



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Manuel pratique de levés hydrométriques

Nivellement



Relevés hydrologiques du Canada
Environnement et Changement climatique Canada
qSOP-NA005-04-2019



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

Auteurs : Stephanie Moore, François Rainville et James Wilcox

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

On vous demande seulement :

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

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

Photographies : © Environnement et Changement climatique Canada

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

English version also available.

Page couverture avant

Photo de gauche : Sean O'Connor nivelant la rivière Sunwapta au glacier Athabasca (photo prise par Dave Moncur)

Photo du centre : Réserve de médailles repères en laiton à Gatineau (photo prise par Paul Campbell)

Photo de droite : Kyle Page effectuant une mesure indirecte par nivellement de la rivière Red Deer, en Alberta (photo prise par Jerry Wagner-Watchel)

Page couverture arrière

Photo de gauche : Curtis Waiting nivelant la rivière Elbow au pont Sarcee, en Alberta (photo prise par Curtis Waiting)

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

Photo de droite : Règle limnimétrique servant de limnimètre de référence.

Table des matières

Avant-propos	vi
Glossaire.....	7
1. Introduction	9
2. Limnimètre de référence et niveau de référence.....	9
3. Repères	10
3.1 Types de repères.....	11
3.2 Repères installés à l'horizontale	12
3.3 Repères installés à la verticale	12
4. Surveillance de la stabilité – analyse de l'historique des repères	13
4.1 Définition de la stabilité	13
4.2 Fréquence de nivellement	14
4.3 Remplacement d'un repère ou correction de sa hauteur établie	15
5. Instrumentation	15
5.1 Niveau à bulle optique	15
5.2 Niveau à bulle numérique.....	16
5.3 Station totale (nivellement trigonométrique)	17
5.4 Système mondial de navigation par satellite.....	17
5.5 Entretien courant.....	18
6. Erreur	19
6.1 Sources d'erreur.....	19
6.2 Erreur de fermeture et tolérance de nivellement	20
6.3 Distribution de l'erreur de fermeture	21
7. Cheminements de nivellement acceptables.....	21
7.1 Cheminement aller et retour avec deux mises en station de l'instrument	22
7.2 Cheminement aller et retour avec au moins quatre mises en station	24
7.3 Boucle simple	25
8. Surveillance du déplacement vertical du limnimètre de référence	26
8.1 Nivellement du limnimètre de référence	26
8.2 Corrections de niveau	27
8.3 Modification de la hauteur établie du limnimètre de référence.....	28
9. Nivellement du niveau d'eau et d'autres points d'intérêt.....	29

10. Exigences en matière de documentation	30
10.1 Notes de terrain pour le nivellement.....	30
10.2 Documentation supplémentaire.....	31
Références	31
Annexe A. Procédures d'utilisation des stations totales	33
Annexe B. Test des deux piquets	34

Contrôle des versions

Version	Date	Source	Description/justification du changement
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	Simplification de la figure 13

Avant-propos

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

L'adoption de pratiques de nivellement normalisées est essentielle à la réalisation du mandat de RHC. Le présent document décrit les méthodes de terrain utilisées par RHC pour toutes les activités de nivellement, notamment l'évaluation de la stabilité des repères et des limnimètres, ainsi que de la géométrie du site. RHC a modifié les procédures présentées dans la version précédente du document (qSOP-NA005-02-2005) afin de clarifier et de mettre à jour les exigences nationales. Outre les sujets traités dans l'ancienne version, le présent document traite des seuils pour l'évaluation de la qualité des résultats et précise ce qu'il faut faire si ces critères ne sont pas respectés. Le document présente également les procédures détaillées pour les scénarios de cheminement de nivellement et précise comment les mesures de niveau doivent être prises dans diverses conditions. Les incohérences de l'ancien manuel concernant les seuils de tolérance et de correction des mesures ont été éliminés. Les activités de bureau liées au nivellement sont documentées dans d'autres manuels de procédures comme ceux sur le calcul de données (p. ex. qSOP-NA037-00-2012).

Bon nombre de nos employés ont apporté leur aide lors de la préparation de ce document. Nous remercions en particulier (par ordre alphabétique) Dwayne Akerman, Tom Arsenault, Steven Baxter, Crystal Beaton, Nicole Ferguson, Dennis Lazowski, Theodore Mlynowski et Julie Thérien d'avoir lu attentivement et commenté la version anglaise du document. Nous remercions tous ceux et celles qui ont contribué à l'élaboration de ces procédures, et nous sommes convaincus que le document nous aidera à maintenir notre réputation d'excellence durant les années à venir.



Al Pietroniro

Directeur, Services hydrologiques nationaux

Octobre 2017

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.

Cheminement aller et retour : Nivellement d'au moins deux points effectué dans les deux sens. Le cheminement aller s'effectue d'un point de hauteur connue vers des points de hauteur inconnue, et le cheminement retour s'effectue dans le sens opposé.

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 : perche ou planche graduée placée dans un cours d'eau ou à côté afin de mesurer directement la hauteur de la surface de l'eau par rapport à la hauteur connue d'un niveau de référence.

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

Erreur de fermeture : différence entre la hauteur de départ et la hauteur mesurée à la fin du cheminement.

Hauteur de l'instrument (HI) : hauteur de la ligne de visée de la lunette mise à niveau 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 de tous les limnimètres de référence utilisés à une station hydrométrique depuis qu'elle existe.

Limnimètre de référence : limnimètre auquel les lectures du capteur de niveau d'eau sont comparées.

Mire de nivellement : perche graduée servant à mesurer la distance verticale entre un point au sol et la ligne de visée.

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

Niveau de référence : surface à laquelle les hauteurs de niveau d'eau sont rapportées. Il peut s'agir d'un niveau de référence arbitraire ou d'un niveau de référence officiel. Remarque : il n'y a aucun lien entre les niveaux de référence arbitraires de différents sites, ils sont indépendants.

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 cheminement : point fixe sur lequel on prend d'abord une visée avant et ensuite une visée arrière d'une autre mise en station de l'instrument afin de déterminer la nouvelle hauteur de l'instrument.

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 référence : 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 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.

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.

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 au moyen de la même mise en station de l'instrument utilisée pour un autre point de nivellement.

1. Introduction

La fonction d'une station hydrométrique sur un cours d'eau ou un lac est de permettre la prise de mesures fiables et exactes des niveaux d'eau dans la plupart des conditions. Comme les niveaux d'eau mesurés sont couramment utilisés comme données d'entrée dans des modèles de débit, 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 comme indicateur de la stabilité du site.
- 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.

Ces quatre activités diffèrent par leur portée temporelle et leur fréquence : l'activité 1 concerne la surveillance à long terme, l'activité 2 concerne la surveillance à moyen terme (de quelques mois à quelques années), l'activité 3 concerne la surveillance effectuée à chaque visite de la station, et l'activité 4 consiste en une surveillance axée sur un événement. 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

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, p. ex. un repère, d'où l'on mesure directement le niveau d'eau. 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.

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 (Figure 1). Cette surface horizontale par rapport à laquelle toutes les hauteurs sont exprimées est souvent un niveau de référence arbitraire qui est généralement établi en assignant une hauteur arbitraire à un repère. Le niveau de référence peut également être un plan de référence dicté par les exigences opérationnelles, par exemple le plan de référence de Levés géodésiques du Canada ou celui de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies. Aux fins du calcul des débits, il n'y a aucun avantage à utiliser un niveau de référence plutôt qu'un autre. Toutefois, le niveau de référence doit se situer bien en dessous du niveau d'eau à écoulement nul de façon à s'assurer que les niveaux enregistrés sont toujours positifs même s'il y a érosion du lit du cours d'eau.

Pour assurer la qualité des données, il faut documenter dans HYDEX le niveau de référence de chaque station hydrométrique. L'utilisation d'un niveau de référence commun à toutes les stations d'un bassin versant renseigne les utilisateurs des données sur la pente moyenne de la surface de l'eau entre les stations. Le Système canadien de référence altimétrique de 2013, qui approxime la forme de la surface des océans résultant de la gravité terrestre,

constitue un exemple de niveau de référence commun. Si les exigences opérationnelles d'une station nécessitent plusieurs niveaux de référence, il faut les inscrire dans HYDEX en indiquant et en expliquant toutes leurs conversions d'un système de référence à un autre.

Il ne faudrait ménager aucun effort raisonnable pour toujours exprimer les hauteurs nivelées à une station hydrométrique par rapport au même niveau de référence. 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 considérablement la valeur des données hydrométriques pour de nombreuses études hydrologiques et techniques.

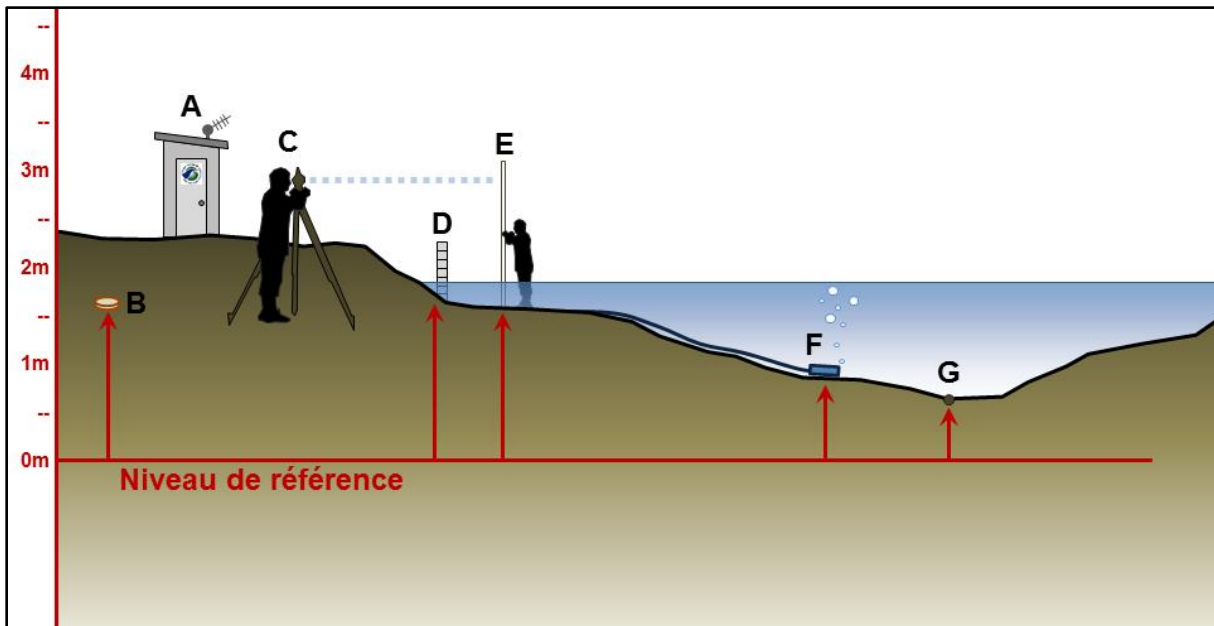


Figure 1. Schéma montrant A) l'abri de la station hydrométrique, B) un repère, C) et E) la lecture directe du niveau d'eau, D) un limnimètre de référence, F) un capteur de niveau d'eau ou un orifice et G) le point d'écoulement nul.

3. Repères

En connaissant en tout temps la hauteur du limnimètre de référence par rapport au niveau de référence, on assure la continuité et la cohérence de la série chronologique des niveaux d'eau mesurés. Pour une surveillance fiable de la position du limnimètre de référence, il faut au moins *trois* repères permanents et stables qui sont indépendants les uns des autres et indépendants de la structure supportant le limnimètre. S'il n'y a que deux repères à une station, aucune conclusion ne peut être tirée quant à leur déplacement. Par contre, il ne sert à rien d'avoir plus de quatre repères. 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 la hauteur du niveau de référence de la station, 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 du niveau de référence 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 doit 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 GPS.

3.1 Types de repères

RHC utilise actuellement deux types de repères officiels : un médaillon avec queue d’ancrage en laiton qui 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) et un médaillon de laiton que l’on visse sur des tiges filetées couplées qui ont été enfoncées dans le sol au moyen d’un marteau perforateur jusqu’à ce qu’elles ne s’enfoncent plus. Dans ce dernier cas, le médaillon et tout coupleur de tiges doivent être enduits d’un frein filet pour assurer leur longévité.

Lorsqu’on installe un nouveau 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 doivent posséder un code d’identification unique qui, dans le cas des repères de RHC, 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 être enregistrés dans la description de la station et son historique des repères (*Benchmark History*). Le code d’identification consiste en une ou deux lettres indiquant la province ou le territoire où se trouve le repère, suivies de deux ou quatre chiffres indiquant l’année où le repère a été installé et d’un nombre correspondant à l’ordre numérique d’attribution du code d’identification au cours de l’année donnée. Voici les abréviations des provinces et des territoires :

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 installé à l’horizontale montrant son code d’identification.

Lorsqu’on établit un nouveau repère à une station 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).

On trouve à de nombreux sites des repères sans médaillon de laiton. Il peut s’agir de boulons, d’écrous ou de rebords d’acier sur des ponts. Ces repères n’ont pas besoin d’être remplacés, mais il faut les marquer de façon permanente tel qu’indiqué plus haut. Les marqueurs non identifiés ne sont pas considérés comme des repères permanents.

Les repères doivent être adéquatement décrits dans le système de calcul des données (Aquarius en 2017) et dans tout autre dossier pertinent de la station. Cette description doit permettre de localiser facilement chaque repère à tout moment de l'année. Il faut donc donner une description physique explicite de chaque repère en mentionnant tout code d'identification gravé ou autre marque qui lui est associé. La description doit également comprendre la localisation (distance et azimut) du repère par rapport à un élément permanent. 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 0,8 m au nord-ouest du coin nord-ouest de l'abri de la station ».

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.

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 effectuer la mesure en plaçant la mire de nivellement sur le point le plus élevé du médaillon.

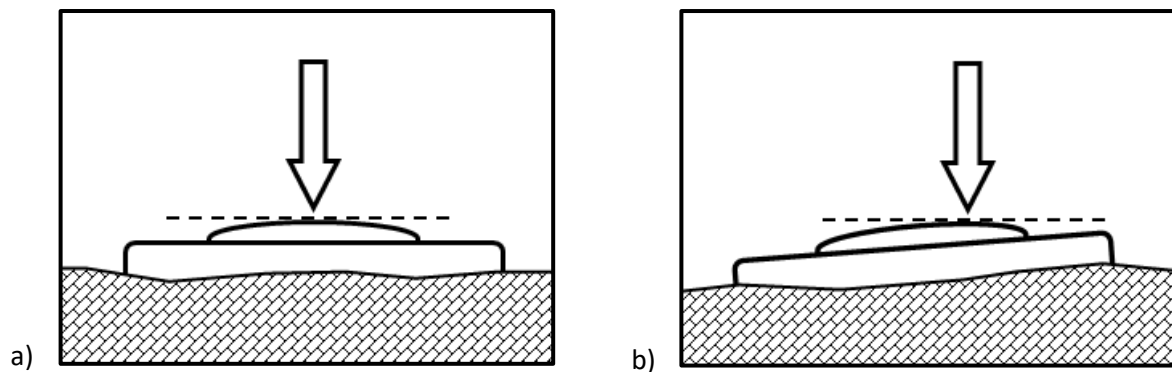


Figure 3. Médaillons de repère installés à l'horizontale. La flèche montre où l'on doit placer la mire pour niveler le repère.

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 du médaillon, comme le montre la Figure 4a. Dans ce cas, aucun des bras de la croix ne devrait être en position horizontale. 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 ou une lame de couteau qu'on a fiché dans la rainure horizontale de la croix, comme le montre la Figure 4b. 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.

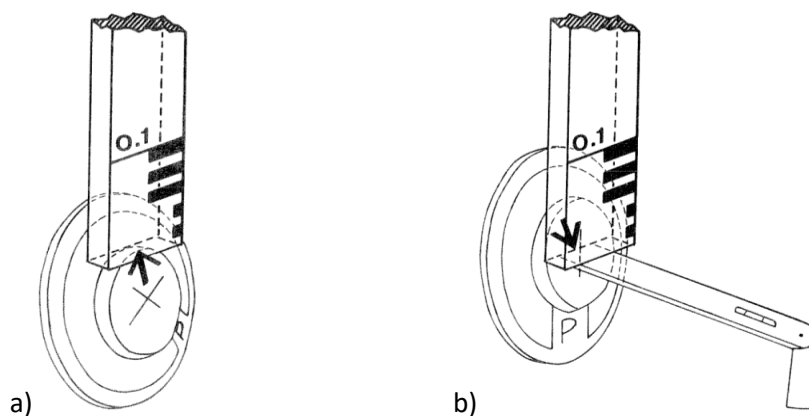


Figure 4. Utilisation d'un repère installé à la verticale. La flèche gravée sur le médaillon indique où placer la mire de nivellement : a) sur le sommet de la partie bombée ou b) sur un ciseau à repères fiché dans la longue rainure horizontale.

4. Surveillance de la stabilité – analyse de l'historique 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 :

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

On devrait effectuer une analyse de l'historique des repères après chaque rattachement complet d'une station. 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 l'historique des repères 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 cinq ans et leurs écarts à la hauteur nivelée moyenne n'ont pas dépassé la tolérance de nivellement (notion présentée à la section 6.2), 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 (voir la section 8.2). 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.

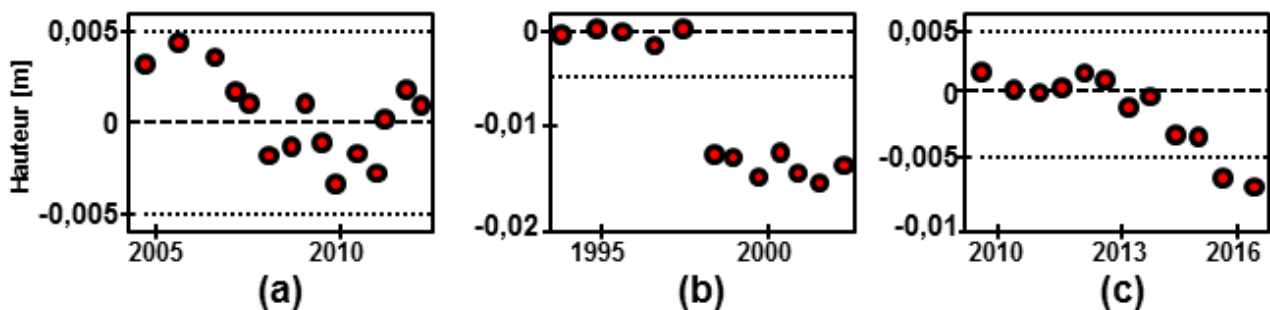


Figure 5. Hauteurs nivelées de trois repères dont la hauteur établie est fixée à 0 m (ligne tiretée) et la tolérance de nivellement locale est de $\pm 0,005$ m (lignes pointillées) : a) repère stable; b) repère dont la hauteur a soudainement changé, puis semble s'être stabilisée; c) repère actuellement instable.

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.
- Si tous les repères du réseau de référence local se déplacent de la même valeur dans le même sens, comme il peut se produire en cas de relèvement isostatique, ce déplacement ne sera pas détecté.

4.2 Fréquence de nivellement

On devrait niveler tous les repères et limnimètres de référence une fois par année aux stations stables, préférablement après le dégel printanier, et deux fois par année aux stations instables. C'est ce qu'on appelle le rattachement complet d'une station. En outre, il pourrait être nécessaire de surveiller plus fréquemment la hauteur du limnimètre de référence selon sa stabilité documentée.

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

1. Si l'analyse de l'historique des repères indique qu'un repère s'est déplacé, mais qu'il s'est par la suite stabilisé (c.-à-d. que ses hauteurs nivelées fluctuent autour d'une valeur constante depuis cinq ans et que leurs écarts à la hauteur nivelée moyenne n'ont pas dépassé la tolérance de nivellement), il faut modifier sa hauteur établie.
 - a. La nouvelle hauteur établie doit correspondre à la hauteur nivelée la plus reproductible.
2. Si l'analyse de l'historique des repères indique qu'un repère est instable :
 - a. S'il s'agit du repère primaire, le rôle de repère primaire devrait être attribué au plus stable des autres repères.
 - b. On devrait établir un nouveau repère et surveiller la hauteur des deux repères 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, ce qui devrait permettre d'observer toute variation saisonnière.
 - c. Lorsqu'on a démontré la stabilité du nouveau repère, il faut enlever ou détruire l'ancien repère afin d'éviter toute confusion future.

Si des repères instables sont inévitables à une station, on devrait envisager le référencement absolu par localisation satellitaire (en discuter avec votre superviseur et communiquer avec l'administration centrale pour en savoir plus). Toutes les décisions concernant le remplacement de repères ou la correction de leur hauteur établie doivent être documentées dans l'analyse de station et l'historique des repères.

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.

5.1 Niveau à bulle 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 6). 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 à bulle optique nécessite des mires graduées sur lesquelles on lit la hauteur. La ligne de visée des vieux niveaux à bulle optiques est réglée à l'horizontale manuellement, tandis que les niveaux à bulle optiques modernes ont un compensateur automatique qui règle précisément la ligne de visée à l'horizontale après le réglage manuel. L'utilisation d'un niveau à bulle optique est acceptable pour tous les aspects du nivellement. Les niveaux à bulle 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.
- Le risque d'erreur humaine est plus important pour les niveaux à bulle optiques que pour les niveaux à bulle numériques.

- Les niveaux à bulle optiques sont sensibles à la réfraction atmosphérique, de sorte qu'ils donnent les meilleurs résultats dans des conditions atmosphériques uniformes, par exemple lorsque le ciel est couvert. Même une visée au-dessus d'un plan d'eau peut causer de la réfraction atmosphérique.
- Le bon état du niveau et des mires de nivellement est essentiel à l'exactitude des mesures.
- L'exactitude recommandée de l'instrumentation pour un cheminement aller et retour de 1 km au total est de 2 mm.

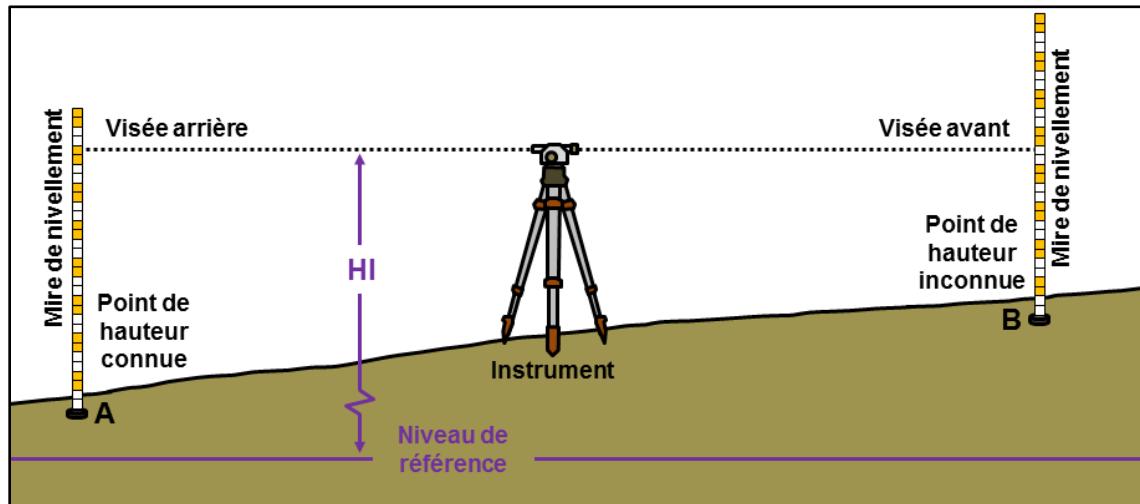


Figure 6. La mise en station de l'instrument montrant la visée avant et la visée arrière pour le nivellement au moyen d'un niveau à bulle.

5.2 Niveau à bulle numérique

On utilise un niveau à bulle numérique en suivant les mêmes procédures que pour un niveau à bulle optique (Figure 6). La différence est qu'un niveau à bulle numérique fonctionne à piles et nécessite une mire de nivellement à code-barres sur laquelle il lit automatiquement le niveau. 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 comportent moins de risque d'erreur de lecture humaine et permettent des mesures plus rapides.

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

- Ils produisent des fichiers numériques pouvant être exportés et stockés pour une bonne tenue de dossiers.
- Le bon état des codes-barres des mires est essentiel à l'exactitude des mesures.
- Ils sont sensibles à la réfraction atmosphérique, de sorte qu'ils donnent les meilleurs résultats dans des conditions atmosphériques uniformes et ils fonctionnent mal dans une chaleur extrême.
- Comme tous les appareils électroniques, ils peuvent tomber en panne, mais la plupart des modèles peuvent être utilisés comme des niveaux optiques au besoin.
- On doit mettre le niveau en mode optique pour niveler les limnimètres à contact électrique ou à fil lesté.
- La ligne de visée doit être entièrement dégagée.
- Il faut faire très attention de ne pas les désaligner.
- L'exactitude recommandée pour un cheminement aller et retour de 1 km au total est de 2 mm. Elle est de 1,5 mm lorsqu'une exactitude de deuxième ordre est exigée, comme pour les limnimètres des Grands Lacs.
- Les niveaux à laser de qualité construction ne sont pas acceptables.

5.3 Station totale (nivellement trigonométrique)

Une station totale calcule une hauteur à partir des angles verticaux et des distances qu'elle mesure (Figure 7). On peut utiliser une station totale sur des pentes abruptes ou pour de longues visées afin de réduire le nombre de mises en station de l'instrument et d'ainsi gagner du temps. Son exactitude est meilleure pour des visées allant jusqu'à quelques centaines de mètres.

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

- 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 variations de température ou d'humidité entre les stations, suivre les instructions du fabricant.
- Elles ne permettent pas de niveler exactement un limnimètre à contact électrique ou à fil lesté.
- Pour suivre la procédure recommandée (annexe A), la hauteur du prisme visé doit être maintenue afin de calculer correctement la différence de hauteurs entre la visée arrière et la visée avant. Il faut donc utiliser des mires de hauteur fixe.
- Elles produisent des fichiers numériques pouvant être exportés et stockés pour une bonne tenue de dossiers.
- L'exactitude recommandée est de $1,5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ pour la distance horizontale et de $1''$ pour l'angle.

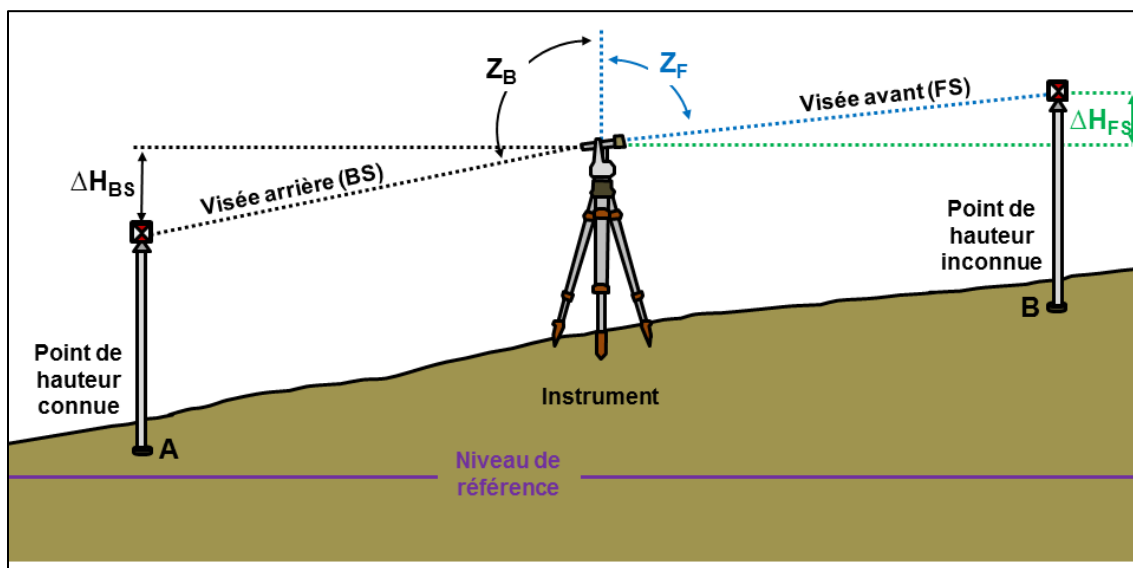


Figure 7. Exemple des visées directes d'une station totale sur les prismes aux points A et B.

5.4 Système mondial de navigation par satellite

Au besoin, on peut se servir d'un système mondial de navigation par satellite comme le GPS pour effectuer du nivellement différentiel (Figure 8). Nécessitant deux récepteurs statiques, cette méthode peut mesurer des dénivelées plus exactes que le nivellement au niveau à bulle sur des visées de 500 m à 5 km. Sur de plus courtes distances et dans des conditions idéales, le nivellement au niveau à bulle est plus précis et devrait être utilisé. La limite supérieure de 5 km est imposée par l'hypothèse selon laquelle la dénivelée entre les emplacements des deux récepteurs doit être la même dans tous les systèmes de référence altimétrique (CGVD2013, ellipsoïde et plan de référence local). N.B. Le présent document n'aborde pas l'altimétrie absolue utilisant des systèmes de référence altimétrique fondés sur la gravité.

Il importe de souligner que la méthode de nivellement différentiel par GPS permet de gagner du temps sur le terrain, mais elle exige des connaissances spécialisées et beaucoup de temps pour le traitement des données au bureau. Discutez-en avec votre superviseur, puis consultez l'administration centrale si vous souhaitez utiliser cette technique.

Voici les exigences de base pour cette méthode :

- Deux récepteurs fonctionnant en mode cinématique en temps réel (RTK) ou cinématique post-traitement (PPK).
- Une antenne multivoies, comme une antenne à anneau de blocage ou une antenne à plan de sol, dont le décalage du centre de phase est connu pour un traitement précis du signal.
- Des observations simultanées par les deux récepteurs sous un ciel non obstrué.
- Deux séries d'observations d'au moins deux heures chacune à différents moments de la journée afin d'assurer la reproductibilité des résultats et d'éliminer l'effet d'éventuelles anomalies géométriques ou atmosphériques.
- Traitement des données effectué par un spécialiste (consulter l'administration centrale).
- Conservation et archivage de toutes les données (brutes et traitées) ainsi que les statistiques connexes à des fins d'assurance de la qualité.
- Exactitude ou précision recommandée des récepteurs : exactitude verticale exprimée en moyenne quadratique de 3,5 mm + 0,4 ppm OU précision des phases porteuses L1/L2 de 1 mm.

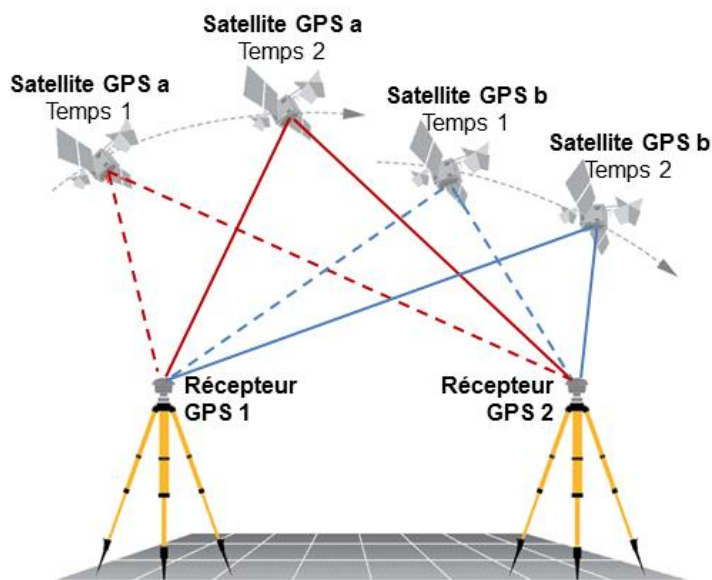


Figure 8. Acquisition simultanée de signaux GPS pour le nivellement différentiel.

5.5 Entretien courant

Il faut tester régulièrement tous les instruments de nivellement 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 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 documentés conformément aux procédures régionales.

Le test des deux piquets est un test simple couramment utilisé pour vérifier les niveaux à bulle (annexe B). Si ce test n'est pas effectué avant de faire du nivellement différentiel, la visée arrière et la visée avant doivent avoir la même distance pour chaque mise en station de l'instrument. 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.

Lorsqu'on ne l'utilise pas, une mire de nivellement doit être entreposée dans un étui rigide pour éviter toute égratignure de la surface imprimée et tout dommage aux embouts. Une mire en bois non traité ne doit pas être placée continuellement dans l'eau puisque celle-ci ferait gonfler le bois et que la surface peinte finirait par s'écailler, limitant ainsi sa durée de vie utile. Lorsqu'on achète une mire de nivellement, on doit en vérifier l'exactitude. On doit également étalonner les mires avant de les utiliser dans le cadre d'un important projet de nivellement.

6. Erreur

6.1 Sources d'erreur

La capacité de mesurer correctement la hauteur d'un point de nivellement (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 le nivellement à l'aide d'un niveau à bulle.

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 le 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. Pour les niveaux optiques, la visée ne devrait pas dépasser 90 mètres et, idéalement, elle devrait être inférieure à 30 m.
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 lorsque la seconde visée est prise.
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 tournevis enfoncé dans le sol.
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, il faut s'assurer que son bord continue de reposer sur la surface en tout temps, comme on peut le faire lorsqu'elle est placée sur une surface arrondie, p. ex. un médaillon de laiton.

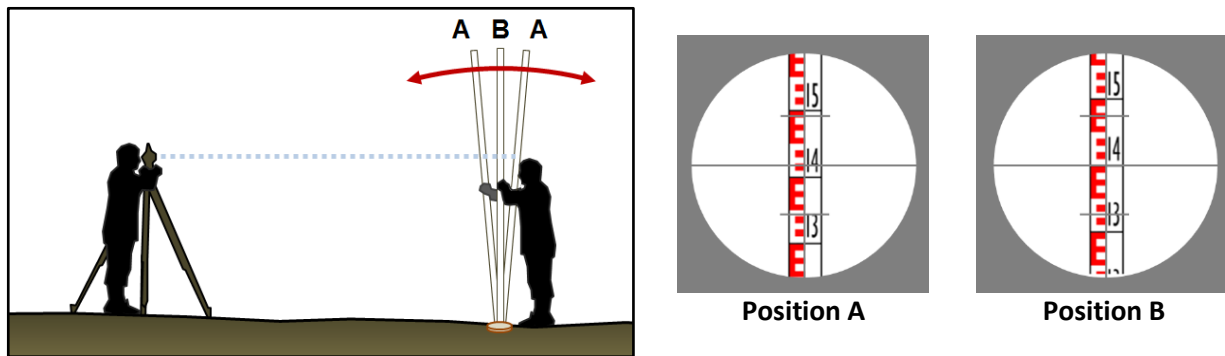


Figure 9. Schéma de l'oscillation de la mire de nivellement montrant que la plus petite lecture (1,400 m) est obtenue lorsque la mire est parfaitement verticale (position B). Lorsque la mire est inclinée (position A), la lecture est de 1,420 m.

6.2 Erreur de fermeture et tolérance de nivellement

Lorsqu'un cheminement de nivellement est fermé, il est possible que la hauteur (H) mesurée de son dernier point (qui est également son premier point) 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 (*closure error*), ou écart de fermeture (EF) :

$$EF = H_{\text{début}} - H_{\text{nivelée}}$$

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, on doit examiner les notes de terrain pour y déceler des erreurs et niveler de nouveau les points erronés du cheminement. Il faut donc documenter dans les notes de terrain la tolérance pour tous les cheminements de nivellement effectués (section 0) 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 4.1).

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

- Si $|EF| > 0,003$ m, le cheminement doit être rejeté et effectué de nouveau jusqu'à ce que $|EF| \leq 0,003$ m.
- Si $|EF| \leq 0,003$ m, les hauteurs des points de nivellement mesurées sur le cheminement aller sont 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 400 m, la tolérance est de $\pm 0,006$ m. La longueur d'un cheminement est la somme de toutes les distances de visée. Les données documentées sur l'emplacement des repères permettent d'estimer approximativement cette valeur.

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

- Si $|EF| > 0,01\sqrt{D}$ m, le cheminement doit être rejeté et effectué de nouveau jusqu'à ce que l'erreur de fermeture se situe dans les limites de la tolérance.
- Si $|EF| \leq 0,01\sqrt{D}$ m et qu'elle dépasse 0,003 m, l'erreur doit être distribuée selon la procédure décrite dans la section suivante.

- Si $|EF| \leq 0,003$ m, les hauteurs mesurées sur le cheminement aller doivent être inscrites dans l'historique des repères.

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 $0,003 \text{ m} < |EF| \leq 0,01\sqrt{D} \text{ m}$ 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 :

$$\frac{EF * n}{x}$$

où x est le nombre total de mises en station du cheminement, et n est le numéro de la mise en station, soit $n = 1$ pour la première mise en station, $n = 2$ pour la deuxième, etc. Le tableau 1 présente un exemple de distribution d'une erreur de fermeture. Pour chaque point de nivellement, la hauteur nivelée à inscrire dans l'historique des repères est la moyenne des hauteurs corrigées. N.B. on peut également utiliser d'autres méthodes jugées adéquates si on les préfère.

Tableau 1. Exemple de distribution de l'erreur de fermeture pour un cheminement de quatre mises en station. La dernière colonne des notes de terrain, laquelle est habituellement vide, a été divisée en trois colonnes : remarques, correction et hauteur corrigée.

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	29,149m	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 : $\pm 0,01\sqrt{0,25} = \pm 0,005$ 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 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 caractéristiques du site, notamment la couverture terrestre, la technologie disponible, et les distances horizontales et verticales entre les points à niveler (étendue spatiale du réseau de référence local). La présente section décrit trois scénarios acceptables, ils sont décrits pour un nivellement au niveau à bulle, 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 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.

Pour l'utilisation d'un niveau à bulle :

- Les visées ne devraient pas dépasser 90 mètres et, idéalement, être inférieure à 30 m pour assurer une lecture exacte de la mire.
- On doit mettre l'instrument en station à égale distance de chaque point de nivellement pour s'assurer que les erreurs de collimation s'annulent.

Pour un cheminement aller et retour de trois mises en station ou moins, on n'inscrit dans l'historique des repères que la hauteur de chaque point de nivellement mesurée sur le cheminement aller. Les hauteurs nivelées sur le cheminement retour servent à valider celles mesurées à l'aller.

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, soit le point où la direction du cheminement s'inverse, et en un cheminement retour. Sur le cheminement retour, les points de nivellement du cheminement aller sont nivelés dans l'ordre inverse. L'instrument est mis en station deux fois, une fois dans chaque direction (Figure 10 et Tableau 2). Pour chaque mise en station, des lectures sont effectuées sur plusieurs visées avant, celles au milieu s'appellent des visées avant intermédiaires. Pour réduire au minimum le risque d'erreur, on doit faire des visées de moins de 30 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 équidistant (placé à la même distance) de tous les points de nivellement mesurés à partir de cette position.

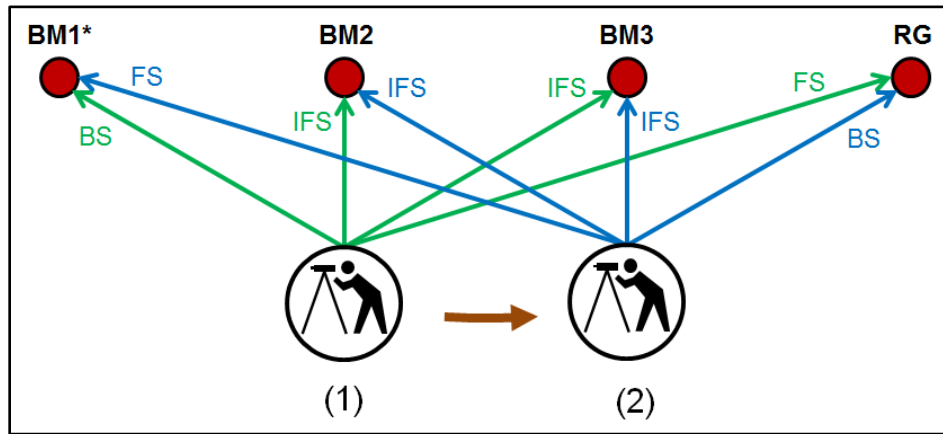


Figure 10. Cheminement aller et retour avec deux mises en station et des visées avant intermédiaires (IFS). Chaque point de nivellement est représenté par un cercle rouge et RG signifie *reference gauge* (limnimètre de référence). Le cheminement débute et se termine au repère BM1, comme l'indique l'étoile.

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.

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 Tableau 2 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.

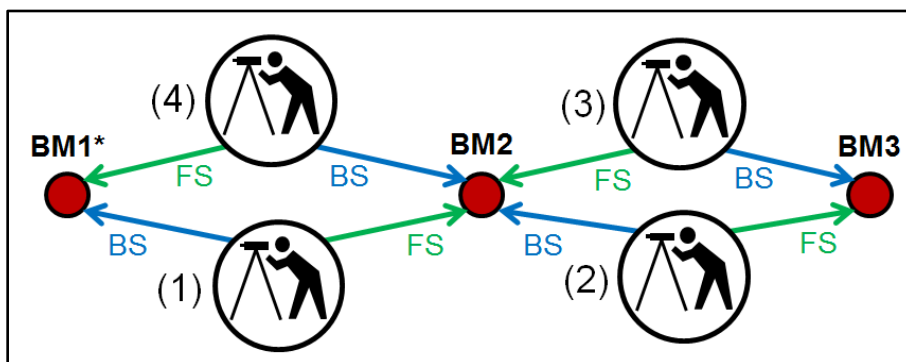


Figure 11. Cheminement aller et retour avec quatre mises en station. Les cercles rouges représentent les points de nivellement, et les chiffres entre parenthèses indiquent l'ordre des mises en station. Le cheminement débute et se termine au repère BM1, comme l'indique l'étoile.

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 6.2). 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 :

$$EF = \sum BS - \sum FS.$$

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).

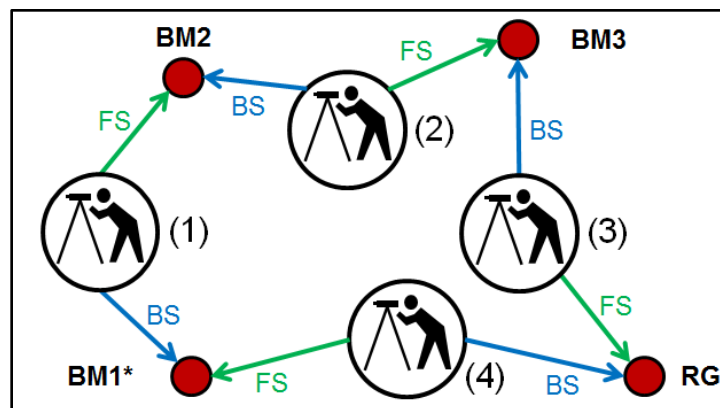


Figure 12. Exemple d'une boucle simple qui débute et se termine au repère BM1, comme l'indique l'étoile. On déplace l'instrument après chaque visée avant. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'ordre des mises en station.

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

Point nivelé	Visée arrière	Hauteur de	Visée avant	Hauteur	Remarques
--------------	---------------	------------	-------------	---------	-----------

		l'instrument			
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 $\pm 0,01\sqrt{0,45} = \pm 0,007$ m					

Application

Comme cette méthode ne donne qu'une seule mesure de chaque hauteur, elle n'offre pas le même contrôle de qualité que les méthodes présentées aux sections 7.1 et 7.2. Elle n'est donc pas acceptable pour une première mesure de la hauteur d'un nouveau repère ou d'un nouveau 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

- 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 du déplacement vertical du limnimètre de référence

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

- 1) pour déterminer sa stabilité générale (son déplacement devrait être minime);
- 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 4.1), mais au minimum il doit être mesuré une fois par année. Tout repère classé comme stable selon les critères indiqués à la section 4.1 peut servir à niveler le limnimètre de référence. Par contre, l'expérience montre que le nivellement des sites est simplifié lorsque tous les cheminements débutent au repère primaire.

8.1 Nivellement du limnimètre de référence

La Figure 13 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 et la hauteur établie du limnimètre de référence, comme l'explique la section 8.2.

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 de la hauteur de l'instrument (HI). 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 8.2).

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 appuie contre elle une mire de nivellement qui s'étend au-dessus pour obtenir une lecture. La hauteur z montrée à la Figure 13 doit être soustraite de la hauteur de l'instrument (HI).

Pour les limnimètres à contact électrique, on doit déterminer la hauteur à laquelle le ruban est lu. Il s'agit de la hauteur du marqueur triangulaire de l'image D à la Figure 13. Pour déterminer cette hauteur, la visée peut être faite sur n'importe quelle partie du ruban gradué. Si l'instrument de nivellement est trop élevé pour qu'on puisse prendre une lecture sur le ruban, 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 ou de référence du limnimètre à contact électrique. La hauteur z doit être ajoutée à la hauteur de l'instrument (HI) ou soustraite de celle-ci, selon le cas.

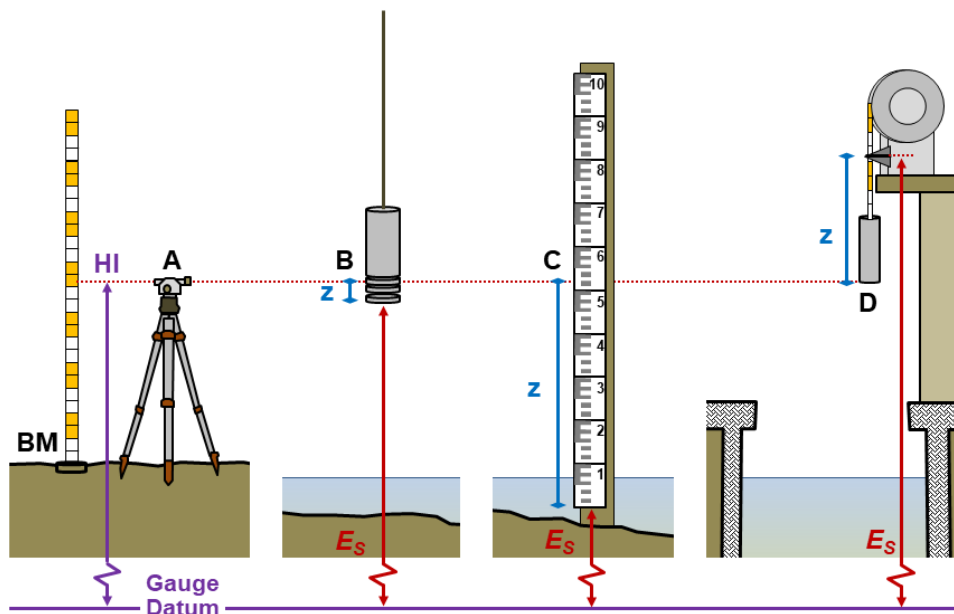


Figure 13. Nivellement de divers types de limnimètres de référence : limnimètre à fil lesté (B), échelle limnimétrique (C) et limnimètre à contact électrique (D). H_n représente la hauteur nivelée (surveyed elevation). La hauteur de l'instrument (A) est mesurée par rapport au repère.

8.2 Corrections de niveau

Une correction de niveau (gauge correction, GC) compense temporairement un déplacement vertical 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 (H_e) du limnimètre de sa hauteur nivelée (H_n), ces hauteurs étant toujours exprimées par rapport au niveau de référence :

$$GC = H_n - H_e.$$

Si la valeur absolue de la correction de niveau est $\leq 0,003$ m, aucune correction ne devrait être appliquée, mais si elle dépasse 0,003 m, la correction est appliquée à toutes les données de niveau d'eau. Cette correction est appliquée

jusqu'à ce que le limnimètre de référence revienne à sa hauteur (antérieurement) établie, jusqu'à ce qu'on détermine une nouvelle correction par nivellement ou jusqu'à ce qu'on détermine une nouvelle hauteur établie par l'analyse de l'historique des repères (voir la section 4). Les corrections de niveau ne doivent être entrées que dans le système de calcul des données; elles ne doivent pas être entrées dans l'enregistreur de données de la station. Cette façon de faire garde les corrections de niveau à part des autres corrections, comme les corrections du zéro du capteur (*sensor resets*) qui 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 14). Plus de détails sur ce sujet se trouvent dans la procédure opérationnelle normalisée pour le calcul des données.

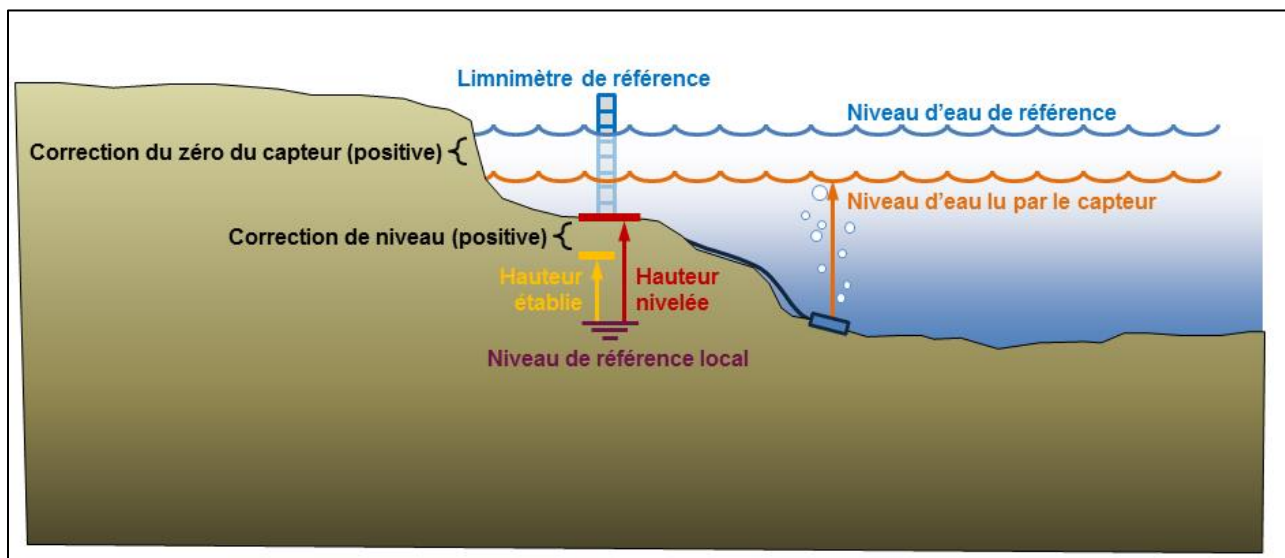


Figure 14. Information pour la détermination des corrections de niveau et des corrections du zéro du capteur (*Sensor Reset Corrections*).

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 analyse de l'historique des repères (section 4). 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

1. 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

2. 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, on doit reporter la modification jusqu'à ce qu'une analyse approfondie soit effectuée.
3. 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 la procédure opérationnelle normalisée sur le calcul des données).
4. Appliquer la nouvelle hauteur établie au limnimètre de référence. Il pourrait être nécessaire de modifier le limnimètre de référence de façon à facilement comparer les lectures aux résultats du capteur.
5. Mesurer le niveau d'eau au moyen du limnimètre de référence, qui est maintenant réglé à sa 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 hauteur nivelée du limnimètre de référence sert à définir la dernière correction de niveau qui s'applique aux données avant la modification de la hauteur établie. La correction de niveau à laquelle on met fin est transférée à la modification de la hauteur établie.
- Une correction du zéro du capteur fondée sur une mesure du niveau d'eau obtenue avant la modification de la hauteur établie est appliquée aux données avant la visite de la station (voir les détails dans la procédure opérationnelle normalisée sur le calcul des données).

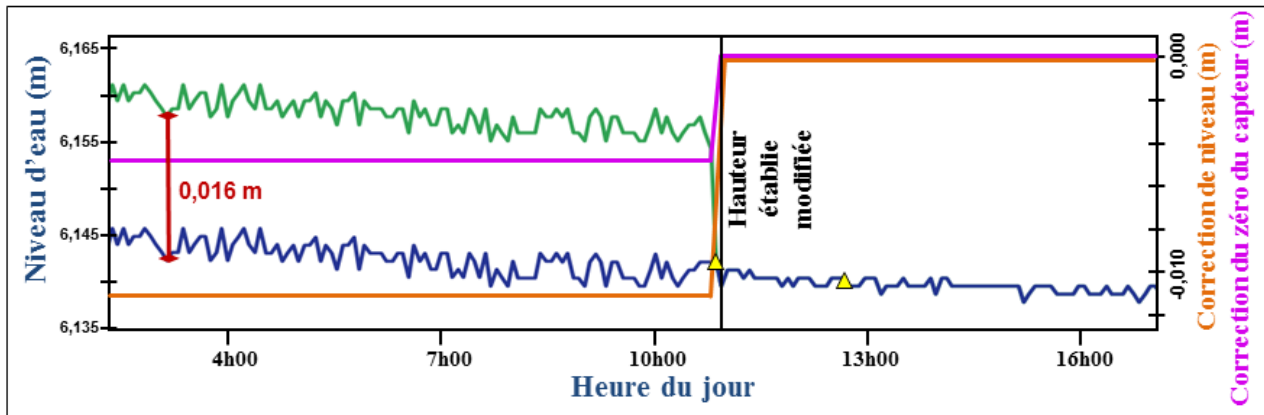


Figure 15. Exemple de corrections appliquées à des données de niveau d'eau avant et après une modification de la hauteur établie. Les triangles jaunes indiquent des lectures du limnimètre de référence. Avant la modification de la hauteur établie, il y avait un écart de 0,016 m entre les signaux bruts (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 le niveau d'eau en combinant la hauteur nivelée d'un point de référence et une mesure de sa distance verticale à la surface de l'eau, qui peut se trouver au-dessus ou en dessous de ce point. 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. 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.

Le nivellement permet d'obtenir d'autres données utiles à une station hydrométrique. Selon leur utilisation prévue, les données de nivellement peuvent être obtenues par un large éventail d'outils (p.ex. niveaux à bulle, GPS ou fonction de suivi du fond des profileurs à effet Doppler). Il peut être utile de niveler les points suivants pour la production des données :

- Les laisses de crue qu'on peut comparer aux niveaux d'eau enregistrés.
- Le niveau de débordement de la rivière qui 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 sert à définir précisément l'extrémité inférieure d'une courbe de tarage.
- La géométrie des contrôles hydrauliques (par la section et par le chenal), qui peut guider l'établissement des courbes de tarage.
- La géométrie de la section transversale.

- Divers éléments d'un limnimètre, comme l'extrémité de la conduite de l'orifice ou la prise d'eau du puits de mesurage, 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.

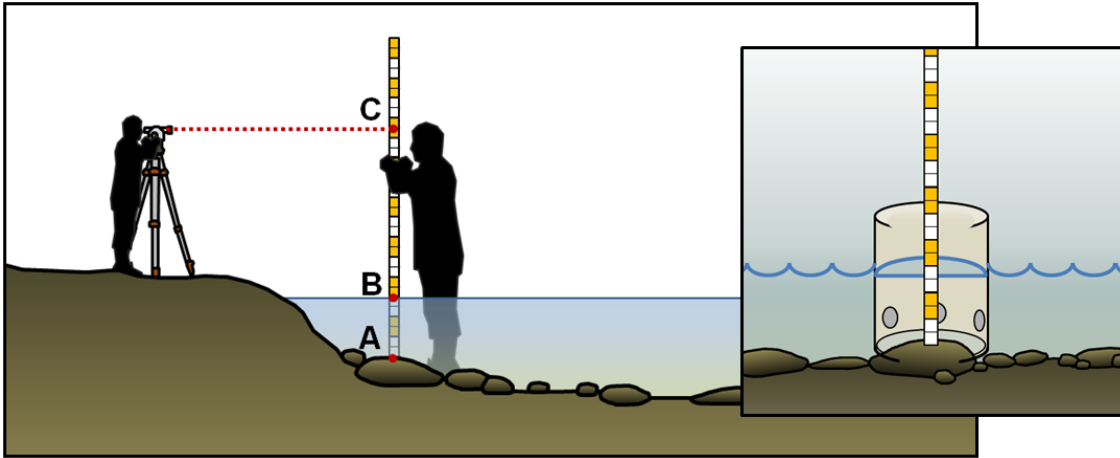


Figure 16. Mesure directe du niveau d'eau et, en encadré, seau percé de trous pour stabiliser la surface de l'eau.

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 *Point nivelé* (*Station* en anglais) 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 sur la même ligne horizontale concerne ce point de nivellement.

Il y a aussi des colonnes pour la visée arrière, la hauteur de l'instrument, la visée avant et la hauteur du point. La version électronique des notes de levé hydrométrique a des colonnes pour la hauteur nivelée et la hauteur établie, tandis que la version papier n'a qu'une colonne pour la hauteur où l'on inscrit la hauteur établie ou la hauteur nivelée, selon le cas.

On peut entrer des renseignements descriptifs dans la dernière colonne à droite. Des renseignements descriptifs supplémentaires peuvent être inscrits dans la partie inférieure de la feuille de nivellement. Toutes les erreurs sur les feuilles de nivellement en version papier doivent être rayées, pas effacées. Le Tableau 5 présente un exemple d'une feuille de nivellement remplie pour un cheminement fermé entre les repères BM3, BM6 et BM7.

Tableau 5. Exemple d'une feuille de nivellement remplie.

Point nivelé	Visée arrière	Hauteur de l'instrument	Visée avant	Hauteur	Remarques
BM3	2,103 m	3,804 m		1,701 m	Hauteur établie
TP 1	2,212 m	5,275 m	0,741 m	3,063 m	Tournevis
BM6			1,384 m	3,891 m	Médaille de laiton
BM7			1,620 m	3,655 m	Ancre à vis
TP 2	2,444 m	5,919 m	1,800 m	3,475 m	Roche dans la rivière
BM7			2,265 m	3,654 m	
BM6			2,026 m	3,893 m	
TP1	1,310 m	4,379 m	2,850 m	3,069 m	
BM3			2,679 m	1,700 m	

TP : point de cheminement temporaire					
Quatre mises en station sur un cheminement de 150 m.					
Tolérance de nivellement de $\pm 0,01\sqrt{0,15}$ m = $\pm 0,004$ m					

Sur la première ligne on entre le numéro d'identification du point de départ, soit BM3, ainsi que sa hauteur établie (1,701 m). La lecture faite sur la mire de nivellement placée sur BM3 est entrée comme la visée arrière (2,103 m). Cette valeur est ajoutée à la hauteur établie pour obtenir la hauteur de l'instrument (3,804 m). On inscrit sur la ligne suivante le deuxième point de nivellement. Il s'agit du premier point dont on détermine la hauteur, soit le point de cheminement temporaire TP1. La lecture faite sur la mire de nivellement placée sur ce point est entrée comme la visée avant (0,741 m). Cette valeur est ensuite soustraite de la hauteur de l'instrument inscrite sur la ligne précédente (la hauteur actuelle de l'instrument) pour obtenir la hauteur de ce point de nivellement (3,063 m). On déplace ensuite l'instrument et on effectue une visée arrière sur TP1 et des visées avant sur les repères BM6 et BM7 et sur le point de cheminement TP2 à partir de la nouvelle hauteur de l'instrument. On déplace de nouveau l'instrument pour le cheminement retour et on effectue une visée arrière sur le point de cheminement TP2. On continue ainsi à faire des observations et à les noter jusqu'à ce qu'on ferme le cheminement.

10.2 Documentation supplémentaire

Cette section résume les exigences en matière de documentation mentionnées ailleurs dans le présent document. Pour chaque station, les renseignements suivants doivent être inscrits aux endroits indiqués.

Dans HYDEX :

- le niveau de référence;
- tout autre niveau de référence utilisé à la station, ainsi que des explications sur les conversions correspondantes d'un système de référence à un autre;
- 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 :

- une liste complète des repères et du limnimètre de référence actuel et avec leur description et leur hauteur;
- une 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 :

- les décisions de remplacement de repères;
- les décisions de correction des hauteurs établies;
- le limnimètre de référence actuel et la liste complète des repères.

Références

Environment Canada, 2012. qSOP-NA037-00-2012 - Hydrometric Manual Data Computations Beta Version.

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

NIWA April 2004 Pacific Island Hydrology Course, Fiji, http://www.whycos.org/fck_editor/upload/File/Pacific-HYCOS/Surface_Waters/Levelling_and_surveying.pdf

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, 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. Inscire la distance verticale et son signe (+ ou -) dans la colonne « Visée arrière ».
4. Placer la mire sur le repère B et effectuer la visée sur la mire.
5. Inscire la distance verticale et 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.
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, mais on doit effectuer les calculs différemment, comme le montre le Tableau 6 :

- a) Soustraire la valeur de la visée arrière de la hauteur du point visé pour obtenir la hauteur de l'instrument.
- b) Ajouter la valeur de la visée avant à la hauteur de l'instrument pour obtenir la hauteur du point de nivellement, en tenant compte du signe + ou -.
- c) Garder à l'esprit que les valeurs inscrites dans la colonne « Hauteur de l'instrument » n'ont aucune signification physique et qu'elles ne servent qu'aux calculs.

Tableau 6. Exemple de notes de terrain RHC pour du nivellement par station totale.

Point nivelé	Visée arrière	Hauteur de l'instrument	Visée avant	Hauteur	Notes
A	+0,236 m	9,764 m		10,000 m	visée arrière directe sur A
B	-0,471 m	9,762 m	-0,473 m	9,291 m	visée avant directe sur B (colonne Visée avant) visée arrière inverse sur B (colonne Visée arrière)
A			+0,237 m	9,999 m	visée avant inverse sur A

Annexe B. Test des deux piquets

On effectue le test des deux piquets 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 une visée de 30 m. On peut trouver dans la bibliothèque opérationnelle de RHC un formulaire Excel qui calcule automatiquement l'erreur de collimation pour ce test.

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 en un point équidistant des 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. Le formulaire Excel pour le test des deux piquets calcule automatiquement l'erreur de collimation.

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

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. Comme le montre le formulaire Excel rempli de la **Error! Reference source not found.**, 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.

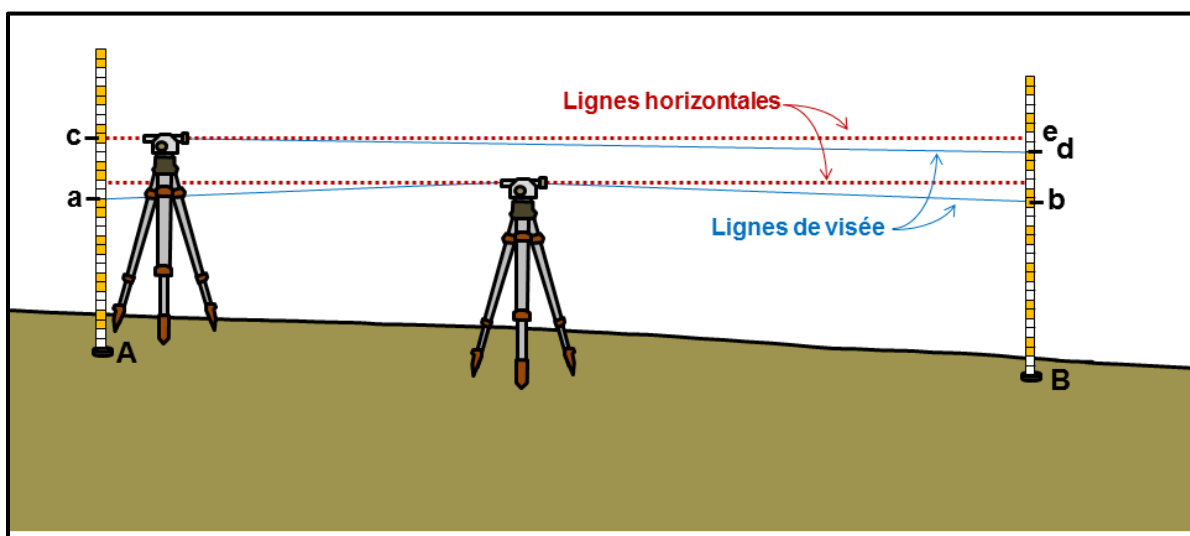


Figure 17. Illustration du principe du test des deux piquets.

Formulaire pour le test des deux piquets

Environnement et Changement climatique Canada
Relevés hydrologiques du Canada

DATE : 2017/05/01

INSPECTEUR : Nom de l'inspecteur

MARQUE DU NIVEAU : Leica

MODELE DU NIVEAU : DNA3

N° DE SERIE DU NIVEAU : 12345

UTILISATEUR DU NIVEAU : Tech name

Distance entre les piquets A et B 90 m

Visée a 0.573 m Visée c 1.161 m

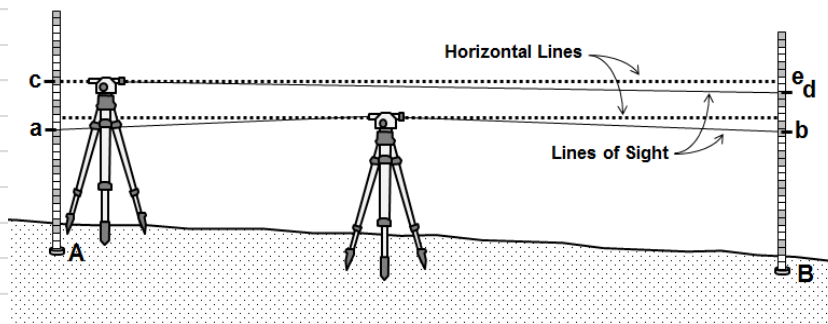
Visée b 1.35 m Visée d 1.923 m

Différence b-a 0.777 m Différence d-c 0.762 m

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

Erreur de collimation 0.005 m / 30 m

Inférieur ou égal à 0,001 m/30 m? No



Commentaires:

Pour connaître la procédure à suivre pour le test des deux piquets, consulter l'annexe A du Manuel pratique de levés hydrométriques – Nivellement (qSOP-NA005-03-2017)

Figure 18. Exemple d'un formulaire Excel rempli pour le test des deux piquets.

