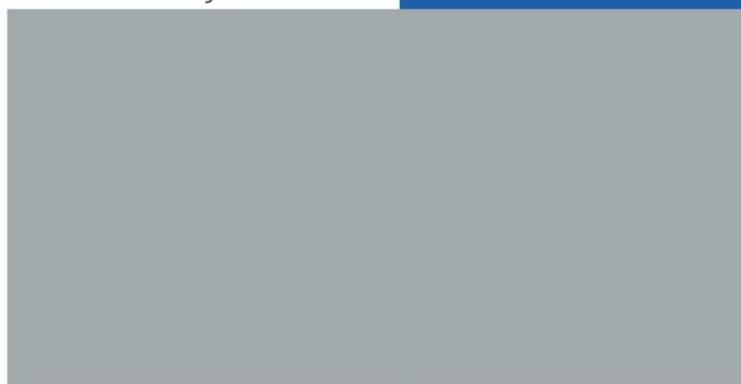


DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE D'INCERTITUDE ASSOCIÉ À LA MESURE TRADITIONNELLE DES LIGNES D'EAU LORS DE CRUES POUR LES RIVIÈRES DU QUÉBEC MÉRIDIONAL

MELCC-Ouranos

RAPPORT FINAL
26 janvier 2022



DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE D'INCERTITUDE ASSOCIÉ À LA MESURE TRADITIONNELLE DES LIGNES D'EAU LORS DE CRUES POUR LES RIVIÈRES DU QUÉBEC MÉRIDIONAL

RAPPORT FINAL

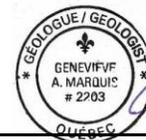
P2031-VF01

26 janvier 2022

PRÉPARÉ POUR :

MELCC-Ouranos

PRÉPARÉ PAR :



Geneviève Marquis, Géo., Ph. D.
Hydrogéomorphologue
Chargée de projet

EN COLLABORATION AVEC L'ÉQUIPE SUIVANTE :

JFSA

Alexandre Mineault ing. EIT, M. Sc., Ingénieur en Ressources hydriques
Alexandre Paradis, M. Sc., Hydrogéomorphologue
Mathieu Roy Tech., Technicien en géomatique et ressources hydriques

Université de Sherbrooke

Melanie Trudel ing. Ph. D., Professeur adjointe

Videns analytics

Véronique Tremblay, Experte méthodologique, Chargée de projet

Nadeau, Fournier Arpenteurs-Géomètre

Charles Desgens, a-g.

MEMBRES DU COMITÉ DE SUIVI SCIENTIFIQUE :

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Audrey Lavoie, ing., M. Sc., Direction de l'expertise hydrique
Richard Turcotte, ing., Ph. D., Direction de l'expertise hydrique
Frédéric Côté, Direction de l'expertise hydrique

Ouranos

Mohammad Bizhanimanzar, Ph. D.
Groupe scenarios et services climatique

VERSIONS

Date	Version	Description	Approuvée
2021-12-03	VP01	Rapport préliminaire	GM
2022-01-26	VF01	Rapport final	GM

TABLE DES MATIÈRES

VERSIONS.....	III
INTRODUCTION.....	6
1.1 MISE EN CONTEXTE.....	6
1.2 OBJECTIFS DU PROJET.....	7
2. SOURCES D'INCERTITUDE.....	8
2.1 ÉLÉMENTS DE THÉORIE.....	8
2.2 INVENTAIRE DES SOURCES D'INCERTITUDE.....	9
2.3 STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	13
2.3.1 Campagne d'échantillonnage exploratoire.....	13
2.3.2 Campagne d'échantillonnage principale.....	14
2.4 SITES D'ÉTUDES.....	15
2.4.1 Campagne de mesure exploratoire.....	15
2.4.2 Campagne de mesure principale.....	18
2.5 GNSS.....	22
2.6 OPÉRATEURS.....	22
2.7 MESURE DE NIVEAU D'EAU PAR BOUÉE BATHYMÉTRIQUE (HYDROBALL).....	23
2.8 MÉTHODES STATISTIQUES D'ÉVALUATION DES INCERTITUDES.....	24
3. RÉSULTATS.....	26
3.1 PRÉSENTATION DES DONNÉES RÉCOLTÉES.....	26
3.1.1 Valeurs aberrantes et faux fixes.....	27
3.1.2 Indépendance des mesures.....	33
3.1.3 Exactitude et biais.....	34
3.1.1 Dérive des mesures par rapport au niveau d'eau.....	35
3.2 ANALYSE DES SOURCES D'INCERTITUDES.....	35
3.2.1 Le VRMS/CQ1D et les sources d'incertitudes liées au GNSS.....	36
3.2.2 Importance des sources d'incertitude sur la précision du niveau d'eau.....	38
3.2.3 Modèles d'incertitudes.....	40
3.3 RÉSULTATS DES MESURES PAR BOUÉE BATHYMÉTRIQUE.....	44
4. RECOMMANDATIONS POUR LA MESURE DES NIVEAUX D'EAU.....	47
5. LIMITES.....	48
6. CONCLUSION.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	50

Annexe A. Protocole du MELCC pour la mesure traditionnelle des lignes d'eau

Annexe B. Planification de la campagne de terrain exploratoire

Annexe C. Planification de la campagne de terrain principale

Annexe D. Fiches techniques des GNSS

Annexe E. Notes de terrain des campagnes exploratoire et principale

Annexe F. Liste des fichiers numériques

Annexe G. Analyses statistiques

Annexe H. Analyse des résultats de traitement des données acquises par une bouée Hydroball

INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE

À la suite des inondations survenues au printemps 2017, le gouvernement du Québec a débuté une réflexion sur la gestion de l'aléa d'inondation sur l'ensemble du territoire dans un contexte de changements climatiques. À la base de cette réflexion, les intervenants ont reconnu le besoin d'une cartographie à jour des zones inondables afin de mieux définir les risques associés aux inondations. Le projet INFO-Crue, mis en œuvre par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et ses partenaires, a pour objectif de fournir les outils pour délimiter les zones inondables dans le Québec méridional et développer un système de prévision en temps réel des niveaux d'eau dans un délai de quelques jours.

La modélisation et la cartographie du risque d'inondation nécessitent une connaissance approfondie de l'incertitude sur les données de niveaux d'eau servant au calage des modèles hydrauliques des rivières. Traditionnellement, les mesures de niveaux d'eau sont faites à l'aide d'un GNSS (Global Navigation Satellite System) en bordure de rivière. Toutefois, plusieurs sources d'incertitude peuvent affecter la qualité de la mesure des niveaux d'eau. La connaissance détaillée des sources d'incertitudes et leur quantification permet de définir des cibles de calage pour les modèles hydrauliques, par exemple un écart de 10 cm pour 90 % des lignes d'eau ou plus. Le présent projet a donc pour objectif général de caractériser et quantifier l'incertitude des mesures traditionnelles de niveau d'eau lors de crues. L'élaboration d'un modèle d'incertitude des mesures de niveaux d'eau permet de préciser des critères méthodologiques clairs et homogènes en cartographie des zones inondables au Québec.

1.2 OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif général de ce projet est la construction d'un modèle d'incertitude de la mesure traditionnelle du niveau d'eau applicable aux rivières du Québec méridional. Les objectifs détaillés sont :

- Identifier les sources d'incertitude liées à la prise de mesures traditionnelles par lignes d'eau à l'aide d'un GNSS-RTK (*Real Time Kinematic*).
- Évaluer et quantifier les sources d'incertitudes par une campagne de terrain exploratoire afin de cibler les sources d'incertitudes les plus importantes.
- Développer un plan d'échantillonnage visant à couvrir les sources principales d'incertitude de mesure du niveau d'eau par mesure traditionnelle et par bouée bathymétrique.
- Réaliser la campagne de mesures lors des crues printanières.
- Développer et valider un modèle d'incertitude permettant de connaître la distribution des probabilités du niveau d'eau réel à partir des niveaux d'eau mesurés.
- Comparer les résultats de la mesure traditionnelle et de la mesure par bouée bathymétrique (*Hydroball*).
- Émettre des recommandations afin de réduire les sources d'incertitudes lors des mesures traditionnelles de niveau d'eau.

2. SOURCES D'INCERTITUDE

2.1 ÉLÉMENTS DE THÉORIE

La mesure d'une grandeur physique est toujours accompagnée d'une incertitude qui dépend des paramètres du processus de mesure, des instruments employés et des connaissances qu'on a des conditions de mesure. En réalisant une mesure, on espère être précis (peu de variation entre les répétitions) et exact (près de la valeur vraie). L'exactitude d'une mesure dépend d'erreurs grossières, d'erreurs systématiques et bien sûr, d'erreurs aléatoires. La précision dépend quant à elle essentiellement d'erreurs aléatoires. Dans cette étude, nous allons concentrer nos efforts sur la caractérisation des erreurs aléatoires liées à la mesure des niveaux d'eau. Le protocole sera rédigé et appliqué de sorte à réduire et, idéalement, éliminer les erreurs grossières (par exemple une mauvaise entrée de la hauteur du récepteur dans le carnet) et les erreurs systématiques (par exemple une pointe de canne usée qui fait en sorte de sous-estimer l'élévation).

La gestion des incertitudes associées à une mesure est définie selon ces étapes dans la méthode GUM (JCGM, 2008) :

- Identification des sources d'incertitudes affectant la mesure
- Caractérisation des sources d'incertitude
- Estimation des incertitudes types
- Propager/combiner les incertitudes

Il existe deux grandes catégories d'incertitude, soit les incertitudes de type A et celles de type B. Le modèle d'incertitude tiendra compte des deux types d'incertitude :

- L'incertitude de type A est évaluée par l'analyse statistique de mesures obtenues dans diverses conditions de répétabilité. Il est question ici d'erreur de mesure aléatoire.
- L'incertitude de type B concerne toutes les autres sources d'incertitudes qui ne sont pas de type A, et donc difficiles à quantifier. Ce sont les erreurs intrinsèques au processus de mesure et au matériel utilisé. Il est question ici de la précision de l'instrument, de sa calibration, etc.

2.2 INVENTAIRE DES SOURCES D'INCERTITUDE

Les sources d'incertitudes liées à la mesure des niveaux d'eau par GNSS (Global Navigation Satellite System) sont nombreuses. Il est possible de les regrouper selon différentes catégories liées au 5M (Ishikawa, 1982) : Moyen (instrument de mesure), Méthode (modèle d'enregistrement de la mesure), Matière (nature de la mesure), Milieu (conditions opérationnelles et environnementales) et Main d'œuvre (opérateur). La Figure 1 présente l'inventaire des sources d'incertitudes sous la forme d'un diagramme en arrête de poisson (diagramme d'Ishikawa). D'autres sources d'incertitude pourraient affecter la mesure du niveau d'eau, par exemple le modèle de géoïde choisi, mais ne sont pas répertoriées ici, car elles affectent de manière équivalente toutes les mesures lorsqu'elles sont toutes récoltées dans le même système de coordonnées.

Un grand nombre de sources d'incertitudes sont liées au processus de mesure par GNSS. Parmi ces sources d'erreurs, de nombreuses sont gérées et/ou corrigées par les algorithmes internes du GNSS. Par exemple, l'utilisation de récepteurs (rovers) pouvant capter plusieurs fréquences d'émissions (L1, L2 et/ou L5) permet de corriger les erreurs liées aux conditions atmosphériques. Globalement, selon le capteur GNSS utilisé, le fabricant donne en général une incertitude de mesure minimale en conditions parfaites qui est fonction de ses capteurs de fréquence, des constellations de satellites accessibles et des algorithmes de correction en tout genre. À cette incertitude liée aux capteurs, s'ajoute le DOP (*dilution of precision*) qui englobe le contexte de la constellation de satellites lors du moment de la mesure. Le DOP dépend du nombre de satellites captés pour estimer la position du récepteur et de leur position. Le DOP est donc un indicateur contextuel de la précision de la prise de mesure. Le DOP peut être décomposé entre la précision de la position horizontale (HDOP) et la précision de la position verticale (VDOP). La position verticale a toujours une incertitude supérieure à la position horizontale, car les satellites trop près de l'horizon (sous les 10 ou même 15 degrés) doivent être éliminés du calcul de l'élévation. En effet, les erreurs liées aux conditions atmosphériques sont trop importantes pour ces satellites.

Pour des mesures d'élévation précises (de l'ordre du cm) il est essentiel d'utiliser le GNSS en mode RTK (*Real Time Kinematics*). L'idée générale est d'utiliser un point fixe dont les coordonnées sont connues pour estimer une correction en temps réel sur la position du récepteur. Plusieurs réseaux de points fixes sont disponibles au Québec (MERN, Smart-Net, Can-net). Ces stations fixes doivent communiquer avec le récepteur pour que la correction soit appliquée (souvent avec le réseau cellulaire). Toutefois, plus la distance avec la station fixe est grande, plus la perte de précision est importante, car les conditions (par exemple,

atmosphérique, stellites captés) de corrections qui s'appliquent à la station fixe risquent d'être différentes pour le récepteur. Dans ces situations, ou lorsque la connexion avec les réseaux fixes est difficile, l'utilisation d'une station fixe portative positionnée sur un point géodésique connu qui communique par radio avec le récepteur est de mise.

Le diagramme de la Figure 1 a servi de base à l'élaboration du protocole de mesure afin de planifier une campagne d'échantillonnage permettant de bien évaluer les sources d'incertitudes les plus importantes. Le Tableau 1 répertorie les sources d'incertitudes et comment elles ont été prises en compte dans le protocole et le plan d'échantillonnage. Pour chaque point de mesure, toutes les sources d'incertitudes répertoriées ont été documentées, mais chacune a été traitée selon quatre possibilités lors de la prise de mesures :

- Répétitions en faisant varier une source d'incertitude de manière contrôlée ;
- Répétitions semi-contrôlées en mettant à profit la variation naturelle des sources d'incertitude liée aux sites de mesure ;
- Répétitions non contrôlées selon le contexte précis au moment de la prise de mesure, mais qui en principe couvrait une grande variabilité ;
- Aucune prise en compte, mais a été noté.

La sélection des sources d'incertitude et la manière dont elles ont été mesurées au cours de la campagne de terrain se sont basées sur ces critères :

- Optimisation de l'effort terrain pour récolter le plus de mesures possible couvrant une grande variabilité de sources d'incertitude, sachant que plusieurs d'entre elles sont interreliées. La végétation est un exemple de source d'incertitude qui aura un impact sur la captation des fréquences, mais la gamme de l'appareil sera aussi influencée puisqu'une meilleure antenne va améliorer la captation du signal.
- La mesure du niveau d'eau en période de crue limite le nombre de répétitions possibles, car le niveau d'eau risque de varier d'heure en heure. Les répétitions ont été planifiées dans un délai assez court. Pour pallier cette contrainte et nous donner un peu plus de flexibilité en cas d'avarie, nous avons couplé chaque mesure de niveau à la mesure d'un point fixe en berge.
- Échantillonnage planifié afin de respecter différents critères et conditions d'analyses statistiques (nombre de répétitions, indépendance des valeurs, etc.).

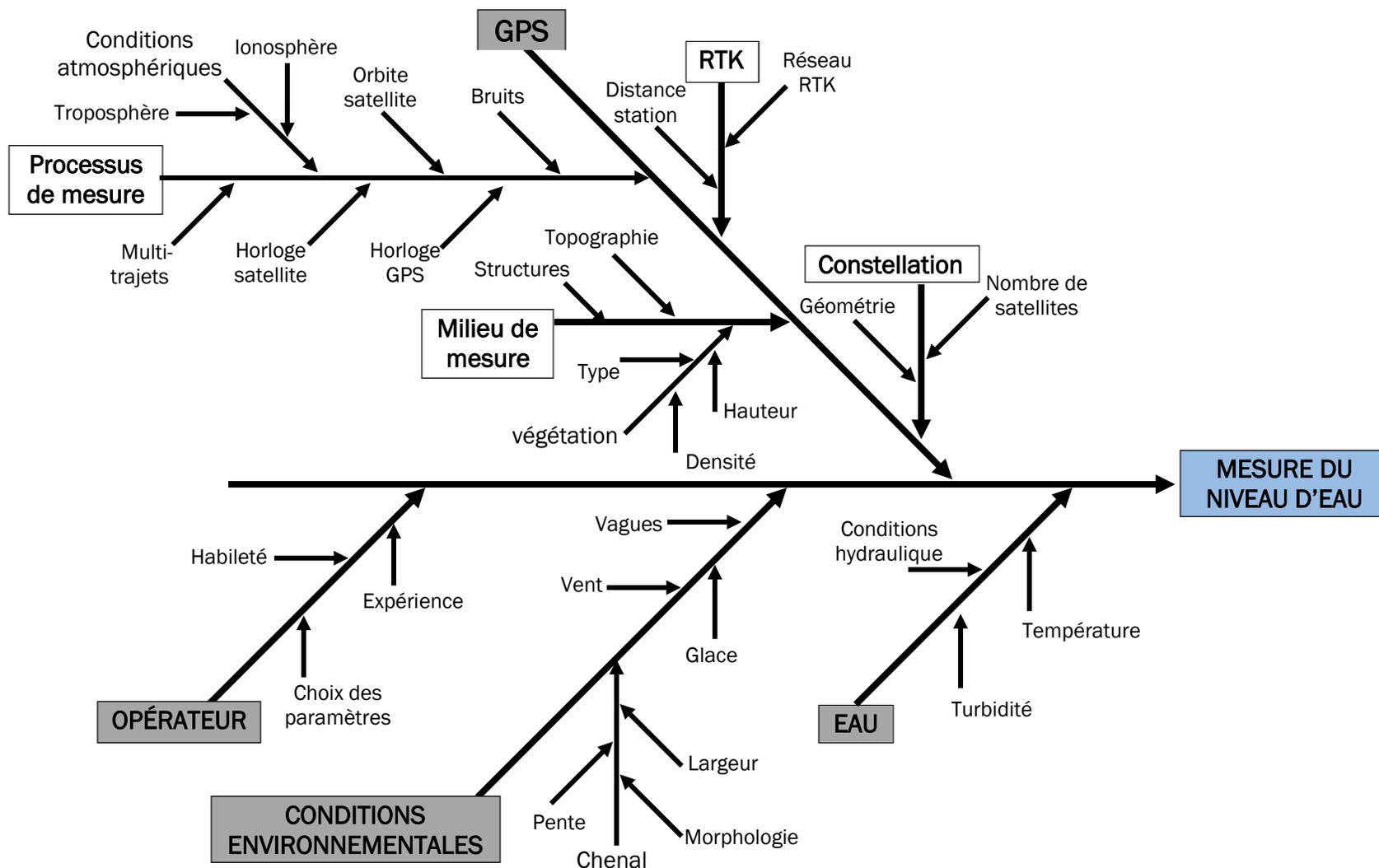


Figure 1. Diagramme d'Ishikawa des sources d'incertitudes liées à la mesure du niveau d'eau par GNSS-RTK.

Tableau 1. Inventaire des sources d'incertitudes liées à la mesure du niveau d'eau par GNSS-RTK

Sources d'incertitudes	Prise en compte	Plan d'expérience
GNSS		
Processus de mesure		
Multiples facteurs	Répétitions contrôlées	3 gammes de GNSS ayant des propriétés variées
RTK		
Réseau	Répétitions contrôlées	Smart-Net, MERN
Distance	Répétitions contrôlées	Choix des sites (proche à loin)
Constellation satellites		
Nombre/géométrie	Répétitions non contrôlées	VDOP enregistré lors de la mesure
Milieu de mesure		
Végétation	Répétitions semi-contrôlées	Choix des sites (Type, hauteur, densité)
Topographie	Répétitions semi-contrôlées	Choix des sites (encaissé, ouvert)
Structures	Répétitions semi-contrôlées	Choix des sites (présence/absence, ponts, barrages)
Opérateur		
Expérience/habilité	Répétitions contrôlées	3 opérateurs et 2 techniques de mesure
Paramètres utilisateurs	Constant	Meilleure pratique selon l'appareil
Conditions environnementales		
Chenal	Répétitions semi-contrôlées	Choix des sites (largeur, morphologie, pente)
Vagues	Répétitions semi-contrôlées	Mesure lorsque présente (creux et sommet)
Facteurs multiples	Répétitions non contrôlées	Aucun, prise en note (glace, vent)
Eau		
Conditions hydrauliques	Répétitions semi-contrôlées	Choix des sites (largeur, morphologie, pente)
Température	Répétitions non contrôlées	Aucun, prise de note
Turbidité	Répétitions non contrôlées	Aucun, prise de note

2.3 STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE

2.3.1 Campagne d'échantillonnage exploratoire

Avant de procéder à la campagne d'échantillonnage afin de caractériser l'incertitude liée à la mesure des niveaux d'eau, nous avons d'abord procédé à une campagne d'échantillonnage exploratoire afin de tester différentes questions que nous avons et d'utiliser les conclusions pour optimiser la campagne d'échantillonnage principale. En faisant différentes recherches, nous avons identifié des zones grises en lien avec l'utilisation des GNSS que nous avons pu tester lors de cette campagne d'échantillonnage exploratoire :

- La plupart des analyses statistiques se basent sur les données indépendantes. Nous n'étions pas certains si nous devons bloquer le signal entre les satellites et le récepteur GNSS entre chaque mesure pour assurer l'indépendance des mesures répétées.
- Bien que de tester plusieurs réseaux RTK lors de la campagne de terrain principale soit irréaliste sur le plan logistique, nous avons testé cet aspect lors de la campagne de terrain préliminaire en comparant des mesures prises avec le réseau du MERN et avec le réseau SmartNet.
- La végétation est une condition environnementale inhérente à la prise de mesure en bordure de rivière. Cette variable a été testée plus rigoureusement lors de la campagne exploratoire, car il est difficile de contrôler cette variable en bordure de cours d'eau.

Nous avons procédé à une pratique générale en utilisant des points géodésiques connus comme cibles de mesure dans le cadre d'une campagne de terrain exploratoire. Nous avons donc testé le plan d'échantillonnage et les analyses statistiques souhaitées. Selon les résultats obtenus ont permis des ajustements au plan d'échantillonnage de la campagne de terrain principale. Nous avons échantillonné quatre points géodésiques couvrant une gamme de distance par rapport aux bases du MERN. Pour éliminer l'effet de l'opérateur, nous avons installé les capteurs sur trépieds lors des mesures. À chaque site, nous avons réalisé une série de mesures directement sur la borne géodésique et une autre série de mesures sous couvert végétal selon les différentes combinaisons suivantes (20 mesures répétées pour chaque combinaison). Dans certaines situations, nous avons pu répéter les mesures en connectant les GPS à deux bornes différentes du réseau RTK du MERN.

- 3 capteurs GNSS (entrée de gamme, moyenne gamme et haut de gamme)

- Mesures prises avec le signal satellite en continu et ensuite en coupant le signal (à l'aide d'une boîte).
- 2 réseaux RTK (MERN, SmartNet)

La planification de cette campagne de terrain préliminaire est présentée à l'Annexe B.

2.3.2 Campagne d'échantillonnage principale

Pour que les données récoltées soient de bonne qualité et permettent de bien estimer la variabilité des sources d'erreurs, voici les mesures qui ont été répétées à chaque site, en se basant sur l'inventaire du Tableau 1. Nous avons aussi tenu compte des instructions contenues dans le protocole du MELCC pour la mesure traditionnelle des lignes d'eau (Annexe A). Les résultats de la campagne d'échantillonnage préliminaire ont aussi été tenus en compte. Le plan d'expérience élaboré met l'accent sur les sources d'incertitudes liées à l'opérateur, à l'eau et aux conditions environnementales tout en tenant compte des principales sources d'incertitudes liées au GNSS (Figure 1 et Tableau 1).

Pour chaque site de mesure :

- 3 opérateurs (technicien, étudiant, professionnel)
- 3 positions (station fixe, niveau d'eau 1, niveau d'eau 2).
- 3 capteurs GNSS (entrée de gamme, moyenne gamme et haut de gamme)
- 1 réseau RTK (MERN ou base radio si absence de réseau cellulaire)

Pour chaque combinaison, un minimum de 20 mesures a été enregistré. Sur le plan statistique, récolter un minimum de 15 mesures permet de facilement utiliser la loi normale si la distribution est symétrique. La planification de cette campagne est présentée à l'Annexe C.

Cette combinaison a permis d'échantillonner 11 sites distincts dans deux régions du Québec méridional à raison d'une demi-journée pour chaque site. Les mesures de niveau d'eau ont été jumelées à la mesure d'une station d'élévation fixe. La station fixe consistait en une brique déposée sur le sol avec une cible au centre. La mesure du niveau d'eau, par rapport à la mesure de la station fixe, est principalement influencée par l'incertitude liée à l'opérateur et aux conditions environnementales comme les vagues. Ce pairage des mesures a deux avantages, d'abord il nous permet de corriger a posteriori l'effet des variations du niveau d'eau durant l'échantillonnage. De plus, il permet de bien isoler l'incertitude liée à l'opérateur

et à la nature mouvante de la cible. Afin d'augmenter le nombre de mesures et d'évaluer une autre source d'incertitude, les opérateurs ont pris deux mesures de niveaux d'eau selon deux méthodes différentes. La première méthode consiste à utiliser le bout de la botte afin d'appuyer la pointe de la canne du GNSS et d'ajuster l'élévation de la botte pour affleurer la surface de l'eau pour mesurer le niveau d'eau. La deuxième méthode consiste à déposer la pointe de la canne du GNSS sur une roche semi-émergée sur la ligne du niveau d'eau.

Afin d'assurer l'indépendance des mesures et aussi pour faciliter le traitement, trois briques de références avec un point cible étaient disposées à des distances d'environ deux mètres le long de la berge et les opérateurs prenaient les mesures en séquence de trois (brique, botte, roche). Après avoir répliqué les trois mesures 20 fois avec un GNSS (donc 60 mesures), les opérateurs changeaient de position, les GNSS restant à la même position.

Les mesures de niveaux d'eau ont été accompagnées d'une prise de note rigoureuse sur les combinaisons de sources d'incertitude contrôlée lors des mesures et des sources d'incertitudes liées au site de mesure (topographie, végétation, etc.) et à la variation temporelle (glace, température, etc.) (Annexe C). Il y a aussi une vidéo réalisée comme spécifiée à l'Annexe A, les vidéos sont incluses à l'Annexe F numérique.

2.4 SITES D'ÉTUDES

2.4.1 Campagne de mesure exploratoire

Les quatre points géodésiques dans la région de Gatineau situés à des distances de 2 à 100 km des bases du réseau RTK du MERN et de 7 à 50 km des stations du réseau RTK privé SmartNet (Tableau 2). Les points géodésiques ont été sélectionnés en fonction de la distance et devaient avoir été déterminés par GNSS avec la méthode statique en utilisant les bandes L1 et L2. À proximité de chacune des bornes, un ensemble de données a aussi été récolté sous un couvert végétal caractérisé au Tableau 3 et en photo à la Figure 2. Les données ont été récoltées les 24 et 25 mars, le couvert végétal n'avait donc pas de feuille, c'est pourquoi nous avons sélectionné un site avec des cèdres afin d'avoir un maximum d'interférences.

Tableau 2. Caractéristiques des bornes géodésiques échantillonnées
(coordonnées basées sur le modèle CGVD28 et la projection NAD83 MTM 9)

Site	Identifiant de la borne	X (m)	Y (m)	Z (m)	Distance de la base RTK (MERN)	Distance de la base RTK (SmartNet)
1	94K4755	366365.576	5036783.619	47.87	2.4 km (Gatineau)	29.1 km (Station Sainte-Cécile de Masham)
2	94K4670	363271.738	5037168.897	75.38	5.01 km (Gatineau)	26.4 km (Station Sainte-Cécile de Masham)
3	96KM617	345260.02	5138003.897	167.87	42.2 km (Mont-Laurier)	47.9 km (Station Kaz)
4	87KSY01	349139.854	5057037.831	151.8	26.8 km (Gatineau) 105.3 km (Mont-Laurier)	7.04 (Station Sainte-Cécile de Masham)

Tableau 3. Caractéristiques des sites avec couvert végétal
(coordonnées basées sur le modèle CGVD28 et la projection NAD83 MTM 9, moyennes de toutes les données pour chaque emplacement)

Site	X (m)	Y (m)	Z (m)	Type de végétation	Hauteur	Densité de recouvrement	Météo
1	366333.98	5036780.77	50.32	Cèdres	3-5 m	40 %	Nuageux
2	363292.97	5037173.29	74.39	Feuillus isolés avec bourgeons	5 m	20 %	Pluvieux
3	345255.68	5138078.63	167.29	Feuillus en bande avec bourgeons	20 m	60 %	Soleil
4	349143.38	5057038.60	150.91	Arbustes	2-3 m	20 %	Soleil



Figure 2. Photographies des sites de prise de données GNSS lors de la campagne d'échantillonnage préliminaire.

2.4.2 Campagne de mesure principale

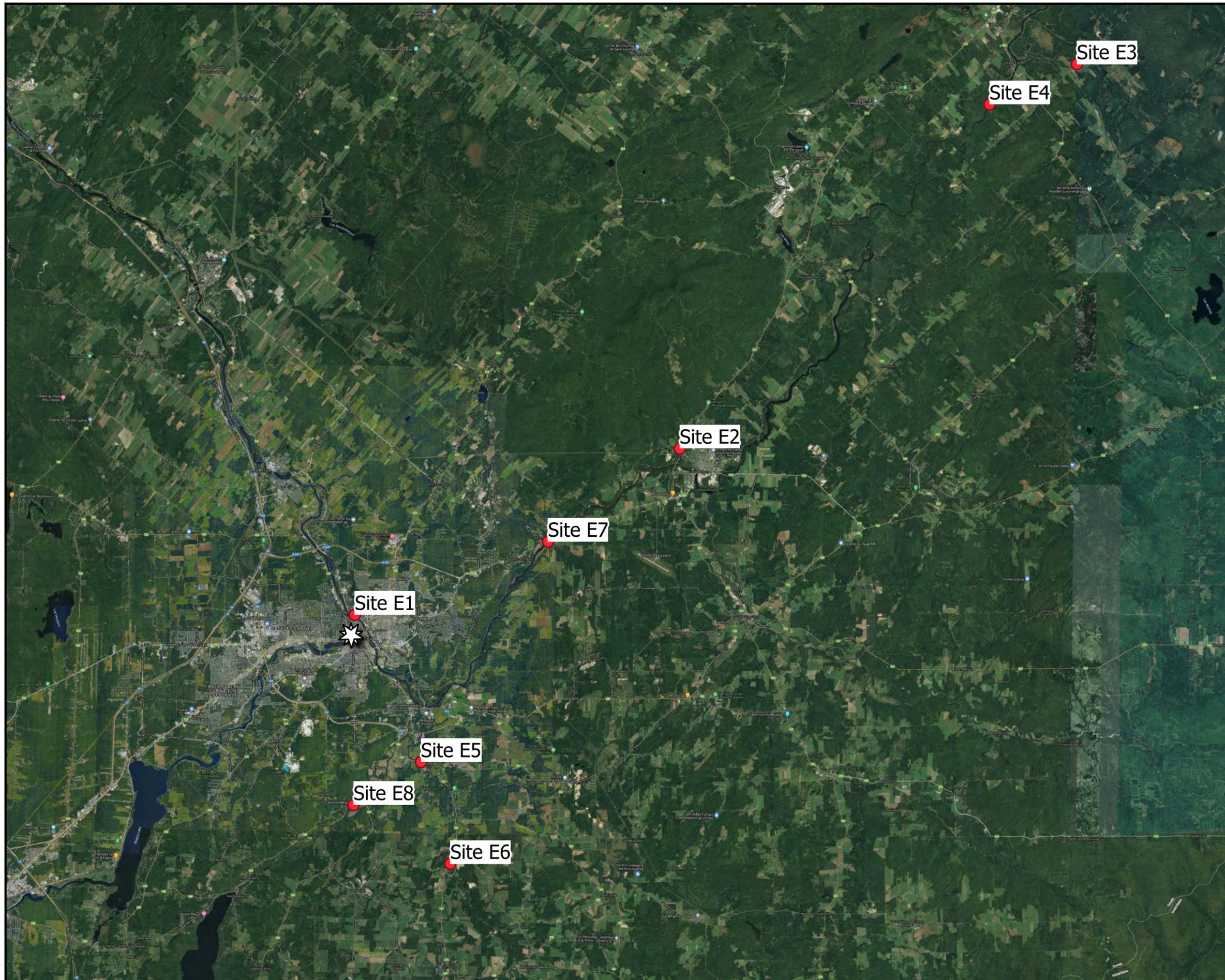
Les 11 sites échantillonnés sont répartis en Estrie (E1 à E8) et en Outaouais (O3 à O5), la Figure 3 montre les sites lorsqu'ils ont été échantillonnés. Leur localisation se trouve à la Figure 4 et à la Figure 5. Les trois sites en Outaouais ont été sélectionnés pour leur similitude à des sites de l'Estrie et permettront de valider le modèle d'incertitude construit avec les données récoltées en Estrie. Le site O1 ressemble au site E4, le O2 au E5 et le O3 au E3. Leurs caractéristiques présentées au Tableau 2 couvrent une gamme de contextes pour représenter différentes sources d'incertitudes (distance, météo, largeur, type d'écoulement, végétation, pente, vallée, pont/ponceau, seuil/barrage).



Figure 3. Photographies des sites d'échantillonnage de la campagne de terrain principale.

Tableau 4. Caractéristiques des sites de la campagne principale.
(coordonnées basées sur le modèle CGVD28 et la projection NAD83 MTM 7 ou 9 selon la région)

Site	X (m)	Y (m)	Z (m)	Distance de la base RTK (km)	Météo	Orientat-ion vallée	Cours d'eau	Largeur (m)	Pente	Sédiments	Sinuo-sité	Encais-sement vallée	Surface de l'eau	Vagues	Struc-ture	Environ-nement	Recou-vrement canopée	Type de végé-tation
E1	195541	5031062	140.48	1.105	Soleil	160 °	Riv. Saint-François	135	Faible	Roc/gra vier	Moy.	Un peu	Tranquille	Non	Aucune	Urbain	0 %	N.A.
E2	213001	5039963	186.15	20.289	Part. nuageux	60 °	Ruisseau Big Hallow	8	Forte	Gravier	Faible	Oui	Critique	Ondu-lations	Aucune	Agro-forestier	20 %	Feuillus
E3	234345	5060587	242.70	49.567	Soleil	105 °	Riv. Au Saumon	55	Faible	Sable	Moy.	Non	Tranquille	Non	Aucune	Agricole	0 %	N.A.
E4	229648	5058421	232.68	44.558	Soleil	45 °	Riv. Saint-François	75	Forte	Roc/gra vier	Faible	oui	Critique	Vague-lettes	Barrage	Forestier	0 %	N.A.
E5	199109	5023169	146.54	7.776	Nuageux	105 °	Riv. Moe	30	Moy.	Sable/g ravier	Faible	Un peu	Critique	Ondu-lations	Pont/Ba rrage	Rési-dentiel	40 %	Feuillus
E6	200669	5017723	172.89	13.371	Part. nuageux	135 °	Riv. Moe	20	Forte	Roc/gra vier	Moy.	Oui	Critique	Ondu-lations	Aucune	Agro-forestier	80 %	Mixte
E7	195488	5020869	145.36	11.704	Nuageux	45 °	Riv. Saint-François	100	Faible	Limon/s able	Faible	Un peu	Tranquille	Non	Pont	Rési-dentiel	60 %	Feuillus
E8	205932	5034986	157.59	9.109	Nuageux	30 °	Riv. Massawipi	40	Faible	Gravier	Faible	Un peu	Calme	Non	Pont	Agro-forestier	10 %	Feuillus
O1	363491	5039103	42.55	4.8	Nuageux	160 °	Riv. Gatineau	190	Forte	Argile	Faible	Un peu	Critique	Vague-lettes	Aucune	Urbain	30 %	Mixte
O2	364715	5038004	41.92	3.5	Nuageux	50 °	Ruisseau Desjardins	10	Moy.	Gravier	Forte	Oui	Critique	Ondu-lation	Aucune	Rési-dentiel	80 %	Feuillus
O3	374789	5042708	43.19	8	Nuageux	170 °	Riv. La Blanche	25	Faible	Gravier	Moy.	Non	Tranquille	Non	Aucune	Forestier	0 %	N.A.



Localisation des sites en Estrie

Légende

- Campagne de terrain de validation
- Stations du réseau RTK du MERN

Source: Imagerie Google

Par:



Clients:



Projet:

Développement du modèle d'incertitude associé à la mesure traditionnelle des lignes d'eau lors de crues pour les rivières du Québec méridional

No	PAR	DATE	DESCRIPTION	APPR.

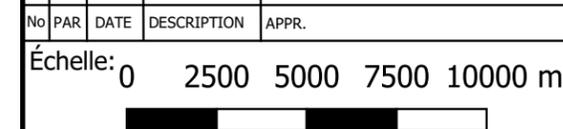
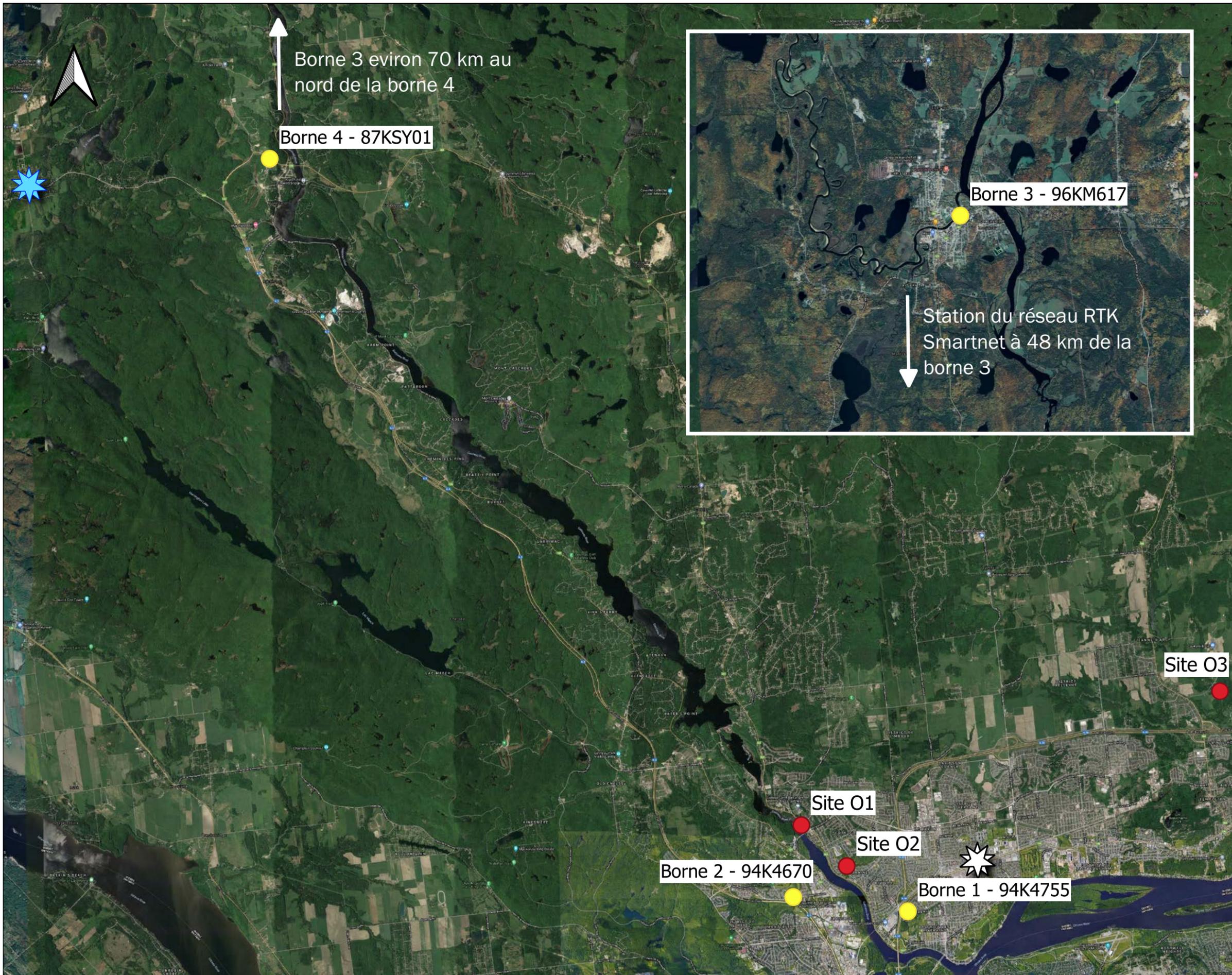


Figure 4

CONÇU: AP
DESSINÉ: GM
VÉRIFIÉ: GM
APPROUVÉ: HL
DATE: P2031
29/10/2021



Localisation des sites en Outaouais

Légende

- Campagne de terrain de validation
- Campagne de terrain préliminaire
- Stations du réseau RTK du MERN
- Stations du réseau RTK SmartNet

Source: Imagerie Google

Par:



Clients:



Projet:

Développement du modèle d'incertitude associé à la mesure traditionnelle des lignes d'eau lors de crues pour les rivières du Québec méridional

No	PAR	DATE	DESCRIPTION	APPR.

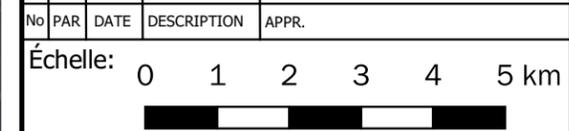


Figure 5	CONÇU: AP
	DESSINÉ: GM
	VÉRIFIÉ: GM
	APPROUVÉ: HL
	DATE P2031
	29/10/2021

2.5 GNSS

Pour réaliser l'étude, nous avons sélectionné trois récepteurs GNSS dont les prix d'acquisitions correspondent à des systèmes d'entrée de gamme, de moyenne gamme et de haute gamme. Les trois récepteurs peuvent fonctionner en mode RTK selon les bandes L1/L2 avec les constellations GPS, Glonass, Galileo et Beidou. Les paramètres utilisés sont les mêmes et sont spécifiés à l'Annexe B et à l'Annexe C. Les fiches techniques des récepteurs GNSS utilisés sont à l'Annexe D :

- GNSS haut de gamme (GNSS 1) – Leica GS15 (*campagne préliminaire*)
- GNSS haut de gamme (GNSS 1) – Leica GS14 (*campagne principale*)
- GNSS de moyenne gamme (GNSS 2) – Hemisphere S321
- GNSS d'entrée de gamme (GNSS 3) – EmLid Reach RS2

2.6 OPÉRATEURS

Au total, cinq opérateurs ont participé à la campagne de mesure principale, chaque site ayant été échantillonné par trois opérateurs. Un seul opérateur (un technicien en environnement) a participé à l'échantillonnage des sites en Estrie et en Outaouais. Deux opérateurs, un professionnel en environnement et une chercheure postdoctorale ont participé à l'échantillonnage des sites en Estrie. Deux autres opérateurs, un ingénieur et une candidate à la profession d'ingénieure ont échantillonné les sites en Outaouais. Voici une description sommaire de leur expérience en lien avec la mesure du niveau d'eau par GNSS :

- OP1 (technicien) – Expérience étendue
- OP2 (professionnel) – Expérience étendue
- OP3 (chercheure) – Expérience limitée
- OP4 (ingénieur) – Expérience intermédiaire
- OP5 (CPI) – Expérience limitée

2.7 MESURE DE NIVEAU D'EAU PAR BOUÉE BATHYMÉTRIQUE (HYDROBALL)

Pour répondre à nos objectifs, un secteur d'environ 40 km de la rivière Saint-François localisé à Sherbrooke a été sélectionné comme une zone d'étude. Les données disponibles du 27/03/2020 lors de la crue printanière sont celles de l'HydroBall®, des points GNSS-RTK sur la rive et d'un trajet GNSS-RTK pris au kayak. Les données ont été récoltées par l'équipe de l'université de Sherbrooke sous la direction de la professeure Melanie Trudel. L'HydroBall® et un GNSS-RTK de marque Leica sont installés sur le même trimaran tiré par un kayak (Figure 6).



Figure 6. HydroBall® et un GNSS-RTK installés sur un trimaran

Pour la même date, les données de base GNSS à Sherbrooke (du MERN) Magog (SmartNet) et Granby (SmartNet) ont été téléchargées. La Figure 7 représente le trajet fait par la bouée HydroBall® qui a été tractée par les kayakistes de SRS Nautique, des points GNSS-RTK pris sur la rive, des points GNSS prises sur le kayak aussi bien que la localisation des trois stations GNSS : Sherbrooke, Magog et Granby (non présenté sur la figure). Les données de la base GNSS de Sherbrooke sont disponibles sur le site du MERN.

Carte du trajet d'Hydroball, GPS kayak et emplacement des stations de base utilisées

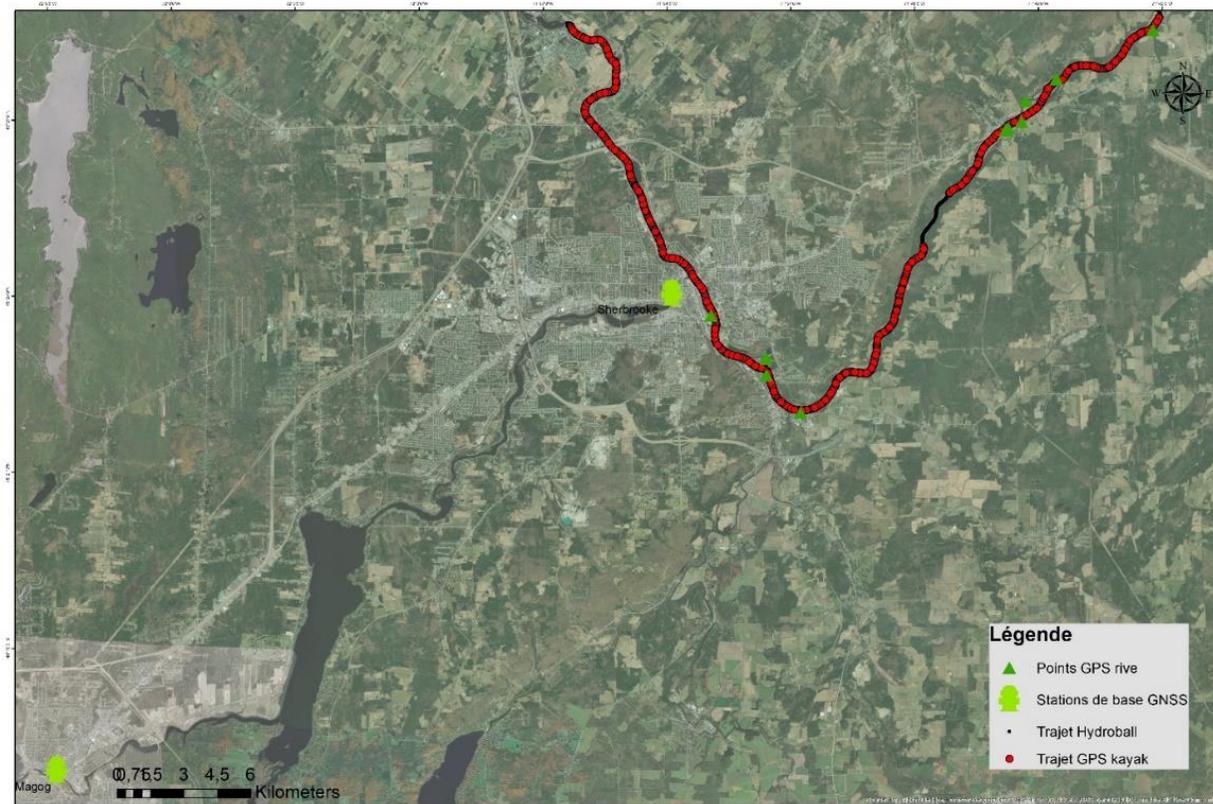


Figure 7 : Localisation de notre site d'étude et des données utilisées

2.8 MÉTHODES STATISTIQUES D'ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Sur le plan statistique, le jeu de données permettra d'atteindre simultanément deux objectifs :

- (1) Évaluer l'importance des sources d'incertitudes : L'objectif est d'évaluer l'incertitude (la variabilité) associée à différentes sources d'erreurs. On veut décomposer la variabilité totale de la mesure en une variabilité associée aux différentes sources d'erreurs (instrument, environnement, opérateur, etc.). En décomposant les sources de variabilité, on parviendra aussi à identifier les sources de variabilité les plus importantes et à faire des recommandations pour choisir les méthodes de travail permettant de minimiser les incertitudes.

(2) Construire un intervalle de confiance à 95 % sur les valeurs estimées : Le second objectif est d'estimer un intervalle de confiance à 95 % qui s'appliquerait aux nouvelles mesures de hauteur d'eau effectuées. La longueur de l'intervalle de confiance construit dépendra des conditions dans lesquelles les mesures sont prises.

Les deux objectifs peuvent être atteints à l'aide d'un modèle linéaire à effet aléatoire :

$$Y = \mu + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$$

Dans ce modèle, Y est la hauteur d'eau mesurée, μ est la vraie hauteur d'eau, les termes $\beta_i X_i$ sont ce que l'on appelle les effets aléatoires. Dans le contexte, ces effets aléatoires seront, par exemple: X_1 = le type d'appareil utilisé, X_2 = l'opérateur, X_3 les conditions météorologiques, X_4 = l'environnement physique... Le terme ϵ représente l'ensemble des sources d'erreurs que nous n'avons pas réussi à capter à travers les variables X observées sur le terrain.

Mathématiquement, l'estimation se fait par maximum de vraisemblance restreinte. La librairie lmer (Bates et coll., 2015) de R (R Core Team, 2021) permet de faire les estimations.

Nous obtiendrons ainsi σ_1^2 , la variance (variabilité) associée à X_1 (dans l'exemple, le type d'appareil utilisé), σ_2^2 , la variance associée à X_2 (l'opérateur), et ainsi de suite. Ces estimations nous permettront de :

- Comparer l'importance des différentes sources d'erreur en comparant les valeurs de σ_i . Par exemple, si σ_1 est plus grand que σ_2 , ça signifie que la source d'erreur 1 (dans l'exemple, le type d'appareil utilisé) est plus importante que la source d'erreur 2 (l'opérateur).
- Construire des intervalles de confiances à partir des variances calculées en supposant que les erreurs sont additives et que leur distribution est normale.

La méthodologie proposée ici est similaire à ce que l'on retrouve dans la littérature scientifique (voir par exemple (Deldossi et Zappa 2011)) et s'appuie sur les procédures de planification d'expérience de (Montgomery 2017).

3. RÉSULTATS

3.1 PRÉSENTATION DES DONNÉES RÉCOLTÉES

Les notes de terrain des campagnes d'échantillonnages sont à l'Annexe E. Toutes les données en format numérique (trois fichiers Excel) accompagnent ce rapport et le nom des fichiers et leur description sont détaillés à l'Annexe F. Toutes les élévations dans ce rapport sont fondées sur le modèle géoïde CGVD28 et les coordonnées utilisent la projection NAD83 MTM 7 (sites en Estrie) et MTM 9 (sites en Outaouais).

Les données de la campagne préliminaire ont été récoltées le 24 et le 25 mars 2021. Les données de la campagne principale ont été récoltées du 13 au 16 avril 2021 en Estrie et le 21 avril en Outaouais. Lors d'une année hydrologique régulière, les rivières sont en crue printanière à ces dates, avec le pic de la crue déjà passé, mais avec des niveaux d'eau tout de même élevés. Nous avons visé cette période de la crue printanière pour différentes raisons logistiques (température, neige, glace, sécurité) tout en nous assurant d'avoir des mesures en période de crue. La crue printanière de 2021 a toutefois été très précoce et de faible magnitude, ce qui a eu pour résultat que les niveaux d'eau en avril étaient déjà très bas, même dans les plus grandes rivières. Le principal inconvénient pour le jeu de données est que nous n'avons pas pu échantillonner dans des contextes d'écoulement critique avec de grosses vagues en surface de l'écoulement. Pour le reste, les impacts sur la qualité et la représentativité du jeu de données du contexte de la mesure du niveau d'eau dans le Québec méridional sont minimes.

Pour la campagne de terrain préliminaire, un total de 2331 mesures d'élévation ont été enregistrées qui se répartissent de 11 à 31 mesures par combinaison de facteurs (Tableau 5). Le nombre de répétitions a été abaissé à 20 la plupart du temps et à 11 dans une situation pour des raisons logistiques dans les situations où le GNSS prenait du temps à se fixer pour mesurer. En Estrie, lors de la campagne de mesures principales, un total de 4295 élévations ont été mesurées et en Outaouais, ce sont 1444 élévations qui ont été mesurées (Tableau 6). Les données au site 03 ont été récoltées uniquement avec 2 GNSS, puisque le 3^e a eu une malfunction, cela n'empêche aucunement la construction du modèle d'incertitude.

Le Tableau 5 et le Tableau 6 présentent pour chacune des séries de répétitions pour chaque combinaison de sources d'incertitudes l'élévation moyenne, l'étendue et l'écart-type des élévations. Il y a aussi le VRMS moyen et le VDOP moyen de la série de répétition, qui sont

des paramètres estimés par le GNSS lors de la prise de mesure. Le VRMS ou le *Vertical Root Mean Square error* est la précision de la mesure estimée par les algorithmes du GNSS dans le contexte et pour le moment précis de la mesure. Cette mesure peut aussi être nommée CQ1D selon le GNSS, ce qui signifie *coordinate quality 1D*, en lien avec la précision verticale. Le VDOP ou le *Vertical Dilution Of Precision*, est aussi estimé à chaque mesure par le GNSS en fonction du nombre de satellites captés et de leur position dans le ciel.

En général, la précision des mesures récoltées est excellente, même dans des contextes relativement difficiles avec la présence d'arbre, de structures ou de parois de vallées. Il y a des exceptions notables qui seront discutées dans la section suivante.

3.1.1 Valeurs aberrantes et faux fixes

Dans ce projet, la variable dont nous cherchons à comprendre sa variabilité est l'élévation du niveau d'eau mesurée par GNSS. Toutefois, pour construire le modèle d'incertitude, nous chercherons plutôt à comprendre ce qui compose l'écart-type des mesures d'élévations répétées pour chacune des combinaisons choisies qui permettent de couvrir la plupart des situations d'incertitudes rencontrées lors de la mesure du niveau d'eau dans le Québec méridional. La distribution des élévations pour chaque série de mesure suit une distribution approximativement normale, avec une étendue des valeurs qui correspond à la distribution du *t* de Student, soit d'environ 4 fois l'étendue des valeurs pour une distribution de $n = 20$.

Sur un total de 370 séries de mesures comprenant de 11 à 30 répétitions, presque 61 % (226 séries) des séries présentent un écart-type de la distribution des répétitions inférieur à 2 cm. Seulement 4,6 % (17 séries) des séries présentent un écart-type supérieur ou égal à 5 cm et 1,9 % (7 séries) des écarts-types supérieurs à 10 cm (Tableau 7). Parmi ces 17 séries, 8 séries ont des étendues de valeurs d'élévation supérieure à 50 cm et souvent supérieur à 1 m. En faisant l'inspection des données individuelles, on s'aperçoit que dans ces séries, ce sont généralement une ou deux valeurs extrêmes qui font varier l'écart-type de la série. Ces valeurs sont essentiellement dues à une erreur de calcul de la position du récepteur GNSS, souvent nommée faux fixe par les praticiens. Malheureusement, cette erreur est indétectable par l'utilisateur si une seule mesure est enregistrée. Dans notre jeu de données, nous pouvons les identifier, car nous avons fait des mesures répétées.

Tableau 5. Paramètres des répétitions de mesures de la campagne de terrain préliminaire

Distance base RTK	Nombre de répétitions			Élévation moyenne (m)			Étendue des élévations (m)			Écart-type des élévations (m)			Moyenne du VRMS (m)			Moyenne du VDOP		
	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3
Données mesurées à la borne géodésique																		
En défixant le GNSS entre chacune des mesures																		
Réseau RTK du MERN																		
2.4 km	30	30	30	47.87	47.90	47.86	0.044	0.208	0.058	0.010	0.036	0.011	0.024	0.008	0.010	2.37	1.04	1.00
5.01 km	30	30	30	75.39	75.39	75.39	0.018	0.511	0.021	0.005	0.079	0.005	0.011	0.009	0.010	1.40	0.89	1.01
26.8 km	30	30	30	151.72	151.83	151.74	0.058	0.142	0.043	0.015	0.032	0.012	0.027	0.037	0.010	1.60	0.96	1.01
42.2 km	30	30	30	167.81	167.87	167.85	0.060	0.093	0.059	0.014	0.021	0.014	0.020	0.035	0.015	1.32	1.10	1.12
105.3 km	#N/A	30	30	#N/A	151.81	151.71	#N/A	0.092	0.112	#N/A	0.025	0.025	#N/A	0.035	0.025	#N/A	0.82	1.07
102.4 km	30	#N/A	#N/A	167.82	#N/A	#N/A	0.062	#N/A	#N/A	0.015	#N/A	#N/A	0.023	#N/A	#N/A	1.57	#N/A	#N/A
Distance d'une base RTK du réseau SMARTNET (km)																		
7.04 km	30	30	30	151.75	151.77	151.78	0.037	0.084	0.058	0.008	0.016	0.015	0.013	0.009	0.012	1.24	1.09	0.84
26.4 km	30	30	30	75.39	75.41	75.42	0.061	0.053	0.046	0.012	0.013	0.009	0.021	0.010	0.016	1.30	1.04	1.00
29.1 km	30	30	29	47.93	47.92	47.93	0.189	0.122	0.227	0.046	0.036	0.063	0.045	0.022	0.020	1.91	1.31	1.12
47.9 km	30	30	30	167.89	167.89	167.92	0.054	0.101	0.297	0.014	0.027	0.054	0.028	0.034	0.026	1.43	1.07	1.15
En laissant le GNSS fixé durant toutes les répétitions																		
Distance d'une base RTK du réseau du MERN (km)																		
2.4 km	29	30	30	47.86	47.88	47.86	0.032	0.018	0.015	0.011	0.006	0.004	0.032	0.006	0.010	1.75	0.86	0.97
5.01 km	30	30	30	75.38	75.39	75.39	0.021	0.022	0.015	0.005	0.006	0.004	0.010	0.006	0.010	1.08	0.86	1.05
26.8 km	30	30	30	151.72	151.78	151.77	0.034	0.063	0.018	0.009	0.018	0.005	0.028	0.030	0.010	1.60	0.91	1.10
42.2 km	30	30	30	167.82	167.88	167.85	0.042	0.058	0.043	0.010	0.019	0.011	0.018	0.027	0.012	1.30	1.02	1.00
105.3 km	#N/A	30	30	#N/A	151.76	151.68	#N/A	0.024	0.028	#N/A	0.007	0.007	#N/A	0.031	0.020	#N/A	0.74	1.00
102.4 km	30	#N/A	#N/A	167.81	#N/A	#N/A	0.041	#N/A	#N/A	0.011	#N/A	#N/A	0.019	#N/A	#N/A	1.55	#N/A	#N/A
Distance d'une base RTK du réseau SMARTNET (km)																		
7.04 km	30	30	30	151.75	151.78	151.78	0.018	0.012	0.022	0.005	0.004	0.006	0.014	0.006	0.011	1.23	1.08	0.94
26.4 km	30	30	30	75.40	75.40	75.40	0.023	0.018	0.025	0.006	0.004	0.006	0.016	0.011	0.018	1.00	1.40	1.09
29.1 km	30	30	31	47.93	47.87	47.90	0.035	0.035	0.072	0.007	0.011	0.014	0.035	0.018	0.035	1.20	1.22	1.43
47.9 km	30	30	30	167.91	167.89	167.89	0.037	0.059	0.100	0.009	0.019	0.025	0.025	0.038	0.018	1.42	1.06	1.05
Données mesurées à proximité de la borne géodésique sous un couvert végétal																		
En défixant le GNSS entre chacune des mesures																		
Distance d'une base RTK du réseau du MERN (km)																		
2.4 km	11	11	20	50.32	49.81	50.00	6.716	0.088	0.596	1.943	0.023	0.234	0.027	0.011	0.014	1.65	1.20	1.87
5.01 km	20	20	20	74.39	74.35	74.37	0.052	0.502	0.041	0.016	0.105	0.012	0.022	0.021	0.010	1.65	1.22	1.07
26.8 km	30	30	30	150.91	150.95	150.96	0.093	0.093	0.049	0.021	0.023	0.014	0.029	0.033	0.011	1.64	0.96	1.00
42.2 km	30	20	20	167.29	167.34	167.30	0.109	0.109	0.062	0.027	0.025	0.016	0.032	0.039	0.014	1.83	1.63	1.05
105.3 km	#N/A	20	20	#N/A	150.89	150.88	#N/A	0.183	0.105	#N/A	0.053	0.027	#N/A	0.046	0.025	#N/A	1.45	0.96
En laissant le GNSS fixé durant toutes les répétitions																		
Distance d'une base RTK du réseau du MERN (km)																		
2.4 km	30	30	30	49.48	49.80	49.78	0.040	0.030	0.060	0.011	0.008	0.017	0.045	0.011	0.018	2.40	1.25	1.49
5.01 km	30	30	30	74.38	74.38	74.35	0.025	0.036	0.048	0.007	0.009	0.014	0.021	0.009	0.012	1.40	1.29	1.09
26.8 km	30	30	30	150.91	150.92	150.94	0.059	0.042	0.041	0.016	0.014	0.010	0.026	0.034	0.012	1.20	0.96	1.11
42.2 km	30	20	30	167.28	167.32	167.31	0.104	0.068	0.043	0.023	0.018	0.012	0.038	0.036	0.016	1.53	1.70	1.03
105.3 km	#N/A	30	30	#N/A	150.86	150.90	#N/A	0.047	0.020	#N/A	0.013	0.005	#N/A	0.042	0.023	#N/A	1.43	0.90

Tableau 6. Paramètres et statistiques des répétitions de mesures de la campagne de terrain principale

Site	Nombre de répétitions			Élévation moyenne (m)			Étendue des élévations (m)			Écart-type des élévations (m)			Moyenne du VRMS (m)			Moyenne du VDOP		
	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3
Site E1 - Rivière Saint-François, Sherbrooke																		
AP - méthode 1	21	20	20	140.58	140.55	140.52	0.042	0.022	0.031	0.011	0.005	0.009	0.014	0.005	0.010	1.28	0.64	0.65
AP - méthode 2	22	20	20	140.57	140.54	140.51	0.044	0.050	0.029	0.013	0.012	0.008	0.014	0.005	0.010	1.27	0.64	0.65
AP - référence	22	20	20	140.58	140.55	140.52	0.030	0.073	0.041	0.009	0.015	0.010	0.013	0.005	0.010	1.35	0.63	0.65
CK - méthode 1	20	20	20	140.56	140.52	140.50	0.044	0.038	0.040	0.013	0.010	0.013	0.011	0.005	0.010	1.09	0.63	0.60
CK - méthode 2	20	20	20	140.57	140.50	140.47	0.051	0.062	0.041	0.012	0.021	0.010	0.012	0.005	0.010	1.10	0.63	0.60
CK - référence	20	20	20	140.57	140.55	140.51	0.038	0.410	0.035	0.009	0.089	0.010	0.011	0.005	0.010	1.03	0.62	0.60
MR - méthode 1	20	20	20	140.58	140.52	140.52	0.026	0.046	0.050	0.007	0.012	0.011	0.015	0.007	0.010	1.38	0.64	0.64
MR - méthode 2	20	20	20	140.57	140.51	140.52	0.049	0.053	0.041	0.014	0.013	0.012	0.017	0.007	0.010	1.53	0.62	0.64
MR - référence	20	20	20	140.58	140.52	140.51	0.040	0.032	0.033	0.010	0.009	0.010	0.017	0.007	0.010	1.65	0.62	0.63
Site E2 - Ruisseau Big Hallow, East Angus																		
AP - méthode 1	19	20	22	186.25	186.26	186.25	0.158	0.070	0.156	0.038	0.020	0.046	0.035	0.026	0.013	1.77	0.71	0.68
AP - méthode 2	20	20	19	186.25	186.27	186.24	0.093	0.091	0.112	0.022	0.022	0.034	0.033	0.026	0.014	1.79	0.73	0.68
AP - référence	21	20	21	186.25	186.26	186.26	0.113	0.116	0.194	0.031	0.025	0.040	0.036	0.029	0.012	1.64	0.70	0.68
CK - méthode 1	20	20	20	186.23	186.18	186.21	0.176	0.099	0.100	0.048	0.025	0.030	0.053	0.027	0.013	2.42	0.76	0.70
CK - méthode 2	20	19	19	186.25	186.20	186.23	0.408	0.064	0.066	0.099	0.018	0.018	0.069	0.027	0.011	3.44	0.75	0.70
CK - référence	20	21	20	186.26	186.21	186.23	0.175	0.069	0.081	0.046	0.018	0.020	0.053	0.025	0.011	2.21	0.75	0.73
MR - méthode 1	20	21	21	186.26	186.29	186.24	0.116	0.116	0.107	0.034	0.031	0.030	0.040	0.036	0.014	1.56	0.73	0.74
MR - méthode 2	20	19	20	186.26	186.29	186.25	0.137	0.079	0.231	0.035	0.020	0.048	0.039	0.031	0.014	1.68	0.72	0.72
MR - référence	20	20	20	186.25	186.28	186.25	0.135	0.080	0.088	0.031	0.022	0.022	0.039	0.029	0.012	1.54	0.71	0.75
Site E3 - Rivière Au Saumon, Weedon																		
AP - méthode 1	20	20	20	242.80	242.77	242.77	0.058	0.112	0.189	0.016	0.031	0.041	0.024	0.037	0.015	1.14	0.63	0.60
AP - méthode 2	20	21	20	242.80	242.77	242.77	0.038	0.128	0.167	0.011	0.031	0.038	0.025	0.035	0.014	1.13	0.64	0.60
AP - référence	20	21	20	242.80	242.77	242.77	0.045	0.109	0.144	0.011	0.033	0.035	0.023	0.039	0.017	1.17	0.63	0.60
CK - méthode 1	20	20	20	242.79	242.76	242.78	0.040	0.085	0.196	0.012	0.017	0.055	0.027	0.033	0.013	1.23	0.69	0.62
CK - méthode 2	20	21	20	242.76	242.72	242.76	0.070	0.056	0.174	0.017	0.014	0.048	0.029	0.033	0.012	1.26	0.68	0.60
CK - référence	20	21	20	242.80	242.76	242.79	0.071	0.066	0.217	0.016	0.017	0.062	0.027	0.036	0.013	1.37	0.69	0.60
MR - méthode 1	20	20	20	242.82	242.82	242.77	0.084	0.036	0.095	0.021	0.009	0.030	0.032	0.028	0.020	1.82	0.66	0.66
MR - méthode 2	20	20	20	242.81	242.77	242.75	0.113	0.096	0.112	0.027	0.025	0.037	0.032	0.031	0.019	1.70	0.66	0.67
MR - référence	20	20	20	242.82	242.81	242.77	0.070	0.037	0.110	0.020	0.009	0.036	0.034	0.031	0.021	2.15	0.65	0.66
Site E4 - Rivière Saint-François, Centrale Weedon																		
AP - méthode 1	20	20	15	232.78	232.77	232.74	0.165	0.073	0.114	0.042	0.017	0.032	0.034	0.033	0.019	1.98	0.70	0.69
AP - méthode 2	20	20	15	232.80	232.77	232.75	0.144	0.061	0.134	0.036	0.016	0.034	0.035	0.032	0.019	1.97	0.70	0.66
AP - référence	20	20	15	232.80	232.77	232.74	0.169	0.064	0.179	0.038	0.015	0.043	0.034	0.032	0.018	1.87	0.70	0.69
CK - méthode 1	20	20	15	232.77	232.77	232.75	0.074	0.094	0.142	0.022	0.023	0.034	0.028	0.036	0.015	1.47	0.78	0.60
CK - méthode 2	20	20	15	232.80	232.79	232.77	0.130	0.073	0.109	0.026	0.023	0.031	0.026	0.034	0.015	1.41	0.78	0.60
CK - référence	20	20	15	232.82	232.77	232.76	0.091	0.096	0.088	0.024	0.025	0.028	0.026	0.040	0.015	1.41	0.77	0.60
MR - méthode 1	20	20	15	232.79	232.77	232.79	0.103	0.114	0.220	0.029	0.030	0.064	0.036	0.030	0.017	1.74	0.76	0.74
MR - méthode 2	20	20	15	232.78	232.76	232.76	0.082	0.116	0.195	0.022	0.028	0.062	0.033	0.032	0.017	1.66	0.76	0.73
MR - référence	20	20	15	232.78	232.76	232.78	0.078	0.079	0.227	0.019	0.022	0.050	0.033	0.034	0.016	1.73	0.80	0.73

Tableau 6. Paramètres et statistiques des répétitions de mesures de la campagne de terrain principale (suite)

Site	Nombre de répétitions			Élévation moyenne (m)			Étendue des élévations (m)			Écart-type des élévations (m)			Moyenne du VRMS (m)			Moyenne du VDOP		
	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3
Site E5 - Rivière Moe - Huntingville																		
AP - méthode 1	20	20	20	146.64	146.69	146.66	0.035	0.066	0.065	0.010	0.017	0.018	0.017	0.012	0.011	1.84	0.81	0.75
AP - méthode 2	20	20	20	146.64	146.67	146.66	0.044	0.087	0.090	0.013	0.021	0.025	0.019	0.011	0.012	1.76	0.80	0.75
AP - référence	20	20	20	146.97	146.87	146.91	0.041	0.042	0.168	0.011	0.011	0.035	0.024	0.010	0.012	1.69	0.77	0.74
CK - méthode 1	20	20	20	146.62	146.67	146.68	0.055	0.065	0.050	0.014	0.015	0.014	0.022	0.010	0.010	2.05	0.85	0.72
CK - méthode 2	20	20	20	146.59	146.65	146.62	0.065	0.036	0.084	0.019	0.009	0.024	0.020	0.010	0.010	2.12	0.87	0.69
CK - référence	20	20	21	146.95	146.88	146.92	0.047	0.049	0.036	0.016	0.015	0.012	0.020	0.010	0.010	1.96	0.83	0.69
MR - méthode 1	20	20	21	146.63	146.68	146.67	0.036	0.059	0.054	0.011	0.015	0.014	0.028	0.010	0.010	2.35	0.89	0.78
MR - méthode 2	20	20	20	146.62	146.67	146.65	0.066	0.046	0.064	0.016	0.011	0.015	0.027	0.011	0.010	2.34	0.91	0.78
MR - référence	20	20	20	146.96	146.88	146.92	0.049	0.049	0.046	0.012	0.012	0.013	0.021	0.011	0.011	1.90	0.88	0.80
Site E6 - Rivière Moe, Compton																		
AP - méthode 1	20	20	20	172.99	173.65	173.55	0.086	0.102	0.076	0.022	0.023	0.020	0.027	0.018	0.010	2.67	0.87	0.69
AP - méthode 2	20	21	20	173.00	173.67	173.56	0.103	0.135	0.104	0.027	0.027	0.026	0.028	0.019	0.011	2.46	0.85	0.70
AP - référence	20	21	20	173.15	173.75	173.72	0.089	0.259	2.113	0.024	0.050	0.360	0.025	0.021	0.014	2.14	0.85	0.74
CK - méthode 1	20	20	20	172.99	173.69	173.55	0.092	0.124	0.098	0.019	0.034	0.030	0.022	0.032	0.011	1.90	0.84	0.72
CK - méthode 2	20	20	20	172.98	173.70	173.53	0.083	0.116	0.115	0.017	0.031	0.032	0.021	0.032	0.010	1.87	0.82	0.71
CK - référence	20	20	20	173.13	173.81	173.66	0.082	0.115	0.082	0.022	0.025	0.023	0.023	0.028	0.011	1.86	0.82	0.71
MR - méthode 1	20	20	20	173.00	173.68	173.56	0.129	0.099	0.074	0.033	0.028	0.020	0.035	0.022	0.011	2.97	0.83	0.73
MR - méthode 2	19	20	20	172.99	173.68	173.56	0.064	0.084	0.078	0.018	0.021	0.020	0.037	0.020	0.011	3.23	0.82	0.73
MR - référence	21	20	20	173.14	173.80	173.69	0.107	0.049	0.081	0.028	0.015	0.020	0.035	0.021	0.011	2.54	0.83	0.72
Site E7 - Rivière Saint-François, Ascot Corner																		
AP - méthode 1	20	20	20	145.46	145.50	145.48	0.117	0.070	0.051	0.028	0.018	0.013	0.034	0.015	0.010	2.76	0.67	0.57
AP - méthode 2	20	20	20	145.45	145.50	145.48	0.117	0.079	0.032	0.028	0.022	0.010	0.032	0.018	0.010	2.28	0.67	0.59
AP - référence	20	20	20	145.69	145.73	145.73	0.122	0.151	0.034	0.030	0.031	0.008	0.029	0.015	0.010	2.11	0.68	0.61
CK - méthode 1	20	21	20	145.40	145.48	145.44	0.219	0.115	0.042	0.046	0.025	0.012	0.031	0.016	0.010	2.60	0.68	0.60
CK - méthode 2	20	21	20	145.41	145.46	145.45	0.096	0.133	0.072	0.022	0.026	0.016	0.031	0.015	0.010	2.51	0.68	0.59
CK - référence	20	20	20	145.68	145.75	145.72	0.075	0.069	0.044	0.020	0.018	0.011	0.031	0.014	0.010	2.34	0.69	0.60
MR - méthode 1	20	20	20	145.46	145.50	145.47	0.071	0.100	0.057	0.016	0.022	0.012	0.031	0.017	0.010	2.60	0.68	0.63
MR - méthode 2	20	20	20	145.43	145.47	145.47	0.077	0.047	0.061	0.021	0.013	0.017	0.030	0.017	0.010	2.73	0.68	0.64
MR - référence	20	20	20	145.69	145.73	145.73	0.048	0.101	0.043	0.017	0.023	0.012	0.028	0.018	0.010	2.28	0.64	0.64
Site E8 - Rivière Massawipi, Earlistown																		
AP - méthode 1	20	20	20	157.69	157.78	157.75	0.031	0.119	0.051	0.009	0.027	0.013	0.012	0.014	0.010	1.35	1.04	0.91
AP - méthode 2	20	20	20	157.68	157.78	157.74	0.023	0.101	0.071	0.006	0.027	0.014	0.014	0.014	0.010	1.35	1.05	0.95
AP - référence	20	20	20	158.03	158.21	158.17	0.025	0.044	0.024	0.007	0.012	0.008	0.013	0.012	0.010	1.35	0.97	0.86
CK - méthode 1	20	21	20	157.68	157.75	157.71	0.043	0.065	0.048	0.012	0.018	0.013	0.017	0.011	0.010	1.94	1.15	0.85
CK - méthode 2	20	21	21	157.68	157.73	157.72	0.038	0.063	0.027	0.009	0.013	0.007	0.017	0.011	0.010	1.97	1.11	0.84
CK - référence	20	20	20	158.04	158.22	158.18	0.028	0.074	0.024	0.007	0.015	0.007	0.018	0.011	0.010	2.03	1.06	0.80
MR - méthode 1	20	20	20	157.68	157.80	157.75	0.053	0.044	0.025	0.014	0.014	0.007	0.017	0.012	0.010	1.39	0.89	0.80
MR - méthode 2	20	20	20	157.69	157.80	157.74	0.062	0.091	0.029	0.014	0.020	0.009	0.016	0.010	0.010	1.40	0.89	0.80
MR - référence	20	20	20	158.04	158.24	158.17	0.036	0.052	0.099	0.010	0.012	0.021	0.016	0.010	0.010	1.35	0.86	0.80

Tableau 6. Paramètres et statistiques des répétitions de mesures de la campagne de terrain principale (suite)

Site	Nombre de répétitions			Élévation moyenne (m)			Étendue des élévations (m)			Écart-type des élévations (m)			Moyenne du VRMS (m)			Moyenne du VDOP		
	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3	GNSS 1	GNSS 2	GNSS 3
Site O1 - Rivière Gatineau, Gatineau																		
AM - méthode 1	20	20	20	42.52	42.54	42.51	0.013	0.024	0.028	0.003	0.006	0.009	0.013	0.005	0.010	1.26	0.89	1.01
AM - méthode 2	20	21	20	42.51	42.55	42.49	0.027	0.146	0.023	0.007	0.029	0.006	0.013	0.005	0.010	1.19	0.90	1.00
AM - référence	20	19	20	42.64	42.68	42.72	0.022	0.027	0.023	0.005	0.008	0.007	0.013	0.005	0.010	1.20	0.93	1.01
MR - méthode 1	20	20	20	42.52	42.55	42.53	0.021	0.024	0.021	0.006	0.007	0.005	0.012	0.005	0.010	1.22	0.96	0.93
MR - méthode 2	20	20	20	42.52	42.55	42.53	0.025	0.024	0.037	0.006	0.007	0.009	0.012	0.005	0.010	1.20	0.96	0.92
MR - référence	20	20	20	42.65	42.70	42.73	0.024	0.018	0.023	0.006	0.004	0.005	0.012	0.005	0.010	1.24	0.95	0.95
SD - méthode 1	20	20	20	42.52	42.54	42.52	0.027	0.034	0.027	0.007	0.009	0.007	0.013	0.005	0.010	1.24	0.87	0.98
SD - méthode 2	20	20	20	42.52	42.54	42.52	0.019	0.029	0.021	0.006	0.010	0.006	0.011	0.006	0.010	1.11	0.86	0.98
SD - référence	20	20	20	42.64	42.68	42.73	0.028	0.029	0.030	0.008	0.009	0.007	0.013	0.006	0.010	1.11	0.88	1.01
Site O2 - Ruisseau Desjardins, Gatineau																		
AM - méthode 1	20	20	20	41.88	41.92	41.84	0.065	0.179	0.081	0.016	0.039	0.017	0.032	0.018	0.010	2.57	1.29	1.25
AM - méthode 2	20	20	20	41.89	41.92	41.84	0.083	0.142	0.063	0.018	0.037	0.018	0.028	0.017	0.011	2.09	1.24	1.28
AM - référence	20	20	20	42.09	42.12	41.99	0.048	0.202	0.070	0.014	0.040	0.018	0.027	0.015	0.010	1.74	1.16	1.28
MR - méthode 1	20	20	20	41.89	41.91	41.82	0.071	0.126	0.973	0.016	0.035	0.182	0.032	0.021	0.010	2.57	1.36	1.10
MR - méthode 2	20	20	20	41.89	41.92	41.85	0.080	0.145	0.083	0.018	0.035	0.024	0.031	0.023	0.011	2.73	1.33	1.12
MR - référence	20	20	20	42.11	42.13	41.99	0.095	0.074	1.398	0.023	0.021	0.233	0.033	0.012	0.010	2.11	1.23	1.10
SD - méthode 1	21	20	20	41.90	41.92	41.84	0.096	0.155	0.112	0.026	0.039	0.026	0.028	0.018	0.012	2.54	1.27	1.24
SD - méthode 2	20	20	21	41.90	41.92	41.83	0.124	0.183	0.100	0.028	0.040	0.026	0.030	0.015	0.012	2.86	1.33	1.32
SD - référence	21	20	21	42.12	42.13	42.19	0.135	0.059	2.927	0.032	0.014	0.690	0.028	0.012	0.012	2.42	1.30	1.27
Site O3 - Rivière La Blanche, Gatineau																		
AM - méthode 1	20	20	#N/A	43.13	43.21	#N/A	0.035	0.060	#N/A	0.010	0.013	#N/A	0.017	0.008	#N/A	1.47	1.31	#N/A
AM - méthode 2	20	20	#N/A	43.08	43.11	#N/A	0.045	0.038	#N/A	0.011	0.011	#N/A	0.019	0.009	#N/A	1.38	1.33	#N/A
AM - référence	20	20	#N/A	43.62	43.51	#N/A	0.043	0.036	#N/A	0.011	0.011	#N/A	0.019	0.008	#N/A	2.00	1.33	#N/A
MR - méthode 1	20	20	#N/A	43.12	43.22	#N/A	0.057	0.051	#N/A	0.015	0.016	#N/A	0.012	0.007	#N/A	1.37	1.21	#N/A
MR - méthode 2	20	20	#N/A	43.08	43.17	#N/A	0.063	0.037	#N/A	0.015	0.010	#N/A	0.012	0.007	#N/A	1.36	1.23	#N/A
MR - référence	20	20	#N/A	43.60	43.54	#N/A	0.031	0.035	#N/A	0.009	0.009	#N/A	0.013	0.007	#N/A	1.35	1.16	#N/A
SD - méthode 1	20	20	#N/A	43.12	43.23	#N/A	0.073	0.051	#N/A	0.015	0.013	#N/A	0.014	0.009	#N/A	1.56	1.24	#N/A
SD - méthode 2	20	20	#N/A	43.08	43.18	#N/A	0.044	0.033	#N/A	0.012	0.009	#N/A	0.014	0.009	#N/A	1.58	1.25	#N/A
SD - référence	20	20	#N/A	43.61	43.55	#N/A	0.034	0.023	#N/A	0.010	0.006	#N/A	0.014	0.009	#N/A	1.72	1.07	#N/A

Une méthode empirique classique pour identifier les valeurs extrêmes est de sélectionner les valeurs qui sont à l'extérieur de $\frac{1.58 \times IIQ}{\sqrt{n}}$ où IIQ est l'intervalle interquartile et n est le nombre d'observations (Sokal et Rohlf, 1995). Nous ne sommes toutefois pas à la recherche d'événements qui se produisent rarement, nous sommes à la recherche de mesures aberrantes qui seraient facilement identifiables par un technicien qui prendrait 4 ou 5 mesures au même endroit. Le retrait pur et simple des valeurs extrêmes aurait pour effet de réduire artificiellement les incertitudes calculées.

Ainsi, nous proposons donc d'éliminer les mesures qui sont à 0.5 m d'écart des autres mesures répétées. La valeur de 0.5 m est proposée parce qu'elle est facile à retenir et que ses chances de survenir en supposant une distribution normale sont près de zéro. Des analyses factorielles et un calcul de la distance de Mahalanobis ont confirmé ce choix.

Dans ce contexte, les faux fixes totalisent 28 mesures, soit 3.5 chances sur 1000. Ces faux fixes ont été mesurés avec les trois GNSS, soit 8 faux fixes avec le GNSS haut de gamme, 5 faux fixes avec le GNSS moyen de gamme et 15 avec le GNSS d'entrée de gamme. Si on retire un site particulièrement problématique (site près d'une haute haie de cèdre près de la première borne géodésique lors de la campagne préliminaire), le taux de faux fixes diminue à 1.5 chance sur 1000. Dans cette situation, les faux fixes sont survenus 7 fois avec le GNSS d'entrée de gamme, 5 fois avec le GNSS de moyenne gamme et aucune fois avec le GNSS haut de gamme. Comme ce type d'erreur n'est pas lié aux incertitudes aléatoires du processus de mesure, nous retirons les faux fixes du jeu de donnée pour l'élaboration du modèle d'incertitude. Toutefois, nous tiendrons compte de cette erreur lors de l'élaboration des recommandations. Une fois les faux fixes retirés du jeu de données, toutes les séries de répétitions ont un écart-type inférieur à 10 cm et 97.3 % des séries ont un écart-type inférieur à 5 cm (Tableau 7).

Tableau 7. Distribution des écarts-types des séries de répétitions de mesure, en considérant toutes les mesures et en retirant les mesures identifiées comme des faux fixes du jeu de données.

Écart-type de la série de répétitions de mesures	Nombre de séries- Campagne préliminaire		Nombre de séries – Campagne principale – Estrie		Nombre de séries Campagne principale – Outaouais	
	Tous	Sans faux fixes	Tous	Sans faux fixes	Tous	Sans faux fixes
0 à 0.01 m	27	27	26	26	30	30
0.01 à 0.02 m	32	33	87	87	23	23
0.02 à 0.03 m	12	13	56	57	8	8
0.03 à 0.04 m	3	4	28	28	7	7
0.04 à 0.05 m	1	2	12	12	1	3
0.05 à 0.10 m	4	3	6	6	0	1
> 0.10 m	3	0	1	0	3	0
Total	82	82	216	216	72	72

3.1.2 Indépendance des mesures

Durant la campagne préliminaire, nous avons fait des séries de mesures en laissant le récepteur GNSS fixé entre les mesures et ensuite en défixant le récepteur GNSS entre chaque enregistrement de mesure. Le fait de défixer le récepteur GNSS en coupant le lien avec les satellites force le récepteur à se reconnecter aux satellites et à calculer sa position sans tenir compte de la position passée. En comparant les séries de mesures prises dans des conditions similaires, on s'aperçoit que l'écart-type des répétitions de mesures est en moyenne 2.3 fois plus grand lorsque le récepteur GNSS doit se fixer pour chaque mesure que lorsqu'on répète les mesures à partir du premier positionnement initial. Toutefois, l'erreur estimée par le GNSS lui-même (CQ_1D ou VRMS) n'est pas affectée par la méthodologie d'enregistrement. En effet, pour des conditions similaires, la moyenne des erreurs estimées par le GNSS pour chaque répétition est similaire selon qu'on laisse le récepteur fixé ou défixé. Il est logique que la variabilité des répétitions diminue lorsque l'algorithme du GNSS utilise l'information de la précédente mesure. Toutefois, sur le plan statistique cela implique que les mesures ne sont pas indépendantes les unes des autres et ne permettraient pas de construire un modèle d'incertitude. Ainsi, le modèle d'incertitude a été élaboré en défixant le récepteur GNSS à chaque mesure afin d'assurer l'indépendance des valeurs.

3.1.3 Exactitude et biais

Bien que nous nous intéressions à la variabilité de l'élévation entre les répétitions de mesures, nous avons tout de même testé l'exactitude lors de la campagne préliminaire. Le Tableau 8 présente la différence moyenne entre les mesures et l'élévation de la borne géodésique. Les différences oscillent entre - 6 et 8 mm, mais la plupart des différences se situent à plus ou moins 3 mm de l'élévation de la borne géodésique, ce qui nous apparaît acceptable, d'autant plus que les différences ne sont pas systématiquement positives ou négatives. Bref, les mesures sont relativement exactes et sans biais. Le Tableau 9 présente les mesures de validation prises sur des bornes géodésiques à proximité des sites échantillonnés lors de la campagne principale. Cette validation est essentielle afin d'éviter des erreurs grossières sur la prise de données. On voit que l'écart entre les mesures et l'élévation des bornes géodésiques est relativement faible.

Tableau 8. Différence entre l'élévation connue de la borne géodésique et la moyenne des répétitions d'une série de mesures pour les trois GNSS et les deux réseaux RTK utilisés.

	Point géodésique	GNSS 1		GNSS 2		GNSS 3	
		MERN	SMARTNET	MERN	SMARTNET	MERN	SMARTNET
Site 1	47.87	0.00	-0.06	-0.03	-0.05	0.01	-0.06
Site 2	75.38	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	-0.04
Site 3	167.87	0.05	-0.02	0.00	-0.02	0.02	-0.05
Site 4	151.80	0.08	0.05	-0.01	0.03	0.06	0.02

Tableau 9. Mesures de validation sur une borne géodésique à proximité du site de mesure lors de la campagne principale. Une seule mesure par GNSS a été enregistrée à la borne géodésique.

Site	Élévation mesurée à la borne (m)			Borne géodésique	
	GNSS1	GNSS2	GNSS3	Nom	Z (m)
E1	158.89	158.83	158.84	87KMC18	158.88
E2	207.59	207.59	207.57	M01K0092	207.60
E3	286.11	286.09	286.05	80L053	286.11
E4	286.15	286.09	286.09	80L053	286.11
E5	246.45	246.49	246.49	87KM604	246.51
E6	246.44	246.52	246.50	87KM604	246.51
E7	246.49	246.50	246.49	87KM604	246.51
E8	164.73	164.77	164.79	94K0123	164.81
O1	47.87	47.89	47.89	94K4755	47.87
O2	65.26	65.28	65.26	94K4730	65.28
O3	47.88	47.91	N.A.	94K4755	47.87

3.1.1 Dérive des mesures par rapport au niveau d'eau

Toutes les données ont été inspectées et les niveaux d'eau ont été très stables durant la prise de mesure, chaque série de mesure a été testée par régression linéaire pour voir s'il y avait une tendance moyenne décroissante ou croissante. Une régression linéaire pour chaque série de données à un site selon le temps pour chacun des GNSS. Les pentes de ces régressions ont été testées et aucune n'est significativement différente de zéro au seuil de signification $p=0.01$. On peut donc conclure que la variation du niveau durant la prise de mesure à chaque site ne suivait pas de tendance à la diminution ou à l'augmentation dans le temps.

3.2 ANALYSE DES SOURCES D'INCERTITUDES

L'écart-type de chaque série de répétition de mesures représente l'incertitude moyenne pour le contexte précis dans lequel les mesures ont été répétées (Tableau 5 et Tableau 6). Les sources de variabilité ont été sélectionnées afin de représenter l'étendue des conditions de mesures auxquelles les mandataires du MELCC sont confrontés lors de la prise de mesure du niveau d'eau par GNSS. Les efforts d'analyse sont concentrés sur l'élévation de la mesure. Une incertitude sur la position planimétrique existe aussi, mais nous considérons que cette erreur a peu d'impact sur l'incertitude de l'élévation du niveau d'eau lorsque les mesures sont de l'ordre centimétrique.

Les sources d'incertitudes sont classées en quatre grandes catégories : celles liées au GNSS, à l'opérateur, aux conditions environnementales et à la surface de l'eau (Tableau 1 et Figure 1). Nous avons analysé l'impact de ces sources d'incertitude sur l'erreur de la mesure du niveau d'eau par GNSS en deux temps. D'abord, nous analysons les erreurs liées au GNSS et comment elles sont incluses dans la mesure d'incertitude de l'élévation estimée par le GNSS lui-même. Ensuite, nous analyserons les sources d'incertitudes liées aux facteurs externes au GNSS.

Les résultats détaillés des analyses statistiques présentées ici sont à l'Annexe G et ont été entièrement exécutées à l'aide du Logiciel R. Le code est aussi fourni à l'Annexe F. La façon dont les variables descriptives des sites préliminaires ont été intégrées aux analyses est détaillée dans le fichier de données fourni à l'Annexe F. Pour le jeu de données principal, les variables présentées au Tableau 4 ont été transformées pour les analyses et ce tableau destiné aux analyses statistiques est fourni dans un fichier Excel répertorié à l'Annexe F.

3.2.1 Le VRMS/CQ1D et les sources d'incertitudes liées au GNSS

Le GNSS fournit une valeur qui englobe toutes les sources d'incertitudes liées à l'appareil, soit le VRMS ou le CQ1D. L'estimation de ce paramètre est basée sur une série de calculs propre à chaque fabricant. Comme le plan d'échantillonnage couvre une gamme de facteurs influençant la mesure par GNSS, nous avons réalisé des modèles de régression linéaires pour expliquer la variabilité du VRMS :

- Pour le jeu de données préliminaire, toutes les variables utilisées dans le modèle pour expliquer la variabilité du VRMS sont significatives ($p=0.01$). Ces variables sont la distance de la station RTK, le VDOP (qui englobe lui-même les notions du nombre de satellites captés et leur organisation dans le ciel), la gamme du GPS, le réseau RTK, la présence de végétation et le niveau d'enneuagement du ciel. Ensemble, ces variables expliquent 41 % ($p=0.01$) de la variabilité du VRMS du jeu de données préliminaires.
- Pour le jeu de données principal, sept des neuf variables utilisées dans le modèle pour expliquer la variabilité du VRMS sont significatives ($p=0.01$). Les variables significatives sont la distance de la station RTK, le VDOP (qui englobe lui-même les notions du nombre de satellites captés et leur organisation dans le ciel), la gamme du GPS, le niveau d'encaissement, la présence de structures (pont, barrage) et l'orientation de la vallée. Bien que non significatives pour le modèle, les variables présence de végétation et niveau d'enneuagement du ciel sont à la limite du seuil de signification de $p=0.1$. Le fait qu'il n'y a pas de contrôle expérimental sur ces variables explique la difficulté d'en tester véritablement l'effet. Le modèle explique 65 % de la variabilité du VRMS du jeu de données principal.
- En ajoutant le jeu de données de validation au jeu de données principal pour construire un modèle linéaire, cette fois les neuf variables utilisées et détaillées au point précédent sont significatives au seuil de $p=0.01$. Le modèle explique 64 % de la variabilité du jeu de données complet.

Ces résultats sont intéressants puisqu'ils nous permettent de poursuivre les analyses en utilisant le VRMS comme variable intégratrice représentant l'ensemble des sources d'incertitudes liées au GNSS. Toutefois, ces résultats nous indiquent aussi que le choix de l'appareil et du réseau RTK a un impact sur la précision de la mesure estimée par le GNSS. En effet, la Figure 8 montre la relation entre la variabilité des répétitions d'une série et le VRMS moyen de ces séries. On voit tout de suite que, bien que toutes les relations soient

significatives, elles varient d'un GNSS à l'autre. Pour le GNSS d'entrée de gamme (en gris), le VRMS semble sous-estimer la variabilité réelle des mesures sur le terrain. Aussi, on voit que c'est pour le GNSS d'entrée de gamme que la variabilité moyenne sur le terrain est la plus élevée. Pour le GNSS de moyenne gamme (en orange), le VRMS semble surestimer la variabilité réelle des répétitions. Finalement, c'est le GPS haut de gamme (en bleu) qui a l'estimation la plus juste avec un modèle expliquant près de 70 % de la variabilité des séries de répétitions et une pente près de 1.

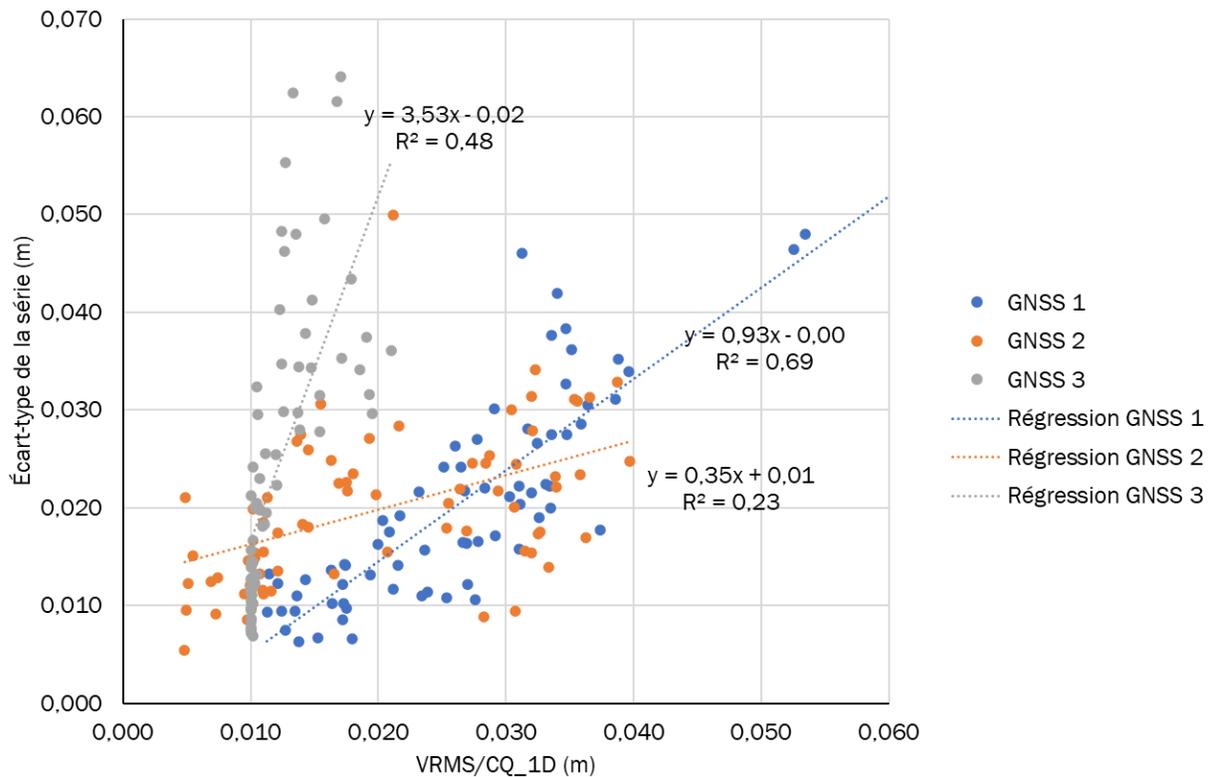


Figure 8. Écart-type des séries de répétitions en fonction du VRMS moyen de la série pour les trois GNSS utilisés lors de la campagne de terrain principale.

3.2.2 Importance des sources d'incertitude sur la précision du niveau d'eau

Pour bien cerner l'importance des sources d'incertitudes et évaluer lesquelles conserver pour le modèle d'incertitude, nous avons procédé à des régressions quantiles. La régression quantile repose sur le même principe que la régression linéaire, mais plutôt que de tenter d'estimer une moyenne et de déduire un intervalle de confiance sur cette moyenne, on tente d'estimer directement le 97.5e quantile. Les coefficients de la régression quantile (disons β_1) s'interprètent d'une façon similaire à ceux de la régression linéaire: pour une augmentation de 1 de la variable X_1 , le 95e quantile de Y augmente de β_1 .

Nous avons sélectionné cette méthode, car il s'est avéré que les résultats de méthodes plus classiques étaient très fluctuants selon les différents traitements des variables, ce que nous trouvions incohérent avec les objectifs de l'étude. Les résultats de la régression quantile, eux convergent bien même si des changements sont apportés dans le traitement des variables. De plus, comme l'objectif de l'étude est de comprendre la variabilité et l'incertitude liée à la mesure du niveau d'eau, la régression quantile est une méthode qui permet d'évaluer l'effet des différentes sources d'incertitude directement sur les intervalles de confiance des mesures.

Bien que nous ayons conçu le plan d'échantillonnage pour couvrir une gamme de conditions environnementales (Tableau 4), les analyses préliminaires ont montré que ces conditions avaient peu d'effet dans le jeu de données. Comme les conditions environnementales et l'état de l'eau ne sont pas contrôlées expérimentalement (au même titre que l'opérateur) elles ont peu ou pas d'effet sur la variabilité du jeu de données. Nous avons donc sélectionné celles qui avaient le plus de chance de se refléter dans l'incertitude liée à la mesure du niveau d'eau soit la pente et la surface de l'eau (présence de vagues). Comme les données ont été récoltées à des niveaux d'eau très bas, la variabilité de la surface de l'eau en lien avec les conditions hydrauliques et/ou la présence de vagues en surface est très faible et ne représente pas l'éventail des conditions possibles lors de mesure en situation de crue. Ce volet pourrait être mieux documenté dans une deuxième phase.

Nous avons donc procédé à une régression quantile pour le jeu de données principal (Annexe G) en utilisant les variables suivantes, représentant les quatre grandes catégories de sources d'incertitudes :

- VRMS/CQ1D et type de GNSS (sources d'incertitudes liées à la mesure par GNSS)
- Opérateur et méthode de mesure (sources d'incertitudes liées à l'opérateur)

- Pente (sources d'incertitudes liées aux conditions environnementales)
- Surface de l'eau (sources d'incertitudes liées à l'eau)

Les quatre variables bien contrôlées sur le plan expérimental (VRMS/CQ1D, le GNSS, l'opérateur et la méthode) sont significatives pour expliquer la variabilité du 97.5^e quantile des mesures d'élévations du niveau pour les sites situés en Estrie ($p=0.1$). Si on ajoute les mesures de niveau d'eau récoltées aux sites de l'Outaouais au modèle, il n'y a pas de changements majeurs dans les résultats ce qui est attendu puisque les sites en Estrie ont été sélectionnés pour couvrir l'ensemble des conditions rencontrées lors de la mesure du niveau d'eau des rivières du Québec méridional. La variable décrivant la surface de l'eau (présence de vagues) n'est jamais significative, mais cela s'explique selon nous par le fait que nous n'avons pas pu échantillonner des conditions où les vagues étaient fortement présentes en raison des conditions printanières de 2021.

Nous avons aussi réalisé une régression quantile avec le jeu de donnée préliminaire afin d'évaluer l'effet du réseau RTK utilisé. Pour ce modèle, nous avons utilisé les variables suivantes : VRMS/CQ1D, GPS, Réseau, végétation et ennuagement. Dans le modèle, toutes les variables sont significatives ($p=0.1$) sauf le réseau, dont l'effet ne ressort pas. Le réseau RTK a un effet uniquement sur le VRMS estimé par l'appareil et n'a pas d'effet autre dans le jeu de données.

Les coefficients de la régression quantile permettent aussi d'évaluer l'impact moyen de chaque variable :

- GNSS – Le GNSS 1 est le plus précis, le GNSS 2 a une erreur d'environ 1.8 cm supérieure alors que le GNSS 3 a une erreur moyenne de 2.8 cm en comparaison du GNSS 1. Ces valeurs sont sensiblement les mêmes pour les trois modèles de régression quantile effectués (jeu de données préliminaire, jeu de données principal Estrie et jeu de données principal Estrie et Outaouais).
- Opérateur – Il a une différence moyenne de précision de 1 cm entre l'opérateur le plus précis (OP5, cp1) et l'opérateur le moins précis (OP2, professionnel).
- Méthode – Mesurer un niveau d'eau augmente l'incertitude par rapport à la mesure du point de référence sur brique. L'incertitude augmente de 0.5 cm lorsqu'on mesure le niveau d'eau avec le bout de la botte et de 1 cm lorsqu'on mesure le niveau en appuyant la pointe de la canne du GNSS sur une roche semi-émergée.

3.2.3 Modèles d'incertitudes

3.2.3.1 Normalités des séries de répétitions

Un test de Shapiro a été réalisé pour chacune des combinaisons Site/GNSS/Opérateur/Méthode afin de tester la normalité des répétitions. Avec un seuil de signification de $p = 0.01$, la normalité a été rejetée 20 fois sur 216 (9 %). Ce résultat dépasse ce qui est attendu, mais est tout de même acceptable dans le contexte. Ainsi les intervalles de confiances peuvent être construits en présumant que les erreurs aléatoires suivent une distribution normale si on considère plus de 30 répétitions. Si le nombre de répétitions est inférieur à 30, on peut utiliser la loi de Student.

3.2.3.2 Un modèle d'incertitude selon les informations disponibles

Au fil de l'analyse des données et en constatant les différents effets des variables majeures, soit le GNSS, le VRMS et l'opérateur, nous avons décidé de proposer quatre modèles d'incertitudes qui peuvent être employés selon le niveau d'informations connues lors de la réception des données d'élévation. Tous les détails des analyses se trouvent à l'Annexe G et le code R ayant servi à ses analyses est à l'Annexe F. Tous les modèles présentés sont basés sur des mesures en mètres et les paramètres ont été estimés uniquement à partir des données récoltées en Estrie lors de la campagne principale. Comme les mesures de niveau d'eau prises selon la méthode de la botte sont plus précises, ce sont celles qui ont été employées pour la construction des modèles. Nous avons toutefois fait les mêmes analyses avec les niveaux d'eau mesurés sur une roche et nous avons obtenu des résultats similaires (Annexe G). Les quatre modèles d'incertitude présentés ont un niveau de précision croissant ainsi qu'un nombre grandissant d'informations nécessaires. Les données récoltées aux sites situés en Outaouais serviront à la validation des modèles.

3.2.3.3 Modèle d'incertitude 1

Information requise : Mesure de niveau d'eau (x) prise par GNSS en mode RTK

Analyse statistique Les régressions des quantiles 2.5^e et 97.5^e des élévations du niveau d'eau permettent d'estimer un intervalle de confiance moyen d'une largeur de 0.1 m.

Modèle 1 : $x \pm 0.0502$

Application : Ce modèle s'applique en toutes circonstances lorsque l'information connue sur les circonstances de la mesure est minimale.

3.2.3.4 Modèle d'incertitude 2

Information requise : Mesure de niveau d'eau (x) prise par GNSS en mode RTK et la mesure associée du VRMS/CQ1D (vrms).

Analyse statistique : En effectuant une régression du 97.5^e quantile des élévations en utilisant uniquement le VRMS/CQ1D comme variable explicative, on trouve que l'effet du VRMS/CQ1D a une pente approximative de 1. Donc en fixant l'effet de VRMS/CQ1D à 1 dans les régressions du 2.5^e et du 97.5^e quantile on trouve les erreurs résiduelles moyennes dues autres autres sources d'incertitudes.

Modèle 2 : $x - vrms - 0.0357$ et $x + vrms + 0.0318$

Application : Nous pensons que ce modèle devrait être adopté de manière universelle puisqu'il requiert de l'information aisément disponible et ne demandant pas d'effort supplémentaire lors de la prise de mesure. Les modèles 3 et 4 devraient être appliqués lorsqu'on a besoin de connaître précisément l'erreur pour le lieu et le moment de a prise de mesure.

3.2.3.5 Modèle d'incertitude 3

Information requise : Mesure de niveau d'eau (x) prise par GNSS en mode RTK, la mesure associée du VRMS/CQ1D (vrms), la marque et le modèle du GNSS.

Analyse statistique : L'analyse statistique est identique à l'analyse du modèle 2, mais elle est spécifique à chaque GNSS.

Modèle 3 : GNSS1 $x - vrms - 0.0182$ et $x + vrms + 0.0207$

GNSS2 $x - vrms - 0.0397$ et $x + vrms + 0.0314$

GNSS3 $x - vrms - 0.0411$ et $x + vrms + 0.0498$

Application : Les GNSS choisis dans cette étude sont des instruments communs et largement utilisés dans leurs gammes respectives. Nous pensons raisonnable que des fabricants différents, mais avec des appareils de gammes similaires, aient des précisions semblables. Ces trois modèles d'incertitude peuvent donc être utilisés avec d'autres appareils si on en connaît la gamme. L'avantage de ces modèles est d'obtenir des intervalles reflétant bien le contexte et plus précis lorsque des GNSS haut de gamme sont utilisés.

3.2.3.6 Modèle d'incertitude 4

Information requise : Répliques de mesures de niveau d'eau (x) prise par GNSS en mode RTK.

Analyse statistique : Un modèle linéaire avec effet aléatoire montre que l'opérateur entraîne une variabilité non négligeable dans la mesure et qu'il faut en tenir compte dans l'estimation d'un intervalle de confiance. L'écart-type ($\sigma_{\text{opérateur}}$) associé à la variabilité des opérateurs est de 0.0117323 m. En utilisant l'écart-type des répétitions (σ_{site}) pour représenter l'ensemble des sources d'incertitudes du site on obtient un intervalle de confiance le plus précis possible à un endroit donné avec le GNSS employé. Pour récolter les répétitions, l'opérateur positionne le GNSS 1 fois et prend plusieurs mesures de suite en défixant le GPS à chaque fois en utilisant un objet sur le récepteur. Évidemment, on applique l'intervalle de confiance à la moyenne des répétitions (\bar{x}).

$$\text{Modèle 4 : } \bar{x} \pm q \sqrt{\sigma_{\text{site}}^2 + \sigma_{\text{opérateur}}^2}$$

La variable q représente la largeur de l'intervalle désiré. Selon un niveau de confiance de 95 % et en assumant la normalité avec plus de 30 répétitions, $q = 1.96$. Si on a moins de répétitions, il faut utiliser la loi de Student dont les valeurs dépendent du nombre de données. Par exemple, pour $n=10$, $q=2.2281389$.

Application : Le nombre de répliques va influencer la largeur de l'intervalle, plus on s'approche d'une trentaine de répétitions, plus l'intervalle sera étroit. On utilisera ce modèle lorsqu'on veut connaître précisément l'incertitude d'un site. Si le site doit être échantillonné régulièrement et qu'il l'est avec le même GNSS, l'intervalle de confiance estimé à partir des répétitions de mesures peut raisonnablement être appliqué à des mesures uniques prises à d'autres moments. Cette méthode peut être appliquée dans des contextes urbains où la précision des cotes de crue est très importante.

3.2.3.7 Exemple d'application

Pour une mesure d'élévation prise avec le GNSS1 si $x = 100.500$ m, $\text{vrms} = 0.015$ m on obtient les intervalles de confiance suivants :

Modèle 1 : 100.450 m à 100.550 m

Modèle 2 : 100.449 m à 100.547 m

Modèle 3 : 100.467 m à 100.536 m

Pour une série de répétitions de $n = 10$ ($q = 2.2281389$), si $\bar{X} = 100.500$ m, $\sigma_{\text{site}} = 0.015$ m et $\sigma_{\text{opérateur}} = 0.012$ m, on obtient l'intervalle de confiance suivant :

Modèle 4 : 100.500 ± 0.043 m ou 100.457 m à 100.543 m

Si $n = 20$ ($q = 2.093$), l'intervalle de confiance devient :

100.5 ± 0.040 m ou 100.460 m à 100.540 m

Si $n = 30$ ($q = 1.96$), l'intervalle de confiance devient :

100.5 ± 0.038 m ou 100.462 m à 100.538 m

3.2.3.8 Validation

Pour valider les modèles d'incertitudes et mieux comprendre leur impact sur l'estimation de l'intervalle de confiance à 95 % sur des données réelles, nous avons estimé les intervalles de confiance sur toutes les mesures du niveau d'eau selon la méthode de la botte aux sites de mesure en Outaouais. Le Tableau 10 présente la demi-largeur des intervalles estimés pour chaque combinaison de site/GNSS. Pour le modèle 4, nous avons estimé l'intervalle de confiance pour chaque série de répétition de 20 mesures pour une combinaison de site/GNSS/opérateur. La validation pour le modèle surestime ici les intervalles, car l'opérateur s'est repositionné pour chacune des répétitions ce qui signifie que l'erreur liée au site, dans cette situation, inclut aussi l'erreur liée à l'opérateur. Dans un contexte d'application, on demanderait à l'opérateur de prendre plusieurs mesures, mais sans repositionner le GNSS, mais en défixant le signal à chaque reprise. Bien que l'erreur de l'opérateur soit incluse deux fois dans le calcul en raison de la façon dont les données ont été récoltées, les intervalles de confiance estimés avec le modèle 4 sont les plus représentatifs de la réalité. Les intervalles de confiance avec le modèle étant les moins adaptés au contexte et les intervalles de confiance des modèles 2 et 3 étant des solutions intermédiaires entre le modèle 1 et le modèle 4.

Tableau 10. Intervalles de confiance (I.C.) moyens estimés pour les mesures récoltés selon la méthode de la botte en Outaouais.

	Écart-type de l'élévation (m)	I.C. Modèle 1 (m)	I.C. Modèle 2 (m)	I.C. Modèle 3 (m)	I.C. Modèle 4 (m)
Site 1					
GNSS 1	0.006	± 0.050	± 0.046	± 0.032	± 0.028
GNSS 2	0.010	± 0.050	± 0.039	± 0.041	± 0.029
GNSS 3	0.013	± 0.050	± 0.044	± 0.055	± 0.029
Site 2					
GNSS 1	0.021	± 0.050	± 0.065	± 0.050	± 0.048
GNSS 2	0.038	± 0.050	± 0.053	± 0.055	± 0.083
GNSS 3	0.035	± 0.050	± 0.045	± 0.057	± 0.069
Site 3					
GNSS 1	0.015	± 0.050	± 0.048	± 0.034	± 0.038
GNSS 2	0.018	± 0.050	± 0.042	± 0.043	± 0.043

3.3 RÉSULTATS DES MESURES PAR BOUÉE BATHYMÉTRIQUE

L'Annexe H présente l'ensemble des résultats des analyses des mesures par Hydroball et leur comparaison avec les mesures prises par un GNSS RTK tracté par un kayak et des mesures par GNSS RTK récoltées en rive la même journée. Une grande attention a été portée au post-traitement des données en fonction de différentes stations fixes des réseaux du MERN et SmartNet et en comparant les logiciels de post-traitement RTKlibre et Leica Infinity. Dans cette section, nous présenterons uniquement les résultats du post-traitement le plus précis, soit celui avec la station de Sherbrooke du MERN avec le logiciel Leica Infinity.

Le Tableau 11 présente la comparaison entre les trois mesures de niveau d'eau prises lors de la journée de mesure sur la rivière Saint-François. D'abord, on peut observer que le VRMS/CQ1D des mesures de niveau d'eau prises à partir du centre de la rivière sont en moyenne 0.01 m plus précises que les mesures prises en rive. On peut aussi voir que l'écart entre les mesures prises sur l'eau et les mesures en rive sont assez faibles, considérant que les mesures ne sont pas parfaitement synchronisées. L'écart est aussi plus faible en aval lorsque la pente de la rivière diminue et la largeur augmente. L'écart moyen entre les mesures en rive et les mesures par Hydroball est de 0.05 m, et entre les mesures en rive et les mesure par GNSS RTK en kayak est de 0.075 m.

Tableau 11. Comparaison des mesures prises en rive avec les mesures prises au même site lors du passage du kayak avec le GNSS RTK et l'Hydroball.

ID	GNSS-RTK Rive		GNSS-RTK Kayak			Hydroball® (Leica)		
	Altitude (m)	VRMS/CQ1D (m)	Altitude (m)	VRMS/CQ1D (m)	Écart (m)	Altitude (m)	VRMS/CQ1D (m)	Écart (m)
1	172.03	0.026	171.87	0.028	-0.17	172.14	0.028	0.10
2	172.15	0.046	171.87	0.028	-0.28	172.14	0.028	-0.01
3	167.30	0.030	167.36	0.026	0.06	167.38	0.030	0.08
4	160.13	0.058	160.01	0.016	-0.12	159.97	0.014	-0.16
5	160.26	0.015	160.18	0.026	-0.08	160.11	0.020	-0.15
6	161.01	0.030	160.98	0.018	-0.04	160.93	0.021	-0.09
7	161.07	0.024	160.97	0.019	-0.10	160.93	0.021	-0.14
8	159.76	0.021	159.75	0.017	-0.01	159.71	0.012	-0.05
9	159.65	0.026	159.64	0.029	-0.01	159.55	0.017	-0.10
10	145.77	0.019	145.72	0.012	-0.04	145.73	0.013	-0.04
11	145.01	0.020	144.97	0.013	-0.04	144.97	0.013	-0.04

La Figure 9 présente la distribution des valeurs de VRMS des mesures de niveau prises en rive en comparaison de celles prises lors de la descente de la rivière Saint-François en kayak. En rive, la moyenne est de 2 cm et il y a en moyenne plus de mesures avec des valeurs supérieures à 2 cm. Il semblerait qu'il y a un net avantage à mesurer le niveau au centre de la rivière et éviter ainsi les interférences avec la végétation. Entre les deux méthodes en kayak la précision est en général meilleure pour le GNSS-RTK que pour l'Hydroball, ce qui pourrait être expliqué par la gamme des récepteurs. En effet, le GNSS RTK est de haut de gamme alors que le GNSS de l'Hydroball est de moyenne gamme.

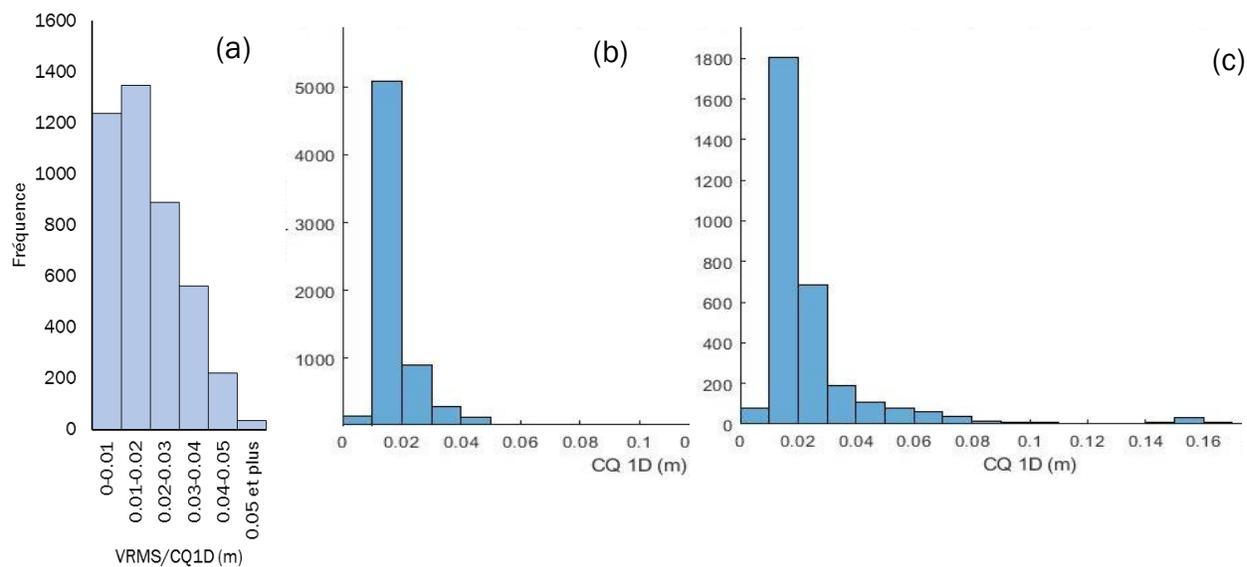


Figure 9. Comparaison de la distribution des valeurs de VRMS/CQ1D des mesures de niveau d'eau prises par GNSS en rive lors de la campagne principale en Estrie (a) ; par GNSS-RTK en kayak (b) et par Hydroball (c).

4. RECOMMANDATIONS POUR LA MESURE DES NIVEAUX D'EAU

Bien que l'objectif du mandat était de définir un modèle d'incertitude pour la mesure des niveaux d'eau par GNSS en rive, nous pensons que l'effort mis pour évaluer et comprendre les sources d'incertitude doit aussi servir à définir de meilleures pratiques afin de récolter les mesures les plus précises possible. Voici les recommandations en lien avec les analyses présentées dans ce rapport :

- (1) Pour s'assurer que les paramètres du GNSS sont bien programmés
 - a. prendre une mesure sur borne géodésique près du site ou des sites
 - b. à chaque point de mesure, prendre une mesure d'élévation sur la route avant d'aller mesurer en rive, cette mesure pourra servir de validation secondaire en la comparant avec le lidar disponible au site.
- (2) Pour éviter les faux fixes, nous recommandons :
 - a. d'éviter les GNSS d'entrée de gamme
 - b. de fixer le GNSS au site de mesure
 - c. de demander deux (idéalement trois) répliques de la mesure en défixant le GNSS entre chaque mesure, la différence entre les mesures doit de moins de 0.5 m
- (3) Pour augmenter la précision des intervalles de confiance :
 - a. Favoriser les GNSS haut de gamme
 - b. Demander le VRMS/CQ1D et exiger qu'il soit inférieur à 0.05 m.
 - c. Effectuer des répétitions (de 10 à 30 selon les besoins) au site sans repositionner le GNSS, mais en le défixant entre chaque répétition en recouvrant le récepteur avec un objet interférant
 - d. La mesure par bouée au centre de la rivière est une piste de réflexion intéressante, car on augmente la précision générale de la mesure en s'éloignant de la végétation riveraine.
 - e. Définir avec les experts en géodésie une distance maximale de la base du réseau RTK, au-delà de laquelle l'utilisateur devra nécessairement utiliser une base radio sur un point géodésique.

5. LIMITES

Les résultats de cette étude sont limités aux données récoltées. Si l'étendue de certaines sources d'incertitude n'a pas été bien couverte cela pourrait mener à la sous-estimation des intervalles de confiance, notamment pour les modèles d'incertitude 1 à 3, mais pas le pour le modèle 4. La source d'incertitude non mesurée dans sa pleine étendue qui est certainement importante est la présence de vagues en surface. Cette incertitude pourra être estimée dans une deuxième phase et ajoutée au modèle d'incertitude, si applicable. Avant d'évaluer le bien fondé d'évaluer l'incertitude liée à la présence de vagues, il serait judicieux de documenter la proportion de niveaux d'eau qui sont mesurés dans ces conditions. Il serait aussi assez simple d'évaluer rapidement l'impact des vagues sur l'incertitude en effectuant des répétitions à un seul site avec deux opérateurs et un seul GNSS en mesurant le niveau d'eau et un brique avec un cible apportée sur place pour servir de comparaison. Toutefois, lorsque des vagues de surfaces sont présentent dans les cours en raison d'écoulement critique ou sur critique, le niveau d'eau change généralement assez rapidement et ces variations risquent d'ajouter une incertitude encore plus importante que celle liée aux vagues entre les points récoltés de l'amont vers l'aval le long du cours d'eau lors de la prise de mesure.

6. CONCLUSION

Dans cette étude, un protocole d'échantillonnage a été développé et déployé afin d'évaluer l'incertitude liée à la mesure traditionnelle du niveau d'eau par des opérateurs employant un GNSS en bordure des cours d'eau. Les données ont été récoltées sur une quinzaine de sites en Estrie et en Outaouais ce qui a permis de couvrir une gamme de conditions de mesures courantes dans le Québec méridional. Ce jeu de données a servi à élaborer quatre modèles d'incertitude qui pourront être utilisés pour estimer l'intervalle de confiance de n'importe quelle mesure d'élévation du niveau d'eau. Le choix du modèle dépend du niveau d'information accompagnant l'enregistrement du niveau d'eau. Dans tous les cas, nous avons montré que plusieurs sources d'incertitudes liées aux conditions environnementales (végétation, structures, encaissement, etc) qui influent sur la qualité de la réception des satellites sont assez bien reflétées dans le calcul de l'erreur verticale effectuée par le GNSS. Donc, nous considérons que cette erreur de positionnement verticale estimée par le GNSS doit être incluse dans le calcul de l'incertitude des mesures du niveau d'eau et devrait donc être transmise par les mandataires. Les deux autres sources d'incertitude significatives des modèles proposés sont l'erreur liée à l'opérateur et celle liée à la gamme du GNSS. Nous avons aussi comparé ces mesures à l'enregistrement des niveaux d'eau à l'aide d'une bouée bathymétrique équipée d'un GNSS qui a été tractée sur un tronçon de 20 km de la rivière Saint-François. Cet exercice a permis de montrer que la précision des mesures augmente en raison du dégagement au-dessus du capteur. Suite aux différentes analyses du jeu de données, nous avons aussi proposé des recommandations visant à améliorer le protocole de mesure transmis aux mandataires qui ont à récolter et transmettre des mesures du niveau d'eau.

BIBLIOGRAPHIE

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

JCGM (2008). *Évaluation des données de mesure – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. s.l. : Joint Committee for Guides in Metrology, 2008.

Deldossi, L. et D. Zappa (2011). *Measurement uncertainty with nested mixed effect models*. *Quality and Reliability Engineering International* 27(5): 673–679.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*, John Wiley & sons.

R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. (1995) *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., New York.

ANNEXE

A

ANNEXE A. PROTOCOLE DU MELCC POUR LA
MESURE TRADITIONNELLE DES LIGNES D'EAU

Direction de l'expertise hydrique

DEVIS DE SERVICES PROFESSIONNELS :

CONTRAT À EXÉCUTION SUR DEMANDE POUR EFFECTUER DES RELEVÉS DU
NIVEAU D'EAU DU JOUR

1. OBJET DU CONTRAT

Le présent contrat à exécution sur demande pour les services demandés s'inscrit dans le programme INFO-Crue du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), ci-après nommé le ministère.

Le projet INFO-Crue vise à délimiter les zones inondables nécessaires à l'aménagement du territoire à l'échelle du Québec méridional. Combinées avec la prise en compte des changements climatiques, les cartes produites donneront également un aperçu de l'évolution de l'ampleur de ces zones dans l'avenir. INFO-Crue permettra aussi de produire la prévision des zones inondées lors de crues et d'en illustrer, de façon dynamique, l'ampleur.

Le contrat consiste à choisir un prestataire de services qui sera appelé sur demande pour effectuer des relevés de niveaux d'eau à des moments jugés opportuns pour les cours d'eau décrits dans le présent appel d'offres.

2. REPRÉSENTANT DU MINISTÈRE

Une personne de la Direction de l'expertise hydrique (DEH) sera attitrée à la gestion de ce contrat et sera la personne-ressource en tout temps.

3. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES TRAVAUX À RÉALISER

3.1 Description du mandat et localisation

Le présent contrat à exécution sur demande consiste à effectuer des relevés de niveaux d'eau aux endroits définis par le ministère, aux moments jugés d'intérêt pour celui-ci.

- Des relevés pourront être demandés du mois de mars à décembre.
- Le prestataire de services devra être disponible autant la semaine que la fin de semaine ainsi que les jours fériés.

Le plan de localisation suivant présente une vue générale des sites à visiter (figure 1). La localisation précise des sites est disponible dans le fichier.

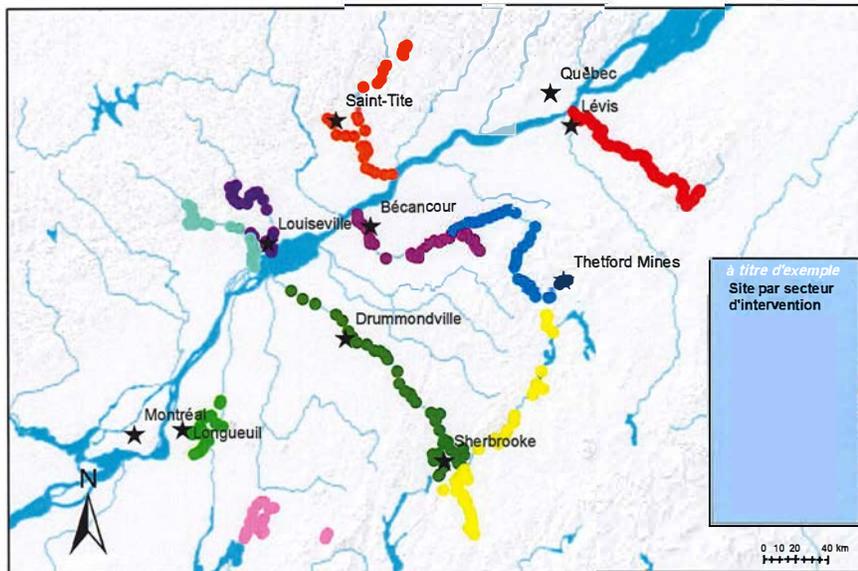


Figure 1 Localisation des sites par secteur d'intervention

Il y a 364 sites de mesures de niveau d'eau. Ceux-ci sont répartis dans 10 secteurs d'interventions. Le tableau suivant présente la répartition.

Tableau 1 Nombre de sites par secteur d'intervention (à titre d'exemple)

Secteur d'intervention	Nombre de sites
------------------------	-----------------

Les relevés seront réalisés simultanément au jaugeage du cours d'eau fait par les équipes internes du ministère. Ce dernier sera situé à un seul endroit sur le cours d'eau. Il se fera en continu pendant la période de relevé. Si un secteur comporte plusieurs affluents nécessitant plus d'un jaugeage, le personnel du ministère spécifiera au prestataire de services l'ordre des relevés pour ce secteur d'intervention.

Le déroulement des demandes d'exécution se fera de la manière suivante :

Le prestataire de services sera avisé 18 h à l'avance, soit avant midi la veille d'un relevé des sites. Le prestataire de services sera contacté par téléphone et une confirmation écrite lui sera envoyé par courriel. Les sites à visiter pour relever les niveaux d'eau pour une journée se situeront tous dans un même secteur d'intervention. Les secteurs d'intervention sont définis dans le fichier.

Dès que le ministère l'avise, le prestataire de services devra mobiliser le personnel technique nécessaire afin de procéder aux relevés de niveaux d'eau dans le secteur d'intervention choisi. Lors de l'appel, une planification de la journée de relevés sera faite entre le ministère et le prestataire de services puisque les relevés de niveaux d'eau seront réalisés simultanément au jaugeage du cours d'eau. La période d'une journée de travaux est entre 7 h le matin et le coucher du soleil.

De plus, afin de s'assurer d'un déroulement adéquat durant la journée des travaux, le personnel du prestataire de services et le personnel du ministère devront être en contact téléphonique.

Si les conditions le permettent et que le prestataire de services en a la capacité, le ministère pourrait demander au prestataire de services de couvrir plus d'un secteur pour une même journée. Les parties pourront alors s'entendre sur le secteur supplémentaire à relever. Si le prestataire de services n'est pas en mesure de relever l'ensemble des sites de ce secteur supplémentaire, aucune pénalité ne sera appliquée.

Lorsque le prestataire de services est contacté pour une journée de travaux, le ministère lui précisera le secteur d'intervention à visiter. Le prestataire de services devra relever tous les sites du secteur d'intervention pendant la journée de travail. Le prestataire de service doit s'assurer d'avoir les ressources adéquates. Cela pourrait se traduire par l'utilisation de plus d'une équipe afin de compléter tous les sites dans la même journée. Les sites sont accessibles à partir de la berge du cours d'eau. Le prestataire de service peut toutefois choisir la méthode de son choix pour accéder aux endroits à relever. S'il choisit de se déplacer par embarcation, le prestataire de service est responsable de trouver les endroits de mise à l'eau. Le ministère se garde le droit d'exclure certains sites de relevés de niveaux d'eau.

Le nombre total maximal de visite pour la durée du contrat est de 750 visites (soit en moyenne deux (2) visites par site).

Pour les sites localisés au croisement d'un pont avec le cours d'eau, le relevé exige une prise de mesure en amont et une en aval du pont, pour un total de deux (2) relevés. Ces sites ne nécessitent pas un déplacement supplémentaire. Les détails pour l'identification des relevés sont disponibles à l'annexe 1.

Le relevé d'un niveau d'eau consiste à relever le niveau moyen de l'eau aux sites prévus. En présence de vagues, le prestataire de services mesure la hauteur moyenne entre le haut de la vague et le bas de la vague. Pour chaque relevé de niveau d'eau, les éléments suivants sont requis :

- Un point de mesure;
- Une vidéo géoréférencée.

Pour la précision de la position du site de relevé par rapport à celui prévu au contrat, voir la description d'un site à l'annexe 1.

À chacun des relevés, une vidéo devra être prise à partir du site. Celle-ci devra avoir les caractéristiques suivantes :

- Vue d'ensemble de la rivière et de ses rives;
- Prise en tournant sur soi-même à partir du site de relevé;
- Vidéo peut être réalisée avec un cellulaire ou un appareil photo numérique;
- Durée permettant de bien visualiser les rives et le cours d'eau (minimum de 10 secondes);
- Qualité permettant de visualiser clairement une image lors d'un arrêt sur image;
- Le résultat devra permettre au personnel du ministère de distinguer la dynamique de l'écoulement de l'eau.

Pour chaque mesure de relevé de niveau d'eau, l'information attendue qui est décrite dans le fichier est la suivante :

- Numéro de la rivière, numéro à huit caractères fourni par la DEH;
 - Les numéros des rivières sont inclus dans le fichier
- Numéro du secteur d'intervention, fourni par la DEH;
 - Les numéros des secteurs d'intervention sont inclus dans le fichier
- Coordonnées des sites mesurés;
 - Coordonnée X en degrés décimaux nad83 SCRS

- Coordonnée Y en degrés décimaux nad83 SCRS
- Coordonnée Z en altimétrie CGVD28
- Date du relevé AAAA-MM-JJ
- Heure du relevé HH:MM
- Pour les ponts, les numéros de site devront être suivis de « -A » pour l'amont et de « -B » pour l'aval.

Pour chaque vidéo associée à un site de relevé, l'information attendue qui est décrite dans le fichier est la suivante :

- Numéro du site associé
- Coordonnée X en degrés décimaux nad83 SCRS
- Coordonnée Y en degrés décimaux nad83 SCRS
- *Path* (lien vers la vidéo)
- Champ date-heure : AAAA-MM-JJ HH :MM

La localisation exacte des sites pour les années 2020 – 2021 pourrait être modifiée avec l'accord du prestataire de services retenu.

3.2 Système de coordonnées et précision

Les données mesurées doivent toutes être géoréférencées en planimétrie Latitude-Longitude (degrés décimaux) Nad83 SCRS.

Les altitudes orthométriques des données doivent être produites dans le système de référence altimétrique CGVD28 et déterminées avec le modèle hybride du géoïde HTv2.0. Les données doivent être calibrées et ajustées à l'aide de points de contrôle dans le but d'obtenir la précision demandée.

Les données mesurées doivent avoir une précision planimétrique et altimétrique de ± 5 centimètres ou mieux.

3.3 Biens livrables et services

Une réunion de démarrage téléphonique aura lieu après le choix du prestataire de services.

Les biens livrables et services à fournir sont les suivants :

- Fichier de point en format ArcGIS (*shapefile* ou *geodatabase*) incluant l'ensemble des points relevés et formaté selon le fichier
- Fichier de point en format ArcGIS (*shapefile* ou *geodatabase*) incluant le lien vers chacune des vidéos prises et formatées selon le fichier
- Fichiers sources qui ont servi au relevé;

Le prestataire de services devra conserver les données pour une période d'une année après la fin du contrat.

3.4 Modalité d'exécution et gestion du contrat

Le représentant du MELCC agit comme responsable du contrat et doit autoriser toutes les demandes d'exécution (DE) du mandat, et ce, avant que le travail lié à l'exécution du mandat ne débute. Il est à noter que toutes demandes non spécifiquement autorisées préalablement par le MELCC ne seront pas rémunérées.

Toutes les activités et les biens livrables précisés lors de la définition d'une demande d'exécution sont sous la responsabilité du prestataire de services retenu pour effectuer le mandat.

L'ensemble des biens livrables reliés à une journée de travail devra être remis au plus tard dix (10) jours ouvrables après la journée de réalisation des travaux.

Les demandes d'exécution seront transmises par courriel. Au démarrage de chaque demande d'exécution, le représentant du MELCC contactera le représentant du

prestataire de services afin de discuter de l'approche à utiliser, des biens livrables à produire permettant ainsi de déterminer l'approche à utiliser.

4. Documents fournis par le Ministère

Le Ministère fournit les documents suivants :

- Fichier de localisation des sites de mesures de niveaux d'eau qui servira également de fichier à remplir lors des mesures;
- Fichier pour le gabarit de descriptions des vidéos;
- Lettre identifiant le prestataire de service comme étant un mandataire du MELCC.

Les fichiers de localisation et de gabarit sont disponibles sur le lien suivant [...] dans le fichier compressé .

Aucun identifiant ou mot de passe n'est nécessaire.

Un exemple de la lettre à remettre aux citoyens est disponible à l'Annexe 2. Des copies officielles seront fournies au prestataire de service.

5. RESSOURCES HUMAINES

5.1 Chargé de projet

Le chargé de projet doit posséder au moins deux (2) années d'expérience pertinente en relevés de terrain; c'est-à-dire en relevés topographiques et/ou bathymétriques avec des équipements d'arpentage tel qu'un GPS de haute précision, une station-totale, un échosondeur ou tout autre instrument permettant de relever la topographie du terrain avec une précision respectant celle du présent document.

Le chargé de projet doit s'assurer que toutes les activités relatives au contrat soient exécutées conformément aux exigences du devis.

5.2 Équipe de terrain

Une équipe de terrain doit être composée d'un minimum de deux (2) employés. Ce minimum est demandé afin d'assurer des travaux sécuritaires sur un cours d'eau ou à proximité. De plus, le prestataire de service devra prévoir le matériel de sécurité nécessaire en cas d'urgence.

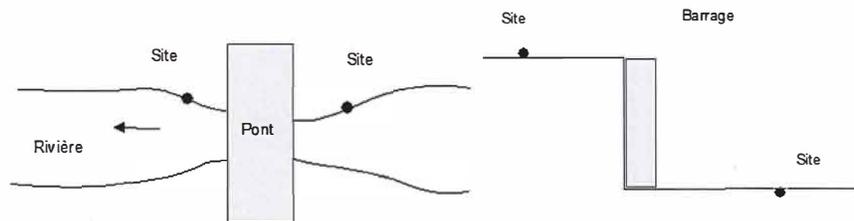
Il doit y avoir minimalement une personne ayant au moins une (1) année d'expérience pertinente en relevé GPS de haute précision.

ANNEXE 1

SITES DE RELEVÉS DE NIVEAUX D'EAU

Les éléments suivants doivent être pris en considération lors de relevés :

- Le choix de la rive (gauche ou droite) laissé à la discrétion du prestataire de services, sauf si spécifié lors de l'appel de planification de la journée des travaux.
- Le niveau d'eau doit être pris à un endroit où le niveau de l'eau et l'écoulement sont constants et là où la section d'écoulement (berge et lit) semble naturelle (pas de restriction, de fossés, etc.)
 - Par exemple, pas dans une section avec des rapides;
 - En général, pour les structures, le site en amont doit être à une distance d'environ 10 m de la structure et à 5 m en aval.



Toutefois, la position prédéterminée peut être modifiée au terrain pour les raisons suivantes :

- Accès difficile, voire dangereux,
- Présence d'une zone dangereuse,
- Présence d'obstacle(s) imprévu(s) à l'écoulement,
- Présence de rapides,
- Site dans la zone d'influence d'un obstacle (par exemple trop près d'un pont),
- Impossibilité de prendre la mesure (par exemple présence d'un embâcle).

Dans le cas où le site devrait être déplacé, les éléments suivants devront être considérés :

- Si le problème est l'accès, vérifier si l'accès peut se faire par la rive opposée ou encore un autre endroit à proximité;
- Le déplacement peut se faire vers l'amont ou vers l'aval, tout en respectant les conditions de positionnement d'un site d'eau énoncées ci-haut
 - Par exemple, si un site est à l'amont d'un pont, déplacer le site de façon à ne pas se rapprocher du pont afin de respecter la condition d'écoulement constant demandée;
- Le déplacement maximal afin de considérer que le site est le même est de 50 m;
- L'idéal est de choisir un site aux conditions similaires :
 - Par exemple, si un relevé est prévu vis-à-vis une plage, mais que les conditions d'écoulement ne sont pas idéales au site prévu, se déplacer un peu plus loin sur la plage;
 - Il est important de ne pas traverser un seuil ou encore un changement significatif dans le niveau du lit du cours d'eau.
- Si le déplacement s'avère impossible et que le site ne peut être relevé, le prestataire de services devra le justifier en documentant les raisons (photographie et courte description) et avertir le ministère.

Dans le cas où le site devrait être déplacé, la démarche suivante devra être réalisée :

- Une vidéo devra être prise au site à déplacer afin de documenter la raison du déplacement;
- Le numéro du site sera changé de la manière suivante :
 - Site initial : XXXXXX
 - Site déplacé : XXXXXX-D

ANNEXE 2

LETTRE À REMETTRE AUX CITOYENS

Le XX YYYYYYY 2019

Aux riverains d'un cours d'eau

Objet : Relevés effectués sur les berges et le cours d'eau longeant votre propriété

Madame,

Monsieur,

Le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) procède en ce moment à des relevés de niveau d'eau de certains cours d'eau. Pour permettre la prise de mesures, des techniciens de la firme XXXX devront peut-être traverser votre terrain pour mettre à l'eau une embarcation ou procéder à des mesures à l'aide d'instruments d'arpentage. Les données recueillies par le MELCC seront utilisées strictement à des fins d'ingénierie. En aucun temps, elles ne seront utilisées à des fins foncières.

Cet avis vise à vous informer des travaux en cours et à excuser les désagréments qu'ils pourraient vous occasionner. Nous comptons sur votre bonne volonté et votre coopération.

Pour toute information supplémentaire, n'hésitez pas à communiquer avec moi aux coordonnées données plus bas.

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, nos salutations distinguées.

(Signature)
Chargée de projet INFO-Crue
(coordonnées)

ANNEXE

B

ANNEXE B. PLANIFICATION DE LA CAMPAGNE DE
TERRAIN EXPLORATOIRE

Plan de terrain

Version 001

No. du projet :	P2031
Nom du projet :	Modèles d'incertitude sur la mesure des lignes d'eau
Client :	Ouranos – MELCC
Chargée de projet :	Geneviève Marquis
Personnel impliqué :	Mathieu Roy ((JFSA) Charles Bérubé (Nadeau-Fournier)
Durée :	2 jours
Date :	24 – 25 mars 2021
Équipement :	GPS1 RS2 (Université de Sherbrooke) GPS2 Hemisphere (JFSA) GPS3 Leica GS15 (Nadeau-Fournier) Tripod (JFSA) Bipod (Nadeau-Fournier) Déecteur de métal (Nadeau-Fournier)

Objectifs :

- Récolter des données permettant de quantifier l'incertitude liée au GPS, au réseau, à la végétation et à la distance de la base
- Tester l'importance de connecter / déconnecter le GPS lors de la prise de mesures répétées

Étape 1 : Préparation avant le terrain

Tâches de Geneviève

- Planifier le protocole de prises de mesures
- Liste de PCODES
- Feuille de prise de note pour le site
- Décider paramètres de précision du GPS
- Valider le modèle du GPS à Charles

Tâche de Mathieu

- Insérer les PCODE dans chacun des GPS
- Validation des GÉOIDEs pour chacun des GPS – en coordination avec Charles
- Durant l'export (avoir toutes les informations, à valider * élévation ellipsoïdale)
- Coordination avec ABTECH pour le Smartnet
- Borne Géodésique (identification de 4 sites avec photo et vidéo), 2 à Gatineau, 1 environ Wakefield et 1 à Maniwaki)) et envoyer shapefile à GM
- Trouver une façon de bloquer le signal durant les relevés (Boite, papier d'aluminium etc.)
- Sortie de la donnée brute (test maison)
- Dans SurvCe point instantané Vs avec masque
- Uniformiser les paramètres d'entrée des GPS
- Imprimer feuille de prise de note pour le terrain sur papier hydrofuge

Tâche de Charles

- Réserver un GPS du bon modèle (probablement un GS15), le tripod et un détecteur de métal
- Valider quelles constellations sont utilisées par le GPS
- Insérer les PCODES dans le GPS
- Validation du GÉOIDE pour le GPS (avec Mathieu)
- S'assurer d'enregistrer le maximum d'information
- S'assurer de connecter facilement le GPS au réseau du ministère
- Programmer les paramètres situés à l'étape 2

Étape 2 : Paramètres du GPS

- 1- S'assurer que tout ce qui est possible d'enregistrer est enregistré
 - 2- Enregistrer les élévations ellipsoïdales et géoïdales.
 - 3- Paramètres pour la prise de mesure à programmer
 - a. PDOP – 5
 - b. Angle du masque – 15 degrés
 - c. Précision (horizontale et verticale) - 5 cm
 - d. Incline - 15 degrés
 - 4- Programmer les PCODES suivants
 - GeoSmartDef
 - GeoSmartFix
 - GeoMernDef
 - GeoMernFix
 - VegMernDef
 - VegMernFix
-

Étape 3 : Protocole de prise de mesures

4 sites seront visités, 2 par jour

Faire un fichier de prise de mesure par site et par GPS (on devrait avoir 12 fichiers à la fin du terrain). Le nom du fichier doit contenir le numéro de projet, le nom du site et le nom du GPS, par exemple : P2031_Site1_RS2

Pour chaque site, 2 emplacements :

Installer un tripod sur le point géodésique

Installer un tripod sous couvert forestier dans l'environnement proximal

Mesures (Total de 540 mesures par site)

1- Emplacement sur le point géodésique (360 mesures)

**Numéroter les points de 1001 à 1360*

- a. GPS1 branché le réseau Smartnet, 30 répétitions en défixant le GPS (**GeoSmartDef**)
- b. GPS1 branché le réseau Smartnet, 30 répétitions sans défixer le GPS (**GeoSmartFix**)
- c. GPS1 branché le réseau du MERN, 30 répétitions en défixant le GPS (**GeoMernDef**)
- d. GPS1 branché le réseau du MERN, 30 répétitions sans défixer le GPS (**GeoMernFix**)
- e. Répéter la séquence a à d pour les GPS2 et GPS3

2- Emplacement – sous couvert forestier (180)

**Numéroter les points de 2001 à 2180*

- a. GPS2 branché le réseau du MERN, 30 répétitions en défixant le GPS (**GeoMernDef**)
- b. GPS2 branché le réseau du MERN, 30 répétitions sans défixer le GPS (**GeoMernFix**)
- c. Répéter la séquence a à b pour les GPS1 et GPS3

Étape 4 : Prise de notes

Noter la séquence de l'étape, quel GPS dans quel ordre, etc

Prendre des notes sur le site

Noter toute anomalie

Voir feuille de note fournie

Projet :	2031 – Incertitude lignes d'eau
Date / météo :	
Site :	
Personnel :	
Heures arrivée/départ :	

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1 -	2-	3-
Point géodésique, # photos :			
GeoSmartDef	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
GeoSmartFix	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
GeoMernDef	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
GeoMernFix	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
Sites végétation, # photos :			
VegMernDef	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
VegMernFix	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :

Emplacement sous couvert, décrire l'environnement proximal qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

-
- Prendre des photos générales (#) :
 - Faire 2 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
 - Emplacement sous couvert, prendre des photos vers le ciel (#) :
-

Commentaires :

ANNEXE

C

ANNEXE C. PLANIFICATION DE LA CAMPAGNE DE
TERRAIN PRINCIPALE

Plan de terrain

Version 001

No. du projet :	P2031
Nom du projet :	Modèles d'incertitude sur la mesure des lignes d'eau
Client :	Ouranos - MELCC
Chargée de projet :	Geneviève Marquis
Personnel impliqué :	Mathieu Roy (JFSA) Alexandre Paradis (JFSA) Cherine (Université de Sherbrooke)
Durée :	5 jours
Date :	12 - 16 avril 2021
Équipement :	GPS1 RS2 (Université de Sherbrooke) GPS2 Hemisphere (JFSA) GPS3 Leica GS14 (ABtech)

Objectifs :

- Récolter des données permettant de quantifier l'incertitude liée à la mesure des niveaux d'eau

Étape 1 : Préparation avant le terrain

Tâches de Geneviève

- Planifier le protocole de prises de mesures
- Liste de PCODES
- Feuille de prise de note pour le site
- Récupérer le GS14 chez ABtech

Tâche de Mathieu

- Appeler ABtech pour la programmation des bases du MERN
- Insérer les PCODE dans chacun des GPS
- Validation des GÉOIDEs pour chacun des GPS
- Uniformiser les paramètres d'entrée des GPS (voir étape 2)
- Identifier les bornes géodésiques pour la validation près des sites de mesure
- Amener 3 bloqueurs de signal durant les relevés (Boite, papier d'aluminium etc.)
- Imprimer feuille de prise de note pour le terrain sur papier hydrofuge
- Prévoir 3 dalles avec point de peinture comme référence (1 par opérateur)
- Apporter des masques de procédures
- Apporter des gants
- Apporter des lingettes désinfectantes

Étape 2 : Paramètres du GPS

- 1- S'assurer que tout ce qui est possible d'enregistrer est enregistré
 - 2- Enregistrer les élévations ellipsoïdales et géoïdales.
 - 3- S'assurer que les stations de Sherbrooke et de Saint-Georges de Beauce (back up) sont déjà dans les paramètres
 - 4- Paramètres pour la prise de mesure à programmer
 - a. PDOP - 5
 - b. Angle du masque - 15 degrés
 - c. Précision (horizontale et verticale) - 5 cm
 - d. Incline - 15 degrés
 - 5- Programmer les PCODES suivants
 - MR_REFbrique
 - MR_NEbotte
 - MR_NEroche
 - CBK_REFbrique
 - CBK_NEbotte
 - CBK_NEroche
 - AP_REFbrique
 - AP_NEbotte
 - AP_NEroche
 - PT_GEO
-

Étape 3 : Protocole de prise de mesures

7-8 sites seront visités, 2 par jour

Pour chaque site :

Faire une validation sur point géodésique pour chaque site

Remplir la feuille de prise de note

Prendre les photos/vidéo

Installer une dalle au sol près du site de mesure du niveau d'eau

Mesures :

Toutes les mesures seront en mode rtk, en utilisant la station de Sherbrooke du MERN

Faire un fichier de prise de mesure par site et par GPS. Le nom du fichier doit contenir le numéro de projet, le nom du site et le nom du GPS, par exemple : P2031_Site1_RS2

Pour chaque opérateur (Total de 540 mesures par site)

- a. GPS1, 20 répétitions d'une série de 3 mesures en défixant le GPS entre chaque série :
 - Mesure 1 : centre de la brique (MR_REFbrique ou CBK_REFbrique ou AP_REFbrique)
 - Mesure 2 : niveau d'eau méthode botte (MR_NEbotte ou CBK_NEbotte ou AP_NEbotte)
 - Mesure 3 : niveau d'eau méthode roche (MR_NEroche ou CBK_NEroche ou AP_NEroche)
- b. Répéter la séquence a pour les GPS2 et GPS3

Nb. En cas de présence de vagues, les deux mesures de niveau d'eau se feront en mesurant le creux (en remplacement de la méthode botte) et le sommet (en remplacement de la méthode roche).

Nb. S'il s'avère inutile de défixer le GPS nous ferons 30 répétitions.

Étape 4 : Prise de notes

Noter la séquence de l'étape, quel GPS dans quel ordre, etc

Prendre des notes sur le site

Noter toute anomalie

Voir feuille de note fournie

Projet :	2031 – Incertitude lignes d'eau	Date :	
Site :		Personnel :	
Heure arrivée :		Heure départ :	
Température :		Nuages :	
Vent :		Précipitations :	

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1 -	2-	3-
PT_GEO	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
MR	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
CBK	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
AP	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

-
- Prendre des photos générales (#) :
 - Prendre des photos vers le ciel (#) :
 - Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
 - Numéro point géodésique (#) :
-

Commentaires :

ANNEXE

D

ANNEXE D. FICHES TECHNIQUES DES GNSS

Leica Viva GS15

Fiche technique



Un logiciel attrayant

L'antenne GNSS intelligente Leica Viva GS15 s'accompagne du logiciel révolutionnaire Leica Captivate, qui transforme les données complexes en modèles 3D les plus réalistes et les plus faciles à travailler. Avec des applications simples d'utilisation et une technologie tactile familière, vous pouvez visualiser toutes les formes de données mesurées ou de conception dans toutes les dimensions. Leica Captivate couvre les secteurs d'activité les plus variés, aussi simplement que depuis votre smartphone, que vous travailliez avec le GNSS, les stations totales ou les deux.



Un pont infini entre le terrain et le bureau

Leica Infinity importe et combine les données de vos instruments GNSS, stations totales et niveaux pour un résultat final exact. Le traitement n'a jamais été aussi facile que lorsque tous vos instruments travaillent en synergie pour produire des informations précises et pratiques.

ACC»

Service client accessible en un clic

Avec le programme Active Customer Care (ACC), vous êtes à un clic d'un réseau mondial de professionnels expérimentés, prêts à vous guider en cas de problème. Éliminez les retards grâce à un service technique supérieur, terminez vos travaux plus rapidement grâce au soutien de nos excellents consultants et évitez les retours coûteux sur les chantiers grâce au service en ligne qui permet d'envoyer et de recevoir les données directement sur le terrain. Contrôlez vos dépenses avec un Contrat Client Personnalisé sur mesure qui vous assure d'être couvert partout, tout le temps.

Leica Viva GS15

TECHNOLOGIE GNSS

GNSS qui s'adapte seul aux conditions satellitaires	Leica RTKplus SmartLink (service de correction mondial) SmartLink fill (service de correction mondial, PPP)	Sélection intelligente et continue des satellites Positionnement haute précision à distance (3 cm en 2D) ¹ Convergence initiale garantissant une précision optimale en 20 - 40 min, Reconvergence < 1 min Création d'un pont durant les coupures de corrections pendant 10 min max. (3 cm en 2D) ¹
Leica SmartCheck	Contrôle continu de la solution RTK	Fiabilité 99,99 %
Poursuite du signal		GPS (L1, L2, L2C, L5), Glonass (L1, L2, L3 ²), BeiDou (B1, B2, B3 ²), Galileo (E1, E5a, E5b, Alt-BOC, E6 ²), QZSS ³ , NavIC L5 ³ , SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN), bande L
Nombre de canaux		555 offrant davantage de signaux, une acquisition plus rapide et une sensibilité accrue

PERFORMANCES ET PRÉCISION DES LEVÉS¹

Temps d'initialisation		Habituellement 4 s
Cinématique en temps réel (Conforme à la norme ISO17123-8)	Ligne de base individuelle Réseau RTK	Hz 8 mm + 1 ppm / V 15 mm + 1 ppm Hz 8 mm + 0,5 ppm / V 15 mm + 0,5 ppm
Post-traitement	Statique (phase) longues observations Statique et rapide statique (phase)	Hz 3 mm + 0,1 ppm / V 3,5 mm + 0,4 ppm Hz 3 mm + 0,5 ppm / V 5 mm + 0,5 ppm
Code différentiel	DGPS / RTCM	Habituellement 25 cm

COMMUNICATION

Ports de communication	Lemo Bluetooth®	USB et RS232 série Bluetooth® v2.00 + EDR, classe 2
Protocoles de communication	Protocoles de données RTK Sortie NMEA Réseau RTK	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 V 4.00 et format Leica VRS, FKP, iMAX, MAC (RTCM SC 104)
Liaisons données intégrées	Modem téléphonique 3,75 G Modem radio	Entièrement intégré, antenne interne ou externe Entièrement intégré, réception et transmission, antenne interne ou externe 403 - 470 MHz, puissance de sortie 1 W, jusqu'à 28 800 bps à l'aérien
Données externes		Modem GSM / GPRS / UMTS / CDMA et UHF / VHF

GÉNÉRAL

Logiciel et contrôleur de terrain	Logiciel Leica Captivate Logiciel Leica SmartWorx Viva	Contrôleur de terrain Leica CS20, tablette Leica CS35 Contrôleur Leica CS10 et CS15
Interface utilisateur	Touches et DEL Serveur Internet	Touches ON/OFF et de fonction, 8 DEL d'état Informations complètes sur l'état et options de configuration
Enregistrement	Stockage Type de données et fréquence d'enregistrement	Carte SD amovible, 8 Go Données Leica GNSS brutes et données RINEX jusqu'à 20 Hz
Alimentation	Alimentation interne Alimentation externe Longévité ⁴	2 batteries Li-Ion interchangeables (2,6 Ah / 7,4 V) 12 Vcc en nominal, plage de 10,5 à 28 Vcc. 10 h en réception avec radio interne, 9 h en émission avec radio interne, 7,5 h en réception et émission avec modem téléphonique interne
Poids et dimensions	Poids Diamètre x hauteur	1,34 kg (GS15) / 3,30 kg comme mobile RTK standard sur canne 196 mm x 198 mm
Environnement	Température Chutes Protection contre l'eau, le sable et la poussière Vibrations Humidité Chocs fonctionnels	-40 à 65 °C en fonctionnement, -40 à 80 °C pour le stockage Supporte un renversement depuis une canne de 2 m sur les surfaces dures IP68 (IEC60529 / MIL STD 810G 506.5 I / MIL STD 810G 510.5 I / MIL STD 810G 512.5 I) Supporte de fortes vibrations (ISO9022-36-08 et MIL STD 810G 514.6 Cat.24) 100 % (ISO9022-13-06 / ISO9022-12-04 / MIL STD 810G 507.5 I) 40 g / 15 à 23 ms (MIL STD 810G 516.6 I)

ANTENNE INTELLIGENTE GNSS LEICA VIVA GS15	Basique	Performance	Illimité
SYSTÈMES GNSS COMPATIBLES			
Multi-fréquence	•	✓	✓
GPS / GLONASS / Galileo / BeiDou	✓ / • / • / •	✓ / • / • / •	✓ / ✓ / ✓ / ✓
PERFORMANCES RTK			
DGPS/RTCM. RTK illimité, RTK en réseau	•	✓	✓
SmartLink fill / SmartLink	• / •	• / •	✓ / •
MISE À JOUR DU POSITIONNEMENT ET ENREGISTREMENT DES DONNÉES			
Positionnement 5 Hz / 20 Hz	✓ / •	✓ / ✓	✓ / ✓
Données brutes / Enregistrement des données RINEX / Sortie NMEA	✓ / • / •	✓ / • / •	✓ / ✓ / ✓
FONCTIONS SUPPLÉMENTAIRES			
Fonction station de référence RTK	•	✓	✓

✓ Standard • Option

¹ La précision, l'exactitude, la fiabilité des mesures et la durée d'initialisation dépendent de plusieurs facteurs, parmi lesquels le nombre de satellites, la durée de l'observation, les conditions atmosphériques, les trajets multiples, etc. Les chiffres cités s'appuient sur des conditions favorables. Les constellations BeiDou et Galileo amélioreront encore les performances et la précision des levés.

La marque Bluetooth® est la propriété de Bluetooth SIG, Inc.
Les illustrations, descriptions et données techniques sont non contractuelles. Tous droits réservés. Imprimé en Suisse - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Suisse, 2015. 774102fr - 04.17

² Normalement compatible mais dépend de la disponibilité de la définition du service commercial de BeiDou ICD et Galileo. Glonass L3, BeiDou B3 et Galileo E6 seront intégrés et fournis lors d'une prochaine mise à niveau du programme.

³ Prise en charge de QZSS / NavIC L5 prévue et assurée dans le cadre de futures mises à niveau.

⁴ Peut varier en fonction des températures, de l'âge de la batterie et de la puissance du dispositif relié pour la transmission des données.

Leica Viva GS14

Fiche technique



Un logiciel convivial

L'antenne intelligente, compacte et puissante Leica Viva GS14 intègre le logiciel intuitif SmartWorx Viva. Avec des graphiques clairs, des structures de menu pratiques, une terminologie compréhensible et des flux de travail, vous bénéficiez de gains de temps et économisez vos ressources quel que soit le site. SmartWorx Viva est facile à utiliser. Vous serez en mesure de travailler de façon productive en un temps record.



Un pont infini entre le terrain et le bureau

Leica Infinity importe et combine les données de vos instruments GNSS, stations totales et niveaux pour un résultat final exact. Le traitement n'a jamais été aussi facile que lorsque tous vos instruments travaillent en synergie pour produire des informations précises et pratiques.

ACC»

Service client accessible en un clic

Avec le programme Active Customer Care (ACC), vous êtes à un clic d'un réseau mondial de professionnels expérimentés, prêts à vous guider en cas de problème. Éliminez les retards grâce à un service technique supérieur, terminez vos travaux plus rapidement grâce au soutien de nos excellents consultants et évitez les retours coûteux sur les chantiers grâce au service en ligne qui permet d'envoyer et de recevoir les données directement sur le terrain. Contrôlez vos dépenses avec un Contrat Client Personnalisé sur mesure qui vous assure d'être couvert partout, tout le temps.

Leica Viva GS14

PERFORMANCES GNSS

Technologie GNSS	Leica SmartTrack	Poursuite avancée sur quatre constellations
Leica SmartCheck	Contrôle continu de la solution RTK	Fiabilité 99,99 %
Poursuite du signal		GPS (L1, L2, L2C), Glonass (L1, L2), BeiDou (B1, B2), Galileo QZSS ¹ , SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)
Nombre de canaux		120 (jusqu'à 60 sur deux fréquences)

PERFORMANCES ET PRÉCISION DES LEVÉS²

Temps d'initialisation		Habituellement 4 s
Cinématique en temps réel	Ligne de base individuelle Réseau RTK	Hz 8 mm + 1 ppm / V 15 mm + 1 ppm Hz 8 mm + 0,5 ppm / V 15 mm + 0,5 ppm
Post-traitement	Statique (phase) avec de longues observations Statique et rapide statique (phase)	Hz 3 mm + 0,1 ppm / V 3,5 mm + 0,4 ppm Hz 3 mm + 0,5 ppm / V 5 mm + 0,5 ppm
Code différentiel	DGPS / RTCM	Habituellement 25 cm

COMMUNICATIONS

Ports de communication	Lemo Bluetooth®	USB et série RS232 Bluetooth® v2.00 + EDR, classe 2
Protocoles de communication	Protocoles de données RTK Sortie NMEA Réseau RTK	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 V 4.00 et format Leica VRS, FKP, iMAX, MAC (RTCM SC 104)
Liaisons données intégrées	Modem téléphonique 3.75 G GSM / UMTS / CDMA Modem radio	Entièrement intégrés, antenne interne Entièrement intégré, réception et transmission, antenne externe 403 à 470 MHz, puissance de sortie 1 W
Liaisons de données externes		GSM / GPRS / UMTS / CDMA et modem UHF / VHF

GÉNÉRAL

Logiciel et contrôleur de terrain	Logiciel Leica SmartWorx Viva	Contrôleur Leica CS10 et CS15
Interface utilisateur	Touches et DEL Serveur Internet	Touches ON/OFF et de fonction, 7 DEL d'état Informations complètes sur l'état et options de configuration
Enregistrement de données	Stockage Type de données et fréquence d'enregistrement	Carte amovible MicroSD, 8 Go Données Leica GNSS brutes et données RINEX jusqu'à 20 Hz
Gestion de l'alimentation	Alimentation interne Alimentation externe Longévité ³	Batterie Li-Ion interchangeable (2,6 Ah / 7,4 V) 12 Vcc en nominal, plage de 10,5 à 28 Vcc. 7 h en réception avec radio interne, 5 h en émission avec radio interne, 6 h en réception et émission avec modem interne
Poids et dimensions	Poids Diamètre x hauteur	0,93 kg (GS14) / 2,90 kg comme mobile RTK standard sur canne 190 mm x 90 mm
Environnement	Température Chute Protection contre l'eau, le sable et la poussière Vibrations Humidité Choc en fonctionnement	-40 à 65°C en fonctionnement, -40 à 80°C pour le stockage Supporte une chute de 2 m sur une surface dure en cas de basculement de la canne IP68 (CEI60529 / MIL STD 810G 506.5 I / MIL STD 810G 510.5 I / MIL STD 810G 512.5 I) Supporte de fortes vibrations (ISO9022-36-08 / MIL STD 810G 514.6 Cat.24) 100 % (ISO9022-13-06 / ISO9022-12-04 / MIL STD 810G 507.5 I) 40 g / 15 à 23 ms (MIL STD 810G 516.6 I)

LEICA VIVA GS14 - ANTENNE INTELLIGENTE GNSS	Basique	Performance	Professionnel
SYSTÈMES GNSS COMPATIBLES			
Bifréquence	•	✓	✓
GPS / GLONASS / Galileo / BeiDou	✓ / • / • / •	✓ / • / • / •	✓ / ✓ / ✓ / ✓
PERFORMANCES RTK			
DGPS/RTCM. RTK illimité, RTK en réseau	•	✓	✓
MISE À JOUR DU POSITIONNEMENT ET ENREGISTREMENT DES DONNÉES			
Positionnement 5 Hz / 20 Hz	✓ / •	✓ / ✓	✓ / ✓
Enregistrement des données brutes / RINEX	✓ / •	✓ / •	✓ / ✓
Sortie NMEA	•	•	✓
FONCTIONS SUPPLÉMENTAIRES			
Fonction station de référence RTK	•	✓	✓
Téléphone 3,75G ou CDMA / Modem radio UHF (réception et émission)	✓ / •	✓ / •	✓ / •
		✓ Standard	• Option

¹ La compatibilité QZSS est intégrée et sera fournie lors d'une prochaine mise à niveau du programme.

² La précision, l'exactitude et la fiabilité des mesures et la durée d'initialisation dépendent de plusieurs facteurs, parmi lesquels le nombre de satellites, la durée de l'observation, la réfraction, les trajets multiples, etc. Les chiffres cités s'appuient sur des conditions favorables. Les constellations BeiDou et Galileo amélioreront encore les performances et la précision des levés.

³ Peut varier en fonction des températures, de l'âge de la batterie et de la puissance du dispositif relié pour la transmission des données.

Les marques de commerce Bluetooth® sont la propriété de Bluetooth SIG, Inc.
Les illustrations, descriptions et données techniques sont non contractuelles. Tous droits réservés. Imprimé en Suisse - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Suisse, 2016.
804857fr - 03.16

Leica Geosystems AG
www.leica-geosystems.com



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

S321™ GNSS Smart Antenna

Surveyor Tough

key features

- Atlas™ L-band global corrections
- Athena™ RTK engine for instantaneous high accuracy
- Wi-Fi, UHF, Cellular, and Bluetooth communication ports
- Powerful web UI control accessed via Wi-Fi
- 4GB Internal memory for data logging, download, and upload
- Rugged enclosure for use in the most demanding environments



The S321 is Hemisphere's all-new multi-GNSS, multi-frequency, smart antenna. The S321 provides a robust performance and high precision in a compact and rugged package. With multiple wireless communications ports and an open GNSS interface, the S321 can be used in a variety of operating modes. Use the S321 as a precise base station sending RTK to your existing rover network. Turn S321 into a lightweight and easy to use rover by connecting it to your base via UHF radio or Wi-Fi network. The built-in web user interface can be used to control and manage the receiver status and operation, as well as to upgrade the S321 with new firmware and activations. S321 is Athena-enabled and Atlas-capable.

The S321 receiver is powered by the Athena RTK (Real time kinematic) technology. With Athena, S321 provides state-of-art RTK performance when receiving corrections from a static base station or network RTK correction system. With multiple connectivity options, the S321 allows for RTK corrections to be received over radio, cell modem, Wi-Fi, Bluetooth, or serial connection. S321 delivers centimeter accuracy with virtually instantaneous initialization times and cutting edge robustness in challenging environments.

The S321 receiver also enables users to work with the Atlas service. Atlas is Hemisphere's industry leading global correction service, which can be added as a subscription to the S321. The Atlas system delivers world-wide centimeter-level correction data over L-band communication satellites and over internet. With Atlas, S321 users are able to experience sub-decimeter positioning performance anywhere on earth, without the need to be nearby a GNSS or communication infrastructure.

Atlas L-band has the following benefits:

- Positioning accuracy - Competitive positioning accuracies down to 2 cm RMS in certain applications.
- Positioning sustainability - Advanced position quality maintenance in the absence of correction signals, using Hemisphere's patented technology.

For more information about Athena RTK, see: <http://hemispheregnss.com/Technology>
For more information about Atlas, see: <http://hemispheregnss.com/Atlas>



precision@hgns.com
www.hgns.com

S321 GNSS Smart Antenna

GPS Receiver

Receiver Type:	Multi Frequency GNSS
Positioning Modes:	RTK, L-band, DGNSS, SBAS, Autonomous
Channels:	372
RTK Formats:	RTCM3, ROX, CMR, CMR+ ⁴
L-Band Formats:	Atlas H100, Atlas H30, Atlas H10
Update Rate/ Recording Interval:	Selectable from 1, 2, 4, 5, 10 Hz (20 Hz available)

Performance (RMS)

RTK:	Horizontal 8 mm + 1 ppm	Vertical 15 mm + 1 ppm
Static Performance (long occupation):	3 mm + 0.1 ppm	3.5 mm + 0.4 ppm
Static Performance (rapid occupation):	3 mm + 0.5 ppm	5 mm + 0.5 ppm
L-band Performance:	0.08 m	0.16 m
SBAS (WAAS):	0.3 m	0.6 m
Autonomous, no SA: ²	1.2 m	2.4 m

Satellite Tracking

GPS:	L1C/A, L2P, L2C
GLONASS:	L1C/A, L2C/A
BeiDou:	B1, B2
QZSS:	With future firmware upgrade
Galileo:	With future firmware upgrade
SBAS:	MSAS, WAAS, EGNOS, GAGAN

Communication

Connectors I/O:	5-pin Lemo connector for external power supply and external radio devices 7-pin Lemo connector for USB OTG connection and a serial port interface 1 TNC antenna connector for internal radio 1 TNC antenna connector for modem module
WebUI:	To upgrade the software, manage the status and settings, data download, via smart phone, tablet or other electronic device
TTS:	Smart voice broadcast system. "Speaking" receiver
Reference Outputs:	RTCM2.1, RTCM2.3, RTCM3.0, RTCM3.1, RTCM3.2 including MSM

Radio

Frequency Range:	410 - 470 MHz
Channel Spacing:	12.5KHz / 25 KHz
Emitting Power:	0.5 / 1 W

Wireless Module

Wi-Fi:	Integrated module with internal Wi-Fi antenna
Bluetooth:	Bluetooth 2.1 + EDR Integrated Bluetooth (BT) communication module with internal BT antenna

Cellular

Type:	UMTS/HSPA+/GSM/GPRS/EDGE
Function:	Data
Supported Frequencies:	GSM/GPRS/EDGE (850, 900, 1800, and 1900MHz) WCDMA/HSDPA (850/800, 900, 1800, and 1900MHz)

Power

Battery:	Rechargeable 11.1 V -37.74 Wh intelligent lithium battery
Battery life:	6 hours with one battery and UHF radio in Rx mode
Voltage:	9 to 22V DC external power input with over-voltage protection (5-pin Lemo)
Charge Time:	Typically 7 hours

Memory

SIM card:	User accessible SIM card slot
Memory:	Internal 4GB, accessible through USB and Wi-Fi.
SD card:	External Micro SD card slot, supports up to 64GB.

Environmental

Operating Temperature:	-30°C to 60°C (-22°F to 140°F)
Storage Temperature:	-40°C to 80°C (-40°F to 176°F)
Waterproof/Dustproof:	IP67. Protected from temporary immersion to a depth of 1 meter
Shock Resistance:	MIL-STD-810G, method 516.6 Designed to survive a 2 m pole drop on concrete floor with no damage; designed to survive a 1 m free drop on hardwood floor with no damage
Vibration:	MIL-STD-810G, method 514.6E-1
Humidity:	Up to 100%
Inflammability:	UL recognized, 94HB Flame Class Rating (3). 1.49mm
Chemical Resistance:	Cleaning agents, soapy water, industrial alcohol, water vapor, solar radiation (UV)

Mechanical

Size:	14.1 D x 14.0 H (cm) 5.5 D x 5.5 H (in)
Weight:	<1.38 kgs (<3.05 lbs)
Mounting:	5/8"x11, 55° thread angle, stainless steel insert
Phase center offset:	GPS L1 and L2 offset below 2.5mm

¹ Depends on multipath environment, number of satellites in view, satellite geometry, and ionospheric activity

² Depends also on baseline length

³ Requires a subscription from Hemisphere GNSS

⁴ CMR and CMR+ do not cover proprietary messages outside of the typical standard

Authorized Distributor:



+1-703-256-8900 or 800-628-0885
info@NavtechGPS.com
www.NavtechGPS.com

 Hemisphere[®]

Hemisphere GNSS, Inc.
8515 E. Anderson Drive
Scottsdale, AZ, USA 85255

Toll-Free: +1-855-203-1770
Phone: +1-480-348-6380
Fax: +1-480-270-5070
precision@hgns.com
www.hgns.com



REACH RS2

Datasheet



Key features

- Tracks GPS/QZSS L1C/A, L2C GLONASS L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Galileo E1-B/C, E5b
- Fast RTK convergence
- Multi-feed antenna with multipath rejection
- 868/915 MHz LoRa modem for up to 8 km connectivity
- Global 3.5G modem
- 22 hours on 1 charge
- NTRIP and VRS support, works with RTCM3
- Logs RINEX at update rate up to 10 Hz
- 16 GB of internal storage
- IP67, water- and dustproof

REACH RS2

Technical specifications

POSITIONING

Precision	Static	H: 4 mm+0.5 ppm V: 8mm+1 ppm
	PPK	H: 5 mm+0.5 ppm V: 10mm+1 ppm
	RTK	H: 7 mm+1 ppm V: 14 mm+1 ppm
Convergence time	~5 s typically	
Signal tracked	GPS/QZSS L1C/A, L2C, GLONASS L1OF, L2OF, BeiDou B1I, B2I, Galileo E1-B/C, E5b	
Number of channels	184	
Update rates	10Hz GPS / 5 Hz GNSS	
IMU	9DOF	

CONNECTIVITY

UHF LoRa radio	Frequency range	868/915 MHz
	Power	0.1W
	Distance	Up to 8 km
3.5G modem	Regions	Global
	Bands	Quad-band, 850/1900, 900/1800MHz
	SIM card	Nano-SIM
Wi-Fi	802.11 b/g/n	
Bluetooth	4.0/2.1 EDR	
Ports	RS-232, USB Type-C	
Data Protocols	NTRIP, VRS, RTCM3, position output in NMEA, LLH/XYZ	
Data logging	RINEX at update rate up to 10Hz	
Internal storage	16 GB	

MECHANICAL

Dimensions	126x126x142 mm
Weight	950 g
Temperature	-20...+65 °C
Ingress protection	IP67 water- and dustproof

ELECTRICAL

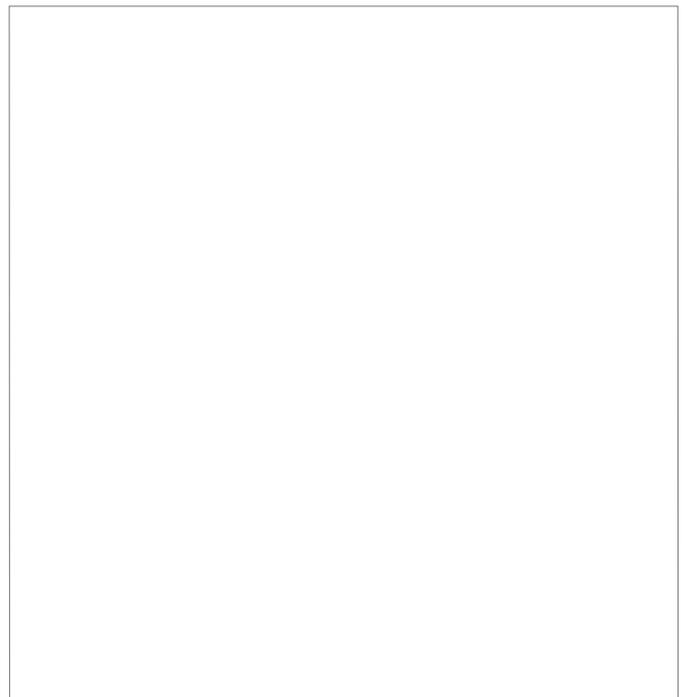
Autonomy	16 hrs as 3.5G RTK rover, 22hrs logging
Battery	LiFePO4 6400 mAh, 6.4 V
External power input	6-40V
Charging	USB-C 5V 2A

COMMUNICATIONS AND DATA STORAGE

- 9PIN port: RS-232, PPS, Event
- USB OTG
- Internal Radio Modem:
 - LoRa technology
 - Reliable link on up to 8 km baseline
 - Transmit power up to 100mW
 - Configurable 862-1020MHz carrier
- Internal 3.5G modem
 - Global
 - Quad-band, 850/1900, 900/1800MHz
- Built-in short-range Wi-Fi 802.11 b/g/n, WEP, WPA, WPA2 encryption
- Built-in short-range Bluetooth 4.0/2.1 EDR
- Data storage 16 GB internal memory
- Raw logs in RINEX, UBX
- External Radio Modem connectivity over RS-232/USB OTG
- RTCM 3.x input and output over Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, USB, RS-232, NTRIP
- NMEA 0183, ERB output over Wi-Fi, Bluetooth, USB, RS-232
- ReachView app for iOS and Android for configuration and surveying



YOUR LOCAL DEALER



ANNEXE

E

ANNEXE E. NOTES DE TERRAIN DES CAMPAGNES
EXPLORATOIRE ET PRINCIPALE

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau		
Date / météo :	24 mars 2021 1 nuageux		
Site :	Point 94K4755 - Louis - Riel Site 1		
Personnel :	Mathieu Roy, Charles Beaubien		
Heures arrivée/départ :	H 8:15 -		

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- CS15- ARpenteur	2- Hemisphere	3- Emlid
Point géodésique, # photos :			
GeoSmartDef	Heure : 12:10 - 12:25 #points : 1-30	Heure : #points : 31-60	Heure : 1303-1345 #points : 31-60
GeoSmartFix	Heure : 12:25 - 12:27 #points : 31-60	Heure : 1345 - #points : 1-30	Heure : 12:59 - 1301 #points : 1-30
GeoMernDef	Heure : 11:57 12:02 - 12:25 #points : 1-30	Heure : 9:58 - 10:15 #points : 1-30	Heure : 10:24 - 10:33 #points : 1-30
GeoMernFix	Heure : 12:07 - 12:08 #points : 31-60	Heure : 10:15 - 10:17 #points : 31-60	Heure : 10:34 - 10:36 #points : 31-60
Végétation, # photos :			
VegMernDef	Heure : 10:00 - 10:40 #points : 91-99	Heure : 10:57 #points : 91-	Heure : 12:08 #points : 91-
VegMernFix	Heure : 9:59 #points : 61-90	Heure : 10:53 - 10:56 #points : 61-90	Heure : 12:10 - 12:10 #points : 61-90

Emplacement sous couvert, décrire l'environnement proximal qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input checked="" type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input checked="" type="checkbox"/> 5 m	<input checked="" type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input checked="" type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input checked="" type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

- Prendre des photos générales (#) :
- Faire 2 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Emplacement sous couvert, prendre des photos vers le ciel (#) :

Commentaires :

Erreur faces grande sous-couvert
* Conifère

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau		
Date / météo :	Phase 24 mars 2021		
Site :	Silv 91K 470	75.30	
Personnel :	Mathieu Charles		
Heures arrivée/départ :	2h30		

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- CG13 Arrand	2- Hem 8321	3- Emlid
Point géodésique, # photos :			
GeoSmartDef	Heure : 16:09 #points : 1-30	Heure : 4:47 - 4:52 #points : 1-30	Heure : 4:30 - 4:30 #points : 1-30
GeoSmartFix	Heure : 16:16:14 #points : 31-60	Heure : 4:52 #points : 31-60	Heure : 4:30 #points : 3
GeoMernDef	Heure : 14:40 - 14:47 #points : 1-30	Heure : 3:08 - 3:18 #points : 81-110	Heure : 4:15 - 4:20 #points : 51-80
GeoMernFix	Heure : 14:47 - 14:50 #points : 31-80	Heure : 3:05 - 3:05 #points : 51-80	Heure : 4:20 #points : 81-110
Végétation, # photos :			
VegMernDef	Heure : 18:22 - 18:38 #points : 61-80	Heure : 2:47 #points : 31-50	Heure : 3:52 - 3:50 #points : 31-50
VegMernFix	Heure : 18:40 #points : 81-110	Heure : 2:43 - 2:46 #points : 1-30	Heure : 3:50 - 3:51 #points : 1-30

Emplacement sous couvert, décrire l'environnement proximal qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input checked="" type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input checked="" type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

- Prendre des photos générales (#) :
- Faire 2 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Emplacement sous couvert, prendre des photos vers le ciel (#) :

Commentaires :

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau
Date / météo :	25 mars 2021
Site :	Site 3 96 Km 617
Personnel :	Mathieu Roy, Charles Benabe
Heures arrivée/départ :	8:44 - 12:30

167.87

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- CSIS Arpenture	2- Hemisphere	3- Emmalid
Point géodésique, # photos :			
GeoSmartDef	Heure : 8:45 - 8:52 #points : 1 - 30	Heure : 10:02 - 10:30 #points : 1 - 30	Heure : 11:01 - 12:20 #points : 31 - 60
GeoSmartFix	Heure : 8:55 - 8:56 #points : 31 - 60	Heure : 10:35 - 10:30 #points : 31 - 60	Heure : 11:59 - 12:01 #points : 1 - 30
GeoMernDef	Heure : 9:44 / 9:55 / 10:43: 10:49 #points : 1 - 30 / 61 - 90	Heure : 10:02 - 10:15 #points : 1 - 30	Heure : 11:11 - 11:17 #points : 51 - 80
GeoMernFix	Heure : 9:55 - 9:56 / 10:49 - 10:50 #points : 31 - 60 / 91 - 120	Heure : 9:55 - 9:57 #points : 31 - 60	Heure : 11:17 - 11:19 #points : 81 - 110
Végétation, # photos :			
VegMernDef	Heure : 11:07 - 11:25 #points : 121 - 150	Heure : 10:50 - 11:00 #points : 61 - 80	Heure : 9:42 - 9:52 #points : 31 - 50
VegMernFix	Heure : 11:25 - 11:27 #points : 151 - 180	Heure : 11:00 - 11:02 #points : 81 - 100	Heure : 9:21 - 9:28 #points : 1 - 30

Emplacement sous couvert, décrire l'environnement proximal qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input checked="" type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input checked="" type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épinés
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

- Prendre des photos générales (#) :
- Faire 2 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Emplacement sous couvert, prendre des photos vers le ciel (#) :

Commentaires : - Changement de station pour Mont-Lauriers * Station Ref
2115 Tr. imbd 599

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau		
Date / météo :	Soleil 25 mars 2021		
Site :	B7 KSY01 - Site 1	151.80	
Personnel :	Mathieu Roy - Charles Berube		
Heures arrivée/départ :	14:02 - 16:45		

Gatineau

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- CS Arpenteur	2- Hemisphere	3- Emlid
Point géodésique, # photos :			
GeoSmartDef	Heure : 2:14 - 2:22 #points : 1 - 30	Heure : 4:08 - 4:15 #points : 1 - 30	Heure : 2:49 - 2:55 #points : 1 - 30
GeoSmartFix	Heure : 2:23 - 2:24 #points : 31 - 60	Heure : 4:15 - 4:18 #points : 31 - 60	Heure : 2:55 - 2:58 #points : 31 - 60
GeoMernDef	Heure : 2:31 - 2:40 #points : 1 - 30	Heure : 3:47 - 2:47 #points : 61 - 90	Heure : 3:01 - 3:06 #points : 1 - 30
GeoMernFix	Heure : 2:40 - 2:41 #points : 31 - 60	Heure : 4:03 - 4:06 #points : 91 - 120	Heure : 3:06 - 3:08 #points : 31 - 60
Végétation, # photos :			
VegMernDef	Heure : 2:47 - 2:55 #points : 61 - 90	Heure : 2:28 - 2:42 #points : 1 - 30	Heure : 3:59 - 4:03 #points : 61 - 90
VegMernFix	Heure : 2:55 - 2:56 #points : 91 - 120	Heure : 2:43 - 2:45 #points : 31 - 60	Heure : 4:03 #points : 91 - 120

Emplacement sous couvert, décrire l'environnement proximal qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input checked="" type="checkbox"/> 2-3 m	<input checked="" type="checkbox"/> 20 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input checked="" type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

- Prendre des photos générales (#) :
- Faire 2 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Emplacement sous couvert, prendre des photos vers le ciel (#) :

Commentaires :

Changement de Site
Sable dessus d'un rocher

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau
Date / météo :	Soleil 25 mars 2021
Site :	Site 4
Personnel :	1
Heures arrivée/départ :	14:02 - 16:45

(171.80)

Mont-Laurier 100km

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1-	2-+1 Emispén	3- Emild
Point géodésique, # photos :			
GeoSmartDef	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
GeoSmartFix	Heure : #points :	Heure : #points :	Heure : #points :
GeoMernDef	Heure : #points :	Heure : 4:24 - 4:31 #points : 51 - 80	Heure : 3:14 - 3:22 #points : 1 - 30
GeoMernFix	Heure : #points :	Heure : 4:31 #points : 81 - 110	Heure : 3:22 - 3:29 #points : 31 - 60
Végétation, # photos :			
VegMernDef	Heure : #points :	Heure : 3:14 - 3:38 #points : 1 - 20	Heure : 3:45 - 3:54 #points : 61 - 80
VegMernFix	Heure : #points :	Heure : 3:38 - 4:41 #points : 21 - 50	Heure : 3:54 - 3:58 #points : 81 - 110

Emplacement sous couvert, décrire l'environnement proximal qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épinés
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

- Prendre des photos générales (#) :
- Faire 2 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Emplacement sous couvert, prendre des photos vers le ciel (#) :

mentaires :

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	13 avril 2021
Site :	Site 1	Personnel :	AP MR CHK
Heure arrivée :	8:25	Heure départ :	11:15
Température :	15c	Nuages :	N/A Peu
Vent :	aucun	Précipitations :	N/A

Belle journée ensoleillée

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- RS2
PT_GEO	Heure : 8:30 #points : 65001	Heure : 8:33 #points : 1	Heure : 8:33 #points : 1
MR	Heure : 9:49 - 10:17 #points : 65002 - 65012	Heure : 10:22 - 10:45 #points : 122 - 181	Heure : 9:11 9:36 #points : H2 - 61
CBK	Heure : 9:01 - 9:43 #points : 65002 - 65006	Heure : 10:55 - 10:17 #points : 62 - 122	Heure : 10:19 - 10:56 #points : 122 - 181
AP	Heure : 10:22 - 10:50 #points : 650122 - 186	Heure : 9:10 - 9:39 #points : 2 - 61	Heure : 9:40 - 10:03 #points : 62 - 1821

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input checked="" type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input type="checkbox"/> Encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Sinueux	<input checked="" type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input checked="" type="checkbox"/> Pont
<input checked="" type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input checked="" type="checkbox"/> Pente faible	<input type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input checked="" type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input checked="" type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input checked="" type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires : Emplacement idéale
Aucune obstruction
Alex GS0014 ajout de 2 répétitions

Point Géodésique
87 KMC 19
H2 158.80

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	13 avril 2021
Site :	Site 2	Personnel :	MR AP CK
Heure arrivée :	11:41	Heure départ :	16h00
Température :	13	Nuages :	Mixte
Vent :	Faible	Précipitations :	NA

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- RS2
PT_GEO	Heure : 12:15 #points : 6007-6005	Heure : 12:15 #points : 1	Heure : 12:16 #points : 1
MR	Heure : 13:42 - 14:35 #points : 60002-2061	Heure : 14:33 - 15:00 #points : 122 - 181	Heure : 15:00 - 15:33 #points : 123 - 183
CBK	Heure : 14:34 - #points : 0062 - 021	Heure : 13:40 - 14:25 #points : 62 - 121	Heure : 12:50 - 13:35 #points : 2 - 61
AP	Heure : 15:15 - 15:44 #points : 122 - 181	Heure : 12:50 - 13:26 #points : 2 - 61	Heure : 13:41 - 14:40 #points : 62 - 123

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input checked="" type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input checked="" type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input checked="" type="checkbox"/> Pont ^{canalisé}
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input checked="" type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau ^{35m}
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input checked="" type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input checked="" type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
<input checked="" type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

20x m

Point Geo M01K0092
207.60

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	14 avril 2021
Site :	3	Personnel :	MR, AP, CBK
Heure arrivée :	8:41	Heure départ :	11:20
Température :	7	Nuages :	Aucun
Vent :	Faible	Précipitations :	N/A

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- RS2
PT_GEO	Heure : 8:44 #points : GS0001	Heure : 8:44 #points : 1	Heure : 8:45 #points : 1
MR	Heure : 10:15-10:52 #points : 122-181	Heure : 9:48-10:07 #points : 64-123	Heure : 9:16-9:46 #points : 112-61
CBK	Heure : 9:49-10:13 #points : GS0062-121	Heure : 9:15-9:48 #points : 2-63	Heure : 10:14-10:52 #points : 122-10:52
AP	Heure : 9:16-9:37 #points : GS0062-GS0069	Heure : 10:12-10:35 #points : 124-185	Heure : 9:50-10:11 #points : 62-121

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input checked="" type="checkbox"/> 2-3 m	<input checked="" type="checkbox"/> 20 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input type="checkbox"/> Encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Sinueux	<input checked="" type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input checked="" type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input checked="" type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input checked="" type="checkbox"/> Sable	<input checked="" type="checkbox"/> Barrage
<input checked="" type="checkbox"/> Pente faible	<input type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input checked="" type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input checked="" type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	(St-François)
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

* Berge sablonneuse, pas de roche pour s'appuyer. *

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

Boire Geo 80L053 286.107

* Opérateurs fixes / instruments ont boucés

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	14 avril
Site :	Side 4	Personnel :	MR, CBK, AP
Heure arrivée :	11:21	Heure départ :	15:35
Température :	14°	Nuages :	Aucun
Vent :	Faible	Précipitations :	N/A

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- R52
PT_GEO	Heure : 11:26 #points : 65001	Heure : 11:26 #points : 1	Heure : 11:38 #points : 1
MR	Heure : 14:05-14:14 #points : 121-181	Heure : 13:26-14:05 #points : 122-181	Heure : 12:07-13:12 #points : 2-46
CBK	Heure : 12:00-12:25 #points : 6002-65061	Heure : 12:50-13:22 #points : 62-121	Heure : 13:25 #points : 47-91
AP	Heure : 13:07-13:33 #points : 65062-65121	Heure : 12:07-12:48 #points : 2-61	Heure : 14:25-15:30 #points : 92-136

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input checked="" type="checkbox"/> 2-3 m	<input checked="" type="checkbox"/> 20 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input checked="" type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input checked="" type="checkbox"/> Feuilles/épinés
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input checked="" type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Méandre	<input checked="" type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input checked="" type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input checked="" type="checkbox"/> Mouille	<input checked="" type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input checked="" type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input checked="" type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input checked="" type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

*GPS fixes/
opérateurs ont bougé

Bonne géodésique 286.107
Même point que le site 3 806053

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	15 avril 2021
Site :	Site 5	Personnel :	MR. CBK. AP
Heure arrivée :	11:50	Heure départ :	
Température :	17°C	Nuages :	Beaucoup
Vent :	Faible	Précipitations :	Pas encore

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- RS2
PT_GEO	Heure : 12:16 #points : 65001	Heure : 12:21 #points : 1	Heure : 12:19 #points : 1
MR	Heure : 12:48-13:06 #points : 65002-0061	Heure : 13:14-13:31 #points : 62-121	Heure : 13:35-13:55 #points : 124-183
CBK	Heure : 13:15-13:51 #points : 65006-121	Heure : 13:39-13:58 #points : 122-181	Heure : 12:46-13:14 #points : 2-63
AP	Heure : 13:34-13:53 #points : 65122-650181	Heure : 12:46-13:17 #points : 2-61	Heure : 13:16-13:30 #points : 64-123

pt 37
marque
rocher

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input checked="" type="checkbox"/> 40 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input checked="" type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input checked="" type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input checked="" type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input checked="" type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input checked="" type="checkbox"/> Sable	<input checked="" type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input checked="" type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input type="checkbox"/> Amont
<input checked="" type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires : Vagues trop petites pour changer de protocole. Berge sablonneuse → pas de rocher.

Borne géodésique
B7KM604
Élévation 246.61

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	15 avri' 2021
Site :	Site 6	Personnel :	MR CBK AP
Heure arrivée :	8:23	Heure départ :	11:40
Température :	9'	Nuages :	Moderne
Vent :	Faible	Précipitations :	Pas encore / Poss. bilite

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hémisphère	3- RS2
PT_GEO	Heure : 8:55 #points : 6001	Heure : 8:35 #points : 1	Heure : 8:35 #points : 1
MR	Heure : 10:39-11:35 #points : 6512-650181	Heure : 10:05-10:34 #points : 64-123	Heure : 9:10-9:41 #points : 2-61
CBK	Heure : 9:09-10:00 #points : 65001-61	Heure : 10:32-11:04 #points : 124-183	Heure : 10:01-10:27 #points : 62-121
AP	Heure : 10:04-10:32 #points : 60062-121	Heure : 9:09-10:01 #points : 2-63	Heure : 10:33-11:24 #points : 122-181

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input checked="" type="checkbox"/> Mixte	<input checked="" type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input checked="" type="checkbox"/> 20 m	<input checked="" type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input checked="" type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input checked="" type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input checked="" type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input checked="" type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input checked="" type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Au pt géodésique RS2 et hémisphère - 10cm changé à slant = vertical sites (1-4)

Commentaires : * Déplacement site GS14 point de bte. Bonne géodésique 87KM604 Elevation 246.51

GS14 déplacé en aval car erreur fixée ~10cm près des autres

rest à 1 pt RS2 } ~173.0 Hémis } GS14 ~172.9

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	16 avril 2021
Site :	SITE 7	Personnel :	MR AP CBK
Heure arrivée :	8:30	Heure départ :	11:30
Température :	30C	Nuages :	Frais nuages
Vent :	Faible	Précipitations :	Neige/pluie

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS 14	2- Hémisphère	3- RS2
PT_GEO	Heure : 8:40 #points : 65001	Heure : 8:40 #points : 1	Heure : 8:42 #points : 1
MR	Heure : 10:15 - 10:45 #points : 6562 - 121	Heure : 10:46 - 10:15 #points : 124 - 183	Heure : 9:39 - 10:01 #points : 2 - 61
CBK	Heure : 10:45 - 11:31 #points : 122 - 181	Heure : 9:41 - 10:08 #points : 2 - 63	Heure : 10:09 - 10:35 #points : 62 - 121
AP	Heure : 9:41 - 10:15 #points : 65002 - 6560	Heure : 10:15 - 10:45 #points : 64 - 123	Heure : 10:45 - 11:00 #points : 122 - 181

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input checked="" type="checkbox"/> 10 m	<input checked="" type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input checked="" type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input checked="" type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input checked="" type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input type="checkbox"/> Critique	<input checked="" type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input checked="" type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input checked="" type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

Leica + difficile
lent à reprendre fixe

Borne géodésique

87XMA 604

246.51

points pris sur
bords (artificiel)

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	15 avril 2021
Site :	Site 8	Personnel :	M.R
Heure arrivée :	14:25	Heure départ :	
Température :	17	Nuages :	Nuageux
Vent :	Moderne	Précipitations :	Non

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- RS2
PT_GEO	Heure : 2:35 #points : 65001	Heure : 2:34 #points : 1	Heure : 2:34 #points : 1
MR	Heure : 15:05 - 15:20 #points : 65062 - 65121	Heure : 15:28 - 15:48 #points : 124 - 183	Heure : 14:42 - 15:05 #points : 2 - 61
CBK	Heure : 14:42 - 15:01 #points : 65002 - 65061	Heure : 15:03 - 15:28 #points : 62 - 123	Heure : 15:26 - 15:53 #points : 122 - 181
AP	Heure : 15:27 - 15:44 #points : 650122 - 650181	Heure : 14:43 - 15:01 #points : 2 - 61	Heure : 15:06 - 15:23 #points : 62 - 121

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input checked="" type="checkbox"/> 2-3 m	<input checked="" type="checkbox"/> 20 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input checked="" type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input checked="" type="checkbox"/> Pont
<input checked="" type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input checked="" type="checkbox"/> Pente faible	<input type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input checked="" type="checkbox"/> Aval ~ 5m
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input checked="" type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

Borne Geo désigne
9450123
164.81

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	21 avril 2021
Site :	Site 1 Batiou	Personnel :	MR HAM SM
Heure arrivée :	7:27	Heure départ :	9:50
Température :	-2	Nuages :	E leve
Vent :	Faible	Précipitations :	Neige

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- R52
PT_GEO	Heure : 7:42 #points : 68001	Heure : 7:40 #points : 1	Heure : 7:41 #points : 1
MR	Heure : 8:53 - 9:10 #points : 122 - 181	Heure : 9:10 - 9:26 #points : 122 - 181	Heure : 8:25 - 8:45 #points : 2 - 61
CBK	Heure : 8:35 / 8:53 #points : 62 - 121	Heure : 8:10 / 8:34 #points : 2 - 61	Heure : 8:54 / 9:18 #points : 62 - 121
AP	Heure : 8:10 / 8:31 #points : G80002-0061	Heure : 8:35 / 8:56 #points : 62 - 121	Heure : 9:18 - 9:41 #points : 122 - 181

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input checked="" type="checkbox"/> 5 m	<input checked="" type="checkbox"/> 40 %	<input type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input checked="" type="checkbox"/> Mixte	<input checked="" type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input type="checkbox"/> 20 m	<input type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input type="checkbox"/> Encaissé	<input type="checkbox"/> Sinueux	<input checked="" type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input type="checkbox"/> Pont
<input checked="" type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input checked="" type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input type="checkbox"/> Clair	<input checked="" type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input checked="" type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

Borne géodésique
94 K 4755
47.87

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	21 avril 2021
Site :	Site 2	Personnel :	MR AM, SM
Heure arrivée :	9:55	Heure départ :	12:05
Température :	-2	Nuages :	Elevé
Vent :	Moderne	Précipitations :	Neige

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- LS14	2- Hemisphere	3- R52
PT_GEO	Heure : 9:58 #points : 65001	Heure : 9:58 #points : 1	Heure : 9:58 #points : 1
MR	Heure : 10:21 - 10:50 #points : 65002 - 61	Heure : 10:52 - 11:18 #points : 62 - 121	Heure : 11:20 - 11:43 #points : 124 - 183
CBK	Heure : 11:20 - 12:04 #points : 122 - 183	Heure : 10:17 - 10:52 #points : 2 - 61	Heure : 10:52 - 11:16 #points : 62 - 124
AP	Heure : 10:50 - 11:15 #points : 62 - 121	Heure : 11:20 - 11:57 #points : 122 - 181	Heure : 10:17 / 10:45 #points : 2 - 61

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input checked="" type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbres	<input type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input checked="" type="checkbox"/> 20 m	<input checked="" type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input checked="" type="checkbox"/> Encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Sinueux	<input type="checkbox"/> Tranquille	<input type="checkbox"/> Argile	<input checked="" type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Méandre	<input checked="" type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input checked="" type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

944730
65.28

Projet :	2031 - Incertitude lignes d'eau	Date :	21 avril 2021
Site :	Site 3	Personnel :	MR. AM. SB
Heure arrivée :	12:51	Heure départ :	
Température :	1°C	Nuages :	Élevé
Vent :	Moderne	Précipitations :	Aucune

Mesures (écrire les numéros de points et identifier les GPS)

GPS	1- GS14	2- Hemisphere	3- RS2
PT_GEO	Heure : 12:59 #points : GS001-GS001	Heure : 12:51 #points : 1	Heure : 12:57 #points : 1
MR	Heure : 15:22 - 15:24 #points : GS122 - 181	Heure : 14:51 - 15:00 #points : 122 - 181	Heure : #points :
CBK	Heure : 14:06 - 14:29 #points : GS002 - GS001	Heure : 14:30 - 14:50 #points : 62 - 121	Heure : 14:30 #points :
AP	Heure : 14:30 - 14:46 #points : GS062 - GS121	Heure : 14:01 / 14:17 #points : 2 - 61	Heure : #points :

Décrire la végétation qui interfère avec la mesure :

Hauteur moyenne végétation	Densité de recouvrement	Type 1	Type 2	Cycle
<input type="checkbox"/> 2-3 m	<input type="checkbox"/> 20 %	<input type="checkbox"/> Arbustes	<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Pas de feuilles
<input type="checkbox"/> 5 m	<input type="checkbox"/> 40 %	<input checked="" type="checkbox"/> Arbres	<input checked="" type="checkbox"/> Conifères	<input checked="" type="checkbox"/> Bourgeons
<input type="checkbox"/> 10 m	<input type="checkbox"/> 60 %	<input type="checkbox"/> Mixte	<input checked="" type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Pousses
<input checked="" type="checkbox"/> 20 m	<input checked="" type="checkbox"/> 80 %			<input type="checkbox"/> Feuilles/épines
<input type="checkbox"/> 30 m	<input type="checkbox"/> 100 %			

Décrire le site :

Chenal	Morphologie	Écoulement	Sédiments	Structure
<input type="checkbox"/> Encaissé	<input checked="" type="checkbox"/> Sinueux	<input type="checkbox"/> Tranquille	<input checked="" type="checkbox"/> Argile	<input type="checkbox"/> Pont
<input type="checkbox"/> Légèrement encaissé	<input type="checkbox"/> Méandre	<input type="checkbox"/> Critique	<input type="checkbox"/> Limons	<input type="checkbox"/> Ponceau
<input checked="" type="checkbox"/> Non encaissé	<input type="checkbox"/> Seuil	<input type="checkbox"/> Sur-critique	<input type="checkbox"/> Sable	<input type="checkbox"/> Barrage
<input type="checkbox"/> Pente faible	<input type="checkbox"/> Mouille	<input type="checkbox"/> Vagues	<input type="checkbox"/> Gravier fin	<input type="checkbox"/> Amont
<input type="checkbox"/> Pente moyenne	<input type="checkbox"/> Lac	<input type="checkbox"/> Glace	<input type="checkbox"/> Gravier grossier	<input type="checkbox"/> Aval
<input type="checkbox"/> Pente forte	<input type="checkbox"/> Berge concave	<input type="checkbox"/> Clair	<input type="checkbox"/> Blocs	
	<input type="checkbox"/> Berge convexe	<input type="checkbox"/> Turbide	<input type="checkbox"/> Roche en place	

- Prendre des photos générales (#) :
- Prendre des photos vers le ciel (#) :
- Faire 1 vidéos 360 pour chaque emplacement (#) :
- Numéro point géodésique (#) :

Commentaires :

Boite = top Vague

Borne géodésique

94 x 1755

47.87

ANNEXE

F

ANNEXE F. LISTE DES FICHIERS NUMÉRIQUES

ANNEXE F – LISTE DES FICHIERS NUMÉRIQUES

Données GNSS

- Fichiers bruts
- Fichiers Excel des données exportées brutes
- Fichiers Excel des données corrigées et sans faux fixes

Photographies des sites échantillonnés

Vidéos 360 degrés des sites échantillonnés

Analyses statistiques

- Fichier Excel de caractéristiques des sites telle qu'utilisées pour réaliser les analyses
- Code R
- Fichiers Excel des quantiles 95% des combinaisons de site\GNSS\méthode

ANNEXE

G

ANNEXE G. ANALYSES STATISTIQUES

JFSA / OURANOS - TERRAIN PRINCIPAL

Véronique Tremblay

10/12/2021

TABLE DES MATIÈRES

Préparation des données	2
Centrage des valeurs.....	3
Analyse et retrait des valeurs aberrantes	3
Analyse des sources d'incertitudes	7
Analyse du VRMS en fonction des autres sources d'incertitudes	7
Terrain préliminaire	8
Terrain principal.....	8
Terrain principal + validation.....	9
Analyse de toutes les sources d'incertitudes (regression quantile)	10
Terrain préliminaire	11
Terrain principal.....	11
Terrain principal + validation.....	12
Effet de l'opérateur	12
Intervalles de confiance.....	15
Quantiles de base.....	15
Régression quantile.....	16
Tableau résumé des résultats	17
Recommandation.	17
Pour obtenir des intervalles de confiance uniquement à partir du VRMS.....	18
Quantile et VRMS	18
Juste avec la roche	18
Juste avec la botte.....	19
Roche et GS14.....	20
Roche et Hemisphere.....	21
Roche et RS2	22
Botte et GS14	22
Botte et Hemisphere	23
Botte et RS2.....	24

```
knitr::opts_chunk$set(echo = TRUE, message=FALSE, warning=FALSE, cache = FALSE, fig.height = 8.5, fig.width = 6.5)
```

```
library(tidyverse)
library(readxl)
```

PRÉPARATION DES DONNÉES

```
hem <- read_excel("C:/Users/v-tre/OneDrive - HEC Montréal/Entreprise/JFSA/P2031-BaseDonneesPrincipales.xlsx", sheet = 'Hemisphere') %>%
```

```
  dplyr::select(GPS, Site, Elevation,
               Methode = `Méthode`,
               VRMS,
               VDOP,
               OPERATEUR) %>%
```

```
  mutate(VDOP = as.numeric(VDOP),
         VRMS = as.numeric(VRMS),
         Site =toupper(Site) )
```

```
rs2 <- read_excel("C:/Users/v-tre/OneDrive - HEC Montréal/Entreprise/JFSA/P2031-BaseDonneesPrincipales.xlsx", sheet = 'RS2') %>%
```

```
  dplyr::select(GPS, Site, Elevation,
               Methode = `Méthode`,
               VRMS,
               VDOP,
               OPERATEUR) %>%
```

```
  mutate(VDOP = as.numeric(VDOP),
         VRMS = as.numeric(VRMS),
         Site =toupper(Site) )
```

```
gs14 <- read_excel("C:/Users/v-tre/OneDrive - HEC Montréal/Entreprise/JFSA/P2031-BaseDonneesPrincipales.xlsx", sheet = 'GS14') %>%
```

```
  dplyr::select(GPS, Site, Elevation,
               Methode = `Méthode`,
               VRMS,
               VDOP,
               OPERATEUR) %>%
```

```
  mutate(VDOP = as.numeric(VDOP),
         VRMS = as.numeric(VRMS),
         Site =toupper(Site) )
```

```
tout <- bind_rows(gs14,rs2,hem)
```

```
tout <- tout %>% mutate_if(is.character, as.factor) %>%
```

```

ungroup() %>%
mutate(id_unique = seq(1:n()))

desc_sites <- read_excel("C:/Users/v-tre/OneDrive - HEC Montréal/Entreprise/J
FSA/P2031DescriptionSites.xlsx") %>%
mutate(Site = as.factor(toupper(Site)) ) %>%
rename(Sediments = "Sédiments",
       Surface = "Surface de l'eau",
       Recouvrement_arbres = "Recouvrement arbres (%)",
       Type_arbre = "Type arbre",
       Orientation_vallee = "Orientation vallée")

principal <- tout %>%
left_join(desc_sites)

rm(hem,gs14,rs2,desc_sites,tout)

```

CENTRAGE DES VALEURS

Les valeurs sont centrées sur la moyenne de toutes les mesures prises à une combinaison Site/méthode/GPS.

On calcule la moyenne parce que ça change par position

```

principal <- principal %>%
group_by(Site, Methode,GPS) %>%
mutate(moyenne_smg = mean(Elevation),
       Elevation_centre_smg = Elevation - moyenne_smg)

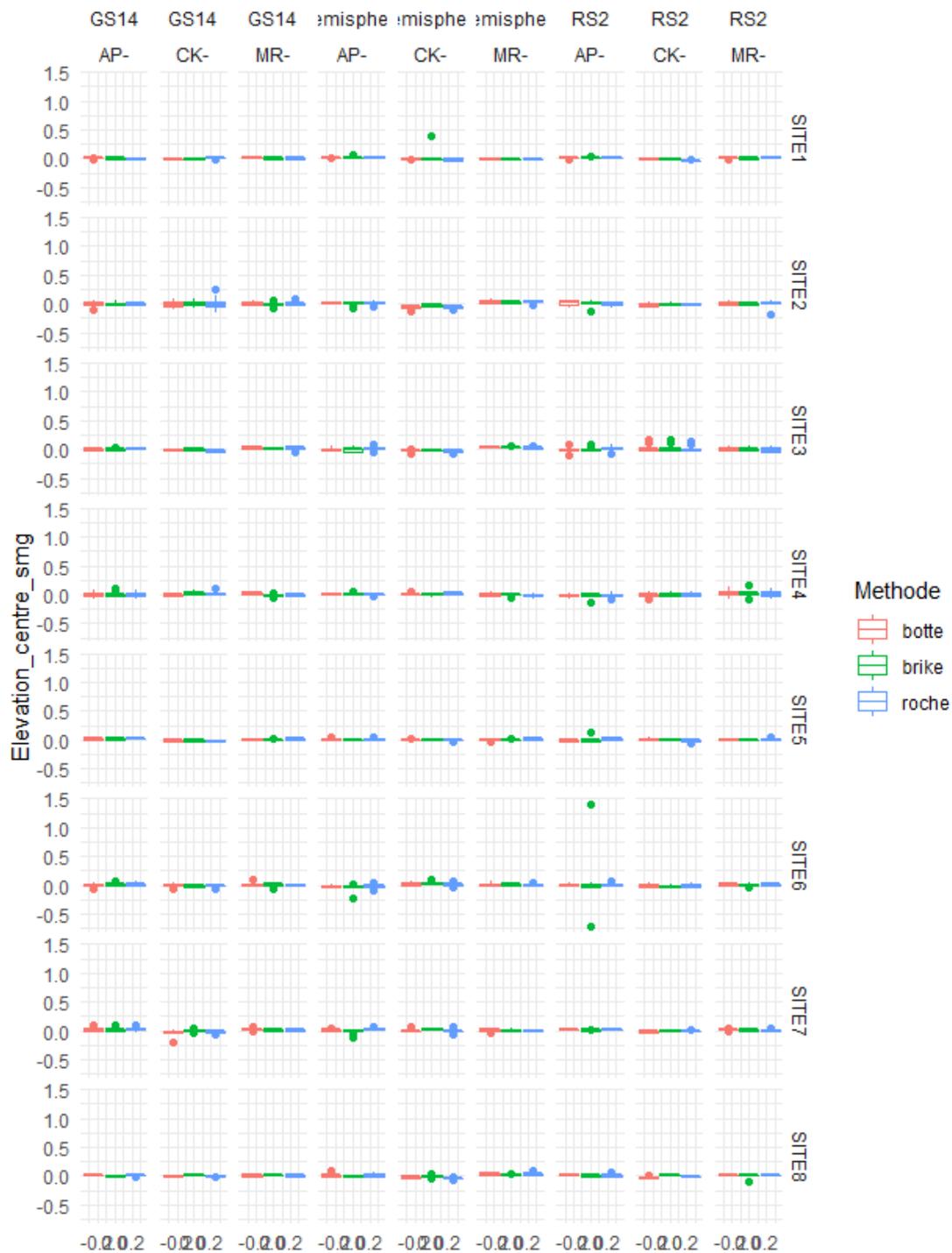
```

ANALYSE ET RETRAIT DES VALEURS ABERRANTES

```

ggplot(principal)+
geom_boxplot(aes(Elevation_centre_smg, color = Methode))+
facet_grid(Site ~ GPS + OPERATEUR, scales = "fixed") + coord_flip() +
theme_minimal()

```



Distribution avec les valeurs aberrantes.

```

proba_valeur_sup_1 <- principal %>%
  group_by(Site, Methode, GPS) %>%
  summarise(ec = sd(Elevation_centre_smg), moyenne = mean(Elevation_centre_s

```

```
mg), n = n()) %>%
  mutate(proba = pnorm(0.5, mean = moyenne, sd = ec, lower.tail = FALSE)*2)
```

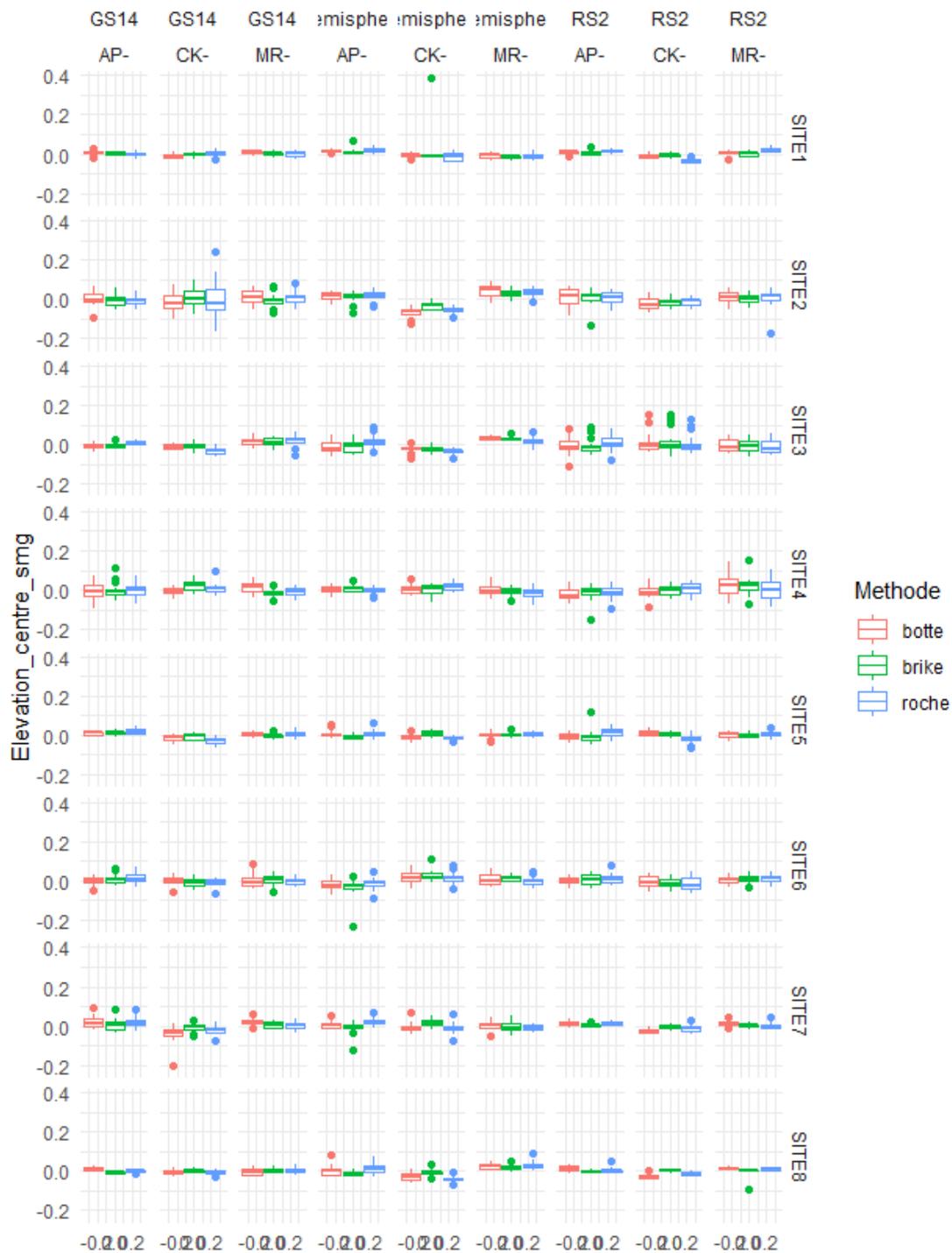
Une méthode classique pour identifier les valeurs extrêmes est de sélectionner les valeurs qui sont à l'extérieur de $\frac{1.58 \times IIQ}{\sqrt{n}}$ où *IIQ* est l'intervalle interquartile et *n* est le nombre d'observations. Nous ne sommes toutefois pas à la recherche d'événements qui se produisent rarement, nous sommes à la recherche de mesures aberrantes qui, seraient facilement identifiables par un technicien qui prendrait 4 ou 5 mesures au même endroit. Le retrait pur et simple des valeurs extrêmes aurait pour effet de réduire artificiellement les incertitudes calculées.

Ainsi, nous proposons donc d'éliminer les mesures qui sont à 0.5 mètre d'écart de la moyenne des autres mesures prise à une combinaison Site/Méthode/GPS. La valeur de 0.5 mètre est proposée parce qu'elle est facile à retenir et que ses chances de survenir en supposant une distribution normale sont près de zéro. Des analyses factorielles et un calcul de la distance de Mahalanobis ont confirmé ce choix.

Dans ce contexte, nous avons seulement 2 valeurs aberrantes, toutes localisées au Site 6, Position brique, opérateur AP.

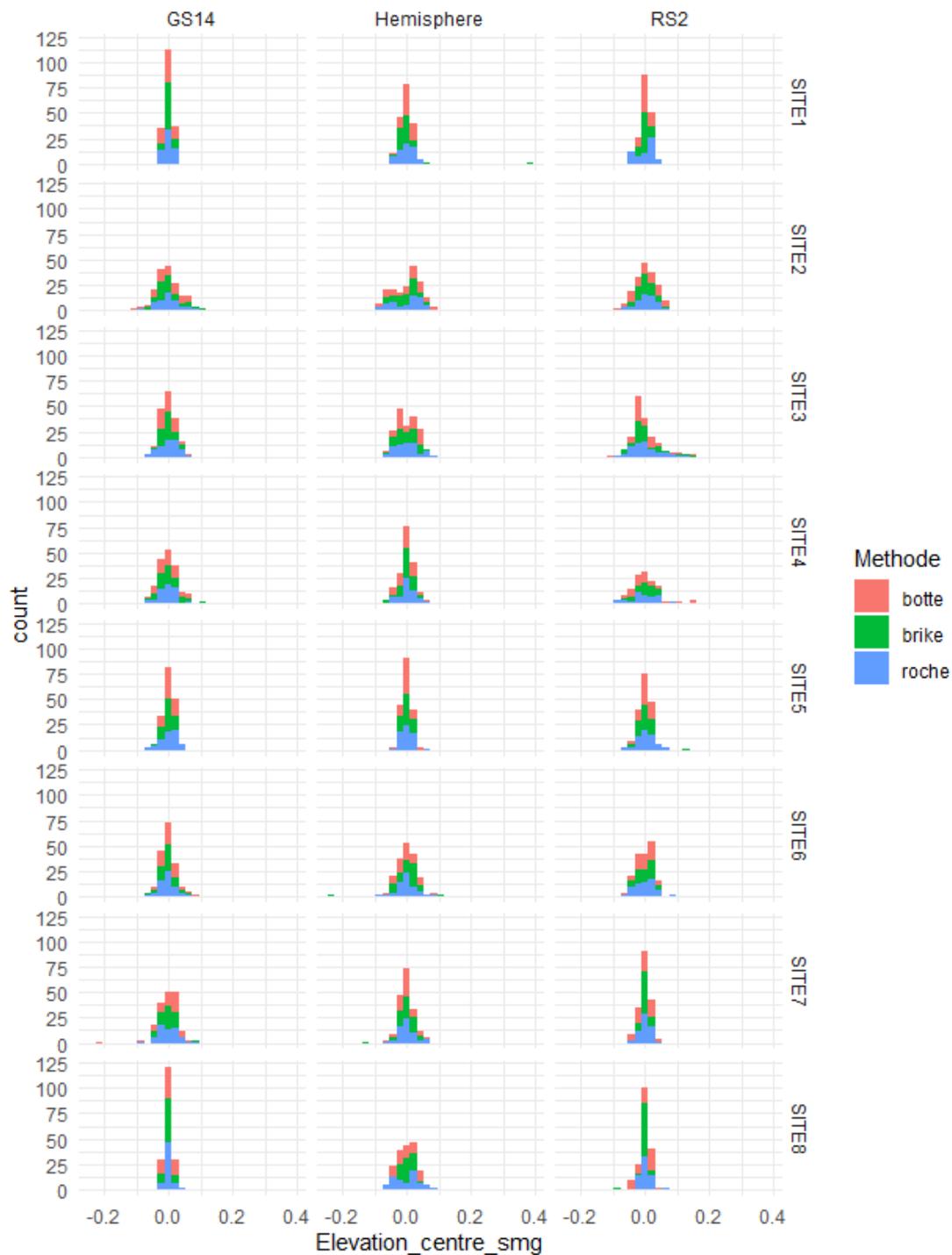
```
principal <- principal %>%
  group_by(Site, Methode, GPS) %>%
  filter(Elevation_centre_smg < 0.5 & Elevation_centre_smg > -0.5)%>%
  mutate(moyenne = mean(Elevation),
         Elevation_centre_smg = Elevation - moyenne)

ggplot(principal)+
  geom_boxplot(aes(Elevation_centre_smg, color = Methode))+
  facet_grid(Site ~ GPS + OPERATEUR, scales = "fixed") + coord_flip() +
  theme_minimal()
```



Diagrammes à boîte ans les valeurs aberrantes

```
ggplot(principal)+
  geom_histogram(aes(Elevation_centre_smg, fill = Methode) )+
  facet_grid(Site ~ GPS, scales = "fixed") +
  theme_minimal()
```



Histogrammes sans les valeurs aberrantes - tous les opérateurs confondus

ANALYSE DES SOURCES D'INCERTITUDES

ANALYSE DU VRMS EN FONCTION DES AUTRES SOURCES D'INCERTITUDES

TERRAIN PRÉLIMINAIRE

```
load(file = 'prelim.RData')

# Le fichier prelim.RData contient Les données du terrain préliminaire centrées. Les valeurs aberrantes ont été retirées.

prelim$ennuagement <- NA
prelim$ennuagement[prelim$Site %in% c('SITE1', 'SITE2')] <- 'Nuageux'
prelim$ennuagement[prelim$Site %in% c('SITE3', 'SITE4')] <- 'Degage'

model_vrms <- lm(VRMS ~ Distance + VDOP + GPS + Reseau + Position + ennuagement, data = prelim, na.action=na.omit)

summary(model_vrms)

##
## Call:
## lm(formula = VRMS ~ Distance + VDOP + GPS + Reseau + Position + ennuagement, data = prelim, na.action = na.omit)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.023133 -0.005947 -0.001598  0.004040  0.047838
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    5.827e-03  9.745e-04   5.980 2.58e-09 ***
## Distance       1.522e-04  7.282e-06  20.902 < 2e-16 ***
## VDOP           8.695e-03  5.829e-04  14.917 < 2e-16 ***
## GPSHemisphere  7.968e-04  5.154e-04   1.546  0.122
## GPSRS2        -6.108e-03  5.208e-04 -11.727 < 2e-16 ***
## ReseauSmar     3.227e-03  4.470e-04   7.219 7.07e-13 ***
## PositionVeg    4.583e-03  4.617e-04   9.928 < 2e-16 ***
## ennuagementNuageux -2.012e-03  4.557e-04 -4.416 1.05e-05 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.008873 on 2318 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.4058, Adjusted R-squared:  0.404
## F-statistic: 226.2 on 7 and 2318 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

TERRAIN PRINCIPAL

```

model_vrms <- lm(VRMS ~ Distance + VDOP + GPS + Recouvrement_arbres + Encaissement + Structure + Ennuagement + Orientation_vallee,
                 data = principal,
                 na.action=na.omit)

summary(model_vrms)

##
## Call:
## lm(formula = VRMS ~ Distance + VDOP + GPS + Recouvrement_arbres +
##     Encaissement + Structure + Ennuagement + Orientation_vallee,
##     data = principal, na.action = na.omit)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.043727 -0.004875 -0.000686  0.003732  0.067282
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    8.224e-03  1.453e-03   5.661 1.60e-08 ***
## Distance       2.872e-04  1.123e-05  25.567 < 2e-16 ***
## VDOP           8.251e-03  2.607e-04  31.646 < 2e-16 ***
## GPSHemisphere  2.599e-03  3.838e-04   6.771 1.45e-11 ***
## GPSRS2        -4.943e-03  4.003e-04 -12.348 < 2e-16 ***
## Recouvrement_arbres 1.184e-05  7.290e-06   1.624  0.104
## Encaissement    2.296e-03  2.065e-04  11.118 < 2e-16 ***
## Structureoui   -5.558e-03  3.243e-04 -17.141 < 2e-16 ***
## Ennuagement    -5.396e-04  3.389e-04  -1.592  0.111
## Orientation_vallee -4.350e-05  5.610e-06  -7.754 1.10e-14 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.006935 on 4283 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.6494, Adjusted R-squared:  0.6487
## F-statistic: 881.5 on 9 and 4283 DF, p-value: < 2.2e-16

```

TERRAIN PRINCIPAL + VALIDATION

```
load(file = 'valid.RData')
```

Le fichier valid.RData contient Les données de validation centrées. Les valeurs aberrantes ont été retirées.

```
principal_valid <- principal %>%
  bind_rows(valid)
```

```

model_vrms <- lm(VRMS ~ Distance + VDOP + GPS + Recouvrement_arbres + Encaissement + Structure + Ennuagement + Orientation_vallee,
                data = principal_valid,
                na.action=na.omit)

summary(model_vrms)

##
## Call:
## lm(formula = VRMS ~ Distance + VDOP + GPS + Recouvrement_arbres +
##      Encaissement + Structure + Ennuagement + Orientation_vallee,
##      data = principal_valid, na.action = na.omit)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.040144 -0.004367 -0.000918  0.003949  0.072839
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   1.393e-02  8.543e-04  16.303 < 2e-16 ***
## Distance      2.749e-04  8.785e-06  31.291 < 2e-16 ***
## VDOP          6.599e-03  2.041e-04  32.327 < 2e-16 ***
## GPSHemisphere -8.854e-04  2.898e-04  -3.055 0.00226 **
## GPSRS2        -6.758e-03  3.112e-04 -21.717 < 2e-16 ***
## Recouvrement_arbres 2.797e-05  4.532e-06   6.170 7.28e-10 ***
## Encaissement    2.067e-03  1.722e-04  12.001 < 2e-16 ***
## Structureoui   -2.383e-03  2.521e-04  -9.452 < 2e-16 ***
## Ennuagement    -2.483e-03  1.656e-04 -14.989 < 2e-16 ***
## Orientation_vallee -4.329e-05  2.902e-06 -14.914 < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.006799 on 5722 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.6383, Adjusted R-squared:  0.6378
## F-statistic: 1122 on 9 and 5722 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

ANALYSE DE TOUTES LES SOURCES D'INCERTITUDES (REGRESSION QUANTILE)

J'ai utilisé une régression quantile.

Méthodologie: La régression quantile repose sur le même principe que la régression linéaire, mais plutôt que de tenter d'estimer une moyenne et de déduire un IC sur cette moyenne, on tente d'estimer directement le 97.5e quantile. Les coefficients de la régression quantile (disons β_1) s'interprètent d'une façon similaire à

ceux de la régression linéaire: pour une augmentation de 1 de la variable X_1 , le 95e quantile de Y augmente de β_1 .

Pour les éléments qui sont observationnels et qui n'ont pas été planifiés pour être testés expérimentalement, on peut bien «regarder ce que ça donne» mais il ne faut pas se fier aux tests qui en découlent.

TERRAIN PRÉLIMINAIRE

```
library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre ~ VRMS + GPS + Reseau + Position + ennuagement
, tau = 0.975, data = prelim[prelim$Methode == 'Def',])
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre ~ VRMS + GPS + Reseau + Position +
##   ennuagement, tau = 0.975, data = prelim[prelim$Methode ==
##   "Def", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
##              Value      Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -0.00011    0.01414  -0.00793  0.99367
## VRMS         1.06065    0.62358   1.70089  0.08925
## GPSHemisphere  0.01058    0.01505   0.70248  0.48253
## GPSRS2        0.02755    0.00529   5.21274  0.00000
## ReseauSmar    -0.00126    0.00606  -0.20774  0.83547
## PositionVeg   0.10143    0.04310   2.35344  0.01878
## ennuagementNuageux 0.08993    0.02996   3.00195  0.00274
```

TERRAIN PRINCIPAL

```
library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR + Methode + Pen
te + Vagues , tau = 0.975, data = principal)
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR +
##   Methode + Pente + Vagues, tau = 0.975, data = principal)
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
##              Value      Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.00326    0.00372   0.87837  0.37979
```

```
## VRMS          1.63616  0.21759   7.51944  0.00000
## GPSHemisphere 0.01839  0.00230   8.01111  0.00000
## GPSRS2        0.02834  0.00477   5.94367  0.00000
## OPERATEURCK- -0.01047  0.00272  -3.85451  0.00012
## OPERATEURMR- -0.00459  0.00256  -1.78770  0.07390
## Methodebrike -0.00434  0.00215  -2.02242  0.04319
## Methoderoche  0.00519  0.00213   2.43690  0.01485
## Pente         0.00354  0.00273   1.29940  0.19388
## Vagues       -0.00186  0.00362  -0.51524  0.60641
```

TERRAIN PRINCIPAL + VALIDATION

```
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR + Methode + Pente + Vagues, tau = 0.975, data = principal_valid)
summary(quant_sup)
```

```
##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR +
##   Methode + Pente + Vagues, tau = 0.975, data = principal_valid)
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
##              Value      Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.00288    0.00301   0.95516  0.33954
## VRMS        1.89894    0.14118  13.45022  0.00000
## GPSHemisphere 0.01991    0.00132  15.09933  0.00000
## GPSRS2      0.03250    0.00419   7.75560  0.00000
## OPERATEURCK- -0.00940    0.00247  -3.79836  0.00015
## OPERATEURMR- -0.00555    0.00228  -2.43200  0.01505
## OPERATEURAM- -0.01002    0.00230  -4.35146  0.00001
## OPERATEURSD- -0.00209    0.00307  -0.68197  0.49529
## Methodebrike -0.00199    0.00180  -1.10605  0.26875
## Methoderoche  0.00491    0.00097   5.07290  0.00000
## Pente       0.00269    0.00233   1.15260  0.24912
## Vagues     -0.00435    0.00273  -1.59328  0.11115
```

EFFET DE L'OPÉRATEUR

Un modèle linéaire avec effet aléatoire montre que l'opérateur entraîne une variabilité non négligeable dans la mesure et qu'il faut en tenir compte dans l'estimation d'un intervalle de confiance.

```
library(lme4)
model_roche <- lmer( Elevation_centre_smg ~ (1|OPERATEUR) + VRMS + GPS + Pente + Surface,
```

```

data = principal[principal$Methode == 'roche',],
na.action=na.omit)

resume_roche <- summary(model_roche)
resume_roche

## Linear mixed model fit by REML ['lmerMod']
## Formula: Elevation_centre_smg ~ (1 | OPERATEUR) + VRMS + GPS + Pente +
## Surface
## Data: principal[principal$Methode == "roche", ]
##
## REML criterion at convergence: -5995.4
##
## Scaled residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -6.0852 -0.5194 -0.0075  0.5016  8.7652
##
## Random effects:
## Groups      Name                Variance Std.Dev.
## OPERATEUR (Intercept) 0.0001475 0.01215
## Residual                0.0008423 0.02902
## Number of obs: 1428, groups: OPERATEUR, 3
##
## Fixed effects:
##              Estimate Std. Error t value
## (Intercept)   6.331e-05  9.951e-03  0.006
## VRMS          6.846e-02  8.301e-02  0.825
## GPSHemisphere 5.507e-04  1.963e-03  0.281
## GPSRS2        1.087e-03  2.276e-03  0.477
## Pente         -8.019e-04  2.678e-03 -0.299
## SurfaceTranquille -9.215e-04  4.772e-03 -0.193
##
## Correlation of Fixed Effects:
##              (Intr) VRMS   GPSHms GPSRS2 Pente
## VRMS          0.004
## GPSHemispshr -0.088  0.305
## GPSRS2       -0.081  0.558  0.562
## Pente        -0.650 -0.349 -0.106 -0.186
## SurfTrnqll  -0.661 -0.237 -0.073 -0.127  0.942

model_botte <- lmer( Elevation_centre_smg ~ (1|OPERATEUR) + VRMS + GPS + Pente + Surface,
data = principal[principal$Methode == 'botte',],
na.action=na.omit)

```

```

resume_botte <- summary(model_botte)
resume_botte

## Linear mixed model fit by REML ['lmerMod']
## Formula: Elevation_centre_smg ~ (1 | OPERATEUR) + VRMS + GPS + Pente +
## Surface
## Data: principal[principal$Methode == "botte", ]
##
## REML criterion at convergence: -6132.7
##
## Scaled residuals:
##   Min      1Q  Median      3Q      Max
## -7.0069 -0.5168  0.0214  0.5397  6.0388
##
## Random effects:
## Groups Name Variance Std.Dev.
## OPERATEUR (Intercept) 0.0001376 0.01173
## Residual 0.0007742 0.02782
## Number of obs: 1432, groups: OPERATEUR, 3
##
## Fixed effects:
##              Estimate Std. Error t value
## (Intercept)  2.717e-05  9.560e-03  0.003
## VRMS         1.063e-01  8.488e-02  1.253
## GPSHemisphere  7.008e-04  1.871e-03  0.375
## GPSRS2        1.495e-03  2.190e-03  0.683
## Pente        -1.174e-03  2.576e-03 -0.456
## SurfaceTranquille -1.331e-03  4.577e-03 -0.291
##
## Correlation of Fixed Effects:
##              (Intr) VRMS   GPSHms GPSRS2 Pente
## VRMS          0.008
## GPSHemispshr -0.087  0.285
## GPSRS2       -0.078  0.565  0.555
## Pente        -0.644 -0.367 -0.106 -0.200
## SurfTrnqll  -0.656 -0.249 -0.072 -0.135  0.941

model_brique <- lmer( Elevation_centre_smg ~ (1|OPERATEUR) + VRMS + GPS + Pente + Surface,
                      data = principal[principal$Methode == 'brique',],
                      na.action=na.omit)

```

```

resume_brique <- summary(model_brique)
resume_brique[6]

## $logLik
## 'log Lik.' 3065.556 (df=8)

sqrt(resume_roche[["varcor"]][["OPERATEUR"]][1])

## [1] 0.01214686

```

Dans le cas 3, l'écart-type associé à la variabilité des opérateurs est de 0.0121469 avec la roche et 0.0117323 avec la botte.

INTERVALLES DE CONFIANCE

QUANTILES DE BASE

975norm_cas1 indique un 97.5 ième percentile avec l'approximation normale pour le cas x. q975student_casx indique un 97.5 ième percentile avec la distribution de Student pour le cas x.

```

liste <- principal%>%
  group_by(Site, GPS, Methode, OPERATEUR) %>%
  group_split(.keep = TRUE)

p <- vector(mode = "numeric", length = length(liste))

for (ii in 1:length(liste)){
  k <- shapiro.test(liste[[ii]]$Elevation)
  p[ii] <- k$p.value
}

seuil <- 0.01

sum(p < seuil)

## [1] 20

```

Avec un test au seuil de 0.01, la normalité est rejetée dans 20 cas sur 216, ce qui est plus que ce à quoi on s'attendrait, mais tout de même acceptable dans le contexte.

En supposant une distribution normale, centrée sur la moyenne de chaque combinaison Site/Methode/GPS, on obtient les marges d'erreur à 95% suivantes:

```

ME_norm_cas3 <- principal %>%
  ungroup() %>%
  group_by(Site, Methode, GPS) %>%
  summarise(n_cas3 = n(),

```

```

sd_cas3 = sd(Elevation),
q975norm_cas3 = sd(Elevation)*1.96,
q975Student_cas3 = sd(Elevation)*qt(0.975,n_cas3))

principal <- principal %>%
  left_join(ME_norm_cas3, by = c('Site', 'Methode', 'GPS'))

```

RÉGRESSION QUANTILE

q975Quant indique un quantile obtenu par régression sur le quantile.

```

library(quantreg)

quant025 <- rq(Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR + Methode + Pent
e + Vagues, tau = 0.025, data = principal)
summary(quant025)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR +
##   Methode + Pente + Vagues, tau = 0.025, data = principal)
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
##           Value      Std. Error t value  Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.00766    0.00335    2.28645  0.02228
## VRMS        -1.40192    0.12280   -11.41594  0.00000
## GPSHemisphere -0.01726    0.00188   -9.18028  0.00000
## GPSRS2      -0.02133    0.00284   -7.51085  0.00000
## OPERATEURCK- -0.01420    0.00196   -7.23730  0.00000
## OPERATEURMR-  0.00257    0.00192    1.33788  0.18101
## Methodebrike  0.00104    0.00229    0.45474  0.64932
## Methoderoche -0.00555    0.00230   -2.41521  0.01577
## Pente       -0.00809    0.00373   -2.16900  0.03014
## Vagues       0.00150    0.00471    0.31774  0.75070

q025quant <- predict(quant025)

quant975 <- rq(Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR + Methode + Pen
te + Vagues, tau = 0.975, data = principal)
summary(quant975)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg ~ VRMS + GPS + OPERATEUR +
##   Methode + Pente + Vagues, tau = 0.975, data = principal)
##

```

```
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
##          Value      Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.00326  0.00372   0.87837  0.37979
## VRMS         1.63616  0.21759   7.51944  0.00000
## GPSHemisphere 0.01839  0.00230   8.01111  0.00000
## GPSRS2       0.02834  0.00477   5.94367  0.00000
## OPERATEURCK- -0.01047  0.00272  -3.85451  0.00012
## OPERATEURMR- -0.00459  0.00256  -1.78770  0.07390
## Methodebrike -0.00434  0.00215  -2.02242  0.04319
## Methoderoche  0.00519  0.00213   2.43690  0.01485
## Pente        0.00354  0.00273   1.29940  0.19388
## Vagues       -0.00186  0.00362  -0.51524  0.60641

q975quant <- predict(quant975)

principal$q975Quant <- (q975quant-q025quant)/2
```

Avec une régression quantile, la marge d'erreur moyenne est de 0.0504371.

TABLEAU RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

```
q975 <- principal %>%
  group_by(Site, GPS, Methode) %>%
  summarise_if(is.numeric, mean)

write_csv2(q975, file = 'quantile95_par_combinaison_principale.csv')
```

RECOMMANDATION.

Ils devraient toujours faire plusieurs (n) mesures par site pour estimer la valeur de la variance du site et des conditions de mesure.

$$\sigma_{site}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

À cette mesure de l'écart-type, j'ajouterais la valeur de $\sigma_{opérateur}^2 = 0.012^2$ m associée à la variabilité de l'opérateur.

L'intervalle de confiance devient:

$$\bar{x} \pm q \times \sqrt{\sigma_{site}^2 + \sigma_{opérateur}^2}$$

Si l'échantillon est supérieur à 30, on peut supposer l'approximation normale et prendre $q = 1.96$. Sinon, on prend le quantile 0.975 de la distribution de Student à n degrés de liberté. Par exemple, si on choisit 10 mesures ($n = 10$), la valeur de q devient 2.2281389.

POUR OBTENIR DES INTERVALLES DE CONFIANCE UNIQUEMENT À PARTIR DU VRMS

QUANTILE ET VRMS

But: estimer le lien entre le VRMS et le 97.5e quantile.

```
library(quantreg)
quant <- rq(Elevation_centre_smg ~ VRMS, tau = 0.975, data = principal)
summary(quant)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg ~ VRMS, tau = 0.975, data = principal)
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
##              Value   Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 0.03124 0.00322    9.69290 0.00000
## VRMS        1.08793 0.15358    7.08379 0.00000
```

On remarque que l'effet du VRMS sur le 97.5e quantile n'est pas différent de 1. D'un point de vue statistique, c'est raisonnable de fixer cet effet à 1.

JUSTE AVEC LA ROCHE

```
library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg-VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'roche',])
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "roche", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
##              Value   Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 0.03745 0.00306   12.23168 0.00000

library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg+VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'roche',])
summary(quant_inf)
```

```
##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
## "roche", ])
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
##          Value      Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -0.03917    0.00222  -17.67928  0.00000
```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.0374548 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.0391683 - 1 \times VRMS$$

JUSTE AVEC LA BOTTE

```
library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'botte',])
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "botte", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
##          Value      Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 0.03182    0.00323    9.83578 0.00000

library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'botte',])
summary(quant_inf)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
## "botte", ])
##
```

```
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
##           Value      Std. Error t value   Pr(>|t|)
## (Intercept) -0.03575    0.00288  -12.42454  0.00000
```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.0318167 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.035746 - 1 \times VRMS$$

ROCHE ET GS14

```
library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'roche' & principal$GPS == 'GS14',])
summary(quant_sup)
```

```
##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "roche" & principal$GPS == "GS14", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
## (Intercept)
##      0.02224
```

```
library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'roche' & principal$GPS == 'GS14',])
summary(quant_inf)
```

```
##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
## "roche" & principal$GPS == "GS14", ])
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
## (Intercept)
##     -0.02722
```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.0222367 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.0272217 - 1 \times VRMS$$

ROCHE ET HEMISPHERE

```
library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'roche'&principal$GPS=='Hemisphere',])
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "roche" & principal$GPS == "Hemisphere", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## 0.03745

library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'roche'&principal$GPS=='Hemisphere',])
summary(quant_inf)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
## "roche" & principal$GPS == "Hemisphere", ])
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## -0.04117
```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.0374548 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.0411672 - 1 \times VRMS$$

ROCHE ET RS2

```
library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'roche' & principal$GPS == 'RS2',])
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "roche" & principal$GPS == "RS2", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## 0.04472

library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'roche' & principal$GPS == 'RS2',])
summary(quant_inf)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
## "roche" & principal$GPS == "RS2", ])
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## -0.04342
```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.0447167 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.0434167 - 1 \times VRMS$$

BOTTE ET GS14

```

library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'botte'&principal$GPS=='GS14',])
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "botte" & principal$GPS == "GS14", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## 0.02072

library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'botte'&principal$GPS=='GS14',])
summary(quant_inf)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
## "botte" & principal$GPS == "GS14", ])
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## -0.01815

```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.0207237 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.018155 - 1 \times VRMS$$

BOTTE ET HEMISPHERE

```

library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'botte'&principal$GPS=='Hemisphere',])
summary(quant_sup)

```

```

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "botte" & principal$GPS == "Hemisphere", ])
##
## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## 0.03144

library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'botte'&principal$GPS=='Hemisphere',])
summary(quant_inf)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
## "botte" & principal$GPS == "Hemisphere", ])
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
## (Intercept)
## -0.03974

```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.03144 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.039741 - 1 \times VRMS$$

BOTTE ET RS2

```

library(quantreg)
quant_sup <- rq(Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1 , tau = 0.975, data = principal[principal$Methode == 'botte'&principal$GPS=='RS2',])
summary(quant_sup)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg - VRMS ~ 1, tau = 0.975, data = principal[principal$Methode ==
## "botte" & principal$GPS == "RS2", ])
##

```

```

## tau: [1] 0.975
##
## Coefficients:
## (Intercept)
##      0.04982

library(quantreg)
quant_inf <- rq(Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode == 'botte' & principal$GPS == 'RS2',])
summary(quant_inf)

##
## Call: rq(formula = Elevation_centre_smg + VRMS ~ 1, tau = 0.025, data = principal[principal$Methode ==
##      "botte" & principal$GPS == "RS2", ])
##
## tau: [1] 0.025
##
## Coefficients:
## (Intercept)
##      -0.04109

```

Pour la borne supérieure, on obtient

$$Sup = \mu + 0.0498167 + 1 \times VRMS$$

Pour la borne inférieure, on obtient:

$$Inf = \mu - 0.0410889 - 1 \times VRMS$$

ANNEXE

H

ANNEXE H. ANALYSE DES RÉSULTATS DE
TRAITEMENT DES DONNÉES ACQUISES PAR UNE
BOUÉE HYDROBALL

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de génie civil et génie du bâtiment

ANALYSE DES RESULTATS DE TRAITEMENT DES DONNÉES ACQUISES PAR UNE BOUÉE HYDROBALL

GCI 705 : Étude de spécialité

Zeineb Belhadj

Sherbrooke (Québec) Canada

RÉSUMÉ

Les mesures de niveaux d'eau jouent un rôle important pour le calage des modèles hydrauliques, notamment pour la délimitation des plaines inondables. Cependant, le travail réalisé dans les campagnes sur terrain, plus précisément pendant la période des crues, est parfois difficile à planifier et peut amener des enjeux de sécurité. Avec les méthodes traditionnelles, c'est-à-dire la mesure de points GNSS en rive, il n'est pas possible d'avoir des profils de la rivière, mais seulement certains points faciles d'accès. La bouée HydroBall® permet de mesurer des niveaux d'eau en continu dans les rivières, même dans des conditions difficiles. Toutefois, il reste à déterminer la précision de cet instrument, en autres liés au post-traitement.

Ce rapport prend les données de la bouée GNSS dynamique HydroBall® dans un cas d'étude appliqué à un tronçon de la rivière Saint-François situé à Sherbrooke, avec une longueur totale estimée de 40 km. Le travail est basé sur les trois bases GNSS suivantes : Sherbrooke, Magog et Granby situées à différentes distances du site de mesure. La méthodologie adoptée se concentre principalement sur deux objectifs. D'abord, une étude analysant la précision des mesures GNSS-RTK en rive, GNSS-RTK en kayak et par la bouée HydroBall® a été faite. Les outils RTKLib et Leica Infinity ont été choisis pour comparer leurs qualités de traitement. Finalement, une évaluation basée sur la distance de la base à l'HydroBall® dans le traitement a eu lieu en analysant le facteur qualité de précision selon la verticale (CQ_1D). L'HydroBall® avec un traitement PPK montre une précision similaire aux mesures prises avec un GNSS-RTK en rive ou par kayak avec le traitement des données par le logiciel Leica Infinity. De plus, la précision diminue (valeur de CQ_1D augmente) avec la distance entre le site de mesure et la base GNSS.

Mot clés : Niveau d'eau, GNSS, HydroBall®, GNSS-RTK, RTKLib, Leica Infinity, CQ_1D.

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES FIGURES	4
I. Introduction	1
II. Cadre théorique.....	1
1. Positionnement par satellites.....	1
i. Positionnement autonome et relatif.....	2
ii. Positionnement statique et cinématique	3
2. Références spatiales : Géoïde et ellipsoïde.....	4
3. La bouée HydroBall®	5
III. Objectifs du travail	6
IV. Présentation de la zone d'étude et des données	7
V. Méthodologie.....	8
1. Traitement des données de l'HydroBall® avec Leica Infinity et RTKLib	9
2. Traitement avec différentes bases GNSS	10
VI. Résultats et discussion.....	11
1. Profils en long et mesures orthométriques.....	11
2. Précision de la qualité de mesures : CQ_1D.....	16
VII. Conclusion.....	22
VIII. Références	23
IX. ANNEXES.....	1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Calcul de l'écart entre différentes altitudes orthométriques.....	14
---	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Positionnement autonome	2
Figure 2 : Positionnement relatif.....	3
Figure 3 : Positionnements statique et cinématique.....	4
Figure 4 : Altitudes au-dessus de l'ellipsoïde, orthométrique et ondulation du géoïde	5
Figure 5 : Photo de la bouée HydroBall®. (Source: Manuel de l'utilisateur HydroBall®).....	6
Figure 6 : HydroBall® et un GNSS-RTK installés sur un trimaran	7
Figure 7 : Localisation de notre site d'étude et des données utilisées.....	8
Figure 8 : Onglet affichage dans le logiciel Leica Infinity représentant les trois bases utilisées .	11
Figure 9 : Profil en long des résultats de traitement avec Leica Infinity et RTKLib.....	12
Figure 10 : Profil en long des résultats de traitement avec Leica Infinity et des points GNSS-RTK au kayak	13
Figure 11 : Comparaison des deux profils en long des résultats de traitement avec Leica Infinity (Sherbrooke et Magog)	15
Figure 12 : Comparaison des deux profils en long des résultats de traitement avec Leica Infinity (Sherbrooke et Granby).....	16
Figure 13 : Histogramme de fréquence des CQ_1D: (a) GNSS au Kayak; (b): HydroBall Sherbrooke; (c): HydroBall Magog; (d): HydroBall Granby	17
Figure 14 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS prises au kayak	18
Figure 15 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall® (base Sherbrooke).....	19
Figure 16 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall® (base Magog).....	20
Figure 17 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall® (base Granby).....	21

I. Introduction

La gestion des risques d'inondation et un enjeu pris en considération à travers le projet INFO-Crue qui vise à fournir les données nécessaires de niveaux d'eau et de débits pour la mise en œuvre des modèles hydrauliques afin d'actualiser la cartographie de l'inondation dans le Québec méridionale. Traditionnellement, les mesures de niveaux d'eau sont acquises en rives des rivières à l'aide d'un GNSS (Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites) en mode RTK (Real Time Kinematic). Les mesures sont alors ponctuelles dans l'espace. Il est également possible de mesurer les niveaux d'eau à l'aide d'un GNSS embarqué sur un kayak ou un bateau. La sécurité de l'équipement qui n'est pas conçu pour être dans l'eau peut alors être compromise. La bouée Hydroball® développée par CIDCO (<https://www.cidco.ca/recherche-et-developpement/hydroball>) est alors une alternative. Toutefois, le traitement doit se faire en PPK (Post-processing Kinematic).

Ce projet vise à comparer les méthodes traditionnelles de mesure des niveaux d'eau à l'aide d'un GNSS-RTK en comparaison par rapport au système GNSS de la bouée Hydroball®.

II. Cadre théorique

Dans sa globalité, le cadre théorique est tiré du *Guide pour le positionnement GPS*. Gouvernement du Canada, division des levés géodésiques (1993).

1. Positionnement par satellites

Un GNSS est un système de positionnement par satellites composé par une constellation de satellites, d'une éphéméride précise et des stations de contrôle; permettant de fournir la position précise -par l'intermédiaire d'un récepteur GNSS- à n'importe quel endroit dans le monde. Son fonctionnement repose sur la mesure du temps parcouru par le signal propagé et émis par un satellite jusqu'à sa mesure par un récepteur. En utilisant la mesure du temps provenant de plusieurs satellites, on peut connaître la position du récepteur par intersection, et ceci dépend principalement du principe de triangulation (un minimum de 4 satellites faisant partie d'une constellation). L'émission et la réception des signaux se fait en continu, d'où la transmission des facteurs de corrections de position suivant les fréquences L1/L2 et L5. Les systèmes GNSS existants sont le GPS (Américain), GALILEO (Européen), Beidou/Compass, GLONASS (Russie) et l'IRNSS.

On peut distinguer deux types de récepteurs GNSS : les récepteurs du grand public comme les téléphones, avec une performance statique et qui ne s'améliore pas par des corrections et le type des récepteurs de précision qui nous intéresse qui sont capables d'intégrer des données externes de corrections en améliorant leurs précisions. Le RTK (Real Time Kinematic) est donc un dispositif qui permet de transmettre, en temps réel, les données de corrections de base d'observation aux GPS mobiles, qui vont intégrer ces informations dans le calcul de positionnement pour gagner en précision. En offrant donc la possibilité de mixer les signaux des différentes constellations de satellites, les récepteurs GNSS permettent de calculer une position plus précise et donne donc la facilité de travailler dans des endroits non accessibles. Les solutions des positionnement relatif temporel et positionnement cinématique post-traité ont donner des précisions de 2 centimètres en se basant sur des erreurs moyennes quadratiques.

i. Positionnement autonome et relatif

Le positionnement autonome ou absolu, définit les coordonnées ponctuelles indéterminées d'un récepteur relativement par rapport aux positions connues des GNSS situés dans le même cadre de référence grâce à leurs éphémérides, tandis que le positionnement relatif d'un récepteur n'est basé qu'à la position connue d'un autre point. Dans la Figure 1, on peut voir les quatre satellites s1, s2, s3 et s4 avec des positions définies suivant le système (x,y,z) et le point inconnu r.

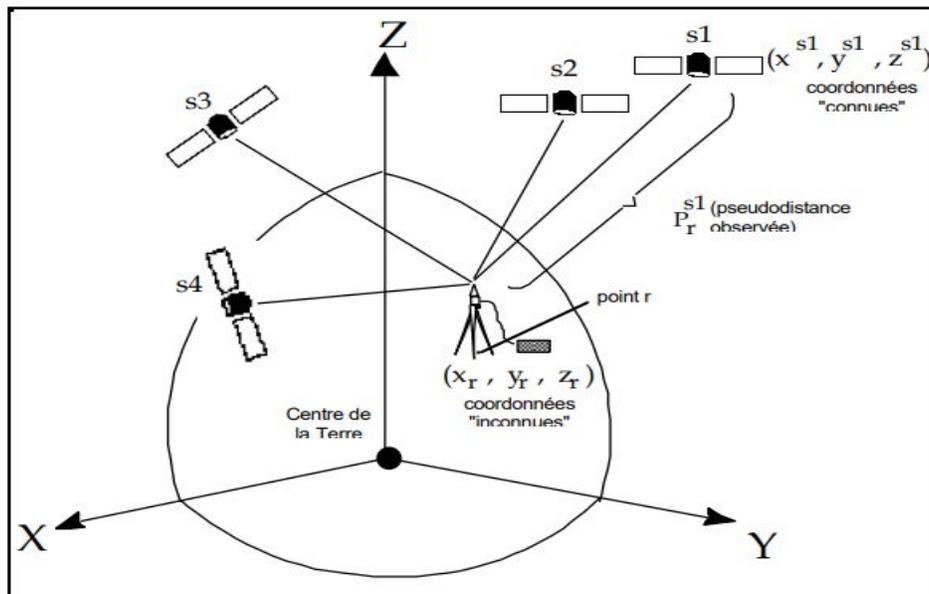


Figure 1 : Positionnement autonome

Une pseudodistance établie la relation entre les coordonnées connus et inconnus.

$$P_r^s = \sqrt{(x^s - x_r)^2 + (y^s - y_r)^2 + (z^s - z_r)^2} + \text{erreur}$$

Avec :

X_{s1}, Y_{s1}, Z_{s1} : coordonnées du satellite s_1

X_r, Y_r, Z_r : coordonnées inconnues du point r

Avec un minimum de 4 satellites, les coordonnées du point r et l'erreur du au facteur de synchronisation des satellites peuvent être déterminées.

Le positionnement relatif (Figure 2) est plus précis et exact que le positionnement autonome, puisqu'il dépend de la position connue d'un autre point sur la terre, et non pas sur un ensemble de satellites. Les facteurs d'erreurs dans les observations des GPS sont annulés durant le traitement.

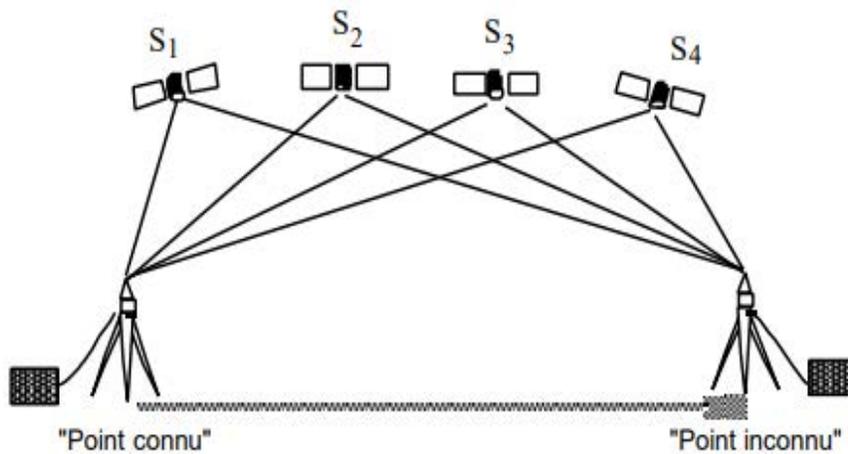


Figure 2 : Positionnement relatif

ii. Positionnement statique et cinématique

Pour cette classification, un positionnement est dit statique ou cinématique selon l'état du récepteur en recueillant les données GNSS, stationnaire ou en mouvement. Pour plus de précision, on peut combiner les deux classifications pour mieux caractériser ces deux types de positionnement illustrés dans la Figure 3. Un positionnement statique peut être relatif ou autonome et un positionnement cinématique peut être aussi relatif (avec un récepteur de contrôle en position statique et connu et un autre en mouvement sur la trajectoire à positionner) ou autonome.

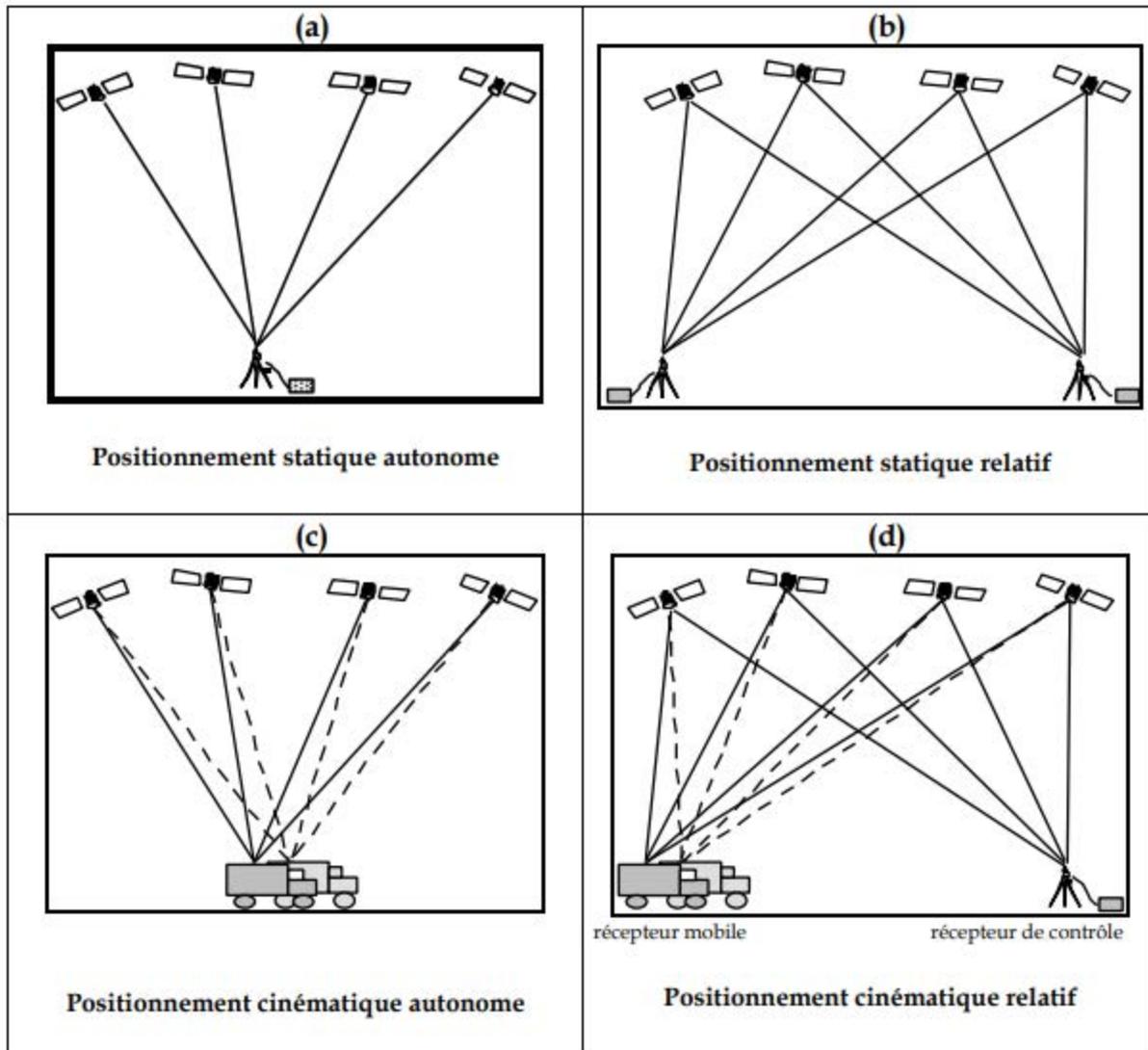


Figure 3 : Positionnements statique et cinématique

2. Références spatiales : Géοïde et ellipsoïde

Les GNSS sont capables de déterminer une mesure d'altitude. Cette altitude prend l'ellipsoïde comme référence, c'est exactement l'altitude mesurée au-dessus de l'ellipsoïde et ce n'est pas l'altitude orthométrique nécessaire à déterminer. L'ellipsoïde est définie comme une sphère représentée par des équations mathématiques et utilisée comme un système de référence, alors que les altitudes orthométriques sont établis par rapport au géοïde. Elle est définie comme la surface

réelle de la Terre sur laquelle le potentiel gravitationnel est constant. La Figure 4 illustre la relation entre l'altitude orthométrique et l'altitude au-dessus de l'ellipsoïde.

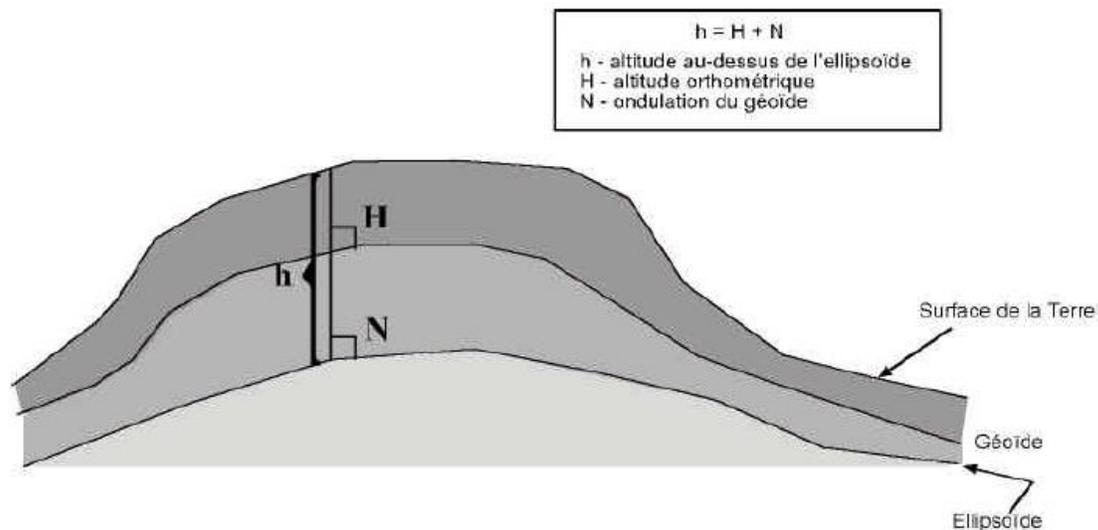


Figure 4 : Altitudes au-dessus de l'ellipsoïde, orthométrique et ondulation du géoïde

Pour calculer l'altitude orthométrique, l'ondulation du géoïde est nécessaire à connaître. Cette ondulation est déterminée à partir du modèle du géoïde choisi. Le WGS est le système de positionnement global basé sur le système géodésique mondial qui est compatible avec l'ellipsoïde de l'année 1984 (WGS84). Au Canada, le système de référence utilisé est le NAD83 CSRS, qui contient les coordonnées latitude, longitude et altitude déterminées selon l'ellipsoïde GRS80. Ces deux systèmes engendrent deux projections différentes, ce qui implique l'importance des transformations pour obtenir la bonne altitude orthométrique. On utilise le CGVD2013 au Canada comme un système de référence pour obtenir l'altitude orthométrique, toutefois, le CGVD1928 HT2.0 est utilisé Québec.

3. La bouée HydroBall®

Le système GNSS de la bouée HydroBall® (définie comme une balise itinérante et autonome) permet également d'acquérir des données bathymétriques (Figure 5). Elle est spécifiquement conçue pour atteindre des localisations difficilement accessibles, comme les rivières à fort débit, et les surfaces à niveau d'eau faible (minimum de 10 cm de profondeur d'eau). En 2008, CIDCO (Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans) ont analysé les

solutions traditionnelles disponibles pour la collecte des données bathymétriques et ils ont montré des limites d'accessibilité, d'où la nécessité de l'HydroBall® comme une solution autonome pour ce faire. Cette bouée est autonome pendant 24h et même plus. Elle possède trois capteurs : GNSS L1/L2 pour la mesure de la position (latitude, longitude et hauteur ellipsoïdale), une minicentrale inertielle pour la mesure de l'altitude de la bouée et un sondeur monofaisceau pour la précision de la bathymétrie (CIDCO, 2020).



Figure 5 : Photo de la bouée HydroBall®. (Source: Manuel de l'utilisateur HydroBall®)

III. Objectifs du travail

L'objectif principal de ce travail est de faire une étude comparative entre les méthodes traditionnelles de relevé des niveaux d'eau (GNSS-RTK) et l'HydroBall® à travers une analyse d'incertitude des mesures obtenus. Afin d'atteindre cet objectif principal, trois objectifs spécifiques sont identifiés :

- Comparer la précision des mesures GNSS-RTK en rive, en kayak et par la bouée HydroBall®
- Comparer deux outils de traitement des données GNSS (Leica infinity et RTKLib)
- Évaluer l'impact de la distance de la base à l'HydroBall® dans le traitement

IV. Présentation de la zone d'étude et des données

Pour répondre à nos objectifs, un secteur de la rivière Saint-François localisé à Sherbrooke a été sélectionné comme une zone d'étude. Les données disponibles du 27/03/2020 lors de la crue printanière sont celles de l'HydroBall®, des points GNSS-RTK sur la rive et d'un trajet GNSS-RTK prises au kayak. L'HydroBall® et un GNSS-RTK de marque Leica sont installés sur le même trimaran tiré par un kayak (Figure 6).



Figure 6 : HydroBall® et un GNSS-RTK installés sur un trimaran

Pour la même date, les données de base GNSS à Sherbrooke (du MERN) Magog (Smartnet) et Granby (Smartnet) ont été téléchargées. La Figure 7 représente le trajet fait par la bouée HydroBall®, des points GNSS-RTK prises sur la rive, des points GNSS prises sur le kayak aussi bien que la localisation des trois stations GNSS : Sherbrooke, Magog et Granby (non présenté sur la figure). Les données de la base GNSS de Sherbrooke sont disponibles sur le site du MERN (<ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/GPS/Sherbrooke/>). Les données des bases de Magog et Granby sont disponible sur Smartnet (<https://www.smartnetna.com/portal/>). Les données des bases en format RINEX sont disponibles gratuitement.



Figure 7 : Localisation de notre site d'étude et des données utilisées

V. Méthodologie

La première partie de la méthodologie comprend les étapes de traitement des données de l'HydroBall® avec deux outils : le logiciel Leica Infinity, et RTKLib. Le protocole de traitement des données par le logiciel Leica Infinity est décrit dans l'Annexe. Le protocole fourni par CIDCO est utilisé pour le traitement avec RTKLib. La deuxième partie sert à évaluer l'impact de la distance de la base à l'HydroBall® dans le traitement en se basant sur les mesures GNSS-RTK prises sur la rive comme référence et le facteur unidimensionnel de précision des mesures (CQ_D1), tout en comparant les résultats obtenus avec différentes bases GNSS (Sherbrooke, Magog et Granby). Pour la deuxième partie, que les résultats obtenus par Leica Infinity sont pris en considération.

1. Traitement des données de l'HydroBall® avec Leica Infinity et RTKLib

Pour les deux logiciels, les données HydroBall® sont d'abord converties de binaire format RINEX en utilisant le logiciel RinexDesktop.

Dans cette partie, un traitement de base avec le logiciel RTKLib a été réalisé en suivant les étapes du protocole de CIDCO. En résumé, le logiciel RTKLib permet de faire un positionnement des résultats du GNSS en PPK. Il faut préciser manuellement les coordonnées de la base GNSS choisie et non utiliser l'entête du fichier RINEX. Les résultats traités sont disponibles sous le format «.pos». Ces résultats comprennent un profil de points de mesure avec la hauteur ellipsoïdale attribuée (RTKLIB ver. 2.4.2 Manual). Les données doivent ensuite être converties en hauteur orthométrique à l'aide du site de NRCan (<https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/gpsh.php>). Une correction est ensuite faite selon la distance entre le GNSS et la surface de l'eau (0,249 cm).

Le logiciel Leica Infinity est consacré pour la gestion et le traitement de données géospatiales acquises avec des instruments de la marque Leica. Il nous permet de traiter les données GNSS en mode statique et dynamique, sous les systèmes GPS, GLONASS, Beidou, Galileo et /ou QZSS (Manuel Leica). Il a l'avantage de lire directement les coordonnées de la base GNSS, d'inclure les éphémérides ainsi que les caractéristiques de l'antenne HydroBall®. Il inclut également la conversion d'ellipsoïde à géoïde, évitant ainsi des erreurs de conversion.

Les étapes de traitement des données HydroBall® consistent à :

1. Modifier le fichier RINEX afin que Leica Infinity reconnaisse que les données sont en mode dynamique et non statique. Un exemple est donné en Annexe.
2. Importer les données RINEX de l'HydroBall® et de la base GNSS.
3. Définir la projection : La projection SCOPQ 7 N83 HT2 pour le site d'étude est importée de la base de données des références spatiales de Leica Infinity et chargée dans le projet.
4. GNSS data processing et post-processing : Cette étape comprend la calibration de l'antenne (L'antenne de l'HydroBall® est déjà définie dans la base de données de Leica Infinity comme suit ACCG5ANT_3AT1). A cet effet, une correction du niveau de l'antenne par rapport à la surface d'eau est ajoutée au

cours de cette étape de post-traitement puisque le GNSS est 0,249 cm au-dessus de la surface de l'eau.

5. Finalement il faut exporter les résultats sous format .csv. Dans le traitement, seuls les points fixés sur la phase sont importés.

Pour comparer le traitement obtenu avec Leica Infinity et RTKLib, des profils en long ont été tracés dans la section résultats et discussion. Pour analyser les résultats de traitement, les points qui sont les plus proches des points GNSS-RTK pris sur la rive ont été sélectionnés (en faisant une projection perpendiculaire sur le trajet avec le logiciel ArcGIS), et également par rapport aux points GNSS-RTK pris par le kayak comme une référence. La comparaison dans ce cas permet de visualiser la différence entre la mesure traditionnelle et celles issues de l'HydroBall® après les étapes de post-traitement. Cette partie est plus détaillée dans la section résultats et discussion.

2. Traitement avec différentes bases GNSS

Dans cette partie, l'impact de la distance de la base choisie sur le traitement des données avec Leica Infinity est analysé. La station GNSS Magog est considéré comme loin du trajet parcouru par l'HydroBall® avec une distance estimée de 38 km, tandis que la station GNSS de Sherbrooke est très proche de notre site d'étude (presque 500 m au plus proche) (voir Figure 7).

Pour s'assurer de l'impact de la distance de la base sur les résultats de traitement, la base de Granby (Figure 8) a été ajouté dans le processus, avec une distance estimée de 80 km entre la station et le site d'étude.

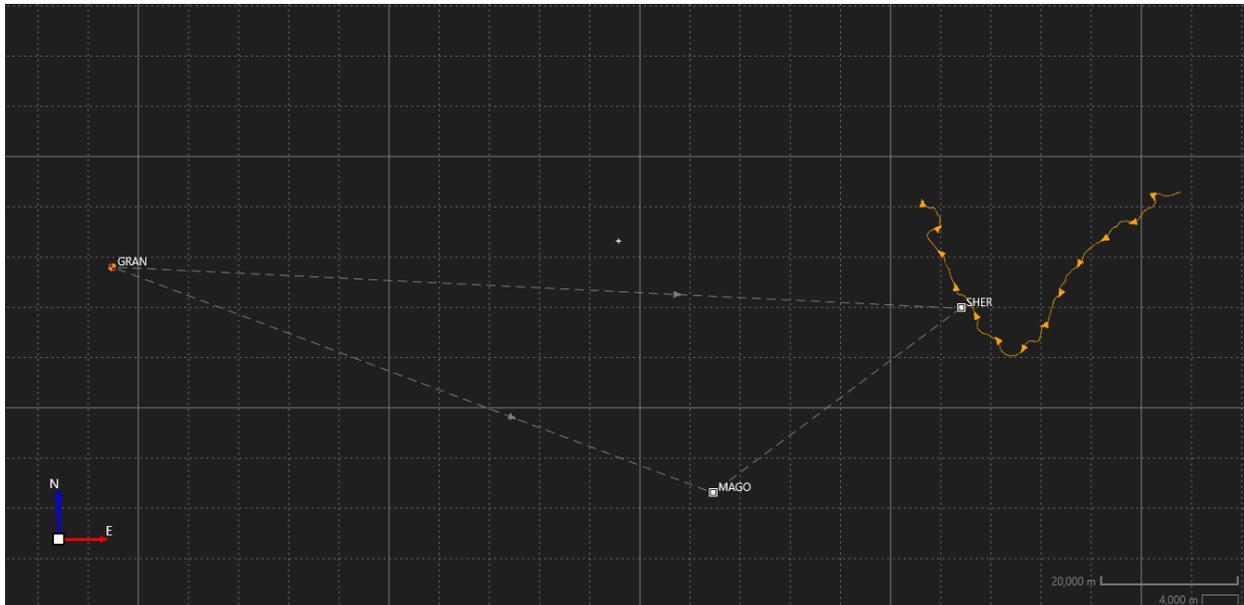


Figure 8 : Onglet affichage dans le logiciel Leica Infinity représentant les trois bases utilisées

Le logiciel Leica Infinity calcule le facteur CQ (Coordinate Quality), qui est un indicateur de la précision du positionnement en mètre. Avec Leica Infinity, CQ_1D, CQ_2D et CQ_3D sont disponibles dans les résultats. Dans ce cas d'étude, l'interprétation est faite en se basant sur les valeurs définies selon la verticale (CQ_1D). Moins les éphémérides du satellite sont définies ou non détectées avec le processus de traitement de Leica Infinity, plus la valeur de l'incertitude (CQ_1D) est élevée (Wang et al, 2010).

Pour juger l'impact de cette différence de distance entre les bases, des histogrammes de fréquence des valeurs du CQ_D1 ont été générés pour chaque base (Sherbrooke, Magog et Granby) afin d'estimer la qualité du traitement fait par Leica Infinity en changeant la base de référence.

VI. Résultats et discussion

1. Profils en long et mesures orthométriques

Pour analyser l'impact apporté par le logiciel Leica Infinity, les profils en long des points GNSS-RTK pris avec le kayak et les résultats de traitement des données HydroBall® sont présentés. Le

traitement de référence choisi dans ce cas utilise la base GNSS de Sherbrooke. La Figure 9 représente le profil en long des résultats du traitement PPK obtenus avec Leica Infinity en comparaison par rapport à un traitement PPK avec RTKLib. Cette comparaison montre que les résultats obtenus avec RTKLib et Leica infinity sont très proches de telle façon que les deux profils en long sont quasiment superposés. Dans le traitement, il faut toutefois s'assurer que la position de la base est la même dans les deux cas de traitement.

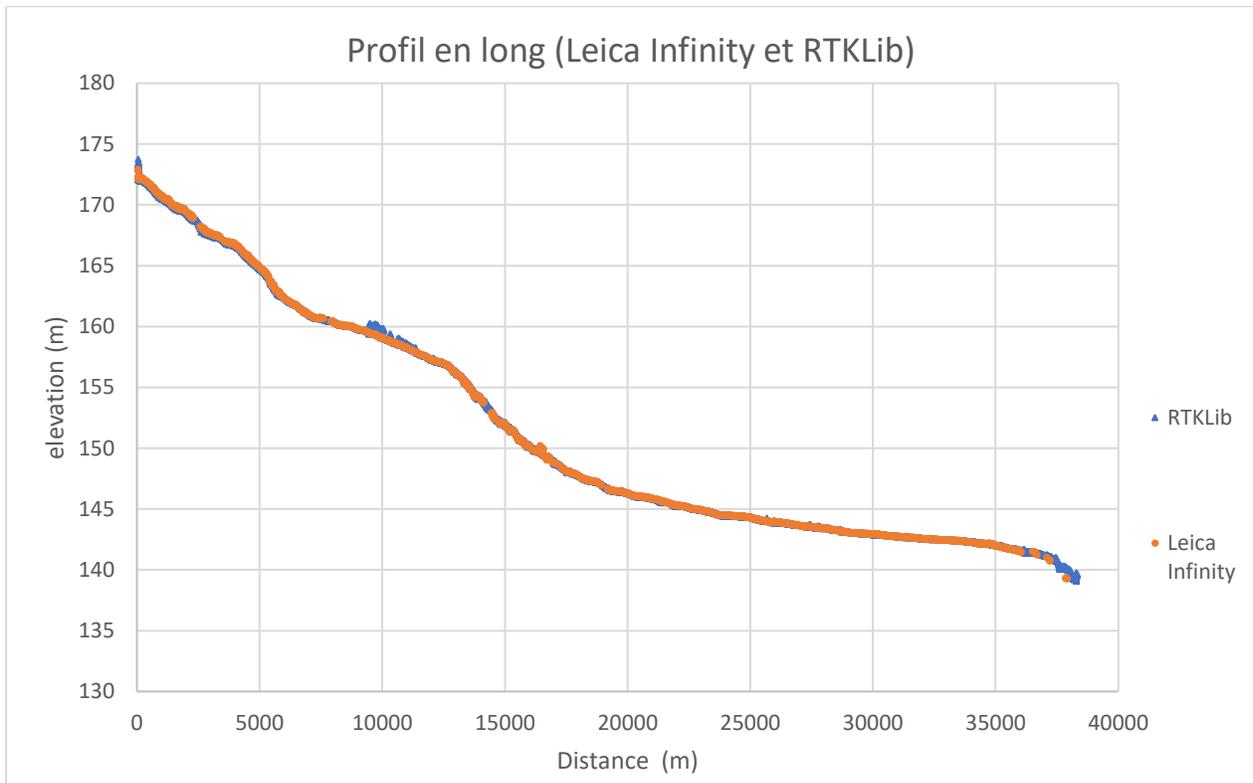


Figure 9 : Profil en long des résultats de traitement avec Leica Infinity et RTKLib

La Figure 10 représente le profil en long tracé par les résultats de traitement des données GNSS de la bouée HydroBall® avec Leica Infinity, avec un profil en long des points mesurés au kayak GNSS-RTK. Mis à part une partie du profil manquante dans le cas du GNSS-RTK au kayak causé par la présence de ponts, les deux profils sont quasiment superposés. Dans ce cas, la distance couverte par l'HydroBall® est estimée de 38 km tandis que la distance couverte par le kayak est proche de 35 km.

Les données brutes d'HydroBall® sont loin de ce qu'on représente dans cette figure. Leica Infinity apporte une bonne précision par rapport aux données GNSS traitées dans notre cas. Cette précision

est améliorée encore plus avec l'étape du post-traitement des résultats primaires. Par exemple, le taux de points fixés a augmenté de 75% jusqu'au 84.5% à la fin de l'étape du post-traitement. Plus il y a des points fixés sur la phase, plus la précision augmente dans le profil, tout en respectant une distance raisonnable par rapport à la base.

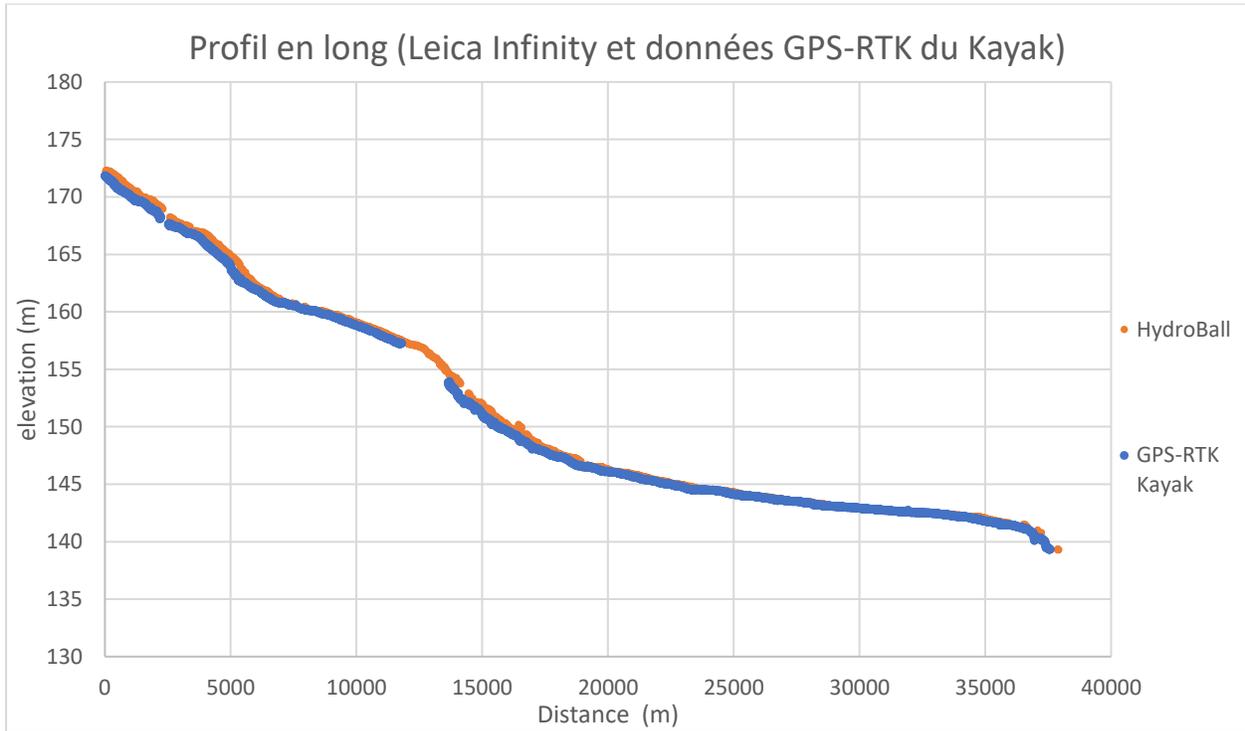


Figure 10 : Profil en long des résultats de traitement avec Leica Infinity et des points GNSS-RTK au kayak

Dans le tableau 1, l'écart entre l'altitude orthométrique d'un ensemble de points GNSS-RTK au Rive vs GNSS HydroBall® ne dépasse pas les 15 cm.

Pour l'écart entre les altitudes orthométriques du GNSS-RTK au Rive/ GNSS-RTK au kayak, l'écart prend une valeur maximale de 28 cm.

Tableau 1 : Calcul de l'écart entre différentes altitudes orthométriques

GNSS-RTK Rive			GNSS-RTK Kayak			Hydroball® (Leica)			Hydroball® (RTKLib)		
ID	Altitude (m)	CQ1D (m)	Altitude (m)	CQ1D (m)	Écart (m)	Altitude (m)	CQ1D (m)	Écart (m)	Altitude (m)	sd_u (m)	Écart (m)
1	172,03	0,026	171,87	0,028	-0,17	172,14	0,028	0,10	172,07	0,011	0,04
2	172,15	0,046	171,87	0,028	-0,28	172,14	0,028	-0,01	172,00	0,009	-0,15
3	167,30	0,030	167,36	0,026	0,06	167,38	0,030	0,08	167,29	0,013	-0,01
4	160,13	0,058	160,01	0,016	-0,12	159,97	0,014	-0,16	160,11	0,009	-0,02
5	160,26	0,015	160,18	0,026	-0,08	160,11	0,020	-0,15	160,10	0,010	-0,16
6	161,01	0,030	160,98	0,018	-0,04	160,93	0,021	-0,09	160,84	0,009	-0,17
7	161,07	0,024	160,97	0,019	-0,10	160,93	0,021	-0,14	160,70	0,009	-0,37
8	159,76	0,021	159,75	0,017	-0,01	159,71	0,012	-0,05	159,66	0,011	-0,10
9	159,65	0,026	159,64	0,029	-0,01	159,55	0,017	-0,10	159,56	0,013	-0,09
10	145,77	0,019	145,72	0,012	-0,04	145,73	0,013	-0,04	145,53	0,010	-0,24
11	145,01	0,020	144,97	0,013	-0,04	144,97	0,013	-0,04	144,87	0,008	-0,14

Pour comparer l'impact de la distance de station de base choisie, le traçage des profils en long de différentes configurations de base choisies est nécessaire afin de connaître la distance couverte des points fixés par rapport à la précision de l'altitude orthométrique, en se basant sur les valeurs du CQ_1D.

La Figure 11 représente le profil en long des résultats de traitement des données HydroBall® GNSS avec Leica Infinity, en utilisant la base de Sherbrooke et Magog. Dans ce cas, seuls les points fixés sur la phase sont considérés. Pour la base de Magog, le pourcentage de points fixés sur la phase est estimé de 74%, tandis que le pourcentage obtenu avec la base Sherbrooke arrive jusqu'au 84.5%. La base du Magog est éloignée d'une distance de 38 km par rapport à la zone d'étude, ceci implique un taux assez faible comme pourcentage de fixation des points avec l'absence des éphémérides précis dans la zone couverte par cette base. Vers la distance 20 km, les deux profils deviennent presque superposés, soit en s'approchant de la base de Magog.

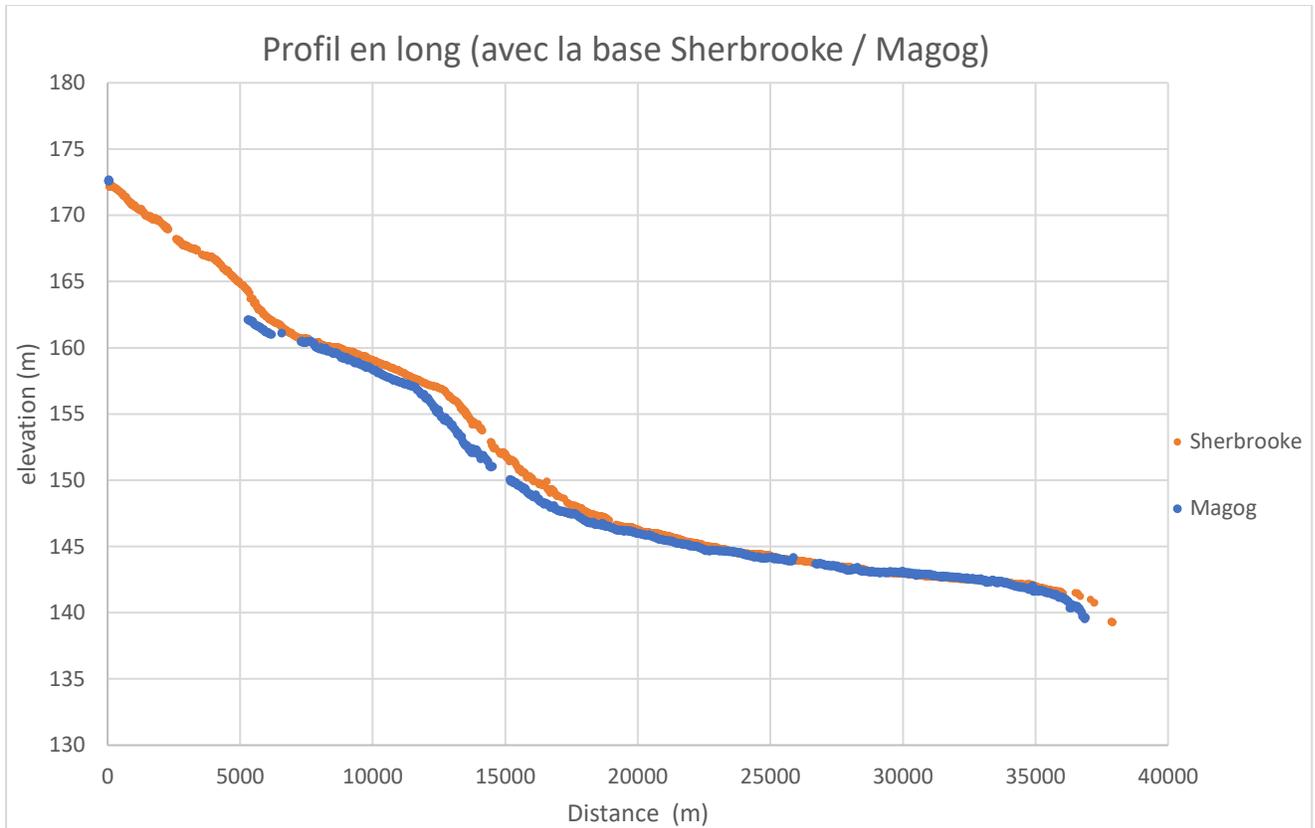


Figure 11 : Comparaison des deux profils en long des résultats de traitement avec Leica Infinity (Sherbrooke et Magog)

La Figure 12 représente le profil en long des résultats de traitement des données HydroBall® GNSS avec Leica Infinity, en utilisant la base de Sherbrooke et Granby. Pour cette base, la distance est de 80 km, mais le pourcentage de points fixés sur la phase arrive jusqu'au 90%. Ceci est expliqué par le fait que les éphémérides sont bien précises dans les orbites des bases GNSS : GLONASS et GPS. Pour pouvoir quantifier la valeur ajoutée d'un taux élevé des points fixés sur la phase, il faudrait voir le facteur CQ_1D. Tout au long des profils en long, les points sont vraiment superposés et la distance parcourue dans les deux cas est proche de 38 km.

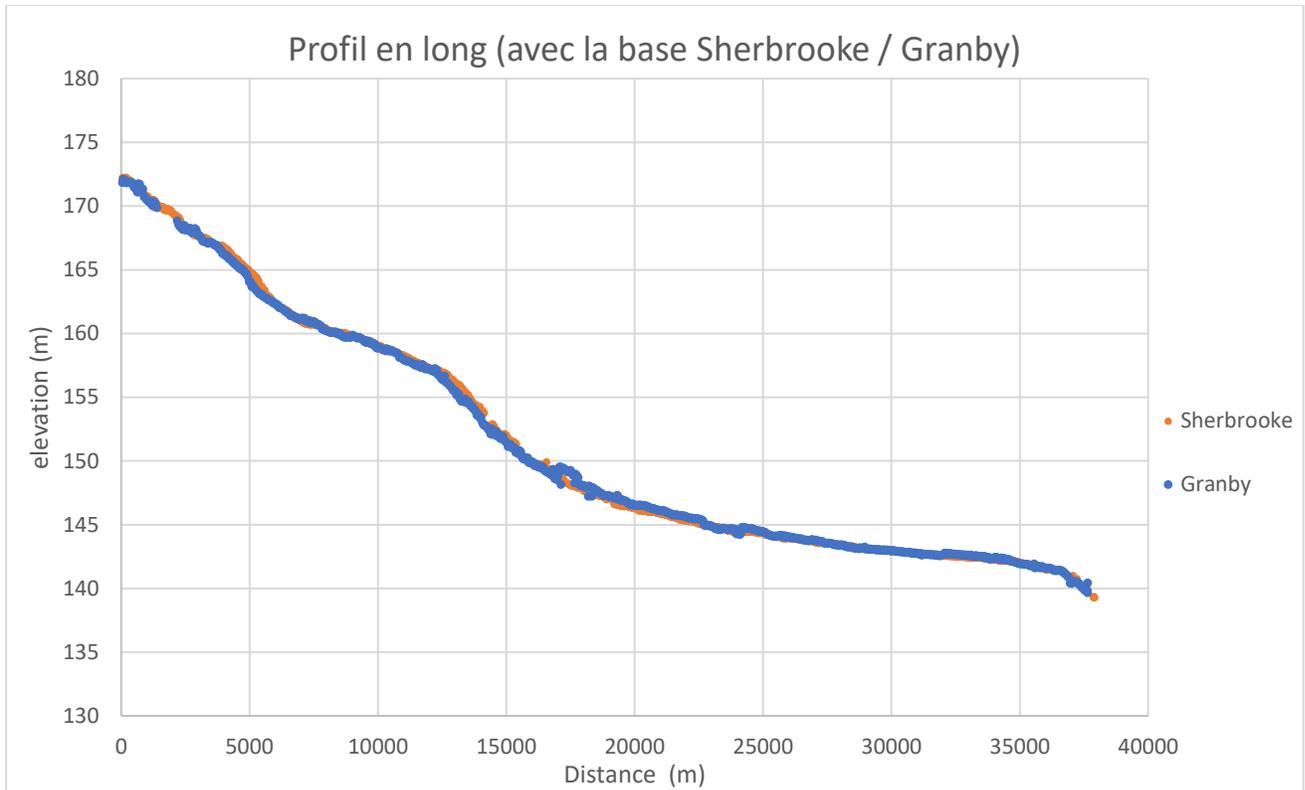


Figure 12 : Comparaison des deux profils en long des résultats de traitement avec Leica Infinity (Sherbrooke et Granby)

2. Précision de la qualité de mesures : CQ_1D

Le facteur CQ (Coordinate Quality), qui est donnée par la technologie Leica nous permet d'avoir une idée sur l'incertitude de la mesure. Dans cette partie, on fait référence au Tableau 1. Pour les données GNSS de l'HydroBall®, on remarque que la qualité des données est plus proche de 1 cm en s'approchant de la base GNSS de Sherbrooke (Figure 9). Pour le cas des données GNSS du kayak, 75% des données ne dépassent pas une incertitude de 2,5 cm, pour quelques points, le CQ_1D dans le cas de l'HydroBall® est plus précis. Les CQ_1D des points GNSS prises sur la rive arrivent jusqu'au 5 cm. Cette valeur peut être expliquée par la présence de végétation en rive, ce qui n'est pas le cas au milieu de la rivière.

Pour plus de détail sur la fréquence de répétition des valeurs des CQ_1D trouvés, les histogrammes présentés dans la Figure 13.

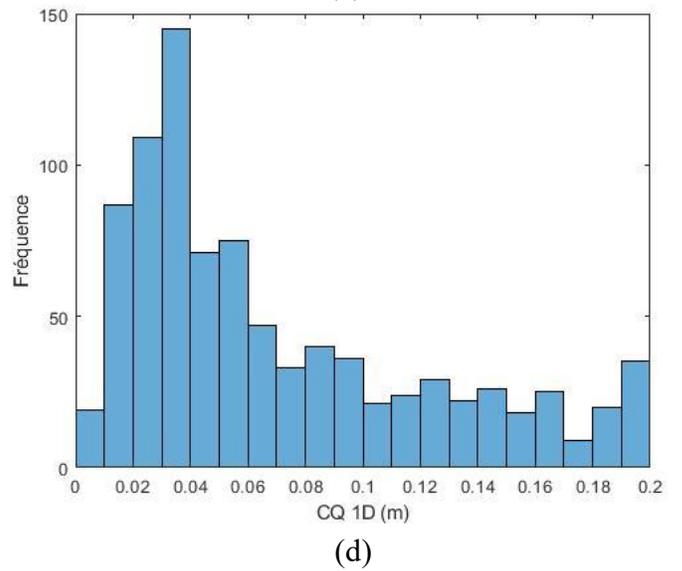
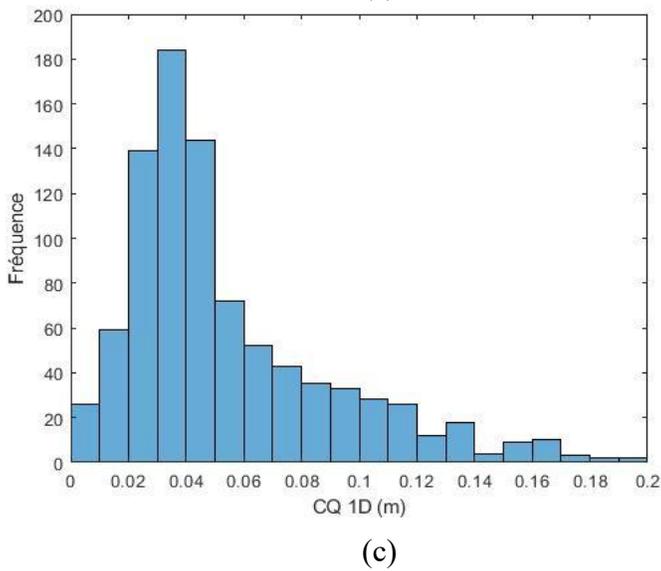
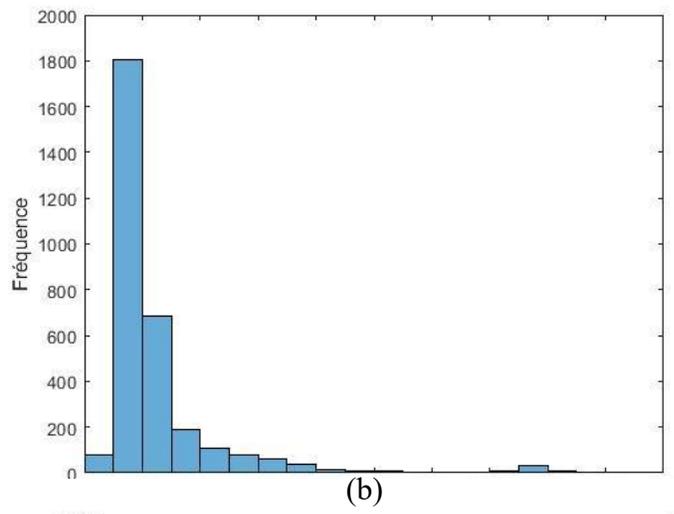
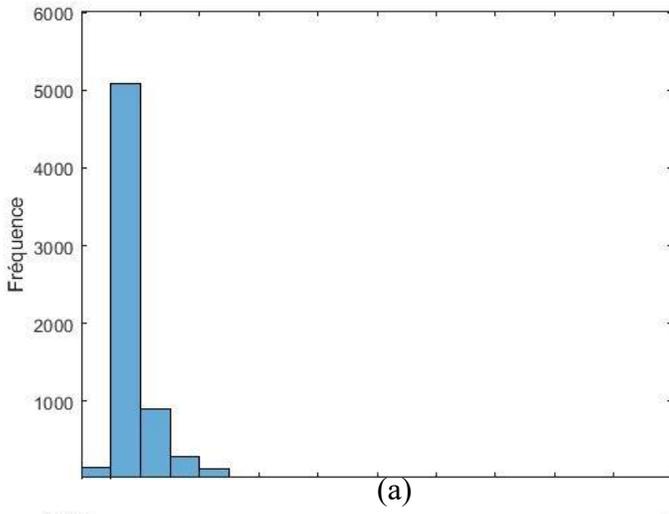


Figure 13 : Histogramme de fréquence des CQ_1D: (a) GNSS au Kayak; (b): HydroBall Sherbrooke; (c): HydroBall Magog; (d): HydroBall Granby

Selon les histogrammes, les valeurs du CQ_1D obtenus avec les GNSS-RTK au kayak occupe la fréquence la plus élevée avec une valeur entre 1 et 2 cm. La CQ_1D maximale est de 5 cm puisque les configurations lors de l'acquisition spécifiait de limiter la prise de mesure pour un CQ_1D inférieur à 5 cm. Pour le cas de l'HydroBall® (avec la base Sherbrooke), les valeurs les plus fréquentes du CQ_1D varient entre 1 et 4 cm. La tendance de l'histogramme de l'HydroBall® est

très proche de celui du GNSS au kayak. Si on compare la carte présentée dans la Figure 14 et celle dans la Figure 15, on peut voir que même dans la partie discontinue du trajet, la bouée HydroBall® présente des valeurs avec un CQ_1D près de 1 cm. Aussi, dans la partie avec la plus grande incertitude pour le trajet du GNSS au kayak, la bouée HydroBall® a été capable de fixer les points avec le moindre d'incertitude. Les parties manquantes du trajet dans la carte de l'HydroBall® est expliqué par le taux de fixation différent de 100%. La valeur maximale de CQ_1D pour le cas de traitement avec la base Sherbrooke est de 16 cm (quelques points en couleur orangé dans la carte).

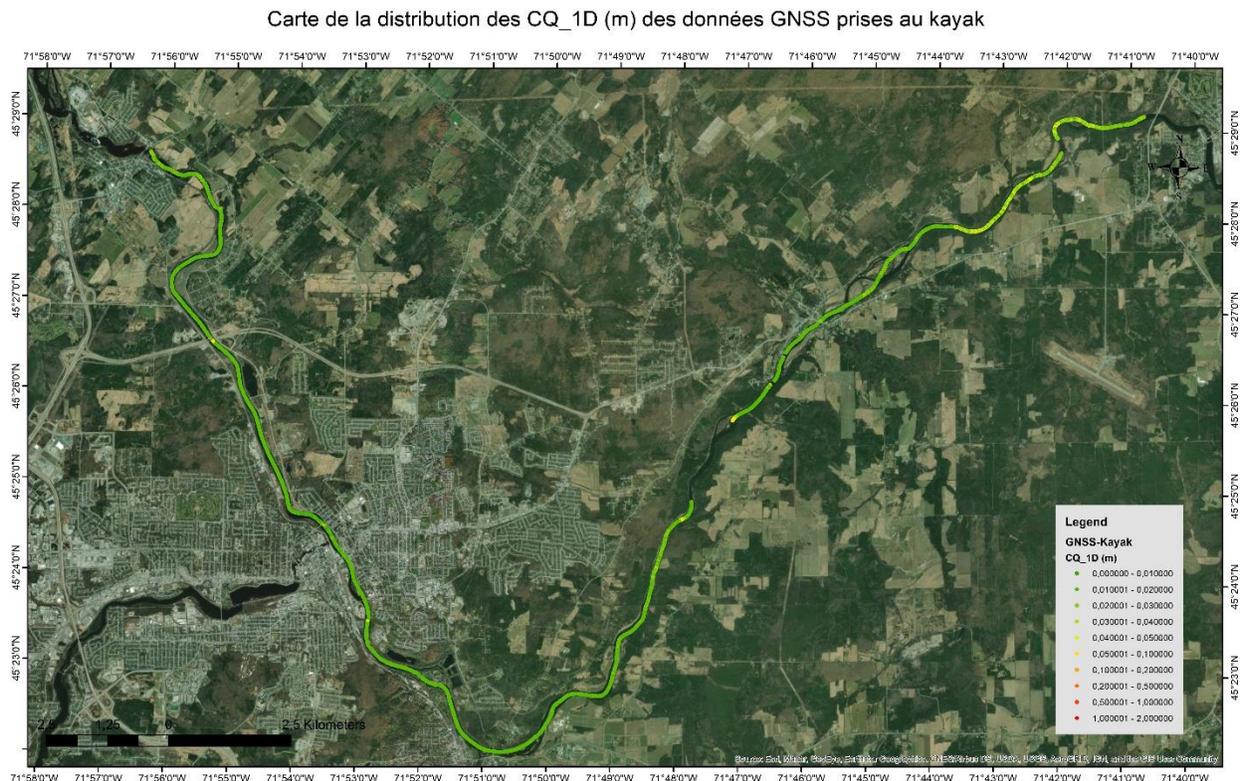


Figure 14 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS prises au kayak

Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall (base Sherbrooke)

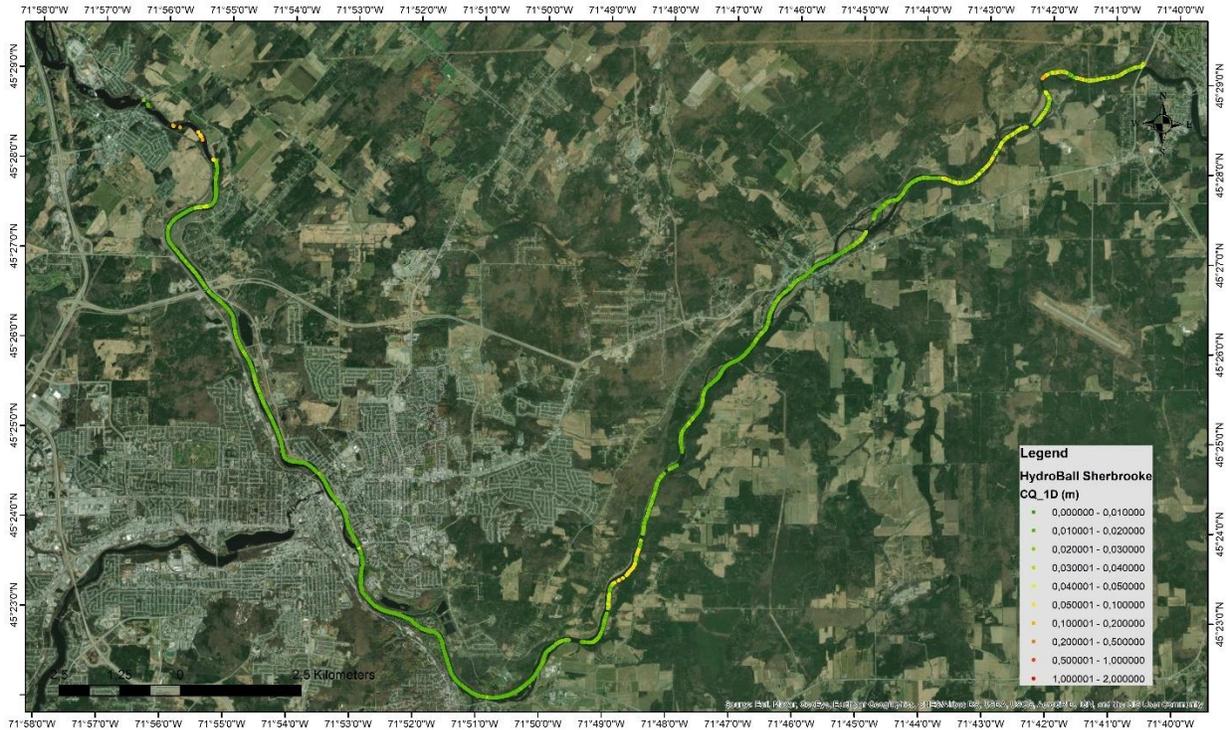


Figure 15 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall® (base Sherbrooke)

Pour le cas de la base de Magog, qui représente le taux de fixation de points le moins élevé dans cette étude, les valeurs de CQ_1D les moins récurrentes (queue de l'histogramme) sont plus élevées, elles peuvent atteindre la valeur de 50 cm dans quelques endroits (Figure 16). Ce constat est aussi confirmé par l'histogramme présenté dans la Figure 13 (c). Les valeurs les plus récurrentes varient entre 1 et 6 cm. C'est considéré comme plus élevé par rapport au cas traité par la base Sherbrooke, ce qui implique l'importance du choix d'une base proche du site d'étude choisie.

Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall (base Magog)

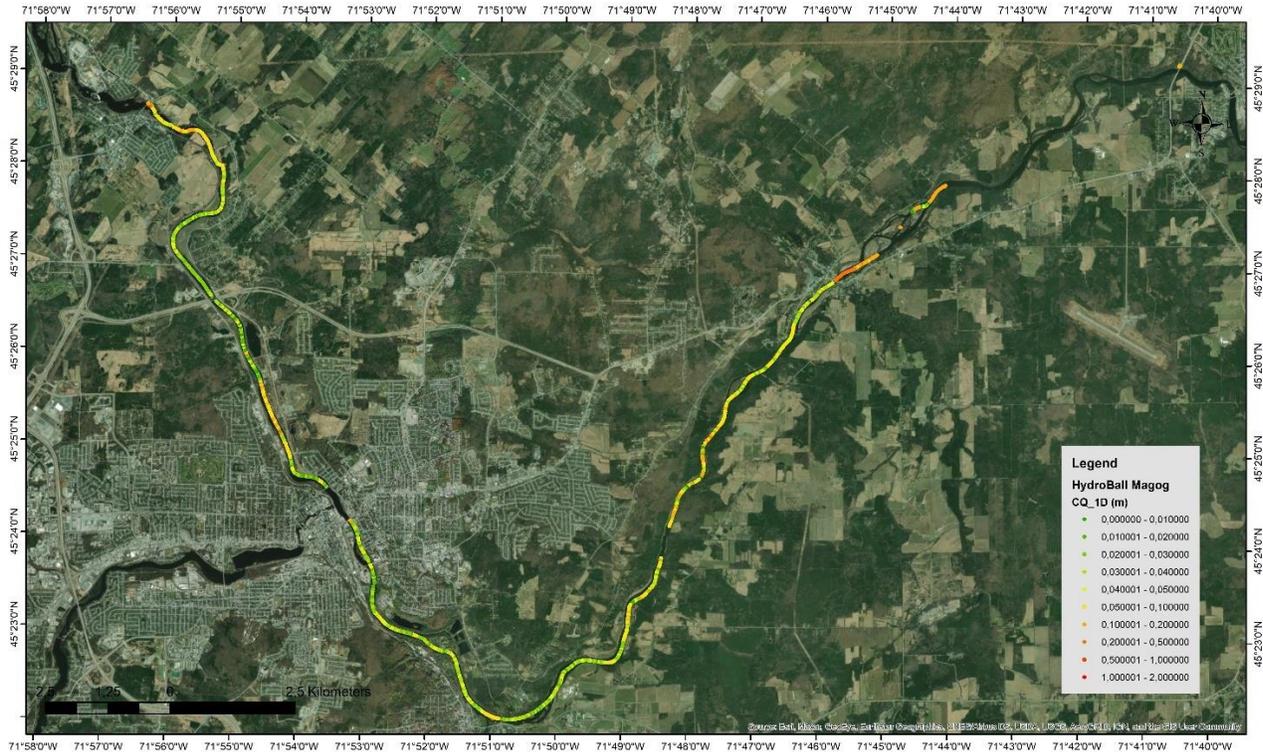


Figure 16 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall® (base Magog)

Dans l'histogramme présenté dans la Figure 13 (d), malgré que le traitement avec la base Granby atteint un taux de points fixés (90%) plus élevé même que celui avec la base Sherbrooke (84.5%) et Magog (73%), les valeurs de CQ_1D sont beaucoup plus élevées que dans les autres cas. Les valeurs dans ce cas varient entre 2 et 18 cm presque équitablement, ceci implique que le taux de fixation des points GNSS n'est pas le facteur principal de choix de base. Dans la Figure 17, il est clair que les CQ_1D peuvent même dépasser le 1 m avec une base assez loin de la zone d'étude choisie (éloignée de 80 km).

Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall (base Granby)

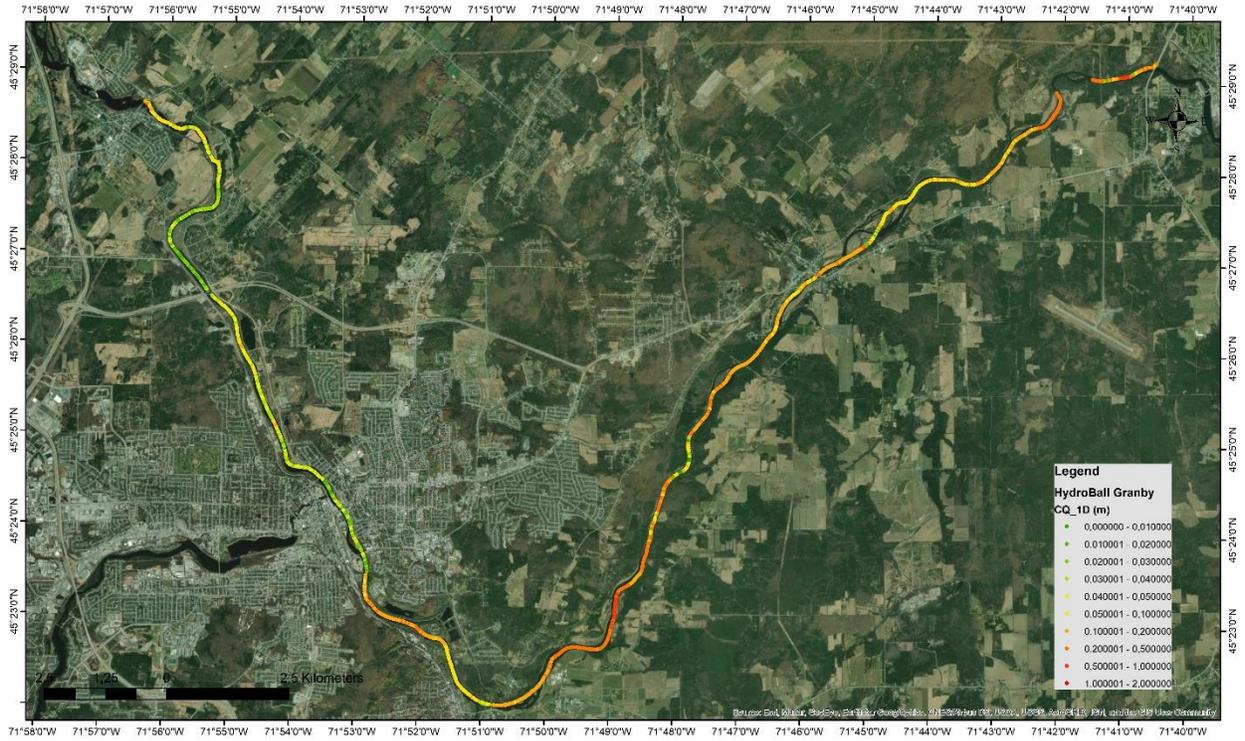


Figure 17 : Carte de la distribution des CQ_1D (m) des données GNSS de l'HydroBall® (base Granby)

VII. Conclusion

La technologie du géopositionnement par les GNSS a montré une valeur ajoutée par rapport aux besoins dans le domaine de la modélisation hydraulique et la détermination de la plaine inondable, plus précisément en termes de mesures du niveau d'eau. Ce cas d'étude est un exemple qui montre la plus-value des GNSS dynamiques pour les zones à accès difficile ou parfois impossible.

A travers cette étude comparative, il a été démontré que les mesures faites par la bouée GNSS HydroBall® sont satisfaisantes, en comparaison par rapport aux résultats obtenus à travers une campagne terrain réalisée en utilisant un GNSS-RTK sur un kayak dans la rivière et des points mesurés en rive. Les données ont été traitées par Leica Infinity et RTKLib. Le traitement par Leica Infinity a été fait avec trois bases GNSS : Sherbrooke, Magog et Granby caractérisées par des distances différentes par rapport au tronçon de la rivière choisi (500 m, 38 km et 80 km respectivement). Il a été confirmé que la distance par rapport à la base a un impact très important en termes de qualité de mesures orthométriques. Plus la base est proche de la zone d'étude, plus la valeur de CQ_1D est faible (proche de 2 cm).

Pour le cas de la base Sherbrooke, les valeurs du CQ_1D sont plutôt proches de 1 à 2 cm pour la majorité des points fixés sur la phase. Pour celle du Magog, ces valeurs peuvent arriver jusqu'à 6 cm. Finalement, pour la base Granby la plus éloignée de la rivière, les valeurs du CQ_1D peuvent atteindre 1 m pour quelques points. Cette base a présenté le taux de fixation le plus élevé (90%), tandis que les valeurs de CQ_1D dans ce cas sont inacceptables (dépassent 1 m dans certains cas). Il faut encore mentionner que les mesures du GNSS-RTK au kayak sont détectées tout en fixant 5 cm comme une valeur plafond pour le CQ_1D, les points qui dépassent cette incertitude n'étaient pas enregistrés.

Il est à noter que l'incertitude ici ne prend pas en compte les variations de la distance entre les GNSS (Leica ou HydroBall®) et la surface de l'eau. Cette distance a été mesurée avant le départ alors que le trimaran n'était pas en mouvement. Il est donc important de limiter la vitesse de déplacement à une vitesse similaire de celle de l'eau afin d'éviter que le trimaran s'enfonce dans l'eau et modifie la distance entre le GNSS et la surface de l'eau. Finalement, il est proposé d'investiguer la possibilité de combiner des bases GNSS avec Leica infinity, particulièrement dans des situations où il n'y a pas de base GNSS à proximité.

VIII. Références

CIDCO (s.d.). HydroBall® Cartographier l'inaccessible devient maintenant possible. <https://www.cidco.ca/recherche-et-developpement/hydroball>.

Ressources Naturelles Canada (1993). *Guide pour le positionnement GPS*. Gouvernement du Canada, division des levés géodésiques. Ottawa (Canada). 120 p.

Wang, C., Feng, Y., Higgins, M., & Cowie, B. (2010). Assessment of commercial network RTK user positioning performance over long inter-station distances. *Journal of Global Positioning Systems*, 9(1), 78-89.

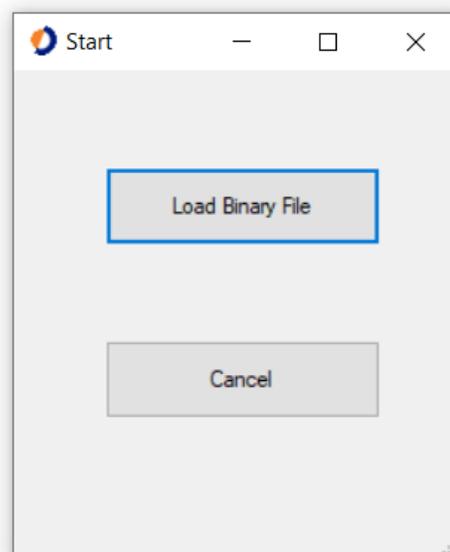
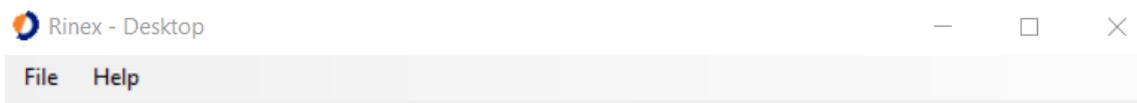
IX. ANNEXES

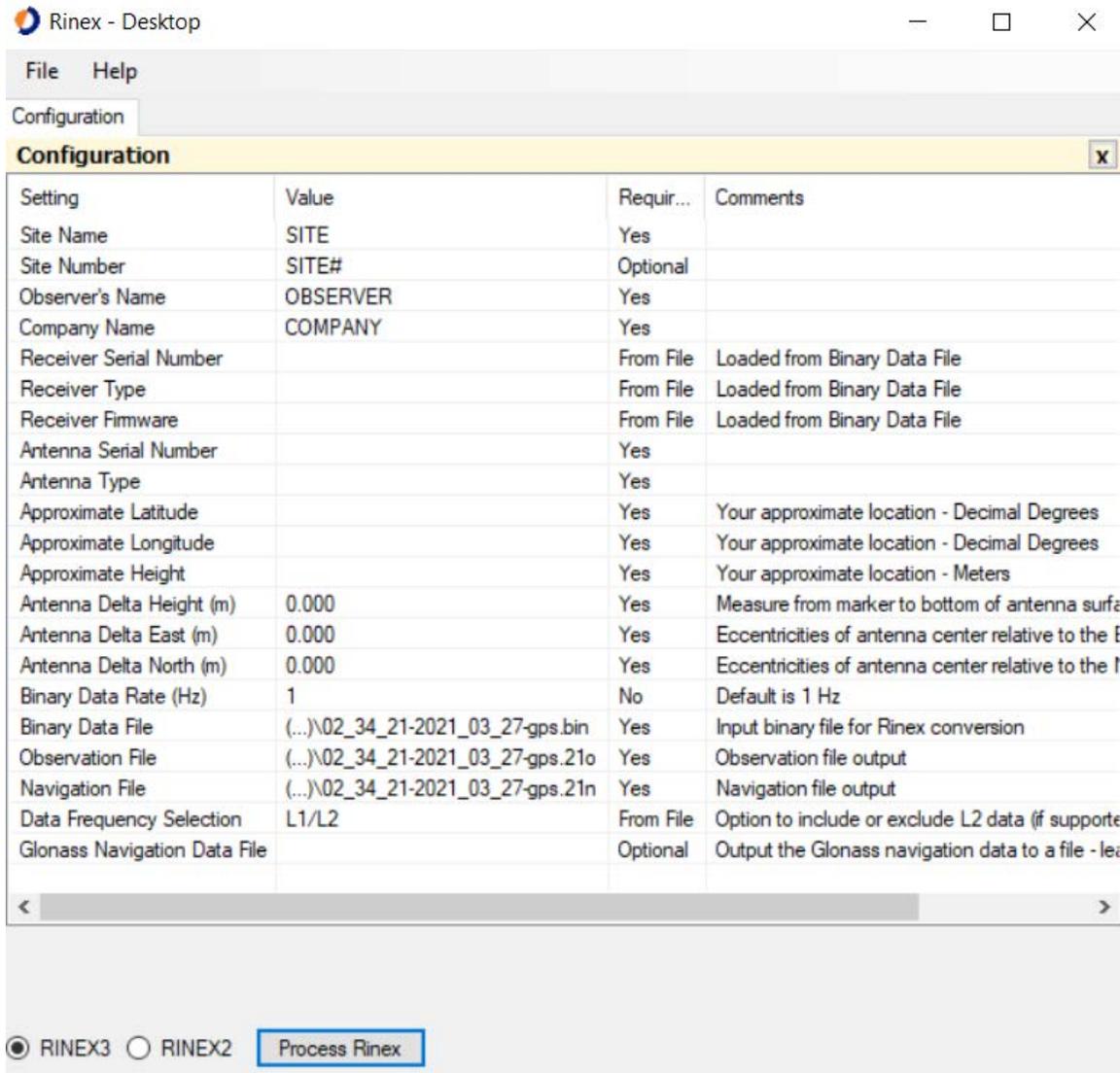
Annexe 1 : Protocole de traitement avec Leica Infinity

1. Les données de base téléchargée doivent être changés en format RINEX. Pour ce faire, on utilise RINEX Desktop : <https://www.hemispheregns.com/firmware-software/>
 - Ouvrir Rinex Desktop : File => New profile



- Load Binary File





- RINEX3 => Process Rinex

- Il faut ensuite modifier manuellement le fichier RINEX afin qu'il soit reconnu comme dynamique. La première ligne suivant la fin de l'entête (END OF HEADER) doit être modifiée. L'avant dernier chiffre doit être modifier de 0 à 2.

```

1 3.02 OBSERVATION DATA M RINEX VERSION / TYPE
2 G = GPS R = GLONASS C = BDS M = MIXED COMMENT
3 RINEXSLX3 3.2.3 HEMISPHERE 20211014 220242 UTC PGM / RUN BY / DATE
4 OBSERVER COMPANY OBSERVER / AGENCY
5 SITE MARKER NAME
6 SITE# MARKER NUMBER
7
8 0 REC # / TYPE / VERS
9 1388852.2054 -4259280.0956 4524802.9940 RCV CLOCK OFFS APPL
10 APPROX POSITION XYZ
11 0.000 0.000 0.000 ANT # / TYPE
12 1.000 ANTENNA: DELTA H/E/N
13 G 6 L1C C1C D1C L2Y C2Y D2Y INTERVAL
14 R 6 L1C C1C D1C L2C C2C D2C SYS / # / OBS TYPES
15 C 9 L2I C2I D2I L7I C7I D7I L6I C6I D6I SYS / # / OBS TYPES
16 2021 3 27 14 9 54.000000 GPS TIME OF FIRST OBS
17 2021 3 27 19 19 29.000001 GPS TIME OF LAST OBS
18 24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 -6 GLONASS SLOT / FRQ #
19 R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FRQ #
20 R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FRQ #
21 C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 GLONASS COD/PHS/BIS
22 END OF HEADER
23 > 2021 3 27 14 9 54.0000000 0 11

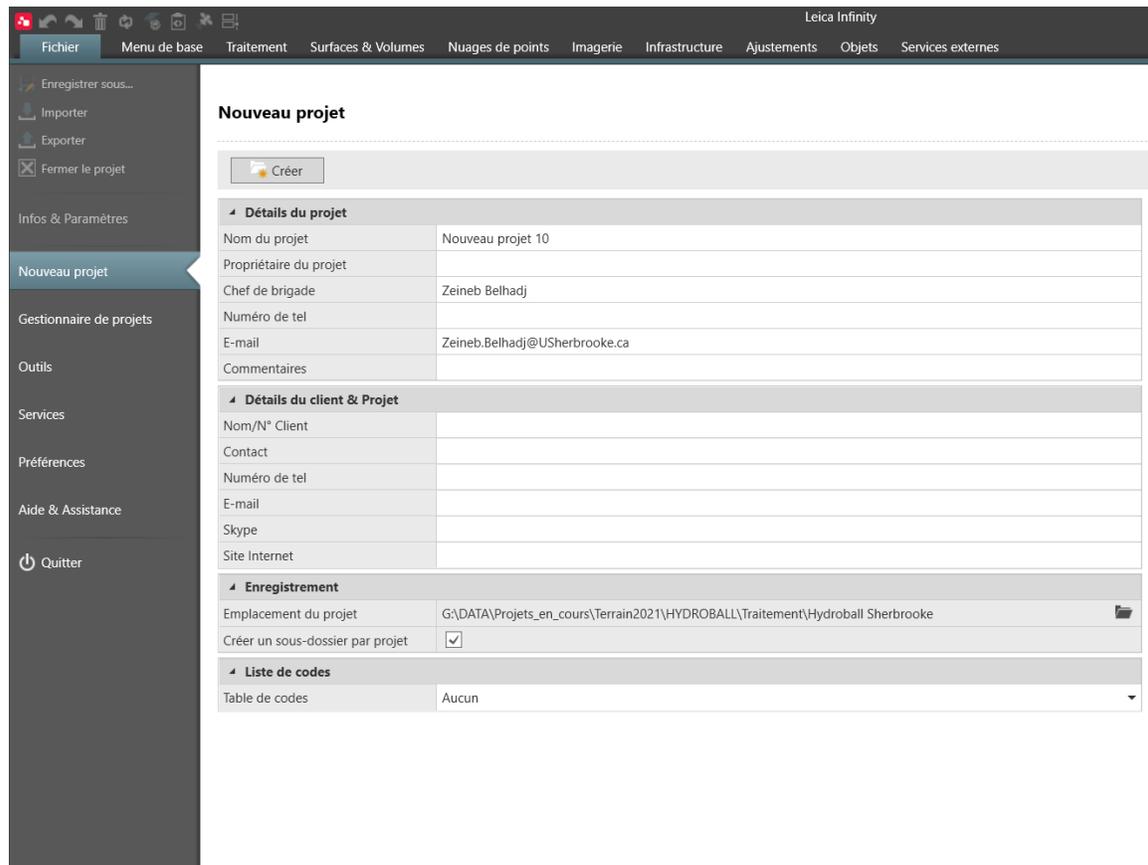
```

```

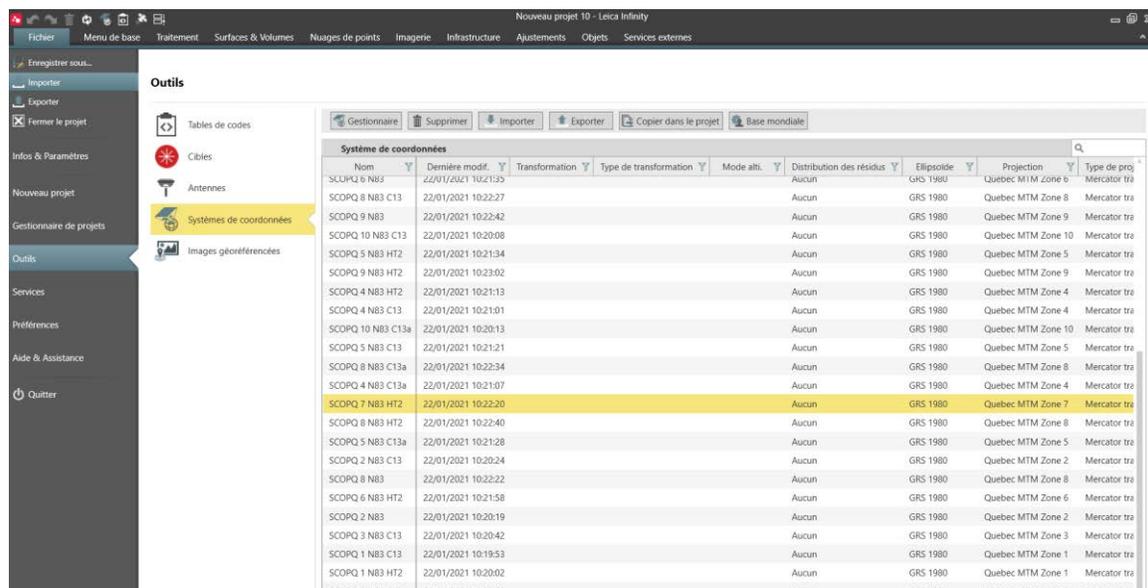
1 3.02 OBSERVATION DATA M RINEX VERSION / TYPE
2 G = GPS R = GLONASS C = BDS M = MIXED COMMENT
3 RINEXSLX3 3.2.3 HEMISPHERE 20210615 182932 UTC PGM / RUN BY / DATE
4 OBSERVER COMPANY OBSERVER / AGENCY
5 SITE MARKER NAME
6 SITE# MARKER NUMBER
7
8 0 REC # / TYPE / VERS
9 1388852.2054 -4259280.0956 4524802.9940 RCV CLOCK OFFS APPL
10 APPROX POSITION XYZ
11 0.000 0.000 0.000 ANT # / TYPE
12 1.000 ANTENNA: DELTA H/E/N
13 G 6 L1C C1C D1C L2Y C2Y D2Y INTERVAL
14 R 6 L1C C1C D1C L2C C2C D2C SYS / # / OBS TYPES
15 C 9 L2I C2I D2I L7I C7I D7I L6I C6I D6I SYS / # / OBS TYPES
16 2021 3 27 14 9 54.000000 GPS TIME OF FIRST OBS
17 2021 3 27 19 19 29.000001 GPS TIME OF LAST OBS
18 24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 -6 GLONASS SLOT / FRQ #
19 R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FRQ #
20 R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FRQ #
21 C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 GLONASS COD/PHS/BIS
22 END OF HEADER
23 > 2021 3 27 14 9 54.0000000 2 11

```

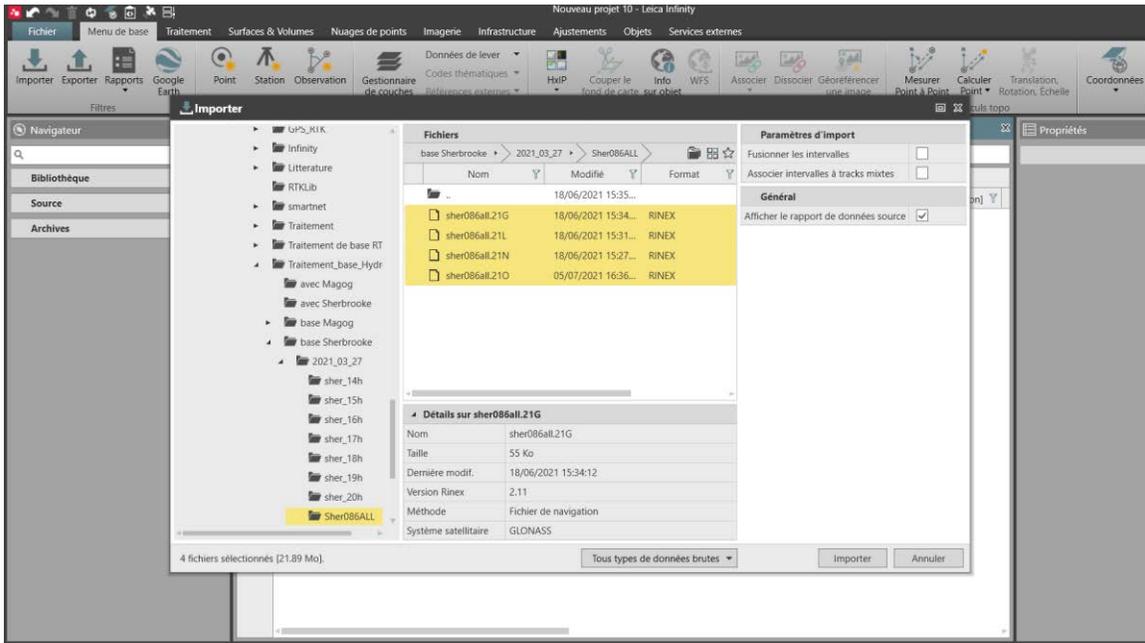
3. A cette étape, on peut créer un nouveau projet dans Leica Infinity



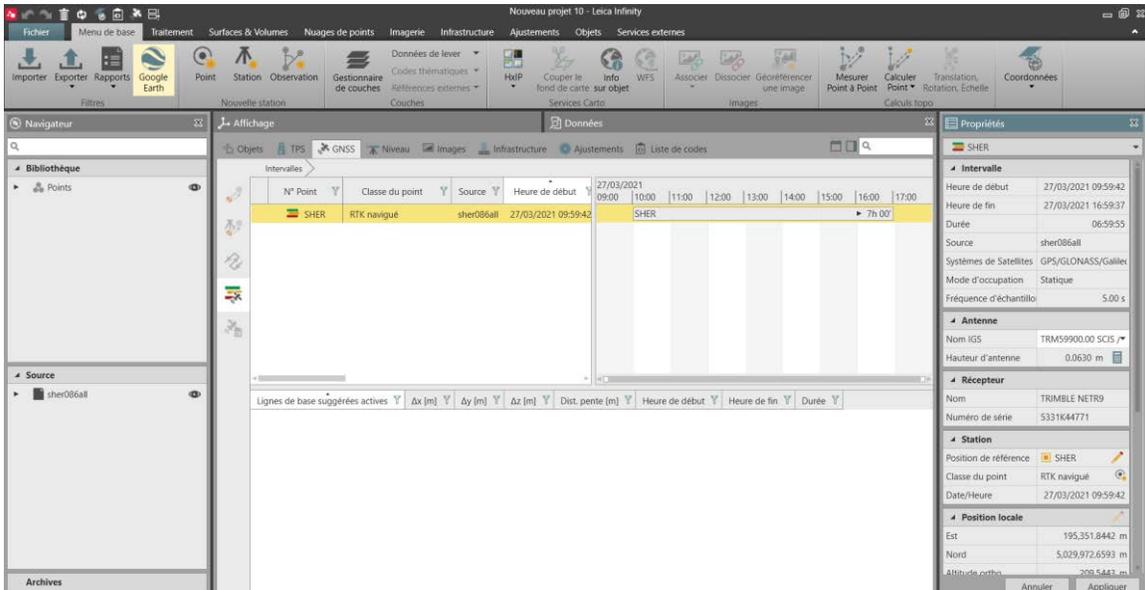
4. Importer le bon système de coordonnées pour le projet => Copier dans le projet



5. Dans le menu de base => Importer les fichiers de base en format RINEX



6. Dans données => GNSS; on peut voir nos données importées



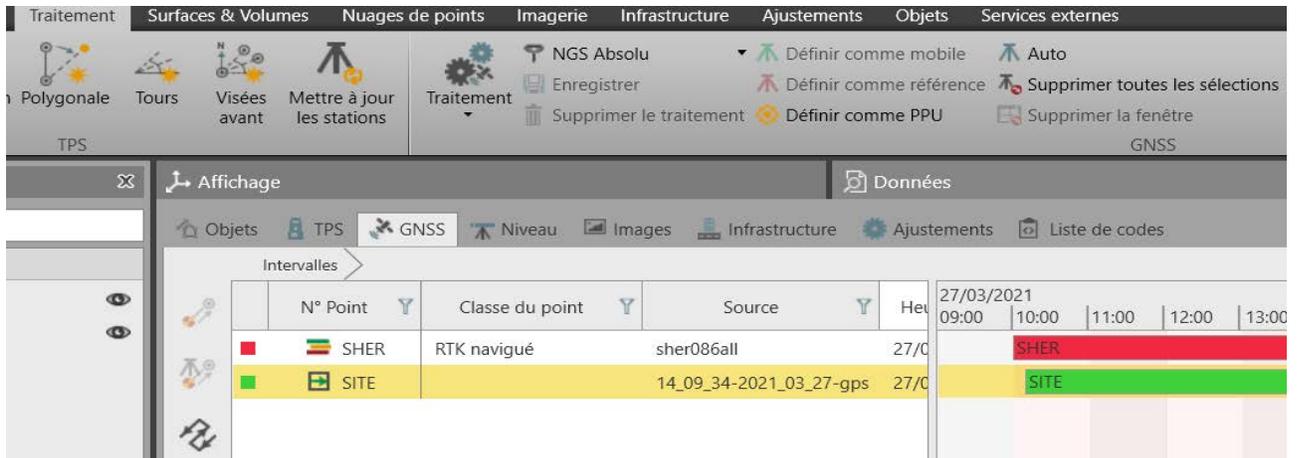
7. Dans l'onglet propriétés, on peut voir que la majorité des caractéristiques comme l'antenne et la position sont automatiquement sélectionnés du fichier importé, avec un mode d'occupation statique.



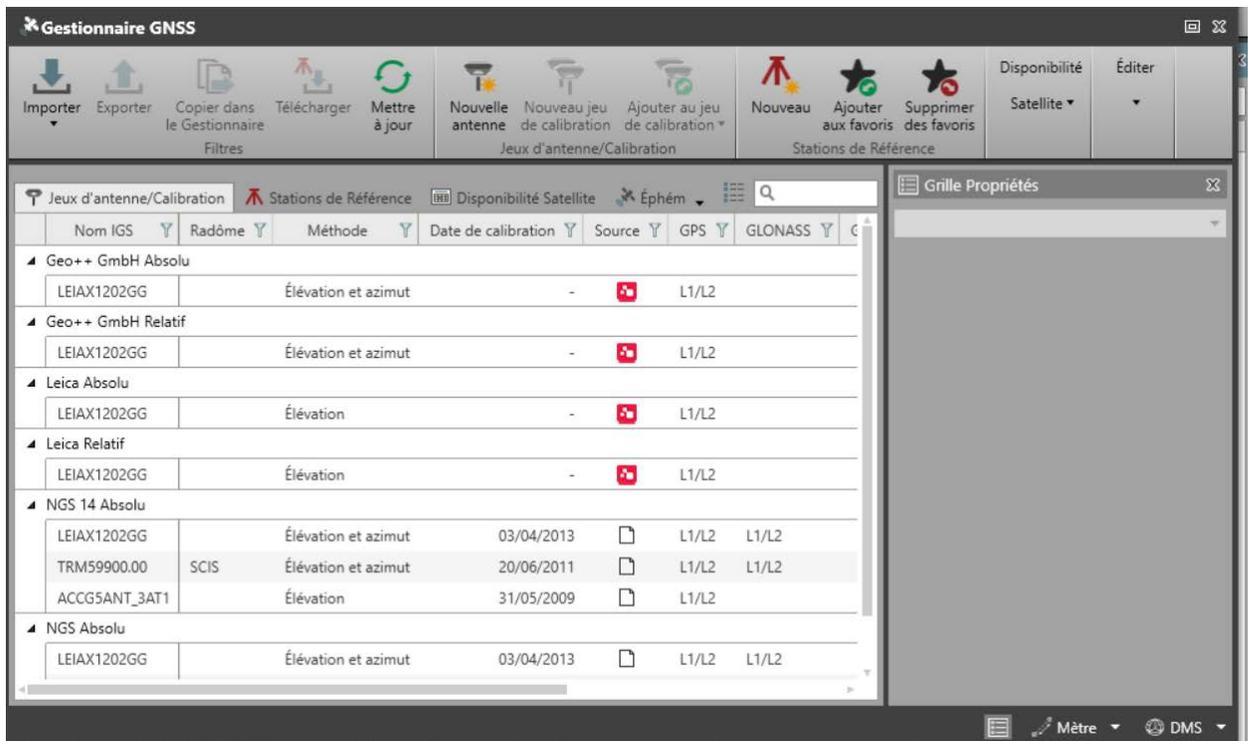
8. Dans l'onglet traitement, on doit préciser la base mobile et celle de référence



9. On peut faire un traitement de base. Avec les données Hydroball, il faut préciser l'antenne (ACCG5ANT_3AT1) : traitement => Traitement et analyse

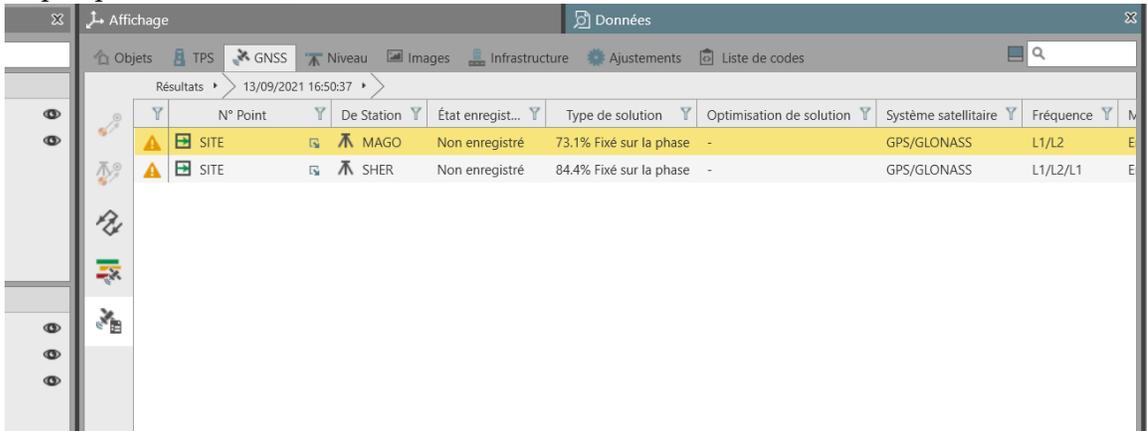


10. Avec le gestionnaire GNSS, on peut vérifier les antennes marqués dans le projet

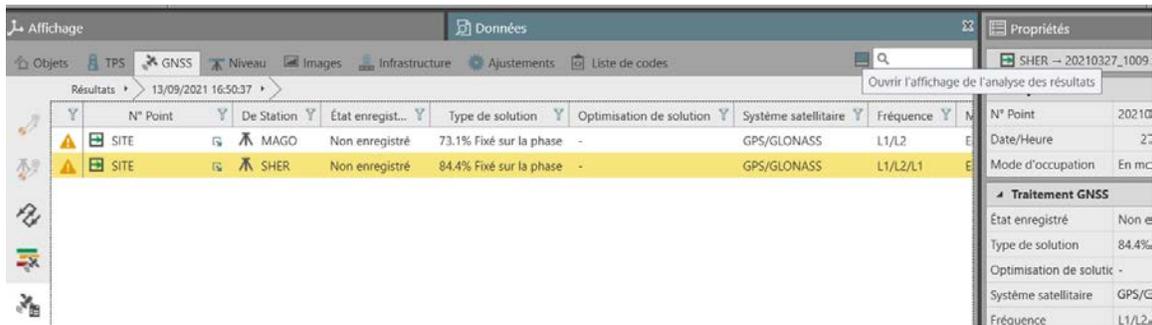


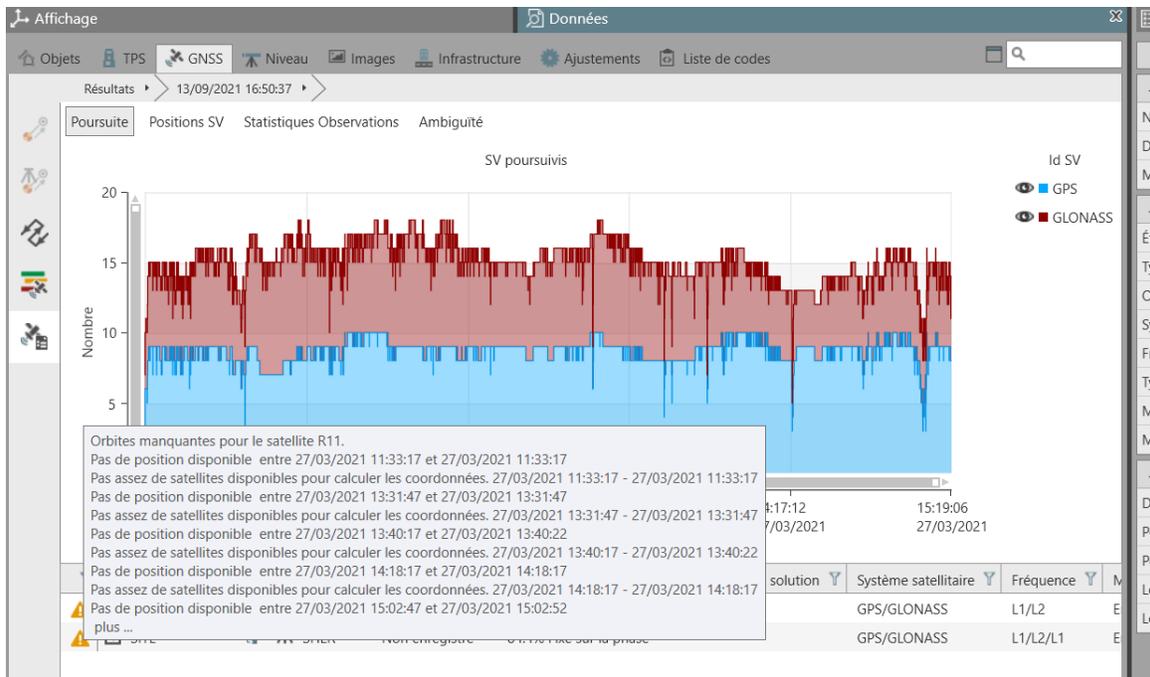
11. Les résultats s'affichent ici. Le signe  indique des erreurs ou des données manquantes : des éphémérides non précises, des données manquantes et des précisions pour la prochaine

étape : post-traitement; le but dans ce cas est d'obtenir un traitement avancé de tes données

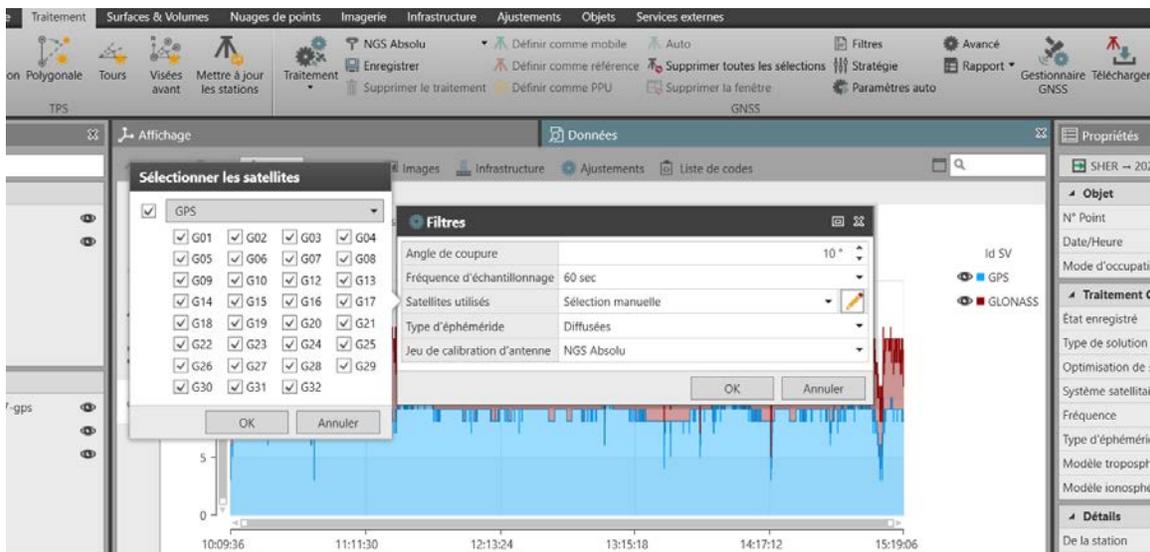


12. D'abord, on doit afficher nos résultats détaillés avec des graphiques, pour ce faire, cliquer sur l'icône : ouvrir l'affichage des résultats





13. La première étape dans le traitement avancé, est d'enlever les orbites des satellites qui ne sont pas détectés dans le cas de notre traitement : Traitement => Filtres => Sélection manuelle => Décocher les orbites convenables



14. Dans le même onglet de Traitement => Filtres, on peut aussi choisir une autre fréquence pour les données. Chaque changement dans cette étape nécessite une autre fois de choisir appliquer => Traitement => analyse et traitement. Les résultats s'affichent comme suit

Affichage | Données

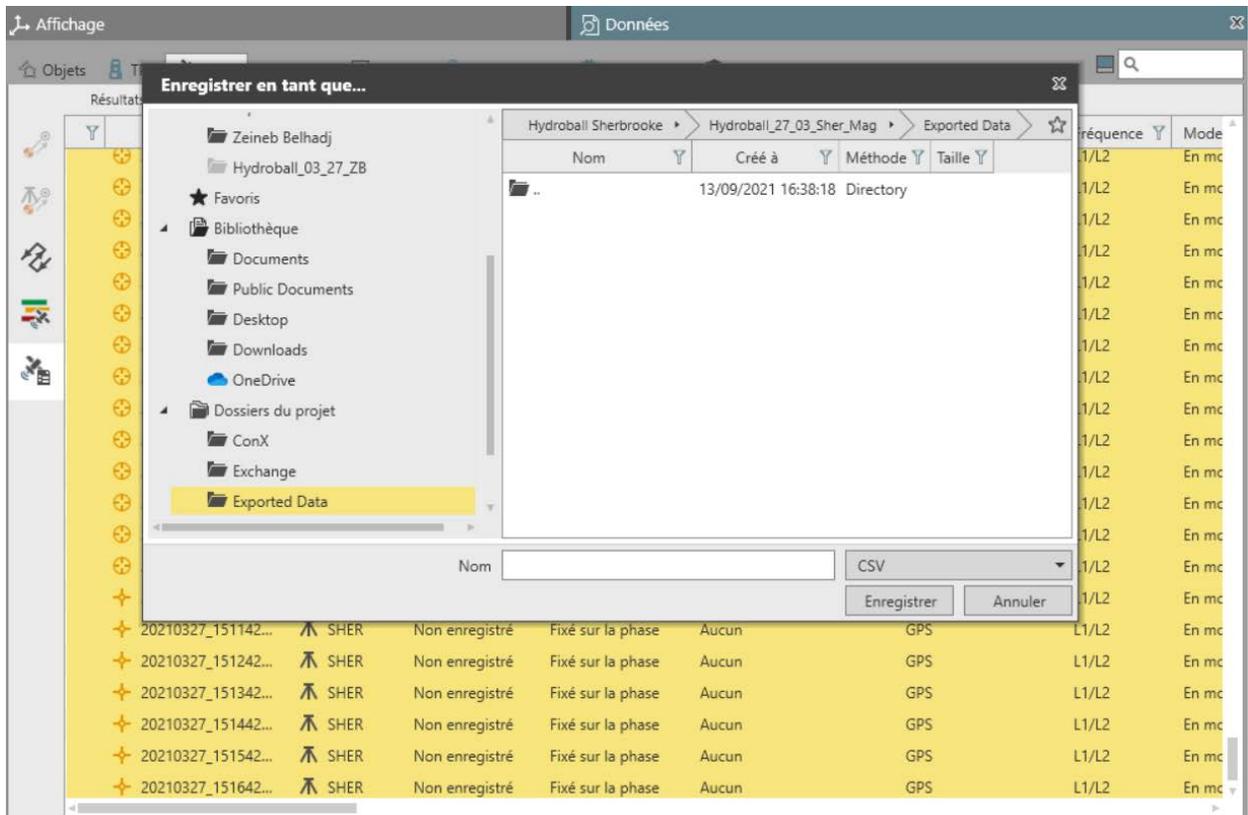
Objets | TPS | GNSS | Niveau | Images | Infrastructure | Ajustements | Liste de codes

Résultats | 11/10/2021 23:43:45

N° Point	De Station	État enregistr...	Type de solution	Optimisation de solution	Système satellitaire	Fréquence	Mode
20210327_145641...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_145742...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_145842...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_145942...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150042...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150142...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150241...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150342...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150442...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150541...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150642...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150742...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150842...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_150941...	SHER	Non enregistré	Code	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_151042...	SHER	Non enregistré	Fixé sur la phase	Aucun	GPS	L1/L2	En mc
20210327_151142...	SHER	Non enregistré	Fixé sur l		GPS	L1/L2	En mc
20210327_151242...	SHER	Non enregistré	Fixé sur l		GPS	L1/L2	En mc
20210327_151342...	SHER	Non enregistré	Fixé sur l		GPS	L1/L2	En mc
20210327_151442...	SHER	Non enregistré	Fixé sur l		GPS	L1/L2	En mc
20210327_151542...	SHER	Non enregistré	Fixé sur l		GPS	L1/L2	En mc
20210327_151642...	SHER	Non enregistré	Fixé sur l		GPS	L1/L2	En mc

Enregistrer
Supprimer le traitement
Rapports
Ouvrir dans une nouvelle fenêtre
Enregistrer en tant que...
Sélectionner les colonnes...

15. Pour exporter les résultats, il faut sélectionner tout le tableau, enregistrer en tant que => Fichier .csv. Le champ CQ_1D n'est pas affiché par défaut, il faut donc l'ajouter.



16. On mentionne que les étapes de post-traitement peuvent être plus développés selon le cas d'étude et les erreurs marqués. Pour plus de détails, consulter le document officiel suivant : (<https://leica-geosystems.com/-/media/539597242bfa46b99d1366acae90d133.ashx>)

Environnement

Hydrologie

Hydraulique urbaine

Hydraulique fluviale

Hydrogéomorphologie

Cartographie des plaines inondables

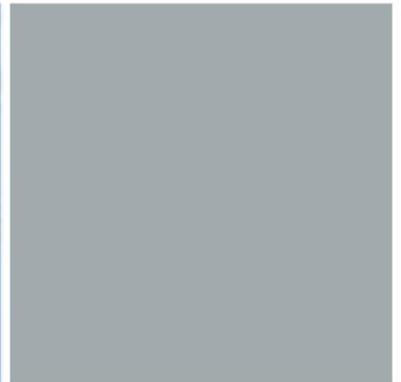
Instrumentation et services techniques

Assistance technique pour dossiers judiciairisés

Développement de logiciels



GATINEAU, QC
MONTREAL, QC
OTTAWA, ON
PARIS, ON
QUEBEC, QC



S JFSA
.com

455 Montée Paiement, local 130,
Gatineau (Québec), J8P 0B1
Tél.: 1-888-688-4966