

# La géodésie des Antilles Françaises

---

version du 16/03/2020

## Historique et perspectives

La succession des réalisations en matière de référence géodésique, inéluctable car motivée par le progrès technologique et l'amélioration de la précision, perturbe généralement le bon échange de l'information géographique sous toutes ses formes, pendant un laps de temps (toujours trop long), durant lequel l'IGN s'efforce de proposer des mesures d'accompagnement du changement. À titre d'exemple, les réalisations métropolitaines précises de 1993-1995 ont été légalisées en 2000 et ont coexisté avec les anciennes jusqu'en 2009.

L'IGN réalise et entretient des réseaux matérialisés (1952, 1993, 2009,..) et des stations GNSS permanentes (une station en Guadeloupe et une en Martinique) aux Antilles. Il diffuse les coordonnées des points matérialisés au titre du service public. Il met également à disposition sur son site <http://geodesie.ign.fr> les différents algorithmes, paramètres, logiciels qui permettent la transformation des coordonnées dans les meilleures conditions possibles. Pour le cas des Antilles, la réalisation de 2009 était très souhaitable du point de vue géodésique, pour remplacer la précédente qui était entachée d'imprécisions. Le RGAF09 réalise donc l'ITRS de manière plus précise et plus homogène sur les Antilles. Il a donné lieu à de nouvelles coordonnées très différentes que l'IGN a calculées, mais qui n'ont pas été publiées rapidement, en l'attente de légalisation du repère.

Pour pallier cette situation, le Service de géodésie et de métrologie de l'IGN, fut depuis 6 ans le premier acteur motivé par la révision du décret et a agi dans ce sens autant qu'il lui était possible. Il a ainsi activement participé, entre 2015 et 2016, à un groupe de travail sous l'égide de la commission géo-positionnement du CNIG, chargé de cette action, réunissant les principaux acteurs concernés par « les leviers pour le compte des services publics » : OGE, DGFIP, SHOM, réseaux, ... La durée du mandat du groupe était de un an. Parmi ses objectifs, on note : « Le but de la révision est de rendre les textes d'application sur les références géodésiques applicables en France conformes à la directive inspire (en ce qui concerne notamment les Antilles + nouvelles projections) et homogènes avec les repères et standards internationaux. »

L'idée fut de définir les références par un arrêté, cité dans le futur décret, les procédures législatives étant alors plus allégées pour les changements à venir. Depuis 2016, un nouveau groupe de travail, « GTMOD », a pris le relais pour l'« accompagnement à la mise en œuvre du Décret relatif aux références géodésiques ». L'avancement de ses travaux peut être suivi depuis 2016 sur le [site du CNIG](#) ainsi que sur le [site IGN de la géodésie](#).

En attendant la publication du Décret de et l'Arrêté (*qui a eu lieu le 5 mars 2019*) le SGM a préféré anticiper pour améliorer le service aux utilisateurs et diffuser par anticipation ces coordonnées RGAF09 depuis début 2017 en mentionnant qu'il s'agit de coordonnées utiles et recommandées mais pas encore légales, et de mettre à la disposition du public des outils permettant de gérer les transformations entre ces repères de référence géodésiques (Circé v3.2 puis Circé v4.3 puis Circé v5).

## L'histoire : les repères de référence géodésique locaux

<b>Zone</b>	<b>Martinique</b>
<b>Repère</b>	Fort-Desaix 1952
<b>Description</b>	Réalisation bidimensionnelle effectuée par mesures angulaires lors de la mission IGN 1952. Le point fondamental a été déterminé par la mission du SHOM 1938-1939.
<b>Point fondamental</b>	Borne du Fort-Desaix à Fort-de-France
<b>Ellipsoïde</b>	International Hayford 1909 (International 1924)
<b>Méridien origine</b>	Greenwich
<b>Unités d'angles</b>	DMS
<b>Projection associée</b>	UTM fuseau 20 Nord

<b>Zone</b>	<b>Guadeloupe, Marie-Galante, la Désirade, les Saintes</b>
<b>Repère</b>	Triangulation IGN 1948 (repère Sainte-Anne)
<b>Description</b>	Réseau construit en 1948-1949 couvrant la Guadeloupe et ses dépendances proches.
<b>Point fondamental</b>	Pilier de Sainte-Anne I
<b>Ellipsoïde</b>	International Hayford 1909 (International 1924)
<b>Méridien origine</b>	Greenwich
<b>Unités d'angles</b>	DMS
<b>Projection associée</b>	UTM fuseau 20 Nord

<b>Zone</b>	<b>Saint-Martin, Saint-Barthélemy</b>
<b>Repère</b>	Triangulation IGN 1949 (repère Fort-Marigot)
<b>Description</b>	Réseau construit en 1949 couvrant les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy.
<b>Point fondamental</b>	Pilier astronomique de Fort Marigot
<b>Ellipsoïde</b>	International Hayford 1909 (International 1924)
<b>Méridien origine</b>	Greenwich
<b>Unités d'angles</b>	DMS
<b>Projection associée</b>	UTM fuseau 20 Nord

## Le repère WGS84 – RRAF

Dans les débuts du positionnement satellitaire par GPS, l'IGN a mis en place un canevas local, appelé originellement le **Réseau de Référence des Antilles Françaises** (RRAF).

Ce repère correspond à la détermination d'un canevas GPS dense, homogène et précis *localement*, réalisé en 1988 et 1993. Le canevas RRAF est basé sur point fondamental le point GPS réalisé lors d'une campagne internationale TANGO en 1988. Ce point est le phare de la Caravelle (également point DOPPLER TRANSIT et point fixe GPS). Le RRAF couvre aussi l'île de la Guadeloupe et toutes ses dépendances proches ou lointaines. D'une île à l'autre, il peut présenter un décalage d'ordre décimétrique.

RRAF a malheureusement été entaché dès le départ par une erreur sur les coordonnées du point fondamental, transmises à l'IGN avec un décalage de près d'un mètre. Cette erreur a été repérée peu après la publication du nouveau réseau et n'a donc pas pu être corrigée. Par ailleurs, le rattachement entre les îles pouvait être entaché d'erreurs au niveau centimétrique.

RRAF apparaît donc dans Circé Antilles Guyane et dans la plupart des documents publiés après 2000 sous le nom de «WGS84», qui désigne tout repère compatible ITRF à 1 mètre près. Dans certaines publications, ce repère est également désigné par « WGS84 Antilles » ou « WGS84-RRAF ».

Le nouveau décret du 5 mars 2019 stipule une période de recouvrement de 3 ans pour la légalité des repères antillais. C'est ce désormais ancien repère, désigné par « WGS84 », qui est encore utilisable jusqu'en mars 2022, conjointement au RGAF09 qui est maintenant légal

<b>Zone</b>	Antilles
<b>Repère</b>	WGS84 – RRAF
<b>Description</b>	Ce repère correspond à la détermination d'un canevas GPS dense, homogène et précis localement, réalisé en 1988 et 1993. Le point fondamental du canevas est le point GPS observé lors d'une campagne internationale TANGO en 1988. Le RRAF couvre la Martinique, la Guadeloupe et toutes ses dépendances, proches ou lointaines.
<b>Point fondamental</b>	Phare de la Caravelle (également point DOPPLER TRANSIT et point fixe GPS).
<b>Ellipsoïde</b>	IAG GRS80
<b>Méridien origine</b>	Greenwich
<b>Unités d'angles</b>	DMS
<b>Projection associée</b>	UTM fuseau 20 Nord

## **Le nouveau repère légal RGAF09 (réalisation de l'ITRS aux Antilles Françaises)**

Une nouvelle campagne d'observations du réseau antillais a été réalisée en 2008 dans toutes les îles des Antilles Françaises : Martinique, Guadeloupe et dépendances (Les Saintes, Marie-Galante, La Désirade, Saint-Martin et Saint-Barthélemy) et a donné naissance au **Réseau Géodésique des Antilles Françaises 2009** (RGAF09).

**Comme dans le WGS84 – RRAF, la Guyane ne fait pas partie du repère de référence RGAF09.**

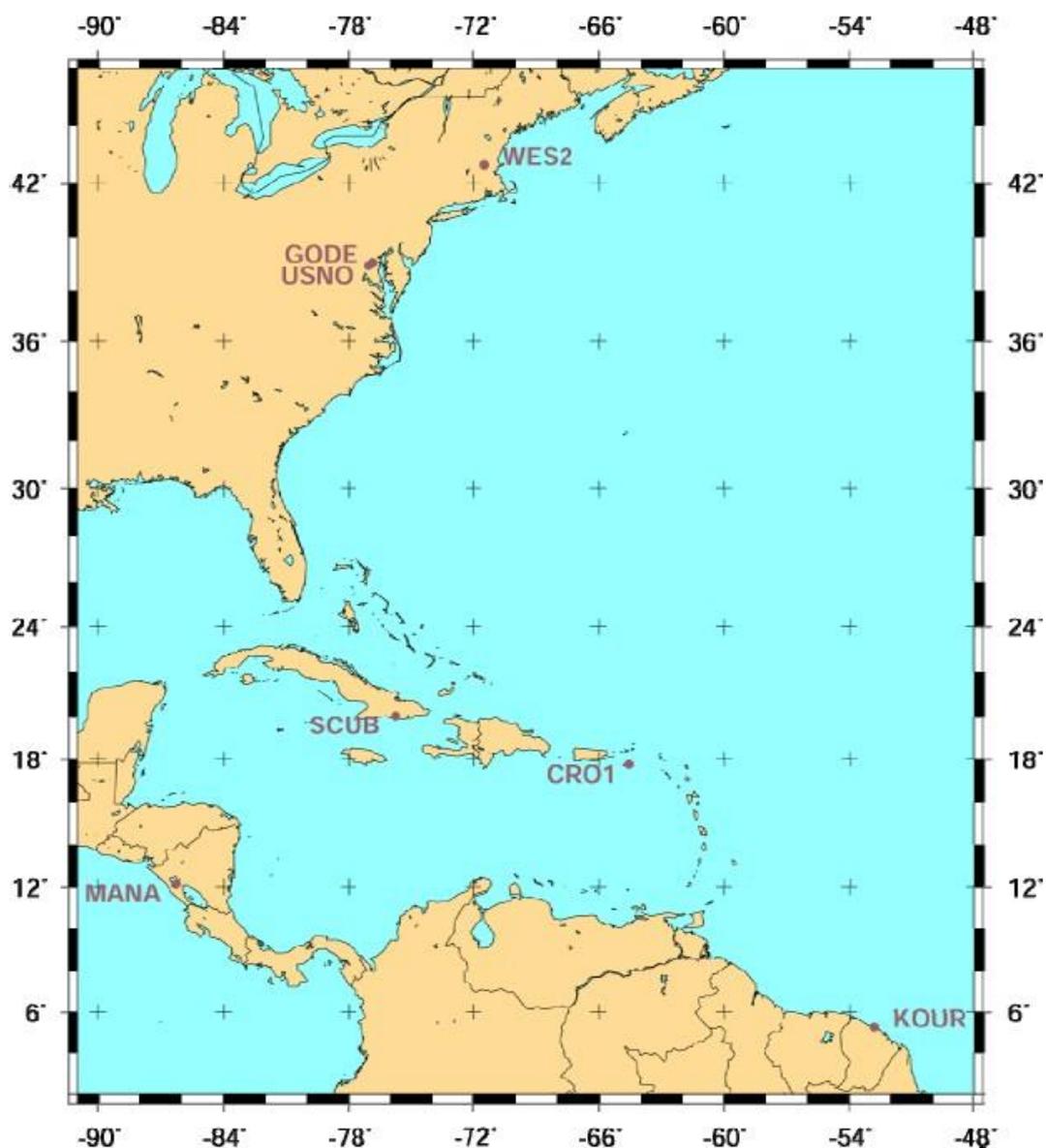
La détermination initiale du RGAF09 fournit un réseau rénové de précision centimétrique homogène à plusieurs échelles : points d'un même site géodésique, sites d'une même île, les îles entre elles, et les îles par rapport à la référence mondiale. C'est pourquoi cette réalisation constitue une amélioration significative par rapport au WGS84-RRAF qui, outre ses incohérences de plusieurs centimètres entre les îles, présentait un décalage systématique d'environ 70 cm avec la référence mondiale.

RGAF09 coïncide avec IGS05 à l'époque 2009.0, époque qui se situe vers la fin de la campagne. Les Antilles étant situées en limite de plaques tectoniques, aucun modèle de vitesse n'est applicable.

RGAF09 est une réalisation de l'ITRS via IGS05 ép. 2009.0.

Pendant 10 ans, le RGAF09 a été surveillé par seulement quatre stations permanentes (deux en Martinique, deux en Guadeloupe) et ces stations n'avaient pas un mouvement parfaitement homogène entre elles, les différences engendrées étant de l'ordre du centimètre. Suite à l'officialisation du RGAF09 et l'arrivée d'une quinzaine de nouvelles stations, les coordonnées RGAF09 ont donc été mises à jour pour être rendues homogènes au niveau sub-centimétrique sur l'ensemble de la zone par calcul d'une transformation entre RGAF09 et le repère terrestre international ITRF2014 à l'époque 2009, suivi de l'application de cette transformation appliquée à l'époque 2019.0. Cette mise à jour ne change pas la définition du RGAF09 qui coïncide toujours avec l'IGS05 époque 2009.0.

Pour garantir la rétrocompatibilité pour l'utilisateur, le Service de Géodésie et Métrologie a laissé à dessein en diffusion sur le site les deux versions du logiciel Circé (v3.2 et v5) pour permettre le passage entre les repères locaux et WGS84-RRAF d'une part, et les repères locaux et RGAF09 d'autre part.



*Aperçu des stations IGS participant à la mise en référence de la réalisation RGAF09*

<b>Zone</b>	Antilles
<b>Repère</b>	RGAF09
<b>Description</b>	Repère réalisé lors de la campagne GPS et nivellement de 2008. Il coïncide avec l'ITRS via IGS05 époque 2009.0.
<b>Point fondamental</b>	Phare de la Caravelle (également point DOPPLER TRANSIT et point fixe GPS).
<b>Ellipsoïde</b>	IAG GRS80
<b>Méridien origine</b>	Greenwich
<b>Unités d'angles</b>	DMS
<b>Projection associée</b>	UTM fuseau 20 Nord

## Transformations de coordonnées

L'IGN met à disposition les paramètres de transformation des repères locaux et WGS84-RRAF vers le repère RGAF09. Ce sont les paramètres utilisés dans Circé Antilles Guyane v5.

Concernant le signe des rotations, la BDG de l'IGN utilise la convention de l'IERS, qui consiste à ramener les axes du repère (2) (ou repère d'arrivée) parallèles à ceux du repère (1) (ou repère de départ). Cette convention est celle utilisée dans les programmes CIRCÉ. Par contre, *dans la plupart des systèmes GPS autonomes ou les Systèmes d'Information Géographiques, les signes des rotations doivent être inversés.*

De ce fait, il est conseillé d'utiliser pour ces rotations exprimées selon la convention IERS les symboles  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ , pour les différencier des notations  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ , et  $\varepsilon_z$  qui sont plus couramment utilisées (en sachant que l'IGN a longtemps noté ces rotations avec le symbole  $\varepsilon$  alors que le symbole  $R$  aurait été préférable). La formule de transformation de coordonnées cartésiennes peut alors s'écrire ( $T$  étant le vecteur translation et  $\Delta$  le facteur d'échelle) :

$$X' = T + \Delta \cdot X + R \cdot X \quad \text{avec} \quad R = \begin{pmatrix} 1 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 1 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 1 \end{pmatrix}$$

La formule peut également s'écrire :

$$X' = T + (1 + \Delta) \cdot X + R \cdot X \quad \text{avec} \quad R = \begin{pmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{pmatrix}$$

### Attention !

Dans les formules ci-dessus, les rotations doivent être exprimées en radians.

Ces formules sont des formules simplifiées, qui ne peuvent être utilisées que dans le cas de petites rotations (quelques secondes d'arc).

<b>Zones Guadeloupe, La Désirade, Les Saintes, Marie-Galante</b>		
<b>Transformation</b>	Sainte-Anne → RGAF09	WGS84–RRAF → RGAF09
<b>T<sub>X</sub></b>	-471.060 m	1.2239 m
<b>T<sub>Y</sub></b>	-3.212 m	2.4156 m
<b>T<sub>Z</sub></b>	-305.843 m	-1.7598 m
<b>R<sub>1</sub></b>	0.4752"	0.03800"
<b>R<sub>2</sub></b>	-0.9978"	-0.16101"
<b>R<sub>3</sub></b>	0.2068"	-0.04925"
<b>Δ</b>	2.1353 x 10 <sup>-6</sup>	0.2387 x 10 <sup>-6</sup>

<b>Zones Saint-Martin, Saint-Barthélemy</b>		
<b>Transformation</b>	Fort-Marigot → RGAF09	WGS84–RRAF → RGAF09
<b>T<sub>X</sub></b>	151.613 m	14.6642 m
<b>T<sub>Y</sub></b>	253.832 m	5.2493 m
<b>T<sub>Z</sub></b>	-429.084 m	0.1981 m
<b>R<sub>1</sub></b>	-0.0506"	-0.06838"
<b>R<sub>2</sub></b>	0.0958"	0.09141"
<b>R<sub>3</sub></b>	-0.5974"	-0.58131"
<b>Δ</b>	-0.3971 x 10 <sup>-6</sup>	-0.4067 x 10 <sup>-6</sup>

<b>Zone Martinique</b>		
<b>Transformation</b>	Fort-Desaix → RGAF09	WGS84–RRAF → RGAF09
<b>T<sub>X</sub></b>	127.744 m	0.7696 m
<b>T<sub>Y</sub></b>	547.069 m	-0.8692 m
<b>T<sub>Z</sub></b>	118.359 m	-12.0631 m
<b>R<sub>1</sub></b>	-3.1116"	-0.32511"
<b>R<sub>2</sub></b>	4.9509"	-0.21041"
<b>R<sub>3</sub></b>	-0.8837"	-0.02390"
<b>Δ (facteur d'échelle)</b>	14.1012 x 10 <sup>-6</sup>	0.2829 x 10 <sup>-6</sup>

## Changements de repère avec le logiciel Circé

Concernant le logiciel Circé, les utilisateurs peuvent accéder à deux versions du programme pour les Antilles et la Guyane :

Circé Antilles v3.2

Circé Antilles Guyane v 5

La version 3.2 ne traite pas RGAF09. La version 5 traite RGAF09.

La séparation dans deux logiciels distincts réside surtout dans le fait que les deux instances du logiciel sont basées sur des surfaces de conversion altimétriques différentes.

Il faut également savoir que si l'on souhaite effectuer une transformation avec le repère altimétrique devenu obsolète IGN 1992 LD (La Désirade), il faut utiliser la version 3.2 de Circé Antilles Guyane.

La mise à disposition dès à présent par l'IGN de Circé Antilles Guyane version 5, qui assure le passage entre les repères historiques, le repère réglementaire actuel WGS84 et le RGAF09, permet effectivement de travailler dans le nouveau repère tout en restant conforme au décret actuel.

## Les repères de référence verticale

Le tableau suivant liste les repères de référence verticale des Antilles Françaises de la Base de Données Géodésique du SGM.

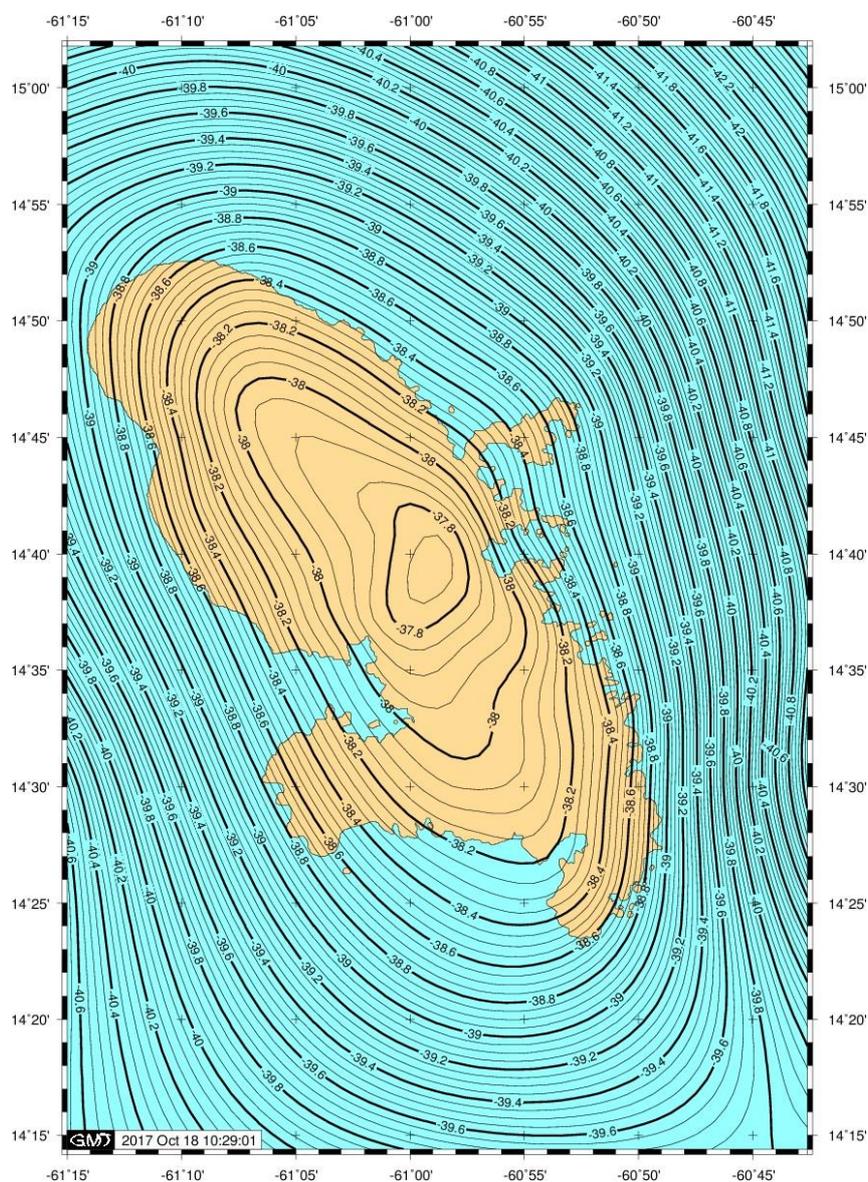
Nom	Point fondamental	RN
IGN 1988 (Grande-Terre et Basse-Terre)	Port de Pointe-à-Pitre	GO - 7
<i>Niveau de référence à 0.629 m au-dessus du zéro des hydrographes (1947-1948) et à 0.46 m au-dessus du zéro des sondes (1984).</i>		
IGN 2008 LD (La Désirade)	Repère IGN O.AB - 20	O.AB - 20
<i>Niveau moyen de la mer au quai du port de pêche de Beauséjour</i>		
IGN 1988 LS (Les Saintes)	Wharf de Terre-de-Haut	O.DE - 5
<i>Niveau de référence à 0.46 m au-dessus du zéro des hydrographes (1984) : moyenne des amplitudes de marée de Pointe-à-Pitre.</i>		
IGN 1988 MG (Marie-Galante)	Port de Grand-Bourg	MO - 1
<i>Niveau de référence à 0.46 m au-dessus du zéro des hydrographes (1987) : moyenne des amplitudes de marée de Pointe-à-Pitre.</i>		
IGN 1988 SM (Saint-Martin)	Eglise de Marigot	AS - 13
<i>Niveau moyen déduit à Fort-Marigot (niveau supérieur -40 à 45 cm) Niveau moyen en accord avec la cote (61,840 m) du pilier géodésique, déterminée au cours de la mission IGN 1949-1950.</i>		
IGN 1988 SB (Saint-Barthélemy)	Port de Gustavia	A.EF - 2
<i>Niveau de référence à 0.201 m au-dessous de la limite supérieure des coquillages, à 0.629 m au-dessus du zéro des hydrographes.</i>		
IGN 1987 (Martinique)	Le Lamentin	N.BC - 2
<i>Niveau de référence à 0.56 m au-dessus du zéro de réduction des sondes (1939).</i>		

## La Martinique : Repère de référence verticale IGN 1987

Type d'altitude : le repère de référence verticale IGN 1987 est de type orthométrique.

Point fondamental : le repère de référence verticale IGN 1987 a pour point fondamental un repère situé sur le socle de la statue de Jeanne d'Arc au Lamentin et dont l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer a été déterminée à l'issue d'observations marégraphiques réalisées à partir de 1939.

Organisation du réseau : le réseau martiniquais de nivellement de précision est subdivisé en quatre réseaux de plus en plus denses dits de 1<sup>er</sup> ordre (réseau primordial), 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, et 4<sup>ème</sup> ordres.



Isolignes du modèle GGM00v2 sur la Martinique

## La Guadeloupe : Repère de référence verticale IGN 1988

Ile(s)	Repère
Grande-Terre et Basse-Terre	IGN 1988
La Désirade	IGN 2008 LD
Les Saintes	IGN 1988 LS
Marie-Galante	IGN 1988 MG
Saint-Martin	IGN 1988 SM
Saint-Barthélemy	IGN 1988 SB

**Type d'altitude :** les repères de référence verticale IGN 1988 (toutes les îles) et IGN 2008 (la Désirade) sont de type orthométrique.

**Point fondamental :** le repère de référence verticale IGN 1988 (relatif à Grande-Terre et Basse-Terre) a pour point fondamental un repère situé sur le bâtiment de la sous-préfecture à Pointe-à-Pitre et dont l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer a été déterminée à l'issue d'observations marégraphiques réalisées à partir de 1947.

**Organisation du réseau :** le réseau guadeloupéen de nivellement de précision est subdivisé en deux réseaux dits de 1<sup>er</sup> ordre (réseau primordial) et 2<sup>ème</sup> ordre. Il couvre toutes les îles. Chaque île a son propre réseau et son propre point fondamental. Seule la Désirade comporte seulement un réseau de deuxième ordre, incluant le point fondamental O.AB - 20.

### Surfaces de conversion altimétrique associée au WGS84-RRAF (hors Désirade)

La surface de conversion altimétrique entre le repère géodésique WGS84-RRAF et un repère altimétrique est une grille appelée "gg\*00.txt" ou "gg\*00\_\*.txt" (Géoïde géométrique '\*' 2000), où \* sont des lettres désignant la zone d'application du repère de référence altimétrique (typiquement une île) et 00 représente l'année du calcul de la grille (2000) ; le tout est éventuellement suivi d'un numéro de version.

Par exemple pour la Martinique, la grille s'appelle "ggm00v2.txt".

Le pas des grilles est de 0.025°. Le système d'expression des coordonnées des nœuds est WGS84- RRAF, et l'interpolateur conseillé est l'interpolateur bilinéaire.

Elles sont utilisées pour transformer une hauteur ellipsoïdale dans le WGS84-RRAF en altitude.

Ces grilles sont issues d'une interpolation sur les points GPS nivelés connus à l'époque. De plus, toutes les grilles ont fait l'objet, lors de leur calcul, de l'utilisation de données EGM96 au large des côtes, ajoutées aux données terrestres mesurées de la Base de Données Géodésique.

Dans certains cas, ce modèle mondial a dû être traduit localement pour éviter une distorsion trop importante et peu réaliste du modèle géométrique. L'interpolation de quelques données dans le modèle mondial EGM96 permet en effet de connaître le décalage entre les deux modèles de géoïde. L'étendu du modèle étant faible dans

le cas des îles de Antilles, ce décalage a été assimilé à une constante prise sur la moyenne des valeurs du décalage. Quelques points issus du modèle EGM96 et corrigés de cette valeur moyenne ont été ajoutés au jeu de données initiales avant le calcul de la grille définitive.

Ces grilles sont peu précises au regard des résultats obtenus de nos jours par la géodésie, car l'établissement des grilles de conversion a été effectué à partir d'un échantillonnage limité de points GPS nivelés.

Au regard du nombre très limité de points GPS nivelés, de la nature spécifique et de l'histoire géodésique » de chaque île, il est assez délicat de quantifier la précision globale des modèles. On peut tout de même raisonnablement penser que la précision de ces grilles est de l'ordre de :

- 20 cm pour Martinique, Grande-Terre et Basse-Terre, Marie Galante, Saint Martin, Saint Barthélemy
- 30 cm à 50 cm pour La Désirade et Les Saintes

Le département de la Guadeloupe, compte tenu des différents repères altimétriques propre à ses dépendances, a plusieurs grilles :

ggg00v2.txt	Grande-Terre et Basse-Terre
ggg00_lsv2.txt	Les Saintes
ggg00_mgv2.txt	Marie-Galante
ggg00_sbv2.txt	Saint-Barthélemy
ggg00_smv2.txt	Saint-Martin

### **Surfaces de conversion altimétrique associée au WGS84-RRAF (île de la Désirade)**

Suite à la création du repère altimétrique IGN 2008 LD, une nouvelle grille a été réalisée par adaptation du quasi-géoïde gravimétrique QGAF2015 (adaptation avec régression linéaire d'ordre 0) sur les points GNSS nivelés disponibles.

RALDW842016.mnt	La Désirade
-----------------	-------------

### **Surfaces de conversion altimétrique associées au RGAF09 (St-Martin et St-Barthélemy)**

La surface de conversion altimétrique entre un repère géodésique et un repère de référence verticale est une grille appelée gg10\_\*.mnt (Géoïde géométrique '\*' 2010) où \* sont des lettres désignant la zone d'application du repère de référence verticale (typiquement une île). Ces lettres sont éventuellement suivies d'un numéro de version.

Le pas des grilles est de 0.0125°. Le système d'expression des coordonnées des nœuds est RGAF09, et l'interpolateur conseillé est l'interpolateur bilinéaire.

Par exemple pour Saint-Martin, la grille s'appelle gg10\_smv2.mnt.

Longitude minimum -63.200° maximum -62.900°

Latitude minimum 18.000° maximum 18.200° Pas en longitude 0.0125° pas en latitude 0.0125°

Système d'expression des coordonnées des nœuds : RGAF09 Utilisation : île de la Martinique

### Interpolateur : bilinéaire

Elles sont utilisées pour transformer une hauteur ellipsoïdale dans le RGAF09 en altitude. Méthode de calcul :

Les points GPS nivelés des îles (traitées séparément les unes des autres) ont des coordonnées RGAF09 ( $\lambda$   $\phi$   $h_e$ ) et des altitudes (H), dont on a déduit les anomalies d'altitude RGAF09 ( $\zeta$  mesuré =  $h_e - H$ ).

On dispose de l'écart en chaque point entre les valeurs d'anomalies d'altitude mesurée et celle que l'on interpole dans le modèle mondial EGM08 :

$$\delta\zeta_i = \zeta_i \text{ mesuré} - \zeta_i \text{ EGM08 (i point GPS nivelé)}$$

Le principe du traitement est de trouver, pour chaque île, une fonction de ces valeurs qui permette d'interpoler un  $\delta\zeta_n$  en chaque nœud de la grille que l'on souhaite créer. Les valeurs aux nœuds en seront déduites par somme des  $\delta\zeta_n$  et des valeurs interpolées et dans EGM08 :

$$\zeta_n = \delta\zeta_n(\delta\zeta_i) + \zeta_n \text{ EGM08 (n nœud de la grille)}$$

Pour les petites îles incluant peu de points mesurés ou mal répartis comme Saint-Martin et Saint-Barthélemy, les écarts sont modélisés par une translation (régression linéaire d'ordre 0).

La validation repose en partie sur un examen visuel des résidus, car il faut repérer les points qui s'écartent des tendances locales tout autant que les points qui ont un fort résidu. Par ailleurs, on privilégie les points mesurés nouveaux.

### Surfaces de conversion altimétrique associées au RGAF09 (Guadeloupe et Martinique)

La surface de conversion altimétrique entre un repère géodésique et un repère altimétrique est une grille appelée RA\*2016.mnt (Référence des Altitudes '\*' 2016) où \* sont des lettres désignant la zone d'application du repère de référence altimétrique (typiquement une île).

Le pas des grilles est de  $0.006^\circ$ . Le système d'expression des coordonnées des nœuds est RGAF09, et l'interpolateur conseillé est l'interpolateur bilinéaire.

Par exemple pour la Martinique, la grille s'appelle RAMART2016.mnt.

Longitude minimum  $-61.300^\circ$  maximum  $-60.724^\circ$

Latitude minimum  $14.298^\circ$  maximum  $15.000^\circ$  Pas en longitude  $0.006^\circ$  pas en latitude  $0.006^\circ$

Système d'expression des coordonnées des nœuds : RGAF09 Utilisation : île de la Martinique

### Interpolateur : bilinéaire

Elles sont utilisées pour transformer une hauteur ellipsoïdale dans le RGAF09 en altitude. Méthode de calcul :

Les points GPS nivelés des îles (traitées séparément les unes des autres) ont des coordonnées RGAF09 ( $\lambda$   $\phi$   $h_e$ ) et des altitudes (H), dont on a déduit les anomalies d'altitude RGAF09 ( $\zeta$  mesuré =  $h_e - H$ ).

On dispose de l'écart en chaque point entre les valeurs d'anomalies d'altitude mesurée et celle que l'on interpole dans le modèle de quasi-géoïde gravimétrique QGAF2015 (ce modèle ne couvre pas Saint-Martin ni Saint-Barthélemy) :

$$\delta\zeta_i = \zeta_i \text{ mesuré} - \zeta_i \text{ QGAF2015 (i point GPS nivelé)}$$

Le principe du traitement est de trouver, pour chaque île, une fonction de ces valeurs qui permette d'interpoler un  $\delta\zeta_n$  en chaque nœud de la grille que l'on souhaite créer. Les valeurs aux nœuds en seront déduites par somme des  $\delta\zeta_n$  et des valeurs interpolées dans QGAF2015 :

$$\zeta_n = \delta\zeta_n(\delta\zeta_i) + \zeta_n \text{ QGAF2015 (n nœud de la grille)}$$

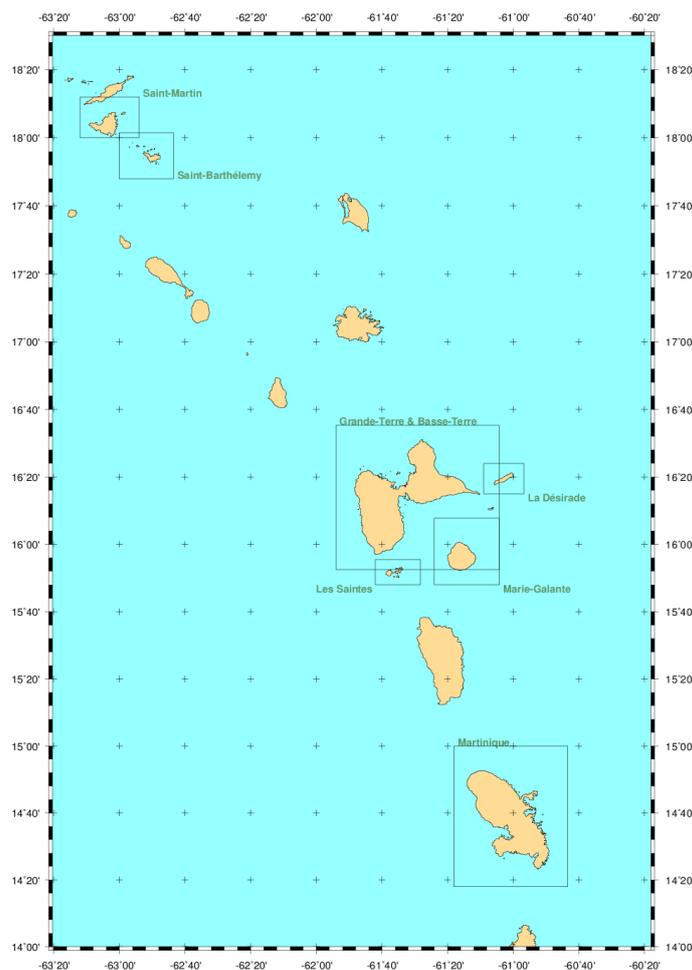
Trois possibilités sont envisagées pour déterminer ces fonctions :

- pour les grandes îles incluant de nombreux points mesurés bien répartis (Grande-Terre & Basse-Terre & Les Saintes d'une part, Martinique d'autre part), les écarts sont modélisés par collocation.
- pour les petites îles incluant suffisamment de points mesurés bien répartis (Marie-Galante), les écarts sont modélisés par un basculement (régression linéaire d'ordre 1).
- pour les petites îles incluant peu de points mesurés ou mal répartis (La Désirade, Les Saintes), les écarts sont modélisés par une translation (régression linéaire d'ordre 0).

La méthode de collocation a été développée au SGM. Il s'agit d'un algorithme de krigeage universel qui inclut une régression linéaire d'ordre 1. De plus, il met en œuvre une méthode de validation optimisée qui prédit la valeur de chaque point de mesure par détermination d'un sous-krigeage qui n'utilise pas le point à contrôler.

La validation repose en partie sur un examen visuel des résidus, car il faut repérer les points qui s'écartent des tendances locales tout autant que les points qui ont un fort résidu. Par ailleurs, on privilégie les points mesurés nouveaux.

À l'issue des calculs, les codes de précision de la conversion altimétrique aux nœuds des grilles vont de « 1 cm à 5 cm » à « 5 cm à 10 cm », voire « 10 cm à 20 cm », sur les terres émergées. Ils valent « supérieur à 1 m » en mer.



*Carte GMT des emprises des grilles de conversion altimétrique*

(Wessel, P. and W. H. F. Smith, Free software helps map and display data, EOS Trans. AGU, 72, 441, 1991)

