



Modernisation du système de référence altimétrique

Ressources naturelles Canada (RNCan) a fait le lancement du Système canadien de référence altimétrique de 2013 (CGVD2013) qui est maintenant le nouveau standard de référence pour les altitudes à travers le Canada. Ce système de référence altimétrique remplace le Système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28).

CGVD2013 est défini par la surface équipotentielle ($W_0 = 62636856,0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$), représentant par convention le niveau moyen de la mer côtière pour l'Amérique du nord. Cette définition vient d'une [entente](#) entre les États-Unis d'Amérique et le Canada. Ce nouveau datum vertical est matérialisé actuellement par le modèle du géoïde CGG2013a qui fournit la séparation entre l'ellipsoïde de GRS80 et la surface décrite ci-haut dans le cadre de référence géométrique NAD83(SCRS), le faisant ainsi compatible avec les Systèmes de positionnement par satellites (ou sous son sigle anglais GNSS) tel que le GPS.

L'altitude des repères altimétriques est aussi disponible en CGVD2013. Ces altitudes proviennent d'un réajustement de l'ensemble du réseau de nivellement fédéral de premier ordre. Cependant, les altitudes en CGVD2013 dérivées à partir de mesures GNSS et du modèle du géoïde CGG2013 prévalent sur les élévations publiées parce que RNCan ne peut pas confirmer la précision des élévations et la stabilité des repères altimétriques du réseau de nivellement vieillissant.

RNCan continue la publication des altitudes CGVD28 aux repères altimétriques et du modèle du géoïde hybride HTv2.0 afin d'assurer une période de transition graduelle et en douceur vers le nouveau système de référence altimétrique.

NOUVEAU : En 2022, le US National Geodetic Survey (NGS) remplacera le Système nord-américain de référence altimétrique de 1988 (NAVD 88) par un système de référence altimétrique basé sur un géoïde appelé le Système nord-américain-pacifique de référence altimétrique de 2022 (NAPGD2022). Ce futur système de référence altimétrique américain a la même définition que CGVD2013 et permettra, au moment de sa publication, de créer un système de référence altimétrique continental unifié.

Table des matières

1. [Information sur le Système canadien de référence altimétrique de 2013 \(CGVD2013\)](#)
2. [Qu'est-ce que la modernisation du système de référence altimétrique?](#)
3. [Pourquoi un nouveau référentiel?](#)
4. [Quel sera l'effet sur mes activités?](#)
5. [Systèmes de référence altimétriques](#)
 - a. [Système canadien de référence altimétrique de 2013 \(CGVD2013\)](#)
 - b. [Système canadien de référence altimétrique de 1928 \(CGVD28\)](#)
 - c. [Système nord-américain de référence altimétrique de 1988 \(NAVD 88\)](#)
 - d. [Datum international des Grand Lacs de 1985 \(IGLD85\)](#)
6. [Niveau moyen de la mer](#)
7. [Conversion: CGVD28 et CGVD2013](#)
 - a. [GNSS sur des repères de nivellement](#)
 - b. [Information relative aux repères de nivellement](#)
 - c. [Modèle national de conversion des altitudes](#)
8. [Modélisation du géoïde](#)
 - a. [Les modèles publics du géoïde pour le Canada](#)
 - b. [Validation des modèles du géoïde](#)
9. [Documents](#)
10. [Glossaire](#)
11. [Foire aux questions](#)

Information sur le Système canadien de référence altimétrique de 2013 (CGVD2013)

En novembre 2013, Ressources naturelles Canada (RNC) a fait le lancement du **Système canadien de référence altimétrique de 2013** (CGVD2013) qui est maintenant le nouveau standard pour les altitudes à travers le Canada. Ce nouveau système de référence altimétrique remplace le Système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28) qui a été adopté officiellement par un décret en conseil en 1935.

CGVD2013 est défini par la surface équipotentielle $W_0=62636856,0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$, représentant par convention le niveau moyen de la mer côtière pour l'Amérique du nord. Cette définition vient d'une [entente](#) entre les États-Unis d'Amérique et le Canada. Ce nouveau datum vertical est présentement matérialisé par le **modèle du géoïde CGG2013a** qui fournit la séparation entre l'ellipsoïde de GRS80 et la surface équipotentielle décrite ci-haut dans le cadre de référence géométrique NAD83(SCRS), le faisant ainsi compatible avec les Systèmes de positionnement par satellites (ou sous son sigle anglais GNSS) tel que le GPS. Le CGG2013a est aussi disponible dans le cadre de référence ITRF2008.

- Le CGG2013a (modèle et précision) peut être téléchargé à la page suivante: [Modèles du géoïde](#)
- Le CGG2013a (modèle et précision) est aussi disponible avec le progiciel GPS-H v3.2 à la page suivante: [Applications bureautiques](#)

L'altitude des repères altimétriques est aussi disponible en CGVD2013. Ces altitudes proviennent d'un réajustement de l'ensemble du réseau de nivellement fédéral de premier ordre. Afin d'obtenir des

altitudes conformes au CGVD2013, le réseau de nivellement est contraint à des nombres géopotentiels (C) qui ont été calculés à partir d'altitudes géodésiques précises (h), du modèle du géoïde CGG2013 (N) et des valeurs interpolées de la gravité (g) : $C = (h - N) * g_m$, où g_m est la gravité moyenne entre le géoïde et le repère altimétrique le long du fils à plomb. Les repères altimétriques sélectionnés appartiennent au Système canadien de contrôle actif ([SCCA](#)), du réseau de base canadien ([RBC](#)) et du projet « GPS sur des repères altimétriques » .

- Le réseau de nivellement continental a 32 contraintes.
- Le réseau de Terre-Neuve a 4 contraintes.
- Une seule contrainte est requise pour le réseau de l'Île-du-Prince-Édouard.
- Le réseau de nivellement de l'île de Vancouver inclut 2 contraintes, une à chaque extrémité de l'île.
- Des ajustements avec contrainte minimum ont été faits pour chacun des réseaux locaux : Île d'Anticosti, Îles de la Madeleine, Kuujuarapik et les marégraphes à Nain, Iqaluit, Resolute, Baker Lake, Holman, Alert, Kugluktuk, Igloodik et Sorel.

L'altitude des repères de nivellement dans le CGVD2013 est disponible à la page suivante : [Réseaux de contrôle passifs](#)

Même si chaque repère altimétrique a une nouvelle élévation dans le CGVD2013, les altitudes dérivées à partir de mesures GNSS et du modèle du géoïde CGG2013a prévalent sur les élévations publiées parce que RNCAN ne peut pas confirmer la précision des élévations et la stabilité des repères altimétriques du réseau de nivellement vieillissant.

RNCAN continue la publication des altitudes CGVD28 aux repères altimétriques et du modèle du géoïde hybride HTv2.0 afin d'assurer une période de transition graduelle et en douceur vers le nouveau système de référence altimétrique.

Quelques informations importantes :

- Les usagers devraient utiliser la version **NAD83(SCRS)** du **CGG2013a** pour leurs activités régulières parce qu'elle est reconnue comme la version « fondamentale » par RNCAN. La version ITRF2008 peut être utilisée pour des applications scientifiques. La version NAD83(SCRS) est calculée directement de la solution géocentrique (version ITRF2008) en appliquant une transformation de sept paramètres pour l'époque 2011.0 :
 - $T_x = 1,0045 \text{ m} / R_x = -26,8481 \text{ mas}$
 - $T_y = -1,9117 \text{ m} / R_y = 1,1777 \text{ mas}$
 - $T_z = -0,5453 \text{ m} / R_z = -10,8807 \text{ mas}$
 - Échelle = 0,2872 ppb
- Même si le modèle du géoïde est associé à une époque (2011,0), il ne demeure pas moins qu'il est considéré présentement comme **statique**, c.-à-d., que les ondulations du géoïde n'ont pas de changement temporel. L'époque de 2011,0 est requise pour la transformation entre l'ITRF2008 et le NAD83(SCRS) dû au fait de la dérive temporelle entre les réalisations ITRF. L'époque de 2011,0 est choisie car elle représente environ le milieu de l'intervalle de temps des mesures GOCE (mission satellitaire gravimétrique) utilisées dans CGG2013a.
- Les altitudes obtenues par GNSS/CGG2013a ne seront pas les mêmes que celles publiées aux repères altimétriques parce qu'elles proviennent de l'ajustement d'un réseau de nivellement de premier ordre vieillissant qui inclut des erreurs systématiques et aléatoires. Généralement, la différence absolue est inférieure à 5 cm mais il est aussi possible que la différence soit de l'ordre

de 20 cm, tout particulièrement dans le Territoire du Yukon où les boucles de nivellement ne ferment pas précisément et où les repères sont des tiges de 5 pieds dans le permafrost (très instable). Par contre, les différences relatives devraient être à l'intérieur d'une enveloppe de 1 à 3 cm (2σ) pour des levés régionaux.

- L'altitude officielle d'un repère de nivellement (ou tout autre point) est déterminée par des mesures GNSS suivant le NAD83(CSRs) et corrigée par le modèle du géoïde CGG2013a. D'un tel point, il est alors possible d'entreprendre un levé de nivellement et de bien être intégré dans le CGVD2013. En initiant un levé à partir d'un repère ayant une élévation publiée qui vient de l'ajustement du réseau de nivellement, il est possible que le levé soit décalé par rapport au CGVD2013.
- Avant d'adopter le CGVD2013, les intervenants devraient poursuivre des études régionales du nouveau référentiel altimétrique afin de bien comprendre l'impact possible sur leurs activités et leurs produits. Dans certain cas, l'analyse pourrait être simple si, par exemple, l'objectif est d'intégrer des altitudes de précision supérieure à 10 cm au CGVD2013. D'autre part, il peut être demandant lorsque que l'on regarde à des précisions de l'ordre de quelques cm sur une région relativement grande et que l'on cherche à comprendre la souche de la différence par rapport à l'ancien datum vertical. La précision relative et absolue de CGG2013a répond à la plupart des besoins nationaux en termes de référence altimétrique.
- Finalement, le modèle du géoïde n'est pas sans erreurs et RNCan continuera à l'améliorer au cours des ans. La prochaine version était prévue pour 2018 pour continuer le cycle de cinq ans. Par contre, le Comité canadien du système de référence géodésique, qui comprend des représentants fédéraux et provinciaux, a recommandé de retarder la mise à jour de CGG2013a. Entre temps, NRCan reprend l'amélioration du modèle du géoïde jusqu'à sa prochaine publication, qui aura lieu au plus tard en 2022 lorsque le US NGS adoptera le NAPGD2022.

Qu'est-ce que la modernisation du système de référence altimétrique?

La Modernisation du système de référence altimétrique est un projet de Ressources naturelles Canada qui vise l'élaboration, la mise en œuvre et l'encouragement à utiliser au Canada un référentiel altimétrique basé sur la gravimétrie. En d'autres termes, il s'agit de la redéfinition du système de référence altimétrique et l'élaboration d'un nouveau cadre de référence altimétrique par modélisation du géoïde plutôt que par nivellement géodésique. Il permet la mesure d'altitudes par rapport à un référentiel altimétrique cohérent d'un bout à l'autre du pays au moyen de Système de positionnement par satellites (GNSS, de l'anglais Global Navigation Satellite Systems) et des technologies émergentes du GNSS. Cette nouvelle approche permet de réduire la dépendance à l'endroit des réseaux matérialisés par des repères altimétriques pour la détermination des altitudes. Elle réduit la nécessité de l'entretien physique des quelque 90 000 repères de nivellement, pour ne laisser qu'à entretenir qu'environ 250 stations constituant le Système canadien de contrôle actif ([SCCA](#)), et le Réseau de base canadien ([RBC](#)). Ces réseaux seront complétés par les Réseaux de grande précision ([RGP](#)) provinciaux. Le projet demeure en place jusqu'à ce que les intervenants soient bien intégrés au CGVD2013.

Le projet comprend deux volets principaux:

1. Planification et mise en oeuvre stratégique, et
2. Amélioration du modèle du géoïde.

Le volet **Planification et mise en œuvre stratégique** est mené en collaboration avec les organismes provinciaux et territoriaux responsables de la géodésie. Les activités dans le cadre de ce volet comprennent une consultation des intervenants, l'élaboration d'un plan de mise en œuvre et d'un plan de communication, la préparation de matériel didactique et la promotion du nouveau cadre de référence altimétrique par Internet et lors de conférences et d'ateliers.

Le volet **Amélioration du modèle du géoïde** est l'aspect technique du projet. Il comprend l'amélioration du modèle du géoïde et de son modèle d'erreur en fonction des théories les plus récentes, la collecte de nouvelles données gravimétriques (au sol et depuis l'espace) et de modèles numériques d'élévations, la validation du modèle du géoïde par l'exécution de levés GNSS et de nivellement, et l'élaboration d'outils pour l'utilisation du nouveau référentiel altimétrique. Ce volet comprend en outre une contribution des établissements d'enseignement et d'agences internationales. Ceci est une activité à long terme.

Pourquoi un nouveau référentiel?

Même si le Système géodésique de référence altimétrique de 1928 (CGVD28) reste dans l'ensemble localement très précis, il ne fournit pas l'exactitude nécessaire de nos jours à l'échelle du pays. En outre, l'entretien et l'expansion par nivellement du réseau altimétrique sont coûteux, chronophages et laborieux. Une nouvelle compensation des réseaux de nivellement, similaire à celle menée dans le cadre du projet NAVD 88, ne constituerait qu'une solution temporaire et, bien que plus exacte que le CGVD28, elle ne résoudrait aucunement les problèmes posés par la couverture restreinte et les coûts d'entretien de celui-ci.

D'autre part, la modélisation du géoïde constitue une solution de remplacement viable pour la modernisation du référentiel altimétrique au Canada. Le géoïde présente une surface stable dont la position peut être déterminée avec exactitude sur l'ensemble du territoire canadien. Il est matérialisé par rapport à l'ellipsoïde de référence (ondulations du géoïde), ce qui le rend compatible avec les technologies du positionnement depuis l'espace (p. ex. GNSS, altimétrie radar par satellites).

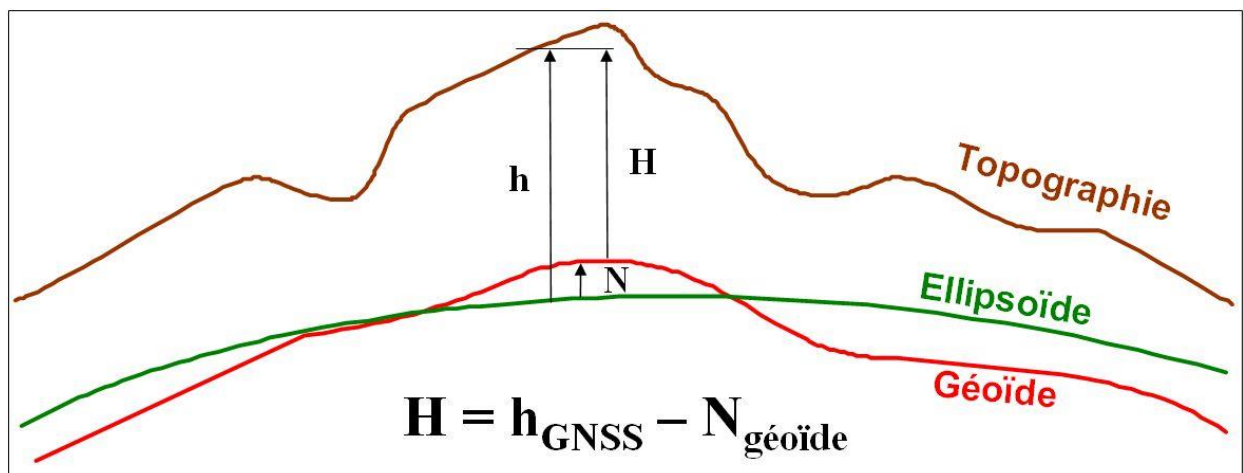


Figure 1: Altitude ellipsoïdale (h), altitude orthométrique (H) et ondulation du géoïde (N)

L'altitude orthométrique (H) (aussi appelée altitude par rapport au niveau moyen de la mer) est obtenue en soustrayant l'ondulation du géoïde (N) de l'altitude ellipsoïdale (h) venant du GNSS. L'ondulation du géoïde (N) est positive (+) lorsque le géoïde se situe au-dessus de l'ellipsoïde et elle est négative (-) lorsque le géoïde se situe en dessous de l'ellipsoïde.

Quel sera l'effet sur mes activités?

La mise en œuvre du CGVD2013 corrige les distorsions dans le CGVD28 qui varient nationalement entre -65 cm et +55 cm. Les plus grands changements absolus sont dans les Maritimes, où le nouveau datum vertical est plus haut par de 65 cm, ce qui signifie des altitudes plus basses dans la région. Dans les Rocheuses, le datum vertical est plus bas de 50 cm, ce qui signifie des altitudes plus élevées.

L'impact de ces différences sur les utilisateurs dépendra de la précision requise, de l'emplacement et de la grandeur de leur projet. Il existe trois principales catégories d'utilisateurs.

- La première catégorie comprend ceux qui ont besoin d'altitudes à quelques mètres de précision (par exemple, des modèles numériques d'élévation). Dans ce cas, la différence entre le CGVD28 et le CGVD2013 peut être négligée.
- Ceux qui ont besoin d'une précision de moins de 20 centimètres le long de corridors de quelques dizaines de kilomètres (par exemple, un levé LiDAR) constituent la deuxième catégorie. Pour ces utilisateurs, la différence entre le CGVD28 et le CGVD2013 doit être considérée.
- Enfin, la troisième catégorie représente ceux qui transfèrent des altitudes de moins de 2 cm sur de petites régions (par exemple, infrastructure municipale). Pour ces utilisateurs, la différence entre le CGVD28 et le CGVD2013 devrait être envisagée, mais généralement l'application d'un biais est suffisante.

Ainsi, à court terme, RNCan continue la diffusion des repères altimétriques en CGVD28 afin de faciliter la transition vers le nouveau système de référence altimétrique.

L'effet à long terme sera la disparition et la fiabilité des repères altimétriques existants d'un bout à l'autre du pays. Cela exigera que les intervenants installent leurs propres stations de contrôle altimétrique, ce qui peut se faire en installant et en entretenant de nouveaux repères altimétriques, par la méthode du nivellement au niveau à bulle, d'après les repères altimétriques existants avant qu'ils disparaissent. D'autre part, cela peut également se faire de manière plus efficace en installant à la volée de nouveaux repères dans une région d'intérêt en exécutant des levés RTK, GNSS par rapport aux stations du SCCA, du RBC ou des RGP, ou encore en effectuant un Positionnement ponctuel précis (PPP) par GNSS. Le levé altimétrique local peut être repris par GNSS ou par la méthode du nivellement au niveau à bulle.

Systemes de référence altimétrique

Systeme canadien de référence altimétrique de 2013 (CGVD2013)

Le Système canadien de référence altimétrique de 2013 (CGVD2013) a été lancé officiellement en novembre 2013. Il remplace le Système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28).

CGVD2013 est un datum gravimétrique défini par la surface équipotentielle $W_0=62636856,0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$, représentant le potentiel moyen du niveau de la mer à des marégraphes le long de la côte nord-américaine. La définition et la valeur du géopotential viennent d'une [entente](#) entre le Canada et les États-Unis. Le modèle canadien du géoïde gravimétrique de 2013 – Version A (CGG2013a) est la matérialisation actuelle du CGVD2013. CGG2013a est offert en NAD83(SCRS) et en ITRF2008 pour

l'ellipsoïde de GRS80, le faisant cohérent avec les systèmes de positionnement par satellites. Les altitudes en termes du CGVD2013 sont orthométriques (H).

Les réseaux de nivellement (continent, Île-du-Prince-Édouard, Terre-Neuve, Île de Vancouver et autres îles) sont réajustés en conformité avec le CGVD2013 en contraignant les mesures de nivellement à des stations ayant des altitudes géodésiques précises en NAD83(SCRS). Les altitudes CGVD2013 aux repères altimétriques ne sont pas considérées comme officielles parce qu'elles sont déterminées à partir de données héritées. RNCan n'est pas dans la possibilité de confirmer la stabilité des repères altimétriques. L'altitude officielle d'un repère altimétrique est celle déterminée par des observations GNSS et le modèle du géoïde matérialisant le CGVD2013.

Système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28)

Le Système canadien de référence altimétrique de 1928 (CGVD28) est l'ancien datum vertical pour le Canada. Il a été adopté officiellement par un décret en conseil en 1935 et abrogé le 5 février 2015. CGVD28 est un datum marégraphique défini par le niveau moyen de l'eau à cinq marégraphes : Yarmouth et Halifax sur l'océan Atlantique, Pointe-au-Père sur le fleuve St-Laurent, et Vancouver et Prince-Rupert sur l'océan Pacifique. En outre, sa définition comprend une altitude à un repère altimétrique situé à Rouses Point, NY (près du lac Champlain), dont l'altitude a été convenue par les États-Unis et le Canada en 1925. Le datum est propagé à l'intérieur des terres par des mesures de nivellement géodésiques. Le datum vertical est accessible par l'entremise de quelques 94,000 repères altimétriques ancrés au sol ou à des structures stables. Les altitudes en termes du CGVD28 sont normale-orthométriques (H^{no}).

Système nord-américain de référence altimétrique de 1988 (NAVD 88)

Le Système nord-américain de référence altimétrique de 1988 (NAVD 88) est le datum vertical des États-Unis d'Amérique. Il a été affirmé comme le datum vertical officiel dans le National Spatial Reference System (NSRS) des États-Unis contigus et de l'Alaska en 1993. NAVD 88 est un datum marégraphique défini par le niveau moyen de l'eau au marégraphe de Rimouski, Québec. Le datum est propagé à l'intérieur des terres par des mesures de nivellement géodésiques. Le datum vertical est accessible par l'entremise de repères altimétriques ancrés au sol et à des structures stables. Les altitudes en termes du NAVD 88 sont orthométriques de Helmert (H^H). Le Canada n'a pas adopté le NAVD 88. Cependant, des altitudes en NAVD 88 sont disponibles pour un sous ensemble du réseau de nivellement canadien.

NOUVEAU : Les États-Unis remplaceront NAVD 88 par NAPGD2022 en 2022.

Datum international des Grands Lacs de 1985 (IGLD85)

Le Datum international des Grands Lacs de 1985 (IGLD85) vient du même ajustement que le NAVD 88. Cependant, les altitudes en termes du IGLD85 sont dynamiques (H^d). Les altitudes IGLD85 aux repères altimétriques sont disponibles en ligne sur le site des Systèmes de référence géodésiques.

NOUVEAU : IGLD85 sera remplacé par IGLD2020 en 2025. Il utilisera la même définition que le NAPGD2022 (qui est aussi identique à CGVD2013), mais les altitudes seront dynamiques (H^d).

Tableau 1: Sommaire des trois principaux systèmes de référence altimétriques

	Système canadien de référence altimétrique de 2013	Système canadien de référence altimétrique de 1928	Système nord-américain de référence altimétrique de 1988
Abréviation	CGVD2013	CGVD28	NAVD 88
Type de datum	Gravimétrique (modèle du géoïde)	Marégraphique (nivellement)	Marégraphique (nivellement)
Datum vertical	$W_0=62636856,0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$	Niveau moyen de l'eau aux marégraphes de Yarmouth, Halifax, Pointe-au-Père, Vancouver et Prince-Rupert, et une altitude à Rouses Point, NY.	Niveau moyen de l'eau au marégraphe de Rimouski, Québec.
Matérialisation	CGG2013 (NAD83(SCRS)) et ITRF2008	Ajustements régionaux multiples des réseaux au cours des ans; ajustement original en 1928	Ajustement continental de 1991
Système d'altitude	Orthométrique	Normal-orthométrique	Orthométrique de Helmert

Niveau moyen de la mer (NMM)

Par convention, le niveau moyen de la mer est utilisé depuis des générations comme surface de référence pour l'altitude du terrain. Les référentiels altimétriques régionaux, nationaux et continentaux ont été matérialisés d'après des observations de nivellement géodésiques compensées avec des contraintes au niveau moyen de la mer déterminé d'après des mesures à des marégraphes. De nos jours, les systèmes globaux de géopositionnement satellitaires (GNSS ; p.ex., GPS, GLONASS et éventuellement Galileo) offrent une technique de remplacement pour la détermination de l'altitude. Cependant, ces systèmes mesurent des altitudes géodésiques (ellipsoïdales) qui n'ont ainsi aucun sens physique, c.-à-d. que l'eau pourrait fort bien s'écouler depuis un point plus bas vers un point plus haut par rapport à l'ellipsoïde de référence. C'est pourquoi les altitudes ellipsoïdales (h) doivent être converties en altitudes orthométriques (H) au moyen des ondulations du géoïde (N) : $H = h - N$. Malheureusement, le géoïde ne coïncide pas parfaitement avec le niveau moyen de la mer, car celui-ci n'est pas une surface équipotentielle (une surface de niveau). La surface moyenne de l'océan présente de petites bosses et de petits creux tout comme la topographie des étendues émergées, mais plus adoucis. À l'échelle du globe, l'altitude de ces bosses et creux varie de $-2,0 \text{ m}$ à $+2,0 \text{ m}$ par rapport au géoïde. L'écart entre le géoïde et niveau moyen de la mer est la Topographie dynamique des océans (SST).

Cette surface équipotentielle acceptée ($W_0 = 62636856,0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$) par les États-Unis et le Canada se retrouve en dessous du niveau moyen de la mer sur la côte du Pacifique par 17 cm, mais au-dessus du niveau moyen de la mer sur la côte de l'Atlantique par 39 cm. C'est donc dire que le littoral dans la région de Halifax a une élévation négative ($H = -0,39 \text{ m}$) alors que Vancouver a une élévation positive ($H = 0,17 \text{ m}$).

Conversion: CGVD28 et CGVD2013

L'implantation d'un nouveau référentiel altimétrique au Canada exige l'élaboration de procédures par la conversion des données altimétriques existantes.

Officiellement, l'altitude orthométrique d'un point est déterminée comme suit :

$$H_{\text{CGVD2013}} = h_{\text{NAD83(CSRs)}} - N_{\text{NAD83(CSRs),CGG2013a}}$$

où $h_{\text{NAD83(CSRs)}}$ est l'altitude ellipsoïdale et $N_{\text{NAD83(CSRs),CGG2013a}}$ est l'ondulation du géoïde.

GNSS sur des repères de nivellement

Les intervenants peuvent déterminer leur propre conversion en exécutant des levés GNSS précis sur des repères de nivellement dans la région d'intérêt. Il est important que les altitudes ellipsoïdales et les ondulations du géoïde soient exprimées suivant le même cadre de référence. Le cadre de référence (RF) peut être soit le NAD83(CSRs), soit l'ITRF. Le WGS84 est aligné avec le cadre de référence ITRF.

La conversion (β) peut être déterminée comme suit :

$$\beta = (h_{\text{RF}} - N_{\text{RF}}) - H_{\text{Ancien référentiel}}$$

où h_{RF} est l'altitude ellipsoïdale observée au moyen du GNSS et N_{RF} est l'ondulation du géoïde interpolée d'après le modèle. L'ancien référentiel peut être le CGVD28 ou tout autre référentiel local.

L'inconvénient de cette approche est la nécessité de recueillir des données sur le terrain. D'autre part, elle permet la conversion la plus exacte des altitudes suivant tout référentiel en altitudes suivant le CGVD2013.

RNCan recommande que les levés GNSS comprennent au moins trois repères de nivellement afin d'assurer la stabilité à l'échelle locale.

Modèle national de conversion des altitudes

Une deuxième procédure consiste à utiliser la différence entre le modèle du géoïde gravimétrique CGG2013a et le modèle du géoïde hybride HTv2.0, qui sont la matérialisation du CGVD2013 et du CGVD28, respectivement. Cette approche est la plus efficace parce qu'elle n'exige ni travaux sur le terrain, ni téléchargement de valeurs pour un ensemble de repères altimétriques dans la région d'intérêt. Par contre, la conversion peut de ne pas être précise, particulièrement dans les régions éloignées ou dans les régions où les lignes de nivellement sont éparpillées.

Les altitudes orthométriques suivant le CGVD2013 peuvent être déterminées comme suit:

$$H_{CGVD2013} = H_{CGVD28} + N_{HTV2.0} - N_{CGG2013a}$$

Cette conversion peut être effectuée via le logiciel GPS-H (versions bureautique et en ligne). La conversion est disponible pour les époques 1997.0, 2002.0 et 2010.0, qui sont les époques adoptées les plus courantes par les agences géodésiques fédérales et provinciales.

Information relative aux repères de nivellement

RNCan diffuse les altitudes des repères altimétriques suivant le CGVD28 et suivant le CGVD2013. Cela permet aux intervenants d'estimer l'écart entre les deux référentiels dans la région d'intérêt. Cette procédure n'exige pas l'exécution de levés GNSS pour la détermination de la conversion locale à appliquer. Cependant, les nouvelles altitudes orthométriques pourraient ne pas refléter les altitudes réelles des repères altimétriques si ceux-ci sont instables. Ceci est la procédure de conversion la moins précise entre le CGVD28 et le CGVD2013.

La conversion peut alors être simplement déterminée comme suit :

$$\beta = H_{CGVD2013} - H_{CGVD28}$$

Les intervenants devraient télécharger l'information relative à l'altitude d'un ensemble de repères altimétriques afin de s'assurer que la conversion locale correspond approximativement à un biais. Une conversion planaire (biais et inclinaison) pourrait s'avérer nécessaire dans le cas de plus grandes régions.

Modélisation du géoïde

Les modèles publics du géoïde pour le Canada

Le solide qui représente le mieux la forme réelle de la Terre n'est ni la sphère ni l'ellipsoïde, mais plutôt le géoïde. Le géoïde est une surface équipotentielle (de niveau) qui représente le mieux, au sens des moindres carrés, le niveau moyen de la mer à l'échelle du globe. La surface du géoïde ne correspond cependant pas parfaitement avec le niveau moyen de la mer parce que, tout comme les étendues émergées, les océans présentent une topographie permanente, bien que celle-ci ne varie que de -2 m à 2 m à l'échelle de la planète. On exprime le géoïde en unités de potentiel, en m^2s^{-2} . Ainsi, deux surfaces équipotentielles dont la valeur diffère par $1 m^2/s^2$ présentent un écart géométrique d'environ 0,1 m parce que l'accélération de la pesanteur est d'environ $9,8 ms^{-2}$ ($0,1 m = 1,0 m^2s^{-2} / 9,8 ms^{-2}$).

Non seulement le géoïde représente-t-il la forme physique réelle de la Terre, il est en outre une surface de référence pour l'altitude. Une altitude au-dessus du géoïde est appelée altitude orthométrique (H). On ne peut toucher physiquement le géoïde, car c'est après tout un potentiel. Il peut cependant être représenté géométriquement par un modèle fournissant un écart entre le géoïde et un ellipsoïde de référence. Cet écart est appelé ondulation du géoïde (N). L'ondulation du géoïde est positive lorsque le géoïde se situe au-dessus de l'ellipsoïde et elle est négative lorsque le géoïde se situe en dessous de l'ellipsoïde.

Naturellement, l'importance d'une détermination exacte du géoïde s'est accrue en fonction des progrès accomplis en positionnement depuis l'espace (p. ex. avec le GNSS), lequel fournit des altitudes

ellipsoïdales. Le modèle du géoïde permet la conversion des altitudes ellipsoïdales (h) en altitudes orthométriques (H): $H = h - N$.

Au cours des 30 dernières années, Ressources naturelles Canada a publié six (6) modèles du géoïde qui sont résumés dans une série de tableaux sur la page [Modèles du géoïde](#). Ces modèles du géoïde ont été améliorés au fil des ans en perfectionnant la théorie, en exécutant des levés afin de recueillir des données sur de grandes étendues pour lesquelles elles étaient inexistantes, en recueillant davantage de modèles numériques d'élévation (MNE) précis et en intégrant des modèles gravimétriques globaux plus exacts dérivés d'observations satellites et de missions gravimétriques satellites spécialisées. Ces améliorations ont entraîné des modifications importantes de chacun des modèles publiés. Les améliorations apportées à chacun des modèles successivement publiés sont indiquées au tableau 2.

Pour le modèle CGG2013a, les composantes de longue longueur d'onde jusqu'au degré 120 (~350 km) sont déterminées entièrement de données gravimétriques venant des missions satellitaires de GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) et de GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer). Celles-ci proviennent du modèle EIGEN-6C3stat fourni par l'agence allemande GeoForschungsZentrum (GFZ). Les données gravimétriques terrestres sont intégrées progressivement en combinaison avec les données satellitaires entre les degrés 120 et 180 (~225 km) pour ensuite contribuer entièrement au-delà.

Tableau 2: Récents modèles du géoïde publiés par Ressources naturelles Canada

Modèles		Points	Min (m)	Max (m)	Moyenne (m)	É. -t. (m)
GSD95-GSD91		428544	-9.230	10.740	0.048	0.706
CGG2000-GSD95		419616	-6.450	3.160	-0.408	0.456
CGG2005- CGG2000	Canada	3637800	-1.663	1.814	-0.276	0.312
	Amérique du Nord	9216000	-2.918	2.528	-0.226	0.378
CGG2010- CGG2005	Canada	3637800	-1.014	1.462	0.088	0.088
	Amérique du Nord	9216000	-1.818	4.284	0.092	0.124
CGG2013- CGG2010	Canada	2892270	-0.636	0.140	-0.037	0.026
	Amérique du Nord	9216000	-1.191	0.221	-0.036	0.028

Validation des modèles du géoïde

La méthode la plus couramment utilisée pour valider les modèles du géoïde consiste à les comparer aux ondulations du géoïde dérivées de mesures GNSS et d'observations de nivellement. Les mesures GNSS fournissent l'altitude ellipsoïdale (h) et les observations de nivellement l'altitude orthométrique (H). La différence entre les deux est l'ondulation du géoïde (N). L'écart $\epsilon (= h - H - N)$ serait égal à zéro si les observations GNSS, de nivellement et le modèle du géoïde étaient exemptes d'erreurs. De plus, le nivellement doit être dans le même système de référence altimétrique que le modèle du géoïde et que

les altitudes géodésiques soit dans le même système de référence géométrique que le modèle du géoïde.

Pour la validation des modèles du géoïde, les altitudes orthométriques sont dérivées de la compensation Sep12 du réseau fédéral de nivellement de premier ordre. Il s'agit d'une compensation sous contrainte minimale, la seule station maintenue fixe étant située à Halifax (Nouvelle-Écosse). Le système de référence est la surface géopotentielle ($W_0=62636856,0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$) (pareille à CGVD2013). Dans l'ensemble, la Sep12 devrait être localement très précise, mais elle comporte toujours des erreurs systématiques d'origine inconnue qui s'accumulent sur de longues distances. Les erreurs systématiques représentent une déviation standard d'environ 10 cm.

Depuis 1986, RNCAN a exécuté des levés GPS à l'emplacement de repères de nivellement d'un bout à l'autre du pays à des fins de valider les modèles du géoïde au Canada. Tous ces levés «GPS sur des repères altimétriques» sont assemblés en une compensation afin de créer le SuperNet. L'exactitude des altitudes ellipsoïdales varie suivant l'époque des observations. Les levés exécutés avant 1994 peuvent ne présenter qu'une exactitude décimétrique alors que la plupart des levés plus récents devraient être d'une exactitude supérieure à 2 cm.

La difficulté que pose cette approche de validation découle du fait que l'écart ϵ ne permet pas de distinguer les erreurs dans le modèle du géoïde de celles dans les mesures GNSS ou dans les observations de nivellement. De plus, l'écart peut être attribuable à l'instabilité des repères de nivellement, c.-à-d. que les repères peuvent bouger entre les époques du nivellement et des observations GNSS. Il n'est pas rare que les observations GPS aient été effectuées quelque 30 ans après les levés de nivellement.

Le tableau 3 fournit une comparaison des six (6) plus récents modèles du géoïde publiés par RNCAN avec un jeu commun de données « GPS sur des repères altimétriques » au Canada. Cette comparaison n'englobe que des repères de nivellement installés dans la partie continentale du pays parce que les réseaux de nivellement à Terre-Neuve, à l'Île-du-Prince-Édouard et sur l'île de Vancouver sont indépendants.

Tableau 3: Comparaison de modèles du géoïde aux observations GNSS sur RN; les altitudes orthométriques obtenues par nivellement sont celles issues de la compensation Sep12 et les altitudes ellipsoïdales proviennent du SuperNet v3.3n

Modèle	Points	Min (m)	Max (m)	Moyenne (m)	É. -t.(m)
GSD91	2445	-3.486	4.479	-0.794	0.790 (0.695*)
GSD95	2445	-1.524	0.730	-0.693	0.413 (0.144*)
CGG2000	2449	-1.069	0.474	-0.361	0.225 (0.087*)
CGG2005	2449	-0.654	0.420	-0.107	0.140 (0.084*)
CGG2010	2449	-0.737	0.324	-0.193	0.135 (0.074*)
CGG2013	2449	-0.678	0.349	-0.157	0.131 (0.073*)

*: Écart-type après avoir enlevé des erreurs systématiques

Pour les modèles publics du géoïde, la comparaison pourrait au mieux s'avérer une constante, car le système de référence pour ces modèles n'est pas le même que celui de la Sep12, à l'exception du CGG2013. Cependant, on peut observer que l'écart-type des différences a considérablement diminué depuis la matérialisation du GSD91 en 1991, passant de 79,0 cm à 13,5 cm (au niveau de confiance de 66,7%). Par contre, il sera un défi d'améliorer la déviation standard sachant que le réseau de nivellement a des erreurs systématiques d'environ 10 cm.

Documents

[Contactez-nous](#) pour obtenir les versions pdf

Justification

- COCG (2004) Rapport au Conseil canadien de géomatique sur la modernisation du système de référence altimétrique du Canada
 - La modernisation du système de référence altimétrique du Canada: Justification
 - Modernisation du système de référence altimétrique - Contexte et résumé des responsabilités suggérées
 - Modernisation du système de référence altimétrique - Exposé de position du CCSRG sur la modernisation du Système canadien de référence altimétrique
- Véronneau M., R. Duval, and J. Huang (2006) A Gravimetric Geoid Model as a Vertical Datum in Canada, GEOMATICA, Vol. 60, No. 2, pp. 165-172.

Consultation des intervenants

- Consultation sur l'élaboration du plan de mise en œuvre de la modernisation du Système canadien de référence altimétrique
- CCSRG (2006) Rapport au Conseil canadien de géomatique (COCG) sur les résultats (préliminaires) de la consultation concernant la modernisation du système canadien de référence altimétrique

Publications et rapports

- Véronneau M., (2018) Height Reference Systems in North America and Gravity, Internal report, Natural resources Canada.
- Véronneau M. (2018) Referencing and Time Tagging Heights in Canada, Internal report, Natural resources Canada.
- Huang J. and M. Véronneau (2013) Canadian gravimetric geoid model 2010, J. Geod. 87: 71-790, doi:10.1007/s00190-013-0645-0
- Véronneau M, and J. Huang (2016) The Canadian Geodetic Vertical Datum of 2013 (CGVD2013), GEOMATICA, Vol. 70, No. 1, pp. 9-19, doi:/10.5623/cig2016-101
- Véronneau m. and J. Huang (2015) Canadian Gravimetric Geoid 2013 – Version A (CGG2013a), Internal report, Natural Resources Canada.

- Véronneau M., A. Mainville and M.R. Craymer (2001) The GPS Height Transformation (v2.0) An Ellipsoidal-CGVD28 Height Transformation for Use With GPS in Canada, Internal report, Natural Resources Canada.
- Véronneau M. (2019) Height Transformation version 2.0 (HTv2.0), Epochs 2002.0 and 2010.0, Internal report, Natural Resources Canada.

Discussions concernant la modernisation aux États-Unis

Le [plan](#) décennal 2013-2023 du US NGS (seulement en anglais)

Mesures de la pesanteur pour la redéfinition du datum vertical américain ([GRAV-D](#)) (seulement en anglais)

Références

- Altitudes
 - Burkholder, E. (2002) Elevations and the Global Spatial Data Model (GSDM).
 - Mäkinen, J. (2004) Some remarks and proposals on the re-definition of the EVRS and EVRF.
 - Meyer, T.H., D.R. Roman, and D.B. Zilkoski (2005) What Does Height Really Mean? Part I: Introduction, Surveying and Land Information Science, Vol. 64, No.4, pp. 223-234.
 - Meyer, T.H., D.R. Roman, and D.B. Zilkoski (2005) What Does Height Really Mean? Part II: Physics and Gravity, Surveying and Land Information Science, Vol. 65, No.1, pp. 5-15.
 - Meyer, T.H., D.R. Roman, and D.B. Zilkoski (2006) What Does Height Really Mean? Part III: Height Systems, Surveying and Land Information Science, Vol. 66, No.2, pp.149-160.
 - Meyer, T.H., D.R. Roman, and D.B. Zilkoski (2006) What Does Height Really Mean? Part IV: GPS Orthometric Heighting, Surveying and Land Information Science, Vol. 66, No.3, pp. 165-183.
 - Smith, D.A. and D.R. Doyle (2006) The Future Role of Geodetic Datums in Control Surveying in the United States, Surveying and Land Information Science, Vol. 66, No.2, pp. 101-106.
- Référentiel altimétrique mondial
 - Bursa, M., S. Kenyon, J. Kouba, Z. Sima, V. Vatrt, and M. Vojtisková (2004) A Global Vertical Reference Frame Based on Four Regional Vertical Datums, Stud. Geophys. Geod., 48, pp. 493-502.
 - Bursa, M., J. Kouba, V. Vatrt, V. Vitek, and M. Vojtisková (1999) Topex/Poseidon Altimetry and Dynamics of the Ocean-Atmosphere System, Studia geoph. et geod. 44, pp. 1-12.
 - Bursa, M., J. Kouba, M. Kumar, A. Müller, K. Radej, S.A. True, V. Vatrt, and M. Vojtisková (1999) Geoidal Geopotential and World Height System, Studia geoph. et geod. 43, pp. 327-337.
- Modélisation du géoïde
 - Ellman, A. and P. Vanícek (2007) UNB application of Stokes-Helmert's approach to geoid computation, J. of Geodynamics, 43, pp. 200-213.

- Vaníček, P., J. Huang, P. Novak, S.D. Pagiatakis, M. Véronneau, Z. Martinec and W.E. Featherstone (1999) Determination of Boundary Values for the Stokes-Helmert Problem, *J. of Geodesy*, 73, pp. 180-192.
- Martinec, Z. (1998) Boundary-Value Problems for Gravimetric Determination of a Precise Geoid, *Lectures Notes in Earth Sciences*, 73, Springer.
- Vaníček, P. and Z. Martinec (1994) The Stokes-Helmert Scheme for the Evaluation of a Precise Geoid, *Manus. Geod.*, 19, pp. 119-128.

Glossaire

Surface équipotentielle (W) : Une surface où le potentiel est constant et qui est en tous points perpendiculaire à la direction dans laquelle s'exerce la pesanteur. Une surface équipotentielle est de niveau, c.-à-d. que l'eau y reste au repos. Il existe un nombre infini de surfaces équipotentielles. Ces surfaces ne se recoupent pas l'une l'autre, mais convergent en direction des pôles. Ainsi, la distance géométrique entre deux surfaces équipotentielles est inférieure aux pôles à ce qu'elle est à l'équateur. Note : Le niveau moyen des mers n'est pas une surface équipotentielle puisque les océans ont une topographie permanente engendrée par les différences de température et de salinité, par les courants, etc. (unités : m^2s^{-2})

Nombre géopotential (C) : Il exprime la différence de potentiel entre une surface équipotentielle quelconque (W_i) et une surface équipotentielle de référence (W_0) suivant la direction du fil à plomb. La surface équipotentielle de référence est habituellement le géoïde ou le référentiel altimétrique. (unités : m^2s^{-2})

Différence de nombre géopotential (ΔC) : C'est la différence de potentiel entre deux surfaces équipotentielles en deux endroits distincts à la surface de la Terre ($W_j(\Phi_{2\lambda_2h_2} - W_i(\Phi_{1\lambda_1h_1}))$). La différence de nombre géopotential peut être déterminée par nivellement :

$$\Delta C_{ij} = (\Delta H_{ij} + \epsilon)(g_i + g_j)/2$$

où ΔH_{ij} est la différence instrumentale d'élévation entre les points j et i, g est la pesanteur et ϵ sont les corrections systématiques appliquées aux mesures de nivellement. (unités : m^2s^{-2})

Géoïde (W_0) : Surface équipotentielle (de niveau) spécifique définissant au mieux, au sens des moindres carrés, le niveau moyen des mers à l'échelle du globe. C'est la véritable surface de référence (élévation zéro) utilisée pour la mesure de l'altitude. En pratique, le géoïde peut aussi être défini comme étant la surface équipotentielle représentant un référentiel altimétrique national. Par exemple, RNCAN utilise la surface équipotentielle $62636856,0 m^2s^{-2}$ qui représente au mieux le niveau moyen de la mer le long de la côte nord-américaine comme nouveau référentiel altimétrique pour le Canada. (unités : m^2s^{-2})

Telluroïde : Surface dont le potentiel suivant la normale U est égal au potentiel réel W à la surface de la Terre suivant la normale à l'ellipsoïde. Le telluroïde n'est pas une surface équipotentielle. Il a été proposé par Molodenskii afin d'éviter la complexe détermination de la densité topographique et du gradient vertical de la pesanteur, qui sont des composantes nécessaires en modélisation du géoïde. (unités : m^2s^{-2})

Quasi-géoïde : Surface parallèle à celle du telluroïde transposée au niveau moyen des mers. Le géoïde et le quasi-géoïde présentent des surfaces qui coïncident approximativement dans les océans. Cependant

l'écart entre le quasi-géoïde et le géoïde peut atteindre près d'un mètre dans les Rocheuses canadiennes. (unités : m^2s^{-2})

Référentiel altimétrique : C'est la surface de référence pour un système altimétrique, c.-à-d. la surface dont l'altitude est égale à zéro. Le référentiel altimétrique n'est pas nécessairement une surface équipotentielle (p. ex. CGVD28, ellipsoïde et telluroïde). Un référentiel altimétrique comprend deux composantes : un système de référence et un cadre de référence. La première est sa définition et la deuxième est sa matérialisation.

Niveau moyen des mers (NMM) : C'est la moyenne arithmétique des élévations du niveau de la mer par rapport à une surface comme le zéro des cartes, l'ellipsoïde ou le géoïde. Il est déterminé d'après des observations horaires pendant un cycle de 18,6 ans afin d'éliminer, par le calcul d'une moyenne, les niveaux de basses mers et de hautes mers principalement engendrés par l'attraction gravitationnelle du soleil et de la lune. Le niveau moyen de la mer présente de petites bosses et de petits creux par rapport au géoïde. NMM se situe de manière traditionnelle à l'altitude zéro.

Ellipsoïde de référence : Représentation mathématique de la Terre (p. ex. GRS80). Sa surface est définie comme équipotentielle. Un ellipsoïde de révolution équipotentiel est défini d'après quatre constantes :

- a: demi-grand axe (m)
- GM: constante gravitationnelle géocentrique (m^3s^{-2})
- J_2 : facteur de forme dynamique (relié à l'excentricité de l'ellipsoïde)
- ω : vitesse angulaire ($rad\ s^{-1}$)

Ondulation du géoïde (N) : C'est l'écart entre l'ellipsoïde de référence (p. ex. le GRS80) et le géoïde. Cette distance est mesurée suivant la normale à l'ellipsoïde. Les ondulations du géoïde sont rattachées à un cadre de référence 3-D comme le NAD83(SCRS) ou l'ITRF. La connaissance des ondulations du géoïde permet la conversion des altitudes ellipsoïdales (h) en altitudes orthométriques (H) $H = h - N$ (unités : m).

Anomalie de hauteur (ζ) : C'est l'écart entre l'ellipsoïde et le quasi-géoïde. Les anomalies de hauteur permettent la conversion des altitudes ellipsoïdales (h) en altitudes normales (H^n) d'après $H^n = h - \zeta$ (unités : m).

Altitude orthométrique (H) : C'est l'altitude d'un point au-dessus du géoïde. Elle est mesurée dans la direction du fil à plomb, c'est-à-dire dans la direction de la perpendiculaire aux surfaces équipotentielles. (unités : m)

Altitude normale (H^n) : C'est l'altitude d'un point au-dessus du quasi-géoïde ou l'altitude du telluroïde au-dessus de l'ellipsoïde. La différence entre l'altitude normale et l'altitude orthométrique est plus importante en hautes élévations. (unités : m)

Altitude dynamique (H^d) : C'est la différence de potentiel entre deux surfaces équipotentielles suivant la direction indiquée par le fil à plomb et mise à l'échelle d'après une valeur constante de la pesanteur. Pour le Canada et les États-Unis, cette valeur constante est la valeur de la pesanteur normale sur l'ellipsoïde à la latitude de 45° (γ_{45°). Les altitudes dynamiques n'ont aucune signification géométrique. Elles sont principalement utilisées pour la gestion des grands bassins versants (p. ex. des Grands Lacs). La surface d'un lac se trouve à une altitude dynamique constante parce qu'elle est une surface équipotentielle. Puisque les surfaces équipotentielles convergent vers les pôles, la surface d'un lac au point le plus rapproché d'un pôle aura une altitude orthométrique moindre que sa surface à l'extrémité opposée du lac. (unités : m)

Altitude orthométrique normale (H^{no}) : Cette expression n'est pas appropriée, mais elle est utilisée pour définir le type d'altitudes associé au CGVD28. Ces altitudes ne sont ni orthométriques ni normales, c.-à-d. qu'elles ne sont pas compatibles avec le géoïde ou le quasi-géoïde. Elles sont déterminées d'après la pesanteur normale, mais sont basées sur la formulation des altitudes orthométriques. L'altitude orthométrique normale était utilisée au Canada parce qu'aucune mesure mesurée de la pesanteur n'était disponible au moment de la matérialisation du CGVD28. L'objectif de la compensation de 1928 était la détermination d'altitudes orthométriques les plus exactes possible, ce qui explique pourquoi on les désigne couramment comme étant des altitudes orthométriques. (unités : m).

Altitude ellipsoïdale (h) : Élévation d'un point au-dessus de l'ellipsoïde de référence. Cette distance est mesurée suivant la normale à l'ellipsoïde. (unités : m)

Hauteur de la surface de la mer (SSH) : C'est la distance mesurée suivant la normale à l'ellipsoïde entre l'ellipsoïde et la surface de l'océan. Elle est équivalente à l'altitude de la surface de l'océan au-dessus de l'ellipsoïde. La SSH instantanée peut être observée par altimétrie radar par satellite (p.ex., Topex/Poseidon, ERS-1, Jason, etc). (unités : m)

Topographie de la surface de la mer (SST) : C'est l'écart entre le géoïde et la surface de l'océan. La SST peut être déterminée d'après la hauteur de la surface de la mer (SSH) mesurée par altimétrie radar par satellite et l'ondulation du géoïde (N) : $SST = SSH - N$. La SST est positive si la surface de l'océan se trouve au-dessus du géoïde. Elle est équivalente à l'altitude orthométrique de la surface de l'océan. (unités : m)

Pesanteur (g) : C'est la force résultant de la combinaison de la force gravitationnelle (masse) et de la force centrifuge (rotation). Globalement, la pesanteur augmente d'environ 9.78 ms^{-2} à l'équateur à environ 9.83 ms^{-2} aux pôles. L'altitude et la densité topographique sont les composantes qui influent sur la valeur locale de la pesanteur. (unités : ms^{-2} ou Gal; $1 \text{ ms}^{-2} = 100 \text{ Gal} = 0,1 \text{ kiloGal} = 1 \times 10^5 \text{ milliGal}$)

Pesanteur normale (γ) : C'est une valeur approximative de la pesanteur déterminée d'après les paramètres définissant un ellipsoïde de révolution équipotentiel, p. ex. GRS67, GRS80. (unités : ms^{-2} ou Gal; $1 \text{ ms}^{-2} = 100 \text{ Gal} = 0,1 \text{ kiloGal} = 1 \times 10^5 \text{ milliGal}$)

Déviations de la verticale (ξ, η) : C'est l'angle entre la direction indiquée par le fil à plomb et la normale à l'ellipsoïde. Elle comporte deux composantes, une composante nord-sud (ξ) et une composante est-ouest (η). (unités : secondes d'arc)

Foire aux questions

Préoccupations des utilisateurs

1. [Pourquoi un référentiel basé sur le géoïde est-il nécessaire?](#)
2. [Qui a réellement besoin d'un nouveau référentiel altimétrique?](#)
3. [Pourquoi RNCAN n'a pas retardé l'adoption d'un nouveau référentiel altimétrique?](#)
4. [Les altitudes des repères de nivellement doivent-elles être modifiées?](#)
5. [Comment peut-on minimiser la confusion qui résultera de l'existence de deux référentiels altimétriques?](#)
6. [Le référentiel basé sur le géoïde représente-t-il mieux le niveau moyen de la mer que le référentiel CGVD28 basé sur le nivellement?](#)

7. [Comment les altitudes estimées au moyen du GNSS et corrigées en utilisant un modèle du géoïde correspondent-elles avec les altitudes suivant le CGVD28?](#)
8. [Comment pourrai-je valider la précision/l'exactitude de mes altitudes lorsque j'utiliserai une approche GNSS/géoïde?](#)
9. [Est-ce que je peux encore exécuter des levés par nivellement au niveau à bulle et les intégrer au nouveau référentiel altimétrique?](#)
10. [Est-ce que je devrai mettre à jour les altitudes que renferme ma base de données ou qui sont représentées sur mes cartes topographiques?](#)
11. [Comment pourrai-je maintenir la compatibilité entre les levés existants et les nouveaux levés altimétriques?](#)
12. [Comment se nommera le nouveau référentiel altimétrique?](#)
13. [Pourquoi faut-il un nouveau nom pour le référentiel altimétrique?](#)
14. [Le NAVD 88 et le nouveau référentiel altimétrique au Canada coïncideront-ils le long de la frontière?](#)

Modélisation du géoïde / Transformation

1. [Quelle est la précision du référentiel altimétrique basé sur le géoïde?](#)
2. [Comment le modèle du géoïde peut-il être encore amélioré?](#)
3. [Quelle sera la variation en fonction du temps pour une altitude orthométrique mesurée au moyen du GNSS et corrigée d'après un modèle du géoïde \(taux de variation de h et taux de variation de N\)?](#)
4. [Comment le modèle du géoïde est-il validé?](#)
5. [Sans de nouvelles lignes de nivellement, comment le modèle du géoïde sera-t-il validé à l'avenir?](#)
6. [Quelle sera la fréquence de publication de nouveaux modèles du géoïde?](#)
7. [À quelle matérialisation du cadre de référence 3D réfère le référentiel altimétrique basé sur le géoïde?](#)
8. [Quelle méthode puis-je utiliser pour convertir mes altitudes existantes suivant le CGVD28 en altitudes suivant le nouveau référentiel \(ou l'inverse\)?](#)
9. [Je suis désorienté par tous ces acronymes : NAD83, NAD83\(SCRS\), ITRF, CGVD28, NAVD 88, NGVD29, SRIGL85, GSD95, CGG2000, HTv2.0, GEOID03, etc. Quelle est la différence?](#)
10. [Pourquoi l'altitude des repères de nivellement change-t-elle?](#)

Préoccupations des utilisateurs

1. Pourquoi un référentiel basé sur le géoïde est-il nécessaire?

Même si CGVD28 est précis sur de courtes distances (de l'ordre de 30 km), il comporte d'importantes déformations à l'échelle nationale. Il n'est accessible qu'à l'emplacement des repères de nivellement qui sont pour la plupart situés au Canada méridional. En outre, l'entretien d'un réseau de nivellement est très coûteux. C'est pourquoi la modélisation du géoïde constitue la meilleure solution de remplacement du nivellement. Un référentiel basé sur le géoïde est accessible partout sur le territoire canadien au moyen des systèmes de géopositionnement satellitaires (dont le GPS).

2. Qui a réellement besoin d'un nouveau référentiel altimétrique?

Un grand nombre d'intervenants utilise déjà le GNSS comme principal outil pour le positionnement exact et un modèle du géoïde leur est nécessaire pour convertir leurs altitudes ellipsoïdales en altitudes orthométriques. De plus, un nombre croissant d'intervenants effectue des levés dans des régions éloignées où le référentiel altimétrique n'est pas accessible par des repères de nivellement.

3. Pourquoi RNCAN n'a pas retardé l'adoption d'un nouveau référentiel altimétrique?

RNCAN a cessé l'entretien du réseau de nivellement depuis 1996. Donc il était important que RNCAN implante un nouveau référentiel altimétrique avant que CGVD28 se détériore au point où il pourrait s'avérer difficile d'assurer une transition sans heurt entre l'ancien et le nouveau référentiel. En outre, il existe déjà une importante communauté d'utilisateurs du GNSS qui exigent un référentiel altimétrique exact fondé sur le GNSS d'un bout à l'autre du pays.

4. Les altitudes des repères de nivellement doivent-elles être modifiées?

Malheureusement, le CGVD28 présente d'importantes déformations d'un bout à l'autre du pays. Ces déformations seront corrigées par le nouveau référentiel, ce qui signifie que les altitudes absolues pourraient changer d'une valeur atteignant près d'un mètre dans certaines régions. Dans plusieurs régions, les variations des altitudes seront inférieures à quelques cm. Les différences locales d'altitude resteront les mêmes dans les deux référentiels.

5. Comment peut-on minimiser la confusion qui résultera de l'existence de deux référentiels altimétriques?

Le fait de maintenir deux référentiels altimétriques pendant la période de transition pourra engendrer de la confusion chez certains intervenants. RNCAN et les organismes provinciaux indiqueront clairement le référentiel utilisé lorsqu'ils diffuseront des données altimétriques. Il est en outre important que les intervenants identifient convenablement dans leurs documents le référentiel utilisé. Une identification adéquate du référentiel permettra d'éliminer en grande partie la confusion.

6. Le référentiel basé sur le géoïde représente-t-il mieux le niveau moyen de la mer que le référentiel CGVD28 basé sur le nivellement?

Il faut tout d'abord mentionner que le niveau moyen de la mer (NMM) n'est pas une surface de niveau. Tout comme les continents, les océans présentent une topographie permanente, bien que celle-ci ne varie que de -2,0 à 2,0 m à l'échelle du globe. Le CGVD28, qui est assujéti à un ensemble de marégraphes répartis d'un bout à l'autre du pays, représente le NMM à ces endroits particuliers. Cependant, ces contraintes sont celles-là mêmes auxquelles il fait attribuer une partie des erreurs systématiques entachant le CGVD28. D'autre part, le géoïde, qui est une surface de niveau, ne coïncide pas avec le NMM le long des côtes. Le référentiel basé sur le géoïde se situera cependant près du NMM parce qu'il sera défini comme étant la moyenne des NMM côtiers de l'Amérique du Nord. Le nouveau datum vertical sera quelque 38 cm au-dessus du NMM près d'Halifax et de quelque 17 cm en dessous du NMM près de Vancouver. RNCAN

diffusera un modèle représentant l'écart entre le géoïde et le NMM le long des côtes canadiennes.

7. Comment les altitudes estimées au moyen du GNSS et corrigées en utilisant un modèle du géoïde correspondent-elles avec les altitudes suivant le CGVD28?

Le CGVD28 comporte des erreurs systématiques, qui peuvent atteindre près d'un mètre au sens absolu. Toutefois, les différences d'élévation locales par GNSS et corrigées au moyen du modèle du géoïde concorderont bien avec le CGVD28.

8. Comment pourrai-je valider la précision/l'exactitude de mes altitudes lorsque j'utiliserai une approche GNSS/géoïde?

Les stations du Réseau de base canadien (RBC) du fédéral et des Réseaux de grande précision (RGP) provinciaux peuvent être utilisées par les intervenants pour valider leurs procédures GNSS/géoïde de détermination de positions 3D exactes. De plus, des positions 3D sont disponibles pour plusieurs repères de nivellement; cependant, la qualité de ces positions 3D peut varier suivant l'époque à laquelle ont été effectuées les observations GNSS. Il faut en outre être prudent quant à la stabilité des repères de nivellement.

9. Est-ce que je peux encore exécuter des levés par nivellement au niveau à bulle et les intégrer au nouveau référentiel altimétrique?

Oui, la plupart des repères de nivellement auront une altitude suivant le nouveau référentiel. S'il n'y a aucun repère de nivellement à une distance raisonnable de votre projet, vous pouvez installer vos propres stations de contrôle par GNSS dans la région du projet et reprendre les travaux localement par la méthode du nivellement.

10. Est-ce que je devrai mettre à jour les altitudes que renferme ma base de données ou qui sont représentées sur mes cartes topographiques?

Cela dépendra de l'exactitude de vos jeux de données et pourrait ne pas être nécessaire si les changements sont de moindre valeur que l'erreur associée à vos jeux de données. Un outil de conversion sera offert pour permettre de convertir les élévations d'un référentiel à l'autre. Si vos jeux de données ne comportent que des données locales, la conversion pourrait simplement consister en l'ajout d'une constante.

11. Comment pourrai-je maintenir la compatibilité entre les levés existants et les nouveaux levés altimétriques?

La compatibilité entre les levés existants et les nouveaux levés peut être maintenue en exécutant le premier des nouveaux levés suivant les deux référentiels. Cela permettra de déterminer la relation entre les données existantes et les nouvelles données. Si le projet est local, la conversion devrait être aussi simple que l'ajout d'un biais aux anciens ou aux nouveaux jeux de données.

12. Comment se nomme le nouveau référentiel altimétrique?

Le nom du nouveau datum vertical est le Système canadien de référence altimétrique de 2013 (CGVD2013). Le nouveau référentiel altimétrique devrait être identifié de la façon suivante : CGVD2013(CGG2013a), où l'acronyme entre parenthèses désigne le modèle du géoïde matérialisant le référentiel altimétrique. Si le modèle du géoïde était mis à jour en 2020, le référentiel serait identifié par l'acronyme CGVD2013(CGG2020).

13. Pourquoi faut-il un nouveau nom pour le référentiel altimétrique?

Le nouveau référentiel altimétrique doit être identifié par un acronyme différent parce que le CGVD28 et le CGVD2013 ne sont pas établis suivant le même système de référence, c.-à-d. qu'ils ne sont pas définis par les mêmes critères. Nous ne parlons pas ici de la méthode utilisée pour la matérialisation du référentiel altimétrique, c.-à-d. le nivellement par opposition à la modélisation du géoïde, mais bien plutôt du fait que le CGVD28 est défini d'après le NMM tel qu'établi à l'emplacement de cinq marégraphes répartis d'un bout à l'autre du Canada alors que le nouveau référentiel est défini d'après la surface équipotentielle ($W_0=62636856,0 \text{ m}^2\text{s}^2$) représentant conventionnellement le potentiel moyen des NMM le long des côtes de l'Amérique du Nord.

14. Le NAVD 88 et le nouveau référentiel altimétrique au Canada coïncideront-ils le long de la frontière?

NAVD 88 et CGVD2013 ne coïncideront pas le long de la frontière canado-américaine. NAVD 88 inclut une erreur systématique significative en direction est-ouest, qui indique que le NMM à proximité de Vancouver se situe à 1,5 m au-dessus du NMM à proximité de Halifax. D'autre part, le CGG2010 indique une différence de 0,55 m seulement.

Modélisation du géoïde / Transformation

1. Quelle est la précision du référentiel altimétrique basé sur le géoïde?

Le référentiel basé sur le géoïde offrira une exactitude absolue supérieure à celle du CGVD28 d'un bout à l'autre du pays. Le modèle du géoïde ne sera pas pour autant exempt d'erreurs, mais il ne devrait comporter aucune erreur systématique supérieure au décimètre (à un niveau de confiance de 95 %) dans l'ensemble du pays. Le CGVD28 comporte des erreurs systématiques pouvant atteindre près d'un mètre. Dans l'ensemble, l'exactitude du modèle du géoïde sera d'approximativement de 3 à 5 cm. D'autre part, la précision relative du modèle du géoïde sera comparable à celle du nivellement au niveau à bulle. Bien entendu, la précision relative des altitudes orthométriques obtenues au moyen du GNSS dépendra également de la précision avec laquelle sont déterminées les altitudes ellipsoïdales.

2. Comment le modèle du géoïde peut-il être encore amélioré?

Entre la fin des années 80 et aujourd'hui, les modèles du géoïde ont été considérablement améliorés. Des changements de l'ordre de quelques mètres ont été observés. De nos jours, la théorie tient compte d'un grand nombre de termes auparavant formellement omis ou négligés; il existe davantage de données gravimétriques acquises au sol et depuis l'espace, et de meilleurs modèles numériques d'élévations (MNE) sont disponibles. Ces nouvelles sources d'information

stabilisent actuellement la matérialisation de nouveaux modèles du géoïde. En outre, la modélisation du géoïde est de plus en plus acceptée à l'échelle du globe comme méthode d'avenir pour la matérialisation de référentiels altimétriques nationaux ou continentaux. Ainsi, les maisons d'enseignement nationales et internationales ainsi que les organismes gouvernementaux mettent au point de nouvelles méthodes permettant d'obtenir de meilleures exactitudes en modélisation du géoïde. RNCan reste à l'avant-garde de toutes ces nouvelles démarches.

3. Quelle sera la variation en fonction du temps pour une altitude orthométrique mesurée au moyen du GNSS et corrigée d'après un modèle du géoïde (taux de variation de h et taux de variation de N)?

La Terre est une planète dynamique constamment en changement. Certains de ces changements peuvent être très radicaux (comme les glissements de terrain et les séismes), alors que d'autres peuvent être plus subtils (p. ex. relèvement postglaciaire). Lors d'événements marquants, les repères de nivellement peuvent bouger de manière importante ou être complètement détruits et on perd alors l'accès au référentiel altimétrique. D'autre part, l'effet d'un événement radical sur le géoïde est très faible et il est ainsi possible d'effectuer de nouvelles mesures GNSS pour immédiatement installer de nouvelles stations de contrôle. Les changements subtils sont difficiles à détecter parce qu'ils touchent de très grandes régions. Ils ne sont habituellement pas détectés à l'exécution de levés relatifs locaux (p. ex. par nivellement ou GNSS différentiel). Cependant, des méthodes GNSS comme le positionnement ponctuel précis (PPP) révèlent que le terrain peut bouger de jusqu'à 1 cm par année. Ce changement dynamique de la topographie entraînera également un changement de 10 % du géoïde. Ainsi, les composantes de longue longueur d'onde du géoïde peuvent varier par approximativement 1 cm tous les dix ans.

4. Comment le modèle du géoïde est-il validé?

Un modèle du géoïde peut être validé de deux manières : par la propagation d'erreur et au moyen de jeux de données indépendants. Dans le premier cas, le défi consiste à associer un modèle d'erreur réaliste aux données d'entrée nécessaires pour la détermination d'un modèle du géoïde. Cette évaluation interne de l'exactitude peut s'avérer trop optimiste parce qu'elle ne tiendra pas compte des erreurs systématiques et des omissions. Dans le deuxième cas, l'approche des mesures GNSS sur RN est la plus couramment utilisée. Elle consiste à comparer les modèles du géoïde (N) aux ondulations du géoïde déterminées d'après des altitudes ellipsoïdales GNSS (h) et aux altitudes orthométriques établies par nivellement (H) : $h - H - N = \epsilon$. L'écart devrait être de zéro (ou constant) si chaque altitude est exempte d'erreur. Le problème que pose cette méthode est la difficulté que pose la dissociation des erreurs attribuables au modèle du géoïde, aux données de nivellement, aux mesures GNSS et à la stabilité des repères de nivellement. On pourrait par ailleurs valider de manière indépendante les modèles du géoïde par altimétrie radar par satellite ainsi que d'après les déviations astrogéodésiques de la verticale.

5. Sans de nouvelles lignes de nivellement, comment sera-t-il validé à l'avenir?

Les repères de nivellement (RN) existants resteront en place pendant plusieurs années à venir et la plupart d'entre eux sont assez stables. Même si nous n'exécutons pas de nouveaux levés de

nivellement, nous disposerons de nombreuses lignes de nivellement pour la validation des modèles du géoïde pendant encore plusieurs années. De plus, lorsque la plupart des RN auront disparu, la validation des modèles du géoïde par des mesures «GNSS sur RN» ne constituera plus une priorité.

6. Quelle sera la fréquence de publication de nouveaux modèles du géoïde?

Nous savons qu'il est impossible d'élaborer un modèle du géoïde exempt d'erreur. Le modèle ne pourra toujours que refléter la qualité de la théorie et des données d'entrée. Ces deux éléments seront sans aucun doute améliorés au fil du temps. Il est pour le moment difficile de prévoir à quelle fréquence seront publiés de nouveaux modèles, mais nous ne nous attendons pas à ce que les changements apportés aux modèles du géoïde soient plus importants que ceux qu'il a été nécessaire d'apporter au CGVD28 au cours des 75 dernières années. De plus, les modèles ne seront pas publiés à une fréquence supérieure à la fréquence actuelle, c'est-à-dire approximativement à tous les cinq ans.

7. À quelle matérialisation du cadre de référence 3D réfère le référentiel altimétrique basé sur le géoïde?

Un modèle du géoïde est déterminé d'après des mesures gravimétriques. Sachant que la force gravitationnelle s'exerce en direction du centre de masse, nous supposons que le cadre de référence est l'ITRF. Habituellement, on l'associe à la plus récente matérialisation de l'ITRF (p. ex. ITRF2014). Le modèle du géoïde est converti au NAD83(SCRS) par une transformation à sept paramètres (rotations, translations et échelle). L'époque du modèle du géoïde est déterminée d'après la période des observations des données satellites.

8. Quelle méthode puis-je utiliser pour convertir mes altitudes existantes suivant le CGVD28 en altitudes suivant le nouveau référentiel (ou l'inverse)?

Il y a trois approches possibles. Premièrement, vous pouvez effectuer vos propres levés GNSS sur un ensemble de repères altimétriques dans votre région d'intérêt et déterminer l'écart entre les deux référentiels ($\epsilon = (h-N)_{\text{nouveau}} - H_{\text{ancien}}$). L'avantage de cette approche est qu'elle permet de convertir tout référentiel local au nouveau référentiel. L'inconvénient est qu'il faut être en mesure de déterminer des altitudes géodésiques précises suivant le bon cadre de référence. Une deuxième approche consiste à utiliser l'outil de conversion nationale des altitudes qui prend la forme d'une grille portant les valeurs de l'écart entre le CGVD28 et le CGVD2013 d'un bout à l'autre du Canada. L'écart est calculé par la différence entre le CGG2013a et le HTv2.0. HTv2.0 est le modèle hybride du géoïde matérialisant le CGVD28. La conversion est assez précise là où l'on trouve des repères altimétriques. Par contre, la précision de la conversion dégrade où les lignes de nivellement seront éparpillées ou inexistantes. Enfin, une troisième approche consiste à télécharger l'information relative aux repères altimétriques existants dans votre région. Des altitudes seront publiées pour la plupart des repères altimétriques suivant les deux référentiels (CGVD28 et CGVD2013).

9. Je suis déconcerté par tous ces acronymes : NAD83, NAD83(SCRS), ITRF, CGVD28, NAVD 88, NGVD29, SRIGL85, GSD95, CGG2000, HTv2.0, GEOID03, etc. Quelle est la différence?

Depuis fort longtemps, on utilise en géodésie deux types de cadres de référence : un réseau planimétrique 2D (latitude et longitude) et un réseau altimétrique 1D (unidimensionnel, altitudes au-dessus du niveau moyen de la mer). De nos jours, avec l'avènement du positionnement par satellites, on parle de réseaux 3D (latitude, longitude et altitude ellipsoïdale).

- Le NAD27 et NAD83 sont des réseaux planimétriques classiques alors que le NAD83(SCRS) et l'ITRF sont des réseaux 3D modernes. Les composantes planimétriques du NAD83(SCRS) sont plus précises que celles du NAD83. Le NAD83, que l'on croyait centré au centre de masse de la Terre à l'époque de son élaboration, est en réalité éloigné d'approximativement deux mètres de ce dernier. L'ITRF est un cadre de référence global dont l'origine se situe au centre de masse (± 2 cm). Il existe plusieurs matérialisations de l'ITRF (p. ex., ITRF97, ITRF00). Ce sont de nouvelles versions plus précises que les versions antérieures. Les coordonnées suivant l'ITRF peuvent être converties en coordonnées suivant le NAD83(SCRS), ou inversement, au moyen d'une transformation à 7 paramètres à une époque donnée. WGS84 est un cadre de référence compatible à l'ITRF.
- Le CGVD28, le NGVD29, le NAVD 88 et le SRIGL85 sont des réseaux altimétriques classiques. Ces réseaux sont matérialisés par nivellement au niveau à bulle. Le CGVD28 est l'ancien référentiel altimétrique utilisé au Canada, remplacé par CGVD2013. Le NGVD29 est l'ancien référentiel altimétrique pour les États-Unis et, en 1993, il a été remplacé par le NAVD 88 qui est une compensation sous contrainte minimale des données de nivellement pour l'Amérique du Nord. Le IGLD85 est un référentiel altimétrique spécial pour la Voie maritime du Saint-Laurent et les Grands Lacs.
- Le GSD91, le GSD95, le CGG2000, le CGG2005, le CGG2010, le CGG2013, la HTv2.0 et le GEOID12 sont des modèles du géoïde. Un modèle du géoïde est une partie intégrante d'un réseau 3D permettant la conversion des altitudes ellipsoïdales en altitudes orthométriques (altitudes au-dessus d'un référentiel altimétrique). Le GSD91, le GSD95, le CGG2000, CGG2005, CGG2010 et le CGG2013 sont des modèles entièrement gravimétriques du géoïde. Chaque nouveau modèle constitue une meilleure représentation du géoïde. Le CGG2013 est la matérialisation du datum vertical CGVD2013. La HTv2.0 et le GEOID12 sont des modèles hybrides du géoïde, c.-à-d. qu'ils sont des modèles du géoïde gravimétriques déformés de manière à représenter un référentiel établi par nivellement. La HTv2.0 est une représentation du CGVD28. Les lettres HT représentent l'expression anglaise Height Transformation (transformation des altitudes). Le GEOID12, développé par le US National Geodetic Survey, est une représentation du NAVD 88 aux États-Unis. Au Canada, nous avons choisi de ne pas nommer nos modèles hybrides du nom géoïde parce qu'ils sont déformés de manière à représenter un référentiel altimétrique qui comporte des erreurs systématiques importantes.

10. Pourquoi l'altitude des repères de nivellement change-t-elle?

Il y a trois raisons fondamentales pour lesquelles l'altitude des repères de nivellement change.

1) l'élaboration d'un nouveau système de référence, 2) la mise en place d'une nouvelle matérialisation du système de référence et 3) la Terre est une planète dynamique.

- Les changements attribuables à un nouveau système de référence sont rares parce que nous n'adoptons que rarement un nouveau système de référence. Par exemple, les

coordonnées suivant le NAD83(SCRS) diffèrent de celles suivant l'ITRF parce que ces deux systèmes de référence n'ont pas la même origine (origines éloignées d'environ 2 m l'une de l'autre).

- Les changements attribuables à une nouvelle matérialisation du système de référence sont plus fréquents parce que de nouvelles observations modifient le cadre de référence. Par exemple, les stations de contrôle auront de nouvelles coordonnées mises à jour d'après des observations plus précises.
- La Terre n'est pas statique. Elle subit des séismes, des glissements de terrain et des relèvements postglaciaires pour ne nommer que quelques-uns des changements naturels auxquels elle est soumise. Certains changements sont en outre attribuables à l'homme. Par exemple, des affaissements sont causés par l'exploitation minière ou l'exploration à la recherche de ressources pétrolières, ou encore à la construction de grandes installations hydroélectriques.

Entente

National Geodetic Survey des États-Unis et les Levés géodésiques du Canada

14 mars, 2012

Le National Geodetic Survey des États-Unis et la Division des levés géodésiques du ministère des Ressources naturelles du Canada, par un appel conférence tenu le 2012/02/17, se sont **entendus** :

- À **définir** un datum vertical commun (unique) pour les États-Unis d'Amérique (USA) et le Canada (CA) par l'entremise d'une surface équipotentielle réalisée par un modèle du géoïde calculé en commun (ensemble), correspondant au niveau moyen des mers le long des côtes de l'Amérique du Nord par 2022. L'adoption est sujette aux décisions nationales;
- À **calculer** le potentiel W_0 de cette surface équipotentielle par mesures du Système de positionnement mondial (GPS) à des marégraphes avant le 1er avril 2012 et à **utiliser** cette valeur pour la réalisation des modèles du géoïde des USA et du CA jusqu'en 2022;
- À **maintenir** cette surface équipotentielle comme une option pour l'adoption d'un datum vertical même si cette surface diverge (s'écarte), avec le temps, du véritable niveau moyen des mers de (entourant) l'Amérique du Nord.
- À **surveiller** la différence entre la surface équipotentielle mentionnée ci-haut et le niveau moyen des mers par mesures des Systèmes mondiaux de navigation par satellites (GNSS) à des marégraphes, par altimétrie et par autres moyens requis;
- À **fournir** au public des vélocités (N-dot) de déformation de la surface équipotentielle W_0 ;
- À **collaborer** à la réalisation des modèles du géoïde en partageant des données et l'information reliée;
- À **calculer** des mises-à-jour des modèles du géoïde et de déformation au besoin;
- À **s'informer** mutuellement des écarts importants (à l'extérieur d'une marge de confiance de 95%) retrouvés en régions chevauchantes;
- À **choisir** une valeur seuil (cadrant avec les besoins des utilisateurs et scientifiquement rigoureuse) en 2022 entre les changements prédits et réels du géoïde (incluant sa déformation et le changement du niveau moyen des mers) qui justifieront une nouvelle réalisation du datum vertical.

Le géopotential pour le système de référence altimétrique nord-américain

16 avril, 2012

Le Canada et les États-Unis d'Amérique travaillent tous deux à moderniser leur système national de référence altimétrique afin de remplacer le CGVD 28 et le NAVD 88, avec l'objectif commun de matérialiser un système de référence altimétrique unique à travers l'Amérique du Nord. Comme le nouveau datum vertical sera matérialisé par un modèle du géoïde, il est essentiel que le Canada et les É.-U.A. choisissent une surface équipotentielle commune. Les deux parties se sont entendues à ce que cette surface représente le mieux, en termes de moindres carrés, le niveau moyen de la mer le long de la côte nord-américaine.

Afin de calculer le géopotential moyen, des altitudes GPS et des niveaux d'eau recueillis à des marégraphes ont été combinés avec divers modèles du géoïde. Compte tenu de la variabilité du niveau moyen de la mer dû à la Topographie Dynamique des Océans (SST), l'analyse est influencée par l'emplacement et la distribution des marégraphes et la précision et la résolution des modèles du géoïde. Selon la comparaison à des marégraphes le long des côtes canadienne et américaine, où des modèles de SST sont disponibles, le meilleur ajustement nous donne $62,636,856.0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. En faisant la moyenne des marégraphes de l'Arctique qui se trouvent à l'extérieur des régions où les modèles de SST s'appliquent, le géopotential aurait été plus élevé, approchant $62,636,858.0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. Bien que très peu de données étaient disponibles autour du Mexique et dans la région des Caraïbes, l'inclusion de plus de données tropicales aurait probablement diminué le géopotential à une valeur de $62,636,854.0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. Ainsi, le manque de marégraphes dans les régions arctique et tropicale se compense approximativement. Les estimés de la moyenne nord-américaine obtenus à partir de différents jeux de données, combinaisons de stations et scénarios de pondération demeurent à l'intérieur d'un écart de $1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$, dépendamment de la distribution particulière des marégraphes et de la sélection des modèles du géoïde.

Attendu l'importance de choisir une valeur conventionnelle sans délai pour la matérialisation du CGVD2013, la décision a été prise de choisir :

$$W_0 = 62,636,856.0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$$

comme valeur géopotentielle pour tous les modèles de géoïde en Amérique du Nord jusqu'en 2022. Cette valeur convenue de W_0 se retrouve à l'intérieur de l'incertitude de l'estimé moyen qui correspond le mieux avec le niveau moyen de la mer autour de l'Amérique du Nord. Bien que le niveau moyen de la mer est en changement continu, cette valeur de W_0 sera adopté comme référence fixe jusqu'en 2022 afin de permettre la détermination d'altitudes par rapport à une constante aux cours des dix prochaines années. Cette valeur pourrait être aussi adoptée par le Mexique, la région des Caraïbes et le Groenland. De plus, elle correspond à la convention actuelle adoptée par l'Union astronomique internationale (UAI) et le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS).