



Gouvernement
du Canada

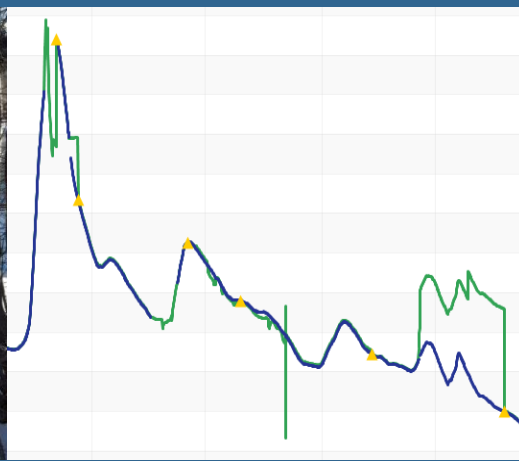
Government
of Canada

Manuel pratique de levés hydrométriques

Mesure de niveau d'eau



Relevés hydrologiques du Canada
Environnement et Changement climatique Canada
qSOP-NA008-02-2019



Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Autorité responsable : Relevés hydrologiques du Canada
Direction générale de la surveillance météorologique et environnementale
Publication autorisée par le sous-ministre adjoint,
Service météorologique du Canada

Auteur : Stéphanie Moore

Sauf avis contraire, le contenu de ce document peut, sans frais ni autre permission, être reproduit en tout ou en partie et par quelque moyen que ce soit à des fins personnelles ou publiques, mais non à des fins commerciales.

On vous demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par le gouvernement du Canada et que la reproduction n'a pas été faite en association avec le gouvernement du Canada ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites sans l'autorisation écrite de l'administrateur des droits d'auteur de la Couronne du gouvernement du Canada, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec TPSGC au 613-996-6886 ou à l'adresse droitdauteur.copyright@tpsgc-pwgsc.gc.ca.

Photographies : © Environnement et Changement climatique Canada

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par la ministre de l'Environnement, 2019

English version also available.

Page couverture avant

À gauche : Mesure directe du niveau d'eau (photo prise par Pat Maltais)

Au centre : Exemple de données de capteur de niveau d'eau problématiques montrant des données brutes (en vert) et des données corrigées (en bleu) comparées aux mesures prises sur le terrain (triangles) (image produite par François Rainville)

À droite : Mesure de la hauteur de l'orifice ou du capteur (photo prise par Wade Hannah)

Page couverture arrière

À gauche : Capteur radar de niveau d'eau (photo prise par Malysa Maurer)

Au centre : Photo historique (source inconnue)

À droite : Ben Lambert plaçant la mire pour une mesure directe du niveau d'eau (photo prise par Aaron Donohue)

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Historique de révision du document

Version	Date	Source	Description/justification des modifications
1.0	1983	DRI, DRE, EC	Publication initiale
1.1	2008	Adm. centrale de RHC, EC	Reformatage en document électronique
2.0	2019	Bureau national	Mise à jour pour inclure la technologie et les méthodes actuelles

1. Table des matières

Avant-propos	4
Glossaire.....	5
1. Introduction	6
2. Surveillance en continu au moyen de capteurs de niveau d'eau automatisés	6
2.1 Fréquence de mesure et d'enregistrement	6
2.2 Limnimètres à flotteur	7
2.2.1 Exigences pour les puits de mesurage et leurs conduites d'amenée	7
2.3 Capteurs de pression	9
2.3.1 Capteurs de pression non submersibles	9
2.3.2 Capteurs de pression submersibles	12
2.4 Capteurs sans contact	13
2.4.1 Capteurs radar	13
2.5 Capteurs de niveau d'eau intégrés à des courantomètres acoustiques Doppler	14
2.6 Choix d'un capteur de niveau d'eau	14
2.6.1 Justification de l'utilisation de deux capteurs.....	16
3. Mesures de référence du niveau d'eau	16
3.1 Mesure directe du niveau d'eau	17
3.2 Échelle limnimétrique verticale	18
3.3 Échelle limnimétrique inclinée.....	19
3.4 Points de référence et points de mesure.....	19
3.5 Limnimètre à fil lesté	19
3.6 Limnimètre à contact électrique.....	20
4. Méthodes de mesure du niveau d'eau maximal entre les visites	20
4.1 Limnimètre à maximum	21
4.2 Laises de hautes eaux.....	22
4.2.1 Détermination de niveau par des piquets et des photos	24
5. Conception et planification d'une station	25
6. Sources d'erreur et résolution de problèmes.....	25
Références	33

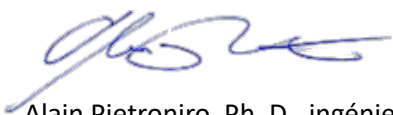
Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Avant-propos

Relevés hydrologiques du Canada est l'organisme fédéral chargé de recueillir, d'interpréter et de diffuser des données hydrométriques normalisées et l'information connexe au Canada. Il s'agit d'un organisme bien respecté, fier de ses traditions et des réalisations qu'il a accomplies en plus de 100 années d'existence, mais aussi progressiste par ses positions. En tant qu'organisation certifiée ISO 9001, Relevés hydrologiques du Canada souscrit au principe d'amélioration continue.

Le présent document est une version mise à jour du document qSOP-NA008-01-1983 intitulé *Manuel pratique de levés hydrométriques – Mesure de niveaux* qu'il remplace. Il présente les méthodes utilisées sur le terrain par Relevés hydrologiques Canada pour mesurer les niveaux d'eau. Il aborde la surveillance en continu des niveaux d'eau au moyen de capteurs automatisés, les mesures de niveaux d'eau de référence pour valider les données des capteurs et diverses méthodes d'acquisition de données de niveaux d'eau maximaux.

Bon nombre de nos employés ont contribué à l'élaboration du présent document par leurs discussions et leurs suggestions, notamment Wayne Beaton, Paul Campbell, Tom Davie, Derek Elliott, Wade Hanna, François Rainville et Brian Turnbull. Nous sommes reconnaissants aux personnes suivantes (énumérées en ordre alphabétique) qui ont examiné et commenté le document à différentes étapes de sa rédaction : Steven Baxter, Luc Bernard, Neil Fogg, Morie Gracey, Chris Kahler, Jeff Lipton, Ryan Seibel, Doug Stiff, Melanie Taylor, Jeff Woodward et Jerry Yeung. Nous remercions tous ceux et celles qui ont contribué à l'élaboration de ces procédures, et nous sommes convaincus que le document nous aidera à maintenir notre réputation d'excellence durant les années à venir.



Alain Pietroniro, Ph. D., ingénieur
Directeur, Services hydrologiques nationaux
Service météorologique du Canada
Juin 2019

Glossaire

Correction de niveau d'eau	Correction appliquée aux niveaux d'eau mesurés pour tenir compte d'un déplacement vertical du limnimètre de référence.
Correction du zéro du capteur	Réglage de la valeur donnée par le capteur au niveau d'eau mesuré par le limnimètre de référence.
Échelle limnimétrique	Plaque ou perche graduée installée à la verticale dans le lit du cours d'eau ou fixée à une structure solide.
Hauteur d'eau effective	Hauteur de l'eau au-dessus de l'orifice, de la prise d'eau ou du capteur de pression.
Limnimètre à bulles	Capteur de pression non submersible qui fonctionne au moyen d'un dispositif d'injection de gaz comprimé.
Limnimètre à flotteur	Limnimètre qui consiste en un flotteur qui monte et descend avec la surface de l'eau et dont les mouvements sont transmis à un capteur.
Limnimètre à maximum	Limnimètre non enregistreur servant à mesurer le niveau d'eau maximum atteint depuis la dernière mesure.
Limnimètre de référence	Limnimètre auquel est réglé le capteur automatisé du niveau d'eau.
Limnimètre incliné	Échelle limnimétrique qui consiste en une plaque ou perche graduée installée en pente sur la rive.
Mesure ponctuelle	Mesure effectuée manuellement durant une visite à une station.
Niveau de référence Planiol de mesurage	Niveau zéro auquel les hauteurs de niveau d'eau sont rapportées. Section du tronçon rectiligne du cours d'eau où se situe le limnimètre de référence de la station ainsi que le capteur de pression et où on suppose que le niveau d'eau monte et baisse uniformément avec des changements de conditions d'écoulement.

1. Introduction

Les stations hydrométriques sont des sites où l'on recueille et enregistre systématiquement des données hydrométriques qui sont ensuite publiées. Comme le niveau d'eau mesuré (code SHEF, HG) sert à calculer le débit à de nombreux sites, l'exactitude et l'incertitude des données de niveau d'eau ont un effet direct sur les données de débit. La qualité des mesures de niveau d'eau est essentielle à l'intégrité des données de Relevés hydrologiques du Canada (RHC). Ce document présente les procédures opérationnelles normalisées de mesure de niveau d'eau, qu'il s'agisse de mesures de surveillance continue ou de mesures ponctuelles.

Remarque : RHC note les niveaux d'eau en mètres au-dessus du niveau de référence avec une précision millimétrique (p. ex. 4,326 m).

2. Surveillance en continu au moyen de capteurs de niveau d'eau automatisés

Un capteur de niveau d'eau est un dispositif qui détermine automatiquement la hauteur de la surface de l'eau. Relevés hydrologiques du Canada utilise actuellement trois types de capteurs de niveau d'eau : des limnimètres à flotteur, des limnimètres à pression (submersibles et non submersibles) et des limnimètres sans contact. Ces trois types de limnimètres sont décrits dans le présent document. En 2019, des limnimètres à flotteur sont utilisés dans environ 25 % des stations de RHC, et des limnimètres à pression dans presque toutes les autres stations (25 % ont des capteurs de pression submersibles et 50 % des capteurs non submersibles). Des limnimètres sans contact ne sont utilisés que dans quelques stations. Des conseils sur le choix d'un capteur sont présentés à la Section 2.6, et on peut trouver le mode d'emploi de chaque capteur dans son manuel d'utilisation.

2.1 Fréquence de mesure et d'enregistrement

Peu importe le type de capteur utilisé, le niveau d'eau doit être mesuré et enregistré à cinq minutes d'intervalle. Cet intervalle simplifie la programmation des capteurs et la gestion de l'acquisition de données et permet d'observer avec une précision suffisante des phénomènes notables comme des niveaux de pointe.

Certains capteurs donnent des mesures instantanées, tandis que d'autres donnent des valeurs intégrées dans le temps en calculant la moyenne de plusieurs lectures. L'intégration temporelle atténue les petites fluctuations de la surface de l'eau causées par le vent ou par un écoulement instable et réduit ainsi le bruit dans les données. Par exemple, certains capteurs prennent des mesures sur 20 secondes et calculent la moyenne des mesures (c.-à-d. que le temps d'intégration est de 20 secondes). Il pourrait être nécessaire d'évaluer le temps d'intégration pour améliorer l'exactitude des données. Le temps d'intégration adéquat dépend du site, mais 10 à 30 secondes sont généralement suffisantes. Les mesures instantanées ou intégrées dans le temps sont acceptables pourvu que l'intervalle d'enregistrement reste de 5 minutes (Water Survey of Canada, 2007).

2.2 Limnimètres à flotteur

Un limnimètre à flotteur est constitué d'un flotteur relié par un câble perlé ou non perlé à un contrepoids de l'autre côté d'une poulie. Le câble passe sur une poulie d'une circonférence de 0,375 m qui est fixée à l'arbre d'un encodeur rotatif. Celui-ci est un encodeur incrémental optique muni d'une diode électroluminescente à lentille, de détecteurs intégrés et d'une roue codante qui tourne entre un émetteur et un récepteur. L'encodeur convertit la position angulaire de son arbre en signal numérique. Ainsi, le flotteur monte ou baisse avec la surface de l'eau, et l'encodeur indique le niveau d'eau.

Pour bien utiliser un limnimètre à flotteur, il faut s'assurer que le câble ou le ruban bouge librement et que le flotteur et le contrepoids sont de la bonne taille. Lorsqu'on installe un nouvel encodeur rotatif, il faut s'assurer que les lectures du niveau d'eau augmentent quand le flotteur monte et diminuent quand le flotteur descend.

Le limnimètre à flotteur est installé dans un puits de mesure relié au cours d'eau par des conduites d'amenées de façon à ce que le niveau d'eau dans le puits corresponde à celui du cours d'eau (Figure 1). Le puits réduit les fluctuations du niveau causé par le vent ou par la turbulence en limitant le volume d'eau qui entre dans le puits.

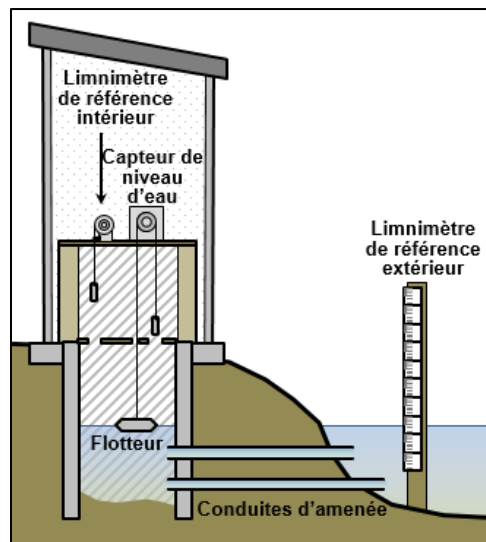


Figure 1. Schéma d'un puits de mesure muni d'un limnimètre à flotteur montrant les conduites d'amenée de l'eau de la rivière. Les lectures du limnimètre de référence intérieur servent à valider les données du limnimètre à flotteur.

2.2.1 Exigences pour les puits de mesure et leurs conduites d'amenée

Les puits de mesure sont pour la plupart munis d'un limnimètre à flotteur, mais ils peuvent abriter d'autres types de limnimètres. Les puits de mesure doivent tous présenter les caractéristiques suivantes :

- avoir des conduites d'amenée d'une profondeur suffisante pour couvrir toute la plage des niveaux d'eau possibles;

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

- avoir un dispositif de chasse d'eau pour expulser les sédiments qui se sont accumulés dans les conduites d'amenée;
- avoir un moyen d'enlever les sédiments dans le puits; si une personne doit entrer dans le puits, elle doit auparavant consulter les consignes concernant l'entrée dans des espaces clos et les dispositifs antichute dans les documents sur l'analyse des risques liés à la tâche et les méthodes sécuritaires de travail;
- être utilisable tout au long de l'hiver au besoin;
- avoir un limnimètre de référence intérieur et un limnimètre de référence extérieur pour la validation des données du capteur de niveau d'eau.

Dans de nombreux cas, deux conduites d'amenée sont nécessaires pour couvrir toute la plage des niveaux d'eau possibles. Idéalement, les conduites devraient être installées dans une partie du cours d'eau où la vitesse du courant est faible et où le dépôt de sédiments est peu probable. Les prises d'eau des conduites devraient être placées perpendiculairement au courant de façon à ce que le niveau d'eau dans le puits ne résulte que de la pression statique. Si les prises d'eau font face au courant, le niveau d'eau dans le puits sera plus élevé que dans le cours d'eau parce qu'il correspondra à la combinaison de la pression statique et de la pression dynamique de l'eau courante.

La direction du courant aux prises d'eau peut varier selon les conditions d'écoulement et le niveau de l'eau. Il arrive parfois que l'écoulement à une prise d'eau produise un niveau d'eau plus bas dans le puits que dans le cours d'eau ou un niveau d'eau plus élevé dans le puits que dans le cours d'eau. Les lectures des limnimètres de référence intérieur et extérieur servent à déterminer si l'une ou l'autre de ces situations se produit ou si la prise d'eau est obstruée partiellement ou complètement. Si la prise d'eau est partiellement obstruée, il y aura un délai entre un changement dans le niveau du cours d'eau et le changement dans le niveau d'eau du puits, comme le montre la section 6. Pour limiter les différences de niveau d'eau entre le puits de mesure et le cours d'eau, on peut ajouter un tube statique à la prise d'eau, comme le montre la Figure 2.

Un tube statique est un court tuyau perforé par lequel de l'eau entre ou sort de la conduite. Le tube est fermé au bout et est fixé à un raccord coudé ou en T qui prolonge vers l'aval la prise d'eau. Si le tube statique est bien placé et fonctionne bien, le niveau d'eau dans le puits devrait être le même que dans le cours d'eau. Comme les tubes statiques peuvent rapidement se remplir de sédiments ou être colonisés par des organismes vivants, ils doivent être accessibles et fréquemment nettoyés pour assurer un écoulement sans entrave entre le puits et le cours d'eau.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

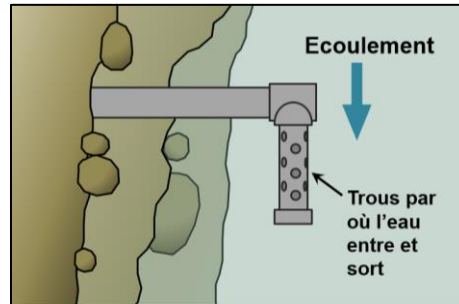


Figure 2. Exemple d'un tube statique fixé à une conduite d'amenée d'un puits de mesure.

2.3 Capteurs de pression

La pression en un point sous la surface de l'eau dépend de la hauteur d'eau au-dessus de ce point, laquelle est désignée hauteur d'eau effective. Les mesures du limnimètre de référence servent à relier la hauteur effective mesurée par un capteur de pression au niveau d'eau au-dessus du niveau de référence (voir la section 3), soit la hauteur d'eau (HG).

Un capteur de pression mesure soit la pression absolue, soit la pression différentielle. La pression absolue est la pression mesurée par rapport au vide absolu. Elle est la somme de la pression causée par l'atmosphère, p_{atm} , et de la pression causée par l'eau, $\rho g z$:

$$p_{absolue} = p_{atm} + \rho g z$$

où ρ est la densité de l'eau, g l'accélération gravitationnelle et z la hauteur d'eau effective. Le terme $\rho g z$ de l'équation est désigné pression manométrique.

La pression différentielle est la différence de pression entre deux points. Si le côté de la membrane du capteur de pression opposé à l'eau est exposé à l'atmosphère par un tuyau de mise à l'air, la différence de pression mesurée correspond à la pression manométrique. Presque tous les capteurs de pression submersibles ou non submersibles utilisés par RHC mesurent la pression manométrique. Ceci dit, si l'on utilise un capteur qui ne mesure que la pression absolue, il faut un baromètre pour mesurer la pression atmosphérique et calculer comme suit la pression manométrique :

$$p_{manométrique} = p_{absolue} - p_{atm}$$

Ce calcul est habituellement fait automatiquement par l'enregistreur de données.

2.3.1 Capteurs de pression non submersibles

Les capteurs de pression non submersibles nécessitent un dispositif d'injection de gaz (bulleur) installé dans l'abri de la station hydrométrique. De l'air ou de l'azote gazeux comprimé asséché passe par un système de soupapes, de régulateurs et de tuyaux et s'échappe par un orifice submergé au fond du cours d'eau. La pression exercée par l'eau sur le gaz qui s'échappe de l'orifice est transmise par le tuyau de l'orifice jusqu'au capteur installé dans l'abri. Le transducteur de pression convertit la pression en un signal électronique à partir duquel la hauteur d'eau effective est calculée. Les mesures du limnimètre de

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

référence servent à relier cette valeur à la hauteur d'eau. La Figure 3 présente un exemple de ce type de système.

Certains modèles de capteurs de pression non submersibles permettent d'apporter des corrections pour tenir compte des variables qui influent sur le calcul de la hauteur effective. Ces variables comprennent la densité de l'eau, la densité du gaz, la gravité locale et les changements de hauteur de l'orifice. RHC n'a pas l'habitude d'effectuer ces corrections.

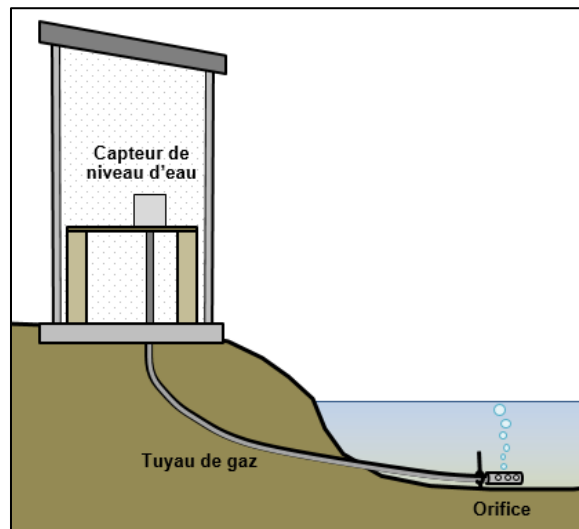


Figure 3. Exemple d'une station hydrométrique équipée d'un capteur de pression non submersible.

Comme pour les conduites d'amenée d'un puits de mesure, l'orifice doit être installé perpendiculairement au courant afin que seule la pression statique soit mesurée. Dans la mesure du possible, il devrait également être installé dans une fosse ou une zone de faible courant. Des études ont montré que le positionnement de l'orifice face au lit de la rivière (mais sans y toucher) peut améliorer la qualité des données en réduisant le risque d'accumulation de sédiments dans le tuyau, et en évitant l'incidence du courant sur l'orifice. Si l'on s'attend à de forts courants, on peut installer l'orifice dans un tube statique.

La friction du gaz s'écoulant dans le dispositif d'injection de gaz est fonction du taux de barbotage (débit de bulles), de la densité du gaz et du diamètre interne du tuyau. On peut déterminer l'importance de la friction du gaz en modifiant le taux de barbotage et en observant l'effet sur la lecture du niveau d'eau. Une hausse du taux de barbotage a tendance à augmenter la lecture du niveau d'eau si la friction du gaz est importante. Si la lecture est modifiée, on peut éliminer le problème en utilisant deux tuyaux de barbotage. Un tuyau sert alors à acheminer le gaz à l'orifice, et l'autre, qui est relié au premier près de l'orifice par un raccord en T, sert de conduite de retour statique à l'instrument. On peut également réduire le problème en utilisant un seul tuyau de plus grand diamètre interne.

Les variations du taux de barbotage causées par le réchauffement solaire du tuyau exposé entraînent des variations de la friction du gaz qui s'écoule dans le tuyau. Ces variations de la friction causent des erreurs

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

de mesure du niveau d'eau qui peuvent être importantes pour les longs tuyaux. On peut corriger l'erreur en utilisant deux tuyaux. Autre considération concernant les limnimètres à bulles, on doit tenir compte du poids du gaz lorsqu'il y a une grande différence de hauteur entre l'orifice et le capteur de pression, sinon l'instrument sous-estimera le niveau d'eau.

Le tuyau standard est fait en plastique et a un diamètre interne de 3 mm (1/8 po) et un diamètre externe de 9,5 mm (3/8 po). On recommande que le tuyau soit protégé contre toute force qui pourrait l'écraser ou le couper ainsi que contre les animaux qui pourraient le ronger. Selon le degré de protection nécessaire, il peut être enfermé dans une gaine protectrice ou un conduit. Le tuyau doit être en pente sur toute sa longueur, depuis l'abri de la station jusqu'à l'orifice, afin d'empêcher l'accumulation de condensation dans un point bas qui peut nuire aux lectures de pression. L'enfouissement du tuyau l'empêche d'être endommagé ou déplacé par des débris ou de la glace durant les épisodes de fort débit. S'il n'est pas possible d'enfouir le tuyau, on devrait placer des roches dessus ou se servir de tiges d'ancrage pour le maintenir en place et le rendre plus difficile à vandaliser.

Le tuyau doit être bien ancré au lit du cours d'eau pour éviter qu'il se déplace, car tout déplacement vertical de l'orifice entraînerait un changement apparent du niveau d'eau mesuré. Il existe divers types d'ancrages, comme les blocs de béton montrés aux Figure 4a et 4b. Les blocs doivent avoir une forme qui réduit au minimum l'érosion en dessous et autour d'eux. La Figure 4b montre un exemple de bloc d'ancrage profilé. Comme la force de l'eau peut facilement déplacer de grands objets, on peut réduire le risque de déplacement en utilisant des ancres ayant la plus petite section transversale possible. On recommande donc d'ancrer l'orifice au moyen d'une barre d'armature ou d'un tuyau muni d'un raccord en croix ou en T lorsque c'est possible (Figure 4d). La longueur de la tige d'ancrage nécessaire dépend du substrat et du degré de mobilité du lit du cours d'eau.

Un autre type d'ancrage consiste à enfouir l'orifice dans une poche de sable ou de gravier dans le lit du cours d'eau (Figure 4c). Il s'agit d'un bon choix lorsque la vitesse du courant à l'orifice est élevée, que l'orifice risque d'être pris dans la glace ou que l'eau est vaseuse. La poche de sable ou de gravier réduit les dépôts de vase dans l'orifice, mais ne les empêche pas complètement. Lorsque l'orifice ou l'espace autour d'un orifice est partiellement obstrué par des débris ou de la vase, le tracé du limnigramme oscille et est souvent décrit comme un « barbouillage » erratique. La section 6 présente les procédures de résolution de problèmes d'équipement pour tous les types d'installations utilisées par RHC.

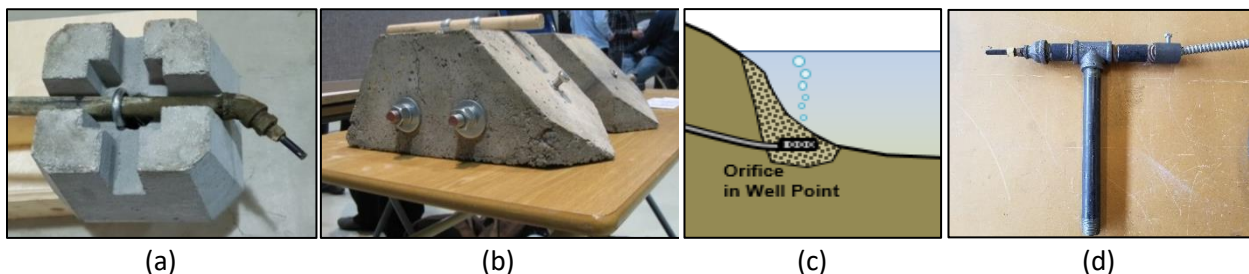


Figure 4. Ancrages pour tuyaux d'orifice : (a) bloc de béton – le bout du tuyau d'orifice est tourné vers le fond du cours d'eau lors du déploiement; (b) bloc de béton profilé; (c) orifice enfoui dans une poche de sable ou de gravier; (d) ancrage en T.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

2.3.2 Capteurs de pression submersibles

Les capteurs de pression submersibles sont des unités autonomes qui sont installées sur le lit du cours d'eau, comme le montre la Figure 5. Si un capteur est muni d'un tuyau de mise à l'air, il mesure la pression manométrique. S'il n'a pas de mise à l'air, il mesure la pression absolue : il faut donc obtenir un capteur barométrique pour obtenir la pression atmosphérique afin de calculer la pression manométrique à partir de la pression absolue. Comme les températures inférieures au point de congélation peuvent endommager, voire détruire, certains modèles de capteurs, il est important de choisir le bon modèle pour chaque site.

Certains modèles récents de capteurs de pression submersibles mesurent les changements de température de l'eau et en tiennent compte. Il peut être important de tenir compte de la température de l'eau parce que la densité de l'eau varie selon la température, de sorte que le capteur peut sous-estimer ou surestimer la hauteur d'eau effective s'il ne tient pas compte des variations de température extrêmes. Ainsi, les capteurs de pression qui ne tiennent pas compte de la température de l'eau ne devraient être installés qu'aux endroits où la température de l'eau varie peu durant l'année, p. ex. dans une zone profonde et ombragée du cours d'eau. Certains modèles de capteurs peuvent tenir compte de valeurs de densité de l'eau et d'accélération gravitationnelle définies par l'utilisateur.

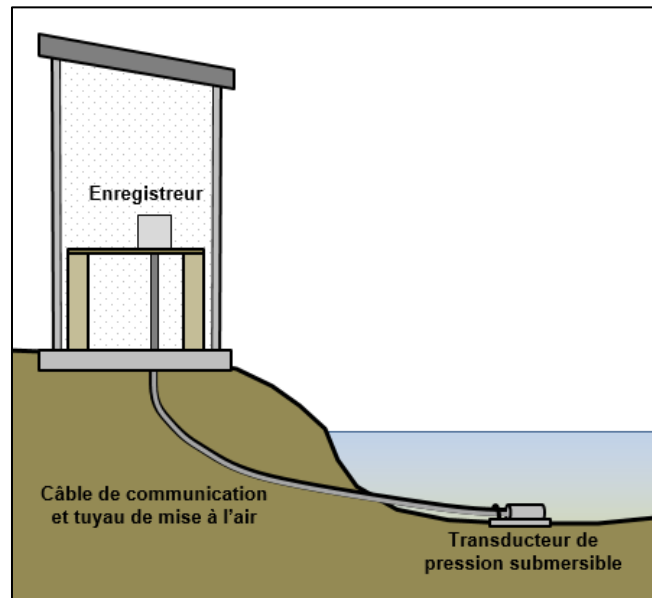


Figure 5. Exemple d'une station hydrométrique équipée d'un capteur de pression submersible.

Les techniques de positionnement et d'ancrage de tuyaux d'orifice décrites à la section 2.3.1 s'appliquent aussi aux capteurs submersibles. Si un transducteur de pression fait face au courant, il donne une lecture biaisée à la hausse, et ce biais augmente avec la vitesse du courant. Pour éviter cette source d'erreur, les capteurs de pression submersibles doivent être installés perpendiculairement au courant. On peut aussi les installer face au lit du cours d'eau. La section 6 présente les procédures de résolution des problèmes touchant les données des capteurs de pression submersibles.

2.4 Capteurs sans contact

Pour les rivières qui charrient beaucoup de sédiments ou de débris, les capteurs de niveau sans contact sont préférables parce qu'on les installe au-dessus de l'eau sur un parapet de pont ou une autre structure stable. Ces capteurs mesurent la distance qui les sépare de la surface de l'eau selon le temps que mettent des ondes lumineuses ou des ondes sonores pour atteindre la surface et revenir au capteur. Les capteurs radar émettent des ondes électromagnétiques dans le domaine des radiofréquences, les capteurs laser émettent des ondes dans le domaine du visible, et les capteurs acoustiques émettent des ondes sonores. Comme il n'y avait pas de capteurs acoustiques ou laser dans le réseau de RHC au moment de sa publication, le présent document n'aborde que les capteurs radar.

2.4.1 Capteurs radar

Les capteurs radar émettent et reçoivent des ondes radio pour mesurer la distance à l'eau dans une zone circulaire à la surface de l'eau (Figure 6). La taille de cette empreinte circulaire augmente à mesure que la distance entre le radar et l'eau augmente. Le diamètre de l'empreinte est calculé à partir de la distance à l'eau et de l'angle d'ouverture du faisceau du radar, θ :

$$\text{Diamètre} = \text{distance} * \tan \theta$$

Par exemple, un capteur dont l'angle d'ouverture du faisceau est de 10° a une empreinte de 0,35 m de diamètre lorsqu'il est à 2 m au-dessus de l'eau et de 1,76 m de diamètre lorsqu'il est à 10 m au-dessus de l'eau.

L'empreinte du capteur doit être complètement libre de tout obstacle à tous les niveaux d'eau. Si autre chose que de l'eau se trouve dans le champ de vision du radar, le capteur ne peut pas interpréter correctement le signal réfléchi, bien que certains modèles puissent éliminer les signaux parasites. Les capteurs radar ne peuvent pas mesurer le niveau d'eau lorsque l'eau est couverte de glace.

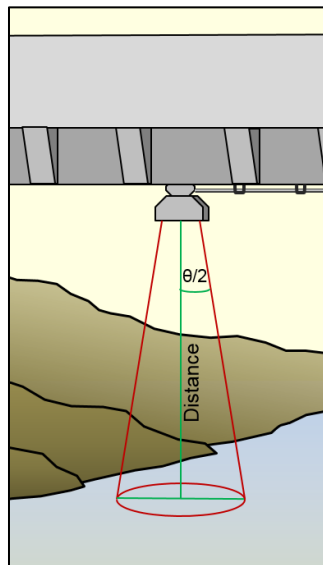


Figure 6. Exemple d'un capteur radar de niveau d'eau

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Les capteurs radar doivent se trouver à au moins 0,3 à 0,5 m de l'eau et au plus à 20 à 40 m de l'eau, selon le modèle. La température et les conditions météorologiques (pluie ou neige) n'ont aucun effet sur ces capteurs, et le rayonnement qu'ils émettent est inoffensif pour les humains et la faune. Ils ont généralement une exactitude égale ou inférieure à ± 3 mm, semblable à celle des autres capteurs de niveau d'eau utilisés par RHC. Ils peuvent être installés sur des ponts ou d'autres infrastructures qui surplombent directement l'eau, mais les vibrations de la structure influent sur les lectures de niveau d'eau. Comme certaines parties des ponts peuvent bouger de plusieurs centimètres en raison des fluctuations de température et des vibrations causées par la circulation, les capteurs devraient être installés sur une pile stable ou à proximité. La face du capteur doit être aussi parallèle à l'eau que possible et doit surplomber une surface d'eau aussi lisse que possible. Il faut donc éviter d'installer le capteur au-dessus d'une eau écumeuse ou formant des vagues.

2.5 Capteurs de niveau d'eau intégrés à des courantomètres acoustiques Doppler

On se sert souvent de courantomètres acoustiques Doppler pour surveiller l'écoulement à des sites de refoulement variable, d'écoulement très instable ou d'écoulement inversé d'un cours d'eau. La plupart de ces courantomètres mesurent le niveau d'eau par deux moyens : un capteur de pression peu précis et un faisceau acoustique visant la surface. L'instrument utilise les données de pression pour déterminer le niveau d'eau à partir des données de rétrodiffusion du faisceau vertical. Lorsque le cours d'eau est couvert de glace, la hauteur effective mesurée par le faisceau vertical correspond à la distance jusqu'à la surface inférieure de la glace, tandis que le niveau d'eau mesuré par le capteur de pression est généralement supérieur à cette distance. On peut ainsi combiner ces deux mesures pour surveiller l'évolution du couvert de glace.

Il est déconseillé d'utiliser un instrument de ce type comme principal capteur de niveau d'eau pour deux raisons. Premièrement, la distance à la surface de l'eau mesurée au moyen du faisceau acoustique est supérieure à la hauteur d'eau effective si l'instrument n'est pas parfaitement de niveau, et cette différence augmente avec le niveau d'eau. Deuxièmement, les instruments de ce type ont une exactitude de plus de ± 3 mm.

2.6 Choix d'un capteur de niveau d'eau

Quatre types d'instruments de surveillance continue du niveau d'eau ont été présentés plus haut : les capteurs de pression submersibles, les capteurs de pression non submersibles, les limnimètres à flotteur installés dans des puits de mesurage et les capteurs sans contact. Ces différents instruments devraient fournir des données d'exactitude comparable s'ils sont correctement installés et entretenus. Le choix d'un capteur dépend du site où on l'installera, mais, en général, un capteur de pression submersible, qui est relativement peu coûteux et nécessite peu d'entretien, convient pour les sites où l'eau ne gèle jamais près du fond. Le Tableau 1 présente les avantages et les limites de chaque type de capteur.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Remarques importantes : Les capteurs utilisés par RHC doivent être exacts au plus élevé de 3 mm près ou 0,1 % de la hauteur d'eau effective. Tous les dispositifs actuellement approuvés devraient figurer à la liste des dispositifs homologués (document qREC-NA020).

Tableau 1. Options de surveillance continue du niveau d'eau.

Méthode	Avantages	Limites
Capteur de pression submersible	<ul style="list-style-type: none"> • Ne coûte pas cher. • Est facile à installer. 	<ul style="list-style-type: none"> • À quelques exceptions près, la plupart des modèles peuvent être endommagés s'ils sont pris dans la glace. • L'exactitude diminue à mesure que la hauteur d'eau effective augmente. • Comme le capteur est dans l'eau, il court le risque d'être endommagé ou perdu. • Le capteur peut être déplacé durant une inondation ou une débâcle (on retrouve souvent des capteurs échoués sur la rive). • Un tuyau de mise à l'air de faible diamètre peut être obstrué par l'humidité. • On doit utiliser un déshydratant pour garder le tuyau de mise à l'air sec.
Capteur de pression non submersible (limnimètre à bulles)	<ul style="list-style-type: none"> • Comme seuls l'orifice et son tuyau sont dans l'eau, les inondations ne risquent pas d'endommager le capteur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûte cher. • Nécessite un tuyau et une source de gaz comprimé. • Le bloc d'ancrage de l'orifice peut se déplacer durant une inondation ou une débâcle. • L'orifice peut être souvent obstrué par des sédiments, des algues, du calcium ou d'autres matières. • Les lectures du capteur peuvent être altérées par de l'humidité dans le gaz. • L'exactitude diminue à mesure que la hauteur d'eau effective augmente. • On doit utiliser un déshydratant pour garder le tuyau sec. • Des fuites dans le dispositif peuvent survenir.
Limnimètre à flotteur avec encodeur rotatif	<ul style="list-style-type: none"> • Le puits de mesurage atténue les fluctuations causées par le vent et les vagues. • Erreurs moins fréquentes durant les inondations que pour les autres capteurs. • Les inondations ne risquent pas d'endommager le capteur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite un puits de mesurage. • Si la station est exploitée à l'année, le puits doit être bien protégé contre le gel. • On doit nettoyer régulièrement les conduites d'amenée du puits pour s'assurer que le niveau d'eau est toujours le même dans le puits et le cours d'eau. • Il peut y avoir des erreurs causées par une différence entre le niveau d'eau dans le puits et celui dans la rivière si les conduites d'amenée ne sont pas perpendiculaires au courant.
Capteur radar	<ul style="list-style-type: none"> • Capteur utile pour les sites où l'eau coule vite ou charrie beaucoup de sédiments ou de débris 	<ul style="list-style-type: none"> • Le capteur doit être installé à au moins 0,3 m au-dessus de l'eau.

	<p>puisque'il n'est pas en contact avec l'eau.</p> <ul style="list-style-type: none">• Insensible aux conditions météorologiques (pluie et neige).• Nécessite peu d'entretien.	<ul style="list-style-type: none">• Les données sont mauvaises ou inutiles si l'empreinte du radar couvre autre chose que de l'eau (comme des roches ou de la glace).• Les vagues à la surface de l'eau réduisent l'exactitude des données.• L'exactitude est moindre si le capteur est installé sur une structure instable (éviter de l'installer sur le milieu d'une travée de pont).
--	---	---

2.6.1 Justification de l'utilisation de deux capteurs

Certaines stations hydrométriques sont équipées de deux capteurs de niveau d'eau. Dans certains cas, un partenaire exige un second capteur comme mesure de redondance, et le second capteur peut alors être du même modèle que le capteur principal. Dans d'autres cas, on peut utiliser deux capteurs de modèles différents, par exemple dans un site où un seul type de capteur ne donne pas une mesure exacte dans toutes les conditions ou pour tous les niveaux d'eau.

Le fait d'avoir deux capteurs dans une station peut améliorer la continuité des données et la fiabilité de la station puisque le capteur secondaire peut prendre la relève en cas de panne du capteur principal. Lorsqu'il y a plus d'un capteur de niveau d'eau dans une station, il faut indiquer à quoi sert le capteur secondaire dans la description de la station.

Peu importe l'objectif du capteur secondaire, il devrait être installé à un endroit où le niveau de l'eau est le même que pour le capteur principal, mais qui n'est pas susceptible d'être touché par les mêmes problèmes. Par exemple, il ne faut pas que deux capteurs soient reliés ensemble parce qu'ils produiraient tous les deux des données erronées si le câble d'un des capteurs était déplacé par la glace. Notez bien la différence du niveau d'eau entre les deux endroits car deux endroits dans un même planiol peuvent avoir des niveaux d'eau différents, et la différence peut augmenter avec le débit.

Dans certains cas, le capteur secondaire peut servir à surveiller l'activité des castors ou à valider les pics ou la forme de la série temporelle. Si le contrôle hydraulique au capteur secondaire diffère de celui au capteur principal, la série chronologique doit être bien identifiée, et les contrôles hydrauliques doivent être décrits dans le poste de travail hydrométrique (logiciel d'acquisition et traitement de données).

3. Mesures de référence du niveau d'eau

Les mesures de référence du niveau d'eau sont de la plus haute importance, car elles servent à établir, à valider et à corriger les données des capteurs de niveau d'eau. On doit comparer la lecture du capteur de niveau d'eau à celle du limnimètre de référence à chaque visite, même lorsque le cours d'eau est couvert de glace, afin de s'assurer que les données du capteur restent rattachées au niveau de référence. Le limnimètre de référence devrait se trouver aussi près que possible du capteur de niveau d'eau, de la conduite d'amenée ou de l'orifice et dans le même planiol pour s'assurer qu'ils sont soumis à des conditions semblables. Par exemple, on ne doit pas installer le capteur juste en amont d'une pile de pont et le limnimètre de référence en aval de la pile parce que les conditions hydrauliques seraient différentes

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

à ces endroits. Le limnimètre de référence doit être installé dans une zone où la turbulence est minime. Si la surface de l'eau est agitée, on doit faire plusieurs lectures au limnimètre de référence, de préférence à la crête et au creux des vagues, et calculer la moyenne pour obtenir la mesure la plus exacte. Le temps d'intégration pour le calcul de la moyenne devrait s'approcher de celui du capteur, et les lectures devraient être faites le plus près possible du moment de la lecture du capteur pour une meilleure exactitude. On peut également noter l'amplitude des oscillations.

Les lectures du limnimètre de référence sont désignées mesures ponctuelles du niveau d'eau. Les divers types de limnimètres de références sont décrits plus bas et comprennent la mesure directe du niveau d'eau, les échelles limnimétriques verticales ou inclinées, les points de référence ou de mesure, les limnimètres à ruban ou fil lesté et les limnimètres à contact électrique. On peut en savoir plus sur l'utilisation et l'entretien des instruments en consultant les manuels propres à chaque instrument.

La hauteur du limnimètre de référence au-dessus du niveau de référence est documentée pour chaque station. On doit régulièrement confirmer cette hauteur en effectuant un nivellement; pour en savoir plus, on peut consulter le Manuel pratique de levés hydrométriques sur le nivellement. Les calculs de données sont beaucoup plus simples si le limnimètre de référence est stable. Certaines stations ont plus d'un limnimètre de référence dans les cas où les conditions font en sorte qu'un seul limnimètre de référence n'est pas accessible à tous les niveaux d'eau. Toutefois, dans la mesure du possible, on devrait utiliser les lectures d'un seul limnimètre de référence pour effectuer des corrections du niveau d'eau ou du zéro du capteur, ce qui permet de maximiser la cohérence des données et d'éviter toute confusion.

3.1 Mesure directe du niveau d'eau

On appelle mesure directe du niveau d'eau le nivellement direct de la surface de l'eau par rapport à un repère. Pour simplifier les calculs et éviter toute confusion lorsqu'on tient compte des corrections du niveau d'eau, le nivellement devrait commencer au même repère ou point de référence à toutes les visites du site. Idéalement, on devrait effectuer les mesures au même endroit dans la rivière à chaque visite pour éviter d'introduire de l'incertitude causée par la variation spatiale du niveau d'eau local. Effectuer la mesure aussi près que possible de l'orifice, de la prise d'eau de la conduite d'amenée ou du capteur en s'assurant de ne pas modifier le niveau d'eau durant la lecture.

Lorsque la surface de l'eau est agitée, on peut se servir d'un seau percé de trous dans sa partie inférieure comme puits de mesurage temporaire. Le seau stabilise la surface de l'eau au point où l'on place la mire pour la lecture (Figure 7). On trouvera les instructions pour effectuer une mesure directe du niveau d'eau en consultant le Manuel pratique de levés hydrométriques sur le nivellement.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

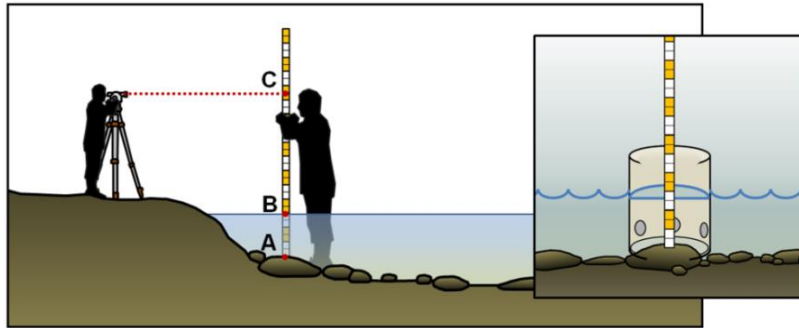


Figure 7. Mesure directe du niveau d'eau. Encadré : puits de mesure temporaire.

3.2 Échelle limnimétrique verticale

Une échelle limnimétrique est essentiellement une grande règle qui est constituée de plaques d'acier émaillé fixées à un panneau de support et qui est installée sur une structure qui peut se trouver dans le lit du cours d'eau ou à l'intérieur d'un puits de mesure. Une échelle limnimétrique doit être installée de façon à être protégée contre les dommages causés par de la glace ou des débris flottant sur l'eau. Elle doit également être protégée contre les effets localisés de dépression ou de hausse du niveau d'eau qui fausseraient ses lectures. On peut réduire ces effets en installant la face de l'échelle parallèlement au courant et en profilant le panneau de support.

Pour lire une échelle limnimétrique, l'observateur devrait avoir les yeux le plus possible à hauteur du ménisque que l'eau forme à l'échelle, car la lecture se fait à la base du ménisque (en vert sur la Figure 8). L'échelle limnimétrique doit être nettoyée régulièrement pour rester bien lisible et doit être remplacée au besoin.

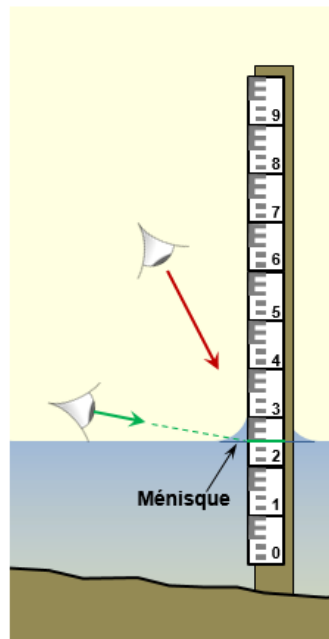


Figure 8. Bonne (en vert) et mauvaise (en rouge) façons de lire une échelle limnimétrique.

3.3 Échelle limnimétrique inclinée

On peut utiliser une échelle limnimétrique inclinée (Figure 9) là où des berges en pente empêchent l'installation d'une échelle verticale ou dans les cours d'eau dont les crues risquent d'endommager une échelle verticale. Une échelle inclinée offre une meilleure résolution qu'une échelle verticale puisque la distance sur sa pente est plus grande que la hauteur verticale correspondante. Pour se servir d'une échelle inclinée, il faut une table de conversion établie par nivellement à différents points le long de l'échelle afin de convertir les lectures chiffrées en niveau d'eau. Ainsi, une échelle inclinée constitue un limnimètre de référence plus compliqué et moins souhaitable que les autres options. En outre, comme les échelles inclinées peuvent bouger en raison du soulèvement du sol par le gel, elles doivent être très soigneusement installées.

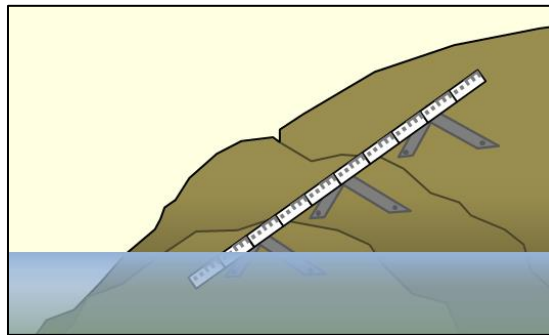


Figure 9. Échelle limnimétrique inclinée.

3.4 Points de référence et points de mesure

Un point de référence ou un point de mesure est un point stable et accessible sur une pile, une culée ou une partie d'un pont ou dans un puits de mesurage à partir duquel on mesure la distance verticale de la surface de l'eau. Les mesures peuvent être effectuées au moyen d'une mire de nivellement ou d'un limnimètre à ruban ou à fil lesté. Certaines stations ont un point de mesure établi près du capteur de pression, de l'orifice ou de la prise d'eau de la conduite d'amenée du puits. Ce point de mesure est souvent indiqué sur une tige métallique : on obtient le niveau d'eau de référence en mesurant la distance de la surface de l'eau au-dessus ou en dessous de ce point.

3.5 Limnimètre à fil lesté

Les limnimètres à fil lesté sont habituellement installés sur des ponts, mais ils peuvent également être fixés à une poutre en porte-à-faux reliée à la rive. Un limnimètre à fil lesté consiste en un câble lesté qui présente des marques graduées. On descend le poids jusqu'à la surface de l'eau au moyen d'un dévidoir (Figure 10).

Pour les mesures effectuées au moyen de limnimètres à fil ou à ruban :

- La lecture doit être faite dès que le poids atteint la surface de l'eau lorsqu'on le descend. On évite ainsi les effets de la tension de surface de l'eau parce qu'une fois le contact avec la surface de l'eau établi, le poids peut être soulevé jusqu'à 6 mm sans rompre le contact.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

- On devrait inspecter visuellement la face inférieure du poids à chaque lecture pour vérifier qu'elle est bien au zéro du fil ou du ruban et, le cas échéant, déterminer la correction nécessaire. L'inspection sert aussi à s'assurer que le poids est exempt de débris ou de glace.

Il est important de souligner que la poussée d'un fort vent sur le fil ou le ruban peut nuire à l'exactitude des lectures. Un fil ou ruban tortillé ou plié cause également des erreurs de lecture.

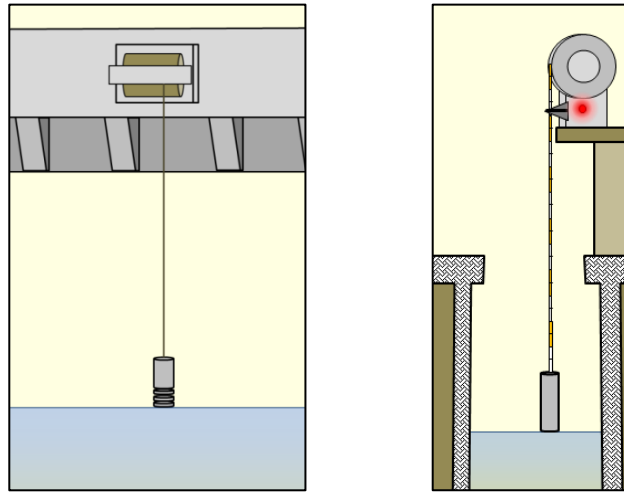


Figure 10. Mesure de niveau d'eau au moyen d'un limnimètre à fil lesté (à gauche) et d'un limnimètre à contact électrique (à droite).

3.6 Limnimètre à contact électrique

Un limnimètre à contact électrique, ou à ruban électrique, consiste en un limnimètre à fil lesté électrifié installé en permanence dans un puits de mesure (Figure 10). Il est composé d'un dévidoir, d'un ruban gradué en acier inoxydable auquel est attaché un poids, d'une source d'alimentation électrique et d'un dispositif qui indique (habituellement par un voltmètre ou un voyant lumineux) la fermeture du circuit électrique. Il s'agit de descendre le poids jusqu'à ce qu'il touche la surface de l'eau, ce qui ferme le circuit électrique et fait allumer le voyant lumineux ou bouger l'aiguille du voltmètre. La surface de contact est concave afin d'éviter les erreurs d'observation dues à des gouttelettes d'eau sur la face inférieure du poids. Comme l'humidité dans l'abri de la station peut nuire aux limnimètres à contact électrique, il faut régulièrement les inspecter visuellement pour s'assurer de l'absence de corrosion sur le poids et le circuit électrique. Les piles doivent être remplacées au besoin.

4. Méthodes de mesure du niveau d'eau maximal entre les visites

Il arrive que des capteurs de niveau d'eau soient endommagés ou cessent de fonctionner à des moments où l'on a le plus besoin de leurs données, par exemple durant les crues ou la débâcle printanière. À ces moments, on peut utiliser d'autres méthodes pour mesurer le niveau d'eau maximal afin de combler les lacunes dans les données ou de corroborer les données du capteur. Des méthodes de mesure du niveau de pointe sont présentées plus bas. On peut se servir de données sur les niveaux d'eau maximaux et de laisses de hautes eaux pour calculer les débits par des méthodes indirectes comme la

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

méthode pente-section. Pour utiliser une de ces méthodes, on devrait consulter la documentation pertinente; l'United States Geological Survey a produit un certain nombre de publications utiles à cet égard.

4.1 Limnimètre à maximum

Les limnimètres à maximum sont de simples dispositifs de mesure de la hauteur des pointes de crue. La présente section décrit les trois types de limnimètres à maximum illustrés à la Figure 11.

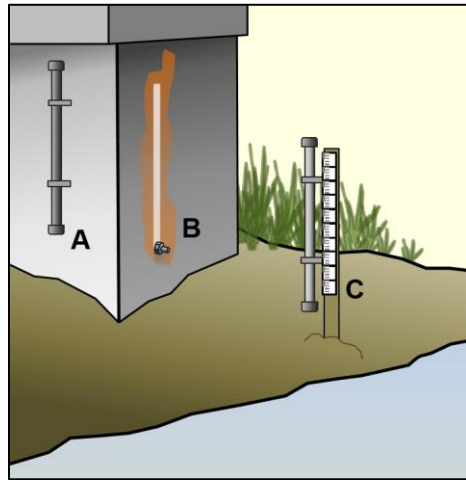


Figure 11. Trois types de limnimètres à maximum : (A) tube renfermant de la poussière de liège et une tige, (B) marque de craie et (C) tube et échelle limnimétrique.

Un type de limnimètre à maximum est constitué d'un tuyau galvanisé muni d'un capuchon à chaque bout (A à la Figure 11 et Figure 12). Des trous sont percés dans le capuchon inférieur pour laisser l'eau entrer tout en réduisant au minimum les effets d'une montée ou d'une descente brusque du niveau de l'eau dans le tuyau, et un trou d'aération est percé dans le capuchon supérieur. Une tige de bois ou d'aluminium au bas de laquelle est fixé un petit contenant rempli de poussière de liège est placée à l'intérieur du tuyau de façon à ce qu'elle ne puisse pas flotter (Figure 12). Lorsque le niveau d'eau s'élève dans le tuyau, la poussière de liège s'échappe du contenant et adhère à la tige au point où l'eau a atteint son niveau maximal. Le tuyau est solidement fixé à un pont ou à un quai et nivelé par rapport au niveau de référence afin que la ligne de poussière de liège puisse être rapportée au niveau de référence. La tige doit être inspectée à chaque visite de la station. Au besoin, on doit la nettoyer et remplir de nouveau le contenant de poussière de liège avant de replacer la tige dans le tuyau afin de mesurer le niveau maximal entre les visites.

Le deuxième type de limnimètre à maximum consiste en un tuyau transparent fixé à un support et habituellement placé à côté d'une échelle limnimétrique (C à la Figure 11). Le tuyau renferme un flotteur cylindrique en mousse de polyéthylène. Des trous sont percés dans les capuchons inférieur et supérieur du tuyau pour permettre le passage de l'eau et de l'air. Lorsque le niveau d'eau s'élève dans le tuyau, le flotteur s'élève aussi, mais son adhérence au tuyau l'empêche de redescendre lorsque l'eau se retire après avoir atteint son niveau maximal. On lit la hauteur du point central du flotteur sur l'échelle limnimétrique

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

adjacente ou par nivellement par rapport à un repère. On réinitialise facilement le limnimètre en enlevant le capuchon supérieur du tuyau et en délogeant le flotteur. Des erreurs peuvent se produire si le limnimètre subit des vibrations ou si une très faible humidité empêche le flotteur d'adhérer au tuyau.

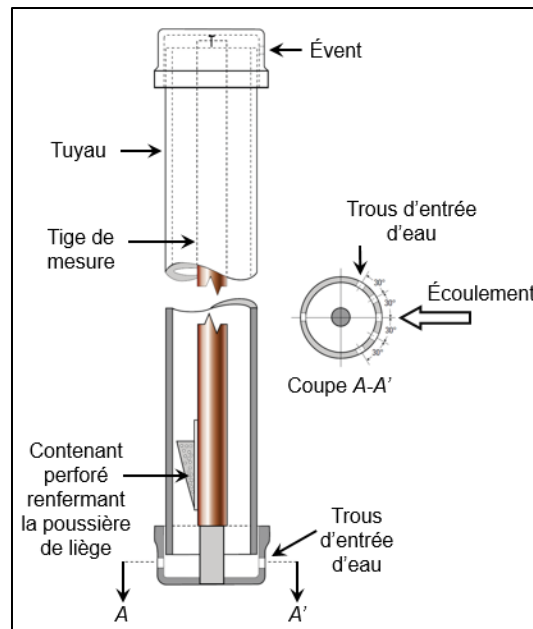


Figure 12. Exemple de limnimètre à maximum à poussière de liège avec des trous percés dans les capuchons inférieur et supérieur du tuyau (source : Sauer et Turnipseed, 2010).

Le troisième type de limnimètre à maximum consiste en une bande de peinture verticale sur laquelle on trace une ligne de craie dont le bas correspond à un point de référence de hauteur connue (B à la Figure 11). En situation de crue, l'eau efface la ligne de craie jusqu'au niveau maximal atteint par l'eau, et le bas de la ligne de craie qui reste indique la hauteur maximale de l'eau. Cette marque de hautes eaux sera visible à la prochaine visite pourvu que la ligne de craie soit suffisamment protégée du vent et de la pluie.

4.2 Laisses de hautes eaux

Les laisses de hautes eaux (LHE) indiquent le niveau maximal après que l'eau se soit retirée. Elles peuvent servir à vérifier une valeur de l'enregistreur de données. Par exemple, une pointe dans la série chronologique des niveaux (particulièrement durant l'englacement ou la débâcle) pourrait être jugée non valide s'il n'y a pas de laisse de hautes eaux visible. Ces laisses peuvent également aider à déterminer quand appliquer des corrections du zéro du capteur. Les LHE comprennent des lignes de débris sur les berges de la rivière ou les marques laissées par l'eau sur l'abri d'une station hydrométrique, comme le montre la Figure 13.

Les banquettes de glace constituent un type particulier de laisses de hautes eaux dont on devrait également tenir compte (Figure 14). Ces banquettes constituent le point le plus élevé sur la berge où la glace de rive reste fixée au sol. Elles indiquent la hauteur à laquelle se trouvaient la glace et présumément la surface de l'eau. Elles se forment habituellement durant l'hiver après l'englacement de la rivière. Ces

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

niveaux de hautes eaux ne correspondent habituellement pas aux débits de pointe, mais ils sont quand même importants pour de nombreux utilisateurs de données.



Figure 13. Exemples de laisses de hautes eaux.

De plus, il peut être utile de relever la hauteur à laquelle la glace est présente sur la berge pour déterminer la période durant laquelle le site était englacé. Pour ce faire, on compare le niveau de la banquette de glace à la série chronologique des niveaux d'eau. L'absence d'une banquette de glace constitue également une information utile. Par exemple, si le capteur de niveau indique que l'eau a atteint un niveau de 4,10 m durant un épisode de froid et de neige deux semaines auparavant, mais qu'il n'y a pas de glace sur la berge à ce niveau, on peut raisonnablement présumer que le site n'était pas englacé à ce moment.



Figure 14. Exemples de restes de banquettes de glace.

Comme les laisses de hautes eaux sont très utiles, les notes de terrain devraient inclure des commentaires détaillés sur la présence ou l'absence de laisses, ainsi que sur leur type, leur qualité et leur position par rapport au limnimètre. Voici quelques exemples d'observations à cet égard : « excellente LHE constituée de débris de feuilles mortes à 3,23 m », « LHE de qualité moyenne constituée de fragments de glace à 3,23 m », « aucune LHE récente visible au-dessus du niveau d'eau actuel ».

Voici quelques bonnes pratiques pour déterminer les laisses de hautes eaux en évitant les écueils :

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

- Bien comprendre l'objectif – de savoir pourquoi vous devez déterminer les laisses de hautes eaux vous aidera à les trouver.
- Agir rapidement – relever les laisses dès que possible après un événement parce qu'elles changent et se dégradent avec le temps.
- Trouver des sites aux eaux calmes – les zones sans courant ou abritées à l'intérieur de structures (p. ex. puits de mesurage) présentent souvent les meilleures laisses de hautes eaux parce que de fins débris s'y accumulent et forment des lignes minces bien conservées (pas exposées aux éléments).
- Dans le doute, recueillir d'autres données – observer attentivement chaque berge sur 150 m ou cinq fois la largeur de la rivière, selon la distance la plus élevée, en amont et en aval du capteur de niveau. Vous n'avez pas à vous servir de ces données, mais si vous ne les avez pas recueillies, vous ne pourrez jamais vous en servir.
- Regarder plus haut – il pourrait y avoir plusieurs laisses de hautes eaux. Si vous croyez en voir une, regardez plus haut s'il n'y en aurait pas une autre.
- Reculer – une vue plus large pourrez révéler des tracés invisibles de près.
- Prendre des photos – les laisses de hautes eaux devraient toujours être photographiées.
- Prendre les observations en note et effacer les laisses de hautes eaux – une fois que vous avez identifié et nivelé les laisses, nettoyez-les ou étiquetez-les afin de prévenir toute confusion future.

Pour bien identifier les laisses, il faut de l'expérience et une bonne connaissance de la façon dont les eaux de crue les produisent. L'United States Geological Survey a produit sur le sujet un excellent document cité dans les références.

4.2.1 Détermination de niveau par des piquets et des photos

Lorsque le niveau d'eau est si élevé qu'il n'est pas possible d'accéder au limnimètre de référence durant une visite, on peut indiquer le niveau en enfonçant des piquets à la limite de l'eau. On doit tracer sur chaque piquet une ligne indiquant le niveau d'eau et y inscrire la date et l'heure. La hauteur de cette ligne pourra être déterminée par nivellement à une date ultérieure lorsque l'eau se sera retirée. Cette méthode permet des vérifications de référence du niveau d'eau qui sont fort utiles en situation de crue.

On peut également se servir de photos pour déterminer le niveau d'eau. Le plus simple est de prendre une photo de l'eau avec une règle limnimétrique. Ceci dit, il suffit de photographier tout objet fixe qui se trouve à la surface de l'eau et dont la hauteur est connue ou peut être déterminée à une date ultérieure. Toutes les photos ou vidéos doivent être datées, et l'endroit d'où elles ont été prises doit être localisé par rapport à une structure permanente du site comme un pont ou l'abri de la station.

Certaines stations sont équipées d'un appareil photo télémétrique qui prend des photos du planiol de mesurage. Ces photos peuvent aider à confirmer les tendances de la série chronologique des niveaux d'eau. Elles peuvent également remplacer une visite à la station, particulièrement pour déterminer si la station connaît des problèmes comme l'obstruction des conduites d'amenée du puits de mesurage. Il est donc utile d'installer une règle limnimétrique dans le champ de vision de l'appareil photo.

5. Conception et planification d'une station

Bien que l'acquisition de données de niveau d'eau ne soit qu'un des plusieurs facteurs à prendre en compte lorsqu'on établit une station hydrométrique, seules les considérations qui concernent la collecte de données exactes et représentatives du niveau d'eau sont énumérées ci-dessous. Le site choisi doit présenter les caractéristiques suivantes :

- Il doit y avoir un planiol, préférablement situé en amont d'une zone d'eau vive, pour les appareils de mesure. Il doit permettre la collecte de données sur toute la plage des niveaux d'eau en évitant les grandes vitesses de courant qui peuvent nuire à la qualité des données.
- Le sol doit être stable afin de maintenir le niveau de référence. Sans sol stable, on risque de perdre le contrôle vertical.
- Le puits de mesurage et l'abri doivent être installés là où ils ne risquent pas d'être endommagés durant les crues. Dans la mesure du possible, l'abri devrait être installé au-dessus du niveau de la crue à récurrence de 200 ans.
- Les prises d'eau du puits, l'orifice, et/ou le capteur de pression devraient être suffisamment bas pour permettre la mesure du niveau le plus bas prévu. En climat froid, ils devraient être placés sous la profondeur du gel pour ne pas qu'ils gèlent.
- La mesure ponctuelle du niveau d'eau (c.-à-d. la lecture du limnimètre de référence) doit être faite dans le planiol qui abrite le capteur, l'orifice ou les prises d'eau, de façon à ce que les deux types de mesures soient effectués dans les mêmes conditions.
- Si le site se trouve à un pont ou à proximité, il faut tenir compte de son effet hydraulique, p. ex. érosion ou sédimentation, dépression ou hausse localisée du niveau d'eau.
- Si le site se trouve en amont d'un ouvrage de décharge d'un lac ou d'un réservoir, il faut s'assurer d'installer les prises d'eau ou l'orifice en amont de la zone de marnage de l'ouvrage.
- Si une courbe de tarage hauteur-débit sera établie, il faut tenir compte des exigences pour des contrôles hydrauliques sensibles et des courbes de tarage stables et éviter les zones touchées par le refoulement de l'eau, y compris le refoulement d'autres cours d'eau en aval.

6. Sources d'erreur et résolution de problèmes

L'exactitude des données de niveau d'eau dépend de plusieurs facteurs, notamment les fluctuations temporelles du niveau d'eau, l'erreur de mesure, l'exactitude des lectures du limnimètre de référence et l'exactitude du capteur de niveau. Les tableaux suivants sont conçus pour aider à diagnostiquer les problèmes dans les données de niveau d'eau et améliorer celles-ci en énumérant les symptômes, leurs causes possibles et les solutions. Les tableaux sont suivis de figures illustrant certains des symptômes.

Il est important de noter que même si la série chronologique des niveaux d'eau présente des symptômes énumérés dans les tableaux, elle pourrait correspondre aux niveaux réels. L'observation de ces phénomènes n'indique pas toujours un problème avec le site ou le capteur.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

En plus des symptômes et des causes énumérés dans les tableaux, le niveau d'eau mesuré par le limnimètre de référence peut ne pas concorder avec les données du capteur de niveau s'ils sont soumis à des conditions hydrauliques différentes. S'ils ne se trouvent pas dans le même planiol, la hauteur d'eau peut différer, de même que les conditions hydrauliques. Cette situation doit être évitée à tout prix.

Tableau 2. Problèmes dans les données d'un limnimètre à flotteur installé dans un puits de mesurage.

Symptôme	Causes possibles	Mesure correctrice
Tracé rectiligne dans la série chronologique (Figure 15)	Flotteur ou câble perlé du flotteur accroché à la tablette ou au plancher de l'abri	Agrandir les ouvertures dans la tablette ou le plancher ou enlever des planches du plancher (cette solution peut causer des problèmes de gel)
	Contrepoids reposant sur le fond du puits	Raccourcir le câble du flotteur
	Contrepoids cognant contre la surface inférieure du plancher ou de la tablette	Allonger le câble perlé ou le ruban pour que le contrepoids se déplace librement sur toute la plage des niveaux d'eau
	Glace se formant sur le câble ou le ruban	Chauffer l'abri, agrandir les ouvertures dans le plancher et le rebord ou entourer les ouvertures de feutre imbibé d'antigel
	Si l'encodeur rotatif a un câble perlé, les perles pourraient glisser et ainsi empêcher la roue de bien tourner.	Replacer le câble perlé afin que les perles reposent bien dans les crans de la roue
	Prises d'eau ou conduites d'amenée obstruées ou gelées	Effectuer une chasse d'eau dans les conduites ou y injecter de la vapeur pour faire fondre la glace. Si une prise d'eau est enfouie, la dégager. Ajouter un appui pour soulever l'extrémité de la prise d'eau juste au-dessus du lit du cours d'eau.
	L'eau dans le puits gèle parce que la lampe est grillée ou que le cylindre d'huile a perdu de l'huile en raison d'une inondation.	Casser la glace manuellement. Si la lampe est grillée, remplacer le bulbe et régler sa hauteur. Si le cylindre d'huile a perdu de l'huile, utiliser du sel pour faire fondre la glace, puis remplacer l'huile.
	Flotteur accroché à une conduite d'amenée ou à la paroi en tôle ondulée du puits	Déplacer le flotteur de l'autre côté de l'encodeur ou changer

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

		la position de l'encodeur sur la tablette
	Prise d'eau inférieure pas assez profonde	Installer un deuxième capteur de niveau pour les conditions d'étiage
	Accumulation de vase dans le puits	Enlever la vase
	De petites fluctuations du niveau ne sont pas détectées par l'encodeur	Vérifier que le couple de départ de l'encodeur est minime et que le flotteur a une taille appropriée. Confirmer que l'encodeur répond bien.
Tracé interrompu pendant que le niveau monte ou baisse	Flotteur ou contrepoids accroché à un obstacle ou les deux accrochés l'un à l'autre	Vérifier le parcours du flotteur et du contrepoids à tous les niveaux d'eau possibles et, au besoin, agrandir les ouvertures dans le plancher et la tablette
	Mince couche de glace à la surface de l'eau dans le puits	Vérifier le dispositif de chauffage ou utiliser un cylindre d'huile aux stations sans électricité
Niveau d'eau dans le puits en retard par rapport au niveau du cours d'eau (Figure 17)	Prise d'eau ou conduite d'amenée obstruée	Effectuer une chasse d'eau dans la conduite
Niveau d'eau dans le puits différent de celui du cours d'eau et données bruitées	Poulie du flotteur desserrée	Resserrer la poulie
	Câble perlé ou ruban du flotteur désengagé	Le réengager et chercher la cause (p. ex. encrassement du trou du câble ou du ruban)
Niveau d'eau dans le puits systématiquement plus bas que dans le cours d'eau	Petit animal sur le flotteur	Enlever l'animal
Fluctuations aléatoires (barbouillage), particulièrement quand le niveau d'eau est élevé	Prises d'eau trop grandes	Refermer légèrement les robinets des prises d'eau
	Effets de la vitesse du courant sur les prises d'eau	Installer des tubes statiques à l'extrémité des prises d'eau

Tableau 3. Problèmes dans les données d'un limnimètre à bulles avec capteur de pression non submersible.

Symptôme	Causes possibles	Mesure correctrice
Barbouillage (Figure 15)	Présence d'eau dans le tuyau de gaz (barbouillage uniforme)	Purger le tuyau, essayer d'augmenter légèrement le débit de bulles. Réinstaller le tuyau pour en éliminer les points bas.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

	Présence d'huile de silicone dans le tuyau (système Conoflow seulement)	Vérifier si le niveau d'huile dans l'indicateur est trop élevé. Démontez et nettoyez l'indicateur et le tuyau.
	Présence de calcium, d'algues, de moules, etc. sur l'extrémité de l'orifice	Nettoyer et purger le tuyau.
	Dépôt de vase sur l'orifice (causant du barbouillage erratique)	Enlever la vase ou réinstaller l'orifice.
	Effets de la vitesse du courant. Le barbouillage augmente habituellement avec la vitesse.	S'assurer que l'orifice est perpendiculaire au courant. Déplacer l'orifice plus près du lit du cours d'eau. Ajouter un tube statique à l'orifice ou enfouir l'orifice dans une poche de sable ou de gravier.
	Bouillie de glace sur l'orifice, souvent au début de l'hiver. Barbouillage très erratique.	La bouillie pourrait se dissiper d'elle-même, sinon, remplacer l'orifice.
Baisses et remontées apparentes du niveau d'eau (fausse baisse) qui peuvent être confondues avec des fluctuations journalières	Fuites intermittentes causées par des variations de température (Figure 15)	Chercher les fuites et réparer
	Bouteille de gaz vide	Remplacer la bouteille de gaz
Débit de bulles irrégulier dans le regard (système Conoflow seulement)	Présence d'huile ou de particules de métal dans le robinet à pointe du régulateur	Accroître la pression d'alimentation pour voir si le débit de bulles augmente. Remplacer le régulateur ou le démonter soigneusement et le nettoyer.
	Particules coincées dans le siège du pointe	Vérifier s'il y a des particules au fond du regard. Remplacer le régulateur ou le démonter soigneusement et le nettoyer.
Débit de bulles irrégulier ou tailles variables des bulles dans le cours d'eau	Orifice encrassé	Purger le tuyau. Nettoyer l'orifice ou couper-la si besoin
Lecture bloquée à la valeur maximale de l'instrument	Orifice complètement obstrué ou gelé	Dégager le tuyau et l'orifice ou en installer de nouveaux
Niveau biaisé à la baisse après une crue	Orifice déplacé par un fort débit	Replacer l'orifice en utilisant un ancrage plus solide.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Niveau biaisé à la hausse (Figure 17)	Orifice partiellement envasé	Purger le tuyau. Si le niveau reste biaisé à la hausse, l'ancrage s'est peut-être enfoncé dans le lit du cours d'eau, ce qui n'est pas problématique en soi. Effectuer une correction du zéro du capteur.
Grande correction du zéro du capteur requise après une crue	Présence d'eau dans le tuyau en raison d'un débit de bulles trop faible	Accroître le débit de bulles.
Hausse soudaine du niveau suivie de fluctuations erratiques	Rupture du tuyau sous le niveau de l'eau	Remplacer le tuyau.
Hausse soudaine du niveau suivie d'un tracé rectiligne	Rupture du tuyau au-dessus du niveau de l'eau	Remplacer le tuyau.
Faible niveau mesuré par le capteur lorsque les eaux sont hautes	Effet d'aspiration à l'orifice par la vitesse du courant	S'assurer que l'orifice est perpendiculaire au courant. Le rapprocher du lit du cours d'eau où l'effet du courant est plus faible ou lui ajouter un tube statique. Bien fixer l'orifice pour éviter qu'il tourne.
Tracé irréaliste	Problème du tuyau qui glisse ou se déplace	Vérifier le tuyau et, au besoin, le réparer ou le remplacer.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

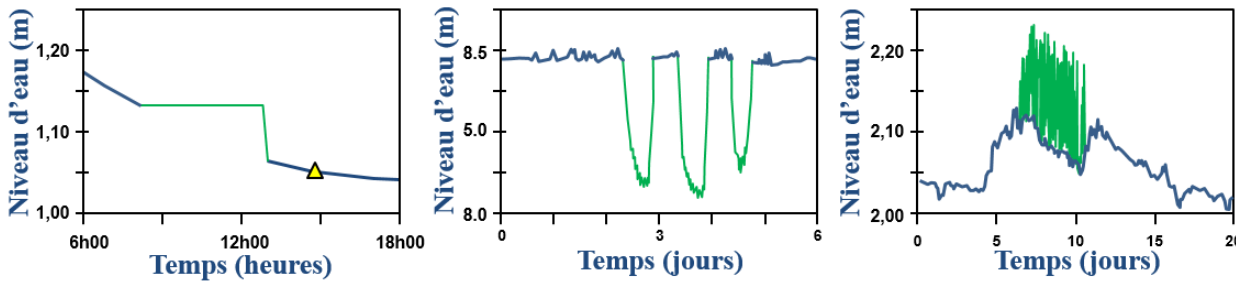


Figure 15. Données de niveau d'eau brutes (en vert) et corrigées (en bleu); le triangle jaune indique une visite sur le terrain. À gauche : tracé rectiligne causé par un limnimètre à flotteur bloqué. Au milieu : baisses temporaires du niveau mesuré causées par des fuites de gaz. À droite : barbouillage causé par des sédiments obstruant le tuyau de l'orifice.

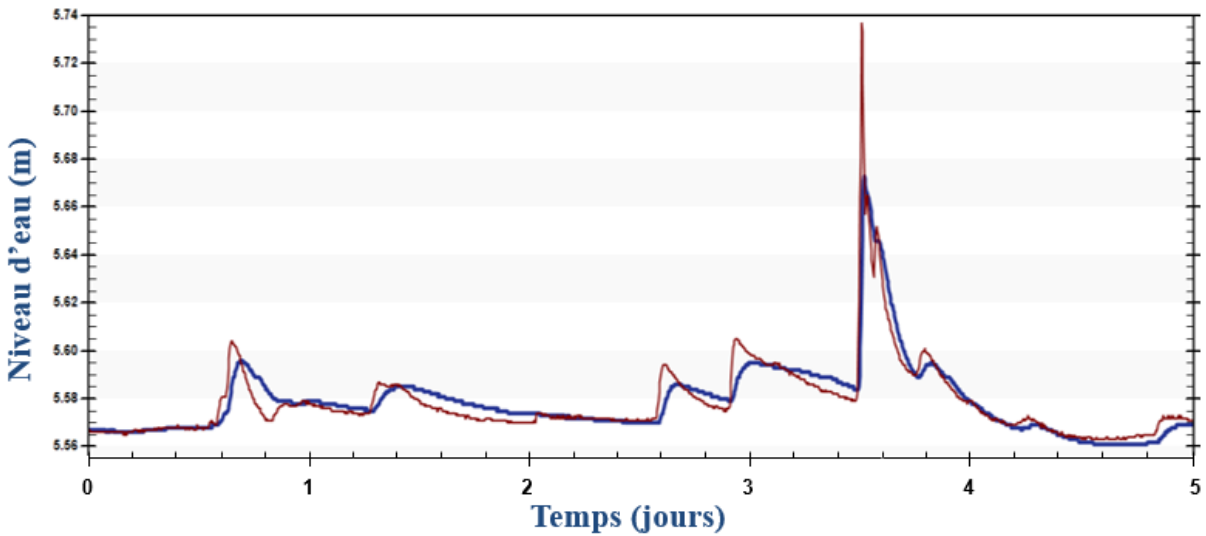


Figure 16. Niveaux d'eau mesurés dans le cours d'eau (en rouge) et le puits (en bleu) montrant un retard de réponse du capteur causé par une obstruction partielle de la prise d'eau.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

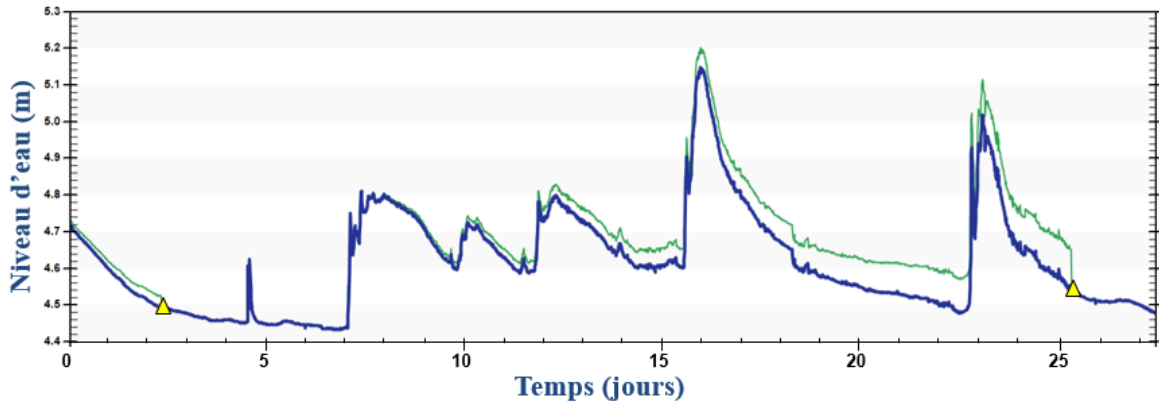


Figure 17. Données de niveau d'eau brutes (en vert) et corrigées (en bleu) lorsque l'orifice est partiellement envasé. Les triangles jaunes indiquent les visites sur le terrain.

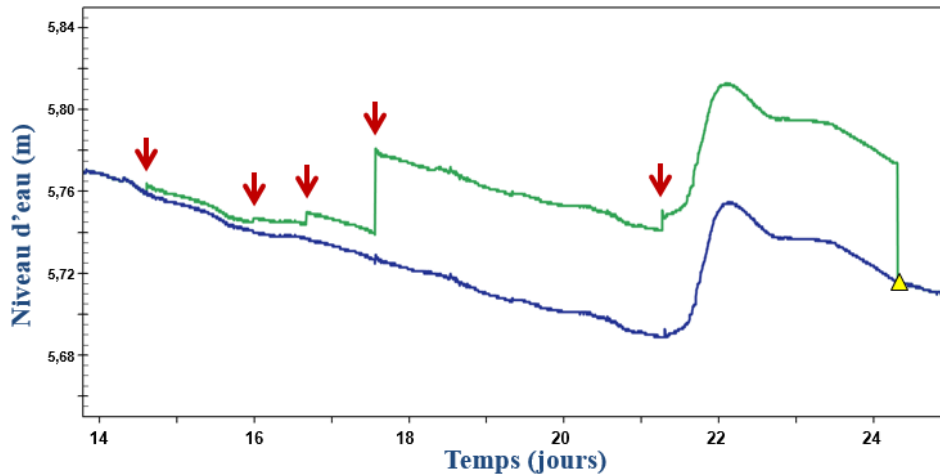


Figure 18. Données de niveau d'eau brutes (en vert) et corrigées (en bleu) lorsque le tuyau de l'orifice se déplace en raison du glissement de sa bride de fixation indiqué par les flèches rouges.

Tableau 4. Problèmes dans les données d'un capteur de pression submersible.

Symptôme	Causes possibles	Mesure correctrice
Barbouillage	Dépôts sur le capteur	Nettoyer le capteur
	La vitesse du courant au capteur influe sur la pression mesurée par le capteur (le problème s'aggrave lorsque la vitesse augmente).	S'assurer que le capteur est perpendiculaire au courant, ajouter un tube statique au capteur.

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Tracé rectiligne dans la série chronologique	Capteur défectueux	Remplacer le capteur
Dérive du capteur	Une dérive modérée est inévitable avec le temps. Si le problème est grave, le capteur pourrait être défectueux.	Effectuer une correction du zéro du capteur, c.-à-d. régler la valeur donnée par le capteur au niveau d'eau mesuré par le limnimètre de référence. Remplacer le capteur s'il semble mal fonctionner.
Pente du tracé ne correspondant pas à la réalité	Unité de mesure incorrectement définie par l'utilisateur dans l'enregistreur de données (p. ex. pieds au lieu de mètres)	Corriger l'unité de mesure
Niveau d'eau biaisé à la hausse	Capteur envasé	Nettoyer le capteur
Niveau d'eau mesuré par le capteur ne concordant pas avec la lecture du limnimètre de référence, la différence variant en fonction du niveau	Les conditions hydrauliques sont peut-être différentes aux deux endroits	S'assurer que le limnimètre de référence est aussi proche que possible du capteur de niveau d'eau, au moins dans le sens de l'écoulement.
	Effets de la vitesse du courant	S'assurer que le capteur est perpendiculaire au courant, ajouter un tube statique.

Tableau 5. Problèmes dans les données d'un capteur radar.

Symptôme	Causes possibles	Mesure correctrice
Niveau d'eau mesuré par le capteur ne concordant pas avec la lecture du limnimètre de référence	Présence de débris dans l'empreinte du radar	Enlever les débris. Si des débris s'accumulent régulièrement à cet endroit, déplacer le capteur.
Variation des valeurs données par le capteur alors que le niveau d'eau est stable ou aucune valeur donnée par le capteur	Capteur sale	Nettoyer soigneusement le capteur
	Capteur pas aligné perpendiculairement à la surface de l'eau	Corriger l'alignement du capteur
	Mouvement de la structure à laquelle le capteur est fixé (p. ex. vibrations du pont ou expansion et contraction causées par des variations de température)	Installer le capteur à un meilleur endroit
	Grandes surfaces métalliques près du faisceau du capteur	Installer le capteur à un meilleur endroit

Les exemplaires imprimés de ce document ne sont peut-être pas à jour – consultez la bibliothèque de RHC pour obtenir la version à jour.

Références

Koenig, T.A., Bruce, J.L., O'Connor, J.E., McGee, B.D., Holmes, R.R., Jr., Hollins, Ryan, Forbes, B.T., Kohn, M.S., Schellekens, M.F., Martin, Z.W., et Pepler, M.C., 2016, Identifying and preserving high-water mark data: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 3, chap. A24. Accessible à :

<http://dx.doi.org/10.3133/tm3A24>.

Halliday, R.A., et Terzi, R.A. 1983. Manuel pratique de levés hydrométriques – Mesure de niveaux, Relevés hydrologiques du Canada, Environnement Canada.

OTT, 2018, Operating instructions Pressure Probe OTT PLS, Document number 63.037.001.B.E 07-0117.

Sauer, V.B., et Turnipseed, D.P., 2010, Stage measurement at gaging stations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods book 3, chap. A7, 45 p. Accessible à : <http://pubs.usgs.gov/tm/tm3-a7/>.

Slimmon, W., 2006, Programme de perfectionnement professionnel du technicien en hydrométrie de la Division des relevés hydrologiques du Canada, Cours n° 6 – Servomanomètre (à bulles).

Water Survey of Canada, 2006, Environmental Monitoring System Operational Specifications for Shaft Encoder Water Level Sensor, qTEC-NA051-01-2006.

Water Survey of Canada, 2007, qTEC-NA012-01-2007 – Recommendation for Data Logging Intervals.

Water Survey of Canada, 2017, qTEC-NA050-03-2017 -- Water Survey of Canada's Specifications for Pressure Transducers.

