identification de la glace. Une évaluation de l'algorithme utilisé est également présentée.

Description des données et capteurs

Les capteurs MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) sont portés par les plateformes satellitaires TERRA et AQUA lancées en 1999 et 2002 respectivement (Figure 71). Ils acquièrent de l'information dans 36 bandes spectrales différentes. Ensemble, les deux plateformes couvrent la totalité de le Terre en 1 à 2 jours.

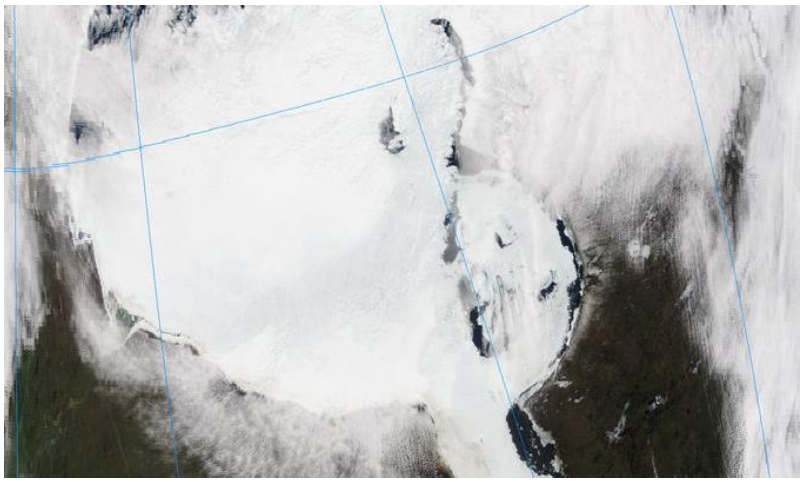


Figure 71: Image MODIS en couleurs réelles de la partie sud de la Baie d'Hudson (31 mai 2016).

Ces données sont disponibles gratuitement, sous leur format natif, à des résolutions spatiales de 250 m (Bandes 1 et 2), 500m (Bandes 3 à 7) et 1 km (Bandes 8 et +). Originalement téléchargées en format HDF (Hierarchical Data Format), elles sont converties en format GeoTIFF pour en faciliter l'utilisation. Les bandes spectrales utilisées spécifiquement pour la cartographie dans l'algorithme qui suivra sont les bandes #2 et #4, couvrant respectivement les

parties du proche infrarouge (0.85µm) et du vert (0.55µm) dans le spectre électromagnétique. D'autres bandes de l'infrarouge thermique (#20 et #32), à une résolution spatiale de 1 km, sont utilisées pour la création d'un masque de nuages. Outre les données brutes, d'autres produits découlant des capteurs MODIS sont disponibles. Le produit MOD35, masque de nuages produit pour chaque scène MODIS acquise, est également utilisé. Ces données sont disponibles depuis 1999 et ont été acquises, avec quelques interruptions, jusqu'à aujourd'hui.

Algorithme pour l'identification de la glace

L'algorithme IceMap250 (Gignac et al, 2017) a été développé pour permettre un suivi de l'évolution du couvert de glace à résolution moyenne (250 m) à un pas journalier. L'algorithme constitue une amélioration d'un outil déjà existant, développé par des scientifiques de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) pour cartographier la présence de glace partout sur la planète, l'algorithme IceMap (Hall et al, 2001). Ce dernier, tout comme IceMap250, utilise l'information de réflectance (proportion d'énergie réfléchie) pour identifier, à l'aide d'une séquence de seuils et de ratios (arbre de décision), la présence de glace à la surface. Or, des améliorations au niveau des seuils et ratios utilisés, au niveau de l'étendue cartographiée ainsi qu'au niveau de la résolution spatiale de la cartographie finale ont été mises en place. La cartographie réalisée avec l'algorithme IceMap250 atteint des niveaux de précisions élevés (>90%) en fournissant une information à une résolution de 250m (contrairement à IceMap à 1km) et sur une plus grande étendue, grâce à l'usage d'un masque de nuages alternatif.

Les étapes de l'algorithme IceMap250 sont les suivantes :

1. Téléchargement des données sur les serveurs de la NASA via le protocole FTP.
2. Désagrégation spatiale de l'ensemble des données images à une résolution de 250m (Trishchenko et al, 2006).[4] (Figure 72)
3. Calcul du ratio de détection de neige et de glace "Normalized

[4] Innovation possible grâce à un algorithme du Centre Canadien de Télédétection.

Difference Snow and Ice Index – 2" (Keshri et al, 2006) utilisé comme indicateur de présence de glace.[5]

4. Calcul du masque de visibilité (VIS), basé sur un ratio spectral des bandes thermiques 20 et 32 des capteurs MODIS.[6]

5. Application séparée des masques MOD35 (Restrictif) et VIS (Permissif) aux jeux de données images.

6. Application de l'arbre de décision, de manière distincte, aux jeux de données masqués avec MOD35 et à ceux masqués avec VIS.

    6.1. Seuillage de la distribution des valeurs masquées de NDSII-2 grâce à l'algorithme de détection des seuils naturels de Jenks (Jenks, 1967).

    6.2. Pour un pixel (x,y), si la valeur de NDSII-2 est inférieure au seuil estimé en 6.1, le pixel est classé comme eau et la chaîne de traitement est brisée et passe au point 7. Sinon, il est classé comme potentiellement glacé et passe à l'étape suivante (6.3).

    6.3. Pour un pixel (x,y), si la valeur de réflectance est supérieure à 17%, le pixel est officiellement classé comme glace, si inférieure, il est reconnu comme eau.

7. De l'application séparée aux deux jeux de données masqués (MOD35 et VIS), sont produites deux cartes de conditions de glace (Figure 73).

8. Une carte finale (composite), résultant de la fusion des pixels de glace détectés sous MOD35 (restrictif) et des pixels d'eau détectés sous VIS (permissif) est construite, conservant la meilleure information et augmentant ainsi l'étendue couverte (Figure 74).

Un organigramme des étapes (en anglais) est disponible à la Figure 75.

Un processus de synthèse, combinant l'ensemble des cartes produites dans

[5] Innovation par rapport à l'algorithme original, basé sur les travaux de Keshri et al. 2008.

[6] Innovation par rapport au masque MOD35, très restrictif, originalement utilisé dans l'algorithme IceMap.

une période donnée, a aussi été développé en utilisant une fonction "majorité" dans ArcGIS. L'utilisation d'un tel processus permet d'augmenter l'étendue cartographiée, en sacrifiant la résolution temporelle. Dans le cadre de ce projet, les données transmises à l'ISMER se situent au niveau précédent la synthèse, car la résolution temporelle était importante.

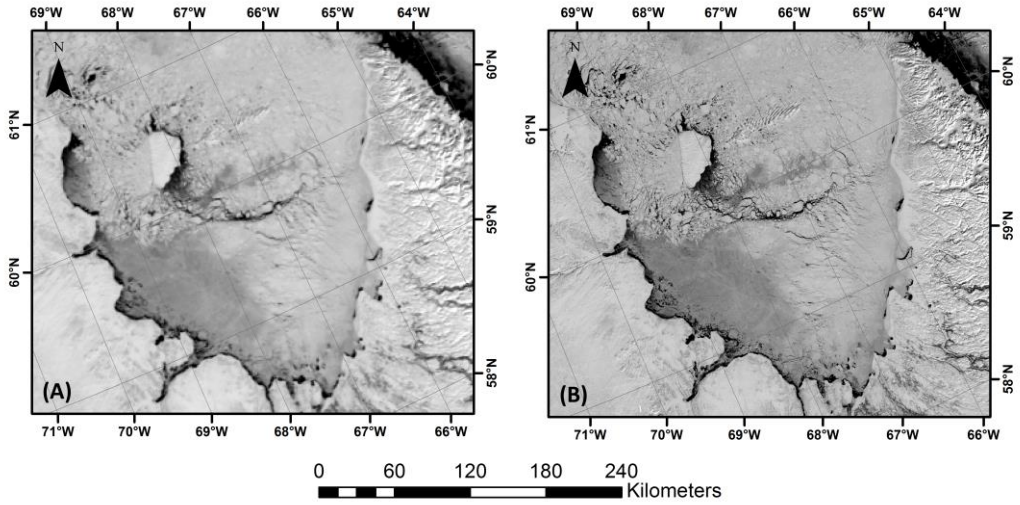


Figure 72 Résultat de désagrégation, Baie d'Ungava (A- 1km, B- 250m)

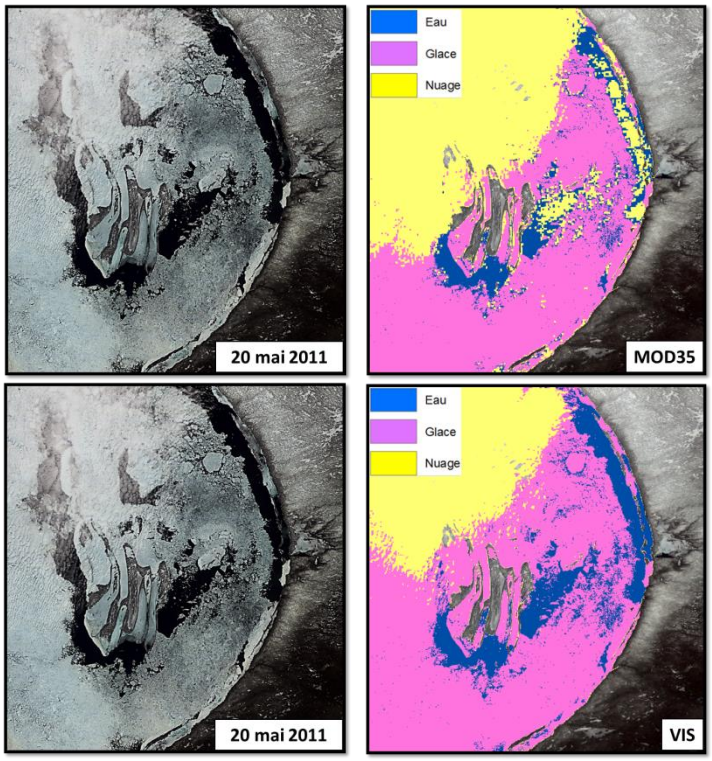


Figure 73 Classifications produites en utilisant les deux masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq

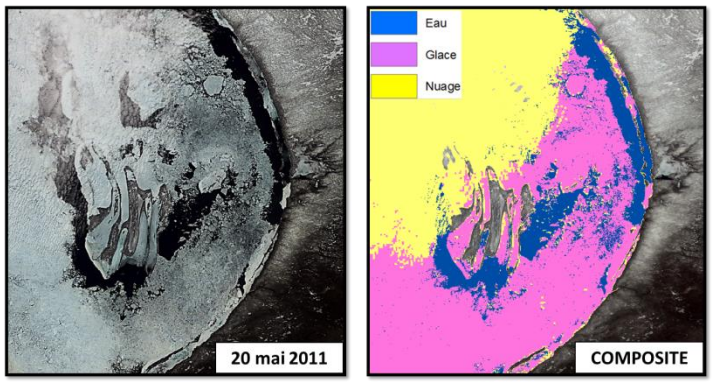


Figure 74 Classification produite en combinant les résultats obtenus avec les masques MOD35 et VIS pour la baie d'Hudson à l'ouest d'Umiujaq

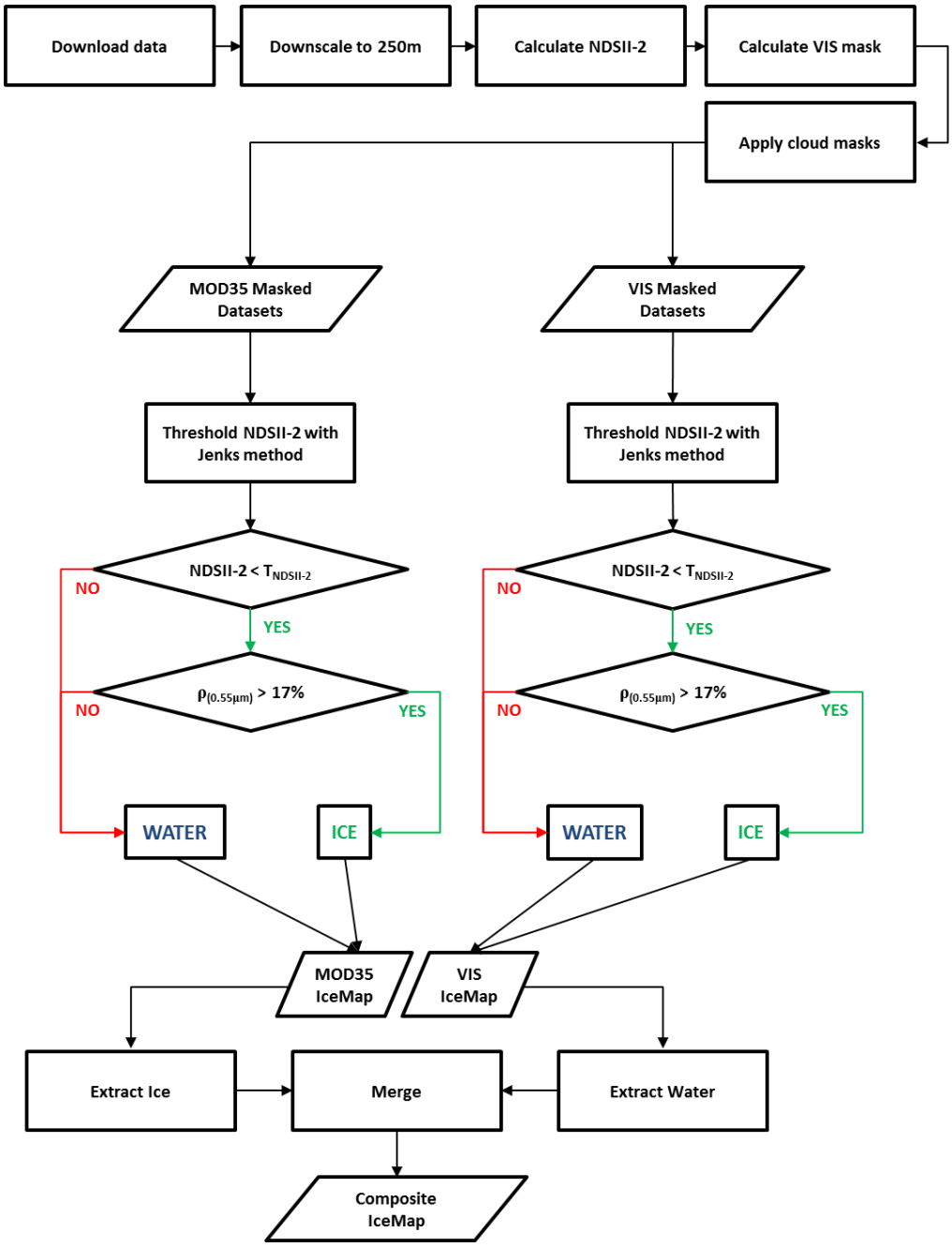


Figure 75 Organigramme des étapes de l'algorithme IceMap250

Suite à une validation portant sur plus de 500 sites/saison (Tableau 19), la performance d'IceMap250 ainsi que ses forces et faiblesses ont pu être évaluées grâce au coefficient Kappa (Congalton 1991).

Tableau 19 Performance de IceMap250

Saison	Période de validation	Coefficient Kappa
Englacement	1 au 12 décembre 2015	98,4%
Couvert stable	10 au 20 février 2016	98,8%
Fonte	13 au 23 juin 2013	99,8%

Pour les trois périodes de validation, les performances de l'algorithme en termes d'exactitude de la classification, évaluées grâce au coefficient Kappa, sont au-dessus de 98%. Les principales sources potentielles d'erreurs identifiées sont la présence de mares de fonte qui peut fausser la classification, les zones d'estran pour lesquelles les réflectances sont relativement élevées étant donnée la présence de grandes quantités de sédiments en suspension (Baie James) et la présence de nuages ayant réussi à déjouer le masque de nuages MOD35 et ainsi être confondus avec la glace.

ANNEXE C
Analyse quotidienne des observations de glace à partir des photographies

Les tableaux suivants contiennent les observations des étapes d'englacement et de fonte tirées des photographies acquises à chaque site.

La première colonne indique la date de l'observation, tandis que les deuxième et troisième colonnes décrivent l'observation faite à cette date sur les photos acquises par les deux caméras présentes à chaque site. Le code de couleur permet de mieux visualiser les états :

	Englacement	**Fonte**
	Eau libre	Eau libre
	Apparition ponctuelle de glace	Glace et blocs en dérive
	Apparition fréquente, taille et concentration variable	Apparition d'eau au large
	Englacement plus large, plus stable, mais incomplet	Apparition d'eau, surtout près des rives
	Englacement complet	Englacement complet
…	La description s'applique jusqu'au prochain changement	La description s'applique jusqu'au prochain changement

La quatrième colonne indique les dates où une image Landsat-8 est disponible.

1. Kuujjuarapik - Hiver 2015-2016

	Caméra Nord	Caméra Sud	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2015-11-22	Eau libre	Eau libre	
2015-11-23	Eau libre	Apparition ponctuelle (sorbet près rive)	
2015-11-24	Eau libre	Eau libre	
2015-11-25	Eau libre	Eau libre	
2015-11-26	Eau libre	Apparition ponctuelle (sorbet)	
2015-11-27	Apparition ponctuelle (sorbet près rive)	Apparition ponctuelle (sorbet)	
2015-11-28	Eau libre	Eau libre	
2015-11-29	Eau libre	Eau libre	
2015-11-30	Apparition ponctuelle (sorbet)	Apparition ponctuelle	
2015-12-01	Eau libre	Eau libre	
2015-12-02	Apparition ponctuelle (sorbet)	Apparition ponctuelle	
2015-12-03	Eau libre	Eau libre	
2015-12-04	Apparition ponctuelle (sorbet)	Eau libre	
2015-12-05	Eau libre	Eau libre	
2015-12-06	Apparition ponctuelle (sorbet)	Apparition ponctuelle	
2015-12-07	Eau libre	Eau libre	
2015-12-08	Eau libre	Eau libre	
2015-12-09	Eau libre	Eau libre	
2015-12-10	Eau libre	Eau libre	
2015-12-11	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-12-12	Eau libre	Eau libre	
2015-12-13	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-12-14	Eau libre	Apparition ponctuelle	
2015-12-15	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-12-16	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-12-17	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-12-18	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-12-19	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	X
2015-12-20	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-12-21	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-12-22	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-12-23	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-24	Couvert complet	Couvert complet	

2015-12-25	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-26	Couvert complet	Couvert complet	X
…			
2016-01-27	Couvert complet	Couvert complet	X
2016-02-05	Couvert complet	Couvert complet	X
2016-02-21	Couvert complet	Couvert complet	X
2016-03-08	Couvert complet	Couvert complet	X
2016-03-24	Couvert complet	Couvert complet	X
2016-03-31	Couvert complet	Couvert complet	X
…			
2016-04-15	Premier signe fonte neige		
2016-05-02			X
2016-05-11	Mares de fonte		X
2016-05-12	Mares de fonte	Eau sur estran	
2016-05-13	Mares de fonte	Eau sur estran	
2016-05-14	Mares de fonte	Eau sur estran	
2016-05-15	Mares de fonte	Eau sur estran	
2016-05-16	Mares de fonte	Eau sur estran	
2016-05-17	Mares de fonte	Eau sur estran	
2016-05-18	Neige fondue	Eau sur estran	
2016-05-19	Neige fondue	Eau sur estran	
2016-05-20	Neige fondue	Eau sur estran	
2016-05-21	Neige fondue	Eau sur estran	
2016-05-22	Neige fondue	Eau sur estran	
2016-05-23	Neige fondue	Eau sur estran	
2016-05-24	Estran se dégage	Eau sur estran	
2016-05-25	Estran se dégage	Eau sur estran	
2016-05-26	Estran se dégage	Eau sur estran	
2016-05-27	Estran se dégage	Eau sur estran	X
2016-05-28	Estran se dégage	Eau sur estran	
2016-05-29	Apparition d'eau (rive vers île)	Apparition d'eau (rive vers île)	
2016-05-30	Apparition d'eau (rive vers île)	Apparition d'eau (rive vers île)	
2016-05-31	Apparition d'eau (rive vers île)	Apparition d'eau (rive vers île)	
2016-06-01	Apparition d'eau (rive vers île)	Apparition d'eau (rive vers île)	
2016-06-02	Apparition d'eau aussi au large	Apparition d'eau (rive vers île)	
2016-06-03	Apparition d'eau aussi au large	Apparition d'eau aussi au large	
2016-06-04	Apparition d'eau aussi au large	Apparition d'eau aussi au large	

2016-06-05	Apparition d'eau aussi au large	Apparition d'eau aussi au large	
2016-06-06	Eau libre	Eau libre (jusqu'à Manitounuk)	
2016-06-07	Eau libre	Eau libre (jusqu'à Manitounuk)	
2016-06-08	Eau libre	Eau libre (jusqu'à Manitounuk)	
2016-06-09	Eau libre	Eau libre (jusqu'à Manitounuk)	
2016-06-10	Retour de blocs en dérive	Retour de blocs en dérive	
2016-06-11	Retour de blocs en dérive	Retour de blocs en dérive	
2016-06-12	Quelques blocs en dérive	Quelques blocs en dérive	
2016-06-13	Quelques blocs en dérive	Quelques blocs en dérive	
2016-06-14	Quelques blocs en dérive	Quelques blocs en dérive	
2016-06-15	Eau libre	Eau libre	
2016-06-16	Eau libre	Eau libre	
2016-06-17	Eau libre	Eau libre	
2016-06-18	Eau libre	Eau libre	
2016-06-19	Eau libre	Eau libre	X
2016-06-20	Eau libre	Eau libre	
2016-06-21	Apparition de morceaux en dérive	Apparition de morceaux en dérive	
2016-06-22	Apparition de morceaux en dérive	Arrivée d'une masse de glace	
2016-06-23	Arrivée d'une masse de glace	Arrivée d'une masse de glace	
2016-06-24	Arrivée d'une masse de glace	Arrivée d'une masse de glace	
2016-06-25	Départ graduel	Départ graduel	
2016-06-26	Départ graduel	Départ graduel	
2016-06-27	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-06-28	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	X
2016-06-29	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-06-30	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-01	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-02	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-03	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-04	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-05	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-06	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-07	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-08	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-09	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-10	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-11	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-12	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	
2016-07-13	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive	

2016-07-14	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive
2016-07-15	Départ graduel et morceaux en dérive	Départ graduel et morceaux en dérive
2016-07-16	Eau libre	Eau libre
2016-07-17	Eau libre	Eau libre
2016-07-18	Eau libre	Eau libre
2016-07-19	Eau libre	Eau libre

2. Umiujaq - Hiver 2012-2013

	Caméra Reconyx	Caméra Reconyx2	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2012-12-03	Eau libre	Eau libre	
2012-12-04	Eau libre	Eau libre	
2012-12-05	Eau libre	Eau libre	
2012-12-06	Eau libre	Eau libre	
2012-12-07	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-08	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-09	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-10	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-11	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-12	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-13	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-14	Objectif obstrué	Eau libre	
2012-12-15	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2012-12-16	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2012-12-17	Retour au couvert partiel	Retour au couvert partiel	
2012-12-18	Retour au couvert partiel	Retour au couvert partiel	
2012-12-20	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2012-12-21	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2012-12-22	Retour au couvert partiel	Retour au couvert partiel	
2012-12-23	Retour au couvert partiel	Retour au couvert partiel	
2012-12-24	Retour au couvert partiel	Retour au couvert partiel	
2012-12-25	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2012-12-26	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2012-12-27	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2012-12-28	Couvert complet	Couvert complet	
2012-12-29	Couvert complet	Couvert complet	
2012-12-30	Couvert complet	Couvert complet	
2012-12-31	Couvert complet	Couvert complet	
2013-01-01	Couvert complet	Couvert complet	
	…	…	
2013-04-17			X
2013-05-17	Apparition d'eau	Apparition d'eau	
2013-05-18	Aggrandissement de la zone d'eau	Aggrandissement de la zone d'eau	
2013-05-19	Aggrandissement de la zone d'eau	Aggrandissement de la zone d'eau	
2013-05-20	Aggrandissement de la zone d'eau	Aggrandissement de la zone d'eau	

2013-05-21	Eau libre	Eau libre
2013-05-22	Eau libre	Eau libre
2013-05-23	Eau libre	Eau libre
2013-05-24	Eau libre	Eau libre
2013-05-25	Eau libre	Eau libre
2013-05-26	Retour de glaces	Retour de glaces
2013-05-27	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-05-28	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-05-29	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-05-30	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-05-31	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-06-01	Eau libre	Eau libre
2013-06-02	Eau libre	Eau libre
2013-06-03	Eau libre	Eau libre
2013-06-04	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-06-05	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-06-06	Glace en dérive	Glace en dérive
2013-06-07	Eau libre	Eau libre
2013-06-08	Eau libre	Eau libre
2013-06-09	Eau libre	Eau libre
2013-06-10	Eau libre	Eau libre
2013-06-11	Eau libre	Eau libre

3. Umiujaq - Hiver 2013-2014

	Caméra Reconyx	Caméra Reconyx2	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2013-12-09	Eau libre	Eau libre	
2013-12-10	Eau libre	Eau libre	
2013-12-11	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-12	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-13	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-14	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-15	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-16	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-17	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-18	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-19	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-20	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-21	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-22	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-23	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-24	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-25	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2013-12-26	Couvert complet	Objectif obstrué	
2013-12-27	Couvert complet	Objectif obstrué	
2013-12-28	Couvert complet	Objectif obstrué	
2013-12-29	Couvert complet	Objectif obstrué	
2013-12-30	Couvert complet	Objectif obstrué	
2013-12-31	Couvert complet	Objectif obstrué	
	…		
2014-05-24	Apparition d'eau	Apparition d'eau	
2014-05-25	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2014-05-26	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2014-05-27	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2014-05-28	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2014-05-29	Eau libre	Eau libre	
2014-05-30	Glace en dérive	Glace en dérive	
2014-05-31	Eau libre	Eau libre	
2014-06-01	Glace en dérive	Glace en dérive	

2014-06-02	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-03	Eau libre	Eau libre
2014-06-04	Eau libre	Eau libre
2014-06-05	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-06	Eau libre	Eau libre
2014-06-07	Eau libre	Eau libre
2014-06-08	Eau libre	Eau libre
2014-06-09	Eau libre	Eau libre
2014-06-10	Eau libre	Eau libre
2014-06-11	Eau libre	Eau libre
2014-06-12	Eau libre	Eau libre
2014-06-13	Eau libre	Eau libre
2014-06-14	Eau libre	Eau libre
2014-06-15	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-16	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-17	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-18	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-19	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-20	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-21	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-22	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-23	Glace en dérive	Glace en dérive
2014-06-24	Eau libre	Eau libre
2014-06-25	Eau libre	Eau libre
2014-06-26	Eau libre	Eau libre
2014-06-27	Eau libre	Eau libre
2014-06-28	Eau libre	Eau libre
2014-06-29	Eau libre	Eau libre
2014-06-30	Eau libre	Eau libre

4. Umiujaq- Hiver 2014-2015

	Caméra Reconyx	Caméra Reconyx2 (même vue)	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2014-11-28	Eau libre	Eau libre	
2014-11-29	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-11-30	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-01	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-02	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-03	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-04	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-05	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-06	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-07	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-08	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-09	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-10	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-11	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-12	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-13	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-14	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-15	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-16	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-17	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-18	Objectif obstrué	Objectif obstrué	
2014-12-19	Objectif obstrué	Couvert complet	
2014-12-20	Objectif obstrué	Couvert complet	
2014-12-21	Couvert complet	Couvert complet	
2014-12-22	Couvert complet	Couvert complet	
	…	Couvert complet	
2015-05-21	Eau sur estran	Eau sur estran	
2015-06-02	Apparition d'eau	Apparition d'eau	
2015-06-03	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2015-06-04	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2015-06-05	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2015-06-06	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	
2015-06-07	Agrandissement de la zone d'eau	Agrandissement de la zone d'eau	

2015-06-08	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-09	Eau libre	Eau libre
2015-06-10	Eau libre	Eau libre
2015-06-11	Eau libre	Eau libre
2015-06-12	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-13	Eau libre	Eau libre
2015-06-14	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-15	Eau libre	Eau libre
2015-06-16	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-17	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-18	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-19	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-20	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-21	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-22	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-23	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-24	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-25	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-26	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-27	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-28	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-29	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-06-30	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-01	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-02	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-03	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-04	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-05	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-06	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-07	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-08	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-09	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-10	Glace en dérive	Glace en dérive
2015-07-11	Eau libre	Eau libre
2015-07-12	Eau libre	Eau libre
2015-07-13	Eau libre	Eau libre
2015-07-14	Eau libre	Eau libre
2015-07-15	Eau libre	Eau libre
2015-07-16	Glace en dérive	Glace en dérive

2015-07-17	Glace en dérive	Glace en dérive	
2015-07-18	Glace en dérive	Glace en dérive	
2015-07-19	Glace en dérive	Glace en dérive	
2015-07-20	Glace en dérive	Glace en dérive	
2015-07-21	Eau libre	Eau libre	
2015-07-22	Eau libre	Eau libre	
2015-07-23	Eau libre	Eau libre	
2015-07-24	Eau libre	Eau libre	

5. Umiujaq- Hiver 2015-2016

	Caméra Nord	Caméra Sud	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2015-11-22	Eau libre	Eau libre	
2015-11-23	Eau libre	Eau libre	
2015-11-24	Eau libre	Eau libre	
2015-11-25	Eau libre	Eau libre	
2015-11-26	Eau libre	Eau libre	
2015-11-27	Eau libre	Eau libre	
2015-11-28	Eau libre	Eau libre	
2015-11-29	Eau libre	Eau libre	
2015-11-30	Apparition ponctuelle (sorbet)	Eau libre	
2015-12-01	Eau libre	Eau libre	
2015-12-02	Eau libre	Eau libre	
2015-12-03	Eau libre	Apparition ponctuelle (sorbet)	
2015-12-04	Eau libre	Eau libre	
2015-12-05	Eau libre	Eau libre	
2015-12-06	Eau libre	Eau libre	
2015-12-07	Eau libre	Eau libre	
2015-12-08	Eau libre	Eau libre	
2015-12-09	Eau libre	Eau libre	
2015-12-10	Eau libre	Eau libre	
2015-12-11	Eau libre	Eau libre	
2015-12-12	Eau libre	Eau libre	
2015-12-13	Eau libre	Eau libre	
2015-12-14	Eau libre	Eau libre	
2015-12-15	Eau libre	Eau libre	
2015-12-16	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-12-17	Eau libre	Eau libre	
2015-12-18	Eau libre	Eau libre	
2015-12-19	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-12-20	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-12-21	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-12-22	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-12-23	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-12-24	Couvert complet	Couvert complet	

2015-12-25	Couvert complet	Couvert complet
2015-12-26	Couvert complet	Couvert complet
…		
2016-05-01	Premier signe fonte neige	Premier signe fonte neige
2016-05-11	Couvert complet	Couvert complet
2016-05-12	Couvert complet	Couvert complet
2016-05-13	Couvert complet	Couvert complet
2016-05-14	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-15	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-16	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-17	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-18	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-19	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-20	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-21	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-22	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-23	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-24	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-25	Fonte neige en surface et mares	Fonte neige en surface et mares
2016-05-26	Apparition d'eau	Apparition d'eau
2016-05-27	Apparition d'eau	Apparition d'eau
2016-05-28	Apparition d'eau	Apparition d'eau
2016-05-29	Apparition d'eau	Apparition d'eau aussi au large
2016-05-30	Eau libre	Eau libre
2016-05-31	Glace en dérive	Glace en dérive
2016-06-01	Eau libre	Eau libre
2016-06-02	Eau libre	Eau libre
2016-06-03	Eau libre	Eau libre
2016-06-04	Eau libre	Eau libre
2016-06-05	Eau libre	Eau libre
2016-06-06	Eau libre	Eau libre
2016-06-07	Eau libre	Eau libre
2016-06-08	Eau libre	Eau libre
2016-06-09	Eau libre	Eau libre
2016-06-10	Eau libre	Eau libre
2016-06-11	Eau libre	Eau libre
2016-06-12	Eau libre	Eau libre
2016-06-13	Eau libre	Eau libre
2016-06-14	Eau libre	Eau libre

2016-06-15	Eau libre	Eau libre
2016-06-16	Eau libre	Eau libre
2016-06-17	Eau libre	Eau libre
2016-06-18	Eau libre	Eau libre
2016-06-19	Eau libre	Eau libre
2016-06-20	Eau libre	Eau libre
2016-06-21	Eau libre	Eau libre
2016-06-22	Eau libre	Eau libre
2016-06-23	Eau libre	Eau libre
2016-06-24	Arrivée d'une masse de glace	Arrivée d'une masse de glace
2016-06-25	Départ graduel	Départ graduel
2016-06-26	Départ graduel	Départ graduel
2016-06-27	Départ graduel	Eau libre
2016-06-28	Eau libre	Eau libre
2016-06-29	Eau libre	Morceaux en dérive
2016-06-30	Eau libre	Morceaux en dérive
2016-07-01	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive
2016-07-02	Eau libre	Morceaux en dérive
2016-07-03	Eau libre	Eau libre
2016-07-04	Arrivée d'une masse de glace	Arrivée d'une masse de glace
2016-07-05	Départ graduel	Départ graduel
2016-07-06	Départ graduel	Départ graduel
2016-07-07	Départ graduel	Départ graduel
2016-07-08	Eau libre	Eau libre
2016-07-09	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive
2016-07-10	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive
2016-07-11	Arrivée d'une masse de glace	Arrivée d'une masse de glace
2016-07-12	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive
2016-07-13	Eau libre	Eau libre
2016-07-14	Eau libre	Eau libre
2016-07-15	Eau libre	Eau libre
2016-07-16	Arrivée d'une masse de glace	Arrivée d'une masse de glace
2016-07-17	Départ graduel	Départ graduel
2016-07-18	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive
2016-07-19	Eau libre	Eau libre
2016-07-20	Eau libre	Eau libre
2016-07-21	Eau libre	Eau libre
2016-07-22	Eau libre	Eau libre
2016-07-23	Eau libre	Eau libre

6. Ivujivik - Hiver 2015-2016

	Caméra Nord	Caméra Sud	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2015-11-09	Eau libre	Eau libre	
2015-11-10	Eau libre	Apparition ponctuelle	
2015-11-11	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-12	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-11-13	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-11-14	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-15	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-16	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-17	Lentille voilée	Lentille voilée	
2015-11-18	Apparition ponctuelle	Lentille voilée	
2015-11-19	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-20	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-21	Eau libre	Eau libre	
2015-11-22	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-23	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-11-24	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-25	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-26	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-27	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-28	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-29	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-30	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-12-01	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-02	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-03	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-04	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-05	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-06	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-07	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-08	Couvert complet	Couvert complet	X
2015-12-09	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-10	Couvert complet	Couvert complet	

2015-12-11	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-12	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-13	Couvert complet	Couvert complet	
2016-01-16			X
2016-01-23			X
2016-02-08			X
…			
2016-03-13			X
2016-03-14		Caméras pointe en bas…	
2016-03-20			X
2016-03-27			X
2016-03-29			X
2016-04-05			X
2016-04-10	Apparition d'eau (large)	Couvert complet	
2016-04-11	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-12	Apparition d'eau	Couvert complet	X
2016-04-13	Couvert complet	Couvert complet	
2016-04-14	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-15	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-16	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-17	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-18	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-19	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-20	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-21	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-22	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-23	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-24	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-25	Couvert complet	Couvert complet	
2016-04-26	Couvert complet	Couvert complet	
2016-04-27	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-28	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-04-29	Couvert complet	Couvert complet	
2016-04-30	Couvert complet	Couvert complet	X
2016-05-01	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-02	Couvert complet	Couvert complet	

2016-05-03	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-04	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-05	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-06	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-07	Apparition d'eau	Couvert complet	X
2016-05-08	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-09	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-10	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-11	Glace disparue au large	Couvert complet	
2016-05-12	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-13	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-14	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-15	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-16	Apparition d'eau	Couvert complet	X
2016-05-17	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-18	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-19	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-20	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-21	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-22	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-23	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-24	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-25	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-26	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-27	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-28	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-05-29	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-30	Couvert complet	Couvert complet	
2016-05-31	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-06-01	Couvert complet	Couvert complet	
2016-06-02	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-06-03	Apparition d'eau (dans la baie)	Couvert complet	
2016-06-04	Apparition d'eau	Couvert complet	
2016-06-05	Couvert complet	Mares de fonte	
2016-06-06	Apparition d'eau	Mares de fonte	
2016-06-07	Apparition d'eau	Mares de fonte	
2016-06-08	Apparition d'eau	Mares de fonte	
2016-06-09	Apparition d'eau	Mares de fonte	
2016-06-10	Glaces en dérive	Mares de fonte	

2016-06-11	Glaces en dérive	Apparition d'eau	
2016-06-12	Glaces en dérive	Apparition d'eau	
2016-06-13	Glaces en dérive	Apparition d'eau	
2016-06-14	Glaces en dérive	Apparition d'eau	
2016-06-15	Glaces en dérive	Apparition d'eau	X
2016-06-16	Glaces en dérive	Apparition d'eau	
2016-06-17	Glaces en dérive	Eau libre	X
2016-06-18	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-19	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-20	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-21	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-22	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-23	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-24	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-25	Glaces en dérive	Eau libre	
2016-06-26	Glaces en dérive	Eau libre	
2016-06-27	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-28	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-29	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-06-30	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-07-01	Glaces en dérive	Eau libre	X
2016-07-02	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-07-03	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-07-04	Eau libre	Glaces en dérive	
2016-07-05	Eau libre	Glaces en dérive	
2016-07-06	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-07-07	Eau libre	Glaces en dérive	
2016-07-08	Glaces en dérive	Glaces en dérive	
2016-07-09	Eau libre	Eau libre	
2016-07-10	Glaces en dérive	Eau libre	X
2016-07-11	Eau libre	Eau libre	
2016-07-12	Eau libre	Eau libre	
2016-07-13	Eau libre	Eau libre	
2016-07-14	Eau libre	Eau libre	
2016-07-15	Eau libre	Eau libre	
2016-07-16	Eau libre	Eau libre	
2016-07-17	Eau libre	Eau libre	
2016-07-18	Eau libre	Eau libre	
2016-07-19	Eau libre	Eau libre	

2016-07-20	Eau libre	Eau libre	

7. Baie Déception - Hiver 2015-2016

	Caméra Pointe-Noire	Caméra face à Moosehead Island	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2015-10-18	Eau libre	Eau libre	
2015-10-19	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-10-20	Eau libre	Eau libre	
2015-10-21	Eau libre	Eau libre	
2015-10-22	Eau libre	Eau libre	
2015-10-23	Eau libre	Eau libre	
2015-10-24	Eau libre	Eau libre	
2015-10-25	Eau libre	Eau libre	
2015-10-26	Eau libre	Eau libre	
2015-10-27	Eau libre	Eau libre	
2015-10-28	Eau libre	Eau libre	
2019-10-29	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-10-30	Eau libre	Eau libre	
2015-10-31	Eau libre	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-01	Eau libre	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-02	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-04	Eau libre	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-05	Eau libre	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-06	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-07	Eau libre	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-08	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-09	Apparition ponctuelle et variable	(couvert partie est seulement)	
2015-11-10	Apparition ponctuelle et variable	(couvert partie est seulement)	
2015-11-11	Apparition ponctuelle et variable	Tout mais trous	
2015-11-12	Apparition ponctuelle et variable		
2015-11-13	Englacement plus stable mais incomplet		
2015-11-14	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-15	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-16	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-17	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-18	La glace se défait	Couvert complet	
2015-11-19	Apparition ponctuelle et variable	Couvert complet	
2015-11-20	Plus rien puis apparition ponctuelle	Couvert complet	
2015-11-21	Plus rien	(couvert partie est seulement)	

2015-11-22	Plus rien	(couvert partie est seulement)	
2015-11-23	Englacement plus stable mais incomplet		
2015-11-24	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-25	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-26	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-27	Couvert complet	Couvert complet	
		Arrêt caméra	
2016-01-27			X
2016-01-28	Bateau		
2016-02-16	Bateau		
2016-02-19			X
2016-03-22			X
2016-03-31			X
2016-04-23			X
2016-05-02			X
2016-05-25			X
2016-06-03	Premiers signes de fonte de neige		X
2016-06-14	Légères mares de fonte		
2016-06-19			X
2016-06-21	Fortes mares de fonte		
2016-06-22	Premiers bris, apparition d'eau		
2016-06-23	Bris majeur		
2016-06-24	Libération, glaces en mouvement		
2016-06-25	Apparition ponctuelle et variable		
2016-06-26	Apparition ponctuelle et variable		
2016-06-27	Apparition ponctuelle et variable		
2016-06-28	Apparition ponctuelle et variable		
2016-06-29	Quelques morceaux en dérive		
2016-06-30	Quelques morceaux en dérive		
2016-07-01	Quelques morceaux en dérive		
2016-07-02	Quelques morceaux en dérive		
2016-07-03	Plus rien		
2016-07-04			
2016-07-05			X
2016-07-25	Bateau		

8. Quaqtaq - Hiver 2015-2016

	Caméra Ouest	Caméra Sud	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2015-11-09	Eau libre	Eau libre	
2015-11-10	Eau libre	Eau libre	
2015-11-11	Eau libre	Apparition ponctuelle	
2015-11-12	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-13	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-11-14	Eau libre	Eau libre	
2015-11-15	Eau libre	Eau libre	
2015-11-16	Eau libre	Eau libre	
2015-11-17	Apparition ponctuelle	Apparition ponctuelle	
2015-11-18	Eau libre	Eau libre	
2015-11-19	Eau libre	Eau libre	
2015-11-20	Eau libre	Eau libre	
2015-11-21	Eau libre	Eau libre	
2015-11-22	Eau libre	Eau libre	
2015-11-23	Eau libre	Apparition ponctuelle	
2015-11-24	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-25	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-26	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-27	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-28	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-29	Couvert complet	Couvert complet	
2015-11-30	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-01	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-02	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-03	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-04	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-05	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-06	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-07	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-08	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-09	Couvert complet	Couvert complet	

2015-12-10	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-11	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-12	Couvert complet	Couvert complet	
2015-12-13	Couvert complet	Couvert complet	
…			
2016-05-16	Premier signe fonte neige	Premier signe fonte neige	
2016-01-22			X
2016-02-23			X
2016-03-26			X
2016-04-04			X
2016-06-10		Fonte surface et mares	
2016-06-11		Fonte surface et mares	
2016-06-12	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (estran)	
2016-06-13	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (estran)	
2016-06-14	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (estran)	X
2016-06-15	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (rive)	
2016-06-16	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (rive)	
2016-06-17	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (rive)	
2016-06-18	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (rive)	
2016-06-19	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (rive)	
2016-06-20	Apparition d'eau (rive)	Apparition d'eau (rive)	
2016-06-21	Apparition d'eau (large)	Libération face ancienne IM	
2016-06-22	Apparition d'eau (large)	Libération face ancienne IM	
2016-06-23	Arrivée d'une masse de glace	Arrivée d'une masse de glace	
2016-06-24	Apparition d'eau (large)	Réouverture graduelle	
2016-06-25	Apparition d'eau (large)	Réouverture graduelle	
2016-06-26	Fonte graduelle	Réouverture graduelle	
2016-06-27	Fonte graduelle	Réouverture graduelle	
2016-06-28	Fonte graduelle	Réouverture graduelle	
2016-06-29	Fonte graduelle	Apparition d'eau (large)	
2016-06-30	Fonte graduelle	Fonte graduelle	
2016-07-01	Fonte graduelle	Fonte graduelle	
2016-07-02	Fonte graduelle	Fonte graduelle	
2016-07-03	Morceaux en dérive	Eau libre	
2016-07-04	Eau libre	Eau libre	
2016-07-05	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive	
2016-07-06	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive	
2016-07-07	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive	X

2016-07-08	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive	
2016-07-09	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive	X
2016-07-10	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive	
2016-07-11	Morceaux en dérive	Morceaux en dérive	
2016-07-12	Morceaux en dérive	Quelques morceaux en dérive	
2016-07-13	Eau libre	Eau libre	
2016-07-14	Quelques morceaux en dérive	Eau libre	
2016-07-15	Quelques morceaux en dérive	Eau libre	
2016-07-16	Quelques morceaux en dérive	Quelques morceaux en dérive	
2016-07-17	Quelques morceaux en dérive	Quelques morceaux en dérive	
2016-07-18	Quelques morceaux en dérive	Quelques morceaux en dérive	
2016-07-19	Eau libre	Quelques morceaux en dérive	
2016-07-20	Eau libre	Quelques morceaux en dérive	

9. Aupaluk - Hiver 2015-2016

	Caméra Nord	Caméra Ouest (IM+estran)	Image Landsat-8 disponible (baie visible)
2015-10-18	Eau libre	Eau libre	
2015-10-19	Apparition ponctuelle	Eau libre	
2015-10-20	Eau libre	Eau libre	
2015-10-21	Eau libre	Eau libre	
2015-10-22	Eau libre	Eau libre	
2015-10-23	Eau libre	Eau libre	
2015-10-24	Eau libre	Eau libre	
2015-10-25	Eau libre	Eau libre	
2015-10-26	Eau libre	Apparition ponctuelle	
2015-10-27	Eau libre	Apparition ponctuelle	
2019-10-28	Apparition ponctuelle (sorbet près rive)	Apparition ponctuelle	
2019-10-29	Eau libre	Eau libre	
2015-10-30	Eau libre	Eau libre	
2015-10-31	Eau libre	Eau libre	
2015-11-01	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-02	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-03	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-04	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-05	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	X
2015-11-06	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-07	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-08	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-09	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-10	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-11	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-12	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-13	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-14	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-15	Englacement plus stable mais incomplet	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-16	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	

2015-11-17	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-18	La glace se défait		
2015-11-19	Eau libre	Eau libre	
2015-11-20	Eau libre	Eau libre	
2015-11-21	Eau libre	Eau libre	X
2015-11-22	Eau libre	Eau libre	
2015-11-23	Apparition ponctuelle et variable	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-24	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-25	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-26	Englacement plus stable mais incomplet	Apparition ponctuelle et variable	
2015-11-27	Englacement plus stable mais incomplet	Englacement plus stable mais incomplet	
2015-11-28	Englacement plus stable mais incomplet	Couvert complet	
2015-11-29	Arrêt caméra	Couvert complet	
2015-11-30		Couvert complet	
2015-12-01		Couvert complet	
2015-12-02		Couvert complet	
…			
2016-04-29		Début fonte neige	
…			
2016-05-19		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-20		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-21		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-22		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-23		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-24		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-25		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-26		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-27		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-28		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-29		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-30		Dégradation du couvert sur place	
2016-05-31		Dégradation du couvert sur place	
2016-06-01		Dégradation du couvert sur place	
2016-06-02		Dégradation du couvert sur place	
2016-06-03		Dégradation du couvert sur place	
2016-06-04		Dégradation du couvert sur place	
2016-06-05		Dégradation du couvert sur place	

2016-06-06		Dégradation du couvert sur place
2016-06-07		Dégradation du couvert sur place
2016-06-08		Dégradation du couvert sur place
2016-06-09		Dégradation du couvert sur place
2016-06-10		Dégradation du couvert sur place
2016-06-11		Apparition d'eau
2016-06-12		Apparition d'eau
2016-06-13		Apparition d'eau
2016-06-14		Apparition d'eau
2016-06-15		Apparition d'eau
2016-06-16		Apparition d'eau
2016-06-17		Apparition ponctuelle et variable
2016-06-18		Apparition ponctuelle et variable
2016-06-19		Apparition ponctuelle et variable
2016-06-20		Apparition ponctuelle et variable
2016-06-21		Dépôt de blocs glaciels sur estran
2016-06-22		Dépôt de blocs glaciels sur estran
2016-06-23		Dépôt de blocs glaciels sur estran
2016-06-24		Dépôt de blocs glaciels sur estran
2016-06-25		Départ graduel des blocs glaciels
2016-06-26		Départ graduel des blocs glaciels
2016-06-27		Départ graduel des blocs glaciels
2016-06-28		Départ graduel des blocs glaciels
2016-06-29		Départ graduel des blocs glaciels
2016-06-30		Départ graduel des blocs glaciels
2016-07-01		Départ graduel des blocs glaciels
2016-07-02		Eau et estran libres
2016-07-03		Eau et estran libres
2016-07-04		Eau et estran libres
2016-07-05		Dépôt de blocs glaciels sur estran
2016-07-06		Dépôt de blocs glaciels sur estran
2016-07-07		Dépôt de blocs glaciels sur estran
2016-07-08		Départ graduel des blocs glaciels
2016-07-09		Apparition ponctuelle et variable
2016-07-10		Eau libre
2016-07-11		Eau libre
2016-07-12		Eau libre
2016-07-13		Eau libre
2016-07-14		Eau libre

2016-07-15		Dépôt de blocs glaciels sur estran	
2016-07-16		Dépôt de blocs glaciels sur estran	
2016-07-17		Eau libre	