



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Manuel pratique de levés hydrométriques : Nivellement



Relevés hydrologiques du Canada
Environnement et Changement climatique Canada
qSOP-NA005-05-2023



Référence recommandée :

Environnement et Changement climatique Canada (2023). Manuel pratique de levés hydrométriques – Nivellement, qSOP-NA005-05-2023. Relevés hydrologiques du Canada, Services hydrologiques nationaux, Service météorologique du Canada.

Auteurs : Stephanie Moore, Otto Bédard, Gregory Langston, François Rainville et James Wilcox.

- © Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Environnement et par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), 15 juin 2023.

Document also available in English.

Photographies de la couverture avant

Photo de gauche : Allison Taylor au ruisseau Pincher, au chemin Front Range (Alberta) © Julia Schneider.

Photo du centre : Réserve de médaillons repères en laiton à Gatineau (Québec) © Paul Campbell.

Photo de droite : Kyle Page aidant à effectuer un levé pour une mesure indirecte à la rivière Red Deer (Alberta) © Jerry Wagner-Watchel.

Photographies de la couverture arrière

Photo de gauche : Shale Eberhard à la rivière Takhini, près de Whitehorse (Yukon) © Pat Maltais.

Photo du centre : Nivellement d'un déversoir au ruisseau Maple (Saskatchewan) © P.M. Sauder (1909).

Photo de droite : Sean O'Connor à la rivière Sunwapta, au glacier Athabasca © Dave Moncur.

Avant-propos	v
Glossaire.....	6
Tableau des principales instructions de la PON sur le nivellement.....	8
1. Introduction	11
2. Limnimètre de référence et niveau de référence opérationnel.....	11
2.1 Limnimètres de référence.....	11
2.2 Niveaux de référence opérationnels.....	12
3. Repères	13
3.1 Installation et identification des repères	13
3.2 Repères installés à l'horizontale	15
3.3 Repères installés à la verticale	15
4. Surveillance de la stabilité des repères.....	16
4.1 Définition de la stabilité	16
4.2 Fréquence de nivellement	18
4.3 Remplacement d'un repère ou changement de sa hauteur établie.....	18
5. Instrumentation	19
5.1 Niveau d'arpentage optique	19
5.2 Niveau d'arpentage numérique	20
5.3 Station totale (nivellement trigonométrique)	21
5.4 Utilisation d'un système mondial de navigation par satellite (GNSS)	22
5.5 Entretien courant.....	22
6. Erreurs.....	23
6.1 Sources d'erreurs	23
6.2 Erreur de fermeture et tolérance de nivellement	24
6.3 Distribution de l'erreur de fermeture.....	25
7. Cheminements de nivellement acceptables.....	25
7.1 Cheminement aller et retour avec deux mises en station de l'instrument	27
7.2 Cheminement aller et retour avec au moins quatre mises en station	28
7.3 Boucle simple	30
8. Surveillance de la stabilité du limnimètre de référence.....	31
8.1 Nivellement du limnimètre de référence	31
8.2 Corrections de niveau	32
8.3 Modification de la hauteur établie du limnimètre de référence.....	33

9. Nivellement du niveau d'eau et d'autres points d'intérêt.....	34
10. Exigences en matière de documentation	35
10.1 Notes de terrain pour le nivellement.....	35
10.2 Documentation supplémentaire	36
Références	38
Annexe A. Procédures d'utilisation des stations totales	39
Annexe B. Test des deux piquets	40

Contrôle des versions

Version	Date	Source	Description/justification du changement
0.0	1973		Première édition
1.0	1984		Passage du système impérial au système métrique
1.1	2005	FR	Reformatage
3.0	Juin 2017	SAM, FR, JAW, CT	Révision du qSOP-NA005-02 pour préciser et mettre à jour les exigences.
4.0	Mai 2019	SAM	Correction de deux phrases incorrectes et clarification d'un diagramme.
5.0	Juin 2023	SAM, KOB, GL	<ul style="list-style-type: none"> - Ajout de la convention d'appellation requise pour les points de mesure. - Amélioration des exigences de description des repères pour aider à les retrouver sur place. - Modification des énoncés concernant les niveaux de référence opérationnels, clarification de l'avantage de n'utiliser que les niveaux de référence arbitraires - Retrait de l'exigence que tous les repères soient indépendants de la structure supportant le limnimètre. - Amélioration des recommandations pour l'utilisation d'une station totale.

Avant-propos

Relevés hydrologiques du Canada (RHC) est l'organe opérationnel des Services hydrologiques nationaux. En tant que principal opérateur du Programme hydrométrique national depuis plus de 115 ans, RHC est chargé de recueillir, d'interpréter et de diffuser des données hydrométriques normalisées et de l'information connexe au Canada.

Relevés hydrologiques du Canada est une organisation certifiée ISO 9001 (par l'Organisation internationale de normalisation) qui souscrit au principe d'amélioration continue. L'adoption de pratiques de nivellement normalisées est essentielle à la surveillance des niveaux d'eau et des débits. Nous reconnaissons qu'au sein de notre programme, il existe des différences dans la manière dont certaines procédures sont appliquées et que ces différences sont attribuables à la géographie et aux héritages historiques. Nous reconnaissons également que des enseignements importants peuvent être tirés des différentes approches et qu'il n'existe pas de solution unique à tous les problèmes. Nous nous efforçons d'élaborer des normes qui priorisent l'intégrité et l'utilité des données.

Le présent document décrit nos méthodes de terrain pour toutes les activités de nivellement, y compris l'évaluation de la stabilité des repères et des limnimètres. Il s'agit d'une mise à jour du document *qSOP-NA005-04-2019* qui vise à préciser et à actualiser certaines exigences. Les procédures décrites dans le présent document remplacent les procédures de nivellement précédentes et seront appliquées par RHC à l'avenir, mais elles ne seront pas appliquées rétroactivement.

Bon nombre de nos employés ont contribué à l'élaboration et à la mise à jour du présent document. Nous remercions les personnes suivantes qui y ont récemment contribué (par ordre alphabétique) : Lindsay Armstrong, Amber Brown, Marcena Crozier, Aaron Donohue, Chris Kahler, Theodore Mlynowski, Stephanie Pow, Leigh Sinclair, Melanie Taylor, Julie Thérien et Jerry Yeung. Nous remercions également Ismael Foroughi et Mahmoud Abdel-Gelil, de Ressources naturelles Canada, pour leurs contributions à la section sur les stations totales, ainsi que Brian Donahue, de Ressources naturelles Canada, pour sa contribution à la section sur l'utilisation d'un système mondial de navigation par satellite (GNSS) en mode cinématique en temps réel (RTK). Nous sommes convaincus que ce travail nous aidera à unifier, à stabiliser et à moderniser le Programme hydrométrique national.

R. Wayne Jenkinson
Directeur exécutif, Services hydrologiques nationaux
Juin 2023

Glossaire

Analyse de station (*Station Analysis*) : document qui décrit tous les détails d'interprétation et les décisions qui ont servi à la production de données à une station hydrométrique.

Cheminement aller et retour, ou cheminement double : cheminement de nivellement dans lequel deux visées avant indépendantes et deux visées arrière indépendantes sont effectuées sur le point à niveler.

Cheminement de nivellement : ligne de nivellements qui se termine à son point d'origine ou à un autre repère dont la hauteur est déjà établie.

Cheminement fermé : cheminement de nivellement qui se termine à son point de départ.

Correction de niveau (*Gauge Correction, GC*) : correction appliquée aux niveaux d'eau mesurés pour tenir compte d'un déplacement vertical du 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.

Erreur de collimation : écart de la visée d'un niveau par rapport à l'horizontale, souvent exprimé en écart vertical sur une distance horizontale, p. ex. x millimètres sur y mètres.

Erreur de fermeture : différence entre la hauteur du point de départ d'un cheminement fermé et la hauteur du même point nivelé à partir de la dernière mise en station de l'instrument.

Hauteur de l'instrument (HI) : hauteur de la ligne de visée horizontale d'un instrument de nivellement.

Hauteur établie : hauteur documentée d'un repère ou d'un limnimètre de référence à laquelle on compare les hauteurs nivelées.

Hauteur nivelée : hauteur d'un point mesurée par nivellement.

Historique des repères (*Benchmark History*) : registre des hauteurs nivelées de tous les repères et limnimètres de référence utilisés à une station hydrométrique depuis qu'elle existe.

Limnimètre de référence : limnimètre servant à rapporter le niveau d'eau au niveau de référence opérationnel. Il peut s'agir d'un limnimètre à contact électrique, d'un point de mesure ou d'un repère d'où l'on mesure directement le niveau d'eau.

Mire de nivellement : perche graduée servant à mesurer la distance verticale entre le point d'intérêt (p. ex. un repère ou le niveau d'eau) et la hauteur de l'instrument (voir la définition plus haut).

Niveau d'eau : hauteur de la surface de l'eau au-dessus du niveau de référence.

Niveau de référence opérationnel : surface à laquelle les hauteurs de niveau d'eau sont rapportées.

Nivelle : niveau circulaire monté sur une équerre que l'on tient contre la mire de nivellement pour maintenir celle-ci en position verticale.

Nivellement différentiel : mesure de la différence de hauteur entre un point de hauteur connue et un point dont on veut connaître la hauteur.

Point de mesure : point stable et accessible (situé par exemple sur un pont ou un quai) d'où l'on mesure la distance verticale à la surface de l'eau.

Point de nivellement : point dont on veut déterminer la hauteur. Il s'agit du point où l'on place la mire de nivellement et sur lequel on focalise la visée de l'instrument de nivellement.

Point de retour : dernier point de nivellement mesuré sur le cheminement aller et premier point mesuré sur le cheminement retour. Il s'agit du point de cheminement servant à établir une nouvelle hauteur de l'instrument pour déterminer de nouveau la hauteur des points nivelés sur le cheminement aller.

Point de retour : dernier point de nivellement mesuré sur le cheminement aller et premier point mesuré sur le cheminement retour. Il s'agit du point de cheminement servant à établir une nouvelle hauteur de l'instrument pour déterminer de nouveau la hauteur des points nivelés sur le cheminement aller.

Rattachement complet : nivellement de tous les repères et limnimètres de référence d'une station hydrométrique, en commençant par le repère primaire.

Repère : point de référence fixe et permanent dont la hauteur est connue.

Repère primaire : repère que l'on considère être le plus stable du réseau de référence local.

Réseau de référence local : ensemble des repères à un site.

Station hydrométrique : lieu où l'on effectue des relevés systématiques du niveau d'eau (et souvent aussi du débit).

Système de calcul des données : logiciel dans lequel les corrections et la validation des données sont effectuées (au moment de la publication du présent document, RHC se sert du logiciel Aquarius Time-Series d'Aquatic Informatics).

Tolérance de nivellement : erreur de fermeture maximale permise pour un cheminement donné. Elle dépend du nombre de mises en station de l'instrument et de la longueur du cheminement.

Visée : lecture de la mire de nivellement à travers la lunette du niveau.

Visée arrière (*Backsight, BS*) : visée effectuée sur un repère ou un point de hauteur connue afin de déterminer la hauteur de l'instrument.

Visée avant (*Foresight, FS*) : visée effectuée sur un point dont on veut déterminer la hauteur.

Visée avant intermédiaire : visée avant effectuée à partir de la même mise en station de l'instrument utilisée pour le point de nivellement précédent.

Tableau des principales instructions de la PON sur le nivellement

Le tableau suivant énumère les principales règles et normes figurant dans le présent document. Certaines phrases ont été raccourcies par souci de concision. Le corps du texte donne le contexte de chacun des points. Les termes **doit/doivent** et **devrait/devraient** sont utilisés à dessein dans le document : les énoncés employant **doit** ou **doivent** sont des exigences, tandis que ceux employant **devrait** ou **devraient** sont des pratiques exemplaires recommandées. Si l'on décide de ne pas suivre un énoncé employant **devrait** ou **devraient**, on **doit** documenter la justification du choix de faire autrement.

<p>Limnimètre de référence et niveau de référence opérationnel</p>	<p>Il est préférable de n'avoir qu'un seul limnimètre de référence par station afin de réduire les risques d'erreurs lorsqu'on applique des corrections de niveau.</p> <p>Le limnimètre de référence et les repères doivent se rapporter à un niveau de référence fixe, qu'on appelle le niveau de référence opérationnel.</p> <p>Des niveaux de référence arbitraires doivent être utilisés aux stations hydrométriques.</p> <p>Lorsqu'on établit un nouveau site, il est recommandé d'attribuer une hauteur de 100,000 m au repère primaire.</p> <p>Tous les efforts raisonnables devraient être faits pour toujours exprimer les hauteurs nivelées à une station hydrométrique par rapport au même niveau de référence arbitraire.</p>
<p>Repères</p>	<p>Une station hydrométrique doit comprendre au moins trois repères permanents et stables qui sont indépendants les uns des autres.</p> <p>Les repères devraient être écartés les uns des autres et éloignés des berges du cours d'eau et des zones d'activité humaine destructrice. Si possible, au moins un repère doit se trouver au-dessus du niveau de la plaine inondable.</p> <p>Tous les repères doivent posséder un code d'identification unique. Voir les détails dans le corps du texte.</p> <p>Les repères doivent être adéquatement décrits dans le système de calcul des données et dans tout autre dossier pertinent de la station. Voir les détails dans le corps du texte.</p> <p>Les repères temporaires ne devraient être utilisés que durant une période relativement courte jusqu'à ce que des repères permanents soient établis.</p> <p>Les points de mesure devraient suivre la même convention d'identification et de description que les repères.</p>
<p>Surveillance de la stabilité des repères</p>	<p>On doit niveler tous les repères et limnimètres de référence une fois par année aux stations stables, préférablement après le dégel printanier, et au moins deux fois par année aux stations instables.</p> <p>La stabilité des repères devrait être évaluée après chaque rattachement complet.</p>

	<p>Un repère ou un limnimètre de référence est stable si ses hauteurs nivelées fluctuent autour d'une valeur constante depuis trois ans et que leurs écarts par rapport à la hauteur nivelée moyenne n'ont pas dépassé la tolérance de nivellement.</p> <p>Un repère ou un limnimètre de référence est instable si l'écart entre sa hauteur nivelée et sa hauteur établie dépasse la tolérance de nivellement ou si ces écarts présentent une tendance (même si les écarts se situent dans les limites de la tolérance de nivellement).</p> <p>Si la hauteur nivelée d'un repère reste constante après une période d'instabilité, on devrait fixer sa hauteur établie à la valeur moyenne obtenue dans au moins trois cheminements aller et retour consécutifs sur une période d'au moins 18 mois</p> <p>Si un repère primaire devient instable, le rôle de repère primaire devrait être attribué au plus stable des autres repères.</p> <p>Un nouveau repère devrait être installé pour remplacer un repère instable. La hauteur des deux repères devrait être surveillée jusqu'à ce que le nouveau repère s'avère le plus stable des deux d'après les résultats d'au moins trois rattachements complets de la station sur une période d'au moins 18 mois.</p> <p>Lorsqu'on a démontré la stabilité du nouveau repère, l'ancien repère (instable) doit être enlevé ou détruit.</p> <p>Si le limnimètre de référence est instable, on devrait envisager de le niveler à chaque visite de la station afin d'éviter les complications associées aux corrections de niveau.</p> <p>Toute décision concernant le remplacement d'un repère ou une modification de sa hauteur établie doit être documentée dans le système de calcul des données et l'analyse de station.</p> <p>Les hauteurs établies ne doivent être modifiées qu'après consultation de votre superviseur ou de votre superviseur du contrôle des données.</p>
Instrumentation	<p>Niveaux d'arpentage (optiques et numériques) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leur utilisation est acceptée pour tous les aspects de la mesure des hauteurs. • L'exactitude recommandée de l'instrument pour un cheminement aller et retour de 1 km au total est de 2 mm. <p>Stations totales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • On peut les utiliser sur des pentes abruptes ou pour de longues visées afin de réduire le nombre de mises en station de l'instrument. • L'exactitude recommandée de l'instrument est de 1,5 mm + 2 ppm pour la distance horizontale et de 1" pour l'angle. Si les visées sont en-dessous de 300 m, une exactitude moins précise est acceptable. <p>Systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ces systèmes peuvent mesurer des dénivelées plus exactes que le nivellement au niveau à bulle lorsque les repères sont séparés par des kilomètres. <p>Les tests de validation décrits dans le guide d'utilisation de chaque instrument doivent être effectués avant tout rattachement complet d'une station, au moins une fois par année, ainsi qu'après toute utilisation de l'instrument où il a subi des chocs.</p>

	<p>Les instruments numériques modernes doivent normalement faire l'objet d'un entretien annuel effectué par un agent autorisé pour chaque type d'instrument.</p> <p>Les résultats des tests et des étalonnages devraient être documentés conformément aux procédures régionales.</p> <p>Si un test des deux piquets n'est pas effectué avant un nivellement différentiel, toutes les visées faites pour une mise en station d'un instrument doivent avoir la même distance pour limiter l'erreur de collimation.</p> <p>Les mires de nivellement ne devraient pas être allongées à plus de 3 m à moins que cela soit nécessaire.</p>
Erreurs	<p>On doit vérifier les résultats d'un levé de nivellement sur le terrain avant de quitter la station afin de déceler et d'éliminer d'éventuelles erreurs.</p> <p>Pour être acceptable, l'erreur de fermeture doit se situer dans les limites de la tolérance de nivellement. Si ce n'est pas le cas, on doit effectuer de nouveau le cheminement.</p> <p>Pour les cheminements de trois mises en station ou moins, la tolérance de nivellement est de $\pm 0,003$ m.</p> <p>Si l'erreur de fermeture est $\leq \pm 0,003$ m, les hauteurs des points de nivellement mesurées sur le cheminement aller devraient être enregistrées.</p> <p>Pour les cheminements de quatre mises en station ou plus, voir la section 6.2.</p> <p>On ne distribue jamais l'erreur de fermeture pour des cheminements de trois mises en station ou moins.</p>
Cheminements de nivellement acceptables	<p>Pour évaluer la stabilité du réseau de référence local, le cheminement doit débuter au repère primaire. Ainsi, pour une série de petites boucles de nivellement, la première boucle doit débuter au repère primaire.</p>
Surveillance de la stabilité du limnimètre de référence	<p>La fréquence à laquelle on doit mesurer la hauteur du limnimètre de référence dépend de sa stabilité documentée (section Error! Reference source not found.), mais au minimum elle doit être mesurée une fois par année.</p> <p>Si la valeur absolue de la correction de niveau est $\leq 0,003$ m, aucune correction n'est appliquée, mais si elle dépasse 0,003 m, la correction est appliquée à toutes les données de niveau d'eau.</p> <p>Les corrections de niveau ne doivent être appliquées que dans le système de calcul des données; elles ne doivent pas être appliquées dans l'enregistreur de données de la station.</p> <p>La décision de modifier la hauteur établie d'un limnimètre de référence doit être fondée sur une analyse de l'historique des repères.</p>
Documentation	<p>Voir à la section 10 les exigences de documentation des repères et des limnimètres de référence.</p>

1. Introduction

Les stations hydrométriques sont installées pour mesurer à fréquence élevée et avec exactitude les niveaux d'eau de lacs ou de cours d'eau. L'absence de niveau de référence permanent ou l'instabilité du capteur de niveau d'eau, des repères ou du limnimètre de référence peuvent occasionner un manque de fiabilité ou une inexactitude des données de niveau d'eau et de débit. Bien qu'on puisse surmonter certains problèmes en positionnant soigneusement les repères et les installations, on doit les niveler périodiquement pour évaluer leur stabilité.

Le nivellement est le processus de détermination de l'altitude (hauteur) de points d'intérêt. Voici les quatre principaux objectifs du nivellement pour des opérations hydrométriques :

1. Surveiller la stabilité d'un réseau de repères de nivellement.
2. Surveiller le déplacement vertical d'un limnimètre de référence pour déterminer les corrections de niveau.
3. Mesurer directement les niveaux d'eau pour déterminer les corrections à apporter au zéro du capteur (*sensor reset corrections*).
4. Déterminer la hauteur d'autres points comme une laisse de crue ou le lit d'un cours d'eau.

Toutes les activités de nivellement dépendent des résultats de la surveillance de la stabilité des repères de nivellement puisque la hauteur du repère primaire sert à déterminer les hauteurs de tous les autres points nivelés.

2. Limnimètre de référence et niveau de référence opérationnel

2.1 Limnimètres de référence

Les lectures du capteur de niveau d'eau sont régulièrement comparées aux lectures du limnimètre de référence à chaque station hydrométrique. Le limnimètre de référence peut être une échelle limnimétrique, un limnimètre à fil lesté installé sur un pont ou un limnimètre à contact électrique installé dans l'abri de la station. Il peut aussi s'agir d'un point permanent d'où l'on mesure directement le niveau d'eau, p. ex. un repère ou un point de mesure. Il est préférable de n'avoir qu'un seul limnimètre de référence par station afin de réduire le risque d'erreur lorsqu'on applique des corrections de niveau.

Les points de mesure (MP : *measuring point*) sont des emplacements fixes servant à mesurer directement le niveau de l'eau, par exemple un boulon dans une culée de pont, une rainure en V dans une plaque d'acier sur une passerelle ou une tige enfoncée dans le lit de la rivière. La convention d'identification des repères devrait être suivie pour désigner les points de mesure utilisés de façon plus que temporaire. En outre, les points de mesure devraient être bien décrits dans le système de calcul des données et les dossiers de station afin d'assurer le suivi des hauteurs et de permettre de localiser les points de mesure en toute saison. Les points de mesure devraient être utilisés avec précaution, et leurs hauteurs devraient être déterminées à une fréquence suffisante pour éviter le besoin d'appliquer des corrections de niveau. Voici un exemple d'identification d'un point de mesure : MP O2022-302, avec la description « Boulon situé dans un mur de soutènement en béton, à 0,3 m sous le sommet du mur et à 5,1 m au sud de la porte de l'abri de la station hydrométrique, en ligne avec la poignée. Le bord du béton est peint à titre de référence. » Les points de mesure devraient être identifiés et décrits selon la même convention que pour les repères (voir la section 3.1), mais le numéro d'identification devrait être précédé de « MP ».

2.2 Niveaux de référence opérationnels

Pour obtenir des données de niveau d'eau exactes et fiables à une station hydrométrique, le limnimètre de référence et les repères doivent se rapporter à un niveau de référence fixe, que l'on appelle le niveau de référence opérationnel (Figure 1). Toutes les hauteurs sont exprimées par rapport à cette surface horizontale. Le niveau de référence opérationnel est le plus souvent un niveau de référence arbitraire, dont on définit le zéro en attribuant une hauteur arbitraire au repère primaire. Lorsqu'on établit un nouveau site, il est recommandé d'attribuer une hauteur de 100,000 m au repère primaire afin de garantir que les valeurs de hauteur restent positives même si un mouvement important du terrain ou une érosion du lit d'un cours d'eau se produit. Des valeurs de hauteur négatives ne sont pas problématiques, mais elles sont souvent moins désirables.

La conversion d'un système de référence à un autre sert à exprimer les données de niveau d'eau par rapport à un niveau de référence différent, qu'il soit arbitraire ou absolu (géodésique). La conversion est la différence entre la hauteur du limnimètre de référence par rapport au niveau de référence d'intérêt et la hauteur par rapport au niveau de référence opérationnel. Cette valeur est ajoutée ou soustraite des données de niveau d'eau hors du système de calcul des données, souvent par l'utilisateur final. Par exemple, une conversion du niveau de référence peut servir à exprimer des données de niveau d'eau par rapport au Système canadien de référence altimétrique de 2013. Comme les systèmes de référence géodésiques changent au fil du temps en raison des changements dans la forme et la taille de la planète, le niveau de référence opérationnel ne devrait pas être un niveau de référence géodésique. L'utilisation d'un référentiel géodésique nécessiterait une confirmation régulière de la hauteur du limnimètre de référence par rapport aux cadres de référence géodésique et introduirait une source d'erreur non contrôlée et une non-stationnarité inutile des données de la station.

Des niveaux de référence arbitraires doivent être utilisés aux stations hydrométriques.

Pour assurer la qualité des données, le niveau de référence opérationnel de chaque station doit être documenté dans HYDEX. Si des niveaux de référence supplémentaires sont requis, on doit les entrer dans HYDEX en tant que conversions, ainsi que tous les renseignements disponibles sur la façon dont les conversions ont été effectuées.

Tous les efforts raisonnables devraient être faits pour toujours exprimer les hauteurs nivelées à une station donnée par rapport au même niveau de référence arbitraire. Il est particulièrement important de le faire lorsqu'on réactive une station. L'utilisation constante du même niveau de référence donne une série chronologique cohérente de niveaux d'eau, ce qui accroît la valeur des données hydrométriques à de nombreuses fins hydrologiques et techniques.

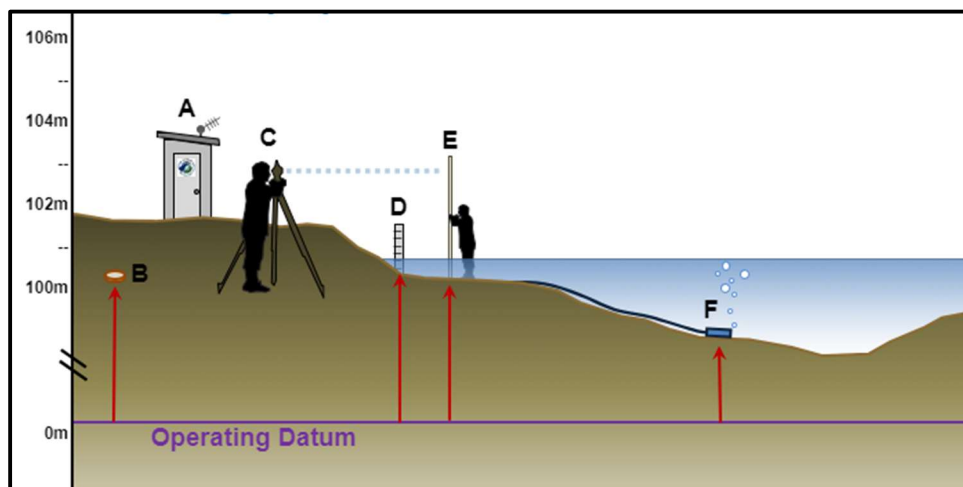


Figure 1. Schéma montrant A) l'abri de la station hydrométrique, B) le repère primaire, C) le niveau d'arpentage et son utilisateur, D) le limnimètre de référence, E) la mire de nivellement et F) le capteur de niveau d'eau ou l'orifice.

3. Repères

Les hauteurs de tous les repères et du limnimètre de référence doivent être rapportées au niveau de référence opérationnel afin d'assurer l'exactitude et la continuité des données. Pour assurer la continuité du niveau de référence, il faut au moins trois repères permanents et stables qui sont indépendants les uns des autres. S'il n'y a que deux repères à une station, il est impossible de déterminer lequel des deux serait responsable d'un écart entre la hauteur nivelée et la hauteur établie. Par contre, il ne sert à rien d'avoir plus de quatre repères pour en déterminer la stabilité. Dans le présent document, l'ensemble des repères d'une station est désigné réseau de référence local.

En plus de servir de système de référence pour le niveau de référence opérationnel, les repères sont utilisés pour surveiller la stabilité du site. Il arrive que des repères soient déplacés ou détruits par des processus naturels comme l'érosion, un séisme, un affaissement structurel ou par des activités humaines comme des travaux de construction ou le déneigement. Par conséquent, pour réduire le risque de perte de rattachement au niveau de référence opérationnel et bien évaluer la stabilité du site, les repères doivent être écartés les uns des autres et éloignés des berges du cours d'eau et des zones d'activité humaine destructrice. Au moins un repère devrait se trouver au-dessus du niveau de la plaine inondable. Dans la mesure du possible, toutes les stations devraient avoir au moins un repère offrant une vaste vue dégagée du ciel pour y permettre l'obtention de données d'un système mondial de navigation par satellite.

3.1 Installation et identification des repères

Relevés hydrologiques du Canada utilise divers types d'installations de repères. Voici les caractéristiques que devraient avoir ces installations :

- au moins un repère installé au-dessus de la ligne de hautes eaux connue ou prévue;
- accès sécuritaire à au moins un repère en toute saison, quel que soit le niveau de l'eau;
- repères placés de façon à réduire d'éventuels dommages causés par la glace, de l'équipement motorisé et des activités humaines;
- prise en compte des emprises de services publics et des propriétés privées autour de la station hydrométrique – le cas échéant, il faut obtenir la permission et la localisation des services publics souterrains;
- si des repères à tige filetée sont utilisés, les tiges doivent être enfoncées jusqu'à ce qu'elles ne s'enfoncent plus;

- il faut prioriser les endroits où le substratum rocheux est suffisamment solide pour assurer la stabilité à long terme des repères;
- les repères devraient se trouver dans différents endroits et types de matériaux afin de s'assurer que chaque repère est indépendant des autres.

Des médaillons en laiton servent à identifier les repères de deux façons : un médaillon avec queue d'ancrage en laiton peut être installé à la verticale ou à l'horizontale dans une surface de roc ou de béton (voir les sections suivantes sur l'installation des repères) ou un médaillon de laiton peut être vissé sur des tiges filetées couplées. L'application d'un enduit de frein filet sur le médaillon et les tiges filetées permettent d'assurer la longévité du repère. S'il n'est pas possible d'installer un repère de RHC, il est acceptable d'utiliser un repère permanent jugé stable d'un autre organisme. On atténuerait ainsi toute préoccupation quant à l'installation d'un repère sur un ouvrage comme un pont ou un barrage. Tous les repères de RHC doivent posséder un code d'identification unique qui est assigné et contrôlé par le bureau régional de RHC. Le code d'identification est inscrit sur la partie centrale bombée du repère officiel (Figure 2). Les codes d'identification des repères doivent toujours être inscrits dans la description de la station, son historique des repères (*benchmark history*) et le système de calcul des données. Si des repères d'un autre organisme sont utilisés, les codes d'identification uniques préexistants devraient être utilisés pour documenter l'utilisation et l'historique du repère.

Voici le format que devrait avoir le code d'identification unique : PROVINCE-ANNÉE-NUMÉRO DE SÉRIE. Par exemple, le repère A2016-118 a été installé en Alberta en 2016 et a été le 118^e auquel on a attribué un code d'identification cette année-là. Les abréviations des provinces et des territoires sont indiquées ci-dessous.

A : Alberta	NO : Nord de l'Ontario	PE : Île-du-Prince-Édouard
BC : Colombie-Britannique	NS : Nouvelle-Écosse	Q : Québec
M : Manitoba	NT : Territoires du Nord-Ouest	S : Saskatchewan
N : Terre-Neuve	NU : Nunavut	YT : Territoire du Yukon
NB : Nouveau-Brunswick	O : Ontario	



Figure 2 : Photo d'un repère de RHC montrant son code d'identification.

s'il faut utiliser comme repère un élément non marqué d'un ouvrage, par exemple un boulon de pont, il faut l'identifier de façon permanente en lui attribuant un code d'identification de RHC et en installant à côté une plaque, une gravure ou un panneau qui indique la position et le code d'identification du repère (p. ex. A2016-118).

Les repères doivent être correctement nommés et adéquatement décrits dans le système de calcul des données et dans tout autre dossier pertinent de la station. Le nom d'un repère doit comprendre le préfixe approprié (p. ex. BM, TBM ou MP), suivie d'une espace (p. ex. BM A2016-118). Cette description doit permettre de localiser facilement chaque repère à tout moment de l'année. La description doit comprendre la localisation (distance et azimuth) du repère par rapport à des éléments permanents du site, et non par rapport à d'autres repères, ainsi que la description physique du repère. Voici un exemple de description convenable : « Repère S2017-129 : médaillon de laiton sur une tige filetée enfoncée à une profondeur de 8 m, situé à 12,3 m au nord-ouest du coin nord-ouest de l'abri de la station et à 6,1 m au nord du support de l'ancien pluviomètre. ».

Les repères temporaires, comme ceux qu'on établit dans une situation d'inondation, n'ont pas besoin de médaillon de laiton. Les repères temporaires sont établis pour des stations nouvellement construites et des stations existantes dont des repères permanents ont été récemment détruits. Les repères temporaires ne doivent être utilisés que durant une période relativement courte jusqu'à ce que des repères permanents soient établis. La convention d'appellation de ces repères est la même que pour les autres repères si ce n'est que l'on ajoute un « T », p. ex. « TBM S2017-129 : gros clou dans une épipette de 40 cm de diamètre, à 5 m au nord-ouest du coin nord de l'abri ».

3.2 Repères installés à l'horizontale

Les repères installés à l'horizontale sont souvent fixés au sol, à du roc ou à du béton. Il est parfois difficile d'installer un repère sur un plan parfaitement horizontal, comme le montre la Figure 3b où le médaillon du repère est légèrement incliné. Lorsqu'on nivelle ces repères, on doit donc effectuer la mesure en plaçant la mire de nivellement sur le point le plus élevé du médaillon.

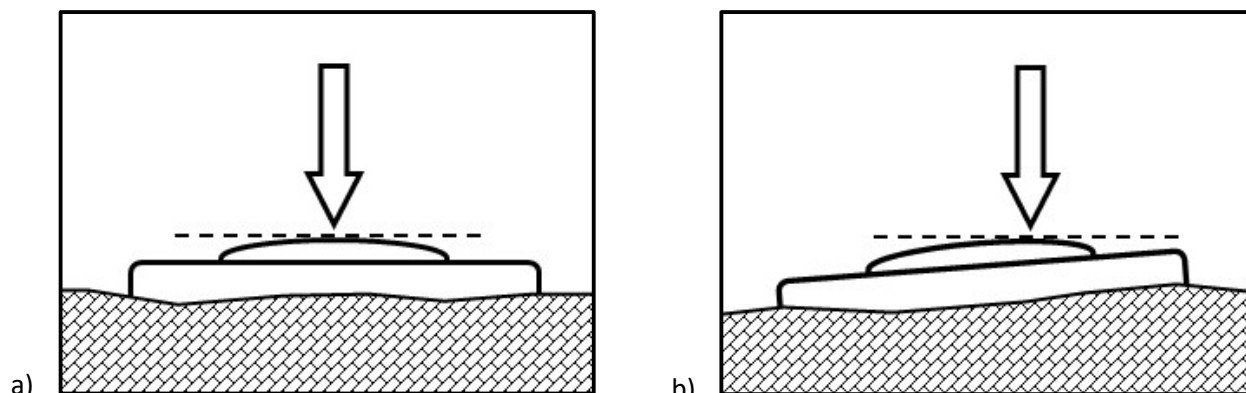


Figure 3. Médaillons de repère installés à l'horizontale. La flèche montre où l'on doit placer la mire pour niveler le repère.

3.3 Repères installés à la verticale

Les repères installés à la verticale sont souvent fixés à la structure de béton d'un bâtiment ou d'un pont. La mire de nivellement vient s'appuyer sur le sommet de la partie bombée (gravée d'une croix) du médaillon, comme le montre la Figure 4. Utilisation d'un repère installé à la verticale. La flèche gravée sur le médaillon indique où placer la mire de nivellement : a) sur le sommet de la partie bombée ou b) sur un ciseau à repères fiché dans la rainure horizontale.

a. S'il n'est pas possible de placer cette mire sur le sommet de la partie bombée, alors on la place sur un ciseau à repères qu'on a fiché dans la rainure horizontale de la croix, comme le montre la Figure 4. Utilisation d'un repère installé à la verticale. La flèche gravée sur le médaillon indique où placer la mire de nivellement : a) sur le sommet de la partie bombée ou b) sur un ciseau à repères fiché dans la rainure horizontale.

b. Dans les deux cas, une flèche gravée sur la partie en saillie doit indiquer le point auquel la hauteur du repère s'applique, point qui doit être précisé dans la description du repère. La mire doit être tenue dans une de ces deux positions, et non sur le rebord externe du médaillon.

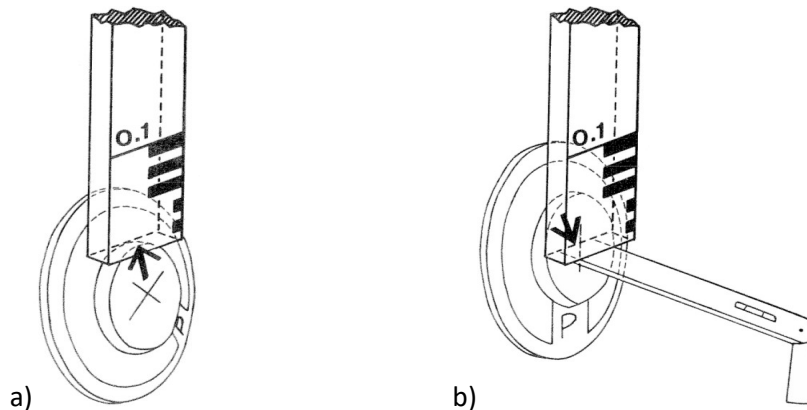


Figure 4. Utilisation d'un repère installé à la verticale. La flèche gravée sur le médaillon indique où placer la mire de nivellement : a) sur le sommet de la partie bombée ou b) sur un ciseau à repères fiché dans la rainure horizontale.

4. Surveillance de la stabilité des repères

L'historique des repères (*Benchmark History*) d'une station hydrométrique désigne l'ensemble des hauteurs nivelées de tous les repères et limnimètres de référence utilisés à la station depuis qu'elle existe. Selon le site, il peut s'agir de données sous forme de document papier, d'entrées dans le système de calcul des données ou d'une combinaison des deux. On analyse cet historique pour déterminer ce qui suit :

1. si le repère primaire désigné est approprié, c.-à-d. s'il s'agit bien du repère le plus stable;
2. si la hauteur d'un repère ou d'un limnimètre de référence doit être modifiée;
3. s'il faut ajouter au réseau de référence local un nouveau repère pour en remplacer un qui est instable ou qui a été détruit.

La stabilité des repères devrait être évaluée après chaque rattachement complet. Lorsqu'elle est faite systématiquement, l'analyse des données des cinq à dix dernières années devrait suffire pour en tirer des conclusions significatives (voir la Figure 5). Ces conclusions doivent être documentées dans le système de calcul des données et l'analyse de station.

4.1 Définition de la stabilité

Un repère est classé comme stable dans le cas suivant :

- ses hauteurs nivelées fluctuent autour d'une valeur constante depuis trois ans, et leurs écarts à la hauteur nivelée moyenne n'ont pas dépassé la tolérance de nivellement (notion présentée à la section **Error! Reference source not found.**), comme le montre la Figure 5a.

Un limnimètre de référence est classé comme stable dans le cas suivant :

- ses hauteurs nivelées fluctuent autour d'une valeur constante depuis trois ans et leurs écarts à la hauteur nivelée moyenne n'ont pas dépassé la tolérance de nivellement.

Le réseau de référence local d'une station est classé comme stable si tous les repères dont il est constitué sont stables. La stabilité du réseau de référence local assure le maintien de la continuité du niveau de référence. Une station hydrométrique est classée comme stable si tous ses repères et tous ses limnimètres de références sont stables.

Un repère ou un limnimètre de référence peut être classé comme instable dans les cas suivants :

- L'écart entre sa hauteur nivelée et sa hauteur établie dépasse la tolérance, comme le montre la Figure 5b. Ce graphique indique que le repère était instable à un moment donné, mais n'indique pas s'il continuera de l'être. Un événement aurait pu causer le changement de hauteur.
- Les écarts entre ses hauteurs nivelées et sa hauteur établie présentent une tendance, comme le montre la Figure 5c. Remarque : un repère ou un limnimètre de référence peut être instable même si les écarts se situent dans les limites de la tolérance de nivellement.

Tout repère ou limnimètre de référence qui est instable devra être étroitement surveillé durant les futures visites à la station. Les repères ou limnimètres de référence instables doivent être nivelés plus fréquemment; lorsqu'ils servent à des mesures du niveau d'eau, il faut régulièrement appliquer des corrections de niveau. Sur le plan opérationnel, il est plus important d'avoir un réseau de référence stable qu'un limnimètre de référence stable parce que les corrections de niveau permettent de tenir compte des instabilités du limnimètre, mais ces instabilités ne peuvent être définies que si le réseau de référence est stable.

Il faut également tenir compte des éléments suivants lorsqu'on analyse l'historique des repères d'une station :

- Si les hauteurs nivelées de tous les repères secondaires présentent la même tendance (c.-à-d. qu'elles varient dans le même sens et de la même valeur), il est probable que ce soit le repère primaire qui s'est déplacé, pas les repères secondaires.
- Il est important d'utiliser des niveaux de référence arbitraires aux stations hydrométriques pour éviter d'intégrer des changements géodésiques et des changements géologiques à grande échelle (p. ex. rebond isostatique) aux séries chronologiques.

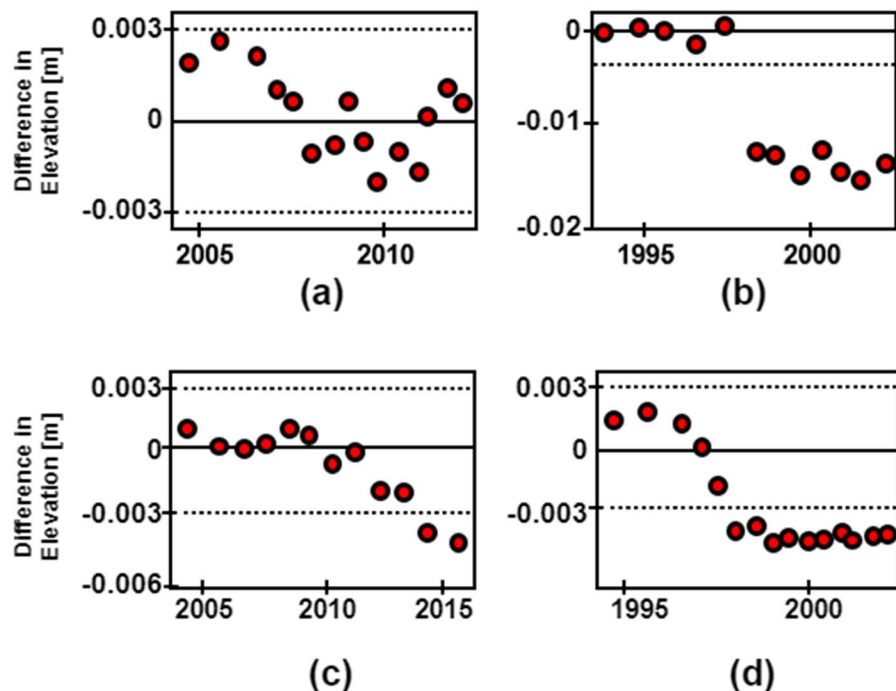


Figure 5. Différence entre les hauteurs nivelées et les hauteurs établies de quatre repères : a) repère stable; b) repère dont la hauteur a soudainement changé, puis semble s'être stabilisée; c) repère actuellement instable; d) repère dont la hauteur a graduellement changé, puis s'est stabilisée.

4.2 Fréquence de nivellement

On doit niveler tous les repères et limnimètres de référence une fois par année aux stations stables, préférablement après le dégel printanier, et au moins deux fois par année aux stations instables. Si le limnimètre de référence est instable, on devrait envisager de le niveler à chaque visite de la station afin d'éviter les complications associées aux corrections de niveau qui ne sont pas appliquées à chaque visite.

4.3 Remplacement d'un repère ou changement de sa hauteur établie

Si l'analyse de l'historique des repères indique ce qui suit :

1. Un repère dont la hauteur est restée constante après une période d'instabilité (Figure 5d) :
 - a. On devrait fixer sa hauteur établie à la valeur moyenne obtenue dans au moins trois cheminements aller et retour consécutifs sur une période d'au moins 18 mois.
2. Un repère instable :
 - a. On devrait établir un nouveau repère et surveiller la hauteur des deux repères au moins deux fois par année jusqu'à ce que les résultats d'au moins trois rattachements complets de la station sur une période d'au moins 18 mois montrent que la hauteur d'un des deux ne change plus.
 - i. Si la stabilité du nouveau repère est démontrée, il faut enlever ou détruire l'ancien repère afin d'éviter toute confusion future.
 - b. S'il s'agit du repère primaire, on devrait attribuer le rôle de repère primaire au plus stable des autres repères tout en maintenant le niveau de référence d'origine (voir la section [Error! Reference source not found.](#)). Le repère principal relie les hauteurs du réseau de repères et le limnimètre de référence au niveau de référence opérationnel. L'instabilité du repère primaire peut entraîner des erreurs de mesure des hauteurs des repères secondaires et du limnimètre de référence, et donc des erreurs de mesure des

niveaux d'eau et de calcul des débits. Il faut donc soigneusement choisir l'emplacement du repère primaire.

La Figure 6 illustre comment traiter les repères après leur installation et après un changement marqué de leur hauteur nivelée. Toute décision concernant le remplacement d'un repère ou une modification de sa hauteur établie doit être documentée dans le système de calcul des données et l'analyse de station. Un nouveau rapport sur l'historique des repères devrait être disponible dans l'abri de la station. Comme la continuité du niveau de référence est essentielle, les hauteurs établies ne doivent être modifiées qu'après consultation de votre superviseur ou de votre superviseur du contrôle des données.

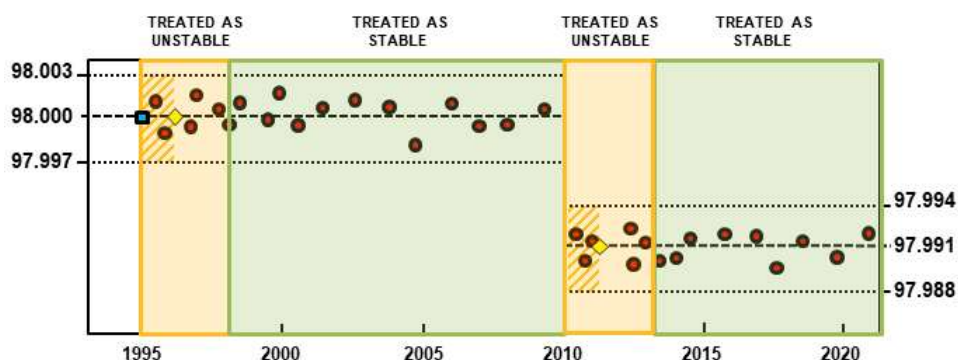


Figure 6. L'ombrage vert indique les périodes, pendant lesquelles le repère est considéré comme stable et n'est donc nivelé qu'une fois par année. L'ombrage orange indique les périodes pendant lesquelles le repère est considéré comme instable et est donc nivelé au moins deux fois par année. La zone orange hachurée correspond aux 18 mois suivant l'installation (carré bleu) ou un changement de hauteur requis pour établir une nouvelle hauteur (losange jaune).

5. Instrumentation

RHC utilise actuellement quatre types d'instruments de nivellement. Les sections suivantes présentent les exigences et les scénarios pour leur utilisation, ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque instrument. Tous les instruments de nivellement sont montés sur un trépied dont la longueur des pattes doit être facile à modifier et à fixer. Comme l'exactitude des lectures des niveaux d'arpentage et des stations totales diminue avec la distance de visée, on obtient des mesures plus exactes en effectuant des visées plus courtes.

5.1 Niveau d'arpentage optique

Le nivellement traditionnellement effectué par RHC est désigné nivellement différentiel. Ce type de nivellement consiste à mesurer la dénivelée (différence de hauteur) entre un point de hauteur connue (visée arrière) et un point de hauteur inconnue (visée avant) afin de déterminer la hauteur inconnue (Figure 7). On se sert d'une lunette à grossissement suffisant pour lire une mire graduée placée sur le point dont on veut déterminer la hauteur (point de nivellement). Il n'est pas nécessaire de mesurer la distance horizontale et l'angle.

Le nivellement au moyen d'un niveau d'arpentage optique nécessite des mires graduées sur lesquelles on lit la hauteur. La ligne de visée des vieux niveaux est réglée à l'horizontale manuellement, tandis que les niveaux modernes ont un compensateur automatique qui règle précisément la ligne de visée à l'horizontale après le réglage manuel. L'utilisation d'un niveau optique est acceptable pour tous les aspects du nivellement. Les niveaux optiques ne coûtent pas cher, et leurs procédures d'utilisation ont été éprouvées au fil du temps.

Il convient de noter ce qui suit concernant leur utilisation :

- La distance à laquelle on peut lire une mire dépend de la vision de l'opérateur. La distance de visée maximale recommandée est de 50 mètres, et idéalement inférieure à 30 mètres.
- Le risque d'erreur humaine est plus important pour les niveaux optiques que pour les niveaux numériques.
- Les niveaux optiques sont sensibles à la réfraction atmosphérique (causée par la brume de chaleur), qui est particulièrement notable pour des visées à longue distance. Les meilleurs résultats sont obtenus par temps couvert, lorsque la réfraction atmosphérique est réduite au minimum.
- Une visée au-dessus de l'eau peut être faussée par la réfraction atmosphérique et la réflexion de la lumière sur l'eau.
- Le bon état du niveau et de la mire de nivellement est essentiel à l'exactitude des mesures.
- L'exactitude recommandée de l'instrument pour un cheminement aller et retour de 1 km au total est de 2 mm.

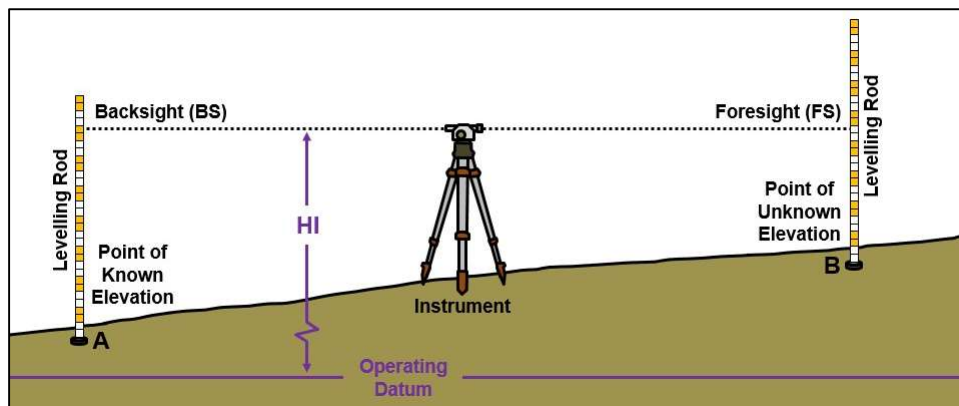


Figure 7. Illustration de la mise en station de l'instrument montrant la visée avant et la visée arrière pour le nivellement différentiel.

5.2 Niveau d'arpentage numérique

On utilise un niveau numérique en suivant les mêmes procédures que pour un niveau optique (Figure 7). La différence est qu'un niveau numérique fonctionne à piles et nécessite une mire de nivellement à code-barres qu'il lit automatiquement. Son utilisation est acceptable pour tous les aspects du nivellement et peut être préférable à l'utilisation d'un niveau optique car les niveaux numériques permettent des mesures plus rapides et comportent moins de risque d'erreur de lecture humaine. L'instrument peut être réglé pour prendre automatiquement une série de mesures et utiliser la valeur moyenne comme visée, tout en affichant la plage de mesures prises pour calculer la moyenne.

Voici ce qu'il faut savoir sur l'utilisation des niveaux numériques :

- Il faut faire très attention à ces niveaux, car ils peuvent se désaligner.
- Ils produisent des fichiers numériques pouvant être exportés et conservés pour une bonne tenue de dossiers.
- Le bon état des codes-barres des mires est essentiel à l'exactitude des mesures.
- La technique de l'oscillation de la mire ne fonctionne pas avec les niveaux numériques – il est très important d'utiliser une nivelle de mire étalonnée pour maintenir la mire verticale.
- Les niveaux à laser de qualité construction ne sont pas acceptables.
- Les niveaux numériques sont sensibles à la réfraction atmosphérique, de sorte qu'ils donnent les meilleurs résultats par temps couvert, lorsque la réfraction atmosphérique est réduite au minimum.
- Une visée au-dessus de l'eau peut être faussée par la réfraction atmosphérique.

- Comme tous les appareils électroniques, ils peuvent tomber en panne, mais la plupart des modèles peuvent également être utilisés comme des niveaux optiques.
 - Les limnimètres à contact électrique ou à fil lesté ne peuvent être nivelés qu'en mode optique.
- La ligne de visée doit être dégagée.
- L'exactitude recommandée pour un cheminement aller et retour de 1 km au total est de 2 mm.
- Pour les sites nécessitant une plus grande exactitude (p. ex. limnimètres du Service hydrographique du Canada), veuillez discuter des spécifications de l'équipement avec le partenaire avant d'effectuer des nivellements.

5.3 Station totale (nivellement trigonométrique)

Une station totale calcule la différence de hauteur à partir des angles mesurés dans le plan vertical (angle zénithal ou angle d'inclinaison) et de la distance suivant la pente (Figure 8). Il n'est pas nécessaire de repositionner l'instrument pour fermer le cheminement, ce qui permet de gagner du temps. Les stations totales sont pratiques à utiliser sur des pentes abruptes, car il n'y a pratiquement aucune limite à la distance verticale qui peut être mesurée en une seule lecture. Elles peuvent également être utilisées pour de plus longues visées que les niveaux d'arpentage, ce qui réduit le nombre de mises en station de l'instrument, et donc la durée de mesure. Néanmoins, leur exactitude est meilleure pour des visées allant jusqu'à quelques centaines de mètres. Elles fonctionnent à piles et coûtent généralement plus de vingt ou trente fois plus cher qu'un niveau d'arpentage optique.

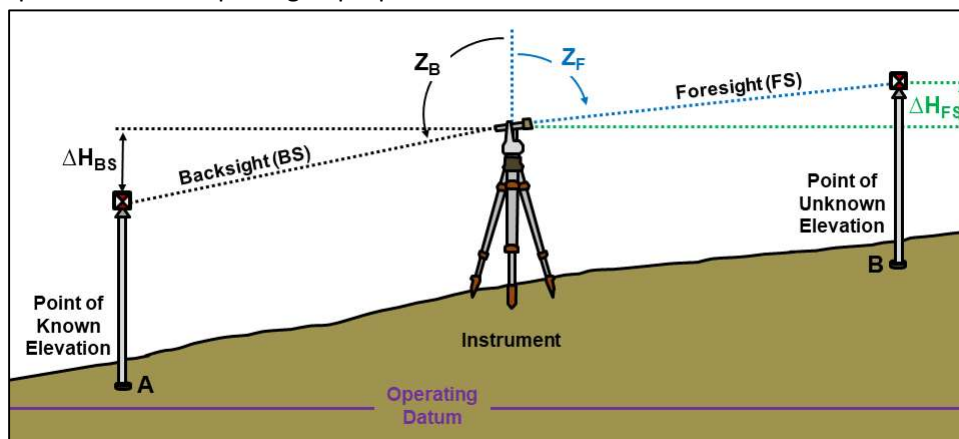


Figure 8. Exemple de visées directes d'une station totale sur les prismes aux points A et B.

Voici ce qu'il faut savoir sur l'utilisation des stations totales :

- L'instrument peut être mis en station plus bas que les points à niveler, ce qui offre plus d'endroits où placer le trépied.
- Il doit y avoir une ligne de visée directe entre le prisme et l'instrument.
- Comme leur méthode de mesure des distances est sensible à la réfraction atmosphérique, elles devraient être utilisées dans des conditions atmosphériques uniformes. En cas de gradients non uniformes de température ou d'humidité, il faut suivre les instructions du fabricant.
- Pour suivre la procédure recommandée (Annexe A. Procédures d'utilisation des stations totales), une mire de hauteur fixe doit être utilisée puisque la hauteur du prisme visé doit être maintenue afin de calculer correctement la différence de hauteur entre la visée arrière et la visée avant.
- Les stations totales nécessitent un entretien annuel par le fabricant, ce qui coûte de l'argent et du temps.
- Elles produisent des fichiers numériques pouvant être exportés et conservés pour une bonne tenue de dossiers.
- Comme pour les niveaux d'arpentage, l'exactitude diminue avec la distance de visée.
- Elles sont plus lourdes que les niveaux d'arpentage.

- Elles ne permettent pas de niveler avec exactitude un limnimètre à contact électrique ou à fil lesté ou une échelle limnimétrique.
- Les divers modes et les constantes du prisme doivent être réglés correctement pour obtenir des résultats utiles.
- L'exactitude recommandée est de 1,5 mm + 2 ppm pour la distance horizontale et de 1" pour l'angle afin d'obtenir une exactitude verticale de 3 mm pour des visées allant jusqu'à 300 m. Si les visées sont en-dessous de 300 m, une exactitude moins précise est acceptable. Il est également possible d'effectuer des mesures répétées des distances (répéter toutes les étapes indiquées à l'annexe A) et un ajustement par la méthode des moindres carrés pour obtenir une exactitude verticale de 3 mm.

5.4 Utilisation d'un système mondial de navigation par satellite (GNSS)

Dans des circonstances exceptionnelles, notamment pour les stations où les repères sont séparés par de grandes distances (p. ex. de l'ordre de kilomètres), l'utilisation d'un GNSS en mode cinématique en temps réel (RTK) peut constituer une méthode acceptable pour niveler les hauteurs des repères et du limnimètre de référence. Les levés RTK consistent à utiliser un récepteur GNSS de station de base pour envoyer des corrections de position en temps réel à un récepteur GNSS mobile et peuvent atteindre une exactitude inférieure au centimètre par rapport à la position de la station de base (c.-à-d. dans l'espace relatif). Les levés RTK nécessitent une vue dégagée du ciel, sans obstruction qui pourrait causer des erreurs en réfléchissant les signaux de satellite (erreurs dues à la propagation par trajets multiples). Aux stations hydrométriques où le nivellement se fait par levé RTK, il peut être nécessaire d'installer un repère où la vue du ciel est dégagée et sur lequel on peut installer la station de base. Il est recommandé d'installer la station de base au même endroit (idéalement un repère) pour chaque nivellement. Les levés GNSS en mode RTK indiquent les différences de hauteur ellipsoïdale relative entre la station de base et le récepteur mobile. Pour obtenir la plus grande exactitude possible, il faut connaître les différences de hauteur orthométrique relative entre la station de base et le récepteur mobile. Pour déterminer ces différences, on doit appliquer un modèle de géoïde aux hauteurs ellipsoïdales de la station de base et du récepteur mobile. Cela se fait normalement en choisissant le modèle de géoïde souhaité dans le contrôleur GNSS. Le modèle de géoïde actuellement adopté au Canada est le CGG2013a. Un travail important de planification et de traitement de données est nécessaire pour obtenir une grande exactitude dans l'espace géodésique (c.-à-d. dans l'espace absolu), et les résultats des nivellements par levé RTK ne doivent pas être interprétés comme des positions géodésiques précises comme celles requises pour projet de modernisation du système de référence altimétrique. Des connaissances, une formation et de l'expérience appropriées sont nécessaires pour effectuer un levé GNSS en mode RTK. On devrait consulter le document *Lignes directrices concernant les levés GNSS en mode RTK/RTN au Canada* (2013) de Ressources naturelles Canada pour obtenir une description de base de la méthode et des conseils sur la façon d'obtenir des résultats exacts. Si vous exploitez une station où le nivellement par levé GNSS en mode RTK convient, consultez votre superviseur ou votre superviseur du contrôle des données pour obtenir des conseils. À la plupart des stations, il est préférable d'utiliser un niveau d'arpentage, qui permet de niveler de façon plus efficace et plus exacte les hauteurs des repères et du limnimètre de référence.

5.5 Entretien courant

Il faut tester régulièrement tous les instruments de nivellement (y compris la nivelle et le niveau d'arpentage) afin de s'assurer qu'ils sont bien réglés et qu'ils donnent des résultats exacts. Les tests de validation décrits dans le guide d'utilisation de chaque instrument (p. ex. le test des deux piquets) doivent être effectués avant tout rattachement complet d'une station. Ces tests doivent donc être effectués au moins une fois par année, généralement au printemps, ainsi qu'après toute utilisation de l'instrument où il a subi des chocs accidentels. Les résultats des tests et des étalonnages doivent être sauvegardés et conservés conformément aux conventions nationales d'appellation.

Le test des deux piquets est un test simple couramment utilisé pour vérifier les instruments de nivellement (annexe B). **Si ce test n'est pas effectué avant d'effectuer du nivellement différentiel, toutes les distances de visées à partir d'une mise en station de l'instrument doivent être égales pour atténuer l'erreur de collimation.** Les instruments numériques modernes doivent normalement faire l'objet d'un entretien annuel effectué par un agent autorisé pour chaque type d'instrument, conformément aux instructions du fabricant. Les instruments de nivellement (p. ex. nivelles et niveaux d'arpentage) devraient être rangés et transportés propres et secs dans une boîte protectrice appropriée. Une mire de nivellement en bois non traité ne doit pas être continuellement placée dans l'eau puisque celle-ci ferait gonfler le bois et que la surface peinte finirait par s'écailler, ce qui limiterait la durée de vie utile de la mire.

6. Erreurs

6.1 Sources d'erreurs

La capacité de mesurer correctement la hauteur (c.-à-d. l'exactitude du nivellement) dépend de la qualité de l'instrument utilisé ainsi que de la compétence et du soin avec lesquels on applique les procédures. La connaissance des facteurs qui contribuent aux erreurs et des mesures à prendre pour les limiter permet d'améliorer la qualité des données de nivellement. Voici une liste des principales causes d'erreur, dont plusieurs ne concernent que l'utilisation d'un niveau d'arpentage.

1. Mauvais réglage de l'instrument – Ce problème se produit lorsque la ligne de visée n'est pas parallèle à l'axe du tube du niveau. On peut réduire cette erreur au minimum par une mise en station où la visée arrière et la visée avant ont la même distance. On peut détecter ce type d'erreur en effectuant régulièrement le test des deux piquets.
2. Parallaxe – Il y a parallaxe lorsque le réticule semble se déplacer par rapport à la cible en réaction à un léger déplacement de l'œil de l'observateur. On réduit la parallaxe en réglant l'oculaire de la lunette jusqu'à ce que le réticule soit net et précis, puis en mettant soigneusement au point l'objectif sur la cible.
3. Lecture imprécise de la mire au moyen d'un niveau à bulle optique – On peut considérablement réduire ce type d'erreur en faisant des visées plus courtes et en vérifiant chaque lecture avant de l'enregistrer. La distance de visée maximale recommandée est de 50 mètres, et idéalement inférieure à 30 mètres.
4. Bulle de niveau non centrée – Si la bulle n'est pas centrée au moment de la lecture, la grandeur de l'erreur est proportionnelle à la distance entre l'instrument et la mire. Ainsi, plus la visée est longue, plus il faut s'assurer de bien mettre l'instrument à niveau.
5. Enfoncement du trépied dans le sol – Ce problème se produit lorsqu'on effectue du nivellement sur un sol meuble, boueux, enneigé ou en cours de dégel. Dans ces cas, l'observateur doit rapidement effectuer la seconde visée après la première afin de réduire au minimum tout enfoncement de l'instrument, en faisant attention de ne pas se cogner au trépied lorsqu'il repositionne l'instrument pour la seconde visée.
6. Points de cheminement incorrects – Un point de cheminement est un point fixe sur lequel on prend d'abord une visée avant et ensuite une visée arrière d'une autre mise en station afin de déterminer la nouvelle hauteur de l'instrument. Si un point de cheminement n'a pas été bien défini, il pourrait être difficile à retrouver sur le cheminement retour. S'il n'est pas stable ou ne présente pas un sommet pointu ou arrondi, la lecture de hauteur pourrait être inexacte. Les points de cheminement devraient donc être bien définis et stables et avoir un sommet pointu ou arrondi. En l'absence d'un tel point naturel, on peut se servir d'un point de cheminement portatifs.
7. Erreurs humaines – Il peut s'agir d'erreurs de calcul, d'inattention ou de jugement. On doit vérifier les résultats d'un levé de nivellement sur le terrain avant de quitter la station afin de déceler et d'éliminer d'éventuelles erreurs.

8. Mire non verticale – On peut se servir d’une nivelle pour maintenir la mire verticale. On peut également faire osciller la mire dans l’axe de visée pendant que l’observateur note la plus petite hauteur qu’il lit, ce qui correspond à la position parfaitement verticale de la mire (Figure 9). Lorsqu’on fait osciller la mire, elle doit continuer à reposer sur le bord avant de sa base lorsqu’elle est basculée vers l’arrière, comme on peut le faire lorsqu’elle est placée sur une surface arrondie comme un médaillon de laiton.

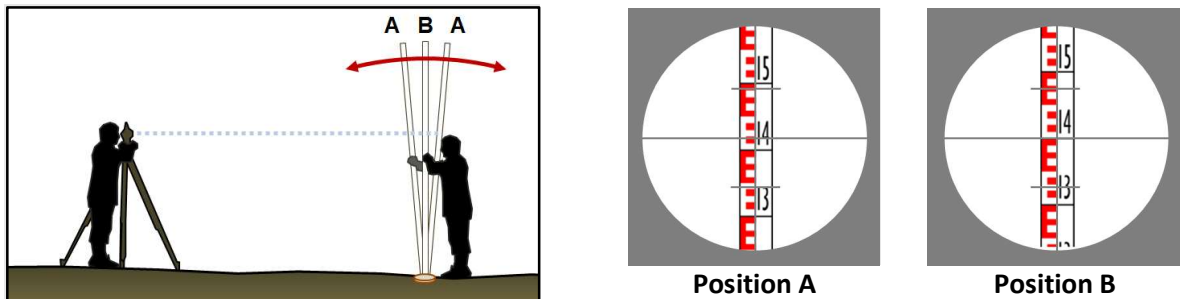


Figure 9. Schéma de l’oscillation de la mire de nivellement montrant que la plus petite lecture (1,400 m) est obtenue lorsque la mire est parfaitement verticale (position B). Lorsque la mire est inclinée (position A), la lecture est de 1,420 m.

6.2 Erreur de fermeture et tolérance de nivellement

Lorsqu’un cheminement de nivellement est fermé, il est possible que la hauteur mesurée de son point d’arrivée (qui est également son point de départ) ne soit pas la même que la hauteur utilisée au début du cheminement en raison d’une ou de plusieurs des erreurs énumérées plus haut. Cette différence de hauteur est désignée erreur de fermeture :

$$\text{Erreur de fermeture} = \text{hauteur}_{\text{départ}} - \text{hauteur}_{\text{arrivée}}$$

L’erreur de fermeture maximale admissible est désignée tolérance de nivellement. Pour être acceptable, l’erreur de fermeture doit se situer dans les limites de la tolérance de nivellement. Si ce n’est pas le cas, le cheminement doit être effectué de nouveau. Il faut donc documenter dans les notes de terrain l’erreur de fermeture pour tous les cheminements de nivellement effectués (exemple montré au Tableau 1) afin de permettre une bonne vérification de la qualité des résultats. La tolérance de nivellement sert également à évaluer la stabilité du réseau de référence local (section **Error! Reference source not found.**).

Pour les cheminements de trois mises en station ou moins, la tolérance de nivellement est de $\pm 0,003$ m :

- Si l’erreur de fermeture est $> \pm 0,003$ m, le cheminement devrait être rejeté et effectué de nouveau jusqu’à ce que l’erreur soit $\leq \pm 0,003$ m.
- Si l’erreur de fermeture est $\leq \pm 0,003$ m, les hauteurs des points de nivellement mesurées sur le cheminement aller devraient être enregistrées.

Pour les cheminements de quatre mises en station ou plus, la tolérance de nivellement est de $\pm 0,01\sqrt{D}$ m, où D est la longueur du cheminement en kilomètres. Par exemple, la tolérance de nivellement pour un cheminement d’au moins quatre mises en station d’une longueur totale de 1 km est de $\pm 0,01$ m. Si la longueur est de 160 m, la tolérance est de $\pm 0,004$ m. La longueur d’un cheminement est la somme de toutes les distances de visée. On peut estimer approximativement cette valeur en utilisant une carte à l’échelle dans la documentation de la station hydrométrique.

Ainsi, pour les cheminements d’au moins quatre mises en station :

- Si l’erreur de fermeture est $> \pm 0,01\sqrt{D}$ m, le cheminement doit être rejeté et effectué de nouveau jusqu’à ce que l’erreur se situe dans les limites de la tolérance.

- Si l'erreur de fermeture est $\leq \pm 0,003$ m, les hauteurs des points de nivellement mesurées sur le cheminement aller devraient être enregistrées.
- Si l'erreur de fermeture est $\leq \pm 0,01 \sqrt{D}$ m et qu'elle dépasse 0,003 m, l'erreur doit être distribuée selon la procédure décrite ci-dessous.

6.3 Distribution de l'erreur de fermeture

Il est important de comprendre que la distribution de l'erreur **ne compense pas** l'erreur. Elle produit simplement un jeu de données dans lequel la hauteur mesurée du dernier point du cheminement est la même que la hauteur utilisée au début du cheminement. Comme il est mentionné plus haut, on ne distribue jamais l'erreur de fermeture pour des cheminements de trois mises en station ou moins. Pour les cheminements d'au moins quatre mises en station, lorsque la valeur absolue de l'erreur de fermeture se situe dans les limites de la tolérance et est supérieure à 0,003 m (c.-à-d. lorsque $\pm 0,003$ m < erreur de fermeture $\leq \pm 0,01 \sqrt{D}$ m, où D est la longueur du cheminement en kilomètres), on distribue l'erreur. Pour ce faire, voici la principale méthode acceptée par la communauté des arpenteurs professionnels et recommandée par RHC. On distribue l'erreur de fermeture sur tous les points du cheminement en ajoutant le résultat de l'équation suivante à la hauteur nivelée de chaque point :

$$\frac{\text{Erreur de fermeture} \times \text{numéro de la mise en station}}{\text{nombre de mises en station ups}}$$

Le tableau 1 présente un exemple de distribution d'une erreur de fermeture. Pour chaque point de nivellement, la hauteur nivelée à enregistrer est la moyenne des hauteurs corrigées. Les hauteurs corrigées devraient être documentées dans l'application eHSN (notes électroniques de levés hydrométriques) en vue d'être entrées manuellement dans le système de calcul des données.

Tableau 1. Exemple de distribution de l'erreur de fermeture pour un cheminement de quatre mises en station.

Point nivelé	Visée arrière	Hauteur de l'instrument	Visée avant	Hauteur	Remarques	Correction	Hauteur corrigée
Repère 1	0,550 m	30,550 m		30,000 m	Médaille de laiton	0 m	
Repère 2	1,205 m	30,356 m	1,399 m	29,151 m	Médaille de laiton	-0,001 m	29,150 m
TP1	1,113 m	29,911 m	1,558 m	28,798 m	Boulon sur un pont	-0,002 m	28,796 m
Repère 2	1,239 m	30,388 m	0,762 m	29,149 m	Médaille de laiton	-0,003 m	29,146 m
Repère 1			0,384 m	30,004 m	Médaille de laiton	-0,004 m	30,000 m
Erreur de fermeture =				- 0,004 m	OK		
TP1 : point de cheminement Quatre mises en station sur un cheminement de 250 m. La tolérance de nivellement est donc une fonction de la distance : $\pm 0,01 \sqrt{0,25 \text{ km}} = \pm 0,005$ m Hauteurs établies Repère 1 = 30,000 m Repère 2 = 29,150 m Hauteur corrigée moyenne du repère 2 = 29,148 m							

7. Cheminements de nivellement acceptables

Un cheminement de nivellement est une ligne de nivellements qui débute à un point de hauteur connue et qui se termine à ce même point ou à un autre point dont la hauteur est déjà établie. Un cheminement fermé, ou boucle de nivellement, est un cheminement qui débute et se termine au même point. RHC utilise divers scénarios de cheminement fermé. Le choix du scénario dépend des distances horizontales et verticales entre les points à niveler, de la couverture terrestre et de la

qSOP-NA005-05-2023 25 Manuel pratique de levés hydrométriques – Nivellement

technologie disponible. Trois scénarios acceptables pour l'utilisation d'un niveau d'arpentage ou d'une station totale sont décrits ci-dessous; ces exemples concernent le nivellement au moyen d'un niveau d'arpentage, mais ils peuvent être adaptés à une station totale (voir l'annexe A).

Pour tous les scénarios :

- Les mires de nivellement ne doivent pas être allongées à plus de 3 m à moins que cela soit nécessaire. Si une mire est allongée à plus de 3 m et que la lecture est faite près de son sommet, il faut s'assurer de prendre la lecture lorsque la mire est bien verticale, en utilisant la technique de l'oscillation de la mire.
- Pour évaluer la stabilité du réseau de référence local, le cheminement doit débuter au repère primaire. Ainsi, pour une série de petites boucles de nivellement, la première boucle doit débuter au repère primaire.
- Pour obtenir deux observations indépendantes du point de retour du cheminement (le dernier point de nivellement mesuré sur le cheminement aller et le premier point mesuré sur le cheminement retour), l'instrument doit être mis en station de nouveau. Cette remise en station assure un cheminement retour indépendant du cheminement aller. On peut valider cette étape en confirmant une différence dans la hauteur de l'instrument, idéalement de plus de 1 cm.

7.1 Cheminement aller et retour avec deux mises en station de l'instrument

Ce scénario consiste en un cheminement aller jusqu'au point de retour et en un cheminement retour. Les points de nivellement du cheminement aller sont nivelés dans l'ordre inverse dans le cheminement retour. L'instrument est mis en station deux fois, une fois dans chaque direction (Figure 10 et). Pour chaque mise en station, des lectures sont effectuées sur plusieurs visées avant, et les visées supplémentaires s'appellent des visées avant intermédiaires.

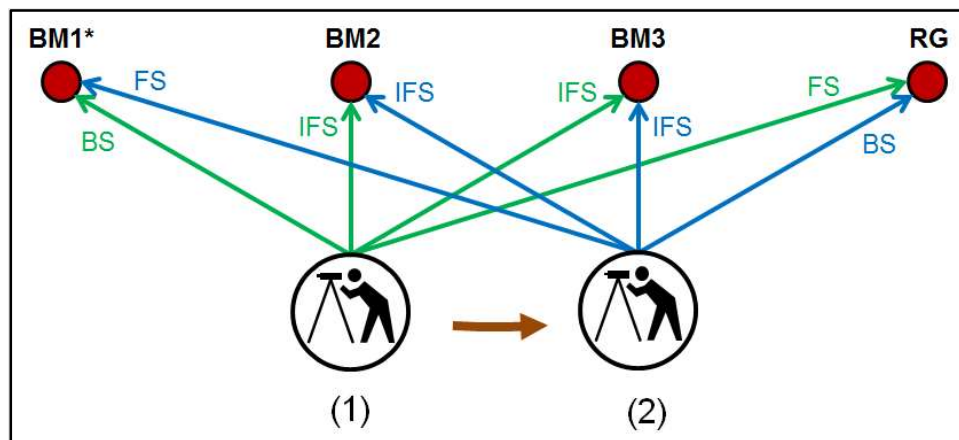


Figure 10. Cheminement aller et retour avec deux mises en station et des visées avant intermédiaires (IFS : *intermediate foresights*). Le cheminement débute et se termine au repère BM1, comme l'indique l'étoile. Chaque point de nivellement est représenté par un cercle rouge; BM signifie *benchmark* (repère) et RG signifie *reference gauge* (limnimètre de référence). Le schéma n'est pas à l'échelle.

Forward and return runs with two setups using intermediate foresights (IFS). The starting point is BM1 as indicated with a star. Red circles are objective points. BM stands for benchmark and RG for limnimètre de référence. Figure is not to scale.

Tableau 2. Notes de terrain pour le scénario montré à la Figure 10, un cheminement aller et retour avec deux mises en station de l'instrument.

Point nivelé	Visée arrière	Hauteur de l'instrument	Visée avant	Hauteur	Remarques
Repère BM1	2,250 m	6,563 m		4,313 m	
Repère BM2			2,258 m	4,305 m	
Repère BM3			1,372 m	5,191 m	
RG*	1,418 m	5,980 m	2,001 m	4,562 m	Limnimètre à contact électrique
Repère BM3			0,789 m	5,191 m	
Repère BM2			1,673 m	4,307 m	
Repère BM1			1,666 m	4,314 m	
			Erreur de fermeture =	-0,001 m	OK
*RG : limnimètre de référence Deux mises en station, donc la tolérance de nivellement est de $\pm 0,003$ m.					

Application

Cette méthode convient le mieux aux sites de petite étendue spatiale (horizontale et verticale) où les lignes de visée entre le repère primaire et chaque point nivelé sont bien dégagées. Pour cette méthode, il est particulièrement important que l'instrument soit placé à la même distance de tous les points de nivellement mesurés à partir de cette position.

Avantages

- La méthode est relativement rapide puisqu'elle ne comporte que deux mises en station de l'instrument.

- On peut isoler les points du cheminement où des erreurs se sont produites en examinant les notes de terrain. Il s'agit de repérer les écarts entre la dénivelée mesurée à l'aller et celle mesurée au retour entre deux points de nivellement consécutifs.

Par exemple, dans le

- la dénivelée entre BM1 et BM2 est de 0,008 m à l'aller et de 0,007 m au retour, donc il ne semble pas y avoir d'erreur importante.

Limites

- Si l'instrument présente une erreur de collimation, elle ne sera pas détectée lors des visées avant intermédiaires, elle ne sera détectée qu'une fois le cheminement fermé.
- L'erreur de fermeture ne tient pas compte des erreurs de lecture des visées avant intermédiaires.

Tolérance de nivellement

Comme cette méthode ne comporte que deux mises en station de l'instrument, la valeur absolue de l'erreur de fermeture doit être inférieure ou égale à 0,003 m. Si elle dépasse 0,003 m, le cheminement doit être repris. En outre, l'écart entre les hauteurs de chaque point de nivellement mesurées à l'aller et au retour doit être $\leq 0,003$ m, sinon le point en question doit être nivelé de nouveau par cheminement. On ne distribue jamais l'erreur de fermeture lorsqu'on utilise cette méthode. On n'inscrit dans l'historique des repères que les hauteurs mesurées sur le cheminement aller. Les hauteurs mesurées sur le cheminement retour ne servent qu'à des fins de vérification.

7.2 Cheminement aller et retour avec au moins quatre mises en station

Cette méthode consiste à effectuer un cheminement aller, à changer de direction au point de retour, puis à effectuer un cheminement retour, en déplaçant le niveau après chaque visée avant (Figure 11 et Tableau 3). S'il faut utiliser des points de cheminement temporaires (c.-à-d. des points de cheminement qui ne sont pas des repères), ils doivent être les mêmes à l'aller et au retour, pour permettre de déceler des erreurs (la hauteur des points de cheminement devrait la même à l'aller et au retour).

Application

On utilise habituellement cette méthode lorsqu'il n'est pas possible d'effectuer des visées directes entre le repère primaire et les autres points de nivellement en raison d'une ligne de visée obstruée ou de l'étendue spatiale du réseau de référence local.

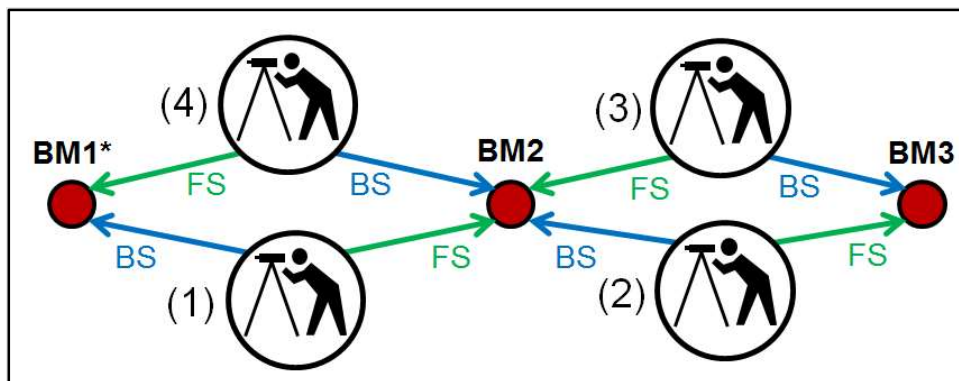


Figure 11. Cheminement aller et retour avec quatre mises en station. Les cercles rouges représentent les points de nivellement, et les chiffres entre parenthèses indiquent l'ordre des mises en station. Le cheminement débute et se termine au repère BM1, comme l'indique l'étoile.

Tableau 3. Notes de terrain pour le scénario montré à la Figure 11, soit un cheminement aller et retour avec quatre mises en station.

Point nivelé	Visée arrière	Hauteur de l'instrument	Visée avant	Hauteur	Remarques
Repère BM1	2,250 m	6,563 m		4,313 m	
Repère BM2	2,192 m	6,497 m	2,258 m	4,305 m	
Repère BM3	1,444 m	6,634 m	1,307 m	5,190 m	
Repère BM2	2,892 m	7,196 m	2,330 m	4,304 m	
Repère BM1			2,882 m	4,314 m	
			Erreur de fermeture =	-0,001 m	OK
Quatre mises en station sur un cheminement de 240 m. Tolérance de nivellement de $\pm 0,01\sqrt{0,24} = \pm 0,005$ m.					

Avantages

- On peut isoler les points du cheminement où des erreurs se sont produites en examinant les notes de terrain. Il s'agit de repérer l'écart entre la dénivelée entre deux points de nivellement consécutifs mesurée à l'aller et celle mesurée au retour.
- Par exemple, dans le Tableau 3, comme la dénivelée entre le repère 1 et le repère 2 est de 0,008 m à l'aller et de 0,010 m au retour, il ne semble pas y avoir d'erreur importante.

Limites

- La méthode prend plus de temps parce qu'il y a davantage de mises en station.
- Les erreurs attribuables à la mise en station de l'instrument se propagent sur l'ensemble du cheminement. Par exemple, une mesure incorrecte de la hauteur de l'instrument à la première mise en station se répercutera sur la lecture faite à la deuxième mise en station puisque la visée arrière sera erronée.

Tolérance de nivellement

Comme ce cheminement comporte au moins quatre mises en station, la tolérance de nivellement est calculée en fonction de la longueur du cheminement (section **Error! Reference source not found.**). Si l'erreur de fermeture dépasse la tolérance, on doit reprendre la partie en cause du cheminement. Si l'erreur se situe dans les limites de la tolérance, mais que sa valeur absolue est supérieure à 0,003 m, on doit distribuer l'erreur.

Autres considérations : série de petites boucles

Selon l'étendue spatiale et la visibilité du réseau de référence local, ce scénario peut prendre la forme d'une série de petites boucles que l'on ferme successivement. Lorsqu'un cheminement débute à un repère autre que le repère primaire, la hauteur du repère mesurée lors du cheminement précédent doit être utilisée comme hauteur de départ. Par exemple, si le premier cheminement va du repère BM1 au repère BM2, puis retourne au repère BM1, et que le deuxième cheminement va du repère BM2 au repère BM3, puis retourne au repère BM2, le deuxième cheminement doit débiter à la hauteur nivelée du repère BM2. Pour ce scénario, il est important de comprendre comment l'erreur peut se propager d'une boucle à l'autre. Par exemple, si l'erreur de fermeture est de 0,003 m pour chacune des deux boucles, l'erreur de fermeture totale est de 0,006 m, ce qui, selon la distance totale des cheminements, pourrait dépasser la tolérance de nivellement. Comme il peut être difficile de déceler les erreurs dans une série de boucles séquentiellement fermées, cette méthode ne devrait être utilisée que si elle est approuvée par les superviseurs locaux comme une solution acceptable pour répondre à un besoin opérationnel. Pour ce scénario, la façon la plus simple de calculer l'erreur de fermeture totale consiste à soustraire la somme des visées avant de la somme des visées arrière : $CE = \sum BS - \sum FS$.

7.3 Boucle simple

Cette méthode consiste en un cheminement unidirectionnel qui débute et se termine au repère primaire et dans lequel on déplace le niveau après chaque visée avant (Figure 12 et Tableau 4).

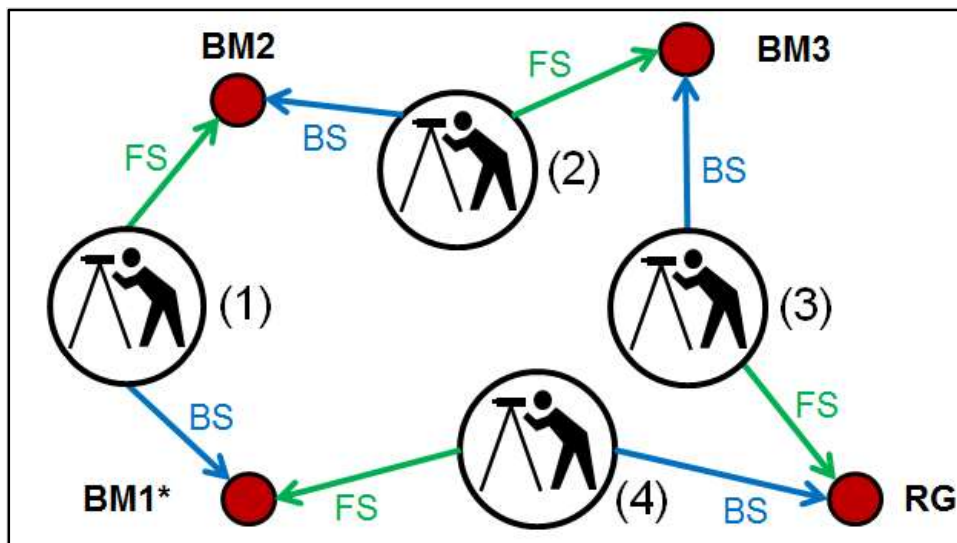


Figure 12. Exemple d'une boucle simple qui débute et se termine au repère BM1, comme l'indique l'étoile. On déplace l'instrument après chaque visée avant. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'ordre des mises en station.

Tableau 4. Notes de terrain pour l'exemple de boucle simple montré à la Figure 12.

Point nivelé	Visée arrière	Hauteur de l'instrument	Visée avant	Hauteur	Remarques
Repère BM1	1,250 m	5,563 m		4,313 m	
Repère BM2	1,205 m	5,509 m	1,259 m	4,304 m	
Repère BM3	0,800 m	5,991 m	0,318 m	5,191 m	
RG – limnimètre de référence	2,201 m	6,191 m	2,001 m	3,990 m	
Repère BM1			1,880 m	4,311 m	
			Erreur de fermeture =	0,002 m	OK
Quatre mises en station sur un cheminement de 450 m. Tolérance de nivellement de $\pm 0,01\sqrt{0,45\text{km}} = \pm 0,007 \text{ m}$					

Application

Ce scénario peut être utilisé lorsque la position des repères permet d'effectuer un cheminement en boucle continue. Il ne s'agit pas d'une méthode acceptable pour la première mesure de la hauteur d'un nouveau repère ou limnimètre de référence.

Avantages

- La méthode est relativement rapide puisqu'elle ne comporte qu'une visée arrière et une visée avant par point de nivellement.

Limites

- La méthode n'offre pas le même contrôle de qualité que celles présentées dans les sections 7.1 et 7.2, car il n'y a qu'une visée avant par point nivelé.
- Lorsqu'on détecte une erreur de fermeture, il n'est pas possible de déterminer où elle a été introduite dans le cheminement.

Tolérance de nivellement

S'il y a trois mises en station ou moins, la règle du $\pm 0,003$ m s'applique. S'il y a plus de trois mises en station, la règle fondée sur la distance s'applique. En outre, si la hauteur nivelée de tout point dans le cheminement s'écarte de plus de $\pm 0,003$ m de sa hauteur établie, on doit confirmer l'écart en effectuant une boucle simple allant du repère primaire à ce point et en revenant.

8. Surveillance de la stabilité du limnimètre de référence

Voici pourquoi il faut surveiller la hauteur du limnimètre de référence :

1. pour déterminer sa stabilité générale;
2. pour déterminer s'il faut apporter des corrections aux données de niveau d'eau, notamment aux séries chronologiques et aux niveaux d'eau enregistrés lors des mesures de débit.

La fréquence à laquelle on doit mesurer la hauteur du limnimètre de référence dépend de sa stabilité documentée (section **Error! Reference source not found.**), mais au minimum il doit être mesuré une fois par année. Tout repère classé comme stable selon les critères indiqués à la section **Error! Reference source not found.** peut servir à niveler le limnimètre de référence.

8.1 Nivellement du limnimètre de référence

La Figure 13. Mesure de la hauteur nivelée (Es) de divers types de limnimètres de référence : limnimètre à fil lesté (B), échelle limnimétrique (C) et limnimètre à contact électrique (D). H_n représente la hauteur nivelée (*surveyed elevation*). La hauteur de l'instrument (A), soit HI, est mesurée par rapport au repère (BM).

montre où faire la lecture de hauteur de divers types de limnimètres de référence, soit les limnimètres à fil lesté (B), les échelles limnimétriques (C) et les limnimètres à contact électrique (D). Dans chaque cas, on détermine la correction à apporter aux niveaux d'eau en comparant la hauteur nivelée du limnimètre de référence et sa hauteur établie, comme l'explique la section **Error! Reference source not found.**

Pour les limnimètres à fil lesté, on doit mesurer la hauteur à la base du poids. Pour ce faire, on effectue la visée sur le centimètre inférieur du poids, qui est gradué aux 2 mm, puis on soustrait la hauteur z montrée à la Figure 13. Mesure de la hauteur nivelée (Es) de divers types de limnimètres de référence : limnimètre à fil lesté (B), échelle limnimétrique (C) et limnimètre à contact électrique (D). H_n représente la hauteur nivelée (*surveyed elevation*). La hauteur de l'instrument (A), soit HI, est mesurée par rapport au repère (BM).

de la hauteur de l'instrument. La lecture donnée par le limnimètre à fil lesté, souvent sur un écran numérique, devrait correspondre à la hauteur ainsi mesurée, sinon il se peut qu'il faille une correction de niveau (voir la section **Error! Reference source not found.**).

Pour les échelles limnimétriques, il s'agit de déterminer la hauteur du zéro de l'échelle. Pour ce faire, on peut effectuer la visée sur n'importe quelle partie de l'échelle graduée. Si l'échelle limnimétrique se trouve trop bas sous la ligne de visée, on devrait placer une mire de nivellement à côté d'elle. La hauteur z montrée à la Figure 13. Mesure de la hauteur nivelée (Es) de divers types de limnimètres de référence : limnimètre à fil lesté (B), échelle limnimétrique (C) et limnimètre à contact électrique (D). H_n représente la hauteur nivelée (*surveyed elevation*). La hauteur de l'instrument (A), soit HI, est mesurée par rapport au repère (BM).

doit être soustraite de la hauteur de l'instrument.

Pour les limnimètres à contact électrique, on doit déterminer la hauteur à laquelle le ruban est lu, soit la hauteur du marqueur de lecture triangulaire à la Figure 13. Mesure de la hauteur nivelée (E_s) de divers types de limnimètres de référence : limnimètre à fil lesté (B), échelle limnimétrique (C) et limnimètre à contact électrique (D). H_n représente la hauteur nivelée (*surveyed elevation*). La hauteur de l'instrument (A), soit HI, est mesurée par rapport au repère (BM).

D. Pour déterminer cette hauteur, soit on effectue la visée sur le bas du plomb et on ajoute la hauteur z , soit on fait la visée sur le ruban gradué et on calcule l'écart de hauteur avec le marqueur de lecture. Si l'instrument de nivellement est trop élevé pour qu'on puisse prendre une lecture sur le ruban gradué, on peut placer une règle ou une mire de nivellement à côté du support du dévidoir afin de mesurer la hauteur du marqueur de lecture du limnimètre à contact électrique.

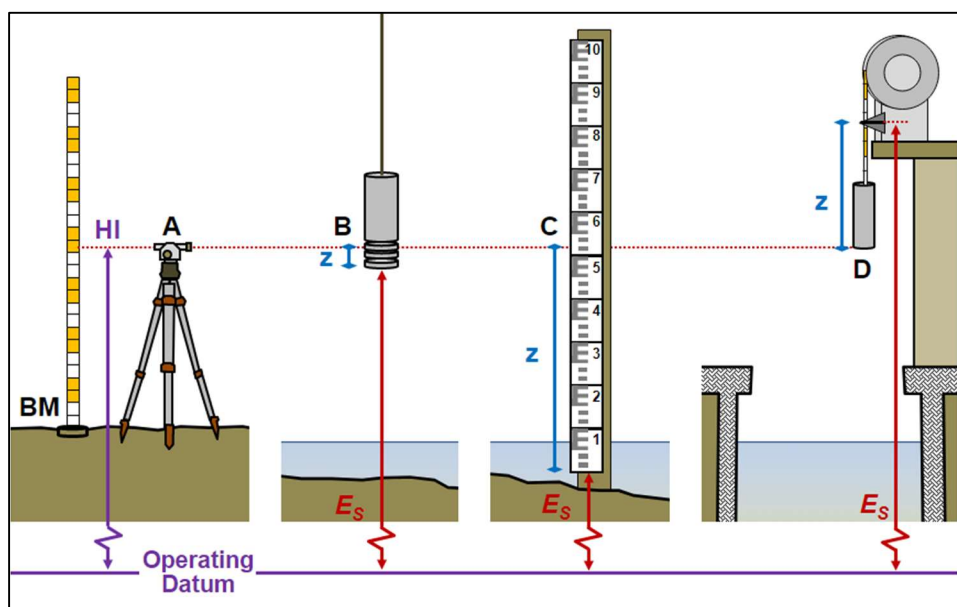


Figure 13. Mesure de la hauteur nivelée (E_s) de divers types de limnimètres de référence : limnimètre à fil lesté (B), échelle limnimétrique (C) et limnimètre à contact électrique (D). H_n représente la hauteur nivelée (*surveyed elevation*). La hauteur de l'instrument (A), soit HI, est mesurée par rapport au repère (BM).

8.2 Corrections de niveau

Une correction de niveau (*gauge correction*, GC) compense temporairement un écart entre la hauteur nivelée et la hauteur établie du limnimètre de référence (Figure 14). Chaque fois qu'on nivelle le limnimètre de référence, on calcule la correction de niveau en soustrayant la hauteur établie du limnimètre de sa hauteur nivelée :

$$\text{Correction de niveau (GC)} = \text{hauteur nivelée} - \text{hauteur établie}$$

Si la valeur absolue de la correction de niveau est $\leq 0,003$ m, aucune correction n'est appliquée, mais si elle dépasse 0,003 m, la correction est appliquée à toutes les données de niveau d'eau (voir *qSOP-NA052 – Manuel de calculs de données – Correction de niveau d'eau*).

Les corrections de niveau sont appliquées jusqu'à ce qu'une des deux situations suivantes se produise :

1. le limnimètre de référence revient à sa hauteur (antérieurement) établie;

2. une nouvelle correction de niveau est déterminée par nivellement, ou une nouvelle hauteur établie est déterminée par évaluation de la stabilité à l'aide de l'historique des repères (section **Error! Reference source not found.**).

Les corrections de niveau ne doivent être appliquées que dans le système de calcul des données; elles ne doivent pas être appliquées dans l'enregistreur de données de la station. Les corrections de niveau doivent être gardées à part des autres corrections, comme les corrections du zéro du capteur, pour assurer la traçabilité et l'assurance de la qualité. Les corrections du zéro du capteur tiennent compte de la différence entre les lectures de niveau d'eau du limnimètre de référence et celles du capteur après l'application de la correction de niveau (Figure 15). Plus de détails à ce sujet sont présentés dans la procédure opérationnelle normalisée de correction de niveau d'eau (*qSOP-NA052*).

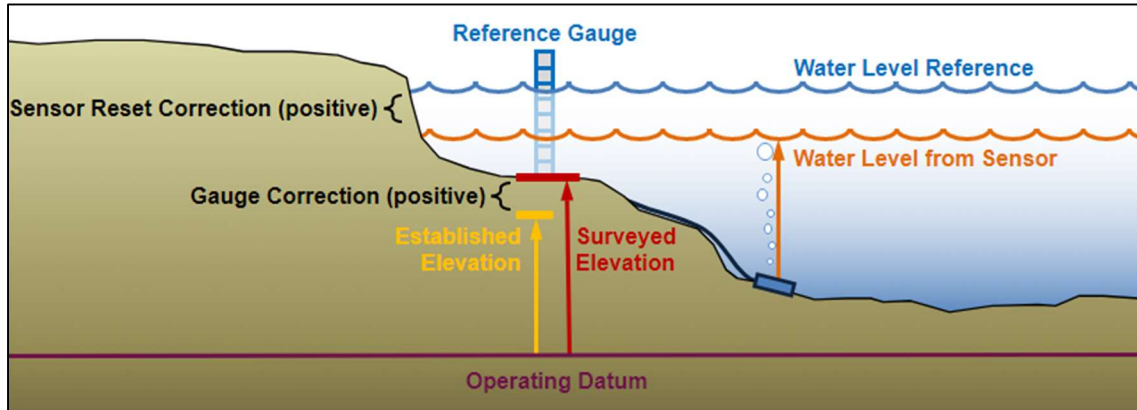


Figure 14. Données pour la détermination des corrections de niveau et des corrections du zéro du capteur.

8.3 Modification de la hauteur établie du limnimètre de référence

La modification de la hauteur établie d'un limnimètre de référence devrait réduire, voire éliminer, le besoin de futures corrections de niveau. La décision de modifier la hauteur établie d'un limnimètre de référence doit être fondée sur une évaluation de la stabilité à l'aide de l'historique des repères (section **Error! Reference source not found.**). Pour modifier la hauteur établie d'un limnimètre de référence (Figure 15), on recommande de suivre les étapes suivantes afin de s'assurer de l'enregistrement continu de données de niveau d'eau fiables :

Avant la visite de la station

- Définir une nouvelle hauteur établie du limnimètre de référence. Cette valeur doit correspondre à la hauteur nivelée la plus reproductible.

Durant la visite de la station

- Nivelier le limnimètre de référence et en comparer la hauteur à la nouvelle hauteur établie proposée. Si l'écart entre les deux hauteurs ne dépasse pas $\pm 0,003$ m, procéder à la modification. Si ce n'est pas le cas, reporter la modification jusqu'à ce qu'une analyse approfondie soit effectuée.
- Mesurer le niveau d'eau au moyen du limnimètre de référence et noter la valeur donnée par le capteur de niveau d'eau au même moment. Appliquer une correction du zéro du capteur au besoin (voir les détails dans *qSOP-NA052 – Manuel de calculs de données – Correction de niveau d'eau*).
- Modifier la hauteur établie du limnimètre de référence. Il pourrait être nécessaire de modifier la configuration de l'instrument (c.-à-d. ajuster la position du ruban d'un limnimètre à contact électrique) de façon à ce que les lectures soient faciles à comparer aux résultats du capteur.
- On devrait niveler de nouveau le limnimètre de référence pour vérifier que la correction de niveau a été appliquée.

- Mesurer le niveau d'eau au moyen du limnimètre de référence, qui a maintenant une nouvelle hauteur établie, et noter la valeur donnée par le capteur de niveau d'eau au même moment. Appliquer une nouvelle correction du zéro du capteur au besoin.

Au bureau après la visite de la station

- La différence entre la nouvelle hauteur établie et la précédente hauteur établie du limnimètre de référence constitue la correction de niveau qui est appliquée dans le système de calcul des données immédiatement avant la modification de la hauteur établie. La détermination d'une nouvelle hauteur établie du limnimètre de référence élimine le besoin d'appliquer une correction de niveau par la suite.
- Une correction du zéro du capteur fondée sur la mesure du limnimètre de référence obtenue avant la modification de sa hauteur établie est appliquée aux données avant la visite de la station (voir les détails dans *qSOP-NA052 – Manuel de calculs de données – Correction de niveau d'eau*).
- Toute la documentation pertinente (système de calcul des données, analyse de station) doit être mise à jour pour tenir compte de la modification.

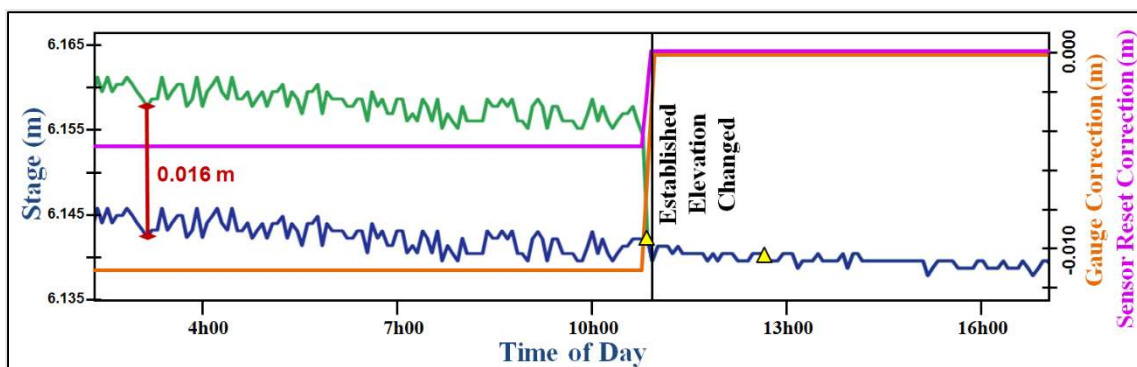


Figure 15. Exemple de corrections appliquées à des données de niveau d'eau avant et après une modification de la hauteur établie. Les triangles jaunes indiquent des lectures du limnimètre de référence. Avant la modification de la hauteur établie, il y avait un écart de 0,016 m entre les signaux bruts (en vert) et les signaux corrigés (en bleu), cet écart correspondant à une correction de niveau (GC) de -0,011 m et à une correction du zéro du capteur de -0,005 m. Le zéro du capteur a été redéfini après la première vérification du limnimètre; ainsi, la hauteur établie a été modifiée, et les deux corrections ont été fixées à zéro. Après cette modification de la hauteur établie, les signaux bruts correspondent exactement aux signaux corrigés puisqu'il n'y a plus de correction (la ligne bleue se superpose à la ligne verte).

9. Nivellement du niveau d'eau et d'autres points d'intérêt

La mesure directe du niveau d'eau consiste à déterminer la hauteur du niveau d'eau (exprimée par rapport au niveau de référence opérationnel) en nivelant la surface de l'eau à partir d'un point de hauteur connue. Dans l'exemple présenté à la Figure 16, le niveau d'eau mesuré sur la mire (B) est ajouté à la hauteur nivelée du point A. Le *Manuel pratique de levés hydrométriques – Mesure de niveau d'eau* (qSOP-NA008) présentent d'importantes considérations pour les mesures directes du niveau d'eau.

Il peut être difficile de mesurer le niveau de l'eau lorsque la surface de l'eau est agitée. Dans ce cas, on peut se servir d'un seau percé dans sa partie inférieure (Figure 16) pour stabiliser la surface de l'eau au point où l'on place la mire pour la lecture. Les fluctuations du niveau d'eau devraient être documentées dans les notes de terrain, car elles aideront à guider l'utilisation future de cette valeur. Par exemple, si la lecture fluctue entre 0,631 m et 0,639 m sur la mire de nivellement, la lecture serait de 0,635 m avec des fluctuations de $\pm 0,004$ m.

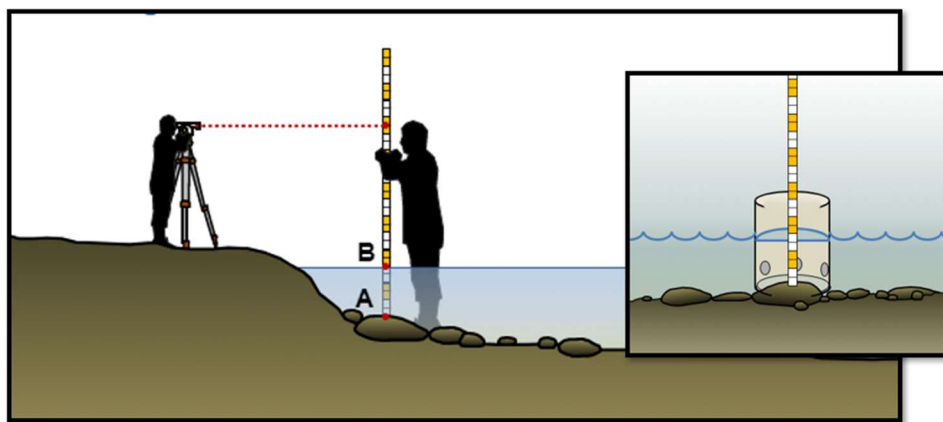


Figure 16. Mesure directe du niveau d'eau et, en encadré, seau percé de trous pour stabiliser la surface de l'eau. On détermine la hauteur du niveau d'eau en ajoutant la lecture de la mire de nivellement au point B à la hauteur nivelée du point A.

Le nivellement permet d'obtenir d'autres données utiles à une station hydrométrique. Selon leur utilisation prévue, des données de nivellement peuvent être obtenues au moyen d'un large éventail d'outils (p. ex. niveaux d'arpentage, station totale, GNSS ou fonction de suivi du fond des profileurs de courant à effet Doppler). En particulier, il peut être utile de déterminer la hauteur des points suivants :

- Les laisses de crue qu'on peut comparer aux niveaux d'eau enregistrés (voir *qSOP-NA008 – Mesure de niveau d'eau*).
- Le niveau d'eau auquel une rivière déborde de ses berges, lequel est utile pour établir les courbes de tarage (niveau-débit), particulièrement pour définir quand la rivière entrerait en crue.
- Le niveau d'écoulement nul qui peut servir à définir le décalage du segment inférieur d'une courbe de tarage.
- Les contrôles hydrauliques (par la section et par le chenal), dont la forme et la hauteur peuvent aider à établir une courbe de tarage.
- L'extrémité de la conduite de l'orifice ou la prise d'eau du puits de mesure, dont la hauteur permet de déterminer le niveau d'eau sous lequel le limnimètre n'est plus relié au cours d'eau. Ces hauteurs permettent aussi de déterminer si le capteur s'est déplacé.
- Aux sites où d'autres méthodes de surveillance du débit sont utilisées, comme la méthode de la vitesse nominale ou la vélocimétrie par images, la géométrie de la section transversale standard doit être surveillée régulièrement.

10. Exigences en matière de documentation

10.1 Notes de terrain pour le nivellement

La feuille de nivellement des notes de levé hydrométrique est divisée en colonnes pour la consignation des observations et le calcul des hauteurs. La colonne *Station* sert à inscrire le nom du point de nivellement (p. ex. numéro d'identification du repère, numéro du point de cheminement temporaire ou type de limnimètre de référence), et l'information entrée dans la même rangée concerne ce point de nivellement. L'application eHSN (notes électroniques de levés hydrométriques) comprend des colonnes pour inscrire l'heure, la visée arrière, la hauteur de l'instrument, la visée, la hauteur nivelée, des commentaires et la hauteur établie. Des commentaires généraux sur les activités de nivellement peuvent être inscrits dans la section des commentaires au bas de la page. Si les notes sont prises sur papier durant la visite à la station, les données finales devraient être saisies dans l'application eHSN et une photo de la feuille de note papier devrait être prise. La figure 17 ci-dessous présente un exemple d'une feuille de note électronique de la version

2.3.2 d’eHSN concernant trois cheminements de nivellement différents. Il est important de remarquer que les valeurs en **bleu** sont calculées par l’application eHSN, tandis que les valeurs en **noir** sont saisies par l’utilisateur.

LEVEL NOTES

Conventional Leveling: ☒ Total Station: ☐

Station	Time	Backsight	Height of Instrument	Foresight	Elevation	Comments	Est. Elev.
**O-20-313	10:30	1.257	21.257		20	BC in Bedrock	20
O-21-305	10:43	2.718	21.242	2.733	18.524	BC for GNSS	18.525
**O-20-313	10:56			1.243	19.999		20
			Closure	0.001			
**O-20-313	11:05	2.569	22.569		20	BC in BR	20
O-20-314	11:09			1.106	21.463	BC on VL boulder	21.463
O-20-315	11:15	3.297	22.471	3.395	19.174	BC in BR	19.173
O-20-314	11:21			1.007	21.464		21.463
**O-20-313	11:26			2.469	20.002	OK	20
			Closure	-0.002			
**O-20-313	11:38	0.256	20.256		20		20
RP1	11:39	2.954	20.225	2.985	17.271	Rock in River	
**O-20-313	11:44			0.227	19.998		20
			Closure	0.002			

Level Checks Summary

Time	WL Reference Point	Elevation	Distance to Water Surface (m)	Water Level Elevation (m)	Datum	Corrected Water Level	HG	HG2	Surge	Comment
11:39	**O-20-313	17.271	0.189	17.460	0.000	17.460	17.462		0.002	inline with sensor
Comments: Cut branches to see O-21-305, marked setup location with rocks										
Surveyed By: Max Wade										

Figure 17. Exemple d’une feuille de note électronique de la version 2.3.2 d’eHSN concernant trois cheminements de nivellement différents.

10.2 Documentation supplémentaire

Pour chaque station, les renseignements suivants doivent être inscrits aux endroits indiqués :

Dans HYDEX :

- le nom du niveau de référence opérationnel – toute communication ou note interne requise doit être consignée dans la section des remarques non publiées du niveau de référence opérationnel;
- toutes les conversions d’un système de référence à un autre effectuées à la station, y compris les métadonnées connexes (p. ex. date, méthode de détermination et incertitude);
- une description des emplacements de tous les repères et du limnimètre de référence dans le croquis de la station.

Dans l'historique des repères (*Benchmark History*), qui peut comprendre des documents papier et des documents électroniques :

- la liste complète des limnimètres de référence et repères actuels et anciens, ainsi que leur description et leur hauteur;
- la liste chronologique de toutes les activités liées aux repères depuis que la station existe.
- liste chronologique de toutes les activités liées aux repères depuis que la station existe.

Dans le système de calcul des données et dans l'analyse de station :

- la liste complète des repères et du limnimètre de référence actuels;
- la description des emplacements de tous les repères et du limnimètre de référence;
- les décisions de remplacement de repères;
- les décisions de correction des hauteurs établies des repères et des limnimètres de référence.

Dans l'abri de la station :

- la liste complète des repères et du limnimètre de référence actuels;
- un historique des repères contenant au moins cinq ans de données de hauteur.

Références

Environnement et Changement climatique Canada (2017). Modèle pour les essais à deux piquets, qFOR-NA029-01-2017. Relevés hydrologiques du Canada, Services hydrologiques nationaux, Service météorologique du Canada.

Environnement et Changement climatique Canada (2019). Manuel pratique de levés hydrométriques – Mesure de niveau d’eau, qSOP-NA008-02-2019. Relevés hydrologiques du Canada, Services hydrologiques nationaux, Service météorologique du Canada.

Environnement Canada, 2012. qSOP-NA037-00-2012 - Manuel d’hydrométrie – Calculs des données, version bêta.

Environnement et Changement climatique Canada (2022). Manuel d’hydrométrie – Calculs des données – Correction de niveau d’eau. qSOP-NA052-01-2022. Relevés hydrologiques du Canada, Services hydrologiques nationaux, Service météorologique du Canada.

Kenney, T.A., 2010. Levels at gaging stations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 3-A19.

Oklahoma Water Resources Board Water Quality Programs Division, 2004. Standard Operating Procedure for Surveying Gaging Stations, Draft copy.

Ressources naturelles Canada, 1978. Spécifications pour levés de contrôle et recommandations sur la construction des repères.

Ressources naturelles Canada (2013). Lignes directrices concernant les levés GNSS en mode RTK/RTN au Canada. Produit d’information général 100-F. Secteur des sciences de la Terre, Direction de l’arpenteur général.

Ressources naturelles Canada, 2017. Modernisation du système de référence altimétrique.

Water Resources Branch, Alberta District, 1993. Benchmark/Leveling Policy.

Annexe A. Procédures d'utilisation des stations totales

Pour effectuer une visée de plus de 300 m avec une station totale, il faut suivre des procédures spéciales, qui sont présentées en détail dans Ressources naturelles Canada (1978). RHC recommande les étapes suivantes pour les visées de moins de 300 m :

1. Installer et mettre à niveau la station totale. Allumer l'instrument et l'orienter en position avant.
2. Placer la mire sur le repère A et effectuer la visée sur la mire.
3. Inscrire la distance verticale précédée de son signe (+ ou –) dans la colonne « Visée arrière ».
4. Placer la mire sur le repère B et effectuer la visée sur la mire.
5. Inscrire la distance verticale précédée de son signe (+ ou –) dans la colonne « Visée avant ».
6. Mettre la lunette en position inverse et vérifier que l'instrument est encore à niveau. Cette inversion de la lunette élimine le désalignement de l'axe vertical, y compris l'erreur de collimation. Si l'on nivelle plus d'une hauteur (p. ex. pour un cheminement de repères), on nivelle d'abord toutes les hauteurs avec la lunette en une même position, puis on inverse la position et on nivelle toutes les hauteurs avec la lunette dans l'autre position.
7. Effectuer une visée sur la mire placée sur le repère B et inscrire la distance verticale dans la colonne « Visée arrière ».
8. Effectuer une visée sur la mire placée sur le repère A et inscrire la distance verticale dans la colonne « Visée avant ».

Il faut documenter le cheminement dans les notes de terrain de la même façon que pour un cheminement classique; l'application de notes électroniques de levés hydrométriques de RHC (eHSN) effectue correctement les calculs lorsqu'une station totale est indiquée comme instrument. Lorsqu'on saisit les hauteurs nivelées dans l'application eHSN, il faut s'assurer d'inscrire les bons signes (positifs pour les visées au-dessus de la hauteur de l'instrument et négatifs pour les visées en dessous de l'instrument). Une grande différence entre la première visée arrière et la dernière visée avant indique une possible erreur de collimation et peut nécessiter un réétalonnage ou un entretien de l'instrument.

Voici les calculs que l'application eHSN effectue :

1. Soustraction de la valeur de la visée arrière (avec le bon signe positif ou négatif) de la hauteur du point visé pour obtenir la hauteur de l'instrument.
2. Addition de la valeur de la visée avant (avec le bon signe positif ou négatif) à la hauteur de l'instrument pour obtenir la hauteur du point visé.

Tableau 5. Exemple de données entrées dans l'application eHSN pour du nivellement par station totale.

Conventional Leveling: ☐ Total Station: ☒

Station	Time	Backsight	Height of Instrument	Foresight	Elevation	Comments	Est. Elev.
**BM 9		1.799	10.063		11.862	Drill stem	11.862
BM 10				1.928	11.991	I Pin	11.991
RP1		-6.985	10.064	-6.984	3.079	Rod in River, .114 cut at 08:30	
BM 10				1.929	11.993		11.991
**BM 9				1.800	11.864		11.862
			Closure	-0.002			
BM 10		1.399	10.592		11.991	I Pin	11.991
RP2		-7.548	10.592	-7.548	3.044	.152 cut at 10:50, rod on edge of HG2 block	
BM 10				1.399	11.991		11.991
			Closure	0.0			

Annexe B. Test des deux piquets

Le test des deux piquets est un simple cheminement de nivellement fermé qu'on utilise pour s'assurer que la ligne de visée de la lunette d'un niveau est bien horizontale. Il s'agit de mesurer l'inclinaison de la ligne de visée, soit l'erreur de collimation, qui est souvent exprimée en millimètres d'écart vertical sur distance horizontale en mètres. RHC exige que l'erreur de collimation ne dépasse pas 0,001 m sur une visée de 30 m.

Pour effectuer le test, on plante deux piquets (A et B) à une distance de 60 à 90 mètres l'un de l'autre sur un terrain assez plat (Figure 17). On met l'instrument en station à un point situé à mi-chemin entre les deux piquets et on prend la lecture **a** sur la mire placée au piquet A, puis la lecture **b** sur la mire placée au piquet B. On inscrit ces valeurs sur le formulaire Excel du test des deux piquets (**Error! Reference source not found.**). Comme les observations sont faites à partir d'un point équidistant des deux piquets, la différence entre les deux lectures (**b-a**) est la dénivelée (différence de hauteurs) exacte entre les deux piquets, quelle que soit l'erreur de l'instrument.

Ensuite, on met l'instrument en station aussi près que possible du piquet A. On prend la lecture **c** sur la mire placée au piquet A, puis on déplace la mire au piquet B et on prend la lecture **d**. Si l'instrument est bien réglé, la dénivelée entre les deux piquets observée à partir du piquet A est la même que celle observée à partir du point équidistant entre les deux piquets, c.-à-d. que **d-c** est égal à **b-a**. La lecture correcte de la mire placée au piquet B (**e**) est égale à **b - a + c**. Par conséquent, la différence entre la valeur **e** et la lecture **d** est l'erreur de réglage de la ligne de visée entre les deux piquets, soit l'erreur de collimation. On peut trouver un formulaire Excel pour le test des deux piquets qui calcule automatiquement l'erreur de collimation dans la bibliothèque opérationnelle de RHC (qFOR-NA029-01-2017).

$$\text{Erreur de collimation} = b - a + c - d$$

Si l'erreur de collimation dépasse 0,001 m sur une visée de 30 m, on devrait envoyer l'instrument à un centre d'étalonnage pour qu'il soit correctement réglé, conformément aux instructions du fabricant.

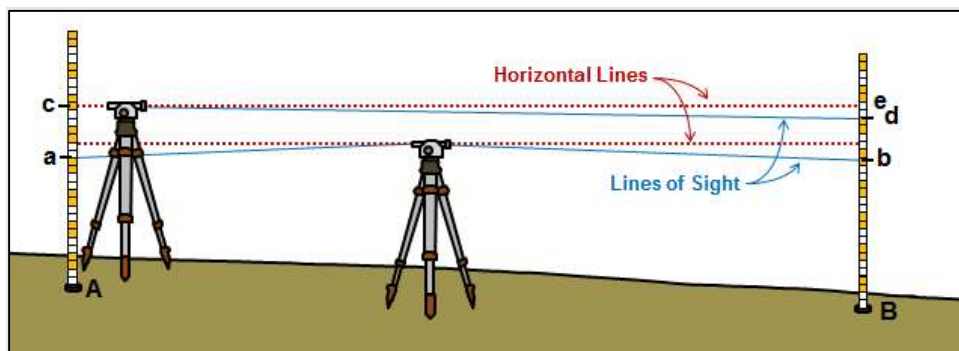


Figure 17. Illustration du principe du test des deux piquets.

Two Peg Test Form

Environment and Climate Change Canada
Water Survey of Canada

DATE: 2017/05/01

INSPECTOR: Inspector Name

LEVEL MAKE: Leica

LEVEL MODEL: DNA3

LEVEL SERIAL #: 12345

LEVEL ASSIGNMENT: Tech name

Distance between rods A and B 90 m

Shot a 0.573 m

Shot c 1.161 m

Shot b 1.35 m

Shot d 1.923 m

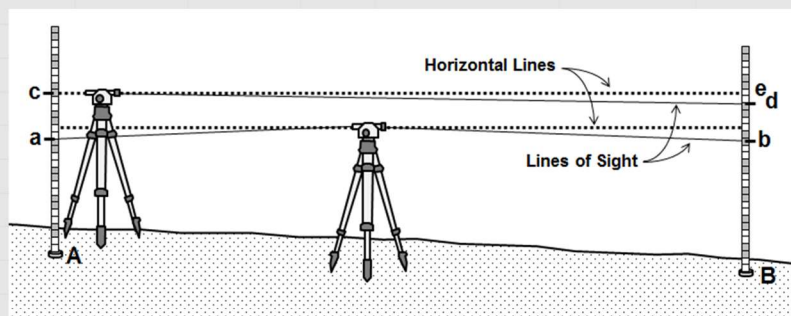
Difference b-a 0.777 m

Difference d-c 0.762 m

(Difference b-a)-(Difference d-c) 0.015 m

Collimation error 0.005 m / 30 m

less than or equal to 0.001 m/30 m? No



Comments:

For Two Peg Test Procedure refer to Hydrometric Field Manual -
Levelling Appendix A (qSOP-NA005-03-2017)

Figure 18. Exemple d'un formulaire Excel rempli pour le test des deux piquets. La dénivelée réelle entre les piquets A et B est de 0,777 m, et l'erreur de collimation est de 0,015 m sur 90 m, ce qui dépasse la limite acceptable.



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

