



Mise en place d'un réseau sans fil de capteurs déployés à Salluit

Mémoire

Syryn Bouchara

Maîtrise en génie électrique - avec mémoire
Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, Canada

Mise en place d'un réseau sans fil de capteurs déployés à Salluit

Mémoire

Syryn Bouchara

Sous la direction de :

Leslie Rusch, directrice de recherche
Younes Messaddaq, codirecteur de recherche

Résumé

Pour suivre les effets du changement climatique et aider à la compréhension et la capacité de prédiction, des capteurs ont été installés dans le nord du Québec. Salluit à Nunavik est parmi les villages où un ensemble de capteurs a été installé. Cependant, la collecte de ces données est manuellement effectuée une fois par an par des scientifiques. Étant donné l'importance de ces informations, le chantier 1.5 du projet Sentinelle Nord vise à mesurer, enregistrer, et envoyer les données en temps réel. Notre projet a d'abord pour but l'installation d'un réseau sans fil permettant aux capteurs de transmettre les données tout au long de l'année, pour anticiper les risques et dommages.

La conception du projet a été lancée en 2016 et les premiers travaux ont eu lieu en été 2017. Après une collecte de données réussie pendant les premiers mois suivants l'installation, des problèmes de réseau LTE sont survenus. La connexion LTE n'étant point fiable, les capteurs n'ont été visibles de l'université qu'entre 5 et 9% du temps, avant une perte totale du signal LTE à partir du mois de janvier 2017. Les conditions environnementales et météorologiques de la région ont confirmé les défis rencontrés de tels systèmes de collecte de données sans fil.

Dans ce mémoire, nous détaillons les étapes prises pour déployer un tel réseau de capteurs dans des conditions extrêmes et inconnues. Nous expliquons aussi les défis, les problèmes et les limitations rencontrés lors du projet et donnons des recommandations et améliorations pour le futur.

Abstract

To monitor the effects of climate change and to help the understanding and predictability, sensors have been installed in northern Québec. Salluit in Nunavik is among the villages of which a set of sensors has been installed. However, the collection of this data is manually done once a year by scientists. Given the importance of this information, Sentinel North project site 1.5 aims to measure, record, and send data in real time. Our project is primarily aimed at installing a wireless network that allows sensors to transmit data throughout the year, to anticipate risks and damages.

The project design was launched in 2016, and the first work took place in summer 2017. After a successful data collection during the first months after installation, LTE network problems have occurred. Since the LTE connection is not reliable, the sensors were only visible from the university between 5% and 9% of the time, before a total loss of the LTE signal starting in January 2017. Environmental and meteorological conditions of the region have confirmed the challenges faced by such a system of wireless data collection.

In this thesis, we detail the steps taken to deploy such a sensor network under extreme and unknown conditions. We also explain the challenges, problems and limitations encountered during the project and give recommendations and improvement for the future.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	iv
Table des matières	v
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux	ix
Acronymes.....	x
Dédicace	xii
Remerciements	xiii
Introduction	1
Chapitre1 Contexte.....	2
1.1- Structure du mémoire.....	2
1.2- Mise en contexte	3
1.2.1- Sentinelle Nord	3
1.2.2- Localisation.....	3
1.2.3- Les projets du CEN.....	4
1.2.4- Le choix de stations	8
1.2.5- Vue globale sur les stations du projet	9
1.3- Objectif du projet	10
Chapitre 2 Etat de l'art des communications avec les régions nordiques dans le monde	12
2.1- Introduction.....	12
2.1- Les systèmes de transmission dans les communautés éloignées	12
2.2.1- Communication satellitaire.....	12
2.2.2- Communication par satellite dans le Nord	14
2.2.3- Infrastructures de communications disponibles à Salluit	15
2.2- Les projets du suivi du changement climatique dans des environnements extrêmement froids	17
Chapitre 3 Liens sans fils	25
3.1- Introduction au chapitre.....	25
3.2- Contexte Wi-Fi	25
Datalogger de Campbell Scientific	25
3.3- Solution couche physique.....	28
3.3.1- Modem LTE.....	28
3.3.2- Modules de communication	30
3.3.3- Antennes Wi-Fi	33
3.3.4- Travail sur le chantier	34
3.4- Conclusion.....	41
Chapitre 4 Gestion du réseau sans fil	42
4.1- Introduction au chapitre.....	42
4.2- Réseau WAN.....	42
4.2.1- Adressage IP	42
4.2.2- Redirection de ports et pare-feu.....	43
4.3- Réseau LAN (Wi-Fi).....	45
4.3.1- Le point d'accès sans fil à Internet	45
4.3.2- Les modules de communication	47

4.4-	La collecte de données	48
4.5-	La surveillance réseau	50
4.5.1-	Le type de surveillance réseau appliqué	50
4.5.2-	L'outil de surveillance	50
4.5.3-	L'interface de visualisation des résultats de la surveillance	53
Chapitre 5 Résultats et discussion		55
5.1-	Résultats de la surveillance	55
5.1.1-	Station-GN et Station-B	55
5.1.2-	Station-A	57
5.2-	Résultats de la collecte de données	58
5.1.2-	Discussion	59
5.3-	Défis et limitations	61
5.4-	Travaux futurs	63
Conclusion		65
Bibliographie		67
Annexe A : La station DTS		70
A.1-	Vue globale	70
A.2-	Travail sur le chantier	71
A.3-	Les mesures RSSI	72
A.4-	Surveillance de Station-DTS	73
Annexe B Guide d'utilisateur		74
B.1-	La configuration des modules de communication	74
B.2-	Les configurations sur le modem BulletPlus LTE	76
B.3-	Les configurations pour la surveillance à distance	79
B.4-	La collecte par LoggerNet	82

Liste des figures

Figure 1. Localisation de la communauté inuite de Salluit	4
Figure 2. Tassements en bordure des remblais de l'infrastructure à Salluit.....	5
Figure 3. Glissement de terrain en bordure des infrastructures	6
Figure 4. Carte de Salluit illustrant le positionnement des capteurs.	7
Figure 5. Le choix des stations distribuées dans le village.....	9
Figure 6. L'instrumentation de la Station A et Station B.	10
Figure 7. Le système de communication satellitaire	13
Figure 8. Carte de l'infrastructure de connectivité du Nord :.....	14
Figure 9. Backhaul satellitaire	16
Figure 10. Emplacement de la station de base LTE à Salluit.	16
Figure 11. Installation de la station de base dans le glacier	17
Figure 12. Vue du système Glacweb	18
Figure 13. La station de base déployée à Zackenberg en octobre 2008	20
Figure 14. Diagrammes schématiques du système MANA :.....	20
Figure 15. Rigolet et Nain au Labrador, Canada.	22
Figure 16. Les composantes du système d'acquisition de données.....	26
Figure 17. Les parties composantes du CR1000	27
Figure 18. Vue des deux côtés du modem BulletPlus 4G/LTE.....	29
Figure 19. Interfaces Wi-Fi et LTE du Modem BulletPlus	29
Figure 20. Structure du système	30
Figure 21. Le périphérique NL21 attaché au CR1000 de Campbell Scientifique.....	31
Figure 22. NL240 et antenne Wi-Fi.....	32
Figure 23. Les ports et les connecteurs du périphérique NL240.....	33
Figure 24. Distance entre les trois stations ST-A et ST-B et ST-GN.....	34
Figure 25. Vue globale sur les nouvelles installations réalisées en été 2017	35
Figure 26. Vue de la ST-A.....	36
Figure 27. Les composants de la ST-A.	36
Figure 28. Les composants de ST-B.....	37
Figure 29. Vue de la ST-B.....	37
Figure 30. Les composants de ST-GN.	38
Figure 31. Vue de ST-GN.....	38
Figure 32. Réseau 1 interne et réseau 2 externe	43
Figure 33. Connexion à distance d'un ordinateur à l'université au modem LTE à Salluit ..	45
Figure 34. Distance entre les stations	47
Figure 35. Principes d'opération de Nagios.	52
Figure 36. <i>PuTTY sur Windows</i>	52
Figure 37. Principe de fonctionnement de Thruk	53
Figure 38. Interface Thruk.....	54
Figure 39. Rapport de la disponibilité affiché sur Thruk du datalogger de la ST-GN	56
Figure 40. Rapport de l'état de connectivité de ST-B affiché sur Thruk entre le 27 novembre et le 1 ^{er} decembre 2017	57
Figure 41. État du datalogger à la station-A.....	58
Figure 42. Photo de la station-A prise par un technicien de Tamaani.....	62
Figure 43. La zone de couverture actuelle depuis la tour Tamaani	63

Figure 44. La zone de couverture prévue pour la nouvelle tour LTE de Tamaani.....	64
Figure 45. Câble à fibre optique sur la route de l'aéroport.....	70
Figure 46. Schéma des constituants de la station DTS.....	71
Figure 47. Vue du boîtier de la station-GN	71
Figure 48. Rapport de disponibilité du PC à la station DTS	73
Figure 49. Configuration du NL240 sur LoggerNet.....	74
Figure 50. Configuration du numéro de port.....	75
Figure 51. Configuration du NL121 sur LoggerNet.....	75
Figure 52 Configuration de l'APN	76
Figure 53. La liste des configurations de redirection de port sur le modem de la ST-A.....	77
Figure 54. La liste des règles du pare-feu créée sur BulletPlus.....	77
Figure 55. Configuration générale du pare-feu	78
Figure 56. L'application connexion bureau à distance sur Windows.....	78
Figure 57. Authentification sur PuTTY.....	79
Figure 58. Ajout des hôtes à surveiller sur PuTTY	80
Figure 59. Exemple de création du service TCP sur PuTTY	80
Figure 60. Détails des statuts des services pour les hôtes, affichées sur Thruk	81
Figure 61. Les disponibilités des services définis	81
Figure 62. Activation de la collecte planifiée.....	82
Figure 63. Le choix de la table de données	83

Liste des tableaux

Tableau 1 Services internet par technologie LTE et sur fibre optique à Salluit.....	15
Tableau 2 Les différences entre B890 et BulletPlus	28
Tableau 3 Mesures du RSSI du signal LTE lu sur la page du routeur à la station-A.....	39
Tableau 4 Les RSSI en dBm du modem-A	40
Tableau 5 Mesures du RSSI lu sur le NL240 en dBm en août et septembre 2017.....	41
Tableau 6 Les principaux amendements des protocoles 802.11 b et g.....	46
Tableau 7 Mesures du RSSI du signal LTE lu sur la page du routeur à la station-DTS	72
Tableau 8 Les RSSI en dBm du modem-DTS.....	72

Acronymes

APN : Access point Name ou Nom de point d'accès

CEN : Centre d'études nordiques

CC : Changement climatique

DIV: Diversity antenna connector

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

FAI : Fournisseur d'accès à internet

FTTH : Fiber to The Home

LTE : Long Term Evolution

MAIN : Main antenna connector

MDDELCC : Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

MTQ : Ministère des Transports du Québec

MTMDET : Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports

ONT: Optical Network Terminal

RP-SMA: Reverse Polarity SubMiniature Version A

RSSI: Received Signal Strength Indication

ST-A: Station A

ST-B: Station B

ST-DTS: Station à fibre optique Distributed Temperature Sensing

ST-GN: Station Glissement Nordique

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على
أشرف المرسلين سيدنا محمد عليه أفضل الصلاة
والتسليم. "وما توفيقي إلا بالله عليه توكلت وإليه
أنيب"

Dédicace

Avant tout je remercie Allah pour tout ce qu'IL m'a offert dans la vie. C'est à grâce à LUI que je suis là, en bonne forme et entourée de bonnes personnes.

Je dédie ce travail spécialement à mon idole, ma source de joie, mon soutien moral et mon mentor qui m'encourage à aller à l'avant sans relâche. Ma mère Bahija Cheddadi.

À mon père Zaid Bouchara, ma source d'amour et de sérénité. Le meilleur père que toute fille souhaite avoir.

À la future médecin, ma sœur chérie Arwa.

À mon mari chéri, Mohamed Saad Ibn Seddik. Son amour et sa présence m'ont aidé à dépasser des difficultés que j'ai vécues durant ce travail.

À toute personne qui m'aime et qui croie en moi, trouvez dans ce travail, mes sincères gratitude et reconnaissances. Ce travail est le vôtre.

Remerciements

J'aimerais tout d'abord exprimer ma gratitude à la directrice de ce mémoire, professeur Leslie Rusch, pour croire en mes compétences et m'avoir donné l'opportunité d'être membre de son groupe de recherche. Je la remercie aussi de m'avoir accordé un projet très intéressant et unique. Je remercie également et infiniment mon codirecteur de recherche, professeur Younes Messadeq, pour sa disponibilité et surtout pour son encouragement et son soutien continu.

Je tiens à remercier aussi les membres du Centre d'études nordiques. Premièrement M. Michel Allard d'avoir cru en l'importance que va apporter ce projet à leurs stations à Salluit. Je remercie également Emmanuel L'Hérault pour toutes les informations qu'il m'a transmises concernant leurs capteurs déployés, mais aussi bien pour son énorme aide et disposition lors des travaux d'installation durant mon premier voyage à Salluit. Je remercie également Denis Sarrazin pour son aide sur le terrain durant le deuxième voyage.

Je désire aussi remercier Simon Guilbault, membre de Calcul Québec à l'Université Laval, d'avoir pris de son temps pour m'aider à améliorer ce projet.

Je suis aussi reconnaissante envers le technicien du laboratoire COPL, Nelson Landry, qui m'a donné de son expertise lors du choix et l'achat du matériel utilisé.

Sans oublier de remercier tous les chercheurs et spécialistes du COPL qui ont pris le temps pour discuter avec moi de mon sujet, spécialement Mazen Khalil et Éric Bharucha. Ces échanges m'ont aidé dans l'avancement de mon analyse.

Introduction

Le changement climatique est un phénomène mondial, cependant les écosystèmes de l'Arctique sont particulièrement sensibles à ce phénomène accéléré, vu que l'Arctique se réchauffe deux fois plus vite que le reste du monde [1]. Les effets du changement climatique dans l'Arctique comprennent la hausse des températures, la perte de glace de mer et la fonte de la calotte glaciaire du Groenland. Le dégagement potentiel de méthane de la région, en particulier par le dégel des pergélisols et des clathrates de méthane, est également préoccupant. Le suivi de ces régions devient important.

Dans ce contexte, ce projet a été principalement introduit pour aider les chercheurs du Centre d'études nordiques de l'Université Laval à communiquer, surveiller et recevoir les données à distance de leurs capteurs mesurant quelques effets du changement climatique affectant la communauté inuite de Salluit, particulièrement les effets de la dégradation de pergélisol le long des structures linéaires à Salluit.

Les progrès continus des circuits microélectroniques durant les dernières décennies ont rendu possible le développement des systèmes de communication et la plupart des applications ont été converties de la communication filaire à la communication sans fil. Un domaine de recherche très attirant dans ces environnements de communication sans fil a été les réseaux sans fil de capteurs. Ces réseaux reposent sur des capteurs qui détectent plusieurs types d'information (la température, la pression, l'humidité, le niveau d'eau...) et de plus ces capteurs doivent être autonomes et rigides pour être employés dans des milieux à conditions météorologiques extrêmes comme dans l'Arctique. Cependant il existe plusieurs défis, l'accès à ces régions et aux données enregistrées par les capteurs est difficile ; ils existent à la limite de l'infrastructure de communication mondiale et sont soumis à des conditions extrêmes.

Chapitre1 Contexte

1.1- Structure du mémoire

Ce mémoire est organisé comme suit. Le chapitre 1 donne une vue globale sur le projet, il présente le contexte dans lequel le projet est inscrit, la localisation du terrain de travail et ses particularités et puis une brève description des capteurs existants à Salluit. Ensuite il aborde les raisons pour lesquelles quelques stations ont été choisies pour ce projet. Et enfin, il présente l'objectif du projet.

Le chapitre 2 commence par expliquer l'importance des systèmes de télécommunication aux communautés nordiques. Il décrit ensuite l'infrastructure de télécommunication disponible à ces communautés, ensuite les services de télécommunications offerts à Salluit. Puis il présente les projets existants de communications avec les capteurs au nord, quelques exemples de projets dans l'arctique et des projets dans la région du nord de Canada.

Le chapitre 3 décrit les liens sans fil. Le chapitre commence par introduire le contexte Wi-Fi. Par la suite, le chapitre aborde la solution que nous avons proposée et les éléments employés pour créer un réseau sans fil. La fin du chapitre donne un aperçu sur les nouvelles installations apportées à chacune des stations séparément, lors de deux voyages à Salluit en août et septembre 2017.

Le chapitre 4 traite de la gestion du réseau sans fil. Il présente les différentes étapes d'implémentation du réseau LTE et la stratégie Wi-Fi suivie à Salluit. Les principales configurations au niveau d'adressage IP (IP pour Internet Protocol), le réglage TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) du point d'accès sans fil, le réglage radio de l'AP, ainsi que la configuration des différentes interfaces de communications, sont expliqués. Le chapitre 4 explique aussi la stratégie que nous avons suivie pour réaliser la collecte à distance des données et enfin il présente l'outil utilisé pour la surveillance à distance des capteurs.

Le chapitre 5 présente les résultats de connectivités des capteurs que nous avons obtenus par la surveillance à distance et les résultats de la collecte de données ainsi que les difficultés concernant cette collecte. Le chapitre présente ensuite les défis rencontrés durant la

réalisation de ce projet et les travaux futurs envisagés. Le chapitre finit par une synthèse générale du projet.

1.2- Mise en contexte

1.2.1- Sentinelle Nord

Ce projet de maîtrise s'inscrit au sein du programme de recherche Sentinelle Nord. Parmi trois grands chantiers thématiques de recherche du programme Sentinelle Nord, ce projet figure dans le chantier thématique 1 « Décoder les interrelations entre les systèmes complexes du nord ». L'objectif principal de ce chantier est d'avoir une meilleure compréhension des systèmes complexes nordiques. Plus précisément, le projet fait partie du projet « Pitutsimaniq, capteurs en réseau pour le suivi en temps réel des infrastructures et des écosystèmes nordiques » visant le bien-être des communautés nordiques par l'outil de l'interconnexion des systèmes de suivi des infrastructures.

Sentinelle Nord est un programme transdisciplinaire de recherche très récent et premier de son type au Canada. Il est financé depuis 2015 par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, dans le but de développer de nouvelles technologies et améliorer la compréhension de l'environnement nordique et de son impact sur l'être humain. Le programme Sentinelle Nord contribue dans le contexte d'accélération des changements climatiques et du développement socio-économique dans les régions arctiques et subarctiques [2].

1.2.2- Localisation

Le projet concerne spécifiquement le village de Salluit situé à l'extrême nord de la région Nunavik de Québec (figure 1). Salluit est le troisième village le plus peuplé parmi tous les villages inuits du Nunavik, avec une population de 1486 en 2016 et qui connaît une forte croissance de population comme la plupart des villages nordiques. Le village de Salluit est aussi impacté par le changement climatique mondiale; il a connu une augmentation annuelle de température de 2,6 °C en 13 ans de 1990 à 2003 [3]. Le village est partiellement isolé du sud de Québec et des autres villages étant donné qu'aucune route n'existe entre les villages nordiques et aucune route qui lie Salluit au sud de Québec. Les seuls moyens de transport disponibles aux habitants de Salluit pour communiquer avec l'extérieur sont le port maritime en été et la voie aérienne durant l'année. D'où l'immense importance de la route d'accès à

l'aéroport pour la communauté de Salluit puisque c'est la seule porte à l'extérieur du village lorsque le déplacement par bateau est impossible durant l'hiver. La dégradation de la route à



Figure 1. Localisation de la communauté inuite de Salluit

cause du changement climatique aura un impact direct sur la vie des habitants et causera un isolement total.

1.2.3- Les projets du CEN

Toutes les infrastructures à Salluit — routes, maisons et établissement — sont construites sur d'importants remblais au dessus du pergélisol. Ces infrastructures sont en danger depuis quelques dizaines d'années à cause de l'augmentation de la vitesse de réchauffement climatique à Salluit. Depuis 1997, Environnement Canada enregistre un réchauffement climatique dans la région Nunavik. En septembre 1998 la température était plus élevée que la moyenne à Salluit, ce qui a produit deux grands glissements de terrain qui ont touché une vingtaine de maisons en construction [3]. Un autre glissement de terrain en bordure des

infrastructures et travaux de stabilisation s'est produit en août 2010 à Salluit. Ces problèmes causés par le réchauffement climatique ainsi que le problème d'accumulation de neige en hiver et l'infiltration d'eau sous les infrastructures en été et le tassement des infrastructures [4] (figure 2), ont incité le Centre d'études nordiques (CEN) de l'Université Laval à faire des travaux de recherche sur le terrain sous la direction de Michel Allard depuis 1998. L'objectif de ces travaux est l'amélioration de la compréhension et la capacité de prédiction des changements qui affectent cet environnement afin de proposer des stratégies d'adaptation aux impacts des changements en ces milieux froids.



Figure 2. Tassements en bordure des remblais de l'infrastructure à Salluit [21]

Dans ce contexte de changement climatique (CC) le Ministère des Transports de la Mobilité Durable et de l'Électrification des Transports de Québec (MTMDET), en coordination avec le CEN, a effectué un projet d'adaptation au CC consistant à la stabilisation thermique et mécanique de la route d'accès de Salluit et à la détection de la dégradation de pergélisol le long des structures linéaires. Le ministère a effectué plusieurs travaux de réhabilitation pour adapter la route au CC et aussi des travaux pour permettre le suivi thermique et mécanique du remblai routier en installant des thermistances et de la fibre optique dans l'infrastructure et dans le pergélisol sur différentes parties de la route [5]. Le CEN a aussi installé des thermistances sur le milieu naturel afin de permettre une analyse thermique du pergélisol près de la route (figure 3).



Figure 3. Glissement de terrain en bordure des infrastructures, et travaux de stabilisation en août 2010 [21]

Plusieurs autres câbles à thermistance automatisés et manuels sont distribués un peu partout dans le village et dans les pistes d'atterrissage du MTQ (Ministère des Transports du Québec) et d'autres sites instrumentés de « microdatalogger » pour les mesures d'épaisseur et de densité de la neige, tous pour des fins climatiques et géothermiques. Tous les capteurs sont isolés, sauf la station climatique « SILA » qui a commencé à transmettre ses données très récemment, depuis septembre 2017, via des satellites géostationnaires opérationnels environnementaux au Ministère de Développement durable Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). La station SILA ne fait pas partie de notre projet et ne sera pas traitée par la suite. Le positionnement des capteurs à Salluit est illustré à la figure 4. Ces capteurs peuvent être divisés selon leur positionnement dans la carte en trois parties :

- Des capteurs à l'aéroport sur la piste d'atterrissage : Ne sont pas adressés par ce projet.
- Des capteurs dans le village : Centre du village et bordure du village.
- DTS : Capteur optique sur la route d'accès à l'aéroport.



Figure 4. Carte de Salluit illustrant le positionnement des capteurs [5]

1.2.4- Le choix de stations

Parmi les capteurs de suivi géothermique et climatique déployés par le CEN à Salluit, ce travail n'adresse que les capteurs localisés dans le village et aussi le capteur DTS. Nous avons choisi quelques stations¹ principalement pour les raisons qui suivent :

- Module de communication sans fil : seuls 8 enregistreurs de données au village, de type CR1000, CR10X et CR10, sont compatibles avec l'ajout d'un module de communication sans fil.
- Électricité pour brancher un modem LTE : seules deux stations avec une prise de courant électrique, la station-A et la station-DTS. La station-A constituera le point d'accès sans fil (voir la partie 3.3- Solution couche physique).
- Éloignement entre les stations : La distance entre les différentes stations et nos points d'accès sans fil est prise en considération pour choisir les stations. La communication Wi-Fi est limitée à une distance d'environ 300 m.

Ces raisons nous ont limité à quatre stations de suivi géothermique (figure 5). Deux stations constituant les points d'accès sans fils et deux autres stations éloignées d'environ 75 m et 250 m. Il s'est avéré que ces stations ont une grande importance pour la communauté de Salluit, ils concernent la seule route qui mène à l'aéroport. Trois stations différentes, la station-A, la station-B et la station-DTS, sont distribuées sur la route d'accès à l'aéroport. La quatrième station, la station-GN, se trouve dans le milieu naturel au centre de la vallée du secteur Salluit-2 Ouest².

Des travaux préliminaires ont été effectués à la Station-DTS durant notre voyage à Salluit, mais cette station ne sera pas traitée dans ce mémoire (Annexe A : La station DTS).

¹ L'ensemble de capteurs branchés à un système d'acquisition de données et à une source d'alimentation constitue une station.

² Secteur parmi quatre qui ont été choisis par le CEN en 2006 en raison de leur susceptibilité à l'égard des glissements de type rupture de mollisol [5].

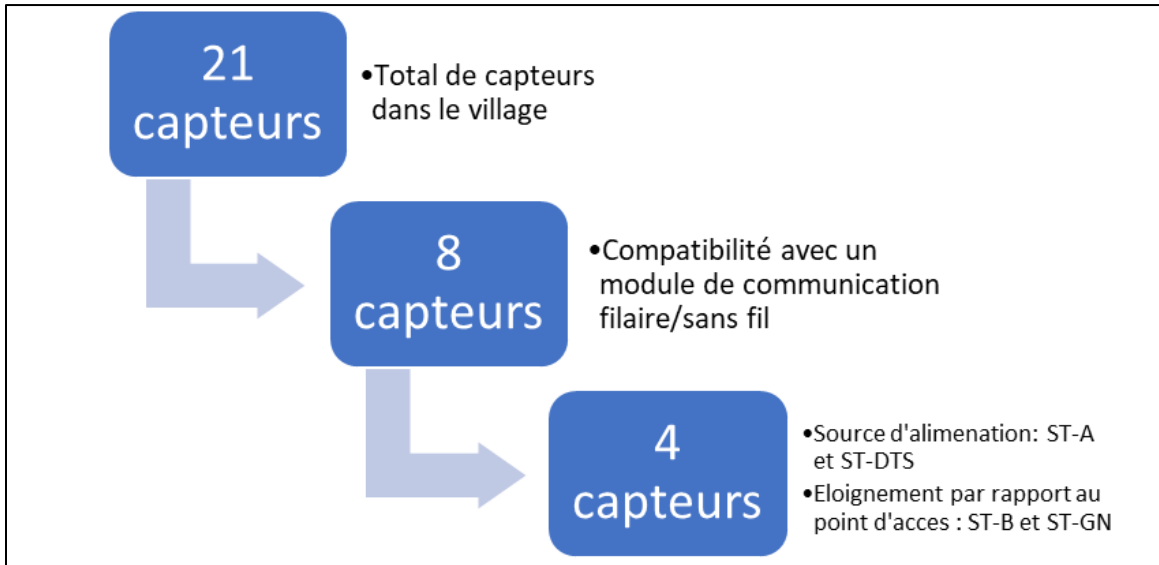


Figure 5. Le choix des stations distribuées dans le village

1.2.5- Vue globale sur les stations du projet

Chaque station est caractérisée par le type de capteur utilisé, le type de mesures enregistrées, le système d'acquisition déployé et par sa localisation à Salluit.

Station-A et Station-B

La station-A (ST-A) et la station-B (ST-B) sont deux stations de suivi du comportement thermique et mécanique du remblai de la route et du sol naturel sous-jacent qui se trouvent sur la route d'accès à l'aéroport de Salluit (figure 6). Chacune des deux stations est raccordée à cinq câbles à thermistance verticaux composés de 10 thermistances chacun. Le modèle de thermistance utilisé est YSI-4403 et les câbles de type Belden 88761. Les câbles à thermistance ont été installés en septembre 2012. ST-A est de plus raccordée à des câbles à thermistance horizontaux. Les câbles sont placés sur chaque côté de la route sur une longueur de 50 m ce qui permettra un suivi thermique supplémentaire en surface. Les câbles à thermistance horizontaux sont de même type que ceux verticaux. Des multiplexeurs permettent de brancher toutes les thermistances aux enregistreurs de données [5]. Les câbles à thermistances verticales des deux stations ST-A et ST-B, et les câbles horizontaux sont raccordés, à travers des multiplexeurs, à des systèmes d'acquisition de données (enregistreurs de données).

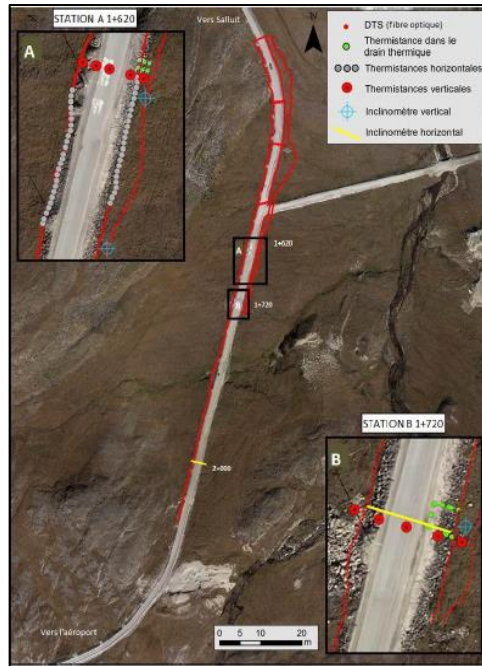


Figure 6. L'instrumentation de la Station A et Station B. (Lemieux et al., 2013. Rapport d'étape 1)

Station Glissement Nord

La station de glissement nordique (ST-GN) est utilisée pour le suivi du régime thermique du mollisol et de l'interface pergélisol/mollisol (figure 4). ST-GN se situe dans le secteur Salluit Ouest, précisément entre la route d'accès à l'aéroport et la rivière. Elle est raccordée à un câble à thermistance du type YSI 4403. Le câble a une longueur de 2 mètres et est muni de 24 thermistances, distribuées en profondeur, espacées de 5 cm.

1.3- Objectif du projet

La collecte de données stockées dans les enregistreurs de données à Salluit se fait depuis toujours manuellement. Une fois par an, habituellement en été, un membre de l'équipe du Centre d'études nordiques se déplace à Salluit pour collecter les données avec un ordinateur portable connecté directement au système d'acquisition ou en retirant la carte mémoire (selon le type du système d'acquisition utilisé). Pour les stations A, B et GN les câbles à thermistance ont été programmés pour enregistrer les températures aux 60 minutes. Les données sont stockées dans des dataloggers pendant une année.

Cette opération coûte aux chercheurs au CEN et au Ministère de Transport un temps précieux. Le but principal du projet est de créer un réseau de capteur sans fil pour permettre aux chercheurs de recevoir les données sans avoir besoin de se déplacer à Salluit, permettant ainsi

l'analyse et le traitement des données durant l'année et même la prédiction précoce des changements climatiques affectant le remblai et le pergélisol et par en conséquence affectant la communauté de Salluit.

Chapitre 2 Etat de l'art des communications avec les régions nordiques dans le monde

2.1- Introduction

Dans les régions éloignées, la disponibilité des systèmes de télécommunication fournit des lignes de vie vitales entre les communautés. L'infrastructure des télécommunications peut accroître la cohésion sociale et la connectivité entre les résidents des collectivités des régions du Nord et favoriser leur participation au commerce mondial et aux possibilités de réseautage social.

Cependant plusieurs éléments, tels que la distance, le terrain et le climat, rendent difficile la communication entre les habitants du Nord ou la communication avec le sud du Canada. De plus, pour longtemps les Inuits ne pouvaient pas participer aux changements économiques et sociaux apportés par les organismes du Nord dans le Nord puisque la plupart d'entre eux ne lisaient ni n'écrivaient l'anglais. Cependant, l'importance militaire et économique du Nord a favorisé l'introduction des médias électroniques [6].

Ce chapitre commence par une description de la communication satellitaire. Le chapitre ensuite met le point sur les infrastructures de communications disponibles à Salluit et les services de télécommunications qui sont offerts à cette communauté. Par la suite, le chapitre présente quelques projets existants sur les communications avec les capteurs au nord.

2.1- Les systèmes de transmission dans les communautés éloignées

2.2.1- Communication satellitaire

Les satellites ont des avantages significatifs par rapport aux autres liens de transmission tels que les câbles et les lignes terrestres micro-ondes pour certains types de communication. Le coût de la transmission est indépendant du terrain géographique ou de la distance, à condition que l'émetteur et le récepteur soient tous deux dans la ligne de visée du satellite. Les liens de communication peuvent être étendus à des zones éloignées qui ne pourraient pas être atteintes autrement. Les satellites sont moins coûteux pour la transmission sur des distances extrêmement longues, en particulier pour des volumes de communication relativement faibles. Un signal de communication peut être envoyé à n'importe quel nombre de points de

réception simultanément, ce qui rend les satellites idéaux pour la télévision et d'autres formes de communication point à multipoint. Les satellites sont également extrêmement flexibles, car les points d'envoi et de réception peuvent être modifiés rapidement pour répondre aux changements de la demande.

L'utilisation des satellites dans la communication vocale introduit un retard plus important que les systèmes de transmission par ligne terrestre en raison du délai (presque 0,3 seconde) requis pour que le signal se rende au satellite et retourne sur Terre. Des échos de la voix d'un locuteur sont entendus 0,6 seconde après avoir parlé. Les applications du satellite sont la téléphonie, la télévision et la radio, l'Internet et les données, le cinéma numérique, l'aide aux systèmes de positionnement, les satellites relais.

Un satellite typique se compose d'un certain nombre de transpondeurs, chacun d'entre eux fournissant un canal de communication de grande capacité. Chaque transpondeur a un récepteur réglé sur une gamme de fréquences qui a été allouée aux signaux de communication montante de la Terre vers le satellite (figure 7). Après le récepteur, chaque transpondeur consiste en un dispositif de décalage de fréquence pour abaisser les signaux reçus à une fréquence de liaison descendante, un filtre accordé sur la fréquence du transpondeur et un amplificateur de puissance pour transmettre des signaux à la Terre.

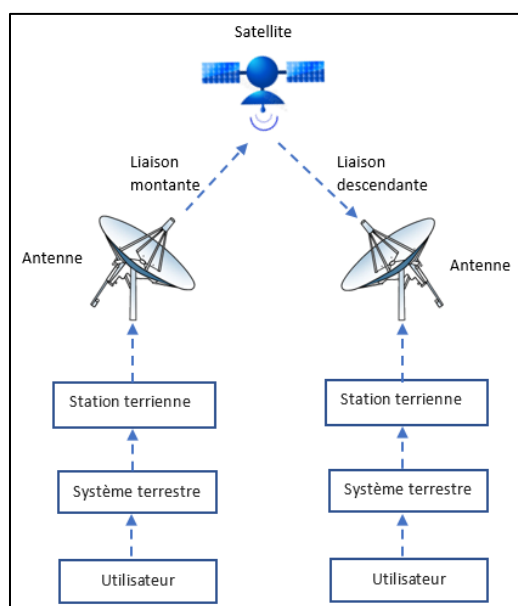


Figure 7. Le système de communication satellitaire

2.2.2- Communication par satellite dans le Nord

Selon l'étude sur les besoins en infrastructure des collectivités autochtones du Nord en 2014, 51 % des communautés dépendent des liens de transport par satellite pour soutenir les télécommunications de base et l'accès à Internet. Les régions éloignées du Canada, en particulier le Nunavut et le Nunavik (Québec), sont entièrement dépendantes des services de base des satellites [7] (figure 8). Pour ces régions, les prix de base des réseaux commerciaux par satellite ont rendu presque impossible pour les fournisseurs de services Internet indépendants de servir les résidents et les entreprises locales sans une certaine forme de soutien gouvernemental. Au milieu des années 2000, le gouvernement fédéral a lancé l'Initiative nationale de satellite (INS) pour aider à établir des réseaux tels que Tamaani (au Nunavik) et Qiniq (au Nunavut). Plus tard, en 2009, il a lancé un programme appelé Broadband Canada dont dépendaient ces réseaux pour subventionner les services Internet résidentiels.

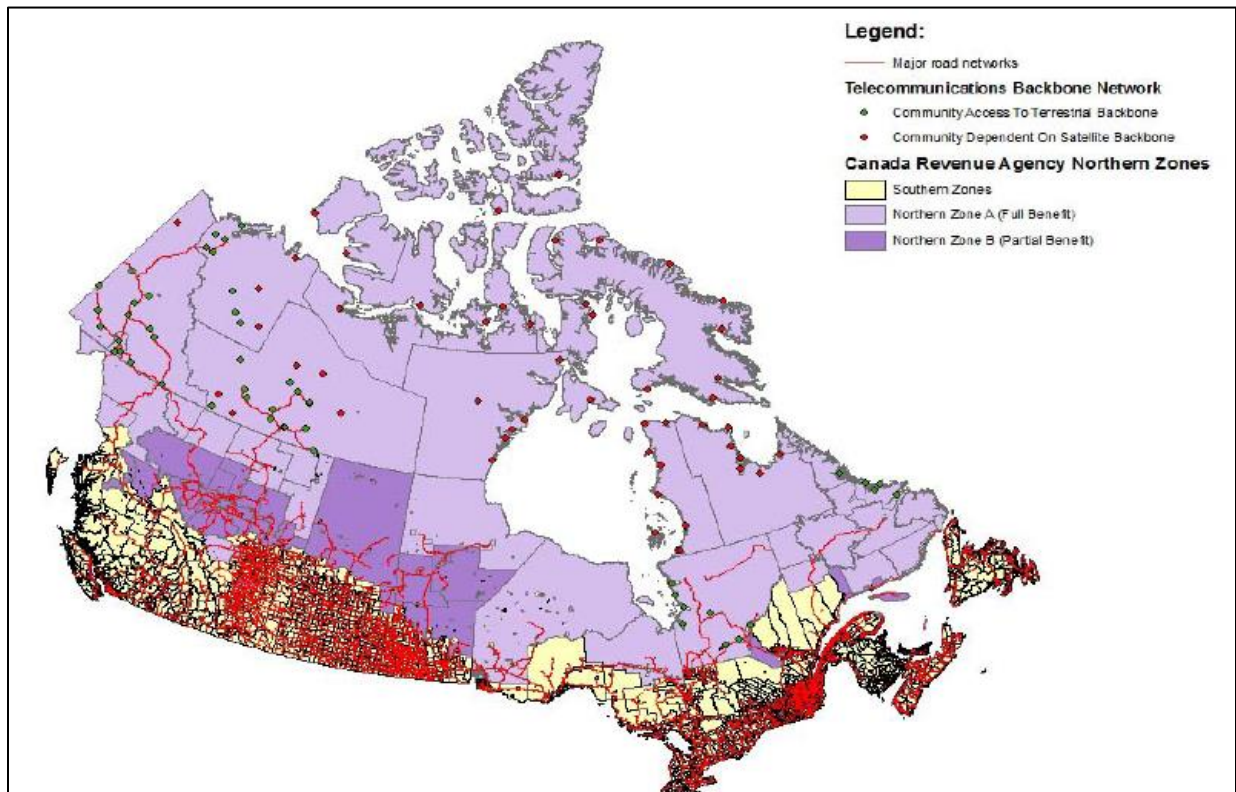


Figure 8. Carte de l'infrastructure de connectivité du Nord : Accès au réseau de base terrestre ou satellite [7]

2.2.3- Infrastructures de communications disponibles à Salluit

Depuis 2004, l'Internet est devenu un moyen de communication dans les communautés de la région Nunavik. Le fournisseur de service à Nunavik est Tamaani Internet, il offre aux habitants de Salluit les services suivants :

- Service Internet par modem résidentiel. Les modems NextNet sont déployés à Salluit et sont conçus uniquement pour l'intérieur. Ce système est en train d'être éliminé avec l'arrivée du service LTE.
- Service Internet à domicile sur fibre optique FTTH : Par des ONTs (Optical Network Terminal) qui prennent en charge la technologie Wi-Fi de classe opérateur en utilisant la technologie 802.11ac permettant de fournir tous les services sans fil (modèles 844G et 854G fabriqués par Calix, voir le Tableau 1).
- Service Internet par technologie sans fil LTE : Par des modems qui communiquent avec le réseau LTE de Tamaani. Ce service jusqu'à présent n'est pas déployé dans la communauté de Salluit. Seuls deux modems LTE sont utilisés à Salluit pour des fins de surveillance de la performance du réseau par le fournisseur Internet. Les modèles de modems LTE fournis par Tamaani sont le B890 de Huawei et le BulletPlus 4G/LTE de Microhard (Tableau 1).

Tableau 1 Services Internet par technologie LTE et sur fibre optique à Salluit[8]

	Service de base	Intermédiaire	Performance	Performance+	Performance pro
Limite mensuelle	20 Go	30 Go	45 Go	60 Go	75 Go
En aval	1.5 Mbit/s	2 Mbit/s	3 Mbits/s	4 Mbit/s	4 Mbit/s
En amont	384 kbit/s	384 kbit/s	512 kbit/s	512 kbit/s	512 kbit/s

Comme les autres régions dépourvues d'infrastructures fixes, Salluit compte sur le développement des réseaux mobiles. Et étant donné que le raccordement par faisceaux hertziens n'atteint pas Salluit, le village dépend totalement du satellite pour le backhaul mobile; le transport des données mobiles se fait par lien satellitaire (figure 9).

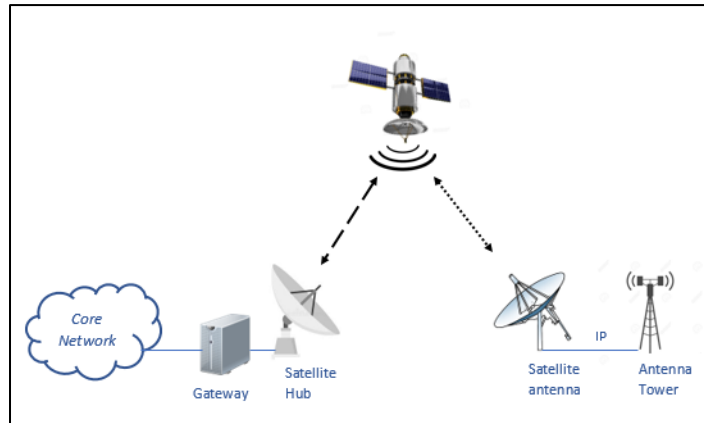


Figure 9. Backhaul satellitaire

La station de base LTE se trouve sur la tour de l'antenne satellitaire de Tamaani. Plus précisément, entre la station de police n° 510 et la résidence de l'Université Laval n° 505 (figure 9).

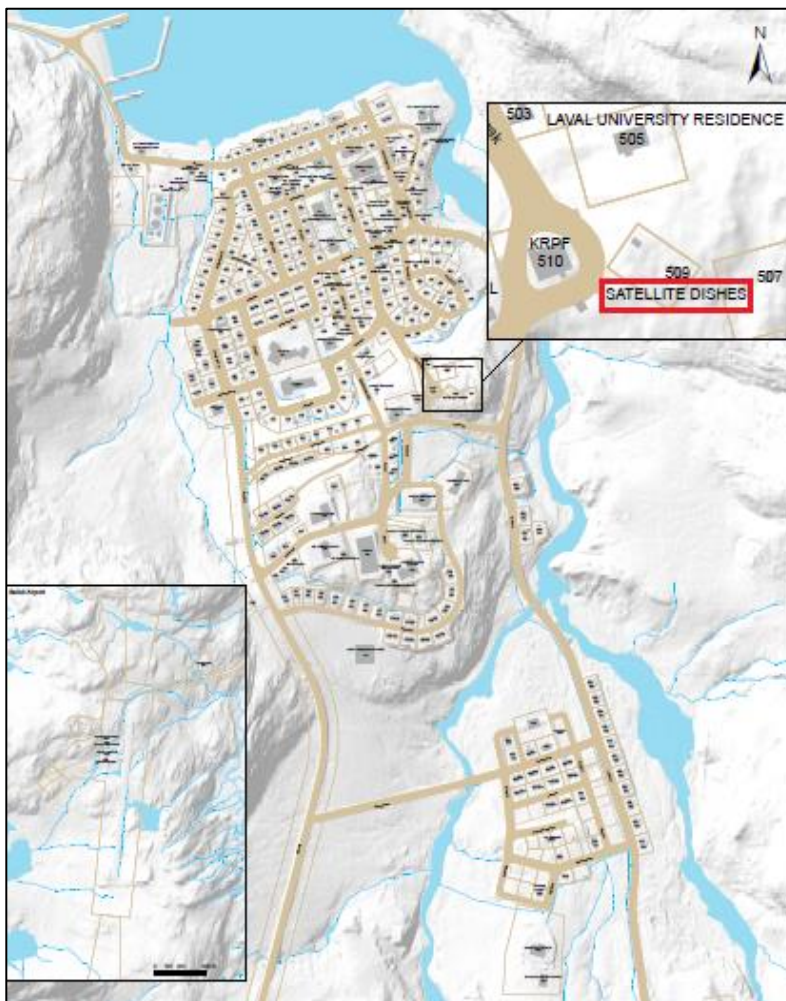


Figure 10. Emplacement de la station de base LTE à Salluit (Tamaani)

2.2- Les projets du suivi du changement climatique dans des environnements extrêmement froids

Il existe beaucoup de projets de recherche traitant les réseaux de capteurs sans fil. Cependant, moins de projets ont été développés dans les régions éloignées de l'Arctique, et encore moins dans le nord du Canada. Dans cette partie nous donnerons des exemples de ces projets développés dans des environnements extrêmement froids principalement pour le suivi du changement climatique

a. Projet Glacsweb en Norvège, surveillance du glacier.

Le projet Glacsweb créé par l'université de Southampton concerne un réseau de capteurs, pour les environnements hostiles, afin de comprendre et surveiller le comportement des glaciers. Le système prototype a été déployé à Briksdalsbreen (ou glacier de Briksdal) en Norvège, à l'été 2003 [9]. En raison du tourisme, le glacier de Briksdal est accessible, il dispose d'une couverture de téléphone GSM, d'électricité et l'accès RNIS (réseau numérique à intégration de services) dans un camping à proximité (2,5 km).

Neuf sondes (chaque sonde est équipée des capteurs suivants : pression, température, orientation, conductivité externe et jauge de contrainte) de détection personnalisée ont été placées sur et sous les glaciers et les données sont recueillies par une station de base. Le système global de ce projet comprend quatre éléments principaux : des sondes dans/sous le glacier, une station de base sur la glace et une station de référence qui relie les données à un serveur de réseau de capteurs (SNS) au Royaume-Uni (figure 12).



Figure 11. Installation de la station de base dans le glacier

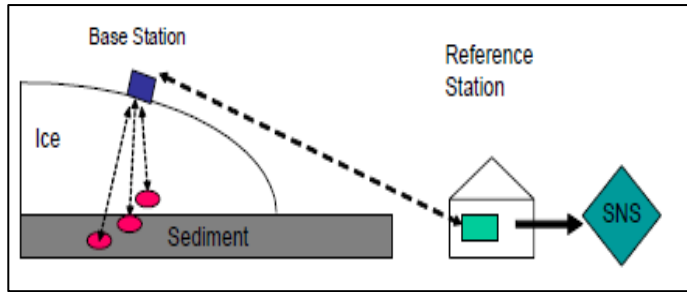


Figure 12. Vue du système Glacweb

La station de base contrôle les sondes, rassemble les données de surface et les relie vers la station de référence. Une structure pyramidale maintient les capteurs, les antennes et les attaches (figure 11). Un modem radio de 500 mW fournit une liaison à 9600 bauds sur 2,5 km dans la vallée jusqu'au PC (personal computer) de la station de référence. Une webcam permet d'observer l'état général du site et utilise le port USB. Un modem GSM a été implémenté dans le prototype, pour envoyer les données des sondes directement au serveur du Royaume-Uni par SMS si la liaison longue portée entre le modem radio et la station de référence était en panne. Une antenne omnidirectionnelle était utilisée sur la glace au cas où toute la structure tournait et pointait une antenne directionnelle dans le mauvais sens.

La station de référence est la passerelle pour le transfert de données et le contrôle manuel de l'ensemble du système depuis Southampton. Elle est connectée à la station de base via le modem radio et connectée périodiquement à Internet via un routeur RNIS. La station de référence enregistre quotidiennement un fichier GPS et envoie toutes les nouvelles données au serveur de données de Southampton et archive toutes les données sur le disque en tant que sauvegarde.

Le serveur de réseau de capteurs basé sur Linux contient le référentiel de données final et fournit un accès Web aux chercheurs. Il fournit également le serveur de messages texte de sauvegarde (SMS) capable de recevoir des données directement de la station de base.

En raison de la grande variation des pertes radioélectriques dans le glacier, il est possible que les sondes perdent contact avec la station de base. Après le prototype en 2003, l'équipe de recherche ont considéré d'inclure un réseau ad hoc sonde à sonde qui permettrait aux données de les traverser vers la station de base. Cela permettrait également d'économiser de l'énergie si moins de puissance était acceptable pour les communications intersondes. Dans cet esprit, un algorithme est en cours de développement.

Cette recherche a nécessité une équipe composée de personnes provenant de plusieurs domaines (glaciologie, électronique, informatique, communications, génie mécanique). Pour notre projet la participation des personnes de discipline différente est aussi nécessaire surtout durant la phase du développement du réseau sans fil et la phase des installations dans le terrain afin de prendre de l'expertise de chacun dans pour entourer tous les aspects du projet. L'expérience du Glaceweb en 2003 a aussi montré que le prototype d'installation sur le terrain est une nécessité pour résoudre tous les problèmes d'ingénierie ; cela est particulièrement vrai pour les communications radio. Cependant, les variations quotidiennes qu'ils ont connues, l'humidité de surface et des profondeurs d'eau, et dans notre cas de météo, peuvent nous montrer que cela rend extrêmement difficile la confiance dans les expériences.

Il est aussi intéressant de noter qu'au cours de la première année du projet Glaceweb, le PC et son modem radio ont été les principaux appareils qui ont échoué. Cela nous donne une idée qu'il peut y avoir quelques échecs inattendus, et qu'il faut s'assurer du bon fonctionnement de tout le système tant qu'on est sur le terrain.

b. Projet MANA à Zackenberg, Groenland

Le projet MANA, commencé en 2008, est une collaboration entre deux universités à Copenhague, l'Université de Reykjavik, DanSystem et Arch Rock Corporation et financé par le Conseil de recherche stratégique danois. Le système d'acquisition de données est basé sur un réseau de capteurs à Zackenberg, au Groenland. Le système surveille les paramètres limniques (fluorescence de la chlorophylle, oxygène dissous, température et salinité) dans la région de Zackenberg, au nord-est du Groenland. L'objectif principal est la surveillance automatique qui fonctionne dans un environnement distant dans des conditions météorologiques extrêmes, tout en compensant de manière autonome les défaillances et en adaptant la stratégie d'échantillonnage aux changements de l'environnement.

Pour surveiller les paramètres limniques, les capteurs doivent être submergés ; une bouée ancrée a été utilisée pour garder les capteurs à une position connue et fixe tout en les protégeant du vent et de la glace. La bouée agit comme un nœud de capteur avec une capacité de traitement et de stockage minimale. Le traitement principal, le stockage des données et la communication à longue distance sont gérés par une station de base à la côte. La bouée utilise le Water Quality Monitor (WQM) de WET Labs qui contient les capteurs. Le nœud IP

Archery d'Arch Rock est utilisé pour construire l'infrastructure de réseau de capteurs. Ce nœud utilise 6LoWPAN (IPv6 sur un réseau local sans fil à faible consommation), qui prend en charge l'écoute à faible consommation et la configuration de réseau multichaînes. Et il peut établir une connexion sans fil avec n'importe quel appareil fournissant une interface série (RS-232). Une antenne omnidirectionnelle sur la bouée et une antenne directionnelle sur la station de base (figure 13 et figure 14).

La plateforme du système autonome d'acquisition de données est le Vex cel microserver conçu par les membres du projet Seamonster. Le microserver contient un ordinateur monocarte (SBC), une carte de contrôle d'alimentation (PCB), un GPS, un chargeur de panneau solaire et un Wi-Fi amplifié.



Figure 13. La station de base déployée à Zackenberg en octobre 2008

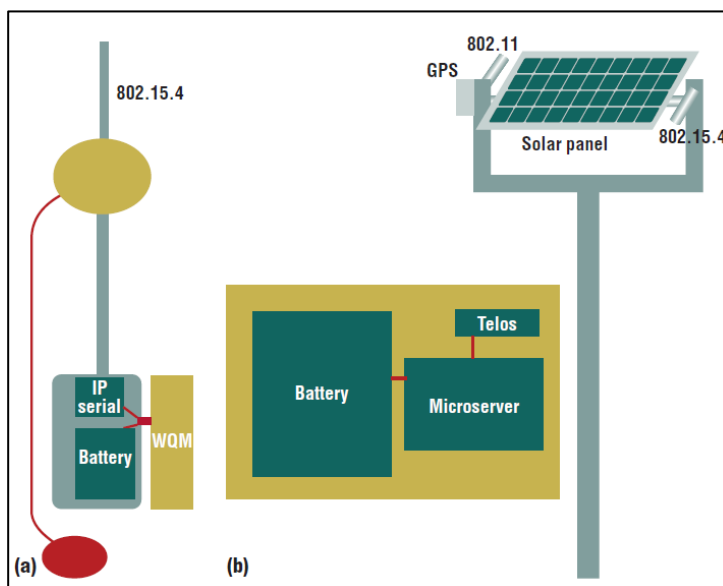


Figure 14. Diagrammes schématiques du système MANA : (a) bouée et (b) station de base.

La majeure partie de la vallée de Zackenberg est limitée à la radio UHF. Les services de transmission de la voix et de données par satellite — via un téléphone satellite privé ou un point d'accès géré à la station — sont coûteux et instables parce que Zackenberg est à la limite de la couverture par satellite. Les conséquences de ce manque d'infrastructure de communication s'étendent à l'accès aux données et aux logiciels Internet. La planification soignée du déploiement autonome et les tests sur le terrain et le dépannage logiciel est nécessaires dans ces conditions d'absence d'infrastructure de communication.

Dans l'approche du MANA, les chercheurs n'ont pas utilisé les datalogger ; ils ont opté pour une bouée qui sert comme un nœud de capteur qui communique grâce à une antenne avec la station de base et cette dernière fait le traitement et le stockage de donnée nécessaire. Dans notre projet le datalogger est l'élément le plus important, car c'est lui qui fait le stockage de donnée et qui sera connecté à l'interface de communication sans fil. Le projet MANA nous montre aussi qu'une collecte de données réussie n'est pas toujours possible avec des conditions qui empêchent le maintien du système durant quelques périodes de l'année. Les conditions de gel ont empêché les chercheurs du projet MANA d'effectuer les opérations de maintenance et par conséquent ils n'ont recueilli aucune donnée au cours de la première saison et ils ont dû attendre une année pour revenir et faire le maintien du système.

c. Application eNUK à Rigolet, Labrador, Canada

La ville de Rigolet dans la province du Labrador du nord du Canada est une communauté inuite où les rivières gelées et les ruisseaux sont les seules « routes » à l'extérieur de la ville (figure 15). Les déplacements sur ces routes gelées sont devenus dangereux à cause des températures constamment plus élevées. Afin de s'adapter aux impacts des changements environnementaux, la communauté s'est tournée vers les innovations technologiques. L'application eNUK a été lancée à Rigolet au début de 2017. Cette application a été conçue par un résident de Rigolet et a été créée par des membres de la communauté, des représentants du gouvernement local et des chercheurs de l'Université Memorial de Terre-Neuve et de l'Université de Guelph en Ontario en collaboration avec l'entreprise RightMesh. L'application eNUK permet aux membres de la communauté d'enregistrer leurs observations sur l'environnement et la santé sous forme de photos, de vidéos, d'enregistrements audio et de descriptions textuelles. À l'aide de l'application eNUK, les participants ont la possibilité de les partager publiquement avec le reste de la communauté. Ces données seront stockées dans une base de données centrale contrôlée par les partenaires gouvernementaux locaux et régionaux, avec des informations d'observation sur la terre et la météo accessibles au public. Mais en plus des problèmes liés au changement climatique, l'accès à Internet à Rigolet est lent, ce qui rend le potentiel d'eNUK limité. L'entreprise RightMesh, basée à Vancouver, soutient le déploiement de l'application de partage de fichier en instaurant une plateforme et un protocole de réseautage maillé, un réseau Internet décentralisé dans lequel les appareils

agissent comme récepteurs et émetteurs. Grâce au système basé sur la blockchain³ Ethereum fournie par MeshNet, les utilisateurs disposant d'une connexion Internet peuvent vendre leur bande passante à d'autres utilisateurs du réseau qui ne l'ont pas, sans une autorité centralisée. La plateforme RightMesh offre aussi un système de mise en cache⁴ pour les utilisateurs d'eNUK qui sont hors de portée du réseau. Le fichier sera téléchargé automatiquement au moment où l'utilisateur est dans une zone de couverture.

Le projet en est encore à ses débuts, eNUK est prévue se développer sur les 5 à 10 prochaines années. La version pilote de l'application est actuellement testée par un petit groupe de membres de la communauté à Rigolet et la version complète de RightMesh ne devrait pas être lancée à Rigolet avant le début de l'été 2018.

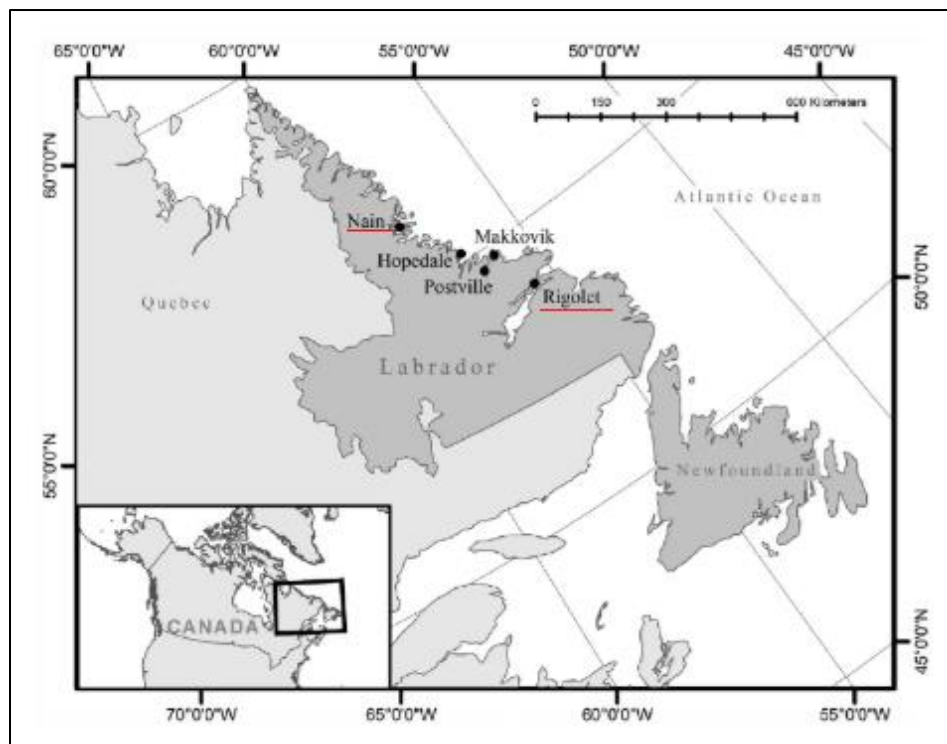


Figure 15. Rigolet et Nain au Labrador, Canada [10]

L'application eNuk est une bonne solution pour surveiller les changements climatiques (CC). Mais son principe est différent de notre projet puisque l'application est basée uniquement sur

³ Blockchain est un registre distribué pour le stockage et la transmission d'informations sans autorité centralisée.

⁴ Un cache est un composant matériel ou logiciel qui stocke des données afin que les demandes futures pour ces données puissent être servies plus rapidement (Wikipédia).

le partage des photos et vidéos entre les utilisateurs et aucun capteur n'est utilisé pour mesurer les effets du CC. L'approche du réseau maillé est intéressante et c'est l'évolution de ce projet (qui est toujours à ces débuts) dans les prochaines années qui nous permettra d'examiner les résultats du réseau maillé offert par MeshNet et comment nous pourrions en profiter pour améliorer notre projet dans l'avenir.

d. SmartICE à Nain et Rigolet, Labrador, Canada

Le projet SmartICE est une collaboration communauté-gouvernement-université-industrie qui intègre une technologie adaptée, la télédétection et le savoir des Inuits. Le programme SmartICE, débuté en 2013, vise à promouvoir des déplacements hivernaux sûrs pour les collectivités locales et l'industrie dans les environnements côtiers du Nord et assurer la disponibilité en temps réel d'informations décrivant les conditions de la glace de mer, permettra aux résidents de prendre des décisions mieux informées sur le déplacement de la glace de mer qui est devenu imprévisible à cause des récents changements dans le climat arctique. SmartICE est aussi le premier outil d'adaptation au changement climatique au monde à intégrer la connaissance traditionnelle de la glace de mer grâce à une technologie avancée d'acquisition de données et de surveillance à distance. Le déploiement des capteurs et la validation du système se sont déroulés dans les communautés Nunatsiavut de Nain et de Rigolet [11]. Les principaux éléments du système d'information SmartICE sont :

- Un réseau de capteurs autonomes enregistre l'épaisseur de la glace de mer le long des routes de voyage. Les capteurs *in situ*⁵ offrent la collecte et la surveillance de données à distance et transmettent les données avec une fréquence à peu près quotidienne via le satellite Iridium. Ces capteurs simples restent en place tout le temps, opérant à travers les périodes les plus dangereuses pour les voyages en direct. Chaque capteur *in situ* est relié à une antenne Iridium qui permet sa connexion au satellite.
- Répétition des images satellites du radar à synthèse d'ouverture (SAR)
- Système de gestion et de visualisation des données intégrant les données du réseau de capteurs pour générer des produits numériques bruts et transformés répondant aux besoins des utilisateurs.

⁵ Les capteurs « in situ » sont des capteurs de niveau d'eau, mètres de conductivité de l'eau et plus.

L'entreprise SmartICE Sea Ice Monitoring and Information Inc. a mis sur le marché la technologie SmartICE constituée des éléments décrits précédemment.

D'autres projets de réseaux de capteurs déployés dans des environnements extrêmement froids existent, tels que le projet de la surveillance du pergélisol dans un environnement alpin [12] et le projet de la surveillance des glaciers dans les Alpes suisses [13] et en Islande [14]. Le point commun entre ces projets est qu'ils incluent tous la première phase de la conception des capteurs et du matériel qui vont être utilisés. Cette phase de la conception peut comporter le choix du protocole de communication, le design de matériel à faible puissance, la miniaturisation des capteurs, etc. afin de répondre aux exigences des scientifiques. Dans notre projet, la phase de la conception des capteurs n'est pas incluse et notre but est de créer un réseau de capteurs sans fil en utilisant l'existant ; les capteurs et dataloggers déjà installés par le Centre des études nordiques à Salluit depuis quelques années, en utilisant les ressources disponibles d'électricité et d'alimentation et en exploitant l'infrastructure de communication et les services de télécommunication offerts à Salluit (voir Chapitre 3 Liens sans fils)

Le point commun entre les différents projets cités et le nôtre est qu'ils existent tous dans communautés éloignées où les milieux sont extrêmement froids. Ceci impose des contraintes et de limitations sur le bon fonctionnement du prototype au cours de la première année ou la première saison du déploiement du système sans fil. Notre projet est l'un des très rare qui existent dans les villages nordiques du Canada concernant les réseaux de capteurs sans fil et la gestion et la collecte de données à distance. Ce type de projet nécessite l'implication de la communauté et des chercheurs de différents domaines. Les projets existants au nord du Canada sont aussi très récents et en cours de développement.

Chapitre 3 Liens sans fils

3.1- Introduction au chapitre

Après avoir exposé le contexte général du projet ainsi que les infrastructures de télécommunication disponibles à Salluit, nous expliquons dans ce chapitre l'approche qu'on a choisie à suivre pour mettre en place un réseau sans fil. Ce réseau de capteurs sans fil est principalement basé sur un point d'accès sans fil qui fournit aux capteurs/dataloggers l'accès à Internet à travers le réseau LTE. Nous justifions, dans ce chapitre, le choix de chaque élément appartenant à ce réseau sans fil et nous donnerons ensuite une vue globale sur les travaux d'installation réalisés sur le chantier à l'été 2017.

3.2- Contexte Wi-Fi

Datalogger de Campbell Scientific

Le système d'acquisition de données pour chaque station à Salluit se compose de plusieurs dispositifs utilisés dans le processus d'acquisition, d'enregistrement, de transmission et d'analyse de mesures. Les composantes du système sont illustrées sur la figure 16 :

- Capteurs
- Datalogger
- Module de communication
- Logiciel de support du datalogger
- Source d'alimentation
- Coffret pour la protection du système d'acquisition

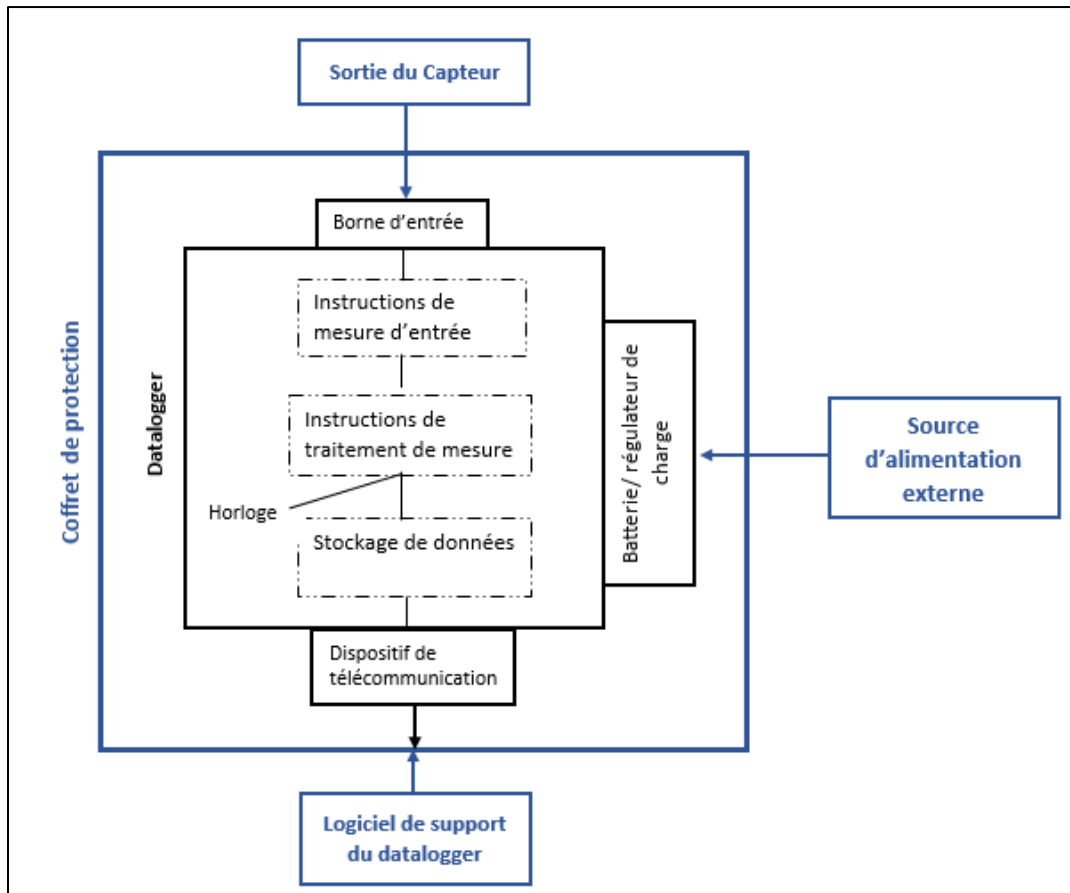


Figure 16. Les composantes du système d'acquisition de données

Le cœur du système d'acquisition de données est le datalogger (aussi connu par enregistreur de données). Les dataloggers varient selon leurs fonctionnalités; un datalogger peut constituer un seul dispositif avec le capteur pour un seul objectif à l'application comme la mesure de la température. Le datalogger peut aussi être une unité polyvalente séparée des capteurs utilisés pour différentes applications pour enregistrer les données provenant des capteurs.

Les dataloggers déployés par le CEN sont des centrales de mesure multifonctions, de la compagnie Campbell Scientific, utilisés pour enregistrer et stocker la sortie d'un ou de plusieurs capteurs. Ils nécessitent une alimentation externe par une source 12 Vdc. La figure 17 illustre le module CR1000 de Campbell Scientific déployé dans les stations ST-A, ST-B et ST-GN. Ce datalogger stocke les programmes et les données sur une mémoire flash de 4 Mbits et peut les transmettre via diverses méthodes. Il pilote les communications directes et les télécommunications. La communication directe par câble avec un PC est la solution lors

d'une visite de la station, tandis que la communication à distance avec un ordinateur permet la collecte de données du CR1000 sur de longues distances et permet la découverte des problèmes du système dès le début.

La communication à distance avec le CR1000 nécessite la connexion avec une interface de communication via la télémétrie par satellite, des radios à étalement de spectre, des modems cellulaires numériques ou des interfaces réseau Ethernet.

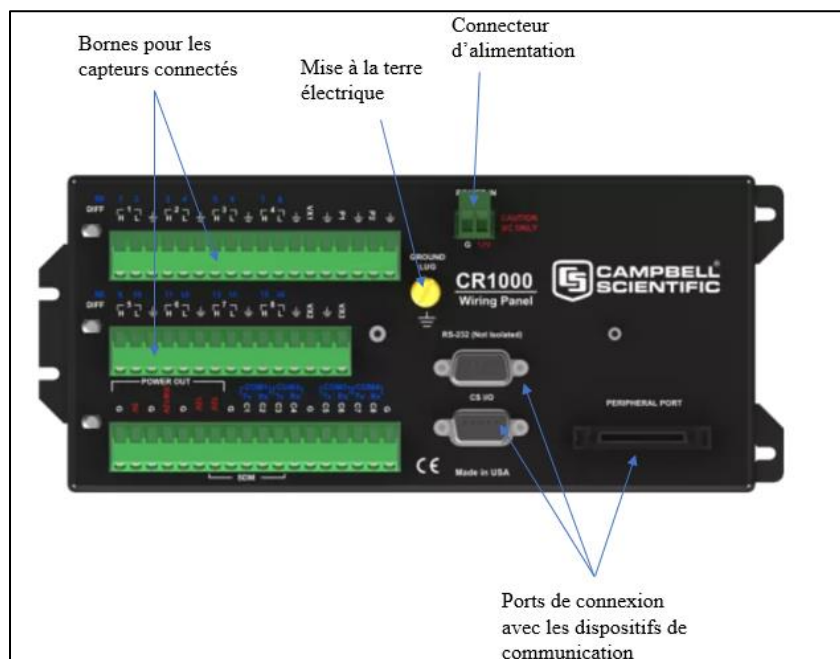


Figure 17. Les parties composantes du CR1000

Les trois ports de connexion entre le datalogger CR1000 et les dispositifs de communication sont :

- Port RS-232 : C'est un port DCE à neuf-broches, utilisé pour communiquer avec un ordinateur exécutant un logiciel de support du datalogger.
- Port CS I/O : C'est un port à neuf-broches, pour la connexion avec les périphériques de communications.
- Peripheral port : Pour la connexion avec certains modules de carte mémoire et avec des dispositifs Ethernet.

3.3- Solution couche physique

3.3.1- Modem LTE

a. Le choix du modem

Les stations d'acquisition de données à Salluit sont isolées et ne bénéficient pas du service FTTH (Fiber to the Home qui signifie « Fibre optique jusqu'au domicile »). La solution de connectivité est d'utiliser un modem qui communique avec le réseau LTE de Tamaani d'un côté et de l'autre côté, ce modem LTE doit permettre aux stations de bénéficier du service LTE existant à Salluit à travers une connexion sans fil Wi-Fi. Le FAI (Fournisseur d'Accès à Internet) fournit deux modèles de modem LTE : Huawei B890 et Microhard BulletPlus 4G/LTE.

Le Tableau 2 illustre les différences majeures entre les deux modèles de modems. Le modem BulletPlus possède deux antennes cellulaires externes, MAIN et DIV; elles permettent une meilleure réception du signal dans les zones avec une faible ou une mauvaise couverture alors que le modem B890 n'a qu'une seule antenne LTE. BulletPlus possède aussi un connecteur pour antenne Wi-Fi. Cela nous a laissé la possibilité de choisir une antenne Wi-Fi avec des gains plus élevés que l'antenne standard de l'opérateur pour atteindre une plus grande portée. Aux connecteurs nous avons lié les antennes LTE et Wi-Fi par des câbles coaxiaux pour les fixer à l'extérieur des coffrets pour éviter les interférences et les pertes dues au coffret. De plus, la température de fonctionnement du modem est très importante, la température au nord de Québec est de -40°C en hiver et les coffrets des stations ST-A ST-B et ST-GN ne sont pas chauffés. Pour ces raisons, nous avons choisi le modem BulletPlus pour notre système de communication sans fil (figure 18).

Tableau 2. Les différences entre B890 et BulletPlus

Modèle	Température de fonctionnement	Connecteur d'antenne cellulaire	Connecteur d'antenne Wi-Fi
B890	$-30^{\circ}\sim+70^{\circ}$	1 connecteur	Aucun
BulletPlus	$-40^{\circ}\text{C} +85^{\circ}\text{C}$	MAIN DIV	1 connecteur

b. Modem BulletPlus

BulletPlus est doté de trois ports Ethernet RJ45, d'une double carte SIM, de 2 entrées/sorties programmables, d'un GPS autonome, d'une connexion Wi-Fi 802.11b/g/n et d'un port de communication RS-23 (figure 18).



Figure 18. Vue des deux côtés du modem BulletPlus 4G/LTE

Ce modem LTE utilise l'infrastructure cellulaire pour fournir un accès réseau aux périphériques (câblés ou sans fil) où la couverture cellulaire est prise en charge par l'opérateur. Le BulletPlus peut aussi être utilisé comme un routeur sans fil lorsque le Wi-Fi est activé, ce qui permet d'accéder au service Internet en configurant la connexion réseau sans fil avec le routeur, comme illustré à la figure 19.

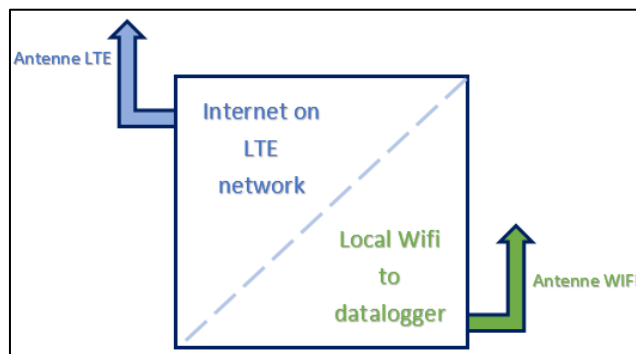


Figure 19. Interfaces Wi-Fi et LTE du Modem BulletPlus (avec deux antennes séparées)

La figure 20 illustre la structure du modem. Les modules du système sont décrits comme suit.

- Accès LTE : Le modem adopte la technologie d'accès LTE du côté WAN. Le modem peut accéder au réseau à large bande 4G/LTE.

- Fonction WLAN AP : Une interface WLAN AP 802.11 b/g/n est fournie, et utilisée pour les réseaux sans fil. L'interface est conforme à la norme IEEE 802.11 b/g/n et à l'authentification de sécurité WPA-PSK/WPA2-PSK/WEP.
- DHCP/DNS : Le serveur DHCP alloue dynamiquement, aux terminaux connectés au réseau, les adresses IP et les masques de sous-réseau. Le DNS est un service utilisé pour trouver la correspondance entre les noms de domaines et les adresses IP.
- Gestion Web : Pour configurer, modifier et interroger les informations de configuration du B890.
- Routage et NAT : Capacité de routage à grande vitesse. Avec le NAT intégré, les terminaux 4G/LTE peuvent fournir des solutions d'accès haut débit et des schémas de réseau flexible.

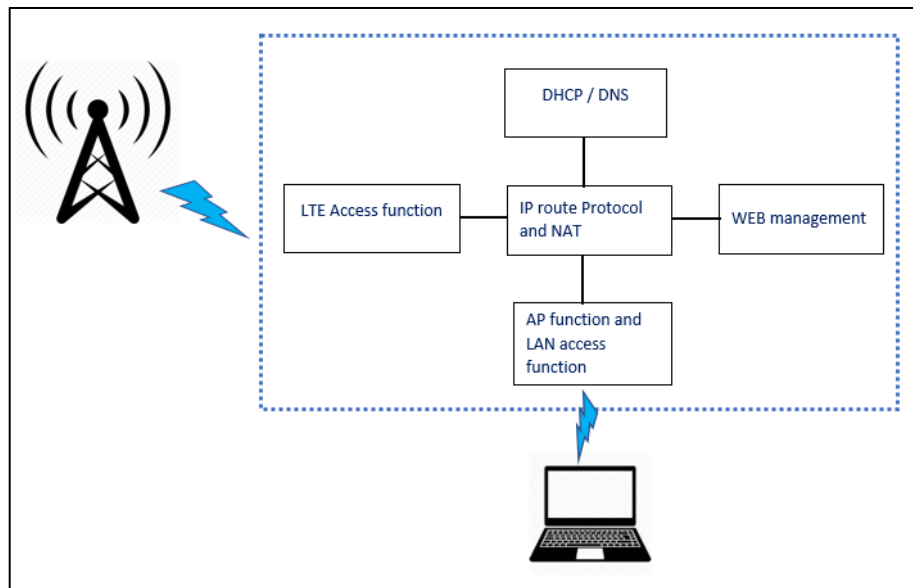


Figure 20. Structure du système

3.3.2- Modules de communication

Afin de transmettre les mesures enregistrées par des points de mesures isolés aux centrales de collecte de données, des dispositifs de communications sans fil sont nécessaires. Ces dispositifs permettent aussi la maintenance à distance des capteurs connectés.

La compagnie Campbell Scientific offre plusieurs dispositifs de communication compatibles avec les CR1000 déployés à Salluit. Le CR1000 peut communiquer via des interfaces Ethernet, des modems multi drop, des modems cellulaires, des transmetteurs satellitaires et

en télémétrie RF. Pour se connecter au réseau LTE, l'ajout d'un dispositif de communication convenable branché au datalogger CR1000 est essentiel. Deux options sont valables, la communication directe Ethernet avec le modem et la communication Wi-Fi avec le point d'accès sans fil créé par le modem LTE.

c. L'interface Ethernet

NL121 est l'interface Ethernet, de la compagnie Campbell Scientific, qui autorise aux dataloggers les communications Ethernet; elle permet aux CR1000 de se connecter à un réseau IP. Cette interface de communication se connecte directement au port périphérique à 40 broches du CR1000, et elle est l'option idéale pour le datalogger qui se trouve dans la même station que le modem (figure 21).



Figure 21. Le périphérique NL121 attaché au CR1000 de Campbell Scientific

La configuration du NL121 se fait à partir d'un ordinateur qui exécute un logiciel de support du Datalogger en se connectant au CR1000 par le port RS-232.

d. Le périphérique de communications Wi-Fi

Le NL240 est l'interface de communications Wi-Fi, de la compagnie Campbell Scientific, qui fournit au CR1000 un accès direct à Internet (figure 22). Elle permet de communiquer avec les dataloggers en Wi-Fi. NL240 prend en charge les normes de réseau sans fil 802.11b, 802.11g et 802.11n et utilise seulement la bande de fréquence 2.4 GHz. La technologie Wi-Fi transmet à des fréquences autour de 2.4 et 5 GHz; plus la fréquence est réduite plus la distance de communication est élevée, mais la vitesse de transmission est moins rapide.



Figure 22. NL240 et antenne Wi-Fi.

Une antenne conçue pour les communications Wi-Fi à 2.4 GHz doit être jumelée au NL240 via le connecteur d'antenne RP-SMA mâle. L'interface NL240 peut se connecter au CR1000 soit par son port CS I/O ou par le port RS-232. Il peut être alimenté soit par le port CS I/O en se connectant au CR1000 ou par une alimentation externe lorsqu'il est connecté par le port RS-232. Dans notre projet, le NL240 est alimenté par le port CS I/O puisqu'il n'y a pas de prise de courant dans les stations. Lorsque le NL240 est sous tension, il rejoint le réseau Wi-Fi ouvert le plus puissant, ou le réseau Wi-Fi auquel il a été configuré pour se connecter. Une fois que NL240 rejoint le réseau, la lumière D.E.L. verte clignote et s'arrête de clignoter une fois qu'il réussit à obtenir une adresse IP. Le niveau de puissance d'émission du module NL240 est fixé à 7 dBm (faible), 10 dBm (moyen), 16 à 17 dBm (élevé).

Pour configurer le NL240, il faut connecter un câble USB entre le port USB du NL240 et le port USB de l'ordinateur exécutant un logiciel de support du Datalogger (figure 23).

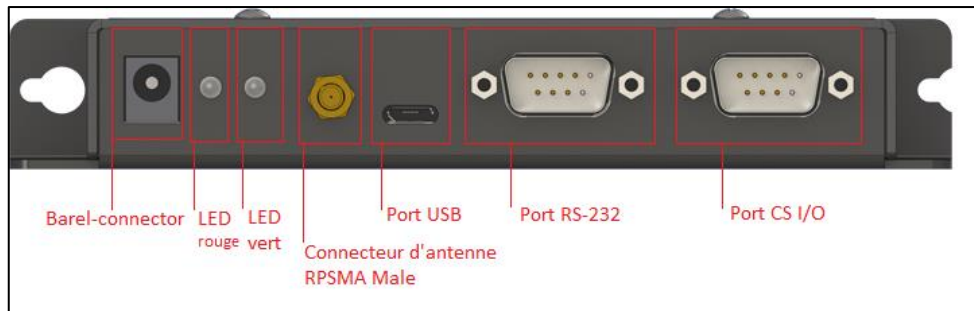


Figure 23. Les ports et les connecteurs du périphérique NL240

3.3.3- Antennes Wi-Fi

L'antenne Wi-Fi doit être positionnée de façon à minimiser la longueur du câble coaxial, ou idéalement connectée directement au module de communication NL240. De plus, le choix et le placement de l'antenne Wi-Fi a des impacts sur la qualité des communications puisqu'ils affectent la puissance du signal transmis et reçu.

Pour la connexion directe au NL240, il faut choisir un câble coaxial ou une antenne avec un connecteur femelle RP-SMA correspondant. Étant donné que, pour nos systèmes d'acquisition, chaque NL240 connecté au datalogger CR1000 se trouve dans un coffret de protection, l'utilisation d'un câble coaxial entre l'antenne et NL240 est nécessaire pour la fixer à l'extérieur du coffret. En outre, il y aura des pertes à travers les connecteurs et le câble, mais ceux-ci sont négligeables.

Il est très important de vérifier que le niveau de puissance d'émission sélectionnée et le gain de l'antenne attachée ne dépassent pas le maximum autorisé par les réglementations locales. Les règlements varient selon le pays et la région. La limite maximale permise au Canada pour le spectre étalé (900 MHz, 2,4 GHz et 5 GHz) est de 1 watt (ou 1000 mW). Cela se traduit par 30 dbm.

Les antennes employées à Salluit, dans le point d'accès Wi-Fi (ST-A) et sur les interfaces de communication sans fil (ST-B et ST-GN), sont des antennes Wi-Fi 2.4 GHz à couverture omnidirectionnelle pour utilisation destinée à atteindre une plus longue portée possible. Le choix des antennes Wi-Fi utilisées est dû principalement à la distance entre le point d'accès sans fil et la station (figure 24).

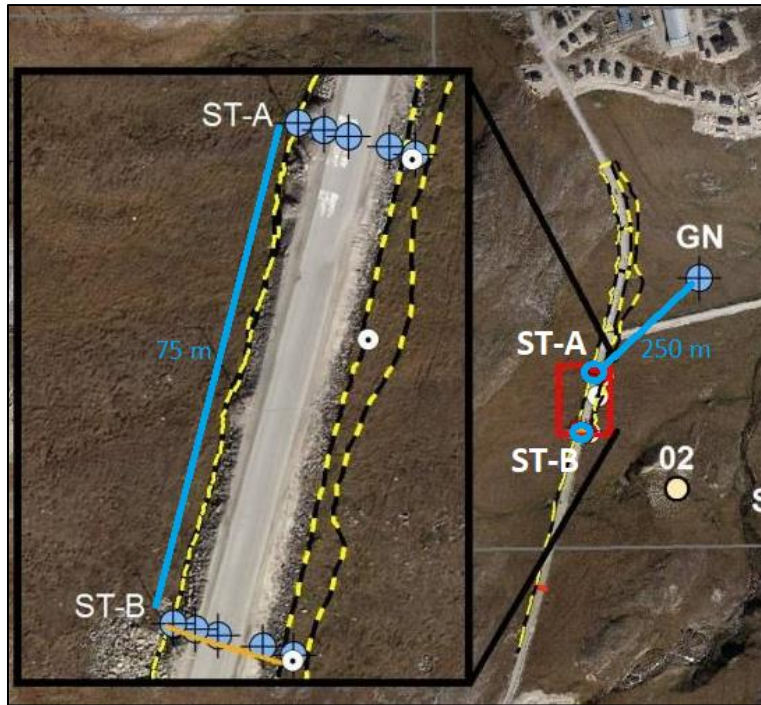


Figure 24. Distance entre les trois stations ST-A et ST-B et ST-GN

3.3.4- Travail sur le chantier

a. Vue globale sur les nouvelles installations

Deux voyages à Salluit ont eu lieu, le premier en août 2017 (du 21 au 28 août) et le deuxième en septembre 2017 (du 27 au 30 septembre). Le but principal était d'installer les équipements permettant la mise en place du réseau sans fil des capteurs (en août), et finaliser ces installations et régler quelques problèmes (en septembre). Nous voulions aussi voir de près les stations des systèmes d'acquisition et les défis qui peuvent se poser durant la réalisation du projet. Comme discuté préalablement, le matériel employé consiste principalement en :

- Points d'accès.
- Module de communication sans fil et Ethernet
- Antenne et connectiques

Le travail sur le terrain est divisé essentiellement en deux parties. La partie de la mise en place des modems LTE dans deux stations, le branchement des antennes LTE et Wi-Fi et le placement à l'extérieur des coffrets et la vérification de la connectivité avec le réseau LTE à Salluit. La deuxième partie consiste à brancher les interfaces de communications Wi-

Fi/Ethernet au dataloggers, la configuration des dataloggers pour une collecte sur un calendrier qu'on a défini, le branchement des antennes Wi-Fi au NL240 et la configuration des interfaces NL240 et NL121 afin de joindre notre réseau Wi-Fi. Ensuite, il faut tester la connexion entre chaque datalogger et le point d'accès sans fil et aussi tester la collecte de donnée de chaque station à partir d'un réseau distant sur des périodes définies.

Pour ce faire, nous avons branché un modem LTE à l'intérieur de la station ST-A, puisque c'est la seule station reliée à une source d'alimentation (voir la station DTS en annexe). Cela implique que pour cette station, la connexion du système d'acquisition à Internet est directe (câble Ethernet). Nous avons connecté le datalogger de la ST-A directement au module Ethernet NL121, qui est à son tour lié par câble Ethernet au modem. Aux stations ST-B et ST-GN, nous avons lié l'enregistreur de donnée CR1000 à l'interface de communication Wi-Fi NL240 et l'antenne Wi-Fi appropriée pour chacune des stations a été mise en place, leur permettant la connexion à Internet comme illustré sur la figure 25.

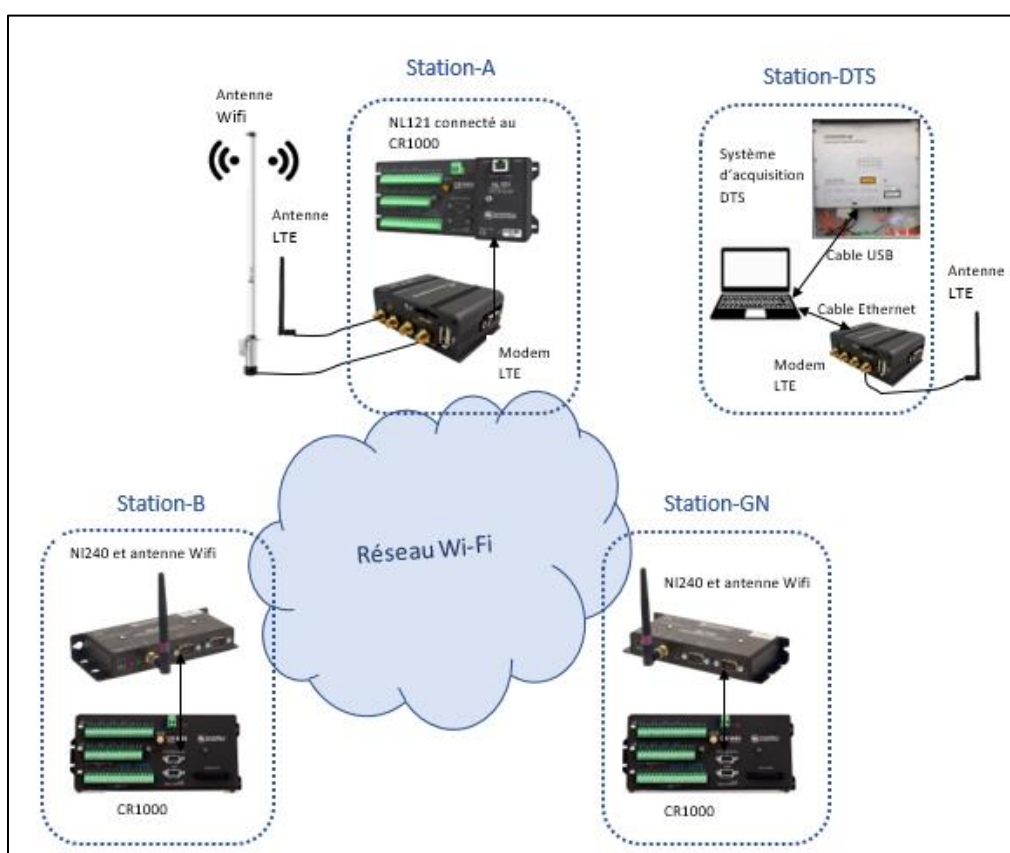


Figure 25. Vue globale sur les nouvelles installations réalisées à l'été 2017

Les composants de chaque station après l'installation des nouveaux équipements réseau sont décrits séparément ci-dessous.

b. Station-A

- Modem LTE à l'intérieur du coffret. Modèle BulletPlus 4G/LTE de Microhard.
- Antenne LTE MAIN de Tamaani, à l'extérieur du coffret, raccroché au modem LTE par un câble coaxial de 3 mètres (figure 26).
- Antenne Wi-Fi 2.4 GHz omnidirectionnelle 12 dBi, à l'extérieur du coffret, connectées au modem LTE par câble RP-SMA to N (figure 26). Modèle de l'antenne TL-ANT2412D.
- Module Ethernet NL121 lié directement au datalogger CR1000 via le port périphérique et attaché au modem via le port Ethernet par câble Ethernet (figure 27).



Figure 26. Vue de la ST-A.
1. Coffret fermé contenant le système d'acquisition et le modem LTE. 2. Antenne Wi-Fi. 3. Antenne LTE

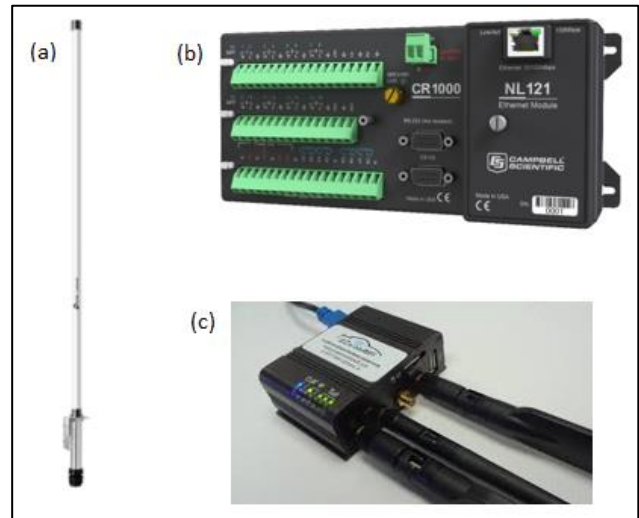


Figure 27. Les composants de la ST-A. (a) Antenne Wifi omnidirectionnelle, (b) NL121 lié au CR1000, (c) Modem Bulletplus LTE

c. Station-B

- Un périphérique de communication sans fil NL240 à l'intérieur du coffret est lié au CR1000 via le port CS I/O (figure 28).

- Une antenne Wi-Fi 2.4 GHz omnidirectionnelle de 4.4 dBi à l'extérieur du coffret est connectée au NL240 par câble coaxial (figure 29). Modèle de l'antenne FW.24.SMA.M.

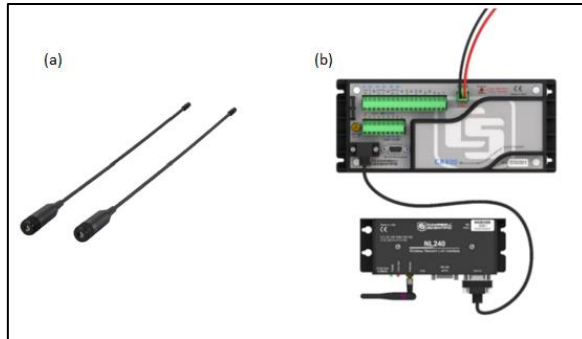


Figure 28. Les composants de ST-B: (a) Antenne Wi-Fi de gain 4.4 dBi et (b) NL240 connecté au datalogger.



Figure 29. Vue de la ST-B.
1. Système d'acquisition de données,
2. Antenne Wi-Fi.

d. Station-Glisement-Nord GN

- Après la collecte manuelle des données par un PC portable connecté directement au CR10X via un câble « RS-232 to USB », nous avons remplacé en août 2017 le système d'acquisition CR10X, Campbell Scientific Canada Corp, utilisé depuis 2006 par le CR1000.
- Un périphérique de communication sans fil lié au CR1000 par le port CS I/O. NL240 de Campbell Scientific (figure 30).
- Une antenne Wi-Fi 2.4 GHz omnidirectionnelle de 8 dBi à l'extérieur du boîtier connectées au NL240 par un câble RP-SMA to N (figure 31).

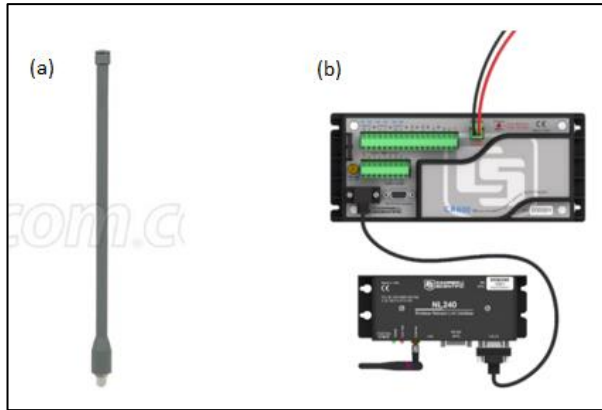


Figure 31. Les composants de ST-GN. (a) Antenne Wi-Fi de 8dBi et (b) NL240 lié au datalogger



Figure 30. Vue de ST-GN

e. Les mesures RSSI

Le RSSI (Received Signal Strength Indication) est la mesure de la puissance en réception d'un signal d'une antenne. Il s'agit d'une indication de la qualité de la réception. La mesure est exprimée dans une échelle logarithmique en dBm. La valeur du RSSI est affectée par les interférences provenant d'autres signaux, les réflexions, les diffractions et la présence d'obstacles sur le trajet [15].

Le RSSI des différentes technologies sans fil n'est pas comparable. En Wi-Fi les mesures usuelles du RSSI pour un terminal varient entre un minimum de -90 dBm et un maximum de -30 dBm. Dans les réseaux 4G LTE les valeurs du RSSI varient usuellement de -30 dBm jusqu'à -140 dBm selon la distance avec l'antenne émettrice. Cependant les fabricants fournissent leur propre gamme de valeurs RSSI (de 0 à RSSI maximum).

- **RSSI LTE**

Le RSSI est calculé par le modem LTE, matériel du récepteur. La valeur du RSSI peut être consultée sur la page Web du modem, cette valeur montre le niveau de signal reçu par le modem depuis l'antenne LTE de Tamaani.

Les mesures du RSSI du modem LTE à la station-A sont présentés au Tableau 3. Ces mesures sont prises lors de notre premier séjour à Salluit en août 2017 pour des cas qui peuvent affecter la qualité du signal reçu. Dans le 1^{er} cas, le modem est à l'intérieur coffret ouvert, dans le 2^e cas, le modem est dans un coffret fermé et dans le 3^e cas, le modem est à l'extérieur du coffret.

Tableau 3 Mesures du RSSI du signal LTE lu sur la page du routeur à la station-A

Coffret ouvert	Coffret fermé	Extérieur du coffret
≈ -74 dBm	≈ -80 dBm	≈ -73 dBm

Le Tableau 3 montre qu'il y a des pertes d'environ 6 dBm à la station-A juste en fermant la porte du coffret. Et en comparant le RSSI lorsque le modem est dans un coffret fermé et lorsqu'il est à l'extérieur du coffret, nous notons que nous avons une augmentation de 7 dBm en le plaçant à l'extérieur.

Cela indique qu'il faut éviter l'installation des modems à l'intérieur des coffrets. De plus, le cas du coffret ouvert n'est pas faisable puisque le rôle du coffret est la protection du système d'acquisition. Donc pour avoir un RSSI élevé, il faut mettre les modems à l'extérieur afin de diminuer les pertes dues au coffret. L'installation du modem à l'extérieur du coffret exige l'utilisation d'un boîtier qui protégera le modem et, en même temps, laissera les antennes à l'extérieur de ce boîtier. Malheureusement, le fournisseur des modems n'avait pas encore terminé la fabrication de ces boîtiers à l'été 2017.

Ainsi l'option, faisable durant nos voyages en août et en septembre 2017, pour avoir une bonne qualité de signal reçu, était de laisser le modem protégé dans le coffret et placer les antennes Wi-Fi et LTE à l'extérieur du coffret en utilisant des câbles coaxiaux RG-58. Le câble utilisé est de 3 mètres a été testé à l'Université Laval, avant notre voyage en septembre à Salluit.

Avant le deuxième voyage à Salluit en septembre 2017, nous avons réalisé des tests à l'Université pour voir les mesures RSSI après l'introduction de câble coaxial pour chaque modem. Le tableau ci-dessous montre les résultats pour le modem-A⁶.

⁶ Le modem-A réfère au modem installé à la station-A.

Tableau 4. Les RSSI en dBm du modem-A

RSSI en dBm	
Sans câble	Câble coaxial
-66	-69
-67	-71
-70	-73
-71	-74

Les résultats du Tableau 4 montrent qu'on doit s'attendre à des pertes entre 3dBm et 5 dBm si nous utilisons des câbles coaxiaux de 3 mètres pour placer les antennes LTE à l'extérieur du coffret.

- **RSSI Wi-Fi**

Le NL240 calcule le RSSI sur une échelle comprise entre -100 dBm et 0 dBm. Cette mesure indique la force du lien entre l'émetteur et le récepteur. Plus le nombre est élevé, meilleure est la connexion entre les périphériques Wi-Fi. Le fabricant Campbell Scientifique définit la gamme pour une connexion fiable par des mesures du RSSI comprises entre -85 dBm et -15 dBm. Une connexion faible est comprise entre -85 dBm et -95 dBm.

Une fois que le NL240 rejoint le réseau Wi-Fi, nous notons les valeurs du RSSI affichées sur le logiciel « Device Configuration Utility » de Campbell Scientifique. Le NL240 doit être branché, par câble USB, à l'ordinateur exécutant le logiciel de configuration. Les valeurs RSSI de chaque interface NL240 sont prises en août 2017. Et nous avons profité du deuxième voyage à Salluit en septembre pour améliorer nos lectures RSSI en utilisant des antennes Wi-Fi 2.4 GHz omnidirectionnelles avec des gains plus élevés que celle déployée en août, du côté du NL240 et du côté du point d'accès sans fil.

Le Tableau 5 contient les valeurs du RSSI sur les interfaces NL240 de chaque station. Le tableau est divisé en deux parties : les mesures du RSSI lues en août 2017 et les mesures prises en septembre 2017. En août, à la station-A et à la station-B, nous avons utilisé une antenne Wi-Fi de gain égal à 0 dBi connectée au NL240, et à la station-GN, nous avons utilisé une antenne de gain égal à 5 dBi. Et en septembre, nous avons changé la communication sans fil à la station-A par une liaison Ethernet (afin de conserver le NL240 pour une utilisation

future), à la ST-B avec une antenne de 4.4dBi et à ST-GN avec une antenne de 8 dBi. En plus de ces changements au niveau de la réception, des modifications ont aussi eu lieu en septembre au niveau de l'antenne émettrice (branché au modem). L'antenne Wi-Fi de 8 dBi en août a été remplacée par une antenne de 12 dBi omnidirectionnelle. Ces changements ont effectivement amélioré le niveau du RSSI lu sur chaque interface NL240 en septembre.

Tableau 5 Mesures du RSSI lu sur le NL240 en dBm en août et septembre 2017

Stations	RSSI lu sur NL240 en dBm	
	Août 2017	Septembre 2017
Station-A	-9	-
Station-B	-78	-64
Station-GN	-70	-66

Il faut noter que le RSSI est également affecté par la météo, la végétation, le terrain, les interférences et la longueur et le type de câble d'antenne.

3.4- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué nos choix des différents éléments participants dans la préparation du réseau sans fil. Ensuite nous avons illustré les travaux d'installation de ces éléments de communication à Salluit en août et en septembre 2017. Les tests qu'on a faits pour vérifier la force du lien entre l'émetteur (le point d'accès) et le récepteur (l'interface de communication sans fil) ont montré que la connexion est fiable puisque le RSSI mesuré est de -64 dBi pour ST-B et de -66 dBi pour ST-GN. Pour communiquer avec ces dataloggers à distance, des travaux de configuration des éléments de communication et la gestion du réseau sans fil ont été effectués et seront expliqués dans le chapitre suivant.

Chapitre 4 Gestion du réseau sans fil

4.1- Introduction au chapitre

La collection de matériel de télécommunication, détaillée dans le chapitre 3, est requise mais elle n'est pas suffisante pour la création d'un réseau sans fil local. Il est nécessaire de les configurer pour que les dataloggers, identifiés par des adresses IP, sur la route de l'aéroport et dans la vallée puissent communiquer avec le modem LTE (le point d'accès sans fil). À travers ce modems les capteurs peuvent accéder à l'Internet global. Le réseau LTE cellulaire auquel le modem est inscrit est connecté à un réseau satellitaire qui, à son tour, fournit le backhaul pour accéder à l'Internet global (figure 33). Sans cette connexion à Internet, les dataloggers ne peuvent pas envoyer les données sans intervention humaine. Cette configuration est aussi nécessaire pour être en mesure de surveiller à distance les dataloggers et collecter les données enregistrées afin de permettre aux chercheurs du Centre d'études nordiques de les analyser plus en détail.

Ce chapitre traite de la gestion du réseau sans fil. Nous expliquons les étapes de réglages suivis pour créer un réseau sans fil de capteurs qui nous permettra d'accéder aux dataloggers à partir d'un réseau externe. Nous présentons ensuite les réglages TCP/IP et les réglages radio du point d'accès sans fil nécessaires pour la communication au niveau du réseau WAN et les configurations des interfaces de communication pour que les dataloggers réussissent à joindre le réseau LAN (Wi-Fi). Après nous abordons la collecte à distance des données enregistrées dans la mémoire des dataloggers, la stratégie de la récupération de données quotidiennement ainsi que les avantages et désavantages de l'utilisation d'un logiciel propriétaire. Enfin, le chapitre traite de la surveillance à distance des dataloggers; le type et l'outil de surveillance utilisés sont décrits.

4.2- Réseau WAN

4.2.1- Adressage IP

L'activation du service d'adressage public statique auprès de l'opérateur pour le modem LTE est essentielle. L'administrateur réseau doit pouvoir accéder à l'adresse IP distante du modem à Salluit, ce qui signifie la nécessité d'une adresse IP routable et joignable. Une façon d'accomplir ceci est avec l'activation du service d'adressage public auprès de l'opérateur sans fil. L'adresse IP publique est une adresse IP généralement accessible par

quiconque sur Internet, en revanche l'adresse IP privée est une adresse IP qui n'est pas directement accessible sur Internet. L'adresse IP publique dynamique n'est pas une solution à notre réseau; la solution est l'utilisation d'adresse IP « publique statique » qui sera fixe est en même temps accessible à distance.

L'adresse IP publique unique, fournit par le FAI (Fournisseur d'Accès à Internet), est attribué à une carte SIM (Subscriber Identity Module) LTE qui doit être installée dans le modem. Cependant, le modem ne pourra être utilisé sur le réseau cellulaire qu'après avoir spécifié l'APN (Access Point Name) du fournisseur de service Internet à Salluit « nunavik.ca » (figure 32).

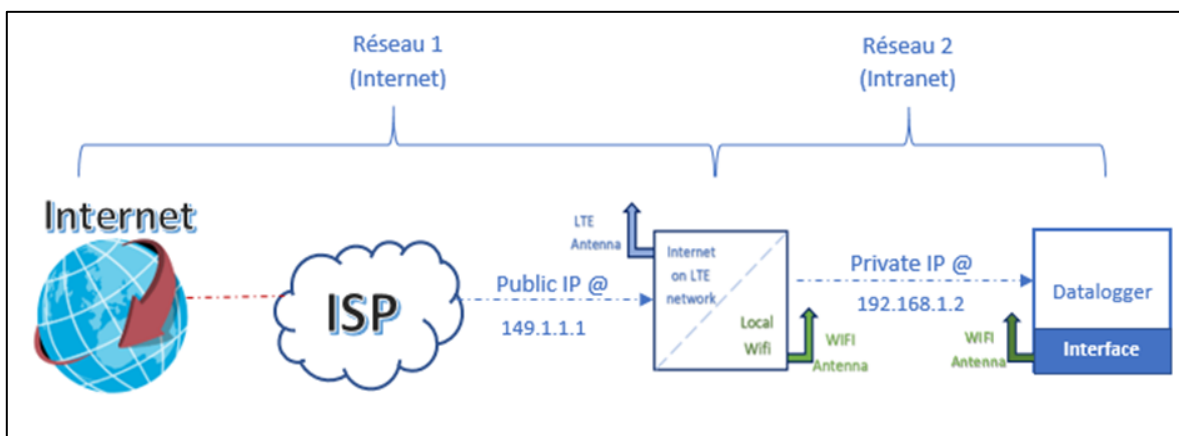


Figure 32. Réseau 1 interne et réseau 2 externe

D'autre part, l'attribution d'adresse IP publique statique au modem remplace la disposition d'adresses IP publiques uniques pour chaque équipement du réseau local. Nous attribuons une adresse IPv4 privée à chaque interface de communication du réseau local de capteurs à Salluit. L'attribution statique des adresses IP aux dataloggers nous permet de contrôler les adresses attribuées, surtout que le réseau est de petite taille.

4.2.2- Redirection de ports et pare-feu

Le modem est configuré avec une adresse IP publique, et les dataloggers du réseau privé sont connectés soit par Ethernet (datalogger à la ST-A), ou communiquent via un réseau local sans fil (dataloggers de la ST-B et ST-GN). Ces dataloggers ne sont pas visibles directement depuis l'extérieur du réseau internet, puisqu'ils communiquent chacun avec une adresse IP privée. Le modem LTE est configuré par défaut en mode routeur qui lie

deux réseaux. Il lie le réseau entre le modem et le FAI, et le réseau entre le modem et les hôtes locaux qui y sont reliés.

Lorsque les paquets traversent la passerelle réseau, il faut rediriger les requêtes de communication provenant d'une combinaison d'adresse et de port à une autre. En général, la redirection de ports permet aux ordinateurs distants (sur Internet par exemple) de se connecter à un ordinateur et vers un service spécifique au sein d'un réseau local privé LAN. Cela se fait pratiquement en deux phases, la configuration de port qu'il faut ouvrir et ensuite la redirection vers l'équipement réseau sur lequel le port doit être ouvert.

Pour un appareil cellulaire comme le modem utilisé, il est aussi important de configurer le pare-feu pour protéger les périphériques connectés au modem et pour contrôler l'utilisation des données en déterminant quelles communications sont autorisées sur ce réseau informatique. Cela est particulièrement important puisque le modem est configuré avec une adresse IP publique. Pour ce cas, il faut bloquer tout le trafic cellulaire et définir des règles pour n'ouvrir que des ports et adresses IP spécifiques.

Sur l'interface Web du modem, les requêtes provenant de périphériques WAN et toutes les requêtes provenant des périphériques du côté cellulaire (opérateur sans fil) ont été bloquées. Cependant l'accès aux ports 80 (HTTP) et 443 (HTTPS, si activé) est toujours disponible, sauf s'il est désactivé dans l'option WAN Remote Management. Cela signifie que toute requête WAN et cellulaire sera bloquée sauf indication contraire dans les règles d'accès, et dans les configurations de listes IP. De plus il faut bloquer le trafic du réseau local LAN accédant au réseau étendu WAN et bloquer le trafic du réseau local LAN accédant à la connexion cellulaire.

En interdisant ces trafics, la façon la plus sécuritaire consiste à autoriser uniquement le trafic provenant d'adresses IP approuvées, et uniquement les ports spécifiques utilisés. Les règles du pare-feu sont utilisées à ce point pour définir la manière selon laquelle les périphériques locaux et distants accèdent à différents ports et services. La configuration du pare-feu est très importante afin d'éviter des frais de données imprévisibles de la part du fournisseur de services cellulaires.

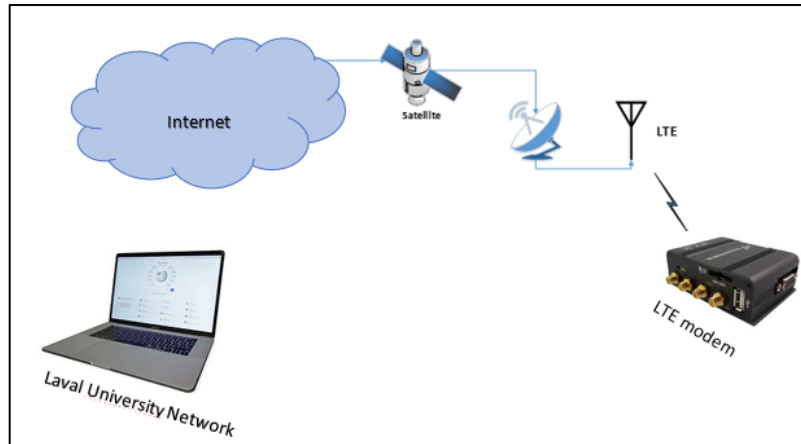


Figure 33. Connexion à distance d'un ordinateur à l'Université au modem LTE à Salluit

4.3- Réseau LAN (Wi-Fi)

En parallèle avec les configurations discutées précédemment au niveau du réseau WAN, d'autres configurations ont eu lieu au niveau du réseau LAN dans le but de permettre aux dataloggers de joindre le réseau Wi-Fi créé par le modem LTE. Premièrement, des configurations radio sur l'interface utilisateur du modem pour choisir le mode sans fil approprié, la largeur de bande, la fréquence du canal, le niveau de puissance d'émission Tx et définir la distance sans fil attendu par le signal sans fil. Ensuite la configuration des interfaces de communication sans fil NL240, de la station-B et de la station-GN, et l'interface Ethernet liée au datalogger de la station-A sur le logiciel LoggerNet fournit par le constructeur des interfaces et des dataloggers.

4.3.1- Le point d'accès sans fil à Internet

Le modem/routeur installé à la station-A constitue le point d'accès sans fil. Sur la page web du modem, les configurations suivantes ont été réalisées (voir annexe pour plus de détails) :

- Le choix du mode. Le modem installé à Salluit prend en charge les modes 802.11 b/g/n, plus précisément les modes 802.11 b et 802.11 b/g et 802.11 n/g. Étant donné que les interfaces de communication sans fil utilisées par le NL240 ne supportent que les technologies 802.11 b/g, alors nous choisissons le mode 802.11 b/g (Tableau 6).

Tableau 6 Les principaux amendements des protocoles 802.11 b et g

Protocole	Fréquences	Taux de transfert (Typ)	Taux de transfert (Max)	Portée (intérieur)	Portée (extérieur)
802.11 b	2.4-2.5 GHz	6.5 Mbit/s	11 Mbit/s	~ 35m	~ 140m
802.11 g	2.4-2.5 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~ 38m	~ 140m

- Le choix de la largeur de bande passante. L'utilisation d'une bande passante de canal élevée fournit des débits de données plus élevés, mais elle est plus sensible au bruit et couvre des distances courtes. Par contre les largeurs de bande du canal réduites fournissent une portée plus longue et des débits de données inférieurs à ceux de la bande passante élevée. Cependant, dans notre réseau sans fil à Salluit nous devons d'abord nous assurer que le signal provenant du point d'accès AP va pouvoir arriver aux dataloggers, alors la portée est plus importante que le débit des données et nous avons choisi la bande de 20 MHz (la plus petite bande passante supportée par le modem).
- Le choix de la fréquence du canal . Le réseau Wi-Fi en mode infrastructure dépend du canal choisi au niveau du point d'accès sans fil. Le modem utilisé offre une sélection de 11 canaux. Nous changeons la fréquence du canal choisie par défaut à la plus petite fréquence, Channel 01 : 2.412 GHz.
- Le choix de la valeur de la puissance d'émission Tx adéquate. La puissance Tx est celle qui sera présentée aux connecteurs d'antenne à l'arrière du modem. Le modem offre une sélection de 12 niveaux de puissance qui varient de 0 dBm jusqu'à 30 dBm. Nous choisissons la valeur 30 dBm.
- Le choix de la distance attendue pour le signal Wi-Fi. Le modem choisi par défaut la distance de 100 m. Mais puisque la plus grande distance entre une station et le point d'accès sans fil est de 250 m (entre la station-GN et la station-A, voir la figure 34), nous choisissons la valeur 300 m pour permettre au signal émis d'arriver à l'antenne de réception. Cela va permettre au modem de supposer que le signal peut avoir besoin de parcourir jusqu'à 300 m pour définir différents délais d'attente internes pour tenir compte de ce temps de trajet.

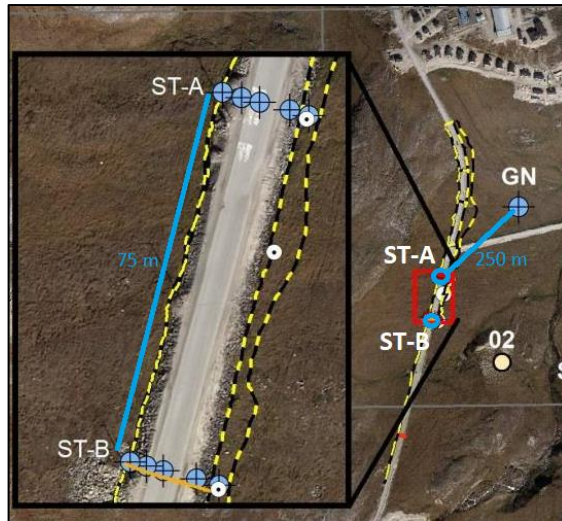


Figure 34. Distance entre les stations

4.3.2- Les modules de communication

Pour communiquer dans le cadre LAN, les dataloggers ont besoin d'une adresse IP et d'un masque de sous-réseau. Les modules de communication NL240 et NL121 attachés aux dataloggers devront être configurés par le logiciel de support LoggerNet (sur l'icône Device Configuration Utility). Les configurations sont possibles une fois que les modules sont attachés aux datalogger et que le datalogger est connecté à l'ordinateur, exécutant le logiciel, par un câble série entre le port USB de l'ordinateur et le port RS-232 du datalogger. La configuration dynamique est convenable aux réseaux Wi-Fi de type infrastructure. Cependant, l'adresse IP affectée change après une période de temps et de plus les paramètres IP sont connus (faiblesse de sécurité). Pour cela, nous affectons à l'interface de communication une adresse IP fixe ainsi que le masque et la passerelle.

Il est aussi important de fixer le niveau de puissance d'émission du module NL240. Le niveau de puissance peut être réglé sur trois niveaux : faible (7 dBm), moyen (10 dBm) ou élevé (16-17 dBm), tant que le dBm total n'excède pas 30 (ne dépasse pas 1 watt). Les signaux se propageant dans l'espace se dégradent avec les obstacles et la distance limitant par la suite le débit et la portée de la liaison. Il faut également spécifier le numéro de port de chaque module de communication NL240. Ces numéros de ports devront être les mêmes ports LAN utilisés lors de la redirection de ports.

L'ensemble de ces étapes de configuration au niveau des réseaux WAN et LAN nous ont permis de créer un réseau de capteurs sans fil par lequel nous pouvons récupérer les données à distance.

4.4- La collecte de données

Notre objectif, après avoir mis en place le réseau de capteurs sans fil à Salluit, est de pouvoir récupérer d'une façon quotidienne les données enregistrées dans la mémoire des dataloggers pour permettre aux chercheurs du Centre d'études nordiques de les analyser plus en détail.

Pour réaliser cette collecte de donnée, nous avons initialement choisi d'utiliser le logiciel LoggerNet fourni par le constructeur des dataloggers, Campbell Scientific. LoggerNet est utilisé principalement pour la configuration des dataloggers, pour la récupération des données manuellement et pour la visualisation des données sous forme de graphiques. La particularité de ce logiciel, par rapport aux autres logiciels fournis par Campbell Scientific, est qu'il est aussi utilisé pour une collecte programmée à distance des données enregistrées de plusieurs dataloggers en même temps.

La récupération des données d'une façon régulière par LoggerNet nécessite la configuration d'un programme de collecte automatique pour chaque datalogger et aussi la détermination d'un plan de récupération selon lequel nous voulons recevoir les données (exemple : une récupération chaque 4 heures). La collecte de données par le logiciel LoggerNet *exige que les dataloggers soient connectés tout le temps à Internet* pour que cette collecte soit automatique. Lorsque la planification de la récupération de données est activée, la communication entre le logiciel et le datalogger est établie et le logiciel LoggerNet est opérationnel sur un ordinateur, le serveur LoggerNet lance des messages vers l'enregistreur de données sur le plan que nous avons défini et collecte les données. Les données collectées par LoggerNet s'enregistrent sous format « fichier.dat » sur l'ordinateur qui exécute le logiciel.

La communication entre le datalogger et le logiciel peut se couper pour différentes raisons. Lorsque l'hôte à l'Université Laval perd la communication avec un enregistreur de données la collecte automatique de donnée s'arrête. À ce stade, une nouvelle intervention manuelle est requise pour se connecter à nouveau avec chaque enregistreur de données et recommencer la récupération automatique des données. Notez que lorsque la connexion se coupe, l'intégrité

de données est conservée (aucune donnée n'est perdue). Cependant, la récupération à distance est perdue jusqu'à ce qu'elle soit réinitialisée.

L'utilisation du logiciel fourni par le fabricant présente plusieurs inconvénients. D'abord, un ordinateur dédié à l'opération de collecte de données est nécessaire, le logiciel doit être en cours d'exécution sur cet ordinateur en tout temps. Deuxièmement, dans le cas de perte de connexion avec les dataloggers, il faut rétablir la communication manuellement entre le logiciel LoggerN et chaque datalogger. Cela est plus problématique pour notre réseau sans fil de capteurs où il n'est possible de résoudre un problème de réseau, s'il survient, qu'une fois par année.

Avant notre voyage à Salluit nous avons réalisé avec succès, à l'Université Laval, des collectes régulières de données de deux dataloggers (connecté au module NL240) par le logiciel LoggerNet toutes les 60 minutes pendant un mois au laboratoire. Ce qui n'est pas surprenant, puisque l'Université dispose d'une connexion Internet très stable. Ces données ont été sauvegardées sur le pc portable exécutant le logiciel LoggerNet.

Lors de notre séjour à Salluit nous avons aussi réussi à récupérer toutes les données des trois stations (ST-A, ST-B et ST-GN) qui ont été mesurées par les capteurs et enregistrées dans la mémoire des dataloggers pendant une année, d'août 2016 à août 2017. Cette collecte de donnée a été faite depuis l'hôtel du village en se connectant à L'Internet par un modem LTE de Tamaani.

L'utilisation du logiciel LoggerNet sur le chantier nous a montré qu'une personne doit être dédiée à la collecte de donnée pour établir la communication entre le logiciel et le datalogger à chaque fois qu'elle se coupe, puisqu'on a remarqué que les dataloggers ont perdu la communication avec le logiciel plusieurs fois durant notre séjour à Salluit.

Cela nous a motivés à chercher un outil qui nous permettra de vérifier régulièrement la connectivité à la fois pour mieux comprendre les problèmes de connectivité de notre réseau sans fil et aussi pour créer un meilleur plan pour la récupération régulière des données (4.5- La surveillance réseau). Nous avons aussi constaté qu'à long terme, il est préférable d'utiliser une autre solution pour la récupération de données qui n'exige pas de connectivité continue; c.-à-d. sans utiliser le logiciel Campbell (5.2- Résultats de la collecte de données).

4.5- La surveillance réseau

4.5.1- Le type de surveillance réseau appliqué

La surveillance du réseau informatique par l'administrateur réseau est le processus de la gestion de réseaux. Les types de surveillance réseau diffèrent selon ce que nous surveillons dans le réseau informatique:

- La surveillance des performances : pour vérifier la vitesse du réseau et la charge du réseau, le processeur CPU et la charge de la mémoire. Cette surveillance indique les charges auxquelles le réseau est soumis et alerte sur les problèmes de performances.
- La surveillance de la bande passante : permet d'analyser et de classifier le trafic réseau ventilé par port, adresse IP, protocole ou autres paramètres. En utilisant SNMP, le reniflage de paquets et NetFlow, la surveillance de la bande passante donne un aperçu complet du trafic qui circule dans le réseau.
- La surveillance de la disponibilité : utilise des tests PING pour vérifier si les périphériques réseau et sites Web peuvent être atteints.

Notre but est de surveiller en permanence la disponibilité de nos périphériques réseau à Salluit. Par conséquent, nous ne sommes intéressés que par le dernier type, qui est la surveillance de la disponibilité. Nagios est un outil gratuit open source qui est souvent utilisé pour surveiller la disponibilité des services, des serveurs, des routeurs et des commutateurs. En utilisant cet outil, nous devons être en mesure de vérifier à distance, depuis le réseau UL (Université Laval), la connexion de chaque datalogger au réseau sans fil à Salluit toutes les 30 secondes. Ainsi nous pouvons voir et analyser les intervalles de temps où les dataloggers du réseau ne peuvent pas être atteints ; ces temps d'arrêt peuvent être causés par une variété de problèmes. Pour ce faire nous avons choisi Icinga, un *fork*⁷ du logiciel Nagios qui offre la surveillance de la disponibilité des services réseaux TCP.

4.5.2- L'outil de surveillance

Icinga est un système informatique open source et une application de surveillance réseau. Icinga est un fork de l'application de surveillance du système Nagios, l'application tente

⁷ Un fork est un nouveau logiciel créé à partir du code source d'un logiciel existant lorsque les droits accordés par les auteurs le permettent. Exemple : Icinga est un fork de Nagios.

de surmonter les insuffisances perçues dans le processus de développement de Nagios, ainsi que d'ajouter de nouvelles fonctionnalités [16] (figure 35).

En raison de sa nature *fork* de Nagios, Icinga offre les fonctionnalités de Nagios avec des ajouts tel qu'un module de rapport (reporting) optionnel, des connecteurs de base de données supplémentaires pour PostgreSQL et Oracle, et des systèmes distribués pour une surveillance redondante. Les principales fonctionnalités de Icinga sont :

- La surveillance : la surveillance des services réseau (SMTP, POP3, HTTP, NNTP, ping, etc.). La surveillance des ressources de l'hôte (charge du processeur, utilisation du disque, etc.) et la surveillance des composants du serveur (commutateurs, routeurs, capteurs de température et d'humidité, etc.).
- La notification : Notification des personnes dans la liste de contacts lorsque des problèmes de service ou d'hôte se produisent et sont résolus (par courrier électronique, pager, message instantané ou méthode définie par l'utilisateur).
- La visualisation et rapports : Des interfaces utilisateur pour la visualisation de l'état de l'hôte et du service, des cartes réseau, des rapports, etc.

Afin de gérer les tâches de surveillance de la disponibilité des dataloggers à Salluit et exécuter les commandes de contrôles, nous avons utilisé le service Icinga2. Les fonctionnalités Icinga2, qu'il s'agisse des fonctionnalités par défaut tel que le composant « checker » ou « notification » ou d'autres fonctionnalités, sont activées à la demande. Pour éviter que le système dépende d'une machine locale, qui peut à tout temps s'éteindre et donc compromettre le projet, une machine virtuelle toujours en marche sur les serveurs de Calcul Canada garanti la disponibilité de la partie serveur de la surveillance de de la disponibilité des services (dataloggers) et de la collecte de données. Les différentes commandes de contrôle ont été exécutées sur une machine virtuelle VM de Calcul Canada via l'émulateur de terminal libre et open source PuTTY (figure 36).

Nous avons défini des services qui permettent de vérifier la disponibilité de chaque datalogger. Chaque service est défini par un nom, le type de la commande (check_TCP), le numéro de port, la fréquence des vérifications (toutes les minutes) et l'intervalle de temps avant la reprise de tentatives (chaque 30 secondes). La commande check_TCP sert à tester les connexions TCP avec les dataloggers. (Annexe B.3- Les configurations pour la

surveillance à distance). Une fois que les services sont définis, les informations de la surveillance sont affichées sur l'interface d'utilisateur Thruk.

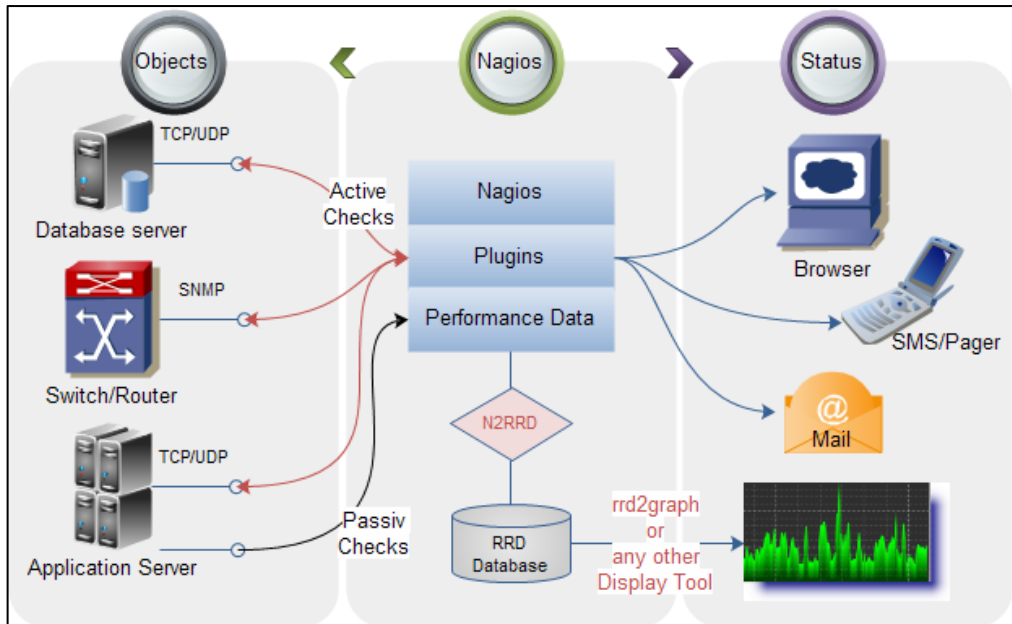


Figure 35. Principes d'opération de Nagios.

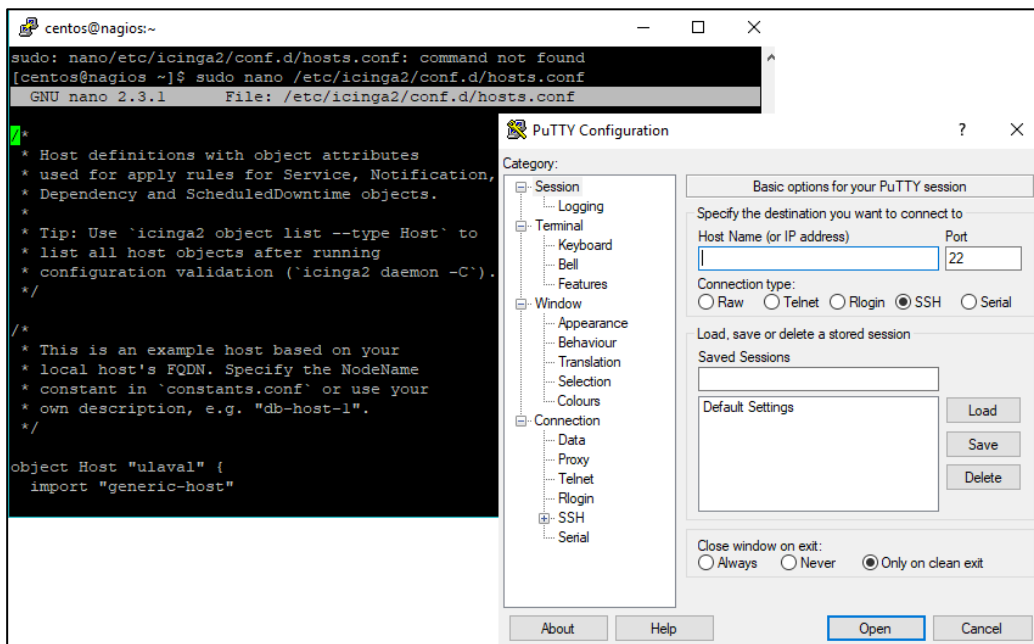


Figure 36. PuTTY sur Windows

4.5.3- L'interface de visualisation des résultats de la surveillance

La visualisation des résultats de la surveillance à distance des dataloggers ainsi que leurs rapports de disponibilités s'est faite sur l'interface web Thruk, une interface web gratuite et open source pour Nagios, Icinga et Shinken.

Comme indiqué sur la figure 37, Thruk fonctionne comme un processus FastCGI⁸ avec l'authentification gérée par le serveur HTTP Apache. Il est basé sur l'API (l'interface de programmation applicative) Livestatus, une méthode d'interaction avec les systèmes basés sur Nagios (comme Icinga). L'API Livestatus doit être exécuté sur le serveur de surveillance et permet à Thruk de s'exécuter indépendamment du serveur de surveillance, et donc Thruk peut être installé sur un hôte distant.

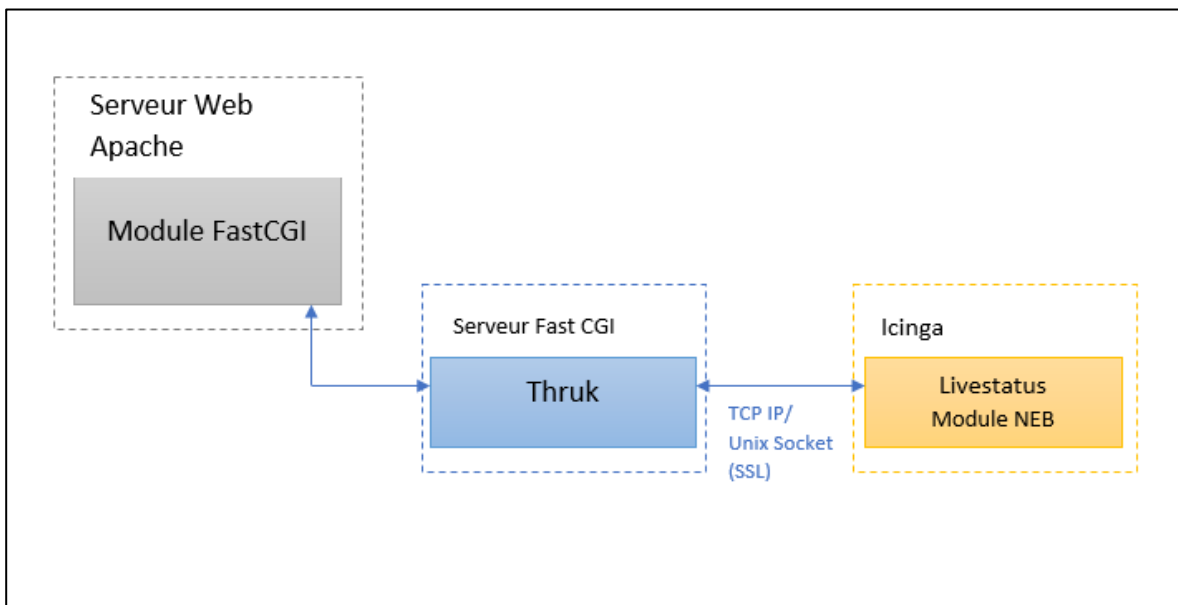


Figure 37. Principe de fonctionnement de Thruk

L'interface utilisateur Thruk présente des informations sur l'état de l'hôte et du service défini en temps réel. Elle présente aussi l'historique des états sous forme de rapport et les notifications pour montrer la santé du réseau. La figure 38 montre l'interface Web Thruk affichant les détails sur l'état du service de nos hôtes.

⁸ FastCGI : est un processus de communication entre un logiciel indépendant et un serveur HTTP.

Thruk

General

- Home
- Documentation
- Logout
- Panorama View

Current Status

- Tactical Overview
- Map
- Hosts
- Services
- Host Groups
 - Summary (Grid)
- Service Groups
 - Summary (Grid)
 - Mine Map
- Problems
 - Services (Unhandled)
 - Hosts (Unhandled)
 - Network Outages

Reports

- Availability
- Trends
- Alerts
 - History (Summary)
- Notifications
- Event Log
- Business Process
- Reporting

Current Network Status

Last Updated: Wed Nov 22 18:36:48 UTC 2017
 Updated every 90 seconds
 Thruk 2.16-2 - www.thruk.org
 Logged in as *thrukadmin*

Host Status Totals

Up	Down	Unreachable	Pending
1	2	0	0
All Problems		All Types	
2		3	

Service Status Totals

OK	Warning	Unknown	Critical	Pending
4	0	0	4	0
All Problems			All Types	
4			8	

Service Status Details For All Host

Select hosts / services with leftclick to send multiple commands. Select multiple with shift + mouse.
 select all (hosts) - unselect all - all problems - all with downtime

Host	Service	Status	Last Check	Duration	Attempt	Status Information
pc1	ping4	CRITICAL	18:36:01	36d 0h 3m 2s	1/5	CRITICAL - Plugin timed out
	rdp	CRITICAL	18:36:00	36d 0h 3m 3s	1/5	CRITICAL - Socket timeout
sensor1	ping4	CRITICAL	18:36:46	36d 0h 3m 2s	1/5	CRITICAL - Plugin timed out
	sensor-6783	OK	18:36:33	0d 1h 37m 50s	1/5	TCP OK - 0.668 second response time on 69.71.80.150 port 80
	sensor-6784	OK	18:36:30	0d 3h 4m 42s	1/5	TCP OK - 0.822 second response time on 69.71.80.150 port 80
	sensor-6786	CRITICAL	18:36:41	35d 23h 45m 29s	1/5	connect to address 69.71.80.150 and port 80
ulaval	http	OK	18:36:20	1d 12h 6m 58s	1/5	HTTP OK: HTTP/1.1 200 OK - 331 bytes in 0.112 second response time
	ping4	OK	18:36:26	0d 5h 3m 51s	1/5	PING OK - Packet loss = 0%, RTA = 5.53 ms

select all (hosts) - unselect all - all problems - all with downtime

8 of 8 Matching Service Entries Displayed

Figure 38. Interface Thruk

Chapitre 5 Résultats et discussion

Dans ce chapitre, les résultats de la surveillance à distance ainsi que ceux de la collecte de données des dataloggers sont présentés. Nous discutons des problèmes qui sont survenus et qui ont causé la rupture de la communication à distance avec les dataloggers. Nous présentons aussi les tentatives de récupérations de données à distance que nous avons réalisées et une analyse des raisons pour lesquelles la collecte de données n'était possible qu'une seule fois. Ensuite nous citons les limitations et les défis que nous avons rencontrés durant la réalisation de ce projet et nous présentons les travaux futurs envisagés afin d'améliorer la performance du réseau de capteurs sans fil.

5.1- Résultats de la surveillance

Les informations de la surveillance à distance de la disponibilité des dataloggers déployés à Salluit nous sont disponibles en temps réel sur Thruk, mais ils ne sont pas enregistrés par défaut. Pour cela nous avons ajouté une ligne de commande pour activer l'enregistrement de ces informations à partir du 23 novembre 2017. Pour tester l'accessibilité de l'Internet de chaque datalogger des trois stations, ST-A, ST-B et ST-GN, nous avons utilisé le service `check_tcp`.

L'historique des résultats de la surveillance est affiché sous forme de rapport de disponibilités des services que nous avons définies pour chaque datalogger. Ce rapport peut s'afficher sur Thruk sous forme de graphe produit dans le temps (le long de l'axe des x), dans lequel les barres colorées indiquent l'état de la connexion. Les barres rouges (étiquetées « critique ») indiquent la perte de connexion, tandis que les barres vertes indiquent une connexion vérifiée. L'axe des x est marqué avec des horodatages chaque fois qu'il y a une transition dans l'état de connexion et les connexions sont testées toutes les 60 secondes.

5.1.1- Station-GN et Station-B

La figure 39 constitue un rapport sur l'état de connectivité du datalogger de la station-GN durant la période du 23 novembre 2017 au 11 janvier 2018. Pendant cette période, les tests de connexion, par la commande `check_TCP`, ont été réalisés toutes les minutes. Ce rapport est fourni par Thruk selon la période choisie. En choisissant une autre période plus courte ou un jour précis, nous pouvons mieux examiner les résultats. De cette façon, il est possible

de voir les instants exacts (en heure, minute et seconde) où la connexion a été perdue ou rétabli ainsi que la durée des intervalles de chaque connexion maintenue (comme le montre la figure 40 pour le cas de ST-B).

La surveillance du datalogger de la ST-GN depuis le 23 novembre 2017 nous montre que l'état critique (ou déconnecté) est l'état dominant. Depuis le début de la surveillance jusqu'à à cette date le datalogger n'était disponible que 3% du temps, pour un total de 18 jours. Comme l'illustre la figure 39, nous remarquons aussi que les 18 jours sont distribués sur la période du 25 novembre 2017 au 1^{er} janvier 2018 et que ni la durée ni l'heure de la connexion à Internet n'étaient fixes durant cette période.

D'après le rapport de disponibilité produit par Thruk du datalogger ST-GN, nous pouvons distinguer quatre périodes :

- Du 25 novembre au 5 décembre 2017 : le datalogger avait accès à Internet pour des durées de connexion continues et variant entre 1 heure et 5 heures.
- Du 6 décembre au 23 décembre 2017 : le datalogger n'avait pas accès à Internet.
- Du 23 décembre au 1er janvier 2018 : le datalogger avait accès à Internet, mais les durées de connexion sont devenues très courtes, soit quelques minutes.
- Après le 1^{er} janvier : le datalogger ne s'est plus connecté après cette date.

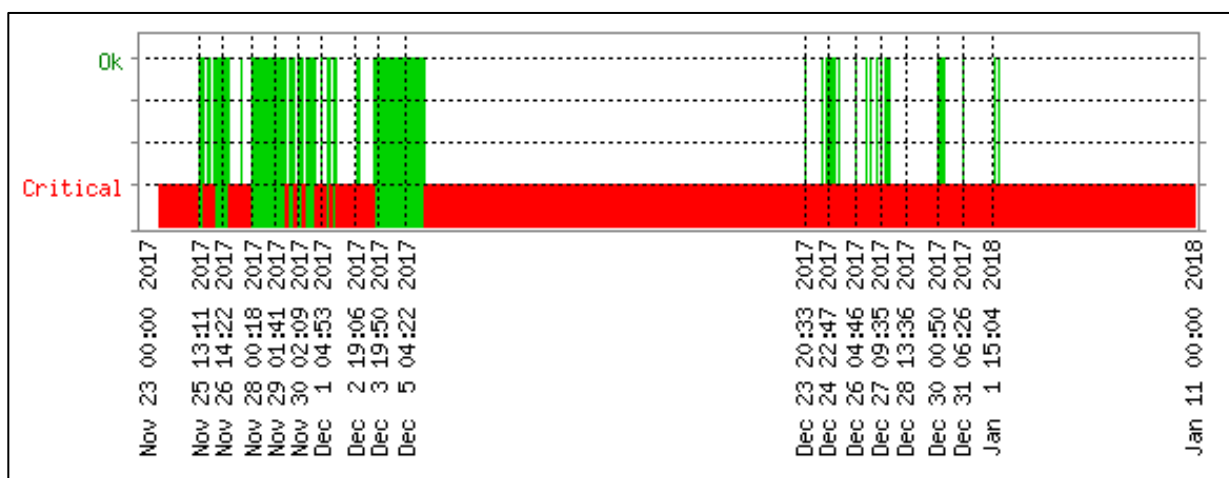


Figure 39. Rapport de la disponibilité affiché sur Thruk du datalogger de la ST-GN; en vert le datalogger est connecté, en rouge il n'a pas accès à Internet

Ainsi, pour le datalogger de la ST-B, nous avons noté qu'il était disponible 2% du temps durant toute la période de la surveillance, pour un total de 6 jours (figure 40). Comme pour

la ST-GN, l'accès à Internet était d'une période plus courte que celle de la ST-GN. La ST-B a connu deux périodes :

- Du 25 novembre au 1^{er} décembre 2017 : Le datalogger avait accès à Internet pour des intervalles de temps variant entre 1 heure et 5 heures.

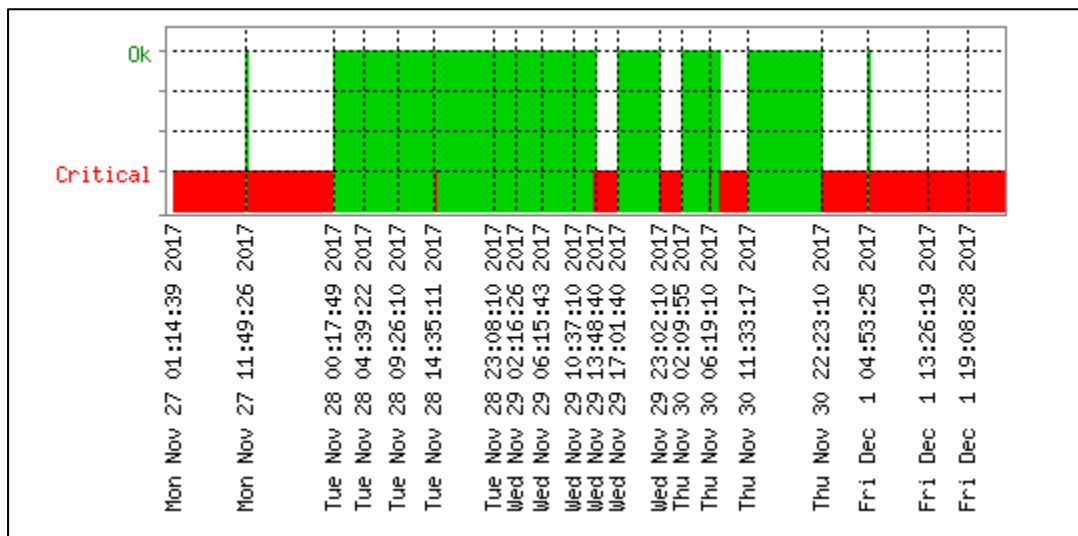


Figure 40. Rapport de l'état de connectivité de ST-B affiché sur Thruk entre le 27 novembre et le 1^{er} décembre 2017

- Après le 1^{er} décembre 2017 : le datalogger ne s'est pas connecté après cette date.

Il est à noter que même si la durée de la connexion du datalogger est courte (quelques minutes), il sera possible de faire des requêtes rapides pour récupérer les données enregistrées, car la quantité de données est petite (les dataloggers sont programmés à enregistrer qu'une seule donnée chaque heure). C'est une motivation supplémentaire pour éviter l'utilisation du logiciel du constructeur.

5.1.2- Station-A

Le datalogger de la station-A se trouve dans le même boîtier que le modem LTE et il est connecté à ce dernier par un câble Ethernet. Ce datalogger est supposé être joignable via l'Internet tant que le modem LTE a accès à Internet. Mais ce qui est surprenant c'est que le datalogger ST-A n'a jamais eu accès à Internet, comme le montre la figure 41, depuis le début de la surveillance le 23 novembre 2017.

Le modem LTE installé à la Station A a deux fonctionnalités. Il est d'une part le point d'accès sans fil Wi-Fi fournissant l'accès à Internet à ST-B et ST-GN. Comme nous avons

vu (sur la figure 39 et la figure 40), les deux stations ont pu jouir d'une certaine période de connectivité lors de la durée de la surveillance. Le modem LTE fournit également une liaison LAN filaire au datalogger colocalisé à ST-A. Étant donné que le modem LTE avait accès à Internet pour quelques périodes, mais que ST-A n'était pas connecté à Internet, nous concluons que ceci est dû à :

- Un problème lié à l'alimentation ou le fonctionnement du datalogger.
- Un problème provenant du lien entre le datalogger et le modem qui est causé par la défaillance de l'interface Ethernet NL121 ou par le câble Ethernet.

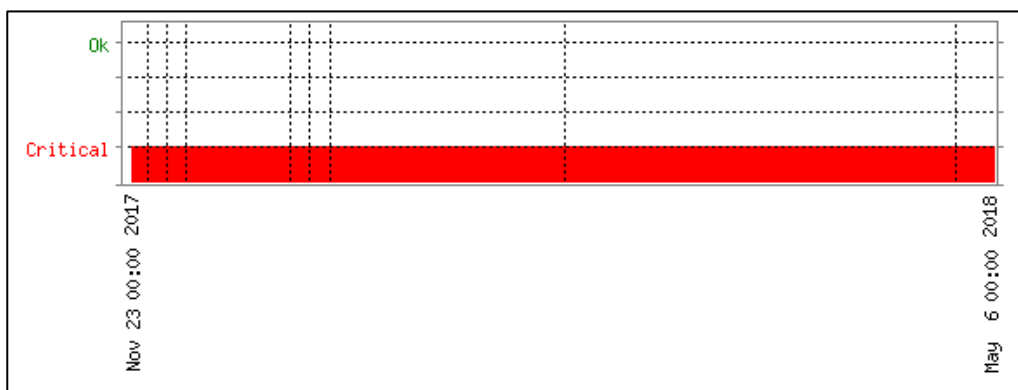


Figure 41. État du datalogger à la station-A

En résumé, les deux dataloggers connectés au modem LTE par liaison sans fil Wi-Fi, ST-B et ST-GN, avaient rarement accès à Internet durant les mois qui ont suivi la mise en place du réseau sans fil à Salluit et les intervalles de temps de connexion étaient très courts. Tandis que la connexion filaire LAN avec le modem LTE n'était jamais accessible depuis l'UL.

5.2- Résultats de la collecte de données

Lors de notre séjour à Salluit, nous avons réussi à récupérer toutes les données de l'année précédente qui ont été mesurées par les capteurs et enregistrées dans la mémoire des trois dataloggers (ST-A, ST-B et ST-GN). Cette collecte de donnée a été faite depuis l'hôtel de Salluit à travers le réseau LTE.

La surveillance de la disponibilité des dataloggers durant les mois qui ont suivi les installations à Salluit a montré qu'ils n'étaient joignables de l'Université que pour une très courte durée, ce qui signifie qu'une collecte à distance de donnée par le logiciel LoggerNet d'une façon automatique est difficile. Car la collecte ne nécessite pas seulement, comme

prévu, l'implication d'une personne pour vérifier et établir la communication entre le logiciel et le datalogger une fois par jour, mais de plus, la présence de cette personne au moment exact où le datalogger a accès à Internet afin de réinstaurer sa communication avec le logiciel. De plus, nous ne pouvons pas déterminer une heure pour faire la collecte des données, puisque l'heure où les dataloggers étaient disponibles n'était pas prévue (les dataloggers n'étaient pas disponibles à une heure précise). Alors, nous devrions être tout le temps en surveillance de la disponibilité des dataloggers pour apercevoir le moment où il se connecte et faire cette collecte.

Nous avons cependant réussi à récupérer les données du datalogger de la ST-GN une seule fois le 28 novembre 2017 par LoggerNet. Toutes les données enregistrées dans ce datalogger durant 3 mois (du 25 août au 28 novembre 2017) ont été récupérées. Nous avons ensuite transféré les données aux membres du Centre d'études nordiques. Cette collecte nous a confirmé que notre réseau de capteurs sans fil a été bien mis en place pour recevoir les données à distance et que la très courte durée de connexions des dataloggers a rendu la tâche de la collecte par le logiciel difficile.

En combinant les résultats de la surveillance et les résultats de la collecte de données à distance nous concluons que la collecte quotidienne de donnée par le logiciel du constructeur ne peut être considérée automatique ou quotidienne. Par conséquent nous avons constaté qu'il y a un besoin de développer un programme qui doit remplacer le logiciel du fournisseur. Ce programme doit être capable de communiquer avec l'interface de communication sans fil branché au datalogger, par le protocole PakBus de communication de Campbell Scientific, pour faire une collecte de données automatique, au moment où le datalogger est disponible, sans aucune intervention humaine.

5.1.2- Discussion

En comparant les différentes périodes de connectivités que les deux dataloggers ST-GN et ST-B ont connues, nous remarquons une diminution importante dans la durée de ces périodes depuis décembre 2017. Les intervalles de temps pendant lesquels le datalogger ST-GN a eu accès à Internet n'étaient que de quelques minutes entre le 23 décembre et le 1^{er} janvier, alors que le datalogger de ST-B avait perdu complètement l'accès à Internet dès le premier jour de décembre. C'est donc une absence de connexion, pour ST-B, et une diminution de la durée de connexion jusqu'à une déconnexion totale, pour ST-GN.

La déconnexion d'un datalogger du réseau de capteurs sans fil peut être due à deux raisons, soit un problème au niveau du réseau Wi-Fi ou au niveau du réseau LTE. Pour le réseau Wi-Fi, si le niveau du signal reçu par l'interface de communication sans fil NL240 est entre -85 dBm et -95 dBm le datalogger ne pourra pas joindre le réseau Wi-Fi. Au niveau du réseau LTE, les dataloggers ne seront pas joignables par l'Internet lorsque le modem LTE n'aura pas accès à Internet. Dans notre cas, la dégradation de la performance du réseau sans fil a commencé en décembre, ce qui n'est pas très surprenant puisqu'elle coïncide avec la saison d'hiver où les grandes quantités de neiges et de pluie peuvent fortement affecter les signaux radio. D'après les rapports de données climatiques historiques fournies par Gouvernement Canada, la température à Salluit a atteint -33 °C (-27°F) en janvier et -39.2°C (-38.2°C) en février avec plusieurs avertissements de froid extrême à cause du froid intense ou du refroidissement éolien (wind chill) arrivant à -50.5°C (-59°F). De plus le point d'accès sans fil se trouve dans une zone de très faible couverture réseau (voir la section 5.3-), ce qui rend le signal sortant du modem LTE et arrivant à la tour LTE très sensible aux atténuations surtout avec des conditions météorologiques extrêmes.

Nous avons aussi remarqué en surveillant la disponibilité des deux dataloggers, à la ST-B et à la ST-GN, qu'ils se connectaient et se déconnectaient à l'Internet au même instant. Cela indique que juste à ces moments-là le point d'accès sans fil fournissait l'accès à Internet aux dataloggers. D'après le FAI, la dernière apparition du signal provenant du modem LTE à leur tour à Salluit était le 26 janvier 2018. Ce qui signifie que les dataloggers ST-GN et ST-B n'étant sûrement pas joignables après le 26 janvier, nous devons donc juger la performance de notre réseau avant cette date.

Durant toute la période de la surveillance, la ST-GN et ST-B n'étaient joignables que 3% et 2% respectivement. Cependant entre le début de la surveillance et le 26 janvier 2018, le datalogger de la ST-GN était joignable 9% du temps et le datalogger de la ST-B a perdu accès à Internet plus tôt que la ST-GN et était joignable 5% du temps. La seule différence entre les deux stations est au niveau de l'antenne Wi-Fi utilisée (4.4 dBi à ST-B et 8 dBi à ST-GN).

Cette courte durée où les dataloggers, ST-B et ST-GN, étaient visibles de l'Université Laval avant la perte totale du signal LTE rend la collecte de données à distance plus difficile, et pour la ST-A, la récupération de données est impossible vu qu'elle n'était pas connectée.

5.3- Défis et limitations

L'un des inconvénients dans les déploiements réels dans des environnements hostiles est qu'il y a une fenêtre de temps limitée dans laquelle il faut développer des améliorations et s'assurer que les versions finales entièrement testées sont faites à temps. Nos installations à Salluit ont été réalisées en août et en septembre 2017. Mais en raison de conditions météorologiques imprévues, pluie et neige, durant le deuxième voyage de finalisation d'installation en septembre, il était difficile de profiter au maximum de la durée de séjour et d'utiliser un ordinateur portable sur le terrain pour tester le système correctement.

Nous n'avons pas de modèle de tous les facteurs environnementaux qui peuvent affecter notre système :

- Des ours polaires, les gibiers et les loups qui peuvent attaquer les antennes et les câbles. Durant nos travaux sur le chantier, on nous a avertis des loups qui se trouvent dans les environs.
- Des tempêtes de vent. En septembre 2017 nous avons vécu une tempête de vent de 120km/heure qui a duré environ 10 heures et qui a causé une interruption d'électricité et d'eau à Salluit. Cette tempête était une bonne expérience pour voir si les antennes et les câbles étaient bien fixés.
- Des tempêtes de neige et la couverture de glace qui dure plusieurs mois, voire la figure 42.
- La température atteignant -40°C qui peut affecter la performance des antennes, et diminuer le gain et la portée.

De plus l'atténuation du signal due au câble coaxial de 3 mètres entre l'antenne LTE et le modem est non négligeable. Vu la courte durée entre les deux voyages à Salluit, nous avons été obligés d'utiliser les câbles RG-58 de 3 m disponibles dans le stock du fournisseur.

Le plus grand défi de cette phase est l'emplacement du point d'accès sans fil dans une zone de très faible couverture réseau; le niveau de signal est de moins de -80 dBm . Tamaani nous a communiqué cette donnée malheureusement après notre retour de Salluit (figure 43).

Pour s'assurer que le problème de connexion qu'on a eu est dû à la mauvaise couverture LTE est non au réseau LTE lui-même, Tamaani nous a confirmé que deux autres modems LTE sont bien connectés à Internet à Salluit, un modem sur le site de la tour et un autre dans le village.



Figure 42. Photo de la station-A prise par un technicien de Tamaani en février 2018 lors de sa visite à Salluit

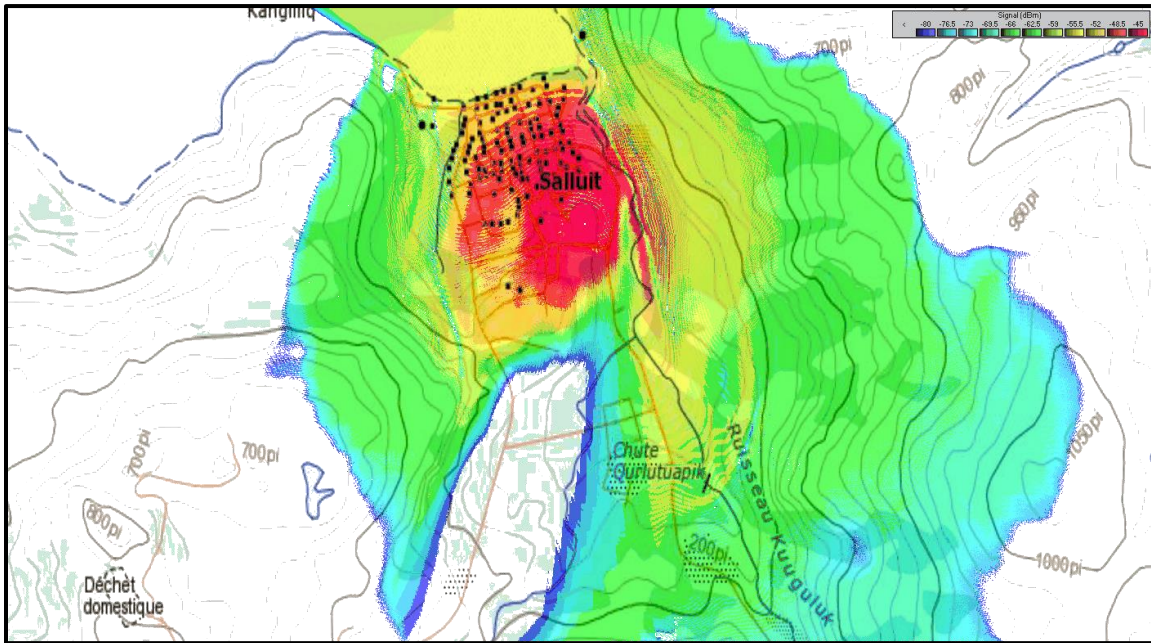


Figure 43. La zone de couverture actuelle depuis la tour Tamaani (Tamaani)

5.4- Travaux futurs

Premièrement il faut prévoir une autre visite à Salluit pour corriger les problèmes qu'on a découvert durant les 8 mois du déploiement du système. Les travaux futurs doivent être orientés vers les points suivants.

D'abord, il faut résoudre le problème de connectivité de la station-A. Pour cela il faut s'assurer du bon fonctionnement du datalogger ainsi que de l'interface Ethernet.

Concernant la faible couverture du réseau LTE que connaît le point d'accès sans fil, Tamaani avait prévu de changer la position de leur tour durant les mois qui suivent nos travaux sur le chantier (figure 44). Avec cette nouvelle tour, nous aurons une meilleure couverture réseau.

Cependant, tant que cela n'est pas encore effectué il sera utile de changer l'antenne omnidirectionnelle LTE pour une antenne directionnelle dans la direction de la tour actuelle.

Il sera utile de créer un réseau Mesh, dans ce cas les dataloggers n'ont plus besoin de se connecter directement au point d'accès LTE. Ceci permettra de placer le modem dans une zone avec une meilleure couverture réseau. Cela permettra aussi d'élargir la taille du réseau en incluant de nouveaux capteurs dont le réseau sans fil que le Wi-Fi ne pouvait pas atteindre.

Enfin, il sera nécessaire de développer un programme qui collecte les données du dataloggers sans avoir recours au logiciel du constructeur.

Enfin il faut tester la collecte de données depuis un serveur local à Salluit, en parallèle avec celle réalisée depuis le réseau UL. Ainsi, en examinant les résultats nous pouvons voir s'il y aura de meilleurs résultats par l'utilisation d'un ordinateur programmé à collecter les données dès que les dataloggers sont connectés, qui se trouve sur le même réseau LTE du réseau de capteurs sans fil que celui localisé au réseau UL.

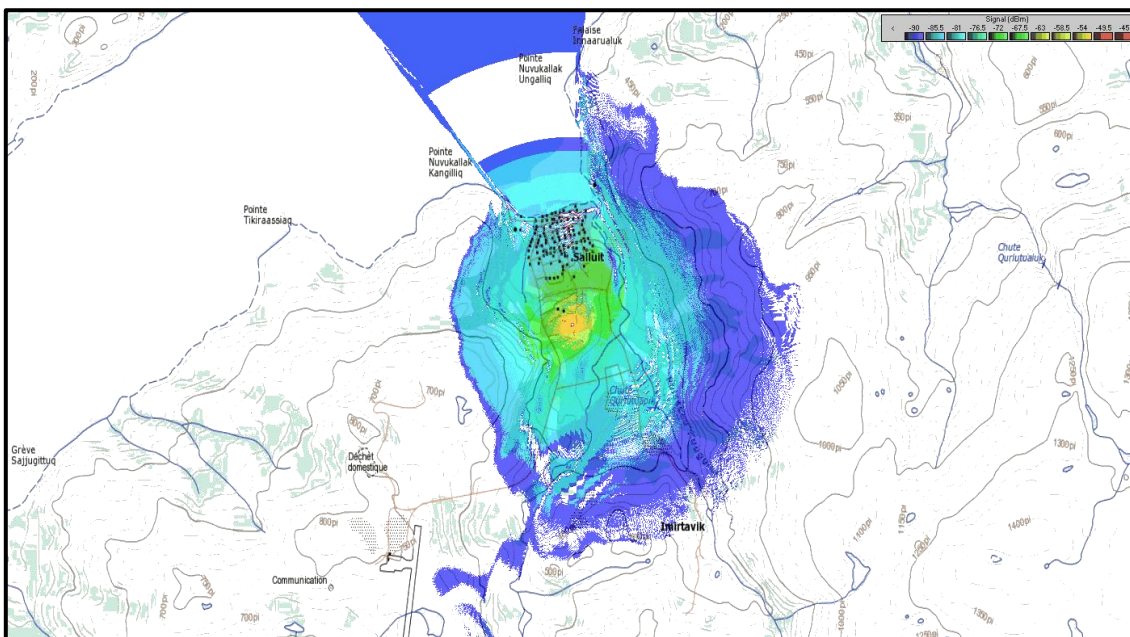


Figure 44. La zone de couverture prévue pour la nouvelle tour LTE de Tamaani couvrant tout le village (Tamaani)

Conclusion

Pour gagner du temps et éviter les voyages coûteux au Nord, les capteurs déployés à Salluit devraient être capables de transmettre des données automatiquement. Pour cela, trois étapes ont été prises pour identifier et résoudre les problèmes pour permettre une collecte de données tout au long de l'année : la mise en place du réseau sans fil pour les capteurs déployés à Salluit, la surveillance du réseau et la collecte planifiée de données à distance. D'abord, ces travaux ont été testés à l'Université laval dans un laboratoire avec succès, puis déployés sur le chantier.

Nous avons premièrement mis en place un réseau de capteur sans fil. Le CEN, quelques années plus tôt, avait déjà fait le choix et l'installation des capteurs, des dataloggers, et de leurs emplacements. Nous avons converti la communication filaire entre les dataloggers de ces stations de mesures en une communication sans fil Wi-Fi. Cette communication sans fil permettra de modifier la configuration à distance des datalogger si nécessaire, ainsi que la collecte de donnée à distance. Pour ce faire, nous avons opté pour une architecture de réseau de capteurs en étoile dans laquelle un point d'accès sans fil (AP) offre l'accès à Internet, à travers le réseau LTE, aux stations qui y sont connectées. Des modules de communications radio et des antennes omnidirectionnelles ont été ajoutés à chaque station.

Dans un deuxième temps, le travail s'est concentré sur la vérification des connexions des dataloggers à Internet après l'installation. À travers l'interface de visualisation Thruk, il a été remarqué qu'au maximum les stations ont eu accès à Internet 9% du temps. Puis au mois de janvier 2017, même le modem LTE fut déconnecté. L'emplacement du modem lte dicté était par la disponibilité de l'électricité, soit dans une zone de mauvaise couverture, ce qui a conduit à une perte totale du réseau une fois que les conditions météorologiques n'étaient plus favorables. Il est à noter que le FAI avait prévu de changer la position de la tour LTE en automne 2017 ce qui aurait dû résoudre ce problème de couverture avant les conditions d'hiver.

Ces problèmes de connexion au réseau LTE ont beaucoup affecté le troisième axe du projet décrit dans ce mémoire. La collecte de données a été difficile vu que les capteurs ne se sont connectés à Internet que moins de 9% du temps jusqu'au mois de janvier 2017. Pour une récupération réussie, le logiciel de collecte doit communiquer directement avec le datalogger

le temps d'une transmission complète. L'instabilité de la communication entre le modem LTE et la tour doit être résolue au plus vite, étant le maillon faible de la structure. Il est à noter qu'une collecte de données à distance a été réussie le 28 novembre 2017.

Pour les travaux futurs concernant ce projet, il faut prévoir de la redondance dans toutes les communications pour assurer la transmission des données et de restructurer le réseau en une architecture mesh ainsi qu'un emplacement du modem LTE qui garantira une bonne couverture, que la tour change de position ou pas.

Bibliographie

- [1] S. Perkins, «ScienceShot: Arctic Warming Twice as Fast as Rest of World,» 6 août 2013. [En ligne]. Available: <http://www.sciencemag.org/news/2013/08/scienceshot-arctic-warming-twice-fast-rest-world>.
- [2] U. Laval, «sentinellenord.ulaval.ca,» [En ligne]. [Accès le 01 2018].
- [3] Canadian institute of planners, «Etudes des cas de municipalités: Changements climatiques et processus de planification,» 2017.
- [4] A. Michel, S. Denis, L. Emmanuel, D. Guy et R. Jonathan, «Evaluating the use of distributed temperature sensing for permafrost monitoring in Salluit, Nunavik,» chez *Proceeding of the GéoQuébec Conference Québec*, 2015, p. 467.
- [5] V. Lamontagne, L. Périer, C. Lemieux, D. Guy, A. Michel et Roger, «Suivi du comportement thermique et mécanique de l'adaptation de la route d'accès à l'aéroport de Salluit au Nunavi,» chez *68e Conférence Canadienne de Géotechnique*, Québec, 2015.
- [6] V. Gail et Y. Saha, «Communications in the North,» *The Canadian Encyclopedia*, 03 04 2015. [En ligne]. Available: <http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/communications-in-the-north/>.
- [7] Centre for the North at the Conference Board of Canada, «Study on Addressing the Infrastructure Needs of Northern Aboriginal Communities,» 2014.
- [8] Tamaani, «Tamaani.ca,» 2018. [En ligne]. Available: <http://tamaani.ca/?lang=fr#/>. [Accès le 01 2018].
- [9] K. Martinez, R. Ong et J. Hart, «Glacsweb: a sensor network for hostile environments,» chez *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004. IEEE Secon 2004. 2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on*, IEEE, 2004, pp. 81-- 87.

- [10] A. C. Willox, S. Harper, J. Ford, K. Landman, K. Houle, V. Edge et others, «From this place and of this place.» Climate change, sense of place, and health in Nunatsiavut, Canada,» *Social Science & Medicine*, 2012.
- [11] Trevor, R. Briggs, R. Bachmayer et S. B. Li, «Augmenting Inuit knowledge for safe sea-ice travel—The SmartICE information system,» chez *Oceans-St. John's*, 2014, pp. 1--9.
- [12] I. Talzi, A. Hasler, S. Gruber et C. Tschudin, «PermaSense: investigating permafrost with a WSN in the Swiss Alps,» chez *Proceedings of the 4th Workshop on Embedded networked sensors*, 2007, pp. 8--12.
- [13] G. Barrenetxea, F. Ingelrest, G. Schaefer et M. Vetterli, «The hitchhiker's guide to successful wireless sensor network deployments,» chez *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, 2008, pp. 43--56.
- [14] K. Martinez, J. K. Hart et R. Ong, «Deploying a wireless sensor network in Iceland,» chez *International conference on GeoSensor Networks*, 2009, pp. 131--137.
- [15] D. Slezak, T. h. Kim, S. S. Yau, O. Gervasi et B. H. Kang, Grid and Distributed Computing: International Conference, GDC 2009, Held as Part of the Future Generation Information Technology Conferences, FGIT 2009, Jeju Island, Korea, December 10-12, 2009, Proceedings, Springer, 2010.
- [16] M. Asay, «Open-source working as advertised: ICINGA forks Nagios,» 6 may 2009. [En ligne]. Available: <https://www.cnet.com/news/open-source-working-as-advertised-icinga-forks-nagios/>. [Accès le 2018].
- [17] AP Sensing, «Linear Power Series. Fiber Optic Power Cable Monitoring System,» 2009.
- [18] A. Michel, R. Jonathan, S. Denis, L. Emmanuel, M. Élisabeth et L. Marie-Pier, «Test of fiber optics linearly distributed temperature sensing for permafrost monitoring in Salluit, Nunavik,» 2012.
- [19] M. Chang et P. Bonnet, «Monitoring in a high-arctic environment: Some lessons from mana,» *IEEE Pervasive Computing*, pp. 16--23, 2010.

- [20] L. Emmanuel, «Contexte climatique critique favorable au déclenchement de ruptures de mollisol dans la vallée de Salluit, Nunavik.,» Département de géographie, Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique , Québec, 2009.
- [21] Ministère des Transports et de la Mobilité durable, «Le transport dans le Nord-du-Québec : Enjeux, adaptation des infrastructures nordiques et partenariat avec le milieu,» 2017.

Annexe A : La station DTS

A.1- Vue globale

La station DTS (ST-DTS) est une station de suivi de l'infrastructure de transport pour évaluer sa capacité à détecter de façon précoce la dégradation thermique du pergélisol (figure 45). ST-DTS utilise la technologie du câble à fibre optique Distributed Temperature Sensing. Cette technique permet de mesurer les températures à tous les 25 cm sur la longueur du câble. Le câble est utilisé sur les deux côtés de la route d'accès à l'aéroport de Salluit et couvre environ 3.4 km. Le câble utilisé est caractérisé par deux fibres optiques entourées chacune d'une gaine thermorétractable. Le modèle de ce câble est S2002A « Sensor Cable Stell » de la compagnie britannique AP Sensing GmbH. Le système d'acquisition de données utilisées est le DTS Logger par AP Sensing.

Le système d'acquisition du DTS a été programmé pour enregistrer les données aux 2 heures.

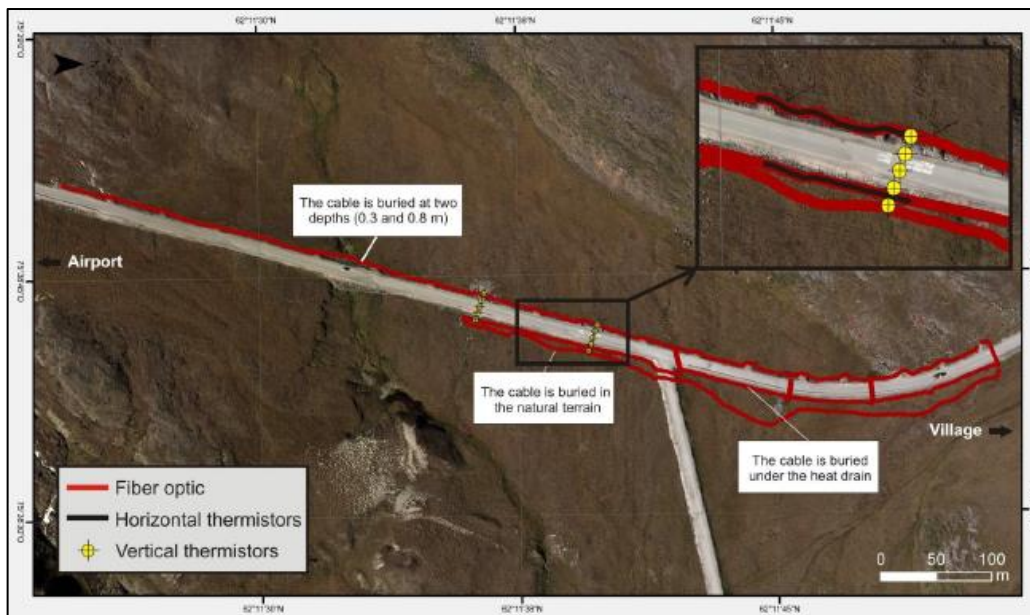


Figure 45. Câble à fibre optique sur la route de l'aéroport [19]

A.2- Travail sur le chantier

À la station DTS, on a connecté un ordinateur portable au modem LTE par câble Ethernet et au DTS par câble USB pour autoriser la connexion bureau à distance. Les constituants de la station DTS sont :

- Un Modem LTE à l'intérieur du boîtier. Modèle BulletPlus 4G/LTE de Microhard (figure 46).
- Une antenne LTE standard de Tamaani à l'extérieur du boîtier métallique (pour une bonne réception/émission du signal et pour éviter les interférences dans le boîtier). L'antenne est raccrochée au modem LTE par un câble coaxial de 3 mètres.
- Un ordinateur portable à l'intérieur du boîtier de la station DTS (boîtier chauffé). Model Netbook HP STREAM 11 PRO G3 11.6" N3060 1.6GHz 4Go 64Go W10P 64 (figure 47).

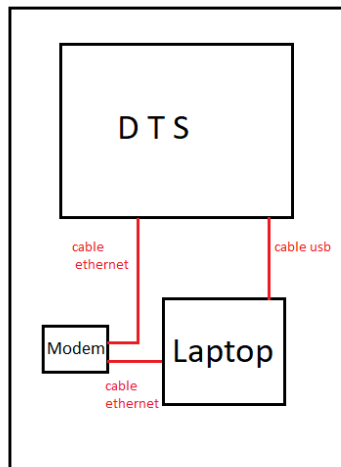


Figure 46. Schéma des constituants de la station DTS



Figure 47. Vue du boîtier de la station-GN (antenne LTE à l'intérieur du boîtier lors des tests)

A.3- Les mesures RSSI

Les mesures du RSSI affiché sur le modem LTE à la station-DTS sont présentées au Tableau 7. Ces mesures ont été prises lors de notre premier séjour à Salluit en août 2017 pour des cas qui peuvent affecter la qualité du signal reçu. Dans le 1^{er} cas, le modem est à l'intérieur d'un coffret ouvert, dans le 2^e cas le modem est dans un coffret fermé et dans le 3^e cas, le modem est à l'extérieur du coffret.

Tableau 7 Mesures du RSSI du signal LTE lu sur la page du routeur à la station-DTS

Coffret ouvert	Coffret fermé	Extérieur du coffret
≈ -79 dBm	≈ -82 dBm	≈ -75 dBm

D'après le Tableau 7, on note qu'on a des pertes d'environ 4 dBm si le modem de la station-DTS est dans un coffret fermé par rapport au coffret ouvert. Aussi, on note qu'il y a une augmentation de 7 dBm si l'on place le modem de la station DTS à l'extérieur du coffret plus que de le laisser à l'intérieur du coffret fermé.

Avant le deuxième voyage à Salluit en septembre 2017, on a réalisé des tests à l'Université laval pour voir les mesures RSSI après l'ajout de câble coaxial. Le tableau ci-dessus montre les résultats pour et le modem de la station DTS

Tableau 8. Les RSSI en dBm du modem-DTS

RSSI en dBm	
Sans câble	Câble coaxial
-66	-69
-70	-70
-71	-71
-72	-74

A.4- Surveillance de Station-DTS

La surveillance à distance de la disponibilité du pc portable (connecté au modem par câble Ethernet) à Internet a montré que le pc ne s'est pas connecté depuis le début de la surveillance le 23 novembre 2017 (figure 48). Le fournisseur d'accès Internet Tamaani a confirmé que la dernière fois où leur station de base à Salluit a reçu un signal du modem de la station DTS était au début du mois de novembre, c'est-à-dire avant le début de notre surveillance. Ce qui explique pourquoi on n'a pas pu voir le pc joignable.

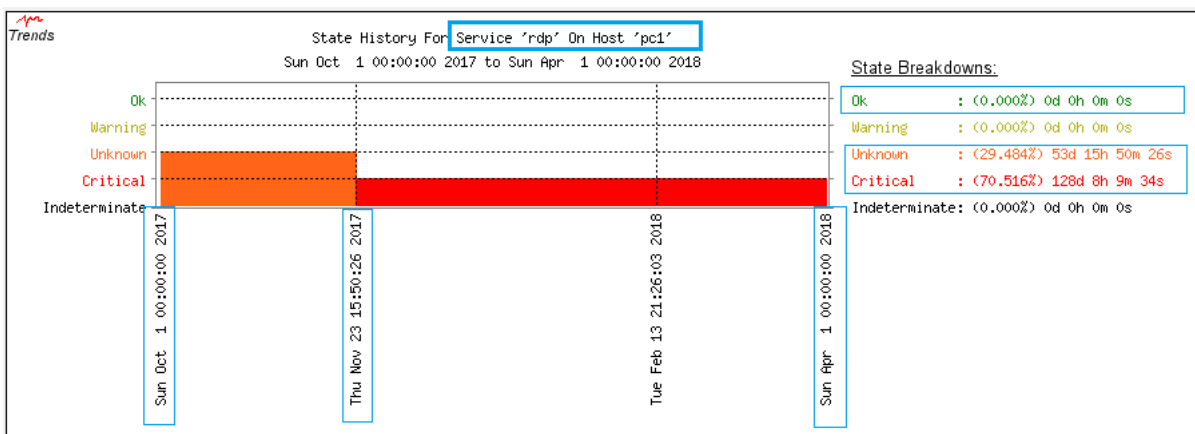


Figure 48. Rapport de disponibilité du PC à la station DTS

Annexe B Guide d'utilisateur

B.1- La configuration des modules de communication

Nous avons configuré les modules de communication de Campbell Scientific, NL121 et NL240, à l'aide du logiciel LoggerNet. Les étapes à suivre pour le module NL240 sont:

- Brancher le NL240 au datalogger CR1000, ensuite le connecter au pc par un câble USB. Sur l'onglet « Device Configuration Utility » de LoggerNet. Il faut désactiver le serveur DHCP qui configure automatiquement la couche IP du réseau et il faut affecter une adresse IP fixe ainsi que le masque et la passerelle (figure 49).
- L'interface de communication NL240 détecte les réseaux sans fil disponibles. Parmi la liste des réseaux disponibles qui s'affichent sur la page « DeviceConf », il faut choisir le réseau sans fil de notre point d'accès et son mot de passe pour y accéder.

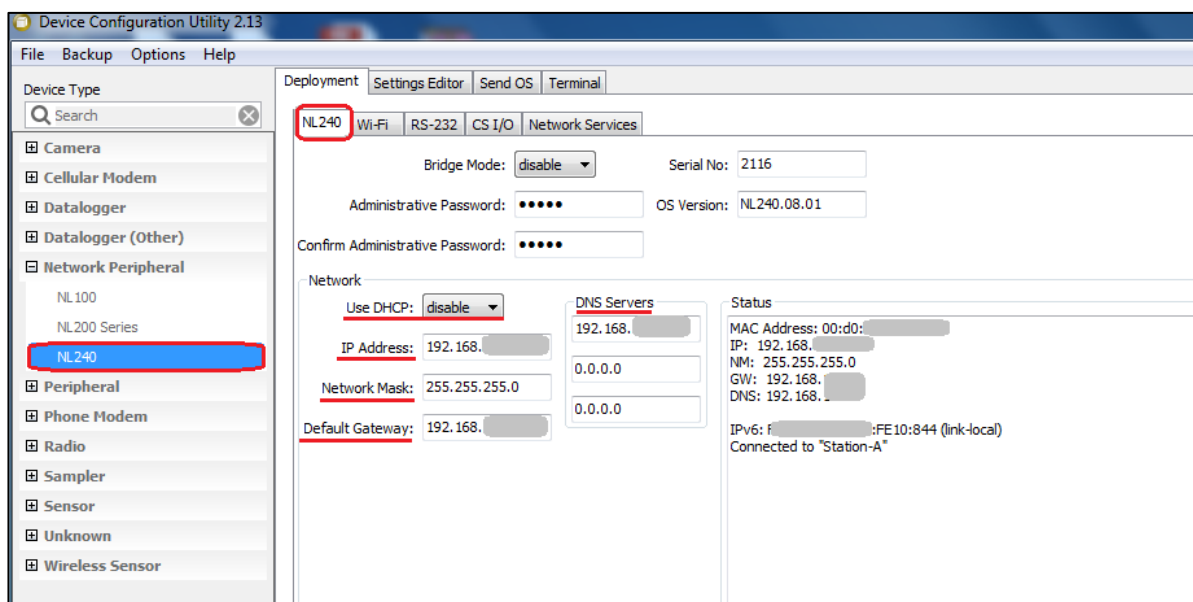


Figure 49. Configuration du NL240 sur LoggerNet

- Fixer le niveau de puissance d'émission du module NL240, le niveau de puissance « T_x power » peut être réglé sur trois niveaux : faible (7 dBm), moyen (10 dBm) ou élevé (16-17 dBm). Il est important de choisir le niveau de puissance le plus élevé supporté par le module de communication, $T_x = 17$ dBm, tant que le dBm total n'excède pas 1 watt.

- Spécifier le numéro de port de chaque module de communication NL240 (figure 50). Ces numéros de ports sont les « ports LAN » utilisés lors du réacheminement de ports. Le numéro de port par défaut de l'interface NL240 est 6785. Il faut choisir un numéro de port différent pour chaque interface.

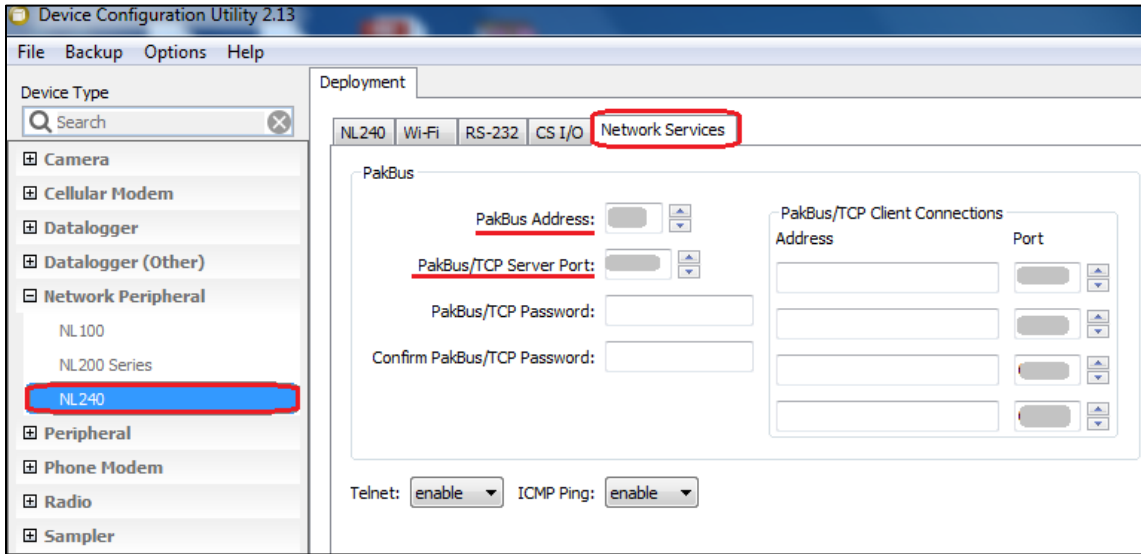


Figure 50. Configuration du numéro de port

La configuration de l'interface NL121 se fait de la même façon sur LoggerNet en utilisant l'outil « Device configuration Utility », comme illustré sur la figure 51.

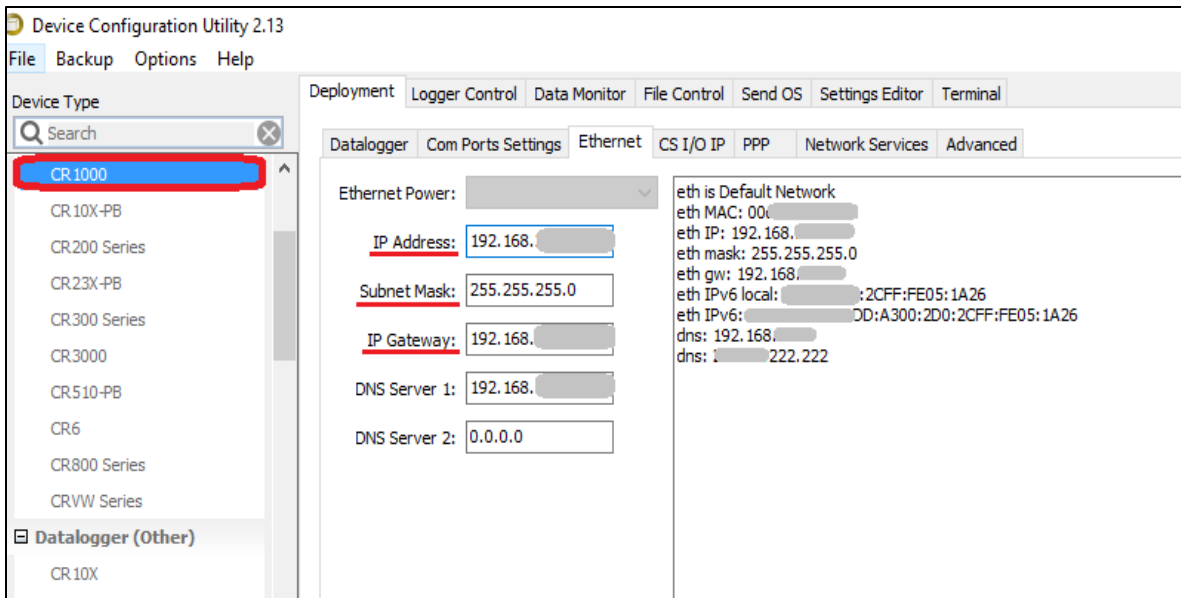


Figure 51. Configuration du NL121 sur LoggerNet

B.2- Les configurations sur le modem BulletPlus LTE

Les configurations se font sur la page Web du modem :

- Activer le module radio du modem sur l'onglet « Wireless Radio1 » pour autoriser les connexions sans fil. Par défaut le module radio est désactivé.
- Il faut spécifier l'APN du fournisseur de service Internet à Salluit, « nunavik.ca », pour que le modem puisse être utilisé sur le réseau cellulaire de Tamaani (figure 52).

The screenshot shows the 'Carrier Configuration' page in the modem's web interface. The 'Carrier status' is set to 'Enable' and the 'APN' is set to 'nunavik.ca'. Other settings include 'Connectivity Management' (Auto), 'IP-Passthrough' (Disable), 'MTU Size' (500-1500/Blank), 'SIM Selection' (Dual SIM Cards), 'Primary Slot' (SIM Card-1), 'Data Usage Balance Mode' (Disable), 'SIM Number (ICCID)' (89302620081000018261), 'Data Roaming' (Disable), 'Carrier Operator' (Auto), and 'Technologies Mode' (LTE Only). The 'Advanced+' and 'Network+' checkboxes are unchecked.

Figure 52 Configuration de l'APN

- Faire la redirection de port. Sur l'onglet « port forwarding », il faut définir les ports des dataloggers et définir aussi l'adresse IP privée du datalogger auquel nous voulons accéder (adresse IP statique et un numéro de port distinct pour chaque datalogger). Le trafic provenant du WAN cellulaire sera acheminé vers les adresses IP et les ports du réseau local que nous avons spécifié. Seuls ces ports spécifiques des dataloggers vont être passés (figure 53).

Firewall Port Forwarding Summary							
Name	Source	Internal IP	Internal Port	Protocol	External Port	SNAT	
ST-A	CR1000ST	Carrier	192.168. []	6	Both	[]	No Remove Rule
ST-B	STB	Carrier	192.168. []	6	Both	[]	No Remove Rule
ST-GN	GN	Carrier	192.168. []	6	Both	[]	No Remove Rule

La source du trafic cellulaire
 Adresses IP privées attribuées statiquement
 Numéro de port de chaque datalogger
 Protocol TCP/UDP
 Numéro de port WAN

Figure 53. La liste des configurations de redirection de port sur le modem de la ST-A

- Configurer les règles du pare-feu (figure 54), il faut choisir correctement la valeur de chaque champ :
 - L'action est utilisée pour définir comment la règle gère la demande de connexion. L'action choisie est « ACCEPT » qui autorisera la connexion.
 - L'adresse IP source : Il faut faire correspondre le trafic entrant de la plage IP à la source spécifiée. Par exemple : 192.168.2.0 à 192.168.2.255 représente toutes les adresses IP dans le réseau 192.168.2.0/24.
 - Sélectionner la zone qui est la source du trafic de données. La source de trafic arrivant au modem est le réseau cellulaire « Carrier ».
 - L'adresse IP de destination et le port de destination : pour faire correspondre le trafic entrant à l'adresse IP de destination spécifiée et au numéro de port. Les ports insérés sont les ports des dataloggers et aussi le port 3389 pour la connexion bureau à distance avec le DTS.
 - Le champ de protocole définit le protocole de transport contrôlé par la règle. Le protocole utilisé est TCP/UDP.

Firewall Rules Summary										
Name	Type	Action	Source	Src IP From	To / Prefix	Destination	Dest IP From	To / Prefix	Port	Protocol
STA	Forward	Accept	Carrier	[]	[]	Any	[]	[]	[]	Both
REMOT...	Forward	Accept	Carrier	[]	[]	Any	[]	[]	3389	Both
STB	Forward	Accept	Carrier	[]	[]	Any	[]	[]	[]	Both
GN	Forward	Accept	Carrier	[]	[]	Any	[]	[]	[]	Both

Figure 54. La liste des règles du pare-feu créée sur BulletPlus

- Configurer les règles générales du pare-feu (figure 55).

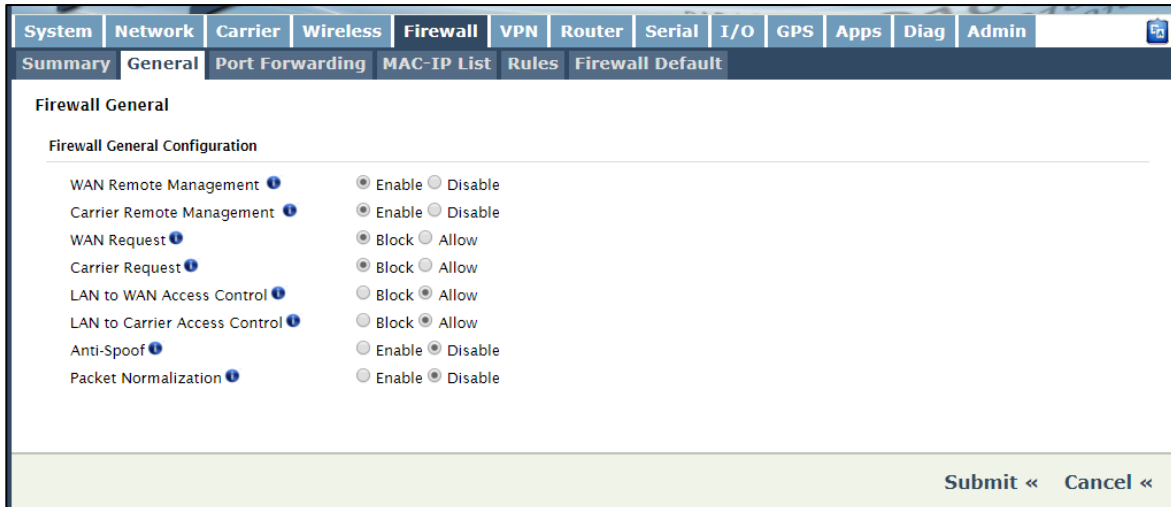


Figure 55. Configuration générale du pare-feu

La différence entre les configurations effectuées sur le modem de la station A et le modem de la station DTS est qu'au lieu du datalogger, il y'a un ordinateur portable (lié au DTS par câble USB) connecté au modem par un câble Ethernet. Donc le port qui doit être utilisé lors de la configuration de la redirection de port est le port TCP 3389 du protocole, propriétaire de Windows, de la connexion (RDP) propriétaire de Windows qui fournit à l'utilisateur une interface graphique pour lui permettre de se connecter à un autre ordinateur via une connexion réseau. L'utilisateur utilise un logiciel client RDP à cette fin, tandis que l'autre ordinateur doit exécuter le logiciel serveur RDP. L'accès à distance à l'ordinateur connecté au DTS va autoriser l'utilisation du logiciel installé à cet ordinateur qui permet de récupérer les données du DTS sur une période définie (figure 56).

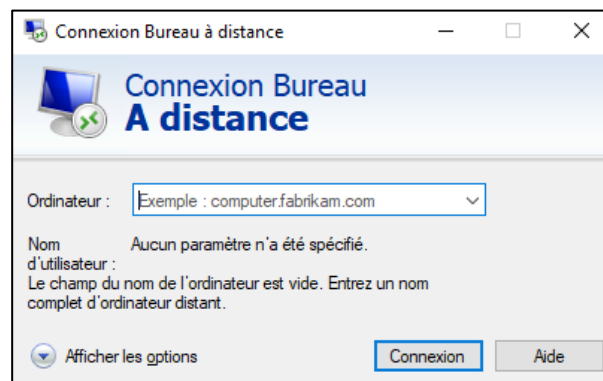


Figure 56. L'application connexion bureau à distance sur Windows

B.3- Les configurations pour la surveillance à distance

En créant une instance Nagios, nous recevons une clé qui va être utilisée par la suite pour s'authentifier. Les différentes commandes de contrôle sont exécutées sur la machine virtuelle VM, de Calcul Canada, via l'émulateur de terminal SSH, PuTTY (figure 57). La clé utilisée a été sauvegardée sur l'ordinateur portable dans la salle du laboratoire N 00520.

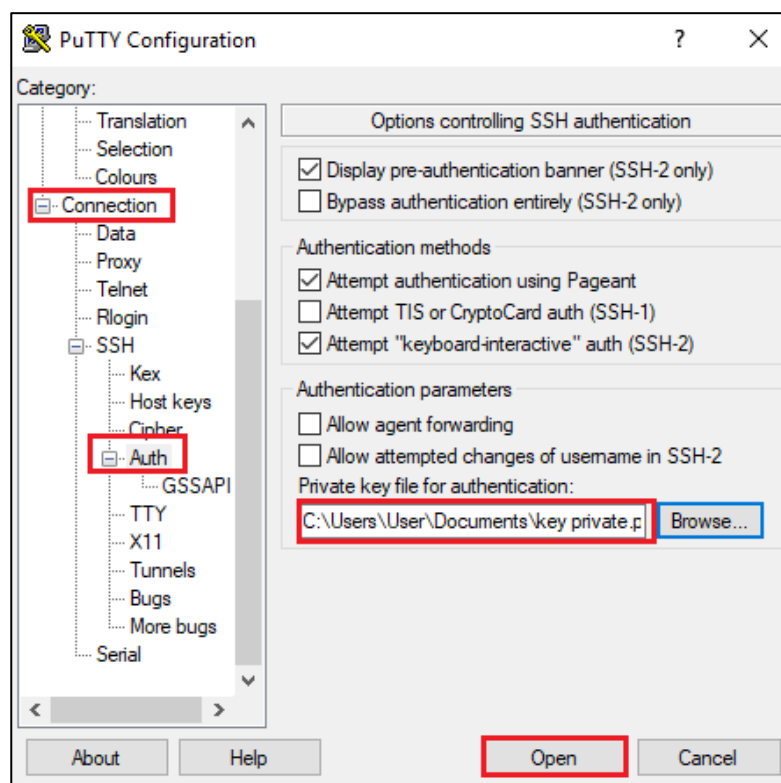


Figure 57. Authentification sur PuTTY

La première étape est de créer les hôtes à surveiller en définissant l'adresse IP et de chaque hôte (figure 58). Nous définissons trois hôtes :

- « Sensor1 » : définit par l'adresse IP publique statique du modem-A du réseau de capteurs et par les numéros de port des dataloggers connectés à ce modem.
- « Pc1 » : défini par l'adresse IP publique statique du modem-B du DTS et le port 3389 de la connexion bureau à distance.
- « Ulaval » : c'est un hôte test pour vérifier le fonctionnement des commandes.

L'hôte que nous voulons surveiller est le modem du point d'accès sans fil, « sensor1 ».

```

object Host "ulaval" {
  import "generic-host"
  address = "ulaval.ca"
  vars.http_vhosts["http"] = {
    http_uri = "/"
  }
}
object Host "sensor1" {
  import "generic-host"
  address = "██████████" Adresse IP publique
  # ██████████ Les ports des trois dataloggers
}
object Host "pc1" {
  import "generic-host"
  address = "██████████" Adresse IP publique
  # 3389 Port de la connexion bureau à distance
}

```

Figure 58. Ajout des hôtes à surveiller sur PuTTY

La deuxième étape est de créer les services à surveiller pour chaque hôte. Pour l’hôte « ulaval », HTTP et ICMP sont utilisés. Les services pour la surveillance de l’hôte « sensor1 » sont ICMP, HTTP (dernièrement), TCP pour la surveillance des capteurs connectés aux modems (les capteurs sont définis par leurs ports) et pour l’hôte « pc1 » ICMP, HTTP et RDP sont utilisés. La configuration du service est illustrée sur la figure 59.

```

apply Service "██████████" {
  import "generic-service"

  check_command = "tcp"
  check_interval = 1m
  retry_interval = 15s
  vars.tcp_port = ██████████

  assign where match("sensor1", host.name)
}

```

Figure 59. Exemple de création du service TCP sur PuTTY

Les options de configuration du service sont :

- Nom : nom du service
- Hôte : nom de l’hôte à surveiller
- Port : numéro de port
- Check_interval : indique la fréquence des checks, par défaut = 1 min
- Retry_interval : indique le nombre de secondes d’attente avant la reprise de tentatives, par défaut =15s

Les statuts des hôtes ainsi que les statuts des services du moment courant sont disponibles sur l'interface d'utilisateur Thruk, sur l'onglet « current status » (figure 60).

Sur l'onglet « Reports », nous pouvons voir les rapports de disponibilité et les tendances (trends) des services et des hôtes (figure 61). Le rapport est fourni selon la période de surveillance choisie, le rapport peut être fournis pour une journée précise, pour le jour précédent, pour la semaine précédente, pour les 3 derniers mois, les 6 derniers mois et les 12 derniers mois.

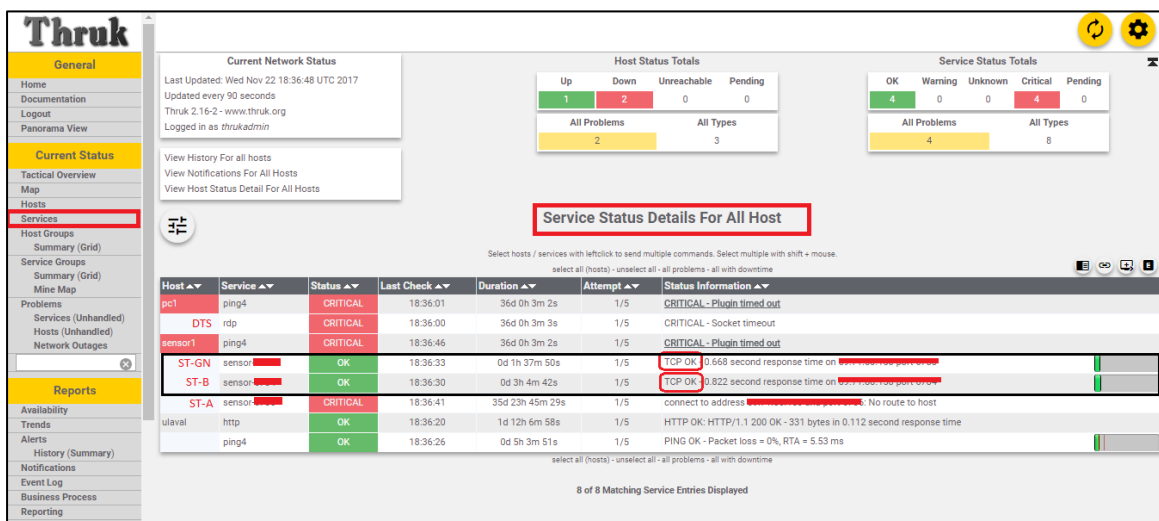


Figure 60. Détails des statuts des services pour les hôtes, affichées sur Thruk

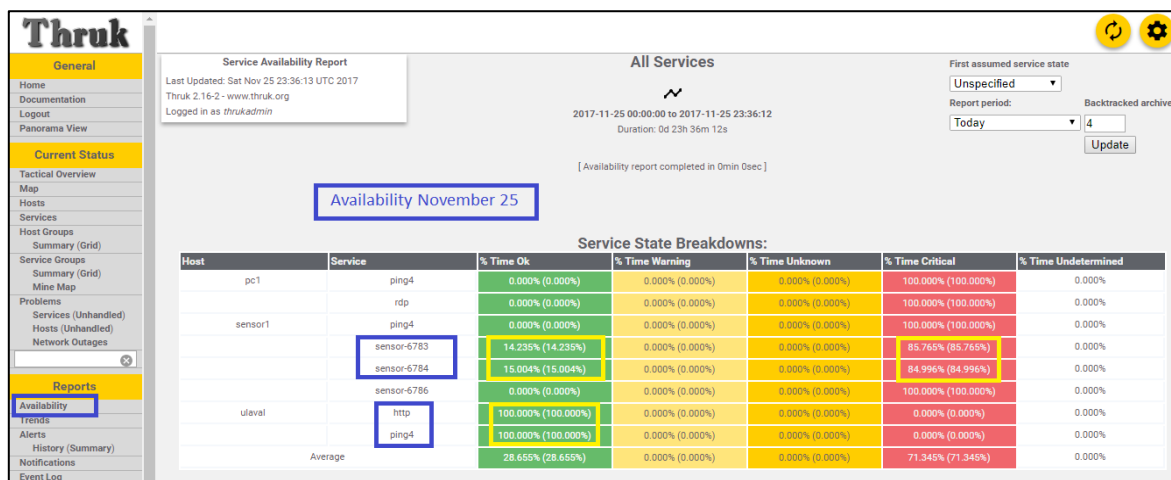


Figure 61. Les disponibilités des services définis

B.4- La collecte par LoggerNet

Pour faire une collecte planifiée des données d'un datalogger sur LoggerNet il faut choisir le mode std view et faire les configurations suivantes:

- Activer la collecte planifiée et choisir l'intervalle de collecte de donnée (figure 62). Pour ST-A, ST-B et ST-GN, l'intervalle ne doit pas être de moins d'une heure, puisque les dataloggers avaient été programmés par le CEN pour enregistrer une valeur chaque heure.
- Choisir la table de données que nous voulons récupérer (figure 63). Les tables sont enregistrées par défaut, sous forme de fichier.dat, sur C:\Campbellsci\LoggerNet.

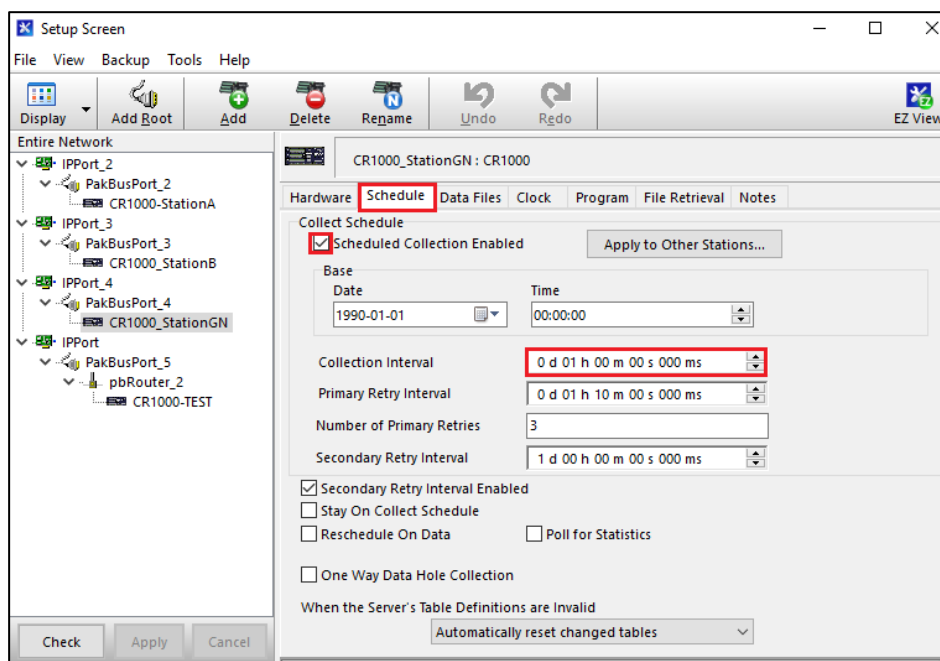


Figure 62. Activation de la collecte planifiée

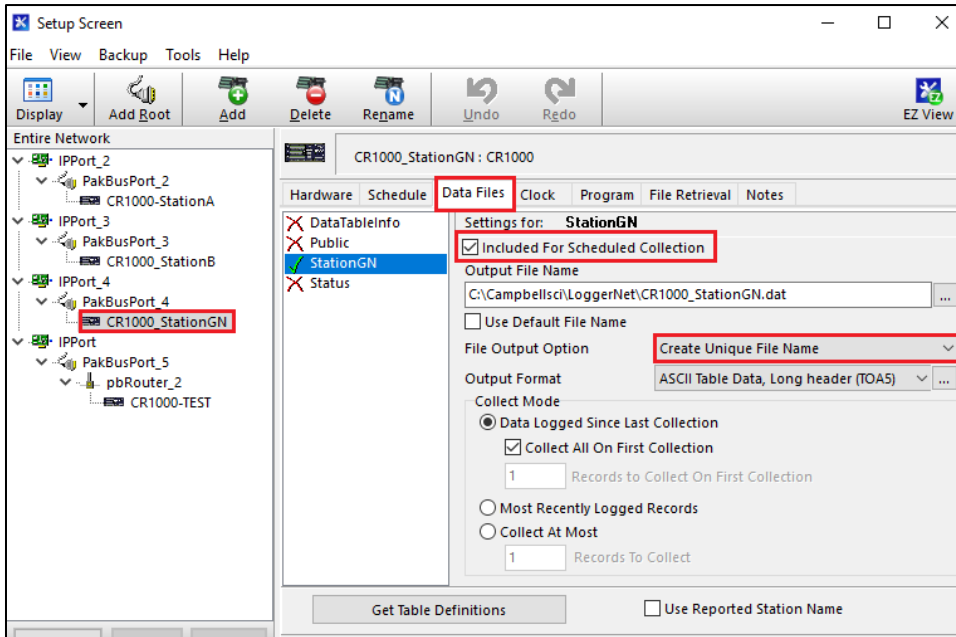


Figure 63. Le choix de la table de données