

### Altimétrie aux Antilles

Les Antilles disposent historiquement de trois repères de références géodésiques. Actuellement, le repère légal est le RGAF09. Sa mise en œuvre a impliqué une adaptation des grilles de conversions altimétriques utilisables dans le logiciel Circé par exemple. Pour faciliter les travaux des professionnels, et comme mesure d'accompagnement à la mise en place de ces nouvelles références pour la communauté d'utilisateurs, ce document présente la comparaison des surfaces de conversions altimétriques produites par l'IGN sur les Antilles Françaises en 2000, 2010 et 2016.

<b>1 Données existantes</b>	<b>2</b>
1.1 Systèmes géodésiques	2
1.1.1 Réseau de Référence des Antilles Françaises (WGS84-RRAF)	2
1.1.2 Réseau Géodésique des Antilles Françaises 2009 (RGAF09)	2
1.2 Systèmes d'altitudes	2
1.2.1 IGN 1987 (Martinique)	2
1.2.2 Guadeloupe	3
1.2.3 Saint-Martin	4
1.2.4 Saint-Barthélemy	4
1.3 Surfaces de conversions altimétriques	5
1.3.1 Guadeloupe	5
1.3.2 Martinique	6
1.3.3 Saint-Martin	6
1.3.4 Saint-Barthélemy	6
<b>2 Processus de comparaison des grilles</b>	<b>7</b>
2.1 Entre 2000 et 2016	7
2.2 Entre 2010 et 2016	7
<b>3 Résultats</b>	<b>8</b>
3.1 Légende	8
3.2 Guadeloupe	9
3.2.1 Grande-Terre et Basse-Terre	10
3.2.2 Marie-Galante	10
3.2.3 Les Saintes	10
3.2.4 La Désirade	11
3.3 Martinique	12
3.4 Saint-Martin et Saint-Barthélemy	14

# 1 Données existantes

---

## 1.1 Systèmes géodésiques

---

### 1.1.1 Réseau de Référence des Antilles Françaises (WGS84-RRAF)

Ce repère correspond à la détermination d'un canevas GNSS dense, homogène et précis localement, pour chaque département. Pour la Martinique, il a été réalisé sur deux missions successives en 1988 et 1993. Le calcul GNSS s'est fait relativement au point situé au phare de la Caravelle déterminé lors de la campagne scientifique internationale TANGO en 1988. Pour la Guadeloupe, ainsi que ses dépendances proches et lointaines, il a été réalisé en 1991. De même, le calcul GNSS s'est fait relativement au point situé au phare du Moule déterminé également lors de la campagne TANGO. La mise en référence mondiale précise de chaque réseau indépendant est de qualité décimétrique.

### 1.1.2 Réseau Géodésique des Antilles Françaises 2009 (RGAF09)

En 2008, une nouvelle campagne d'observations GNSS et de nivellement a été réalisée. Cette campagne inclut toutes les îles des Antilles Françaises : Martinique, Guadeloupe et dépendances (Les Saintes, Marie-Galante, La Désirade), Saint-Martin et Saint-Barthélemy.

Ces observations donnent naissance au RGAF09 qui est une réalisation du système international de référence terrestre (en anglais International Terrestrial Reference System ou ITRS) via IGS05 (structure de référence de 2005 de l'IGS (International GNSS Service)) époque 2009.0.

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 Antilles (ou RRAF) qui, outre un décalage systématique d'environ 70 cm avec la référence mondiale, présentait des incohérences de plusieurs centimètres entre les îles.

## 1.2 Systèmes d'altitudes

---

### 1.2.1 IGN 1987 (Martinique)

#### Type d'altitude

Le système d'altitude IGN 1987 est de type orthométrique.

#### Point fondamental

Le système d'altitude IGN 1987 a pour point fondamental le repère N.BC - 2 situé sur le socle de la statue de Jeanne d'Arc (point **b** du site géodésique 9721305) 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.

## 1.2.2 Guadeloupe

### 1.2.2.1 Grande-Terre et Basse-Terre

**Système d'altitude :** IGN 1988 (Grande-Terre / Basse-Terre)

**Type d'altitude :** orthométrique

**Point fondamental :** repère GO - 7 (ex AO' - 5, signalé détruit en 2015) 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 fixée à 2,607 m. D'après la fiche d'observatoire de marée de Pointe-à-Pitre utilisée lors de la mission de l'IGN de 1988, l'écart entre le niveau moyen et le zéro hydrographique est égal à 0,46 m.

Les premières observations marégraphiques ont été réalisées par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) entre le 1er juillet 1947 et le 30 juin 1948 au marégraphe de la Pointe Fouillote situé dans la Rade de Pointe-à-Pitre. Le repère fondamental choisi à l'occasion de la campagne de nivellement de 1951 de l'IGN (GO - 10 ex AO' - 5), scellé sur le bureau du chef d'atelier se trouvait à 1,917 m au-dessus du niveau moyen de la mer. Le SHOM a ensuite déterminé l'altitude des repères A, B et C de la fiche d'observatoire marégraphique de Pointe-à-Pitre, dans les années 1978-79, à partir du repère scellé en 1951 sur le transformateur du carénage. En 1988, à la suite de la disparition du repère fondamental de 1951 GO - 10, c'est le repère du bâtiment de la sous-préfecture GO - 7, également scellé en 1951 qui avait été choisi comme repère fondamental.

### 1.2.2.2 La Désirade

**Système d'altitude :** IGN 2008 LD (La Désirade)

**Type d'altitude :** provisoire

**Point fondamental :** en 1987, le SHOM avait implanté un marégraphe et rattaché trois repères de nivellement et trois points naturels. L'IGN n'avait pas implanté de réseau de nivellement sur cette île lors de la campagne de 1988.

En l'absence de la définition d'un nouveau système altimétrique en 1988, l'IGN avait défini en 1992 le système altimétrique IGN 1992 LD (La Désirade) dont le point fondamental était le repère A du SHOM situé dans le port de Grande-Anse et scellé dans la bordure du terre-plein à l'enracinement de la jetée ouest. Son altitude a été définie à 0,792 m au-dessus du niveau moyen de la mer. L'écart entre le niveau moyen et le zéro hydrographique est égal à 0,629 m.

Lors de la mission de maintenance des réseaux matérialisés de géodésie et de nivellement de 2008 de l'IGN, il a été constaté que le cyclone Hugo de 1989 avait entièrement détruit le port et qu'il avait été reconstruit. Les repères qui s'y trouvaient ont été détruits ainsi que le marégraphe. Le repère situé sur la gendarmerie toujours en place est également resté introuvable suite à des travaux.

En 2008, un nouveau repère (de matricule O.AB - 20a) a été scellé sur le quai du port de pêche de Beauséjour afin de déterminer le nouveau système altimétrique IGN 2008 LD (La Désirade). En l'absence d'un marégraphe, l'IGN a mesuré avec l'assistance technique du SHOM la hauteur de la mer par rapport au repère O.AB - 20a entre le 5 et le 6 décembre 2008. Un niveau moyen de la mer a été défini à Beauséjour et a permis de définir l'altitude provisoire du repère O.AB - 20a à 0,500 m par rapport à celui-ci.

Le point fondamental de matricule O.AB - 20 a été ensuite scellé sur la coopérative du port de pêche de Beauséjour. Son altitude de 1,717 m a été déterminée à partir du repère O.AB - 20a.

#### 1.2.2.3 Les Saintes

Système d'altitude : IGN 1988 LS (Les Saintes)

Type d'altitude : orthométrique

Point fondamental : repère O.DE - 5 situé sur la Maison bateau (Repère A de la fiche d'observatoire marégraphique des Saintes du SHOM). Son altitude orthométrique au-dessus du niveau moyen de la mer a été fixée à 1,441 m. À défaut d'information sur la fiche d'observatoire de marée, l'écart entre le niveau moyen et le zéro hydrographique retenu est celui de Pointe à Pitre soit 0,46 m.

#### 1.2.2.4 Marie-Galante

Système d'altitude : IGN 1988 MG (Marie-Galante)

Type d'altitude : orthométrique

Point fondamental : repère MO - 1 (repère B de la fiche d'observatoire de marée du marégraphe de Marie-Galante) implanté à l'extrémité nord-ouest de la jetée de Grand-Bourg. Il a été signalé détruit en 2008. Son altitude orthométrique a été fixée à 0,832 m au-dessus du niveau moyen de la mer. À défaut d'information sur la fiche d'observatoire de marée, l'écart entre le niveau moyen et le zéro hydrographique retenu est celui de Pointe à Pitre soit 0,46 m.

### 1.2.3 Saint-Martin

Système d'altitude : IGN 1988 SM (Saint-Martin)

Type d'altitude : orthométrique

Point fondamental : repère AS - 13. Son altitude orthométrique a été fixée 6,990 m par rapport au niveau moyen de la mer au Fort-Marigot.

Le point fondamental AS - 13 a été déterminé à partir d'un pilier géodésique IGN. Il s'agit du repère de nivellement AS - 13-I signalé détruit en 2008 qui est également le point a du site géodésique SAINT-MARTIN I. Son altitude avait été calculée lors de la campagne de géodésie de 1949-1950.

La limite supérieure des coquillages à Fort-Marigot a également été rattachée à l'église de Marigot. Son altitude est de 0,201 m.

### 1.2.4 Saint-Barthélemy

Système d'altitude : IGN 1988 SB (Saint-Barthélemy)

Type d'altitude : orthométrique

Point fondamental : repère A.EF - 2 situé à proximité de la maison du S.N.S, sur le mur de soutènement ouest de la glissière. Son altitude par rapport au niveau moyen de la mer au port de Gustavia vaut 0,621 m.

En l'absence d'observations marégraphiques en 1988, le niveau moyen des hautes-eaux a été déterminé par rapport à la limite supérieure de présence des coquillages dans le port. Cette limite coquillage existe également à Saint-Martin : elle a été rattachée à l'église de Marigot. Ces deux îles étant distantes de 30 km environ, on peut supposer que les deux limites coquillages sont quasiment à la même altitude.

### 1.3 Surfaces de conversions altimétriques

Les différentes surfaces de conversions altimétriques ont été produites sur les Antilles à la suite de différents calculs/missions de géodésie. Elles peuvent se regrouper en 3 productions distinctes :

- **Grilles de la famille GG00 (2000)**

Il s'agit des géoïdes géométriques produit par adaptation du modèle EGM96 aux points GNSS nivelés, les nœuds de ces grilles étant exprimés dans le système géodésique WGS84 propre à chacun des territoires (Guadeloupe, Martinique et Saint-Martin/Saint-Barthélemy).

- **Grilles de la famille GG10 (2010)**

Suite à la mise à jour des référentiels géodésiques sur les Antilles, les grilles précédentes ont été recalculées par adaptation du modèle EGM08 aux points GNSS nivelés, les nœuds de ces grilles étant exprimés dans le nouveau repère de référence géodésique des Antilles Françaises RGAF09.

- **Grilles de la famille RA...2016 (2016)**

Il s'agit des surfaces de conversion altimétriques réalisées par adaptation du quasi-géoïde gravimétrique QGAF2015 aux points GNSS nivelés, les nœuds de ces grilles étant toujours exprimés dans le repère de référence géodésique des Antilles Françaises RGAF09.

#### 1.3.1 Guadeloupe

En Guadeloupe les différentes surfaces de conversion altimétriques produites par l'IGN sont :

- **Grande-Terre et Basse-Terre**

*ggg00v2<sup>1</sup>.mnt* : Géoïde géométrique v2 (EGM96 + points GNSS nivelés)

*gg10\_gtbt.mnt* : Géoïde géométrique (EGM2008 + points GNSS nivelés)

*RAGTBT2016.mnt* : Quasi-géoïde gravimétrique (QGAF2015 + points GNSS nivelés)

- **La Désirade**

*ggg00\_ld.mnt* : Géoïde géométrique v2 (EGM96 + points GNSS nivelés)

*gg10\_ld.mnt* : Géoïde géométrique (EGM2008 + points GNSS nivelés)

*RALD2016.mnt* : Quasi-géoïde gravimétrique (QGAF2015 + points GNSS nivelés)

- **Les Saintes**

*ggg00\_lsv2.mnt* : Géoïde géométrique v2 (EGM96 + points GNSS nivelés)

*gg10\_ls.mnt* : Géoïde géométrique (EGM2008 + points GNSS nivelés)

*RALS2016.mnt* : Quasi-géoïde gravimétrique (QGAF2015 + points GNSS nivelés)

- **Marie-Galante**

*ggg00\_mgv2.mnt* : Géoïde géométrique v2 (EGM96 + points GNSS nivelés)

*gg10\_mg.mnt* : Géoïde géométrique (EGM2008 + points GNSS nivelés)

*RAMG2016.mnt* : Quasi-géoïde gravimétrique (QGAF2015 + points GNSS nivelés)

---

<sup>1</sup> Les versions 2 correspondent majoritairement à des changements d'emprises

### 1.3.2 Martinique

En Martinique les trois surfaces de conversion altimétriques produites par l'IGN sont :

*ggm00v2.mnt* : Géoïde géométrique v2 pour la Martinique (EGM96 + points GNSS nivelés)

*gg10\_mart.mnt* : Géoïde géométrique pour la Martinique (EGM2008 + points GNSS nivelés)

*RAMART2016.mnt* : Quasi-géoïde gravimétrique pour la Martinique (QGAF2015 + points GNSS nivelés)

### 1.3.3 Saint-Martin

A Saint-Martin les deux surfaces de conversion altimétriques produites par l'IGN sont :

*ggg00\_smv2.mnt* : Géoïde géométrique v2 pour Saint-Martin (EGM96 + points GNSS nivelés)

*gg10\_smv2.mnt* : Géoïde géométrique pour Saint-Martin (EGM2008 + points GNSS nivelés)

Une nouvelle grille de conversion altimétrique est en cours d'élaboration à l'IGN pour Saint-Martin, la diffusion est prévue en 2023.

### 1.3.4 Saint-Barthélemy

A Saint-Barthélemy les 2 surfaces de conversion altimétriques produites par l'IGN sont :

*ggg00\_sbv2.mnt* : Géoïde géométrique v2 pour Saint-Barthélemy (EGM96 + points GNSS nivelés)

*gg10\_sbv2.mnt* : Géoïde géométrique pour Saint-Barthélemy (EGM2008 + points GNSS nivelés)

Une nouvelle grille de conversion altimétrique est en cours d'élaboration à l'IGN pour Saint-Barthélemy, la diffusion est prévue en 2023.

## 2 Processus de comparaison des grilles

### 2.1 Entre 2000 et 2016

Le processus a consisté à réaliser, pour un semis de points régulièrement répartis, une comparaison entre des altitudes calculées à partir de coordonnées :

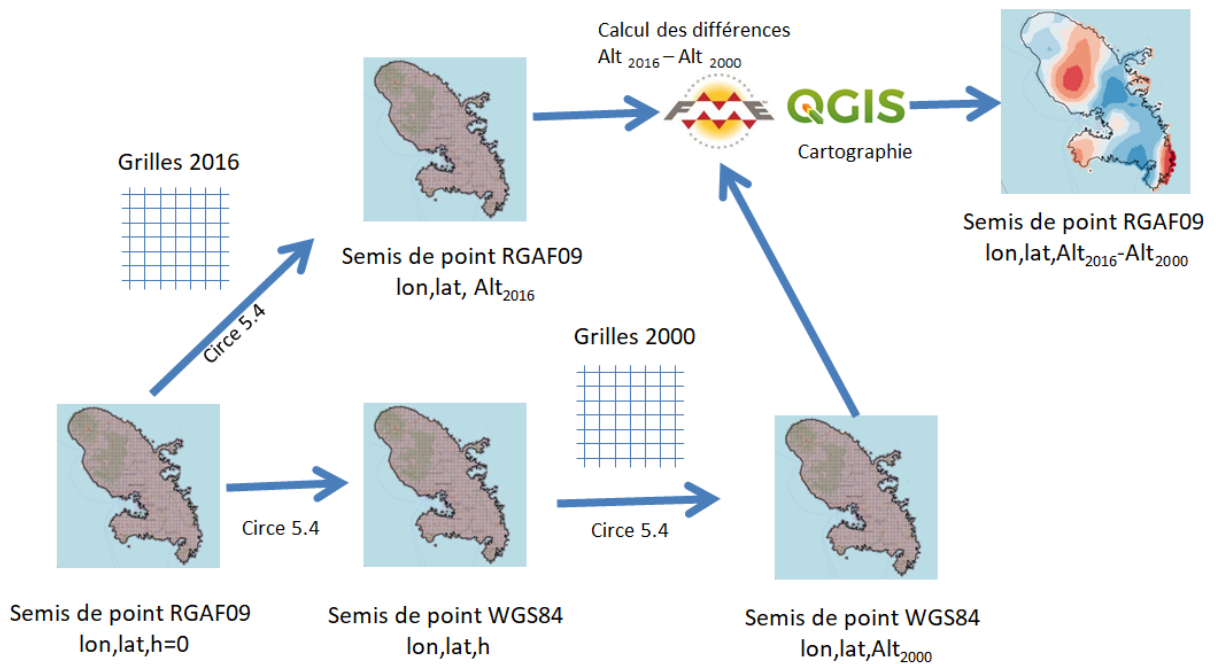
- exprimées dans le repère de référence RGAF09 (hauteur =0) et des grilles 2016
- de ce même point transformées dans le repère de référence WGS84-RRAF et des grilles 2000

### 2.2 Entre 2010 et 2016

Le processus a consisté à réaliser, pour un semis de points régulièrement répartis, une comparaison entre des altitudes calculées à partir de coordonnées :

- exprimées dans le système RGAF09 (hauteur =0) et des grilles 2016
- RGAF09 (hauteur =0) de ce même point et des grilles 2010

#### Processus (cas de la Martinique)



## 3 Résultats

---

### 3.1 Légende

---

La légende est commune à toutes les cartes. Il s'agit de l'écart en m entre les valeurs d'altitudes calculées avec la grille de géoïde considérée (2000 ou 2010) et la dernière version de la grille (2016) :

$$dAlt = Alt_{2016} - Alt_{(2000 \text{ ou } 2010)}$$

Les points géodésiques (Points GNSS nivelés) correspondent aux points géodésiques conservés dans l'estimation de la surface de conversion de 2016.

#### Différence d'altitudes entre les deux grilles (mètres)

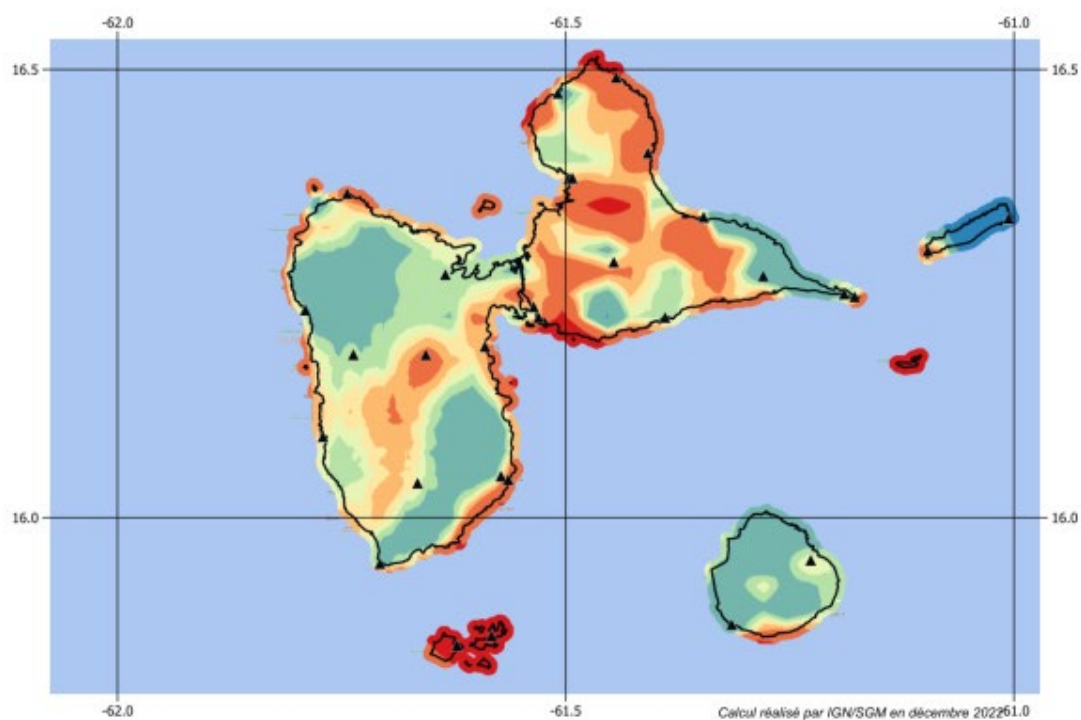
▲ Points GNSS nivelés

- -1.50 - -0.20
- -0.20 - -0.05
- -0.05 - -0.02
- -0.02 - 0.00
- 0.00 - 0.02
- 0.02 - 0.05
- 0.05 - 0.20
- 0.20 - 1.50

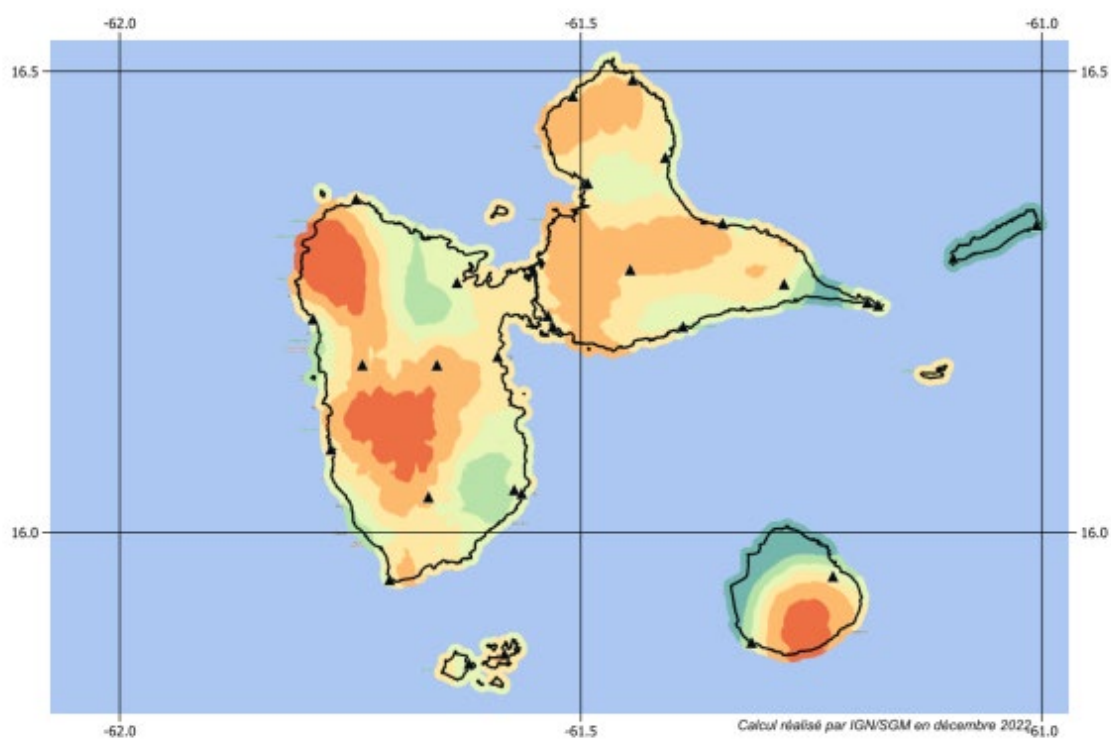


## 3.2 Guadeloupe

### Écarts en mètres entre les valeurs d'altitudes calculées avec les grilles de géoïde 2016 et 2000



### Écart en mètres entre les valeurs d'altitudes calculées avec les grilles de géoïde 2016 et 2010



### 3.2.1 Grande-Terre et Basse-Terre

Pour la grille GG10, les écarts maximaux se trouvent sur le volcan de la Soufrière et sur les sommets du nord-ouest de Basse-Terre. Ils atteignent 9 centimètres sur ces zones montagneuses.

Une autre zone où les écarts dépassent 5 cm se situe à l'extrême est de Grande Terre.

<i>en mètres</i>	Ecart RAGTBT2016 à GGG00V2	Ecart RAGTBT2016 à GG10_GTBT
<b>Min de dAlt</b>	- 0.913	- 0.255
<b>Max de dAlt</b>	+ 0.213	+ 0.079
<b>Écart-type de dAlt</b>	+ 0.089	+ 0.061
<b>0 &lt; écart &lt; 1 cm</b>	10%	25%
<b>1 &lt; écart &lt; 2 cm</b>	11%	23%
<b>2 &lt; écart &lt; 5 cm</b>	31%	34%
<b>5 cm &lt; écart</b>	46%	19%

### 3.2.2 Marie-Galante

Pour la grille GG10, les écarts maximaux se trouvent dans la partie nord de l'île, où ils atteignent 20 centimètres. Une grande incertitude demeure quant à l'exactitude de la grille de conversion altimétrique sur cette île, en raison de la mauvaise répartition des points GNSS nivelés.

<i>en mètres</i>	Ecart RAMG2016 à GGG00MGV2	Ecart RAMG2016 à GG10_MG
<b>Min de dAlt</b>	- 0.218	- 0.072
<b>Max de dAlt</b>	+ 0.179	+ 0.192
<b>Écart-type de dAlt</b>	+ 0.054	+ 0.063
<b>0 &lt; écart &lt; 1 cm</b>	3%	11%
<b>1 &lt; écart &lt; 2 cm</b>	5%	11%
<b>2 &lt; écart &lt; 5 cm</b>	22%	32%
<b>5 cm &lt; écart</b>	70%	45%

### 3.2.3 Les Saintes

Pour la grille GG10, l'ordre de grandeur des écarts est de 2 cm environ sur les deux îles de l'archipel. Seule la réalisation de points GNSS nivelés supplémentaires permettra d'améliorer le modèle de conversion altimétrique sur cette zone.

<i>en mètres</i>	Ecart RALS2016 à GGG00LSV2	Ecart RALS2016 à GG10_LS
<b>Min de dAlt</b>	- 0.473	- 0.028
<b>Max de dAlt</b>	- 0.105	+ 0.016
<b>Écart-type de dAlt</b>	+ 0.102	+ 0.009
<b>0 &lt; écart &lt; 1 cm</b>	0%	71%
<b>1 &lt; écart &lt; 2 cm</b>	0%	24%
<b>2 &lt; écart &lt; 5 cm</b>	0%	6%
<b>5 cm &lt; écart</b>	100%	0%

### 3.2.4 La Désirade

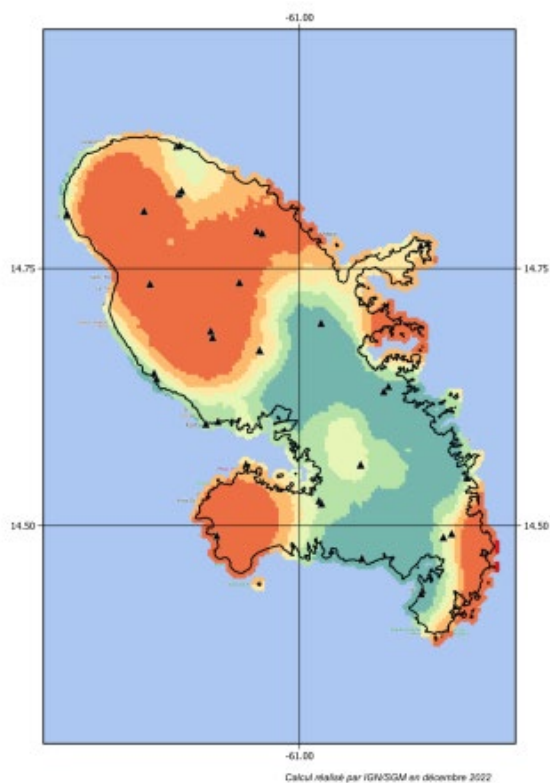
Pour la grille GG10, les écarts sont de 8 cm à 13 cm sur l'ensemble de l'île. Les calculs récents ont donc permis de prendre en compte un décalage d'une dizaine de centimètres non identifié dans l'adaptation de 2010.

<i>en mètres</i>	Ecart RALD2016 à GGG00LDV2	Ecart RALD2016 à GG10_LD
<b>Min de dAlt</b>	- 0.086	+ 0.076
<b>Max de dAlt</b>	+ 1.121	+ 0.130
<b>Écart-type de dAlt</b>	+ 0.409	+ 0.011
<b>0 &lt; écart &lt; 1 cm</b>	2%	0%
<b>1 &lt; écart &lt; 2 cm</b>	3%	0%
<b>2 &lt; écart &lt; 5 cm</b>	11%	0%
<b>5 cm &lt; écart</b>	84%	100%

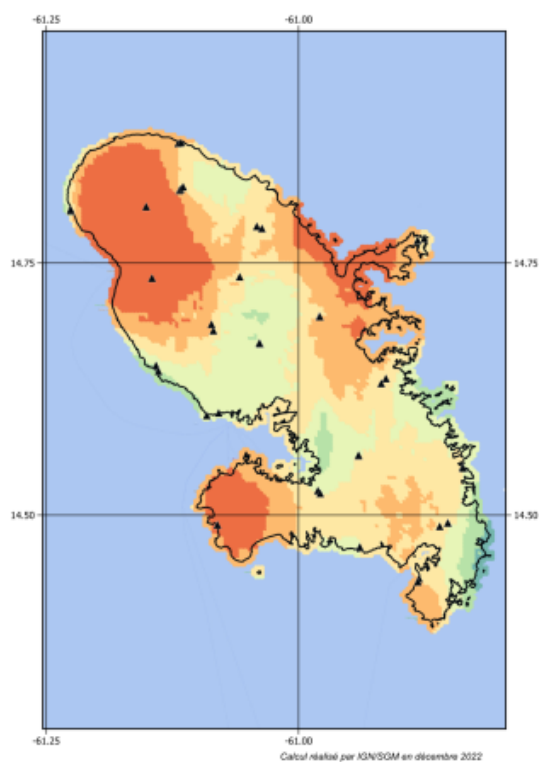
### 3.3 Martinique

---

#### Écarts en mètres entre les valeurs d'altitudes calculées avec les grilles de géoïde 2016 et 2000



#### Écart en mètres entre les valeurs d'altitudes calculées avec les grilles de géoïde 2016 et 2010

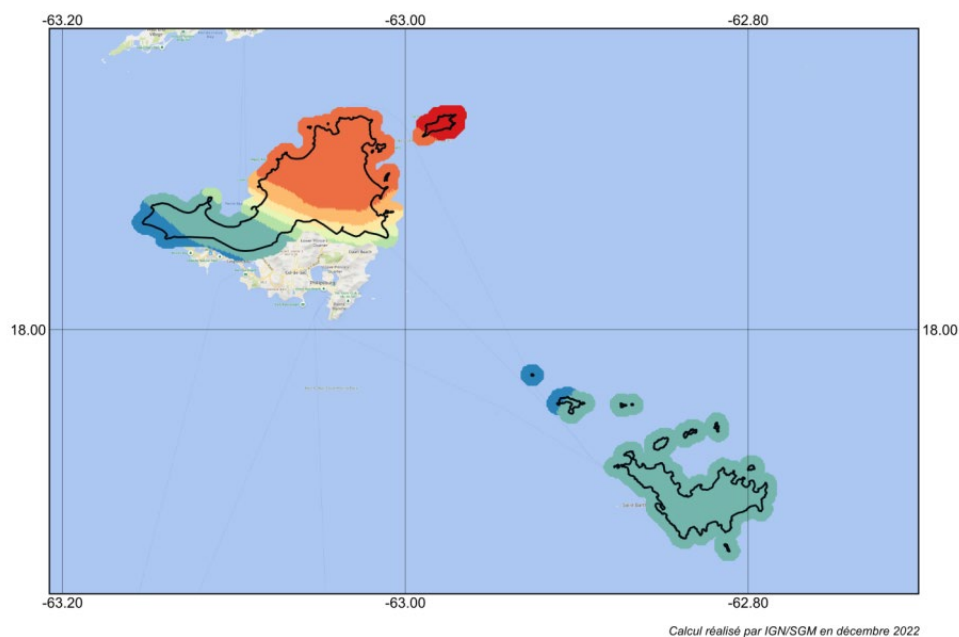


Pour la grille GG10, les écarts maximaux se trouvent sur la montagne Pelée. Ils atteignent 19 centimètres sur ce volcan.

<i>en mètres</i>	Ecarts RAMART2016 à GGM00V2	Ecarts RAMART2016 à GG10MART
<b>Min de dAlt</b>	- 0.214	- 0.188
<b>Max de dAlt</b>	+ 0.146	+ 0.073
<b>Écart-type de dAlt</b>	+ 0.070	+ 0.039
<b>0 &lt; écart &lt; 1 cm</b>	8%	28%
<b>1 &lt; écart &lt; 2 cm</b>	10%	22%
<b>2 &lt; écart &lt; 5 cm</b>	26%	28%
<b>5 cm &lt; écart</b>	56%	22%

### 3.4 Saint-Martin et Saint-Barthélemy

#### Écarts en mètres entre les valeurs d'altitudes calculées avec les grilles de géoïde 2016 et 2000



<i>en mètres</i>	Écarts GG10_SMV2 à GGG00_SMV2	Écarts GG10_SBV2 à GGG00_SBV2
<b>Min de dAlt</b>	- 0.304	+0.069
<b>Max de dAlt</b>	+ 0.304	+ 0.264
<b>Écart-type de dAlt</b>	+ 0.124	+ 0.032
<b>0 &lt; écart &lt; 1 cm</b>	5%	0%
<b>1 &lt; écart &lt; 2 cm</b>	6%	0%
<b>2 &lt; écart &lt; 5 cm</b>	14%	0%
<b>5 cm &lt; écart</b>	75%	100%