



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Modernisation du système de référence altimétrique au Canada et en Amérique du Nord

CGVD2013 et NAPGD2022 – 8 décembre 2022

Canada 

Aperçu

- Introduction
- Terminologie du système de référence altimétrique moderne
- CGVD2013 et ses adoptions
- CGVD2013 vs. NAPGD2022
- Adoption aux États-Unis du NAPGD2022
- Transition vers le système de référence altimétrique basé sur le géoïde
- Perspectives d'avenir
- Recommandations sur l'utilisation
- Liens utiles et contact
- Transformation des référentiels altimétriques – Démonstration en ligne du GPS-H

Introduction

- Le Système canadien de référence altimétrique de 2013 (CGVD2013) a été officiellement adopté comme un nouveau datum vertical moderne en remplacement du CGVD28 en 2015 (Gazette du Canada).
- Les provinces et les municipalités n'ont pas tous adopté et mis en œuvre le CGVD2013.
- Le Levés géodésiques du Canada (LGC), le National Geodetic Survey (NGS) des États-Unis, et l'Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) du Mexique collaborent à l'élaboration du « North American-Pacific Geopotential Datum of 2022 » (NAPGD2022).
- Le NAPGD2022 sera publié en même temps que le Cadre de référence terrestre nord-américain de 2022 (NATRF2022) en 2025.

Terminologie du système de référence altimétrique moderne

❖ **Système de référence géodésique :**

- Définition théorique du système de référence par un ensemble de paramètres et de conventions (ce que l'on souhaite réaliser).

❖ **Cadre (Structure) de référence géodésique :**

- Matérialisation tangible du système de référence (ce que l'on réalise réellement) telles que NAD83(SCRS) v.7.0 et ITRF2020.

❖ **Datum vertical :**

- Le terme est généralement lié au niveau moyen de la mer comme référence naturelle des altitudes topographiques (p. ex. CGVD28, NAVD 88, CGVD2013, NAPGD2022).
- Il représente la définition et la matérialisation d'un système de référence altimétrique.

❖ **Géoïde :**

- Surface équipotentielle représentant le mieux, au sens des moindres carrés, le niveau moyen global/régional de la mer.
- Une surface plane (c'est-à-dire que si nous posions une bille sur une telle surface, elle ne roulerait pas).
- Surface de référence pour les altitudes orthométriques (également appelées altitudes au-dessus du niveau moyen de la mer).



Terminologie du système de référence altimétrique moderne

❖ Géopotential :

- Le potentiel de gravité de la Terre.
- Une surface ayant le même potentiel est dite équipotentielle.

❖ Pesanteur (Gravité) :

- La somme de la force gravitationnelle (masse) et de la force centrifuge (rotation).
- Gradient vertical du géopotential.
- La redistribution des masses au sein de la Terre modifie le potentiel (et la gravité).

❖ Topographie dynamique des océans (DOT) ou Topographie de la surface de la mer (SST) :

- Tout comme la topographie terrestre, la surface moyenne des océans présente des collines et des vallées, qui varient entre -2 m et +2 m à l'échelle mondiale.
- La séparation entre le géoïde et la surface moyenne des océans.
- Comme la surface moyenne des océans ne coïncide pas avec le géoïde, il ne s'agit pas d'une surface équipotentielle.

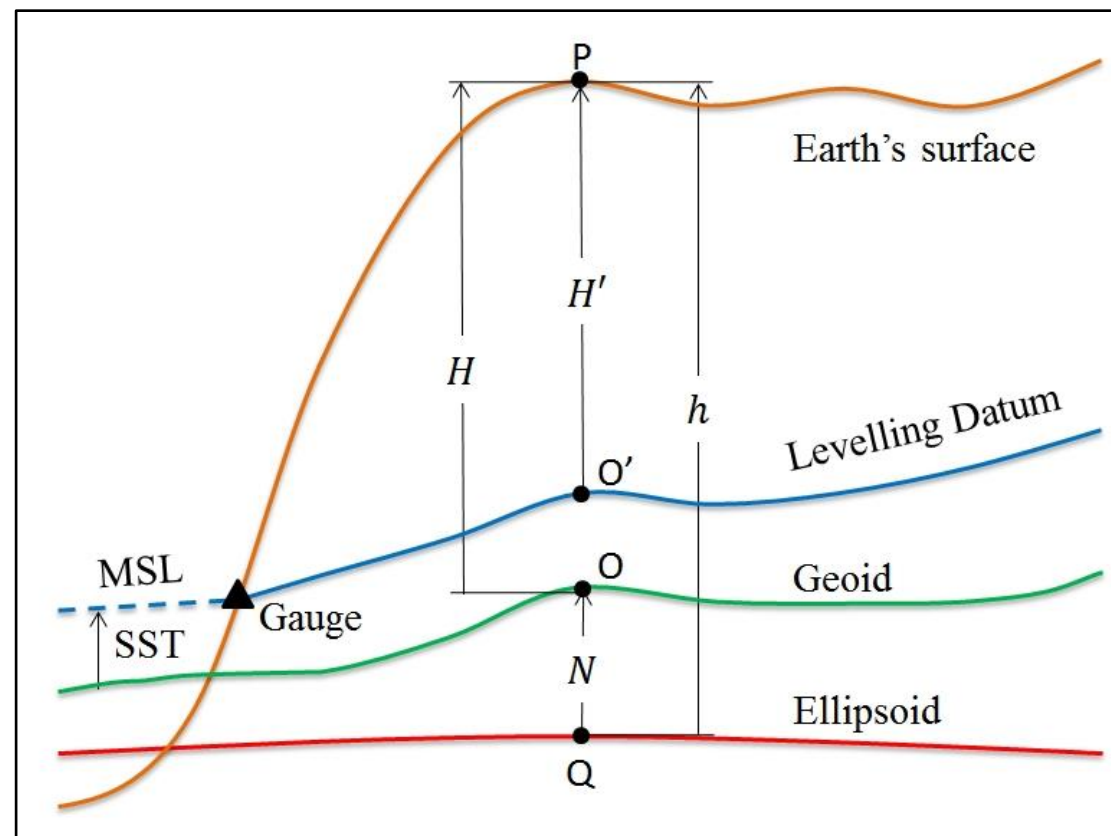
❖ Époque :

- Le géoïde change avec le temps, tout comme la croûte terrestre.
- Le référentiel altimétrique basé sur le géoïde peut être défini comme statique ou dynamique.
- Un référentiel statique est valable pour n'importe quelle époque alors qu'un référentiel dynamique est dépendant de l'époque.

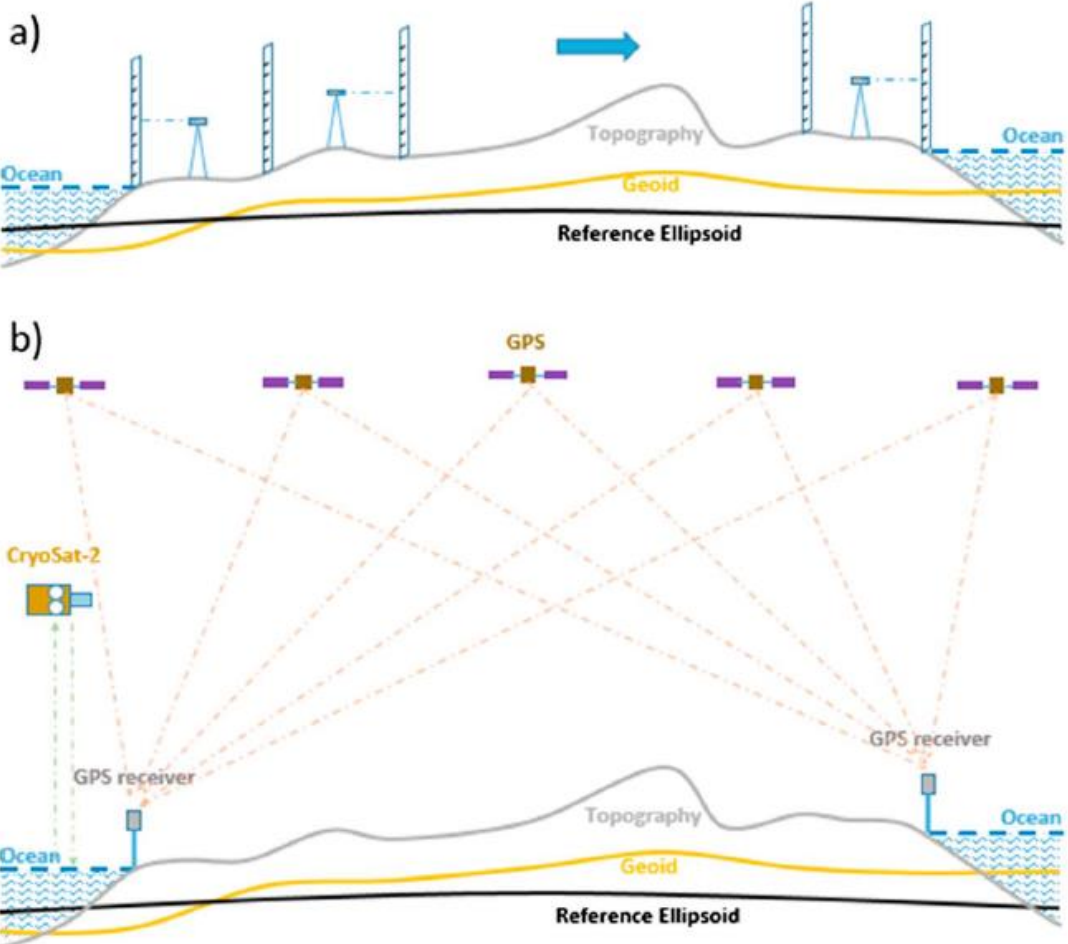


CGVD2013 et ses adoptions

- Le CGVD2013 est réalisé par un modèle de géoïde gravimétrique - CGG2013a.
- Le CGVD2013 remplace le CGVD28 (défini par les niveaux moyens de la mer aux marégraphes et est propagé sur le continent par les levés de nivellement ; accessible par les repères altimétriques).
- CGVD2013 est défini par la surface équipotentielle $W_0 = 62,636,856 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$, qui représente (par convention) le niveau moyen de la mer (NMM) côtier pour l'Amérique du Nord.
- Le modèle de géoïde (CGG2013a) représente l'altitude du CGVD2013 par rapport à l'ellipsoïde GRS80 dans le NAD83(SCRS).
- Le CGG2013a permet de convertir les altitudes ellipsoïdales (h) du GNSS en altitudes orthométriques (H) en CGVD2013.
- Les altitudes orthométriques sont compatibles avec les élévations publiées sur les repères et les cartes topographiques.



CGVD2013 et ses adoptions



Huang J. (2017) Geophysical Research Letters



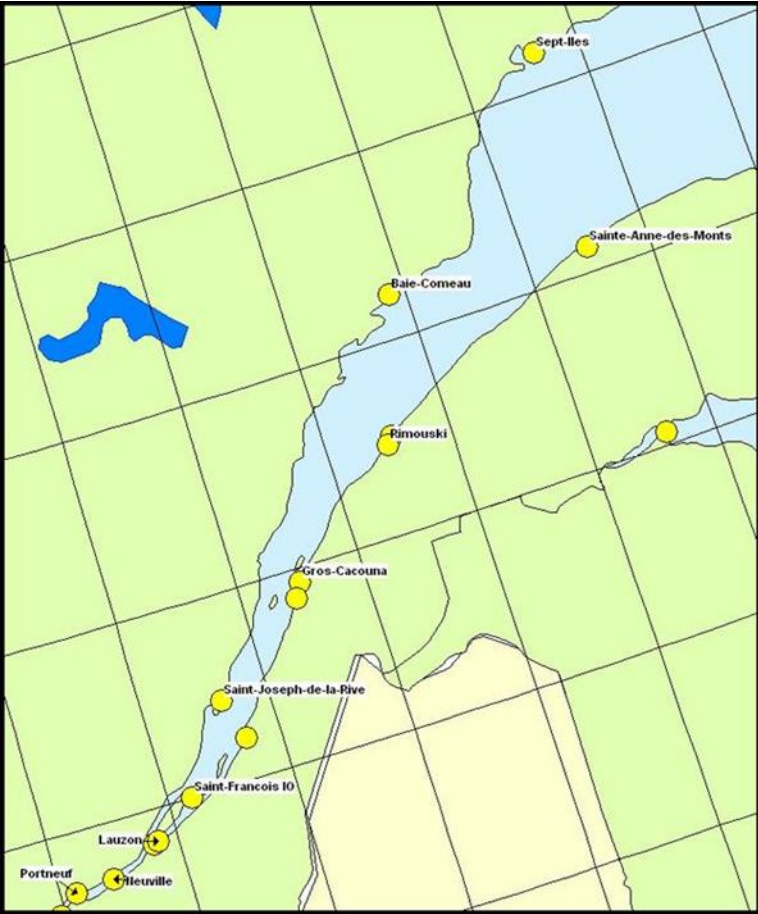
Levé de nivellement



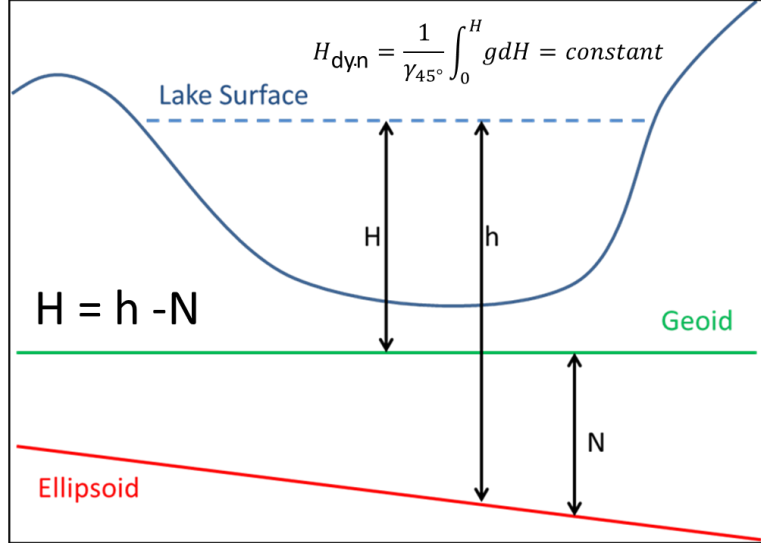
Levé GPS

CGVD2013 et ses adoptions

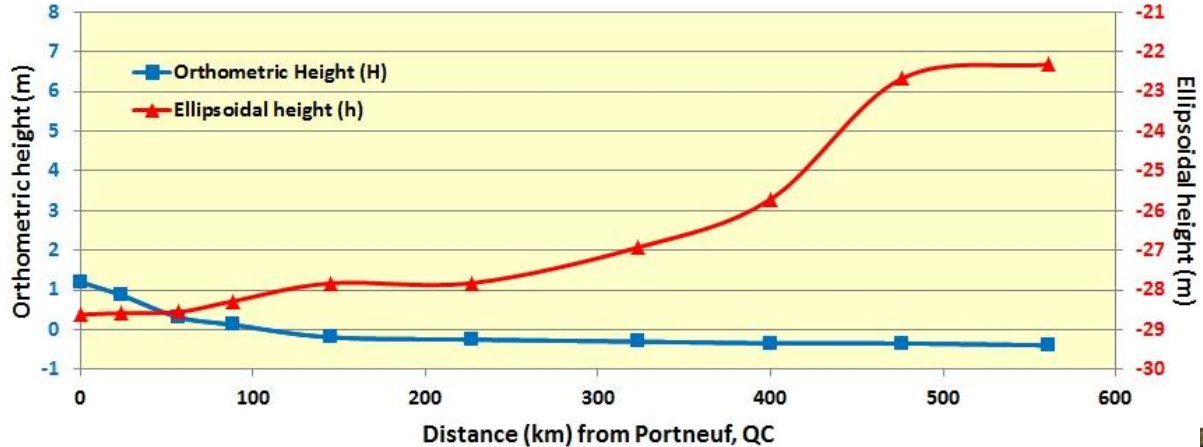
➤ Les altitudes ellipsoïdales GNSS doivent être converties en altitudes orthométriques à l'aide d'un modèle de géoïde.



- Les altitudes sont traditionnellement référées au niveau moyen de la mer (RN, MNE, cartes topographiques).
- Les altitudes orthométriques correspondent à la direction de l'écoulement de l'eau.



Slope of St-Lawrence River between Portneuf and Sept-Iles



Natural Resources Canada

Ressources naturelles Canada

Canada

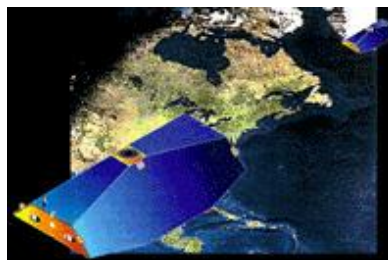
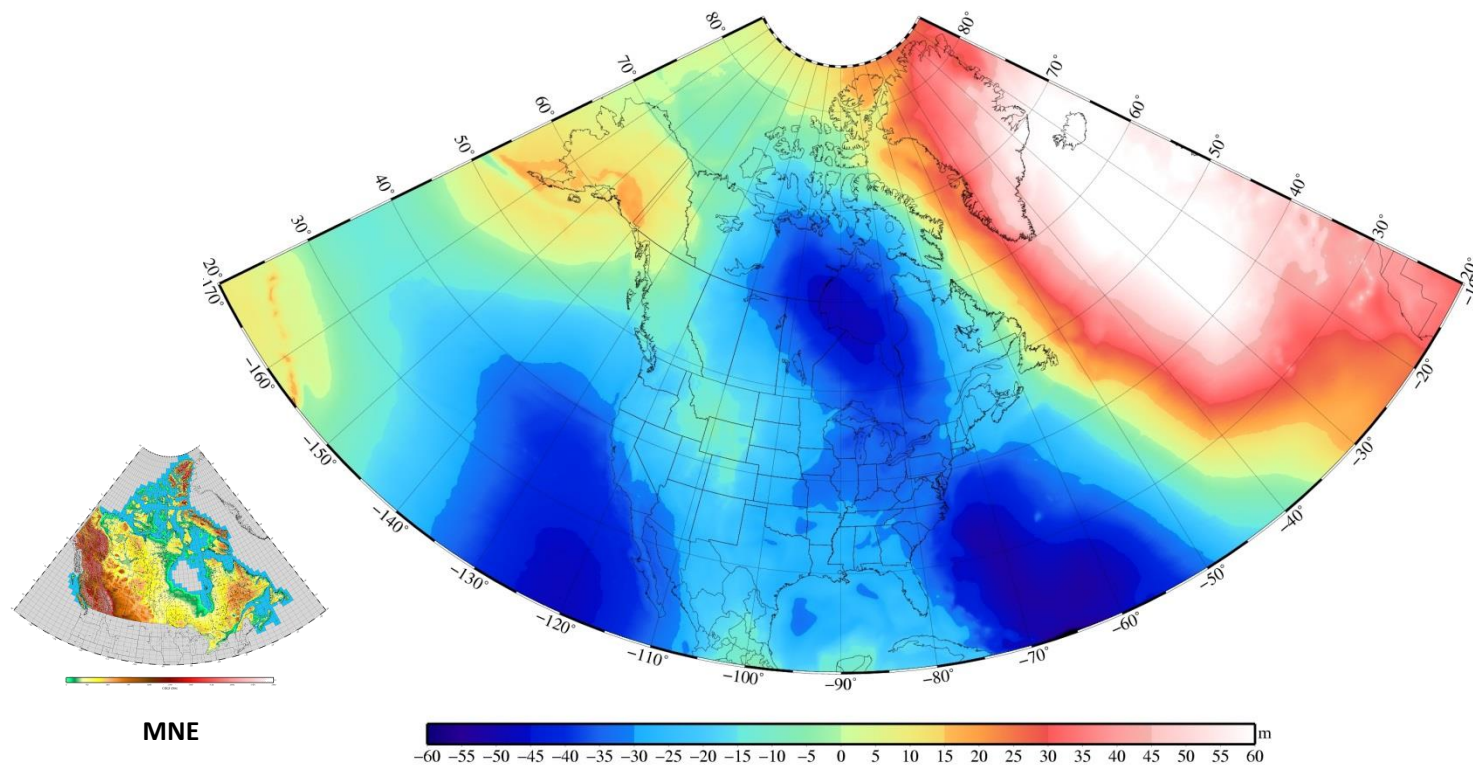
CGVD2013 et ses adoptions

Limites: Nord : 90° Sud : 10°
Ouest : -170° Est : -10°

Résolution: 2' x 2' (< 4 km)

Cadres de référence disponibles :
ITRF2008 et NAD83(SCRS)

Époque de référence : 2011 (statique)



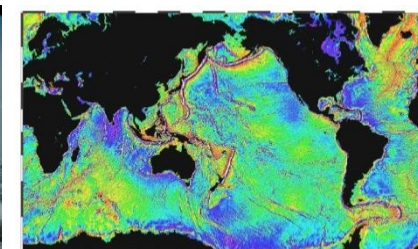
GRACE (2003 -2012)



GOCE (2009 – 2013)



Gravité marine et terrestre



Altimétrie

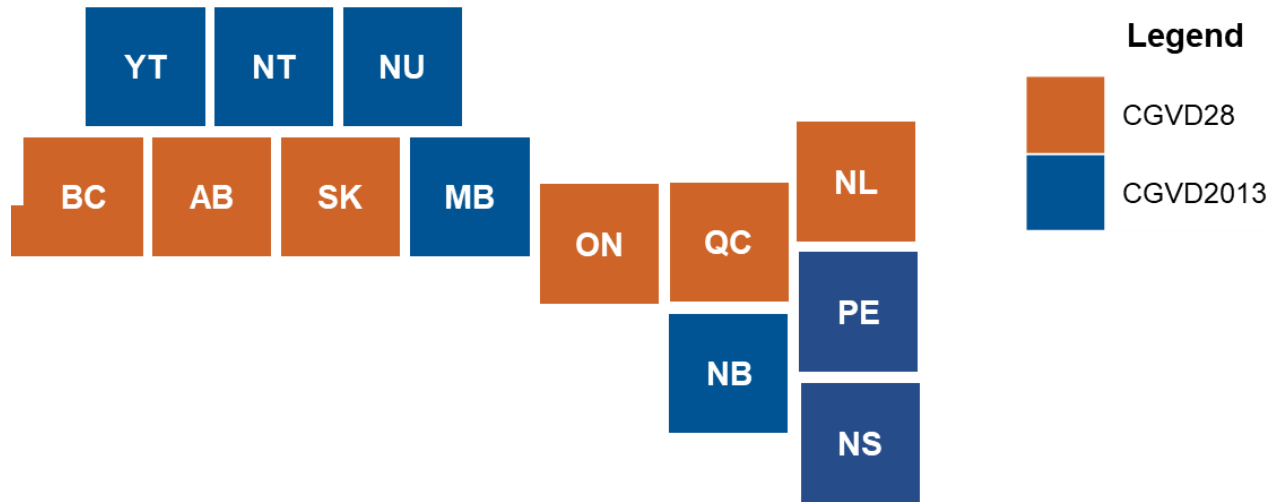


Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada

CGVD2013 et ses adoptions



- Cadre de référence vertical actuellement adopté dans les provinces
- Municipalités plus complexes
- Différents degrés et types de dépendances réglementaires

	Adopted	Published online	Available upon request	Used
BC	CGVD28	CGVD28		CGVD28 CGVD2013
AB	CGVD28	CGVD28 CGVD2013		CGVD28 CGVD2013
SK	CGVD28			CGVD28
MB	CGVD2013		CGVD2013 CGVD28	CGVD2013 CGVD28
ON	CGVD28	CGVD28 CGVD2013		CGVD28 CGVD2013
QC	CGVD28	CGVD28 CGVD2013		CGVD28
NB	CGVD2013	CGVD2013 CGVD28		CGVD2013 CGVD28
PE	CGVD2013			CGVD2013 CGVD28
NS	CGVD2013	CGVD2013 CGVD28		CGVD2013
NL	CGVD28	CGVD28 CGVD2013		CGVD28 CGVD2013
YT	CGVD2013	CGVD2013 CGVD28		CGVD2013 CGVD28
NT	CGVD2013	CGVD2013 CGVD28		CGVD2013 CGVD28
NU	CGVD2013	CGVD2013 CGVD28		CGVD2013 CGVD28



CGVD2013 et NAPGD2022

Paramètres	CGVD2013	NAPGD2022
W_0	62,636,856 m ² s ⁻²	
GM	3.986004415x10 ¹⁴ m ³ s ⁻²	
Matérialisation	CGG2013a, 2' x 2' (< 4 km)	GEOID2022, 1' x 1' (< 2 km)
Cadre de référence géométrique	NAD83(SCRS)	NATRF2022
Type d'altitude	Orthométrique	
Système de marée	Marée libre	
Vitesse des altitudes orthométriques	Dynamique ($\dot{H} = \dot{h}_{\text{CVG70}}$)	Dynamique ($\dot{H} = \dot{h} - \dot{N}$)
Vitesse des ondulations du géoïde	Static ($\dot{N} = 0$) néglige la vitesse	Dynamic ($\dot{N} \neq 0$)
Époque de référence du modèle de géoïde	2011.0 (système statique)	2020.0 (système dynamique)



CGVD2013 et NAPGD2022

Ensembles de données communs

Données gravimétriques terrestres du LGC, NGS, INEGI et NGA

Données gravimétriques aéroportées du GRAV-D

xG20DEM (Un MNE avec une résolution spatiale de 3")

Données gravimétriques marines pour les océans Atlantique, Pacifique et Arctique

Grilles gravimétriques marines par altimétrie satellitaire (DTU15/17/21 and Sandwell et al. v32.1)

ArcGPv2020 (Beale per. comm., 2020)

EGM: xGeoid20ref A&B (NGS, 2020) ou EGM2020



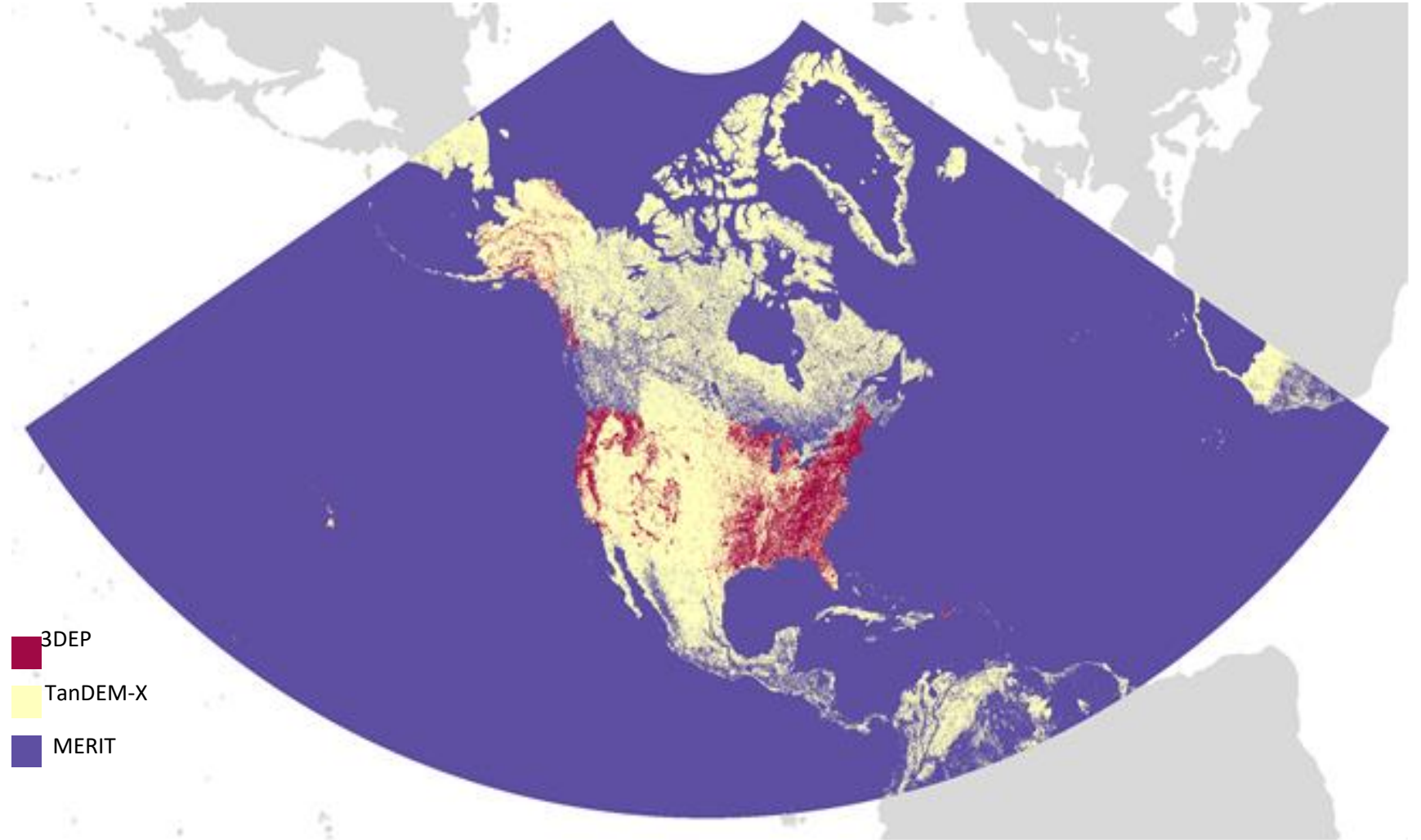
CGVD2013 et NAPGD2022

xG20DEM

Résolution: 3" (~100 m)
(MNEC for CGG2013a)

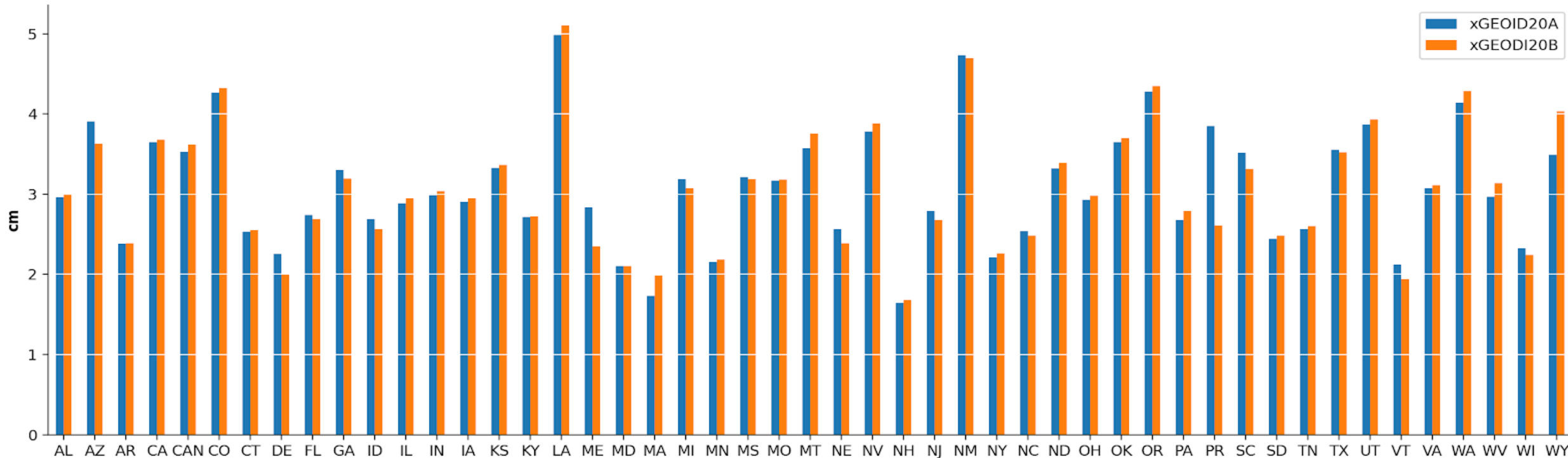
GPS sur RNs: 31851

Moyenne: -0.3 m
RMSE: 2.1 m
Min: -63.3 m
Max: 42.6 m



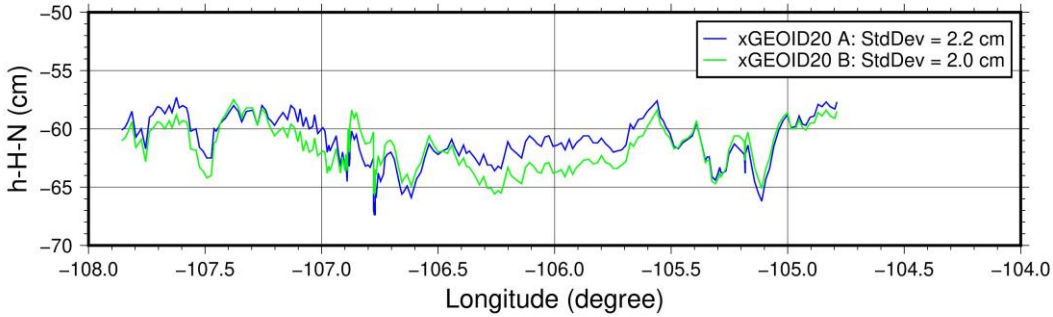
CGVD2013 et NAPGD2022

Résiduels du géoïde par rapport au GPS/nivellement (ligne de base < 100 km)

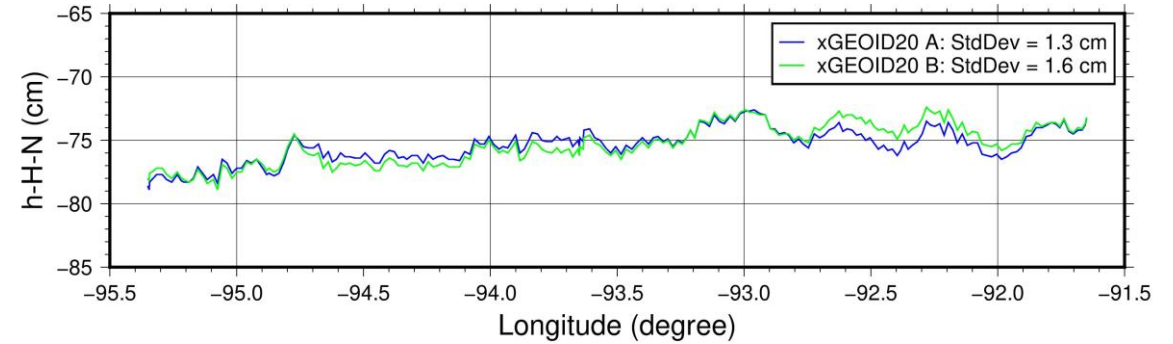


CGVD2013 et NAPGD2022

GSVS17 - Colorado



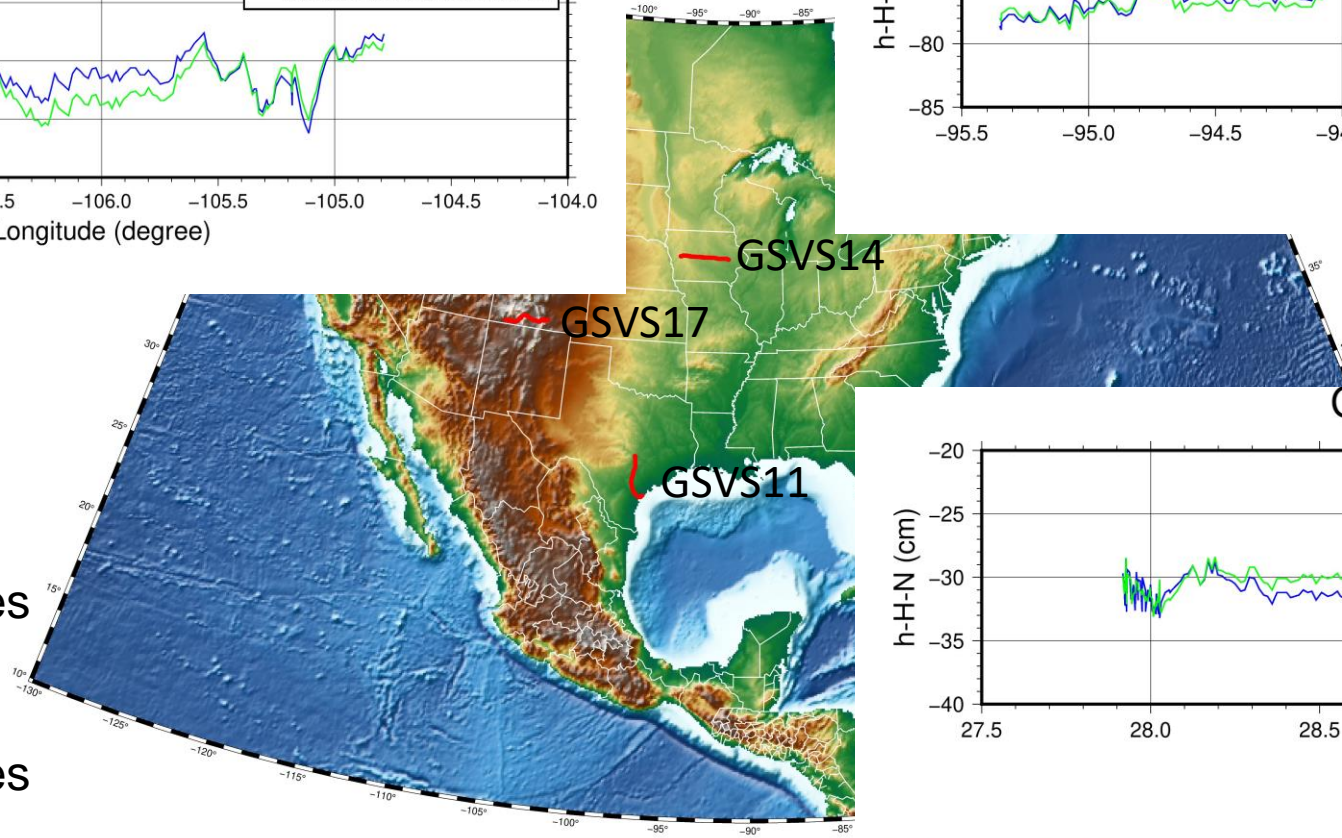
GSVS14 - Iowa



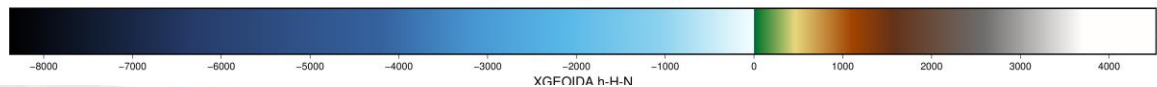
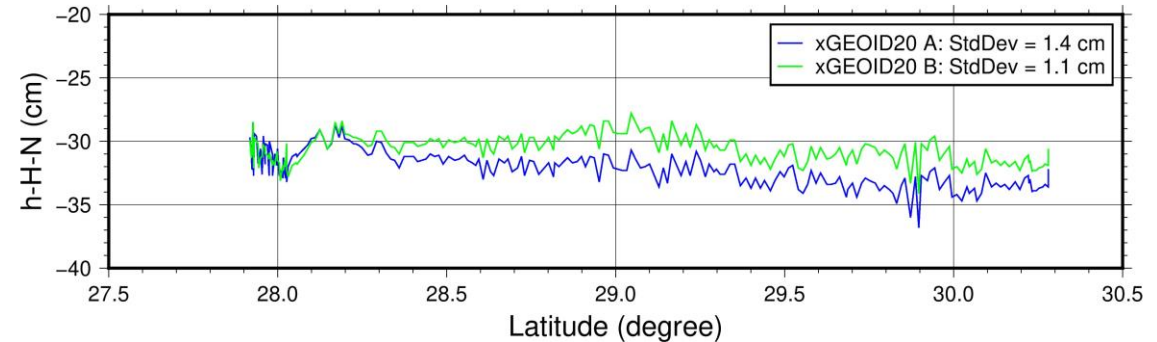
Résiduels du géoïde sur les levés GSVS de GPS/Nivellement de NGS

A : aucunes données GRAV-D

B : inclus les données GRAV-D



GSVS11 - Texas

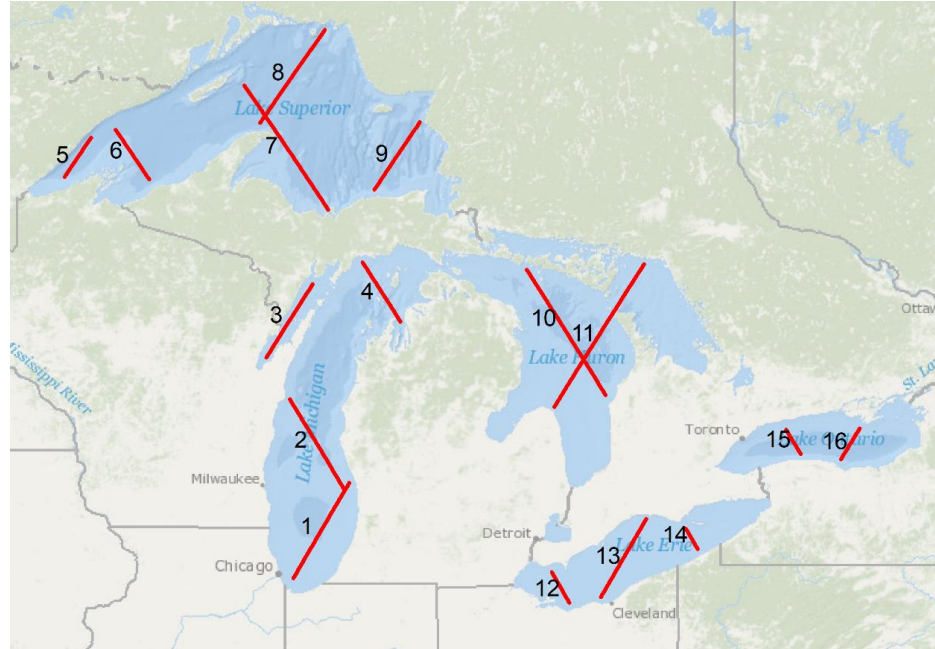


Natural Resources Canada

Ressources naturelles Canada

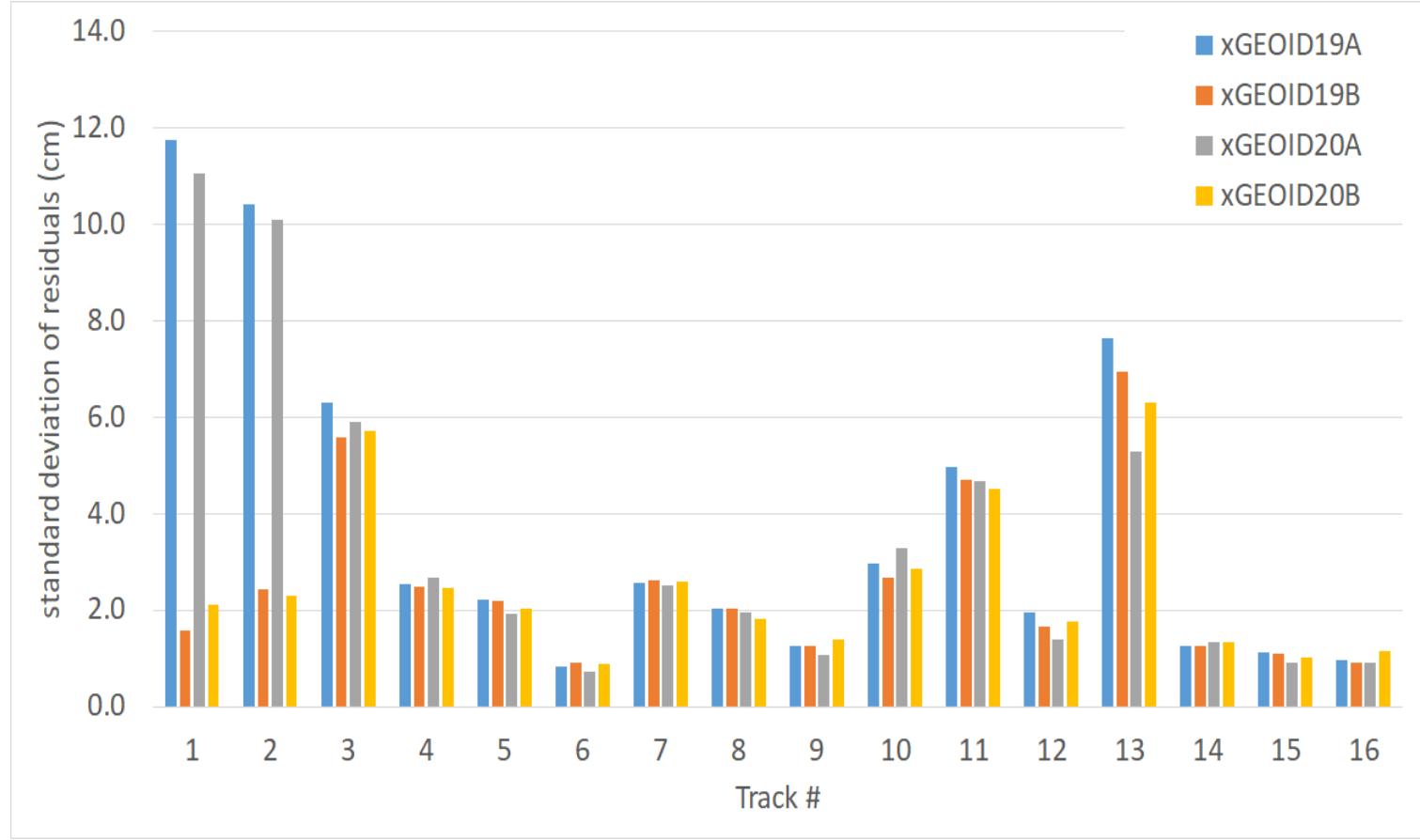


CGVD2013 et NAPGD2022

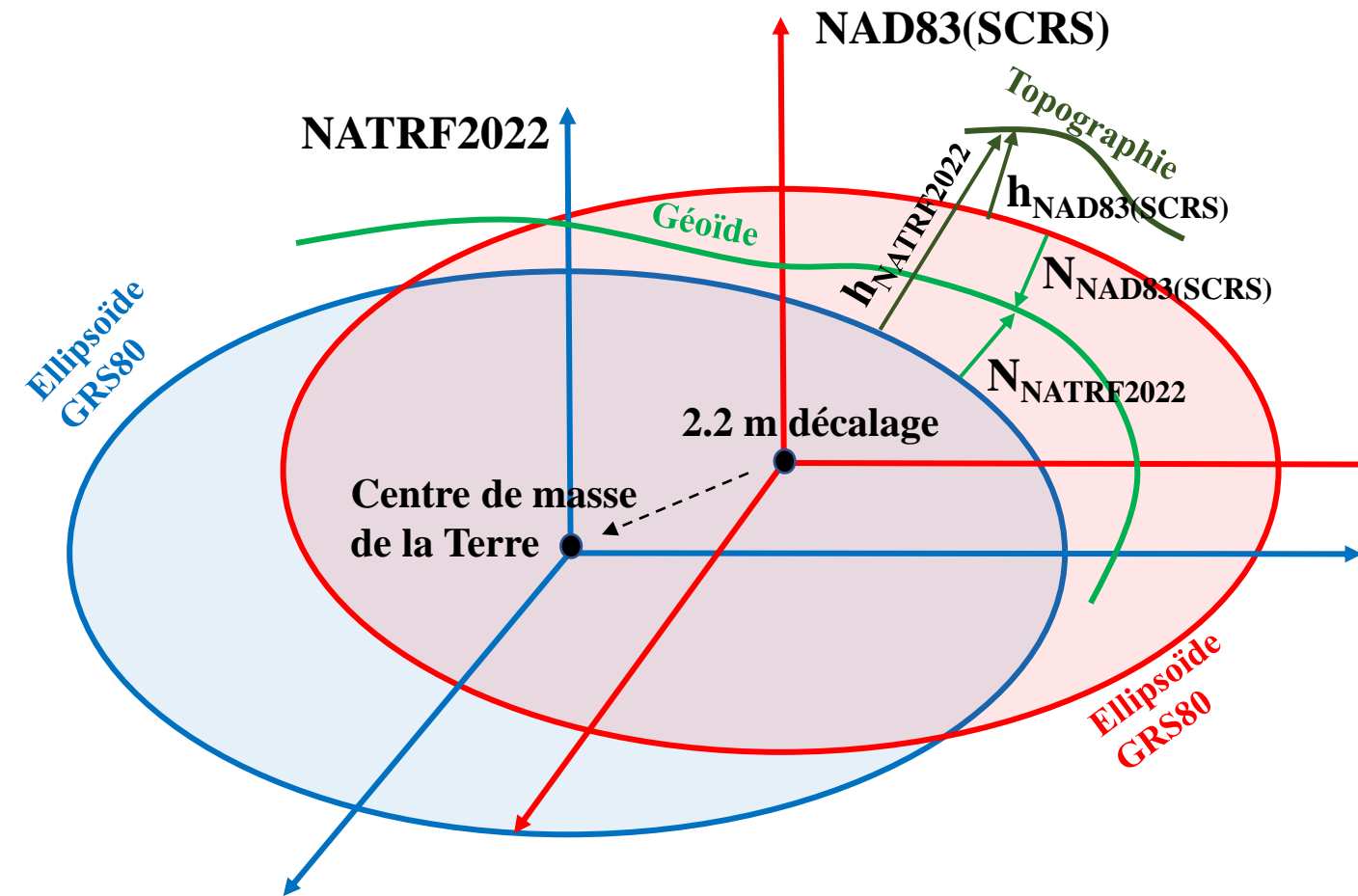


Trajectoire au sol des données TOPEX/Poseidon au-dessus des Grands Lacs

Comparaisons de l'altimétrie satellitaire des Grands Lacs



Adoption aux Etats-Unis du NAPGD2022



- ❖ Les ondulations du géοide (N) dans le NATRF2022 et le NAD83(SCRs) sont différentes car les deux cadres de référence géométriques n'ont pas la même origine.
- ❖ Les ondulations du géοide dans le NATRF2022 doivent être utilisées avec les altitudes ellipsoïdales dans le NATRF2022.
- ❖ Les ondulations du géοide en NAD83(SCRs) doivent être utilisées avec les altitudes ellipsoïdales en NAD83(SCRs).

$$H_{NAPGD2022(GEOID2022)} = h_{NATRF2022} - N_{GEOID2022/NATRF2022}$$

$$H_{CGVD2013(GEOID2022)} = h_{NAD83(SCRs)} - N_{GEOID2022/NAD83(SCRs)}$$

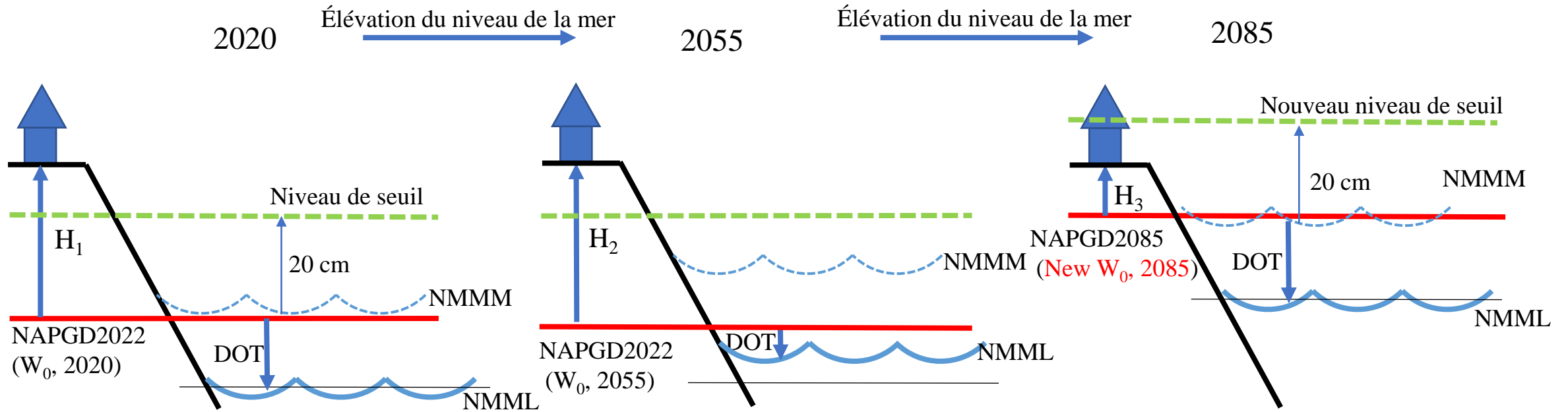
$$H_{NAPGD2022(GEOID2022)} = H_{CGVD2013(GEOID2022)}$$

Note: Nous omettons la vitesse du géοide dans cet exemple.



Adoption aux États-Unis du NAPGD2022

Évolution du datum vertical



La définition actuelle de la NAPGD2022 peut rester en place pendant **~65 ans** en supposant une élévation constante du niveau de la mer de 3 mm/an.

NOAA Technical Report NOS NGS 64



Natural Resources
Canada

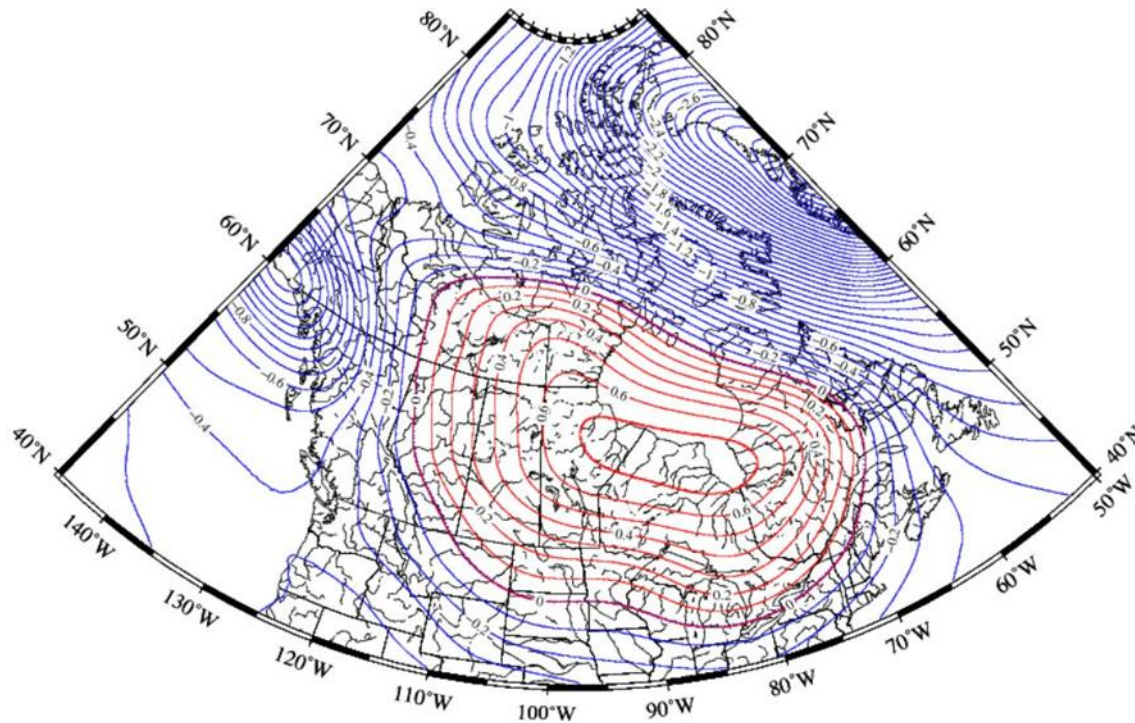
Ressources naturelles
Canada

Canada

Adoption aux États-Unis du NAPGD2022

Le géoïde est une surface dynamique

- Le géoïde change dans le temps en raison de la redistribution des masses
- NAPGD2022 inclut un modèle de vitesse du géoïde



GEOID2022 v01 (W_0 , 2020)

GEOID2022 v01 (W_0 , 2035)

GEOID2022 v01 (W_0 , 2050)



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

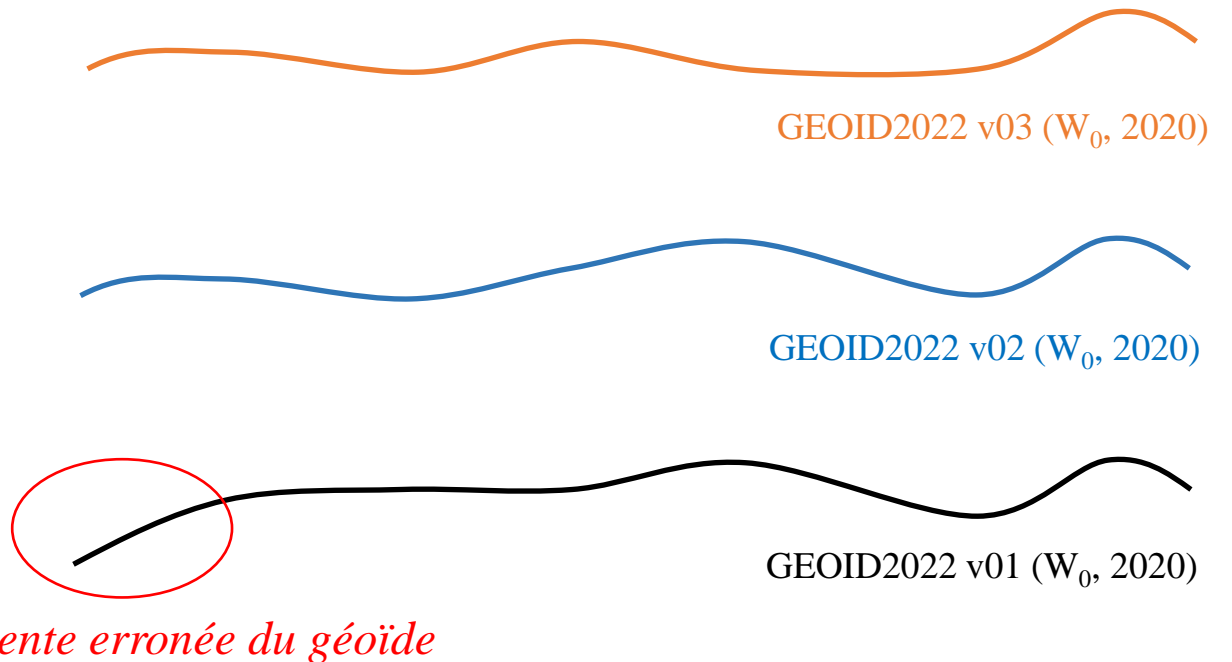
Canada

Adoption aux États-Unis du NAPGD2022

Les modèles ne sont jamais sans erreur

La mise à jour du modèle du géoïde

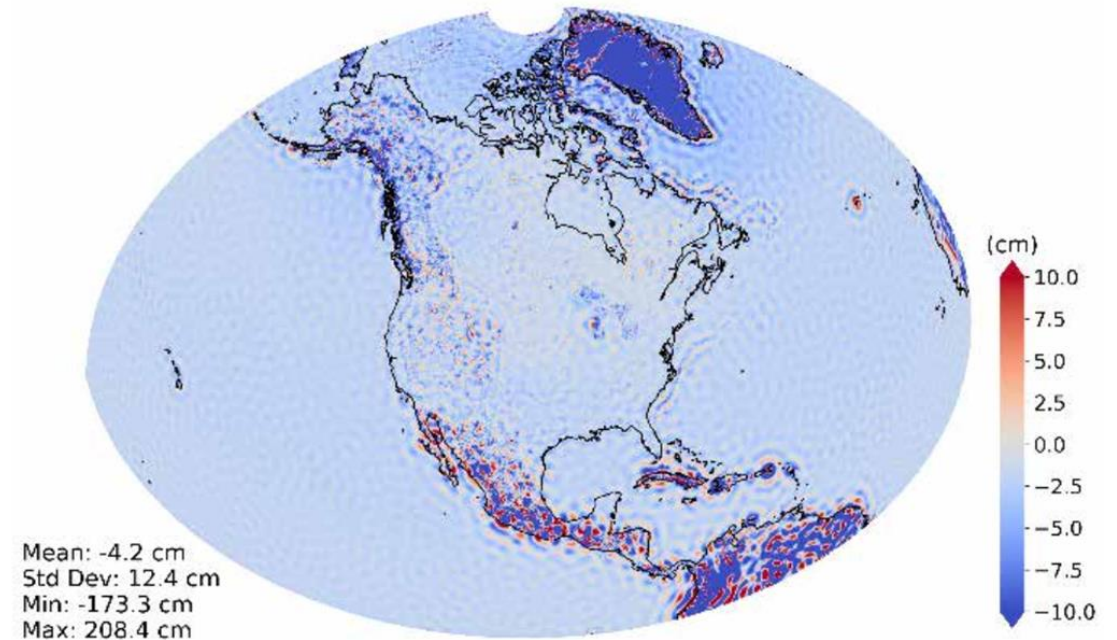
- Correction des erreurs dans les versions précédentes
- Nouvelles données gravimétriques et MNE
- Méthodes de modélisation nouvelles ou améliorées
- Événements (tremblements de terre, éruptions volcaniques, etc.)



Adoption aux États-Unis du NAPGD2022 – Le plan canadien

RNCan publiera une nouvelle réalisation de CGVD2013 en parallèle avec l'adoption par les États-Unis de NAPGD2022.

- Amélioration du modèle de géoïde
- Le nouveau modèle de géoïde sera commun ou compatible avec celui qui réalise le NAPGD2022
- Les deux systèmes de référence altimétrique basés sur le géoïde sont dans le même format standard de l'OGC.



Réalisation avec un modèle de géoïde commun nord américain : différence entre les modèles de géoïde expérimentaux NGS et CGS



Transition vers le système de référence altimétrique basé sur le géoïde – Obstacles

- Pour la plupart des utilisateurs, les réseaux de nivellement locaux répondent bien à leurs besoins.
- Dépendance légale à l'égard des référentiels existants. Par exemple, les plans d'arpentage légaux de la province de la Colombie-Britannique (Surveyor General in Circular Letter 465B).
- Biais régionaux entre les altitudes dérivées du GNSS et les altitudes ajustées par nivellement du CGVD2013 aux repères altimétriques dans une précision acceptable.
- La précision relative régionale a plus de poids que la précision absolue
- Avantages immédiats par rapport aux coûts et aux ressources nécessaires pour adopter le CGVD2013 et le future NAPGD2022.
- Confusion dans le fait d'avoir deux types de référentiels : les repères physiques et la surface équipotentielle numérique (modèle de géoïde).
- Réticence à l'égard des changements.



Transition vers le système de référence altimétrique basé sur le géoïde – Facteurs favorables

- Positionnement GNSS très efficace pour les altitudes.
- Détérioration et inaccessibilité des repères altimétriques existants du CGVD28.
- Nouvelles observations GNSS sur les repères altimétriques qui déterminent mieux la transformation entre le CGVD2013 et le CGVD28.
- Outils de transformation facile à utiliser avec documentations (p. ex. GPS-H et TRX).
- Initiatives/projets de modernisation du Système de référence altimétrique par des organismes fédéraux et provinciaux.
- Résolutions du COCG sur le CGVD2013 et le NATRF2022.
- Équipe de travail du CCSRG sur le cadre de référence unifié composée de représentants fédéraux et provinciaux
- Cohérence avec les États-Unis en 2025.



Perspectives d'avenir

- Les anciens référentiels, tels que le CGVD28, continueront d'être utilisés si les données historiques restent en usage et si la dépendance légale à leur égard n'est pas révisée.
- L'adoption d'un référentiel altimétrique moderne est inévitable parce que les anciens référentiels basés sur le nivellement et les repères altimétriques ne sont plus compatibles avec le positionnement et la cartographie modernes par GNSS. CGVD28 s'élimine progressivement.
- Le CGVD2013 (NAPGD2022) est uniforme, consistant et compatible avec les normes internationales dans le cadre d'un système de référence spatiale 4-D moderne.
- Un référentiel commun permettrait aux fournisseurs de services GNSS et géospatiaux d'offrir des produits cohérents partout au Canada et en Amérique du Nord.
- Le NAPGD2022 comprend un géoïde dynamique, ce qui est nécessaire pour les activités scientifiques telles que les études sur les changements du niveau de la mer.



Recommandations sur l'utilisation

CGVD28

- Les altitudes publiées sur les repères altimétriques matérialisent le datum vertical
- Utiliser les repères altimétriques pour des levés de nivellement. Vérifier les conditions des repères et s'assurer qu'ils ne sont pas soumis à des mouvements locaux par rapport aux repères environnants.
- Encore, utiliser des méthodes relatives GNSS combinées avec le modèle hybride de géoïde HTv2.0 en partant de repères altimétriques avec des altitudes publiées en CGVD28. Soyez prudent lorsque vous utilisez HTv2.0 parce que HTv2.0 est une représentation du CGVD28 avec certaines limitations, particulièrement de manière absolue.
- Les altitudes en CGVD28 sont considérées statiques (les altitudes ne changent pas avec le temps). Naturellement, certains repères ont été mis à jour au cours des décennies lorsque de nouveaux levés de nivellement ont été complétés mais ceci est seulement pour corriger un changement très local, et non un changement régional ou continental.



Recommandations sur l'utilisation

CGVD2013

- Le modèle de géoïde est la matérialisation du datum vertical.
- Établir un (des) repère(s) altimétrique(s) par GNSS et le modèle de géoïde
 - Service SCRS-PPP
 - GNSS différentiel rattaché à des repères géodésiques de haute précision
 - Réseaux cinématiques en temps réel (RTK) avec un accord de conformité
- Poursuivre le levé par des techniques de nivellement ou GNSS à partir des repères GNSS établis ou repères GNSS existants.
- Éviter l'utilisation de repères altimétriques du LGC dont l'élévation est déterminée à partir de données de nivellement historiques. LGC ne peut pas confirmer la précision de ces repères.
- Les altitudes en CGVD2013 sont considérées dynamiques. Le mouvement vertical de la croûte terrestre est considéré dans le CGVD2013. Par conséquent, l'altitude mesurée est à une époque spécifique.



Liens utiles et contact

- **Liens**

- Système canadien de référence altimétrique de 2013 (CGVD2013):
[https://www.nrcan.gc.ca/sites/nrcan/files/files/pdf/Height_reference_system_modernization_\(FR\).pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/nrcan/files/files/pdf/Height_reference_system_modernization_(FR).pdf)
- NOAA Technical Report NOS NGS 64: Blueprint for 2022, Part2: Geopotential Coordinates:
https://geodesy.noaa.gov/library/pdfs/NOAA_TR_NOS_NGS_0064.pdf

- **Contact**

- Levés géodésiques du Canada, Direction de l'arpenteur général du Canada
 - E-mail: geodeticinformation-informationgeodesique@nrcan-rncan.gc.ca



Transformation des référentiels altimétriques – Démonstration en ligne du GPS-H

► Aide pour GPS-H

Calcul unique

Traitement par lots

Calcul unique

Convertir Longitude positive ouest Entrée H

Altimétrique

Géoïde

Cadre de référence

Époque

CGVD2013

CGG2013a

NAD83(SCRS)

1997-01-01

Géographique

Cartésien

Projection

Latitude

Longitude

h (mètres)

Calculer



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada

Canada

© His Majesty the King in Right of Canada, as represented by the Minister of Natural Resources, 2022



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Canada