



59019

# Etat des lieux du suivi des réseaux géodésiques dans les cirques de La Réunion

Rapport final

BRGM/RP-59019-FR  
Mars 2011

PO FEDER 2007-2013 - Mesure 3-20  
Soutenir la Recherche et Développement  
sur les phénomènes de risque naturel



**Module 2** - Détection et suivi des mouvements de terrain de grande ampleur

## MvTerre 2

*Détection, suivi et modélisation des Mouvements de Terrain de grande ampleur dans les cirques de La Réunion*



3 5000 00091120 5



# Etat des lieux du suivi des réseaux géodésiques dans les cirques de La Réunion

Rapport final

**BRGM/RP-59019-FR**

Mars 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de recherche du BRGM 2009 PDR09REU01

**B. BARBIER, B. AUNAY**

**Vérificateur :**

Nom : Thomas DEWEZ

Date : 06/12/2010

Original Signé

**Approbateur :**

Nom : Jean-Louis NEDELLEC

Date : 15/02/2011

Original signé

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,  
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

**Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.**

**Mots clés** : Ile de La Réunion, mouvements de terrain, glissement, GPS, GNSS, réseau géodésique, risques naturels, bornes géodésiques, cirques, Cilaos, Mafate, Salazie

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :  
Barbier B., Aunay B. (2011) – Etat des lieux du suivi des bornes géodésiques dans les cirques du massif du Piton des Neiges – Rapport BRGM/RP-59019-FR, 147 p.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Dans le cadre de la mesure 3-20 "Soutenir la Recherche et Développement sur les phénomènes de risque naturel", MvTerre-2 est un projet de recherche cofinancé par le PO FEDER 2007-2013, le FIDOM, la Région Réunion et le BRGM.

L'île de La Réunion se singularise par la coexistence de plusieurs paramètres majeurs de prédisposition aux mouvements de terrains de grande ampleur (supérieure au million de m<sup>3</sup>) : (i) relief très marqué avec un point culminant à 3 069 m, des escarpements exceptionnels pouvant atteindre 1 500 m de dénivelé pour une pente moyenne excédant 70°, des vallées et des cirques naturels très encaissés ; (ii) géologie jeune avec un édifice volcanique s'étant développé il y a moins de 3 millions d'années ; (iii) climat tropical humide, la Réunion détenant tous les records mondiaux de précipitation entre 12 heures (1170 mm) et 15 jours (6083 mm).

Le projet MvTerre-2 s'organise autour de trois objectifs principaux :

- > **M1 - Analyse des paramètres géomorphologiques de prédisposition.** Il s'agit d'établir les relations entre la géologie, le relief, l'hydrologie, l'hydrogéologie et les mouvements de grande ampleur. La finalité est d'affiner les paramètres de prédisposition géomorphologiques guidant le développement et la poursuite des mouvements de grande ampleur afin de hiérarchiser l'aléa lié aux mouvements de grande ampleur dans les cirques.
- > **M2 - La poursuite de la détection et du suivi des mouvements de terrain de grande ampleur** vise à compléter l'instrumentation et le suivi des glissements de terrain (GPS fixe, réseau géodésique, débit des sources, piézométrie, méthodes spatiales...).
- > **M3 - L'étude et la modélisation du comportement des mouvements de grande ampleur.** Il s'agit d'analyser l'ensemble des données acquises dans les autres modules du projet. La finalité est de réaliser un modèle numérique de comportement sur le site de Grand-Ilet, visant à simuler les comportements réellement observés. Plusieurs approches de modélisation seront mises en œuvre. Le principal intérêt de ce type de modèle est de pouvoir ensuite faire varier les paramètres d'entrée (pluviométrie principalement, mais aussi paramètres de résistance au cisaillement des matériaux ou érosion des terrains en pied de glissement, etc.) afin d'examiner les conséquences en matière de circulation des eaux souterraines, de déplacement ou de stabilité. Des tendances pourront ainsi être dégagées, celles-ci pouvant ultérieurement servir de base pour des projets opérationnels d'aménagement ou de surveillance.

Ce premier rapport MvTerre-2 (module M2) s'inscrit dans la continuité du rapport BRGM RP-56699-FR (octobre 2008 - MvTerre-1) en faisant le point sur les adaptations qui ont été apportées aux différents réseaux géodésiques mis en place dans les cirques de la Réunion.

Deux réseaux distincts doivent être différenciés. Il existe d'une part un réseau de bornes géodésiques réparties sur les 3 cirques de la Réunion ; l'installation de ces bornes s'est répartie entre 2003 et 2010. On entend ici par « bornes » tout élément permanent et fixé dans le sol (bornes en béton, spits, repères en laitons...).

Le réseau de bornes géodésiques comprend à ce jour 160 repères valides répartis comme suit : 36 dans le cirque de Cilaos, 24 dans le cirque de Mafate et 100 dans le cirque de Salazie. Les deux dernières campagnes de mesures générales ont été effectuées entre le 7 janvier et le 22 février 2010 et entre le 7 juillet et le 13 août 2010, elles font suite à celle d'août 2003 et de septembre 2007.

Les principales conclusions des campagnes de mesure de l'année 2010 sont les suivantes :

- Cilaos : Globalement il n'y pas de forts déplacements sur le cirque (déplacements inférieurs à 7 cm/an en altimétrie et à 3 cm/an en planimétrie). A noter que dans la zone la plus mouvementée (route forestière de Bras Sec), deux bornes ont disparu, elles seront remplacées.
- Mafate : Les deux premières campagnes (2003 et 2007) avaient révélées peu de mouvements significatifs. Les campagnes de 2010 confirment cette « stabilité » du cirque.
- Salazie : En ce qui concerne le cirque de Salazie, on constate globalement un ralentissement des déplacements annuels pour la période 2007/2010 par rapport à 2003/2007. Celui-ci est très marqué pour le glissement d'Hell-Bourg, il reste perceptible sur Grand Ilet mais est moins prononcé. En effet sur Hell-Bourg, le plus fort déplacement enregistré passe de 169 cm/an (entre 2003 et 2007) à 129 cm/an (entre 2007 et 2010). Sur Grand-Ilet, au niveau de la zone la plus active, le déplacement passe de 57 cm/an à 52 cm/an pour les mêmes périodes.

D'autre part un réseau de stations GPS permanentes a été déployé uniquement dans le cirque de Salazie sur les zones où les mouvements de terrain sont les plus importants. Ce réseau a été considérablement densifié avec l'acquisition de 7 nouveaux appareils GPS. Ainsi les mouvements de terrains de 10 sites sont désormais suivis en permanence depuis le 23 Avril 2010 à une fréquence d'acquisition quotidienne (7 nouveaux dispositifs et 3 anciens).

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Réseau de bornes géodésiques.....</b>	<b>11</b>
2.1. PRINCIPE DU SUIVI.....	11
2.1.1. Matériel utilisé .....	11
2.1.2. Campagne de mesure.....	14
2.1.3. Traitement des données.....	15
2.1.4. Base de donnée.....	16
2.1.5. Méthodologie exploratoire .....	16
2.2. RESEAU DU CIRQUE DE CILAOS.....	18
2.2.1. Etat des lieux du dispositif.....	18
2.2.2. Bilan des mouvements .....	21
2.2.3. Perspectives.....	26
2.3. RESEAU DU CIRQUE DE MAFATE .....	27
2.3.1. Etat des lieux du dispositif.....	27
2.3.2. Bilan des mouvements.....	30
2.3.3. Perspectives.....	36
2.4. RESEAU DU CIRQUE DE SALAZIE .....	37
2.4.1. Etat des lieux du dispositif.....	37
2.4.2. Bilan des mouvements .....	46
2.4.3. Perspectives.....	55
2.5. SYNTHESE.....	61
<b>3. Densification du réseau de GPS permanents .....</b>	<b>64</b>
3.1. DESCRIPTION DU NOUVEAU MATERIEL.....	64
3.2. BILAN SUR LES DISPOSITIFS MVTERRE-1 .....	65
3.2.1. Station référence du réservoir de Mare à Vieille Place .....	65
3.2.2. Station de Mare à Poule d'Eau (Viraye).....	65
3.2.3. Station de Grand Ilet Eglise (GIE) .....	65
3.3. DENSIFICATION DU RESEAU .....	65
3.3.1. Grand Ilet Abattoir (GIA).....	65

3.3.2. Grand Ilet Nord (GIN) .....	66
3.3.3. Hell Bourg (HB) .....	66
3.3.4. Ilet A Vidot (IAV).....	67
3.3.5. Mare A Poule d'Eau Ecole (MAPE) .....	67
3.4. REDEPLOIEMENT DE L'ANCIEN MATERIEL .....	68
3.4.1. Fond De Rond Point (FDRP) .....	68
3.4.2. Mare A Goyave (MAG) .....	68
3.4.3. Mathurin (MAT) .....	69
3.5. BILAN DU RESEAU .....	70
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>73</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 - Ile de la Réunion et antennes du réseau Lél@ .....	11
Illustration 2 - Bornes géodésiques IGN .....	12
Illustration 3 - Borne géodésique MvTerre .....	13
Illustration 4 - Repère géodésique en Laiton .....	13
Illustration 5 – Spit.....	13
Illustration 6 - Carte morphologique des criques de la Réunion (Humbert et al., 1981).....	17
Illustration 7 - Réseau géodésique actuel du cirque de Cilaos (nouveaux éléments en bleu) .....	20
Illustration 8 - Comparaison des déplacements 2003/2007 et 2007/2010 .....	22
Illustration 9 - Déplacement planimétrique annuel des bornes de Cilaos (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010) .....	24
Illustration 10 - Déplacement vertical annuel des bornes de Cilaos (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010) .....	25
Illustration 11 - Réseau géodésique actuel du cirque de Mafate (nouvelles bornes en bleu) .....	29
Illustration 12 - Comparaison des déplacements 2003/2007 et 2007/2010 .....	31
Illustration 13 - Déplacement planimétrique annuel des bornes de Mafate (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010) .....	34
Illustration 14 - Déplacement vertical annuel des bornes de Mafate (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010) .....	35
Illustration 15 - Nouveaux éléments (en bleu) - secteur Grand Ilet .....	38
Illustration 16 - Nouveaux éléments (bleu) - secteur Béliér .....	39
Illustration 17 - Nouveaux éléments (en bleu) - secteur Mare A Goyave .....	40

Illustration 18 - Nouveaux éléments (en bleu) - secteur Hell Bourg / Ilet à Vidot .....	41
Illustration 19 - Descriptif des bornes du cirque de Salazie .....	44
Illustration 20 - Réseau géodésique actuel du cirque de Salazie (nouveaux éléments en bleu) .....	45
Illustration 21 - Comparaison des déplacements pour 2003/2007 et 2007/2010 .....	49
Illustration 22 - Comparaison des déplacements pour 2003/2007 et 2007/2010 (Grand Ilet) .....	50
Illustration 23 – Analyse vitesse planimétrique/position du glissement de Grand Ilet .....	51
Illustration 24 - Comparaison des déplacements pour 2003/2007 et 2007/2010 (Hell Bourg).....	52
Illustration 25 - Analyse vitesse/position du glissement d'Ilet à Vidot.....	54
Illustration 26 - Déplacement planimétrique annuel des bornes de Salazie (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010) .....	56
Illustration 27 - Déplacement vertical annuel des bornes de Salazie (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010) .....	57
Illustration 28 - Bornes disparues du cirque de Salazie (croix rouges) .....	58
Illustration 29 - Cirque de Cilaos .....	61
Illustration 30 - Cirque de Mafate (sans les bornes du PNR) .....	62
Illustration 31 - Cirque de Salazie .....	63
Illustration 32 – Bilan des nouveaux repères installés dans le cadre du projet MvTerre-2 .....	63
Illustration 33 - GPS d'Hell Bourg .....	64
Illustration 34 - Antenne GPS de GIA .....	66
Illustration 35 - Antenne GPS de GIN .....	66
Illustration 36 - Antenne GPS de HB .....	67
Illustration 37 - Antenne GPS de IAV.....	67
Illustration 38 - Antenne GPS de MAPE .....	68
Illustration 39 - Antenne GPS de FDRP.....	68
Illustration 40 - Antenne GPS de MAG .....	69
Illustration 41 - Antenne GPS de MAT.....	69
Illustration 42 - Réseau d'antennes GPS permanentes de Salazie .....	71

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Descriptif des bornes du cirque de Cilaos .....	19
Tableau 2 - Mouvements des bornes du cirque de Cilaos .....	21
Tableau 3 - Descriptif des bornes du cirque de Mafate .....	28
Tableau 4 - Mouvements des bornes du cirque de Mafate .....	30

Tableau 5 - Mouvements des bornes du cirque de Salazie.....	48
---	----

## Liste des annexes

Annexe 1 Système GPS 1200 de Leica.....	75
Annexe 2 Le réseau d'antennes GPS permanentes Lél@.....	79
Annexe 3 Coordonnées des bornes du réseau géodésique.....	82
Annexe 4 Convention entre les particuliers hébergeant un dispositif GPS permanent et le BRGM.....	88
Annexe 5 Cahier des charges de l'appel d'offre pour l'acquisition des GPS mobiles et permanents.....	94
Annexe 6 Réponse technique de l'entreprise LEICA à l'appel d'offre pour les dispositifs GPS permanents et mobiles.....	104
Annexe 7.....	115
Cahier des charges pour la construction des nouveaux éléments géodésiques (bornes et repères en laiton).....	115
Annexe 8.....	147
Liste des livrables du projet MvTerre-1.....	147

# 1. Introduction

La Réunion est une île sujette à de nombreux risques naturels tels que cyclones, pluies, crues, inondations, éboulements, glissements de terrain, coulées de lave... Le projet de recherche MvTerre-2, dans la continuité du projet MvTerre-1 (annexe 8), se concentre sur les mouvements de terrains de grande ampleur, et notamment la caractérisation du champ de déformation des glissements de terrain. Le domaine d'étude où sont présents de tels phénomènes sont les trois cirques de la Réunion, à savoir Cilaos, Mafate et Salazie.

Lors du projet MvTerre-1, deux types de dispositifs avaient été mis en place pour mesurer et comprendre ces mouvements : un réseau de bornes géodésiques et un réseau d'antennes GPS permanentes. Ils ont confirmé la présence d'importants glissements de terrain, notamment dans le cirque de Salazie.

Cette première approche a permis de préciser et de corriger les connaissances sur ces mouvements (vitesses de déplacement, secteurs affectés). Cependant les données se sont avérées incomplètes et insuffisantes pour pouvoir approfondir l'analyse des glissements. Tout d'abord les tournées de mesure des bornes géodésiques étaient trop espacées pour pouvoir étudier finement les variations de position, et cela en fonction des événements potentiellement déclencheurs. Ensuite seulement deux stations GPS permanentes, permettant de mesurer une accélération en continu des déplacements, étaient en fonctionnement (une sur chaque grand glissement, en plus de la station de référence à Mare à Vieille Place) ce qui est trop faible pour pouvoir appréhender l'emprise et la variabilité spatiale du phénomène.

Ainsi, en ce qui concerne la mesure des mouvements de terrain, le module 2 du projet MvTerre-2 se fixe les objectifs suivants :

- augmenter la fréquence des campagnes de relevé des bornes géodésiques afin d'établir une relation fine entre les variations de position les événements potentiellement déclencheurs ;
- compléter le réseau de bornes dans des zones mal couvertes et stratégiques afin de tendre vers une homogénéité de la connaissance de la variabilité spatiale des déplacements ;
- densifier le réseau de GPS permanents d'une part sur les deux grands glissements connus mais également sur d'autres mouvements à enjeux afin de suivre en continu les accélérations des déplacements.

Le présent rapport d'avancement (module 2) va donc s'employer à présenter les nouveaux appareils et mode opératoires utilisés. Il va également dresser un bilan de l'état actuel des réseaux et des mouvements de terrains constatés jusqu'à présent.

En conclusion, ce rapport permettra de définir les perspectives d'amélioration de ces dispositifs.

L'analyse fine des données présentées dans ce rapport fera l'objet de plusieurs rapports qui seront produits au cours des années 2011 et 2012.



## 2. Réseau de bornes géodésiques

Ce chapitre va traiter du réseau de bornes géodésiques permanentes qui a été mis en place sur les trois cirques de la Réunion depuis le lancement de MvTerre-1. Il a pour objectif de faire un état des lieux de l'ensemble du dispositif (éléments géodésiques, matériel de mesure, perspectives d'amélioration) et de réaliser une première analyse des mesures GPS obtenues en 2010.

### 2.1. PRINCIPE DU SUIVI

#### 2.1.1. Matériel utilisé

- Le matériel de mesure

Dans le cadre du projet de recherche MvTerre-2, le BRGM a acquis un dispositif GPS système 1200 de Leica.

Grâce à ce matériel de haute précision, le BRGM peut désormais effectuer lui-même les campagnes de mesures. Pour les campagnes précédentes, les mesures étaient en effet confiées à un cabinet de Géomètre-Expert (Cf. rapport RP-56699-FR). L'atout principal, sans aborder l'aspect économique, est de pouvoir réaliser ces campagnes au pas de temps souhaité mais surtout d'avoir une réactivité très importante (par exemple suite à un fort événement pluvieux).

Le matériel utilisé (Annexe 1 pour une description détaillée) peut fonctionner de manière autonome. Cependant le BRGM dispose dans le cadre du projet MvTerre-2 d'un abonnement de trois ans au réseau Lél@ - antennes permanentes réparties sur l'ensemble de l'île (Annexe 2) - ce qui facilite grandement les mesures. Les bornes peuvent en effet être levées en temps réel avec le réseau Lél@ (le post-traitement reste possible également).



Illustration 1 - Ile de la Réunion et antennes du réseau Lél@

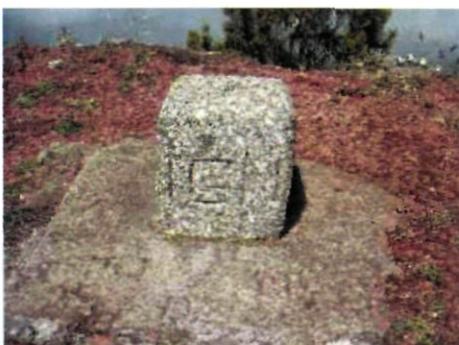
La précision attendue en planimétrie est de l'ordre de 1 à 2 cm alors qu'elle se situe autour de 5 cm en altimétrie. Cependant différents éléments peuvent parfois diminuer la précision souhaitée dont principalement :

- La topographie particulière des cirques entraînant d'importants écarts d'altitude pour des lignes de base très courtes, ce qui se traduit au niveau des mesures par des écarts aléatoires allant jusqu'à 10 cm en altimétrie
- La présence de nombreux microclimats très localisés conduisant à une mauvaise estimation des corrections atmosphériques entre les stations références et le mobile

Pour obtenir des résultats plus précis avec ce matériel, il faudrait mettre en œuvre des procédés techniquement beaucoup plus lourds (post-traitement de longue durée ou installation d'une référence dans chaque cirque). Cependant, les mesures étant effectuées plusieurs fois par an, les écarts éventuels sur la donnée altimétrique peuvent être repérés et ignorés dans l'analyse des déplacements réels.

Pour plus d'informations sur le réseau Lél@ et le GPS à la Réunion, se référer au mémoire de Luc STRAUB intitulé : « Etude de Lél@, premier réseau GNSS permanent de l'île de la Réunion », 2008.

- Les différents repères mesurés
  - Bornes IGN : ces bornes géodésiques ont été mises en place par l'IGN dans un tout autre contexte que les projets MvTerre du BRGM. Ces repères étant pérennes et déjà en place, ils ont naturellement intégré le réseau géodésique MvTerre.



*Illustration 2 - Bornes géodésiques IGN*

- Bornes MvTerre : ces bornes géodésiques ont été mises en place dans le cadre des projets de recherche MvTerre-1 et MvTerre-2. Elles sont installées principalement dans des terrains meubles où tout autre repère plus petit serait rapidement perdu ou déplacé.



*Illustration 3 - Borne géodésique MvTerre*

- Repère en Laiton : ces repères géodésiques ont également été mis en place dans le cadre des projets de recherche MvTerre-1 et MvTerre-2. Ils ont été fixés dans les zones où une surface dure et compacte permettait l'implantation d'un tel repère (mur, rocher...).



*Illustration 4 - Repère géodésique en Laiton*

- Spit : ces petits repères géodésiques en métal ont été mis en place en 2010 par le BRGM dans le cadre de MvTerre 2 afin de remplacer rapidement les bornes disparues.



*Illustration 5 - Spit*

## 2.1.2. Campagne de mesure

- MvTERRE 1

Deux campagnes de mesure sur l'ensemble des bornes des trois cirques avaient été réalisées lors du projet MvTERRE 1, la première en aout 2003 et la deuxième en septembre 2007 (Cf. rapport RP-56699-FR).

- MvTERRE 2

L'ensemble des bornes a été mesuré lors d'une première campagne en Janvier/février 2010 afin de faire un bilan du réseau, la dernière campagne intégrale datant de 2007. Il restait alors 141 repères valides, qui ont été complétés par 13 spits, soit un total de 154 éléments.

Une deuxième campagne a été effectuée en Juillet 2010 où la globalité des repères, y compris ceux installés début 2010, a été levée. 6 spits ont également été rajoutés, ce qui amène le nombre total de repères géodésiques à 160.

A savoir que les deux tournées de 2010 n'ont pas été réalisées exactement suivant la même méthode. Durant celle de Février, le GPS a utilisé uniquement la station Lél@ qui se trouvait le plus près de la borne pour effectuer les calculs de positionnement en temps réel. Pour la tournée de Juillet nous nous sommes aperçus qu'en travaillant avec plusieurs stations Lél@ en même temps, la précision (principalement en Z) était meilleure.

Le critère de qualité des mesures donné par Leica (CQ : coordinate quality) confirme cette amélioration : il passe en moyenne de 12 mm à 4 mm en planimétrie et de 23 mm à 4 mm en altimétrie. Ce critère de qualité est en fait l'écart-type des mesures combiné à des hypothèses empiriques (constellations des satellites, conditions ambiantes...). Bien qu'étant un bon indicateur de la qualité des mesures, le CQ donné par Leica ne représente pas cependant la précision des mesures (Cf. paragraphe 2.1.1.)

Ainsi tout au long de ce rapport, la tournée qui servira de référence pour comparer les mesures antérieures sera celle de Juillet 2010. D'une part comme nous l'avons vu précédemment car la précision est plus élevée, mais d'autre part car nous pourrions aussi analyser les mouvements des nouvelles bornes installées en Février 2010.

En ce qui concerne les spits implantés en Février 2010, le déplacement planimétrique annuel donné dans ce rapport n'est pas vraiment représentatif du mouvement de la zone. En effet, le déplacement étant calculé sur 5 mois (Février à Juillet 2010), l'imprécision de la mesure par GPS en planimétrie se trouve augmenté dans le calcul annuel. En revanche pour une période de mesures de plusieurs années, cette imprécision est réduite lors du calcul annuel.

Par la suite deux campagnes systématiques auront lieu chaque année pour l'ensemble des bornes ; la première en Novembre/Décembre juste avant la saison des pluies et la seconde en Mai juste avant la saison sèche. Une troisième campagne annuelle pourra être effectuée selon les besoins de l'étude.

- Evènements cycloniques

Afin de pouvoir analyser correctement les déplacements entre les diverses campagnes de mesures, il faut avoir en tête les principaux évènements cycloniques survenus depuis l'installation des bornes. Le premier est la tempête tropicale DIWA survenue du 2 au 11 mars 2006, puis la Réunion a connu le cyclone GAMEDE du 23 au 28 février 2007 et finalement le dernier évènement est la tempête tropicale JADE du 5 au 9 avril 2009.

Ainsi entre les mesures GPS de 2003 et 2007 ont eu lieu DIWA et GAMEDE alors qu'entre les campagnes de 2007 et 2010, il n'y a eu que JADE (par ailleurs moins importante pour l'île de la Réunion que les deux autres).

### 2.1.3. Traitement des données

Le rapport RP-56699-FR avait mis évidence un artéfact d'erreur entre les différentes tournées de mesure durant MvTerre-1, il a été corrigé selon le principe suivant :

Avant la création du réseau d'antennes permanentes Lél@ (2006), les mesures GPS étaient effectuées avec deux récepteurs identiques, l'un étant installé sur un point connu servait de référence. A partir de 2007, les campagnes de mesures ont utilisé les stations du réseau Lél@ comme référence (Cf. rapport RP-56699-FR et Annexe 1).

Or, il a été constaté que du fait de ce changement de méthode, une erreur systématique est venue perturber l'ensemble des mesures. En effet, les coordonnées des bornes calculées à partir des points de référence (avant l'utilisation du réseau Lél@) étaient légèrement différentes de celles calculées avec le réseau Lél@ (plusieurs centimètres).

Pour corriger cette erreur, nous nous sommes basés sur les bornes stables dans l'intervalle 2003/2004 et sur l'intervalle 2007/2010 où les tournées avaient été effectuées avec la même méthode (avec points de référence pour 2003/2004 et avec réseau Lél@ pour 2007/2010). Ainsi pour ces bornes, les écarts mesurés entre les campagnes de 2003 et de 2007 ne représentent pas un mouvement mais l'artéfact d'erreur. Ces écarts ont été moyennés pour chaque cirque et les mesures des campagnes avant 2007 ont été corrigées pour pouvoir comparer réellement l'ensemble des différents jeux de coordonnées.

#### **2.1.4. Base de donnée**

Dans le cadre de MvTERRE 2, une base de données Access a également été réalisée afin de gérer le réseau de bornes géodésiques. Cette base de données regroupe d'une part l'ensemble des informations connues sur les bornes et d'autre part l'ensemble des mesures réalisées sur ces bornes depuis 2003

Différents avantages ont décidé la création de cette base de donnée :

- suivi de l'historique des bornes et des campagnes de mesures facilité
- traçabilité pour les futurs utilisateurs des données
- exploitation des mesures grandement aisée

#### **2.1.5. Méthodologie exploratoire**

En raison de la superficie potentiellement impactée par les glissements de terrain, la distribution des bornes a été réalisée en fonction des mouvements déjà recensés (sinistres sur route et habitat), des enjeux et des secteurs potentiellement actifs. Pour ce dernier point, il s'agit d'un postulat basé sur la morphologie déduite des différents travaux cartographiques, notamment ceux de Humbert *et al.*, (1981 - Illustration 6). Ainsi, les ilets, lieux caractéristiques de l'habitat réunionnais au sein des cirques, correspondent couramment à des morphologies de plateaux en aval de niches d'arrachement.

La caractérisation fine de chacun de ces ilets n'a pas constitué un critère déterminant pour le choix de l'implantation des bornes du réseau. La vitesse et l'orientation du déplacement, l'homogénéité du déplacement à l'échelle de l'ilet seront retenus ultérieurement afin de procéder à l'analyse des déplacements et donner un sens aux différentes mesures.

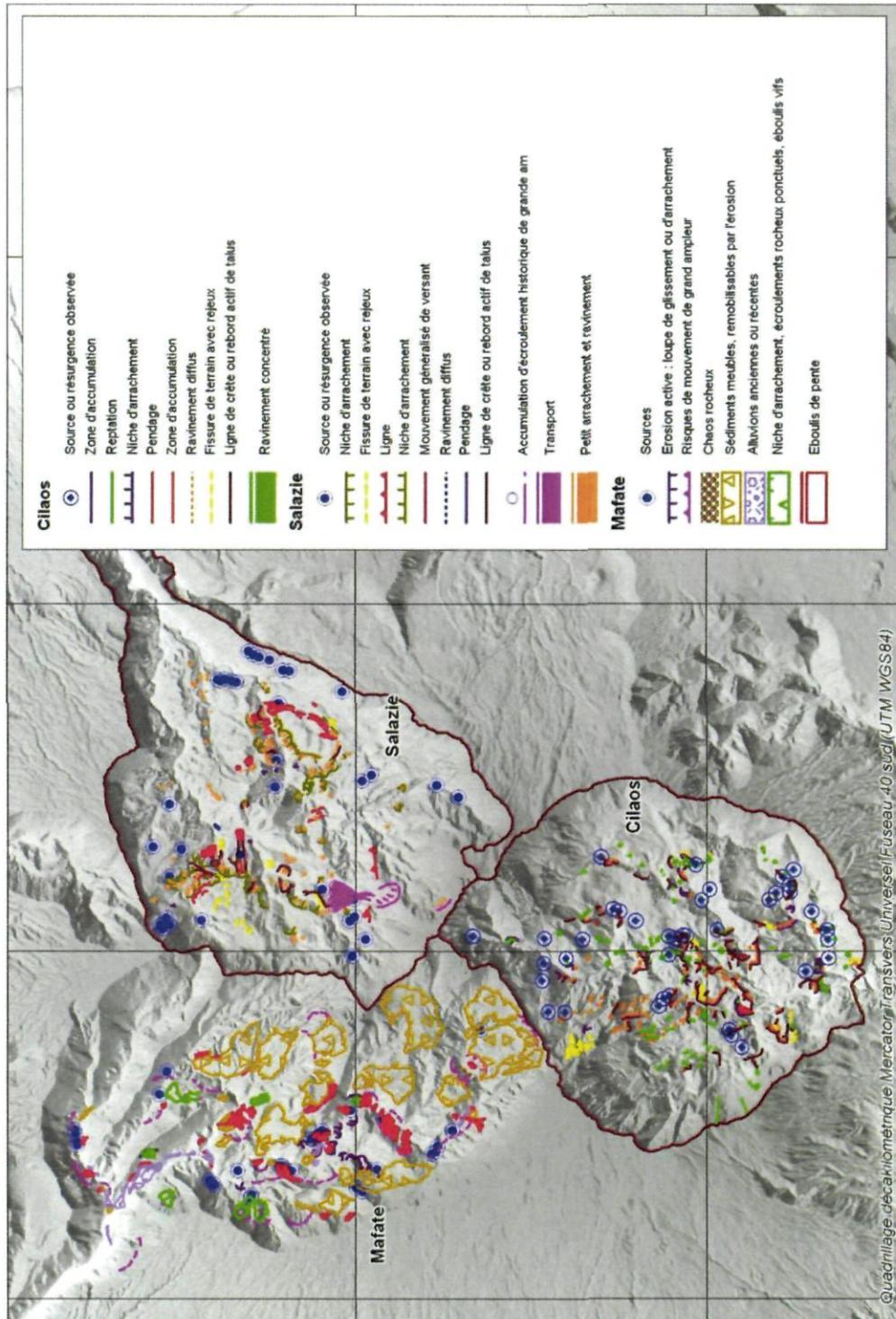


Illustration 6 - Carte morphologique des cirques de la Réunion (Humbert et al., 1981<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> Humbert M., Pasquet R., Stieltjes L. (1981) - Les risques géologiques dans les cirques de Salazie et de Cilaos (Ile de La Réunion) - Fonds d'Investissement des Départements d'Outre-Mer (FIDOM), Département de La Réunion - Rapport BRGM 81 SGN 543 REU

## **2.2. RESEAU DU CIRQUE DE CILAOS**

### **2.2.1. Etat des lieux du dispositif**

- Bornes disparues

Par rapport au réseau initial installé en 2003, rappelons que 3 bornes avaient disparues en 2007, plus une qui avait été déplacée (CI05). En 2010, deux bornes supplémentaires n'ont pas été retrouvées. Il s'agit de la borne CI09 au Cap Sylvestre (disparue) et de la borne CI26 (arrachée) sur la route forestière de Bras Sec.

- Nouvelles bornes

3 spits ont été rajoutés début 2010 pour remplacer CI19 et CI15 disparues en 2007 ainsi que CI09 : respectivement CI55 (en juillet 2010) à Cilaos, CI50 à Bras Sec et CI51 au cap Sylvestre. 2 autres spits ont également été mis en place en juillet 2010 sur la route d'Ilet à Corde afin de densifier le réseau, il s'agit de CI53 et de CI54.

La borne CI05 qui avait été bousculée en 2007 (déplacement suspect entre 2003 et 2007) semble de nouveau stable et réintègre le réseau du cirque de Cilaos avec la mesure de 2007 comme nouvelle position « 0 ».

- Bilan du réseau

Le réseau géodésique du cirque de Cilaos est constitué de 36 éléments répartis ainsi :

- 25 bornes MvTERRE
- 4 bornes IGN
- 2 repères en laiton
- 5 spits

Le tableau suivant présente les différentes bornes du cirque de Cilaos, leurs coordonnées sont données en annexe 3.

<b>Bornes</b>	<b>Emplacement</b>	<b>Type</b>	<b>Création</b>
ci01	Cilaos	Borne MvTerre	2003
ci02	Cilaos	Borne MvTerre	2003
ci03	Cilaos	Borne MvTerre	2003
ci05	Mare Seche	Borne MvTerre	2003
ci06	Mare Seche	Borne MvTerre	2003
ci07	La Plate-forme	Borne MvTerre	2003
ci08	Ilet Gueule Rouge	Borne MvTerre	2003
ci10	Bras Sec	Borne MvTerre	2003
ci11	Ilet a Cordes	Borne MvTerre	2003
ci12	Ilet a Cordes	Borne MvTerre	2003
ci13	Ilet a Cordes	Borne MvTerre	2003
ci14	Cilaos	Borne MvTerre	2003
ci16	Cilaos	Borne MvTerre	2003
ci17	La Plate-forme	Borne MvTerre	2003
ci18	La Plate-forme	Borne MvTerre	2003
ci20	Palmiste Rouge	Borne MvTerre	2003
ci21	Ilet a Calebasse	Borne MvTerre	2003
ci22	Palmiste Rouge	Borne MvTerre	2003
ci23	Route de Gros Galets	Borne MvTerre	2003
ci24	Palmiste Rouge	Borne MvTerre	2003
ci25	Berge du Bras de Benjoin	Borne MvTerre	2003
ci28	Bras Sec	Borne MvTerre	2003
ci29	Bonnet Carre	Borne MvTerre	2003
ci30	Ilet Bois Rouge	Borne MvTerre	2003
ci31	La Roche Merveilleuse	Repère Laiton	2003
ci32	Rampe des Thermes	Repère Laiton	2003
ci50	Bras sec	Spit	2010
ci51	Cap silestre	Spit	2010
ci53	Route d'Ilet a corde	Spit	2010
ci54	Route d'Ilet a corde	Spit	2010
ci55	Cilaos	Spit	2010
Ign2401	Cilaos	Borne IGN	
Ign2402	Ilet à Cordes	Borne IGN	
Ign2403	Bras Sec	Borne IGN	
Ign2404	Peter Both	Borne IGN	
sfr	Cilaos	Borne MvTerre	2003

Tableau 1 - Descriptif des bornes du cirque de Cilaos

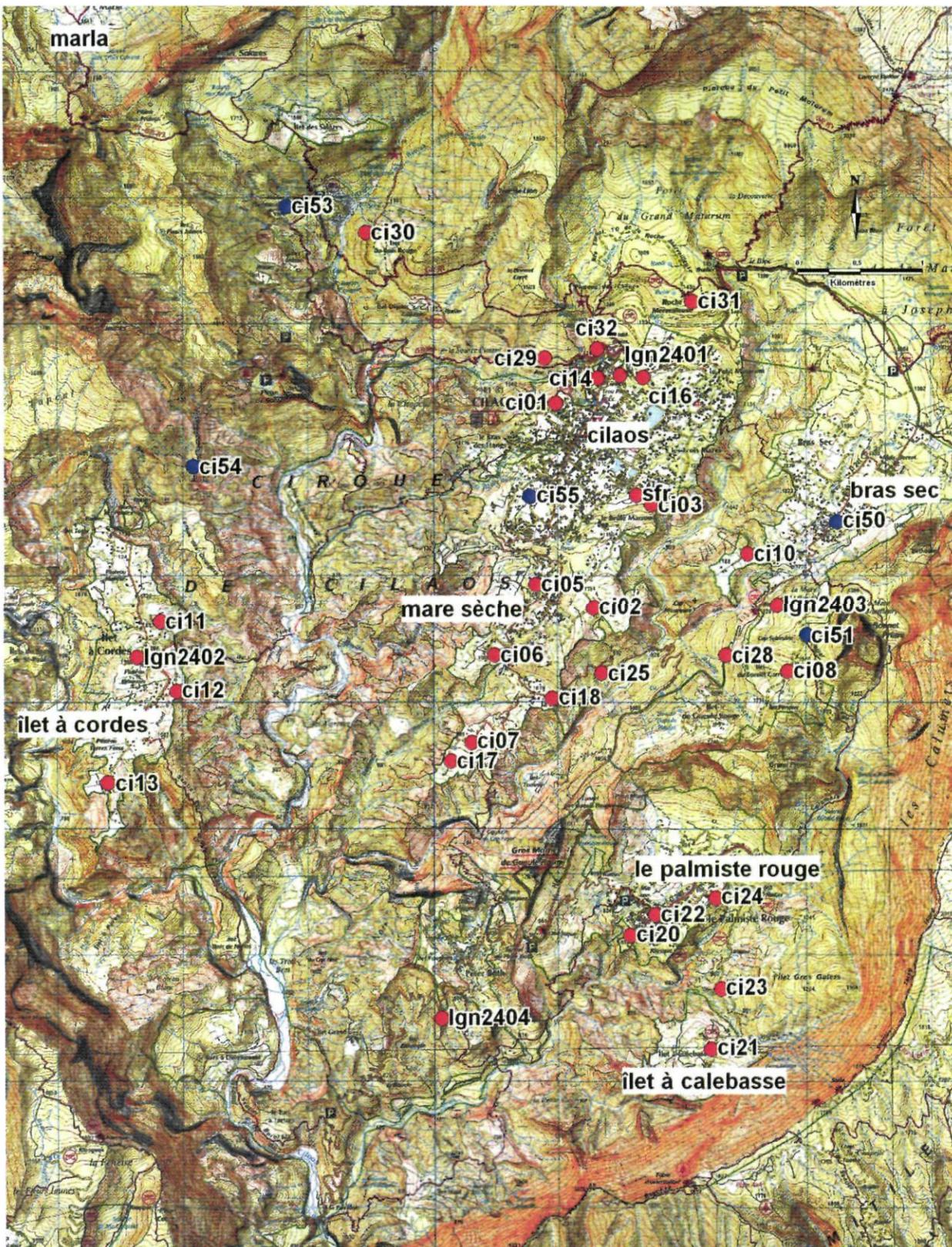


Illustration 7 - Réseau géodésique actuel du cirque de Cilaos (nouveaux éléments en bleu)

### 2.2.2. Bilan des mouvements

On compare à présent les précédentes campagnes de mesure (Aout 2003 et Septembre 2007) à la campagne de Juillet 2010. Les déplacements sont arrondis au centimètre afin de donner des valeurs de la même précision que le GPS.

Bornes	Déplacement planimétrique annuel (m)		Déplacement altimétrique annuel (m)		Orientation du déplacement (°)	
	2003/2007	2007/2010	2003/2007	2007/2010	2003/2007	2007/2010
CI01	0.01	0	0.01	-0.02	344	194
CI02	0	0	0	-0.01	3	150
CI03	0	0.01	0	0	340	112
CI05		0		0.01		342
CI06	0	0	0	-0.01	0	0
CI07	0	0.01	0	0	180	3
CI08	0.02	0.02	-0.01	0	286	0
CI10	0	0.01	0	0	264	52
CI11	0	0.01	0	-0.01	0	82
CI12	0	0	0	-0.02	137	315
CI13	0	0	-0.01	0.01	117	333
CI14	0.01	0.01	0	0	327	149
CI16	0	0	0.01	-0.02	279	81
CI17	0	0	0	0.01	243	336
CI18	0	0.01	0	0	108	317
CI20	0.01	0.01	0	-0.02	169	0
CI21	0	0.01	0	-0.01	61	308
CI22	0	0	0	0	351	20
CI23	0.04	0.02	-0.02	0.01	277	282
CI24	0	0.01	0	-0.02	101	337
CI25	0	0.01	0	-0.01	315	354
CI28	0.07	0.03	-0.01	-0.01	278	274
CI29	0.01	0.01	-0.02	0.02	198	124
CI30	0	0.02	0	-0.01	212	339
CI31	0.01	0.01	0	0.01	284	118
CI32	0.01	0.01	0.01	-0.01	161	305
CI50		0.07				310
CI51		0.06				0
IGN2401	0	0.01	-0.01	0	340	183
IGN2402	0	0.01	-0.01	0	27	12
IGN2403	0	0.01	0.01	-0.02	97	245
IGN2404	0	0.01	0	0	193	60
SFR	0	0	0	-0.01	249	49

Tableau 2 - Mouvements des bornes du cirque de Cilaos

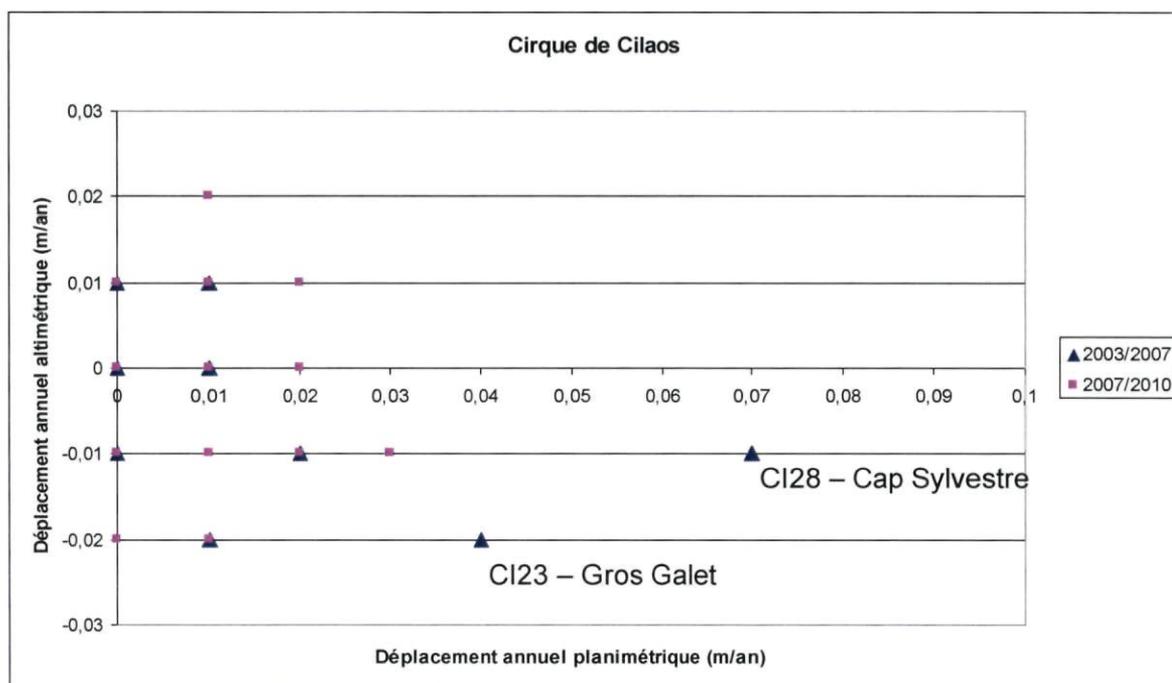


Illustration 8 - Comparaison des déplacements 2003/2007 et 2007/2010

#### a. Tendances générales

Globalement, la campagne de 2010 ne révèle pas de forts déplacements planimétriques depuis 2007. Au contraire les deux bornes qui montraient le plus fort déplacement en 2007 indiquent plutôt un ralentissement du déplacement (CI23 sur la route de Gros Galet passe de 4 à 2 cm/an et CI28 à Bras Sec passe de 7 à 3 cm/an).

Ce ralentissement s'explique par la diminution des épisodes pluvieux qui ont frappé Cilaos entre 2007 et 2010 ; la tempête tropicale d'Avril 2009 n'ayant apporté que 331 mm d'eau. En revanche la période 2003/2007 avait été l'objet de deux forts événements pluvieux : 1710 mm tombé en Mars 2006 (DIWA) contre 274 mm en moyenne sur la période 1971/2000 et 2873 mm tombé en Février 2007 (GAMEDE) contre 613 mm en moyenne.

Comme il a été expliqué dans le paragraphe 2.1.2., les bornes CI50 et CI51 affichent un déplacement planimétrique annuel élevé (6 et 7 cm/an) car la période de mesure est courte (février/juillet 2010). Le déplacement réel sur la période étant de 2 et 3 cm, il reste proche de la zone d'imprécision du matériel, le déplacement annuel calculé n'est donc pas reporté dans le graphique ci-dessus.

Pour ce qui est du déplacement altimétrique, il est délicat de mettre en avant des tendances car certaines bornes voient leur tassement s'accroître alors que d'autres ont tendance à s'élever. Globalement, ces mouvements verticaux restent faibles et sont tous inférieurs à 2 cm/an, ce qui au vu de la précision altimétrique est peu significatif. Un seul changement relativement important est à noter pour la borne CI29 qui avait un tassement de 2cm/an sur 2003/2007 et qui montre maintenant une élévation de 2 cm/an.

#### **b. Ilet à Cordes**

Sur Ilet à Cordes, les mouvements planimétriques sont très faibles (inférieur ou égal à 1cm/an). De plus, comme supposé en 2007 la tendance du déplacement vers le Bras de St-Paul n'est pas confirmée et provenait du changement de référentiel (voir paragraphe 2.1.3.).

Un léger tassement a été constaté sur le Nord du plateau avec deux bornes qui s'affaissent de 1 à 2 cm/an.

#### **c. Palmiste Rouge**

Sur cet Ilet les mouvements sont plutôt orientés vers le Nord mais restent très faibles (inférieur ou égal à 1cm/an). Le déplacement altimétrique, en revanche, s'accélère avec deux bornes qui affichent un tassement de 2 cm/an (nul entre 2003 et 2007).

#### **d. Calebasse**

Les deux bornes s'accordent pour décrire un déplacement orienté Ouest-Nord-Ouest de 1 et 2 cm/an. Pas de généralisation possible en revanche sur l'altimétrie de ces bornes.

#### **e. Cilaos**

Sur le chef-lieu du cirque, l'ensemble des bornes indique un déplacement faible. De plus l'artéfact d'erreur ayant été corrigé, il n'apparaît plus de tendance dans l'orientation du vecteur déplacement.

A noter cependant un tassement qui se généralise avec des valeurs comprises entre 1 et 2 cm/an pour les bornes CI01, CI16 et SFR

#### **f. Cap Sylvestre**

Pour ce secteur de glissement connu, la borne CI28 continue de confirmer le déplacement de 3 cm/an vers le Nord-Ouest. Plus à l'Est en revanche le glissement semble être dirigé vers le Nord comme l'indiquent les bornes CI08 et CI51.

Le tassement est lui aussi confirmé avec des valeurs de 1 à 2 cm/an.

#### **g. Bras Sec**

Rien de notable pour cet Ilet si ce n'est le mouvement de la borne CI50 vers le Nord-Ouest, mais le chiffre de 7 cm/an n'est pour l'instant pas significatif et est à vérifier comme nous l'avons expliqué dans le paragraphe 2.1.2.

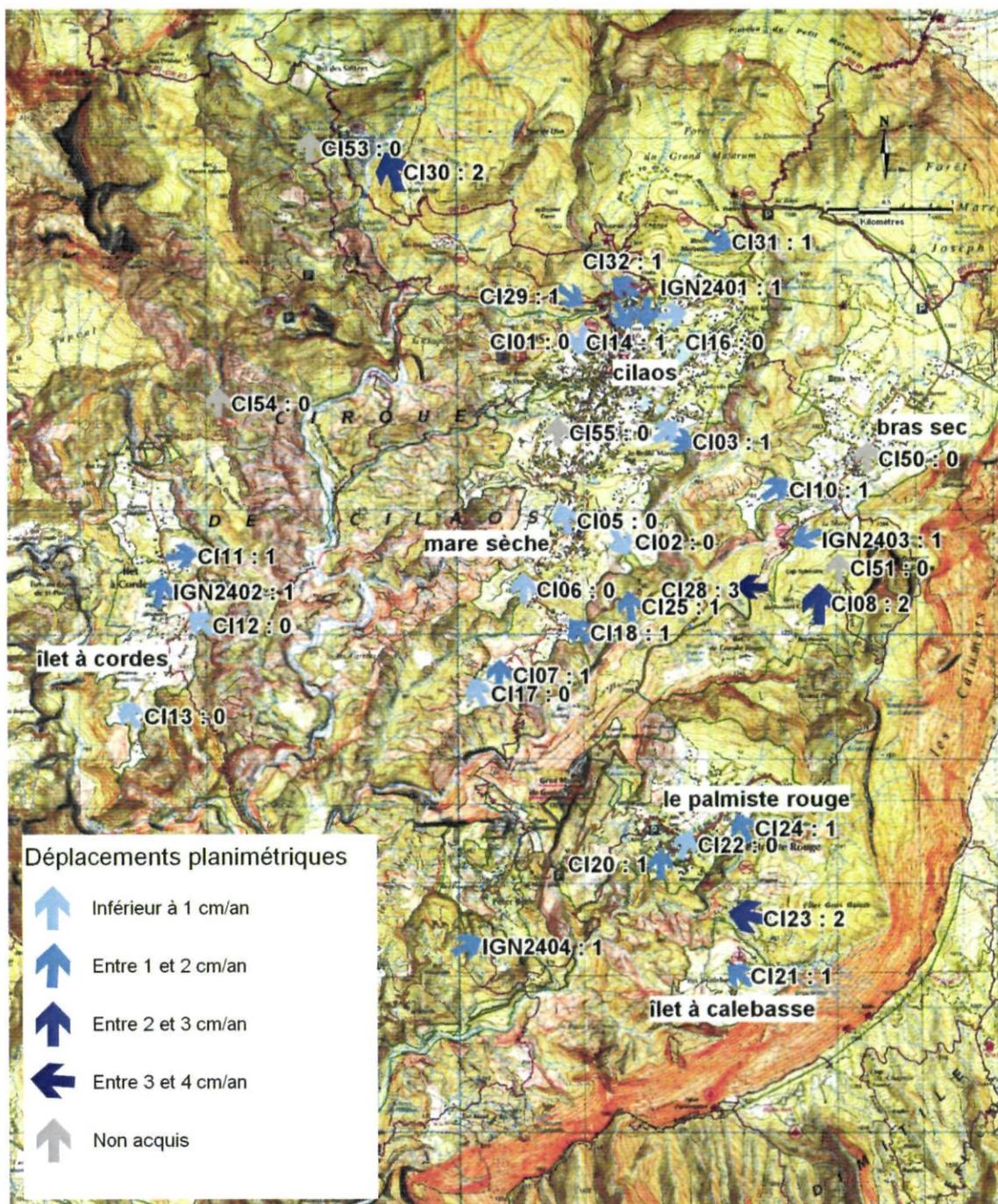


Illustration 9 - Déplacement planimétrique annuel des bornes de Cilaos (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010)

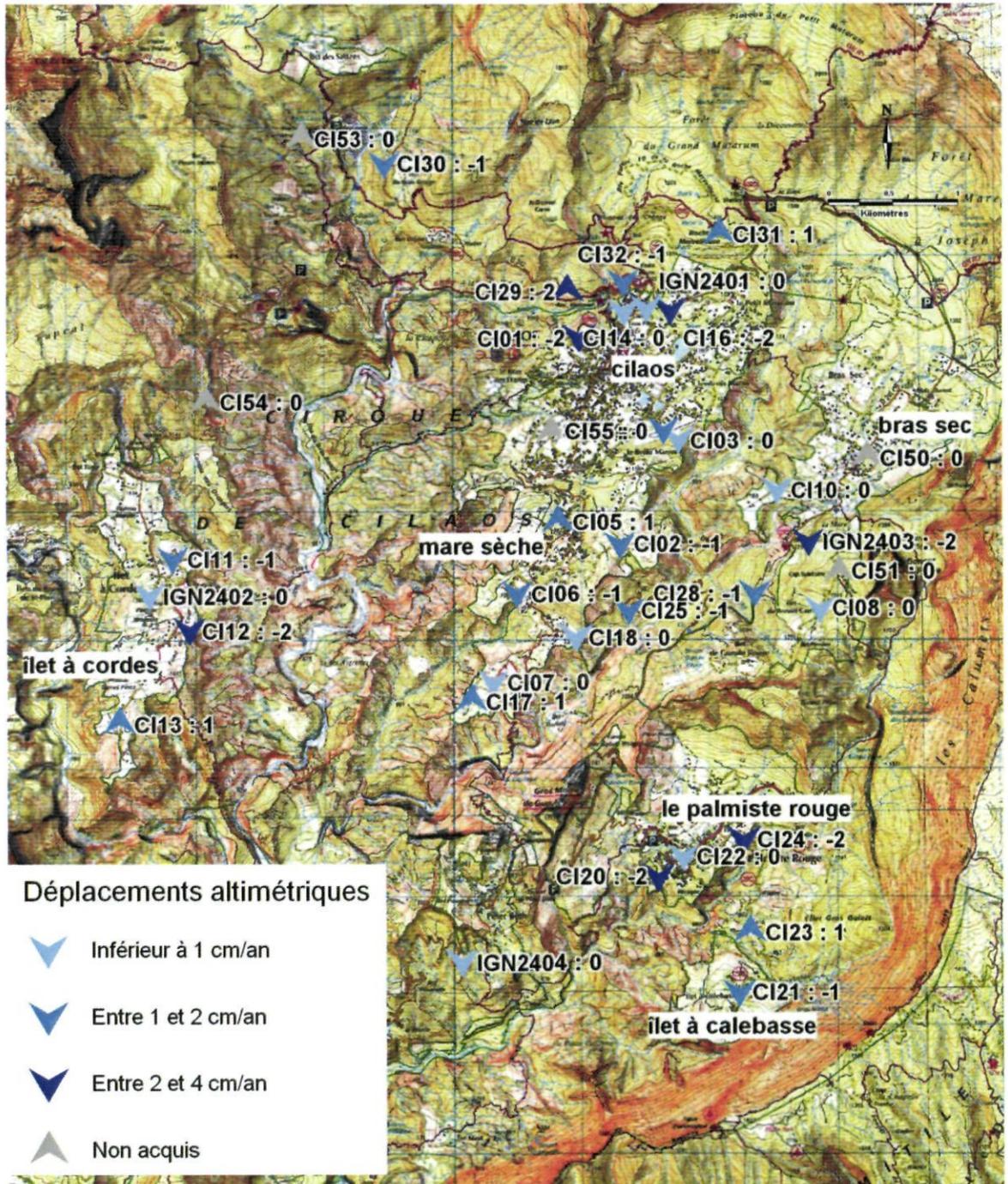


Illustration 10 - Déplacement vertical annuel des bornes de Cilaos (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010)

### **2.2.3. Perspectives**

- En matière de densification du réseau, la priorité est de remplacer CI26 et CI27. Il est très important de renforcer ce secteur car il s'agit d'une zone de glissement actif connue. Une borne (CI57) et un repère en laiton (CI56) seront donc implantés sur la route forestière du Cap Sylvestre.
- Une nouvelle borne (CI58) sera mise en place au dessus du plateau des chênes, le long de la route forestière de la roche merveilleuse. Il n'y a en effet pour le moment aucunes bornes dans ce secteur.
- Le dernier ajout au réseau géodésique de Cilaos sera un repère en laiton (CI59) fixé dans le muret de la route d'Ilet à cordes entre les bornes CI29 et CI30.

Au total 2 nouvelles bornes et 2 repères en laiton seront installés fin 2010/début 2011 dans le cirque de Cilaos.

## **2.3. RESEAU DU CIRQUE DE MAFATE**

### **2.3.1. Etat des lieux du dispositif**

- Bornes disparues

Aucune borne n'a disparue par rapport au réseau initial mis en place dans Mafate.

- Nouvelles bornes

Dans le cirque de Mafate, 4 nouvelles bornes avaient été posées en 2007 à Grand-Place. Ainsi la campagne de 2010 permet d'obtenir un premier déplacement pour les bornes GP1, GP2, GP3 et GP4.

En 2009, 3 bornes supplémentaires ont été installées à l'Îlet des Lataniers, à l'Îlet des Orangers et à Roche Plate, respectivement MA15, MA16 et MA17. Elles ont été posées dans le cadre de la convention « Mise en place et suivi d'un réseau géodésique complémentaire dans le cirque de Mafate – phase 1 » entre le Parc National de la Réunion et le BRGM (signée le 09/12/2008). La campagne du début d'année 2010 correspond pour ces bornes à la position « zéro ».

- Bilan du réseau

Le réseau géodésique du cirque de Mafate est constitué de 24 éléments répartis ainsi :

- 20 bornes MvTERRE
- 4 bornes IGN

Le tableau suivant présente les différentes bornes du cirque de Mafate, leurs coordonnées sont données en annexe 3.

<b>Bornes</b>	<b>Emplacement</b>	<b>Type</b>	<b>Création</b>
GP1	Grand Place les Hauts	Borne MvTerre	2007
GP2	Grand Place les Hauts	Borne MvTerre	2007
GP3	Grand Place	Borne MvTerre	2007
GP4	Grand Place	Borne MvTerre	2007
Ign0812	Aurere	Borne IGN	
Ign0813	Grand Place les Hauts	Borne IGN	
Ign0814	La Nouvelle	Borne IGN	
Ign1518	Marla	Borne IGN	
ma01	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003
ma02	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003
ma03	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003
ma04	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003
ma05	Ilet Cimendal	Borne MvTerre	2003
ma06	Plaine des sables	Borne MvTerre	2003
ma07	Marla	Borne MvTerre	2003
ma08	Marla	Borne MvTerre	2003
ma09	Marla	Borne MvTerre	2003
ma10	Roche Plate Est	Borne MvTerre	2003
ma11	Roche Plate Ouest	Borne MvTerre	2003
ma13	Ilet des Orangers	Borne MvTerre	2003
ma14	Cayenne	Borne MvTerre	2003
ma15	Ilet des Lataniers	Borne MvTerre	2009
ma16	Ilet des Orangers	Borne MvTerre	2009
ma17	Roche Plate Sud	Borne MvTerre	2009

*Tableau 3 - Descriptif des bornes du cirque de Mafate*

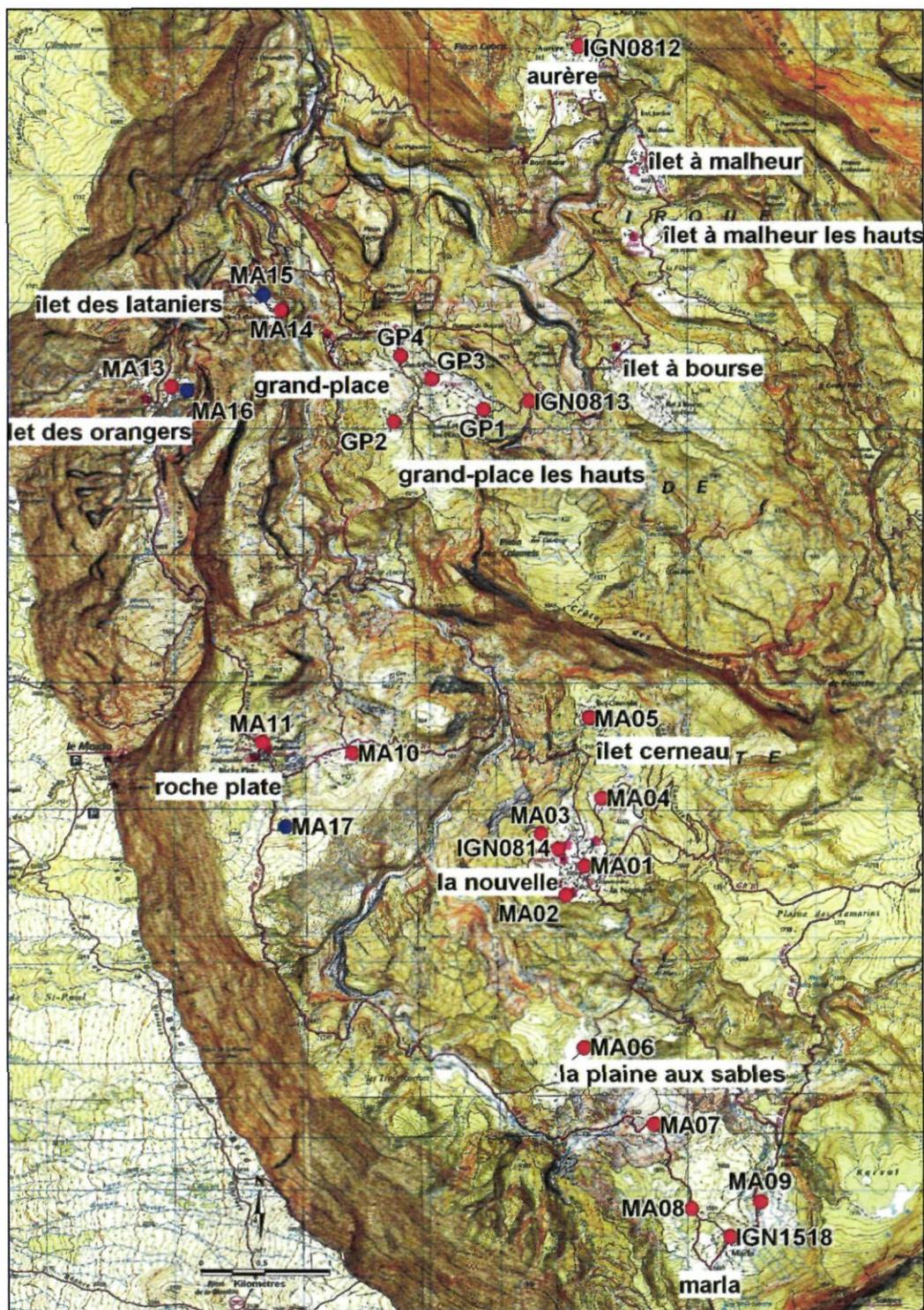


Illustration 11 - Réseau géodésique actuel du cirque de Mafate (nouvelles bornes en bleu)

### 2.3.2. Bilan des mouvements

On compare à présent les précédentes campagnes de mesure (Aout 2003 et Septembre 2007) à la campagne de Juillet 2010.

Bornes	Déplacement planimétrique annuel (m)		Déplacement altimétrique annuel (m)		Orientation du déplacement (°)	
	P1=2003/2007	P2=2007/2010	A1=2003/2007	A2=2007/2010	O1=2003/2007	O2=2007/2010
GP1		0		0.01		117
GP2		0		0		253
GP3		0.01		0		207
GP4		0		0		315
IGN0812		0.01		-0.01		15
IGN0813		0.01		0		227
IGN0814	0	0	0	-0.01	291	120
IGN1518	0.01	0	0.02	-0.02	121	279
MA01	0	0	0	-0.01	45	194
MA02	0	0.01	0.01	-0.03	204	0
MA03	0	0	0.01	-0.01	0	159
MA04	0	0	0	0	39	239
MA05	0	0.01	0.01	-0.01	27	177
MA06	0	0	0	-0.02	113	315
MA07	0.01	0.01	0.01	-0.03	190	67
MA08	0.01	0	0.02	-0.02	164	342
MA09	0	0	0	-0.01	102	117
MA10	0.01	0	0	0.01	260	0
MA11	0.01	0.01	0.02	0	167	309
MA13	0	0.01	0	-0.01	0	294
MA14	0	0.01	0	0	0	167
MA15		0.11				22
MA16		0.07				153
MA17		0.05				236

Tableau 4 - Mouvements des bornes du cirque de Mafate

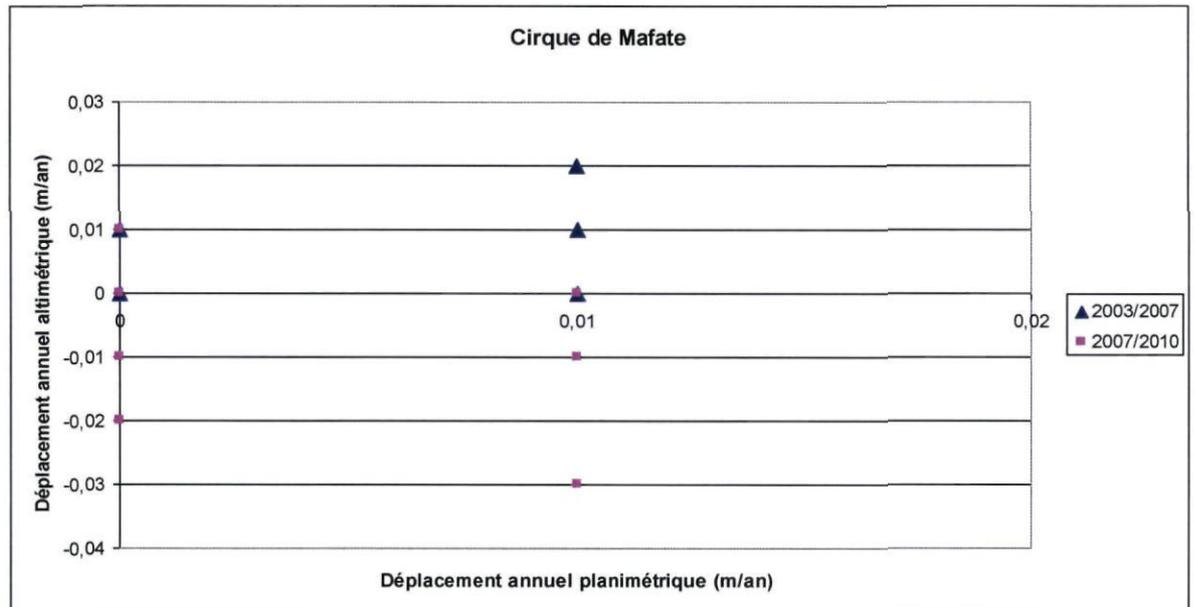


Illustration 12 - Comparaison des déplacements 2003/2007 et 2007/2010

#### a. Tendances générales

Les deux premières campagnes (2003 et 2007) avaient révélées peu de mouvements significatifs. Les déplacements apparaissant les plus importants n'étaient en réalité qu'un artéfact de mesures entre les tournées de 2003 et celles de 2007. Une fois cet artéfact supprimé (voir paragraphe 2.1.3.), il subsiste de très faibles déplacements dans le cirque de Mafate.

En ce qui concerne le déplacement planimétrique, la majorité des bornes affiche un mouvement inférieur à 1cm/an. Seules les 3 bornes implantées en 2009 indiquent un déplacement plus élevé de 5 à 11 cm/an. Comme il a été vu dans le paragraphe 2.1.2., ce n'est pas complètement représentatif de la réalité car l'intervalle de temps entre les sessions de mesures est faible.

On constate pour la période 2007/2010 un léger tassement pour de nombreuses bornes. Celui-ci reste faible mais sera à surveiller car il s'agit d'un phénomène nouveau qui n'avait pas été constaté durant les précédentes campagnes.

#### **b. Ilet des Lataniers**

Il existe désormais deux bornes au niveau de l'Ilet des Lataniers. La première est la borne MA14, qui a enregistré un déplacement de l'ordre de 1 cm/an en planimétrie et un tassement nul.

La deuxième borne MA15, implantée en 2009 et mesurée en Février et en Juillet 2010, montre un déplacement planimétrique de 11 cm/an. Même si ce nombre est à analyser avec prudence, il traduit clairement un mouvement de cette borne vers le Nord-Est. Cette direction est cohérente car elle correspond à la Rivière des Galets qui se trouve juste derrière la borne. La répétition des mesures permettra d'affiner la connaissance de ce mouvement situé au Nord de l'Ilet.

#### **c. Aurère**

La borne IGN0812 montre un déplacement de 1 cm/an en planimétrie depuis 2007, elle indique également un faible tassement de 1 cm/an. Elle traduit donc une relative stabilité du terrain dans cette zone de l'Ilet.

#### **d. Ilet aux Orangers**

Comme aux Lataniers, l'Ilet des Orangers dispose d'une borne fraîchement implantée en 2009 : MA16. Elle indique un déplacement planimétrique de 7 cm/an en direction de la ravine de la Rivière de Galets, ce déplacement semble là aussi cohérent même si sa valeur est probablement un peu élevée.

La borne MA13 montre pour la période 2007/2010 un léger déplacement de 1 cm/an en planimétrie. Le déplacement altimétrique est faible également avec un tassement de 1 cm/an.

#### **e. L'Ilet Cimendal**

La borne de l'Ilet Cimendal, Ma 05, révèle un déplacement planimétrique de 1cm/an et un déplacement altimétrique de 1 cm/an environ.

#### **f. Roche Plate**

Sur le site de Roche Plate, trois bornes géodésiques sont en place dont MA17 qui date de 2009. Cette dernière indique un déplacement annuel de 5 cm/an dont la direction Sud-Ouest semble un peu curieuse. Cela correspond en réalité à un déplacement de 2 cm entre les mesures de Février et Juillet, qui n'a rien de significatif.

MA10 indique un déplacement planimétrique annuel quasi nul alors que MA11 se déplace de 1 cm/an vers l'ouest. En altimétrie, les deux bornes sont pratiquement stables (mouvement inférieur à 1 cm/an).

#### **g. La Nouvelle**

Malgré les nombreuses bornes présentes sur cet Ilet, les déplacements planimétriques observés n'indiquent aucunes tendances. Ils sont en effet très faibles (inférieurs à 1cm/an) et de direction variée.

Les déplacements altimétriques en revanche sont plus élevés, on constate en effet un tassement de 1 à 3 cm/an pour l'ensemble des bornes.

#### **h. La Plaine aux Sables**

La borne MA06 de la Plaine aux Sables montre un déplacement planimétrique nul et un tassement faible (2 cm/an). Cela correspond aux données des campagnes précédentes et laisse supposer que le secteur est relativement stable avec un léger affaissement.

#### **i. Marla**

Les bornes aux alentours de Marla indiquent toutes un déplacement planimétrique inférieur à 1 cm/an et tassement qui ne dépasse pas 3 cm/an. Ces résultats sont cohérents car la borne qui s'affaisse le plus (MA07) se trouve sur un glissement connu. Cette zone du cirque possède donc à priori peu de mouvements planimétriques relativement importants. Un tassement, bien que faible, est cependant observé pour l'ensemble des bornes.

#### **j. Grand-Place**

La tournée de 2010 a enregistré le premier déplacement de 5 bornes sur Grand-Place : il s'agit de GP1, GP2, GP3, GP4 et de la borne IGN0813. Les mouvements planimétriques et altimétriques sont inférieurs à 1 cm/an pour l'ensemble des bornes.

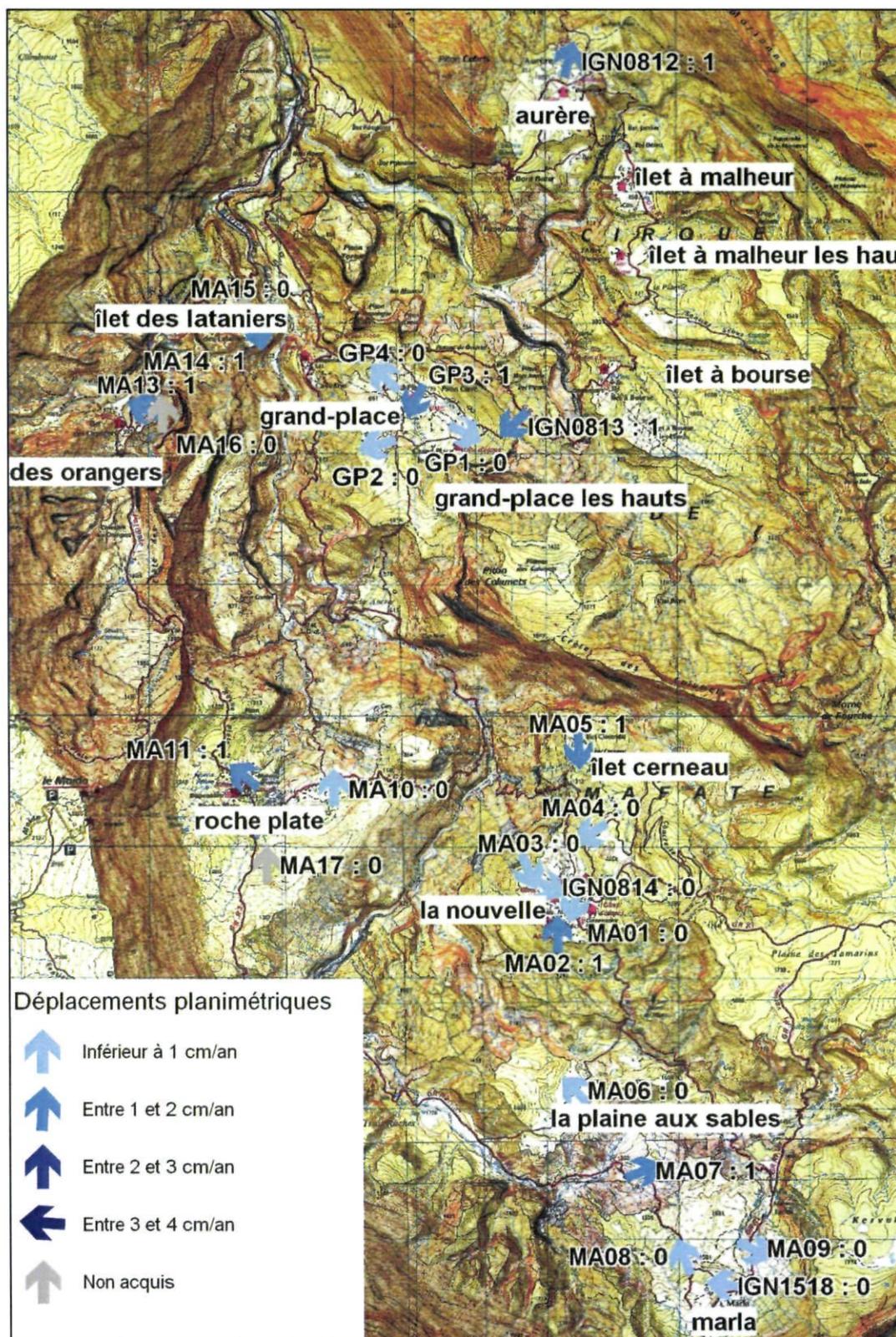


Illustration 13 - Déplacement planimétrique annuel des bornes de Mafate (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010)

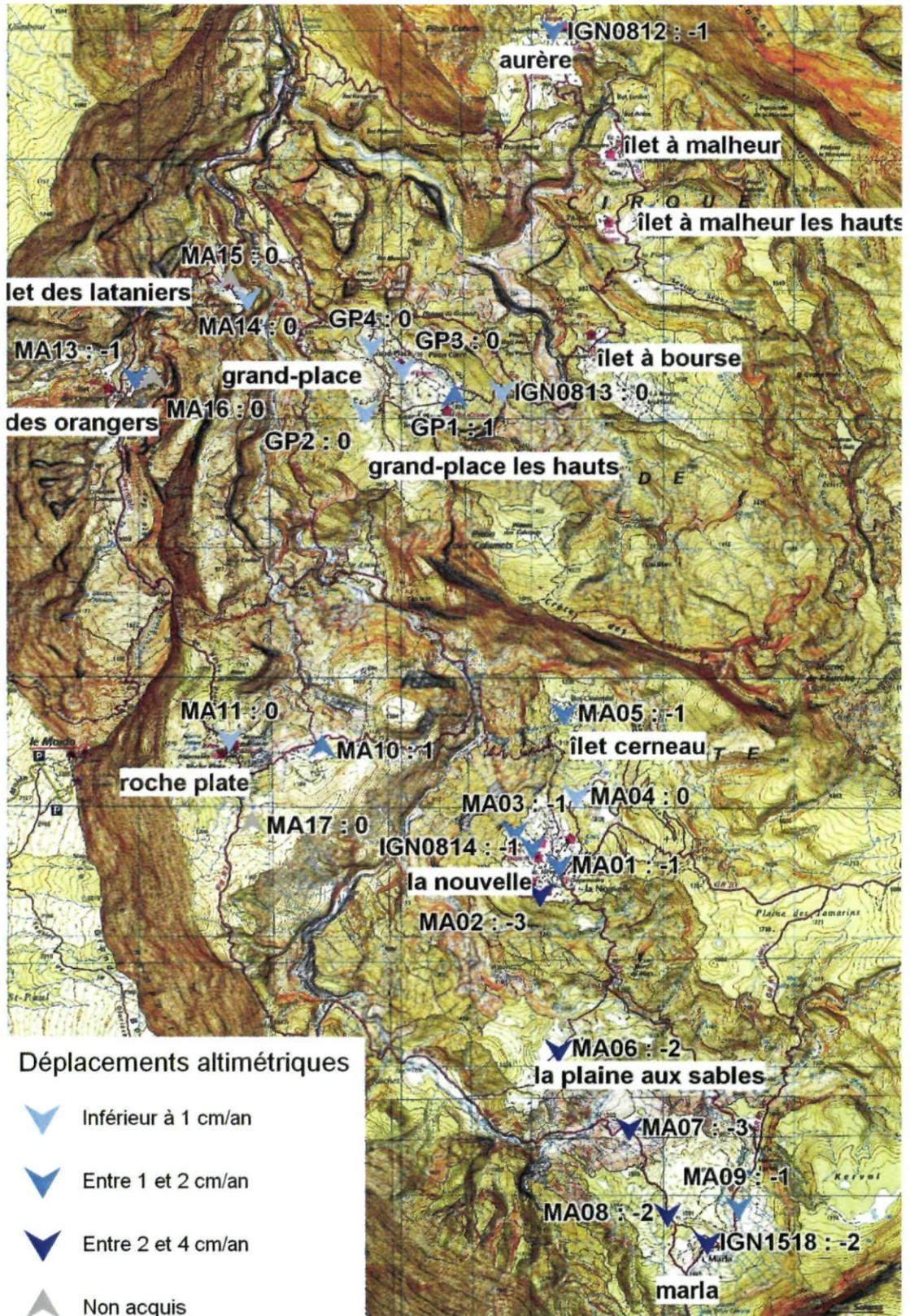


Illustration 14 - Déplacement vertical annuel des bornes de Mafate (en cm /an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010)

### **2.3.3. Perspectives**

- En matière de densification du réseau, 3 nouvelles bornes sont déjà prévues ; elles seront installées en partenariat avec le Parc National. Les emplacements exacts restent à définir mais les zones où la connaissance des mouvements est faible seront privilégiées. Ainsi les trois nouvelles bornes seront situées sur Ilet à Malheur (MA24), Ilet à Bourse (MA25) et Aurère Sud (MA26).
- 3 autres bornes seront également construites par le BRGM afin d'équiper de nouveaux secteurs. Il s'agit du plateau Kerval (MA21), de la plaine des Tamarins (MA22) et de l'Ilet de Cayenne (MA23).

Au total 6 nouvelles bornes seront installées fin 2010/début 2011 dans le cirque de Mafate.

## **2.4. RESEAU DU CIRQUE DE SALAZIE**

### **2.4.1. Etat des lieux du dispositif**

- Bornes disparues

Par rapport au réseau initial installé en 2003, 10 bornes avaient disparues en 2007, dont le repère en laiton SA33 qui a été retrouvé en 2010 et qui réintègre le réseau de Salazie. A noter également que deux des bornes installées en 2007 (SA101 et SA102) ont disparu avant d'être mesurées une première fois.

En 2010, 4 bornes et 1 repère laiton supplémentaires n'ont pas pu être mesurées du fait de leur disparition. Il s'agit des bornes SA30 à Mare à Goyave, SA41 à Mare à Citron, SA53 et SA67 à Grand Ilet, et SA71 à Mare à Martin.

- Bornes non mesurables

Plusieurs bornes n'ont pu être mesurées alors qu'elles étaient en place :

- les bornes SA84 (Mare d'Affouche) et SA23 (Hell Bourg) du fait de la végétation infranchissable
- les bornes SA28 et SA116 (Mare à Goyave) du fait des masques végétaux trop important pour permettre une mesure GPS

### a. Grand Ilet

5 bornes ont été mises en place en 2007 au nord de Grand Ilet, dans le secteur Mathurin. Des campagnes de mesures ont été effectuées en 2008 juste après leur pose, ainsi un premier déplacement a été calculé pour les bornes SA103, SA104 et SA105. En revanche les bornes SA101 et SA 102 n'ont jamais été mesurées car elles ont immédiatement disparu.

Lors de la campagne de Janvier 2010, des spits ont été rajoutés là où certaines bornes avaient disparu. Ainsi les spits SA118, SA127 et SA128 viennent remplacer respectivement les bornes SA71, SA81 (disparu en 2007) et SA53.

Enfin le spit SA131 a été posé au bord de la cascade Micheline (rivière Roche à Jacquot). L'intérêt de ce spit est de confirmer la stabilité du sill qui s'étend sous Grand Ilet afin de préciser la connaissance du glissement.

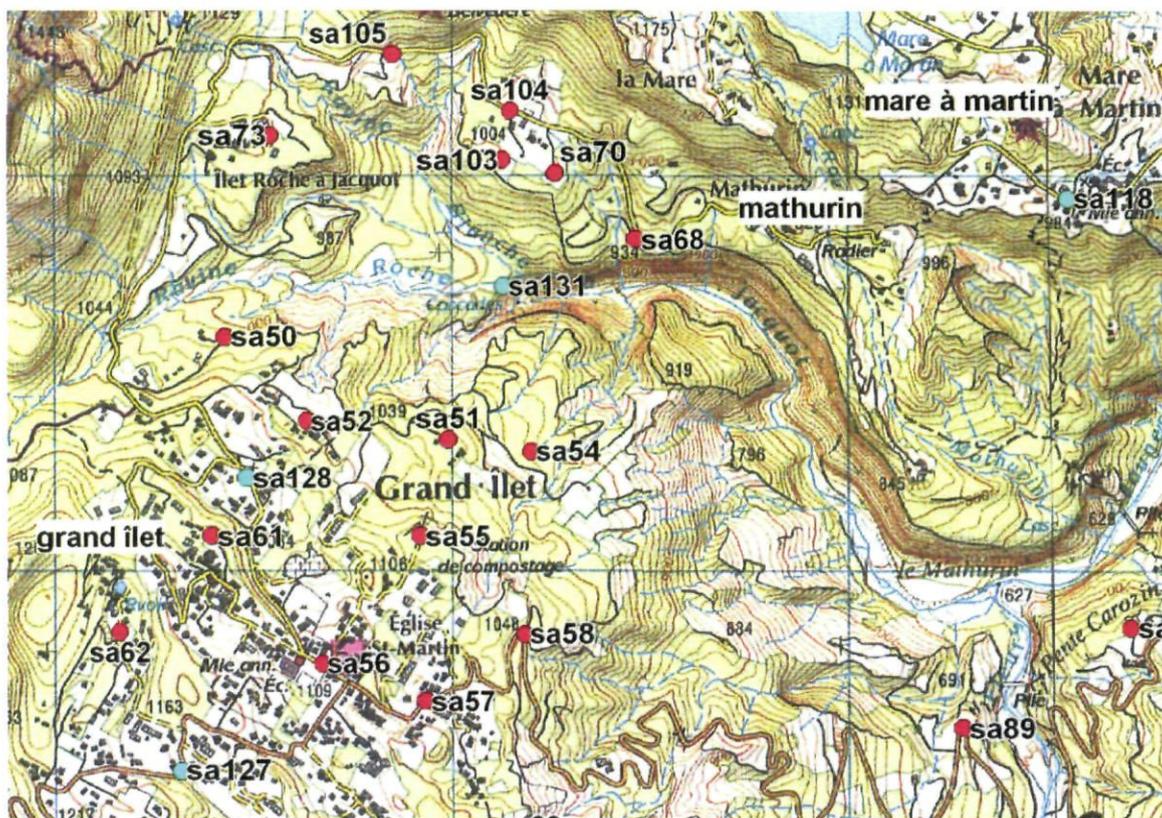


Illustration 15 - Nouveaux éléments (en bleu) - secteur Grand Ilet

## b. Bélier

Deux autres spits ont été rajoutés dans le secteur du Bélier afin de densifier le réseau existant. En effet, une partie du Bélier semble affectée de mouvements selon les résultats enregistrés sur la période 2003/08 sur certaines bornes (SA78 et SA79). Ainsi l'ajout de spits dans ce secteur permettra de préciser l'entendue de la zone concernée.

La zone de Grand Sable a également été équipée par deux spits (SA 129 et SA130), c'est en effet une zone qui était inconnue en terme de mouvements jusqu'à présent.

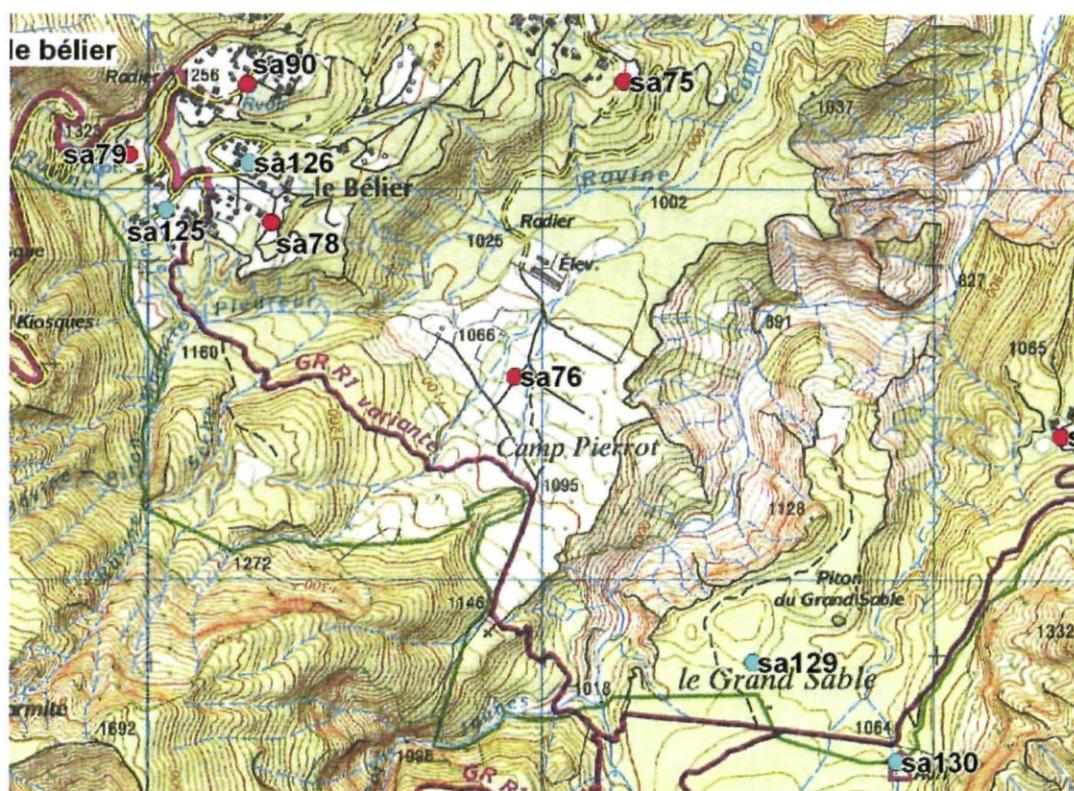


Illustration 16 - Nouveaux éléments (bleu) - secteur Bélier

### c. Mare à Goyaves

4 bornes ont été implantées en 2007 dans le secteur de Mare à Goyave, elles ont été mesurées pour la première fois lors de la campagne de mars 2008. Ainsi, la campagne de 2010 permet d'obtenir un déplacement pour ces bornes excepté pour SA116 car les masques végétaux sont trop importants pour permettre une mesure GPS.

3 spits ont été rajoutés début 2010 pour remplacer SA27 et SA36 disparues en 2007 ainsi que SA30 : respectivement SA119, SA124 et SA120.

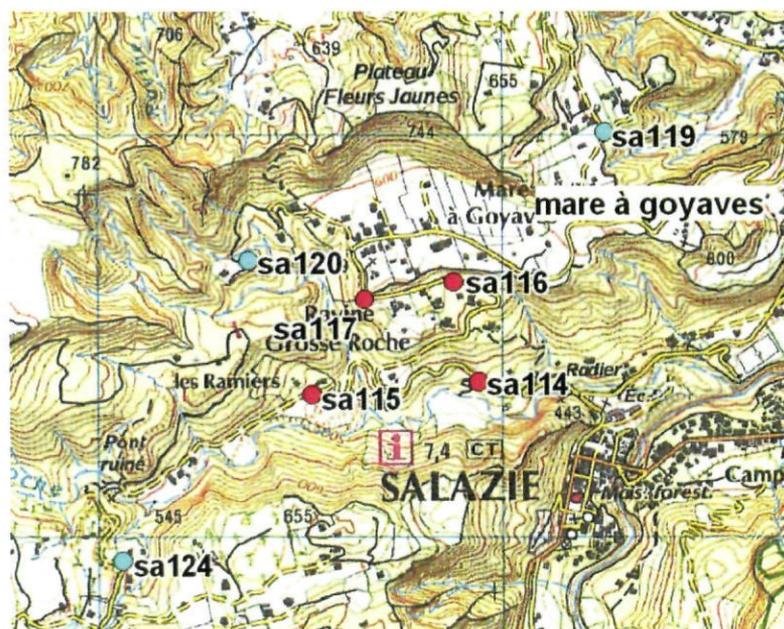


Illustration 17 - Nouveaux éléments (en bleu) - secteur Mare A Goyave

#### d. Secteur Hell Bourg / Ilet à Vidot

3 nouvelles bornes posées en 2007 ont déjà fait l'objet de plusieurs mesures entre 2007 et 2008 pour le secteur d'Ilet à Vidot, il s'agit de SA106, SA109 et SA108.

Par ailleurs, 3 spits ont été mis en place lors de la campagne de Janvier 2010 afin de densifier le réseau de Hell Bourg. En effet, un déplacement de la zone Nord de l'Ilet a été constaté sur la période 2003/07 grâce à la borne SA17 et ces spits permettront de connaître de manière plus fine les limites du glissement.

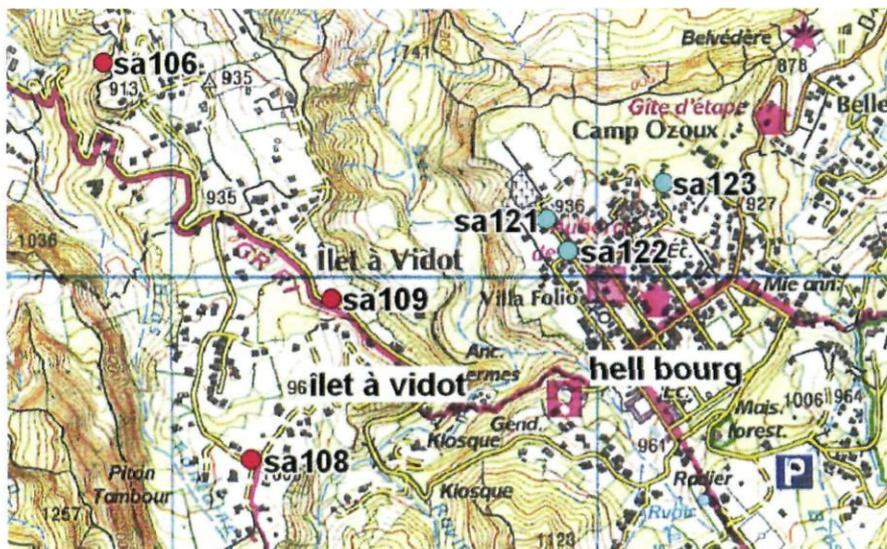


Illustration 18 - Nouveaux éléments (en bleu) - secteur Hell Bourg / Ilet à Vidot

- Bilan du réseau

Le réseau géodésique du cirque de Salazie est constitué de 100 éléments répartis ainsi :

- 62 bornes MvTERRE
- 5 bornes IGN
- 19 repères en laiton
- 14 spits

Le tableau suivant présente les différentes bornes du cirque de Salazie, leurs coordonnées sont données en annexe 3.

Bornes	Emplacement	Type	Création
Ign2102	Piton Marmite	Borne IGN	
Ign2103	Le Belier	Borne IGN	
Ign2104	Mare a Martin	Borne IGN	
Ign2105	Mare a V. Place	Borne IGN	
Ign2107	Ilet a vidot	Borne IGN	
sa01	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003
sa02	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003
sa03	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003
sa04	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003
sa05	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003
sa06	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003
sa07	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003
sa08	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003
sa10	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003
sa103	Mathurin	Borne MvTerre	2007
sa104	Mathurin	Repère Laiton	2007
sa105	Mathurin	Borne MvTerre	2007
sa106	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2007
sa108	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2007
sa109	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2007
sa11	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003
sa114	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007
sa115	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007

<b>Bornes</b>	<b>Emplacement</b>	<b>Type</b>	<b>Création</b>
sa116	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007
sa117	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007
sa118	Mare a Martin	Spit	2010
sa119	Mare a goyave	Spit	2010
sa12	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003
sa120	Mare a goyave	Spit	2010
sa121	Hell bourg	Spit	2010
sa122	Hell bourg	Spit	2010
sa123	Hell bourg	Spit	2010
sa124	Mare a citron	Spit	2010
sa125	Belier	Spit	2010
sa126	Belier	Spit	2010
sa127	Grand Ilet	Spit	2010
sa128	Grand Ilet	Spit	2010
sa129	Grand Sable	Spit	2010
sa130	Grand Sable	Spit	2010
sa131	Roche à Jacquot	Spit	2010
sa14	Mare à Poule d'Eau	Repère Laiton	2003
sa15	Hell Bourg	Borne MvTerre	2003
sa16	Hell Bourg	Borne MvTerre	2003
sa17	Hell Bourg	Borne MvTerre	2003
sa18	Hell Bourg ouest	Repère Laiton	2003
sa19	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003
sa20	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003
sa21	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003
sa22	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003
sa23	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003
sa24	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003
sa25	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003
sa26	Mare à Goyaves	Repère Laiton	2003
sa28	Mare a Goyaves	Repère Laiton	2003
sa29	Mare a Goyaves	Repère Laiton	2003
sa33	Mare a Goyaves	Repère Laiton	2003
sa34	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003
sa35	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003
sa37	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003
sa38	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003
sa39	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003
sa40	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003
sa42	Mare a vieille place	Borne MvTerre	2003

<b>Bornes</b>	<b>Emplacement</b>	<b>Type</b>	<b>Création</b>
sa43	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003
sa44	Mare a vieille place	Borne MvTerre	2003
sa45	Pente Carozin	Borne MvTerre	2003
sa46	Mare d'Affouche	Repère Laiton	2003
sa48	Mare d'Affouche	Repère Laiton	2003
sa50	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa51	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa52	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa54	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa55	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa56	Grand Ilet	Repère Laiton	2003
sa57	Grand Ilet Est	Repère Laiton	2003
sa58	Grand Ilet Est	Repère Laiton	2003
sa60	Grand Ilet Est	Borne MvTerre	2003
sa61	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa62	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa63	Casabois	Borne MvTerre	2003
sa64	Casabois	Repère Laiton	2003
sa65	Grand Ilet amont	Borne MvTerre	2003
sa68	Mathurin	Borne MvTerre	2003
sa70	Mathurin	Borne MvTerre	2003
sa72	Mare a Martin	Borne MvTerre	2003
sa73	Ilet Roche a Jacquot	Borne MvTerre	2003
sa74	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa75	Grand Ilet	Repère Laiton	2003
sa76	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa77	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa78	Le belier	Borne MvTerre	2003
sa79	Le belier	Borne MvTerre	2003
sa80	Casabois	Borne MvTerre	2003
sa84	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003
sa85	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003
sa86	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003
sa87	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003
sa88	Ilet a Vidot	Borne MvTerre	2003
sa89	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003
sa90	Le belier	Repère Laiton	2003

Illustration 19 - Descriptif des bornes du cirque de Salazie



Illustration 20 - Réseau géodésique actuel du cirque de Salazie (nouveaux éléments en bleu)

## 2.4.2. Bilan des mouvements

On compare à présent les précédentes campagnes de mesure avec la campagne de juillet 2010.

Bornes	Déplacement planimétrique annuel (m)		Déplacement altimétrique annuel (m)		Orientation du déplacement (°)	
	P1=2003/2007	P2=2007/2010	A1=2003/2007	A2=2007/2010	O1=2003/2007	O2=2007/2010
IGN2102	0	0	0.01	-0.02	252	160
IGN2103	0.03	0.03	-0.01	0	91	88
IGN2104	0.01	0	0.02	-0.01	170	196
IGN2105	0	0.01	0.01	-0.03	144	279
IGN2107	0.16	0.16	-0.13	-0.08	15	15
SA01	1.05	0.82	0	0.01	360	358
SA02	1.6	1.21	-0.37	-0.26	359	359
SA03	1.16	0.99	-0.3	-0.19	2	0
SA04	1.69	1.29	-0.58	-0.36	0	359
SA05	1.1	0.93	-0.25	-0.17	0	360
SA06	1.01	0.88	-0.22	-0.17	358	358
SA07	1.1	0.91	-0.22	-0.16	357	357
SA08	0.94	0.85	-0.21	-0.19	359	360
SA10	0	0	0.01	-0.01	0	0
SA103		0.05		-0.02		214
SA104		0.04		-0.03		179
SA105		0.02		-0.02		0
SA106		0.06		-0.03		359
SA108		0.01		0.01		167
SA109		0.06		-0.04		13
SA11	0	0	0	-0.01	0	262
SA114		0.02		0.01		150
SA115		0.01		-0.02		219
SA117		0.02		-0.02		28
SA118		0.04		-0.04		159
SA119		0.04		0.05		250
SA12	0	0	0	0.01	96	209
SA120		0.03		0.13		0
SA121		0.04		-0.1		153
SA122		0.05		-0.16		221
SA123		0.06				26

Bornes	Déplacement planimétrique annuel (m)		Déplacement altimétrique annuel (m)		Orientation du déplacement (°)	
	P1=2003/2007	P2=2007/2010	A1=2003/2007	A2=2007/2010	O1=2003/2007	O2=2007/2010
SA124		0.05				0
SA125		0.16				130
SA126		0.14				157
SA127		0.05				39
SA128		0.23				40
SA14	0	1.04	0	0.08	0	357
SA15	0.1	0.11	-0.13	-0.09	304	309
SA16	0.01	0	0	0.01	146	70
SA17	0.12	0.18	-0.13	-0.17	359	3
SA18	0.01	0.01	-0.01	0.02	0	247
SA19	0.09	0.11	-0.04	-0.04	22	16
SA20	0.04	0.04	-0.05	-0.05	36	25
SA21	0.11	0.12	-0.04	-0.04	28	20
SA22	0.18	0.18	-0.3	-0.26	20	15
SA23	0.17	0	-0.37	0	29	0
SA24	0.18	0.16	-0.05	-0.04	337	336
SA25	0.06	0.07	-0.03	-0.06	13	10
SA26	0.01	0.01	0.02	-0.02	115	286
SA28	0.01	0	0.02	0	135	0
SA29	0	0.01	0.01	0.01	236	133
SA33	0	0.14	0	0.01	0	210
SA34	0.01	0.01	0.02	-0.03	77	247
SA35	0	0	0.01	-0.02	168	23
SA37	0.01	0	0	-0.01	149	283
SA38	0	0	0	-0.01	149	279
SA39	0.01	0.01	0.01	-0.02	112	264
SA40	0.16	0.14	-0.29	-0.26	241	244
SA42	0.01	0	0	-0.01	130	189
SA43	0	0.01	0	0	135	135
SA44	0	0	0.01	-0.03	180	310
SA45	0	0	0	-0.01	261	164
SA46	0.02	0	0.01	0	37	184
SA48	0.05	0.04	-0.03	0	48	70
SA50	0.45	0.46	-0.11	-0.14	42	38
SA51	0.39	0.37	-0.05	-0.02	49	50
SA52	0.3	0.28	-0.16	-0.16	36	32
SA54	0.57	0.52	-0.13	-0.09	51	51
SA55	0.25	0.23	-0.08	-0.06	45	43

Bornes	Déplacement planimétrique annuel (m)		Déplacement altimétrique annuel (m)		Orientation du déplacement (°)	
	P1=2003/2007	P2=2007/2010	A1=2003/2007	A2=2007/2010	O1=2003/2007	O2=2007/2010
SA56	0.15	0.14	-0.04	-0.05	53	50
SA57	0.15	0.13	-0.04	-0.04	54	57
SA58	0.21	0.18	-0.03	-0.02	61	60
SA60	0.08	0.16	-0.03	-0.01	73	70
SA61	0.13	0.11	-0.07	-0.03	46	46
SA62	0.06	0.07	-0.03	0.01	62	62
SA63	0.02	0.02	-0.01	0.01	97	86
SA64	0.04	0.04	-0.02	0	65	79
SA65	0.05	0.05	-0.03	-0.01	68	76
SA68	0	0	0	0.01	225	30
SA70	0.3	0.06	-0.15	0	173	172
SA72	0	0	0	0	48	173
SA73	0	0.01	-0.01	0	242	63
SA74	0.05	0.05	-0.03	-0.01	89	89
SA75	0.05	0.04	-0.01	0	120	110
SA76	0.01	0.01	0	0.01	220	25
SA77	0.05	0.04	-0.01	0.03	110	103
SA78	0.09	0.06	-0.01	-0.01	125	131
SA79	0.07	0.06	-0.03	-0.01	116	118
SA80	0.03	0.04	-0.03	0	60	75
SA85	0.07	0.04	-0.01	0.02	3	350
SA86	0	0	0.01	-0.01	212	197
SA87	0	0	0	0	141	297
SA88	0	0.03	0.01	0	266	140
SA89	0.01	0	0	0	178	72
SA90	0.02	0.02	0	-0.02	142	117

Tableau 5 - Mouvements des bornes du cirque de Salazie

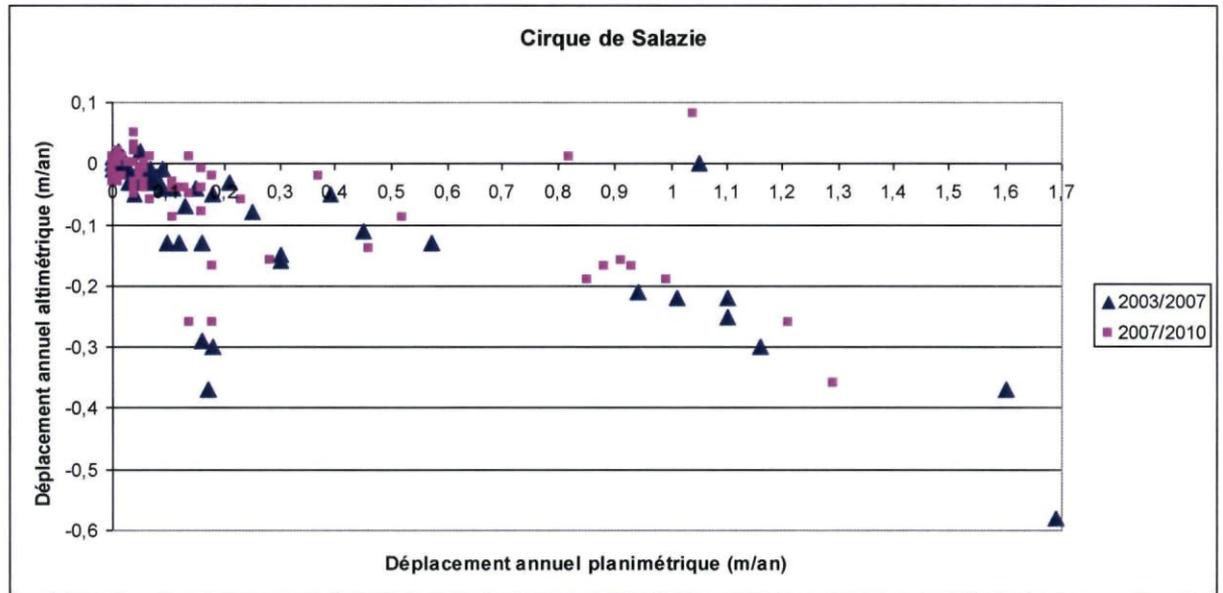


Illustration 21 - Comparaison des déplacements pour 2003/2007 et 2007/2010

#### a. Tendances générales

En ce qui concerne le cirque de Salazie, on constate globalement un ralentissement des déplacements annuels pour la période 2007/2010 par rapport à 2003/2007. Celui-ci est très marqué pour le glissement d'Hell-Bourg, avec un ralentissement du déplacement planimétrique compris entre 9 et 40 cm/an et un tassement qui diminue également entre 1 et 22 cm/an. Le ralentissement reste perceptible sur Grand Ilet mais est moins marqué, en effet en planimétrie le mouvement baisse globalement de 1 à 5 cm/an alors que le tassement diminue de 0 à 4 cm/an.

Ce ralentissement s'explique par les deux forts épisodes pluvieux qui ont frappé le cirque de Salazie entre 2003 et 2007. Hell Bourg a été plus touché que Grand Ilet, par le cyclone Gamède principalement, ce qui explique cette différence de ralentissement. En effet il est tombé 4495 mm en Février 2007 à Hell Bourg contre 2575 mm sur la même période à Grand Ilet.

**b. Grand-Ilet**

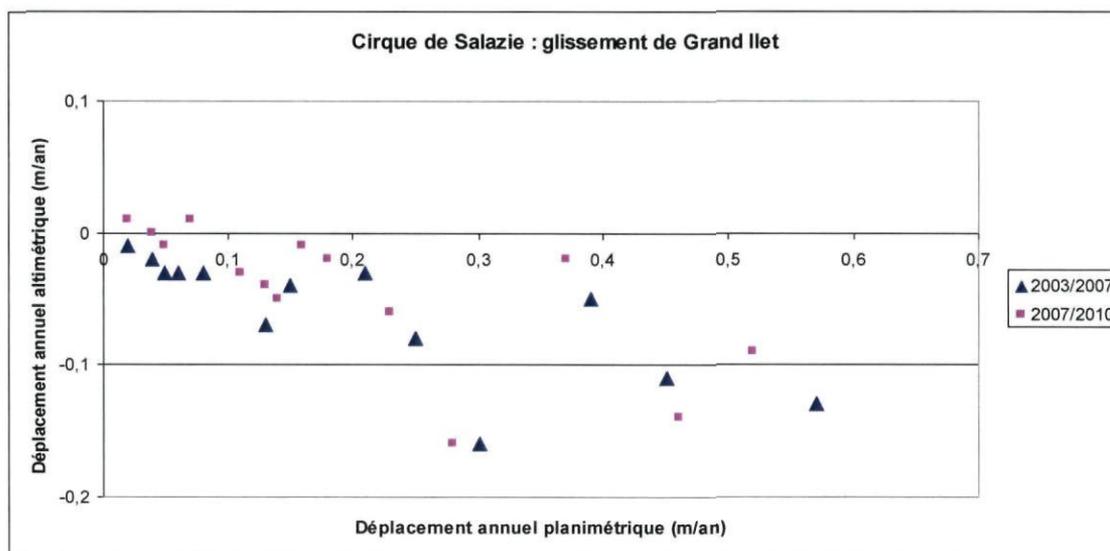


Illustration 22 - Comparaison des déplacements pour 2003/2007 et 2007/2010 (Grand Ilet)

L'important glissement de Grand-Ilet est toujours dirigé vers le Nord-Est mais sa vitesse d'évolution semble avoir diminuée sur la période 2007/2010 par rapport à la précédente période d'observation. En effet, on constate une baisse de vitesse en planimétrie comprise entre 5 et 15% de la vitesse du glissement.

La borne SA60 (Grand-Ilet Est) fait cependant exception puisque le déplacement planimétrique enregistré passe de 8 à 16 cm/an. Il est possible que ce soit un phénomène annexe et que cette accélération s'explique par la proximité du rebord de plateau.

De manière générale, le glissement est le plus fort en son extrémité Nord-est (plus de 50 cm/an) et diminue progressivement pour atteindre des valeurs de 2 à 3 cm/an vers Casabois. La vitesse de ces déplacements est vraisemblablement liée à la distance par rapport à la ravine Roche à Jacquot, comme nous le montre le graphique ci-dessous :

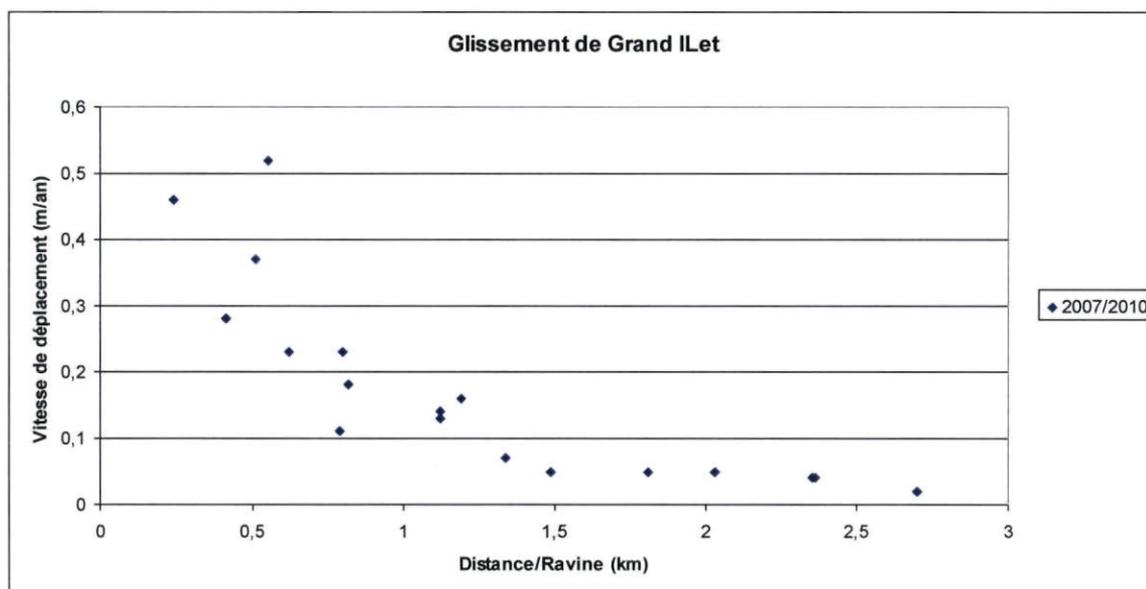


Illustration 23 – Analyse vitesse planimétrique/position du glissement de Grand Ilet

Pour ce qui est du déplacement altimétrique, la majorité des bornes indique un net affaissement. Celui-ci baisse d'intensité par rapport à la période 2003/2007 (diminution du tassement de 0 à 4 cm/an suivant les bornes).

Au niveau du Bélier, les déplacements enregistrés pour les bornes SA78 et SA 79 sont égaux à 5-6 cm/an vers le Sud-Est, valeurs légèrement inférieures aux données de 2003/2007. Par contre, l'orientation du déplacement mis en évidence lors de la précédente période, révélant un mécanisme de glissement différent du mouvement de grande ampleur de Grand Ilet est confirmée. Les déplacements enregistrés pour les deux spits installés en février 2010 correspondent à ceux des bornes au niveau de l'orientation. La valeur plus élevée enregistrée par SA125 et SA 126 n'est pas représentative du mouvement (voir paragraphe 2.1.2.).

Il en est de même pour les azimuts donnés par les bornes SA75 et SA77 (Camp Pierrot), qui montrent là aussi non pas un déplacement nord-est mais vers l'Est / Sud-Est (vers Ravine de Camp Pierrot).

### c. Mathurin

La borne SA70 installée depuis 2003 à Mathurin montre une très forte diminution des mouvements de terrain, en effet le déplacement planimétrique passe de 30 cm/an à 6 cm/an et le tassement diminue de 15 cm/an (passant de 15 à 0 cm/an). Les deux autres bornes installées en 2007 sur le même secteur (SA103 et SA104) confirment cette tendance puisque les déplacements enregistrés sont du même ordre de grandeur qu'au niveau de SA70.

### d. Mare à Martin, Mare à Citron et Mare à Vieille Place

Les bornes présentes sur ces trois îlets n'indiquent que de faibles déplacements (altimétriques et planimétriques) à l'exception du Sud de Mare à Citron.

En effet, la borne SA40 montre un fort déplacement très localisé (ce qui était déjà le cas lors de précédente période d'observation) même s'il est en légère diminution par rapport aux campagnes précédentes ; ainsi le déplacement planimétrique passe de 16 cm/an à 14 cm/an et le tassement de 29 cm/an à 26 cm/an. L'orientation du glissement est confirmé (sud-ouest).

### e. Hell Bourg

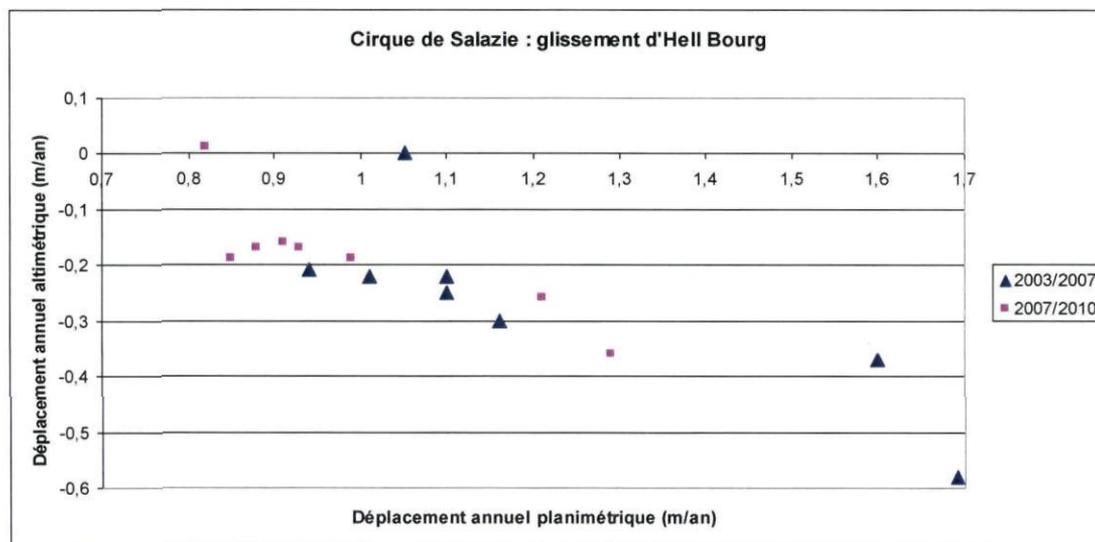


Illustration 24 - Comparaison des déplacements pour 2003/2007 et 2007/2010 (Hell Bourg)

Le glissement de grande ampleur d'Hell Bourg reste très actif avec des déplacements annuels pouvant atteindre jusqu'à 129 cm/an. Cependant, on constate sur la période 2007/2010 une sensible diminution de la vitesse de déplacement par rapport aux campagnes précédentes.

Ainsi, sur la zone la plus mouvementée (Fond de Rond Point / Mare à Poule d'Eau), les déplacements planimétriques diminuent en moyenne de 15 à 25% (voir graphique ci-dessus). Les mouvements verticaux baissent également de 10 à 30% (tout en, restant relativement importants, de l'ordre de 90 cm/an). De manière similaire à la période précédente, la borne SA01 se distingue par un déplacement planimétrique important mais par un déplacement altimétrique quasi-nul.

Sur Mare à Poule d'Eau, les valeurs semblent confirmer la stabilité du plateau.

A noter également que la borne située vers le cimetière d'Hell Bourg (SA17) enregistre une légère augmentation du mouvement déjà enregistré précédemment. En effet, le déplacement planimétrique passe de 12 cm/an à 18 cm/an et le tassement de 13 cm/an à 17 cm/an. L'orientation du déplacement est confirmée pour cette extrémité nord du plateau d'Hell Bourg.

Les autres bornes continuent d'indiquer une relative stabilité de l'essentiel du village, y compris les nouveaux spits installés en février 2010. En effet, même si les déplacements enregistrés ne sont pas nuls (2 à 3 cm entre février et juillet 2010), ils n'indiquent pas de mouvements significatifs. Seul le spit SA123 implanté à l'extrémité Nord de l'ilet montre un mouvement cohérent vers le Nord-Est.

### f. Ilet à Vidot

Sur le secteur d'Ilet à Vidot, le glissement conserve en moyenne sa vitesse de déplacement. Seule l'extrémité nord du glissement (SA22, SA24) subit un ralentissement de quelques centimètres par an. On retrouve sensiblement les mêmes directions de déplacement et les mesures mettent toujours en évidence un décroissement progressif des vitesses d'évolution vers le Sud (« arrière » de l'îlet).

Le graphique suivant indique la vitesse déplacement des bornes par rapport à leur distance à la ravine Rivière du Mat (direction du glissement) :

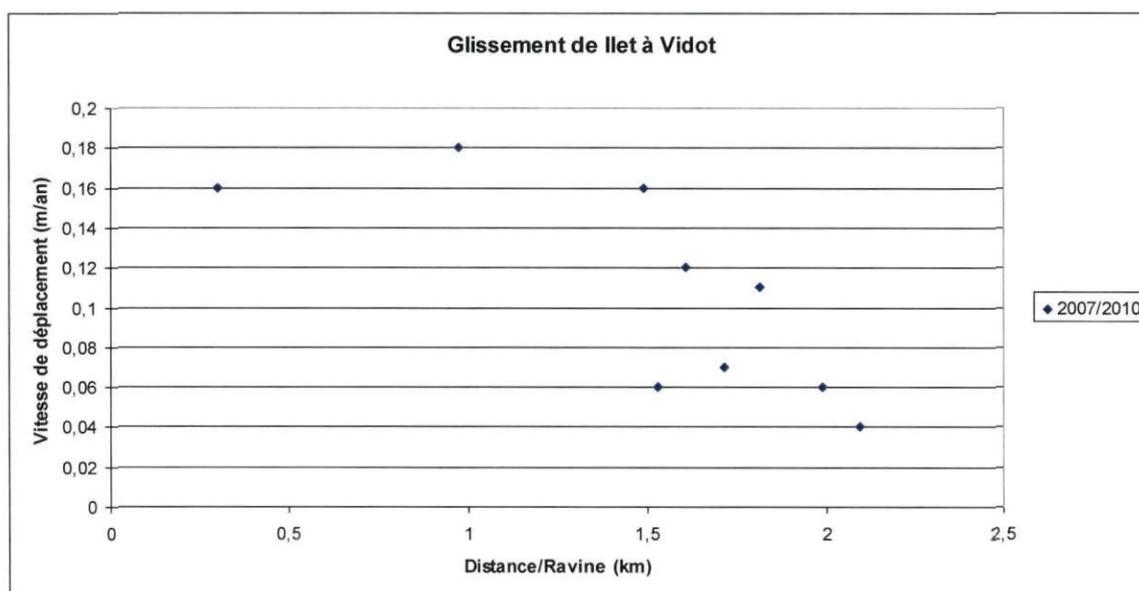


Illustration 25 - Analyse vitesse/position du glissement d'Ilet à Vidot

### **g. Mare à Goyaves**

La majorité des bornes n'enregistre aucun fort déplacement (inférieurs à 2 cm/an), que ce soit en planimétrie ou en altimétrie. En revanche sur le terrain, les signes d'activité sont incontestables (nombreuses fissures sur les habitations et la route notamment).

Seuls le repère SA33 retrouvé en Février 2010 (valeur du déplacement planimétrique peu représentative) et la borne SA114 indiquent un déplacement cohérent vers le sud. Il est regrettable que la borne la mieux placée pour analyser ce déplacement très localisé (SA116) ne soit pas mesurable (masques végétaux). L'antenne permanente installée sur une habitation dans la zone de glissement apportera plus d'informations sur ce phénomène (voir paragraphe 3.3.2.).

### **h. Sud-ouest Piton d'Enchaing**

On regrettera que la borne SA84, trahissant une activité lors de la période 2003/07, n'ait pu être levée (champ de ronces). Sur SA85, les déplacements enregistrés (4 cm/an en planimétrie) sont comparables à ceux mis en évidence sur la période précédente, de même qu'au niveau de la borne SA48 (même ordre de grandeur). La borne SA46 qui témoignait sur 2003/07 d'un déplacement planimétrique de l'ordre de 2 cm/an, montre en revanche une activité nulle.

## **2.4.3. Perspectives**

L'illustration 28 synthétise les précédentes remarques et met en valeurs les bornes disparues (croix rouges) et non remplacées par de nouveaux éléments en 2010 (points bleus).

Cette synthèse de l'évolution des bornes depuis leur installation en 2003 va permettre de choisir l'emplacement des nouvelles bornes à installer.

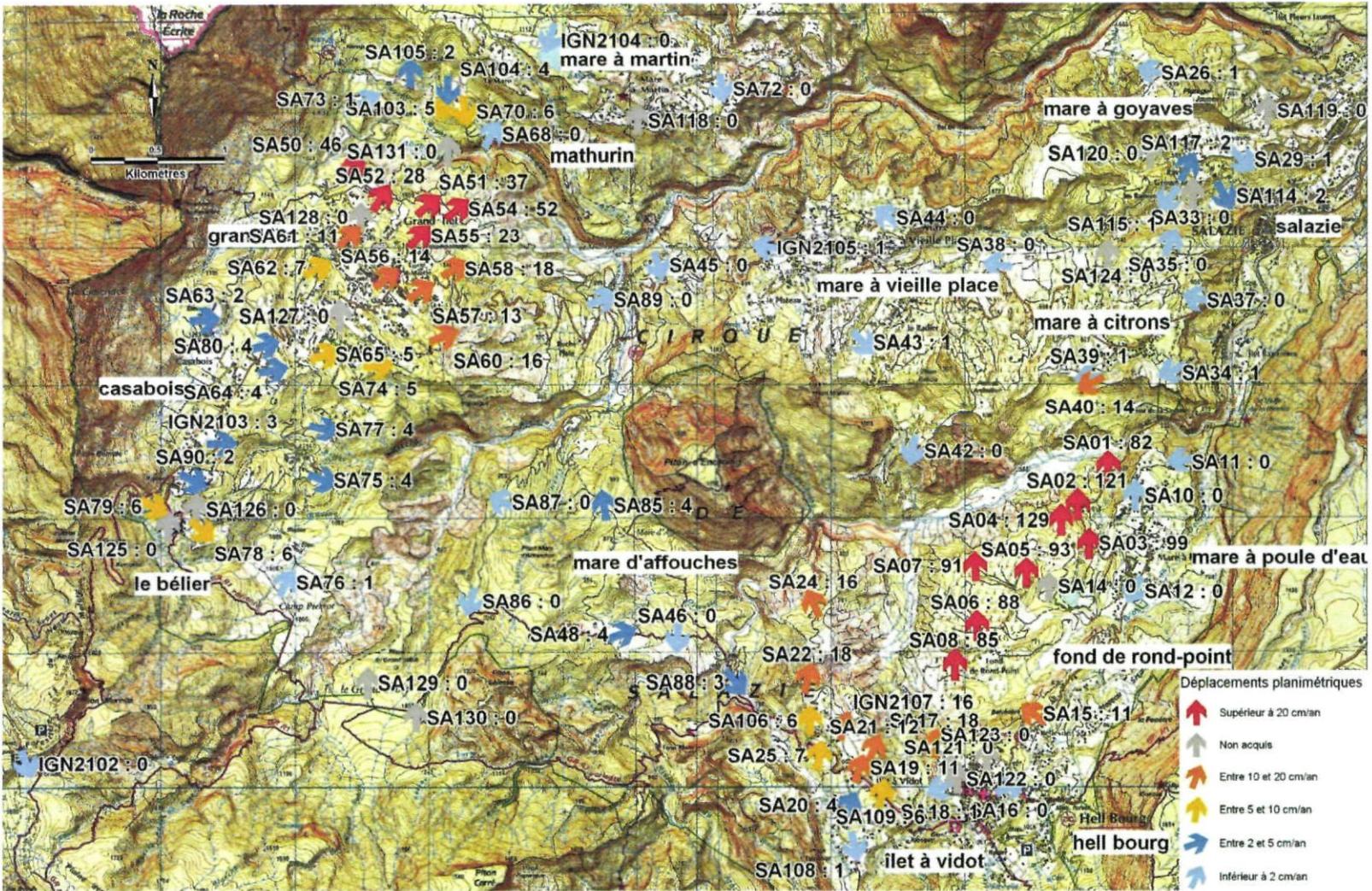


Illustration 26 - Déplacement planimétrique annuel des bornes de Salazie (en cm/an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010)



Illustration 27 - Déplacement vertical annuel des bornes de Salazie (en cm/an) et orientation du vecteur déplacement (période 2007/2010)



**a. Grand-Ilet**

4 bornes ont disparu sur le glissement de Grand Ilet et n'ont pas été remplacées en 2010 : SA59, SA66, SA67 et SA83. Ces 4 bornes seront remplacées respectivement par SA133, SA144, SA132 (pas à reconstruire car la borne SA67 est simplement déterrée) et SA145.

Afin d'améliorer les connaissances concernant la limite Est du glissement de Grand-Ilet, 3 nouvelles bornes seront implantées entre les bornes SA58 et SA89, il s'agit d'Ouest en Est de SA134, SA135 et SA136.

**b. Le bélier**

Cette zone comporte désormais 5 points de suivis géodésiques. Seule une borne supplémentaire (SA146) sera installée au départ de la route du col des bœufs (importants mouvements constatés).

**c. Camp Pierrot**

Deux nouveaux éléments viendront densifier ce secteur mal connu. Une borne (SA147) sera construite à l'entrée du hameau et un repère en laiton (SA148) sera installé à l'extrémité Nord-est du plateau.

**d. Mathurin**

A l'îlet Mathurin, il n'est également pas judicieux de remplacer SA101 et SA102 qui avaient été enlevées avant les premières mesures car les nouvelles bornes risqueraient de disparaître de la même manière. D'autre part, 4 bornes sont réparties sur l'îlet et fournissent des données cohérentes et suffisantes à la compréhension du phénomène.

**e. Ilet Roche à Jacquot**

Il existe au niveau de ce hameau une grosse marche de glissement. Actuellement, la borne SA73 se trouve en amont de cette faille mais aucune borne ne se trouve en aval. Ainsi la borne SA143 sera implantée sous cette marche afin de pouvoir analyser de manière plus fine les mouvements de ce secteur.

**f. Mare à Martin, Mare à Citron et Mare à Vieille Place**

3 bornes ont disparues dans ces îlets et 2 sont déjà remplacées par des spits (SA71 et SA36). La borne SA41 se trouvait près du glissement localisé du Sud de Mare à Citron mais les mouvements enregistrés sur la période 2003/2007 étaient très faibles (1 cm/an en planimétrie comme en altimétrie). Cependant il peut être intéressant de renouveler cette borne pour s'assurer de cette stabilité. Une nouvelle borne (SA150) sera donc construite près de l'ancienne borne.

**g. Hell Bourg**

La seule borne disparue sur ce secteur se trouve à Mare à Poule d'eau, juste à côté de l'endroit où a été installé une nouvelle antenne GPS permanente (voir paragraphe

3.2.5.), la connaissance des mouvements de cette zone sera donc assuré par ce nouveau dispositif. Cependant, une nouvelle borne (SA141) sera mise en place afin de contrôler la cohérence des données de l'antenne permanente.

La borne SA142 sera également mise en place dans ce même lotissement des Bambous, plus au sud, afin de parfaire la connaissance de ce glissement.

La borne SA15 du belvédère d'Hell Bourg étant en train de basculer dans une faille de décrochement, elle sera déplacée en amont du glissement (elle deviendra SA139). Une deuxième borne (SA140) sera installée plus en aval, sous les différentes marches du glissement.

#### **h. Ilet à Vidot**

Toutes les bornes sont encore en place et le glissement est bien représenté, il n'est pas nécessaire de renforcer le réseau à cet endroit. Il faudra juste s'assurer durant la prochaine campagne de débayer l'accès à la borne SA23.

Un spit (SA138) sera en revanche installé sur le plateau de Bras marron surplombant Ilet à Vidot afin de contrôler la stabilité de ce plateau.

#### **i. Mare à Goyave**

Cette zone de glissement connu possède une antenne GPS permanente et de nombreuses bornes géodésiques, il n'est donc pas nécessaire de densifier le réseau pour le moment.

#### **j. Bois de Pomme**

Ce hameau encore vierge de borne intégrera le réseau grâce à la borne SA137 qui sera installée à proximité de l'Ecole.

#### **k. Sud-ouest Piton d'Enchaing**

La borne SA84 sera recherchée de nouveau lors des prochaines campagnes pour essayer de la réintégrer au réseau.

#### **l. Plaine des Merles**

Un nouveau repère en laiton SA149 sera implanté sur la plaine des merles, sous le col de fourche, c'est en effet un secteur où les mouvements sont très mal connus.

Au total 14 nouvelles bornes, 2 repère en laiton et 1 spit seront installés fin 2010/début 2011 dans le cirque de Cilaos, 2 bornes seront également déplacées.

## 2.5. SYNTHÈSE

	2003	2007	2009	2010	Début 2011 (prévisionnel)
Installation bornes	107	15	3	0	24
Installation repères laitons	24	1	0	0	4
Installations spits	0	0	0	19	1
Disparition bornes	0	12	0	6	
Disparition repères laitons	0	3	0	1	
Disparition spits	0	0	0	0	

En résumé, le réseau comporte actuellement 107 bornes MvTerre, 21 repères laitons, 19 spits et 13 bornes IGN, soit un total de 160 éléments. Il sera densifié prochainement par un apport de 29 éléments.

Les nouveaux aménagements du réseau géodésique, réalisés dans le cadre du projet MvTerre-2, sont présentés sur les cartes ci-après. Le détail figure sur l'illustration 32.

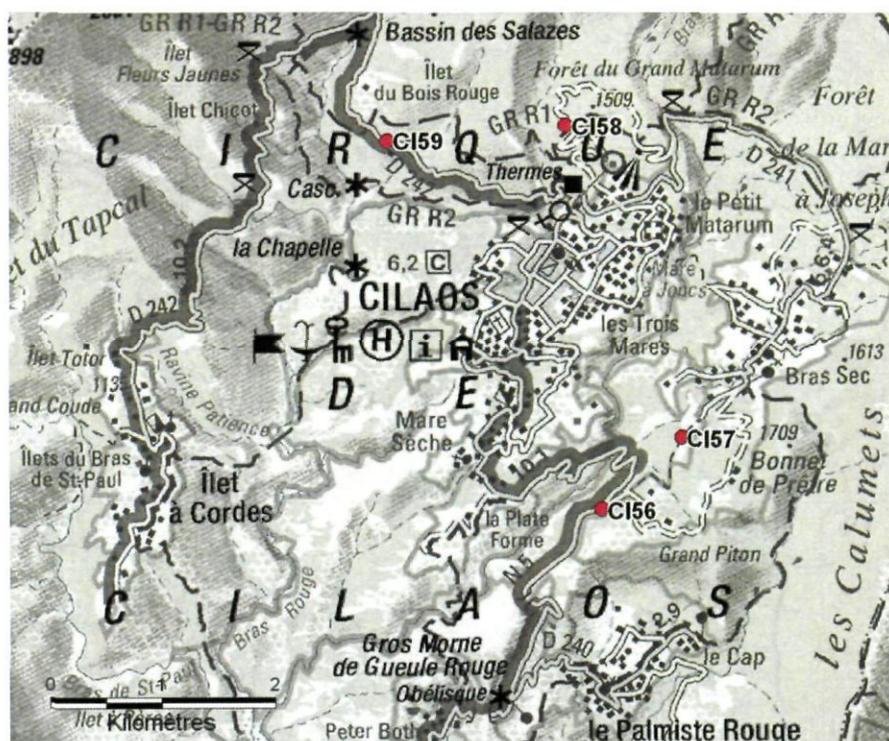


Illustration 29 - Cirque de Cilaos

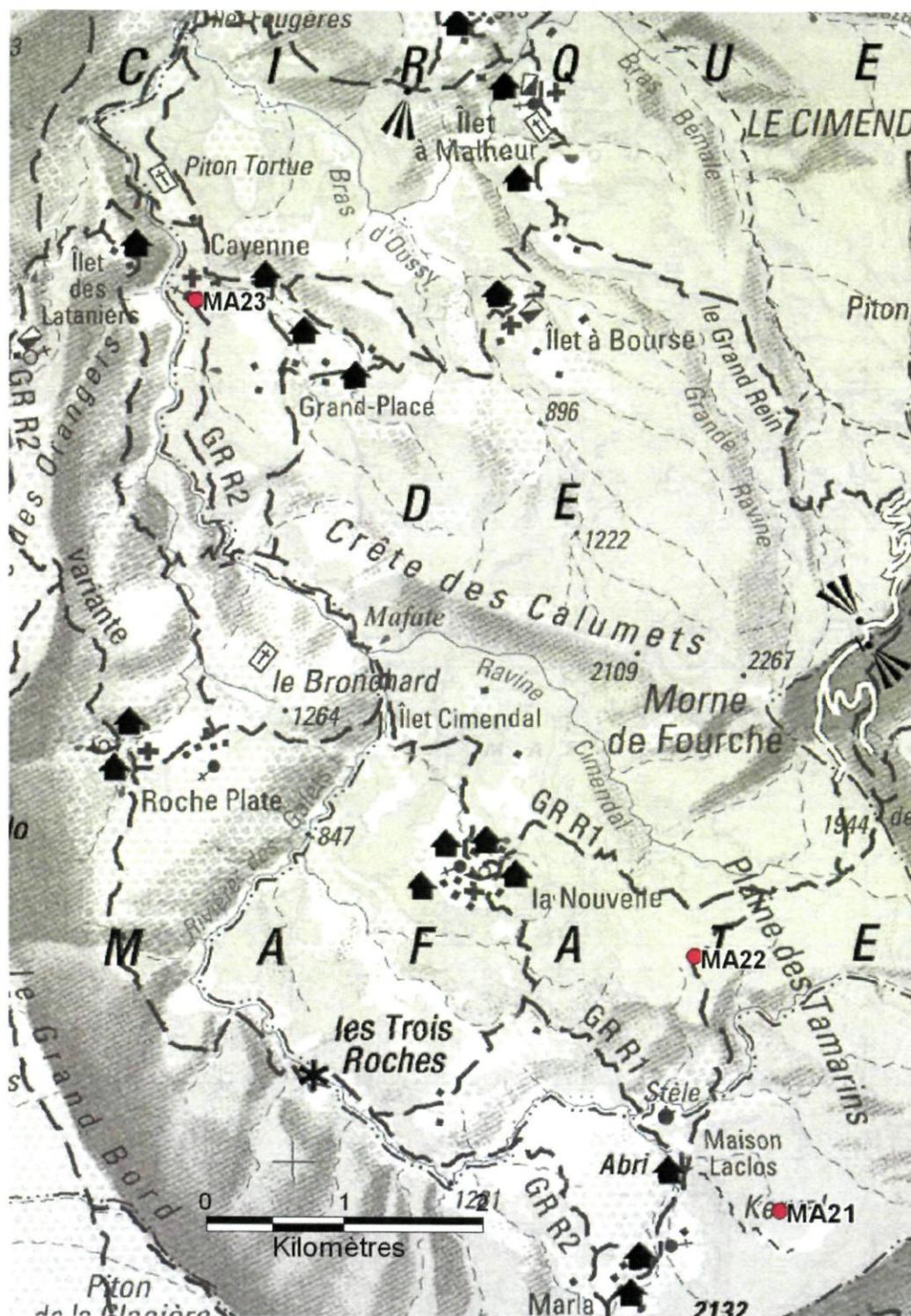


Illustration 30 - Cirque de Mafate (sans les bornes du PNR)

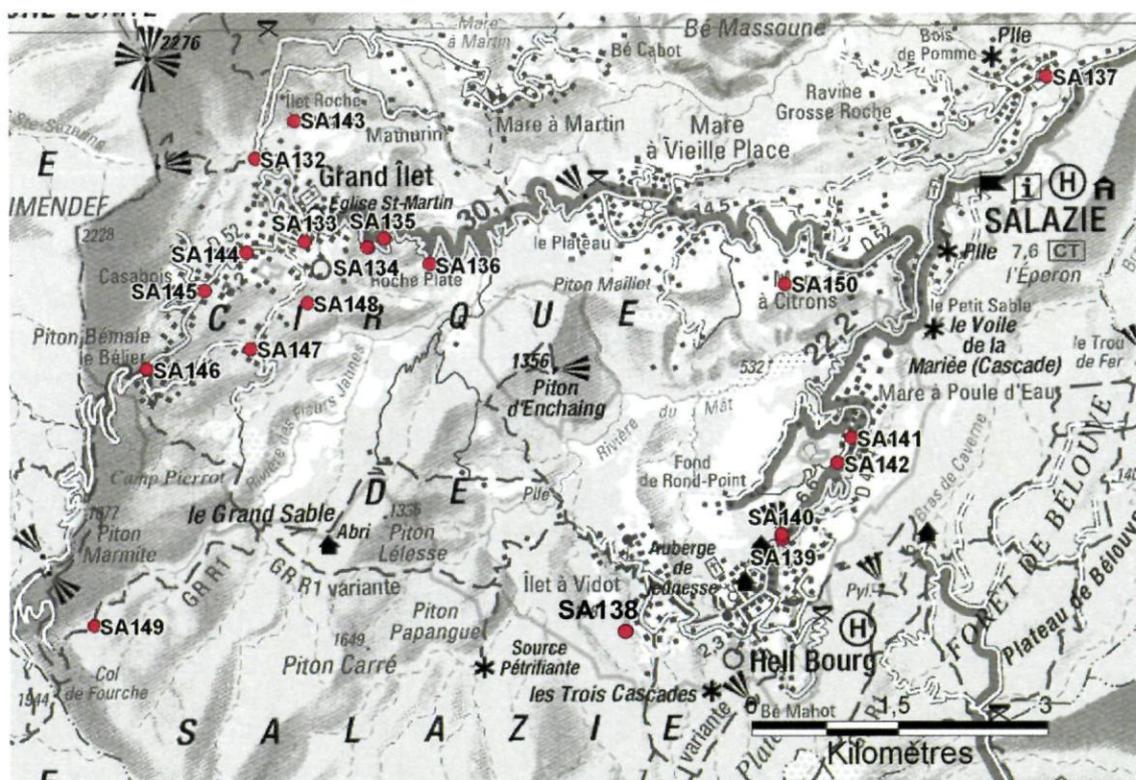


Illustration 31 - Cirque de Salazie

	Cilaos	Mafate	Salazie	Total
Déplacement et réimplantation d'une borne			2	2
Pose d'un repère simple (spit)	1		2	3
Implantation d'une nouvelle borne accessible en voiture	3		14	17
Implantation d'une nouvelle borne inaccessible (en voiture)		3		3
<b>Total par cirque</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>25</b>

Illustration 32 – Bilan des nouveaux repères installés dans le cadre du projet MvTerre-2

### 3. Densification du réseau de GPS permanents

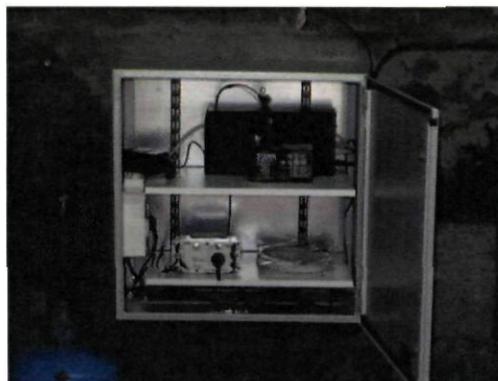
Début 2010, dans le cadre de MvTerre-2, 7 dispositifs GPS ont été acquis chez Leica Géosystem. Il s'agit du système 1200 qui est utilisé en récepteur permanent avec le réseau Lél@ (Cf. Annexe 1 et 2). Grâce à ce matériel, les données sont désormais télétransmises directement sur un serveur par ligne ADSL ou par GSM. Ces nouveaux appareils ont servi d'une part à remplacer les anciens GPS et d'autre part à densifier le réseau d'antennes permanentes.

Les 3 anciens GPS déployés lors de MvTerre-1 sont toujours en état de marche et ont été réimplantés sur d'autres sites. Le réseau de GPS permanents possède actuellement 10 dispositifs en activités.

#### 3.1. DESCRIPTION DU NOUVEAU MATERIEL

Le système 1200 utilisé dans 7 stations permanentes est installé de la manière suivante :

- l'antenne GPS permet de recevoir les données des satellites, elle est reliée au capteur.
- le capteur GPS enregistre et traite les données, il est relié à l'antenne, au modem (ou au GSM) et à l'onduleur.
- le modem transmet les données via l'ADSL. Pour les sites non éligibles ADSL c'est le GSM qui se charge d'envoyer les données via le réseau SFR
- l'onduleur et la batterie sont reliés au capteur et à l'alimentation électrique. Ils permettent de prendre le relais dans le cas d'une coupure de courant.



*Illustration 33 - GPS d'Hell Bourg*

Outre la télétransmission, ces systèmes GPS 1200 disposent d'une amélioration considérable par rapport aux GPS 500 installés lors de MvTerre-1 : le nombre de satellites captés. En effet, alors que

l'ancien matériel ne recevait que les signaux des satellites de la constellation GPS (américains), les nouveaux appareils permettent de capter aussi les satellites de la constellation GLONASS (russes).

Ainsi lors de chaque mesure, le nombre de satellites captés est plus important (GLONASS apporte 20 satellites opérationnels supplémentaires) et par conséquent la précision est augmentée.

### **3.2. BILAN SUR LES DISPOSITIFS MVTERRE-1**

#### **3.2.1. Station référence du réservoir de Mare à Vieille Place**

Cette station servait jusqu'à présent de référence aux deux autres stations permanentes de Salazie. Malheureusement, elle a été vandalisée au mois d'Octobre 2009 et a dû être démontée. Elle n'a pas été installée immédiatement ailleurs car le réseau Lél@ a pu remplir la fonction de référence grâce aux antennes permanentes déployées sur l'ensemble de l'île. Depuis début août 2010, une antenne du réseau Lél@ a été installée à Mare à Vieille Place (Salazie) rendant désormais totalement inutile une station de référence propre au réseau MvTerre-2. Ce matériel pourra donc être redéployé sur un site à enjeux scientifiques.

#### **3.2.2. Station de Mare à Poule d'Eau (Viraye)**

La station GPS permanente de Mare à Poule d'Eau (Chez Viraye) est toujours en service. Le matériel et le mode de récupération des données ont été changés en Avril 2010. En effet, le site a été équipé du système 1200 de Leica et les données sont depuis télétransmises par GSM en utilisant le réseau SFR.

#### **3.2.3. Station de Grand Ilet Eglise (GIE)**

De même que pour la station précédente, ce site a été rééquipé en Avril 2010 par un dispositif GPS plus récent, à la différence près que la télétransmission s'effectue ici par ligne ADSL.

### **3.3. DENSIFICATION DU RESEAU**

Les 5 autres systèmes 1200 sont venus compléter le réseau sur les grands glissements d'Hell Bourg, Ilet à Vidot et Grand Ilet. Ils ont tous été installés chez des particuliers. La télétransmission pour l'ensemble de ces sites se fait par ligne ADSL.

#### **3.3.1. Grand Ilet Abattoir (GIA)**

Ce GPS se situe en face de l'abattoir à l'entrée de Grand Ilet. Il a été installé sur une zone de fort glissement (près de la borne SA57 qui enregistre un déplacement planimétrique de 14 cm/an).



*Illustration 34 - Antenne GPS de GIA*

### **3.3.2. Grand Ilet Nord (GIN)**

Situé à l'autre extrémité du glissement de Grand Ilet, ce GPS est installé sur une zone qui se déplace d'environ 30 cm/an.



*Illustration 35 - Antenne GPS de GIN*

### **3.3.3. Hell Bourg (HB)**

Le GPS installé à Hell Bourg se trouve sur l'extrémité du plateau près du cimetière où un mouvement 16 cm/an est actuellement enregistré. Il n'a pas été installé au centre du village, aucun déplacement important n'ayant été enregistré dans ce secteur.



*Illustration 36 - Antenne GPS de HB*

#### **3.3.4. Ilet A Vidot (IAV)**

Situé sur une des parties les plus actives du glissement d'Ilet à Vidot, ce GPS devrait enregistrer des déplacements d'environ 16 cm/an.



*Illustration 37 - Antenne GPS de IAV*

#### **3.3.5. Mare A Poule d'Eau Ecole (MAPE)**

Ce GPS est installé sur une habitation située juste derrière une des failles de décrochement du glissement de Hell Bourg, il devrait donc enregistrer des mouvements importants.



*Illustration 38 - Antenne GPS de MAPE*

### **3.4. REDEPLOIEMENT DE L'ANCIEN MATERIEL**

Les 3 anciens GPS étant encore en état de fonctionner, il a été décidé de les réinstaller sur trois nouveaux sites. L'un vient renforcer la connaissance du vaste glissement d'Hell Bourg (FDRP) et les deux autres ont été positionnés sur des glissements de plus faible ampleur. Ils sont installés chacun chez un particulier.

#### **3.4.1. Fond De Rond Point (FDRP)**

Ce GPS se trouve au cœur du glissement de Hell Bourg, sur une zone où les mouvements atteignent 90 cm/an.



*Illustration 39 - Antenne GPS de FDRP*

#### **3.4.2. Mare A Goyave (MAG)**

Les bornes géodésiques mises en place sur ce secteur ne nous apportant pas suffisamment de connaissance sur le glissement de Mare à Goyave, il a été décidé d'installer une antenne permanente afin de mieux cerner ce mouvement que l'on sait très actif.



*Illustration 40 - Antenne GPS de MAG*

### **3.4.3. Mathurin (MAT)**

Les bornes géodésiques (SA70 notamment) ont confirmé la présence d'un glissement de terrain sur l'Ilet de Mathurin. Il a donc été décidé de le suivre en continu à l'aide d'une antenne GPS permanente.



*Illustration 41 - Antenne GPS de MAT*

### 3.5. BILAN DU RESEAU

Site	Lieu-dit	Matériel	Récupération des données	Hébergement
MAPE	Mare à Poule d'eau	Leica 1200	ADSL	Habitation (particulier)
VIR	Mare à Poule d'eau	Leica 1200	GSM	Container (particulier)
GIN	Grand-Ilet	Leica 1200	ADSL	Garage (particulier)
GIA	Grand-Ilet	Leica 1200	ADSL	Habitation (particulier)
GIE	Grand-Ilet	Leica 1200	ADSL	Local communal
HB	Hell-Bourg	Leica 1200	ADSL	Garage + poteau (particulier)
IAV	Ilet à Vidot	Leica 1200	ADSL	Habitation + garage (particulier)
MAT	Mathurin	Leica 500	Tournée manuelle	Habitation (particulier)
MAG	Mare à Goyave	Leica 500	Tournée manuelle	Habitation + garage (particulier)
FDRP	Fond de Rond Point	Leica 500	Tournée manuelle	Habitation (particulier)

Sur la carte ci-dessous sont reportées les différentes stations GPS permanentes détaillées dans les paragraphes précédents. Les nouveaux dispositifs sont représentés en bleu (télétransmission) et les anciens GPS réimplantés sont en rouge (récupération manuelle des données).





## 4. Conclusion

La mise en place des réseaux géodésiques du projet MvTerre-2 s'est déroulée conformément au programme initial du module 2 « Détection et suivi des mouvements de terrain de grande ampleur ».

Les deux réseaux de suivi des déplacements élaborés au cours du projet MvTerre-1 ont été complétés :

- Réseau de 10 dispositifs GPS permanents : le nombre de stations a été augmenté de trois à dix. Les données de sept stations sont télétransmises (Leica 1200) et trois font l'objet d'un relevé sur site mensuel (Leica 500). Ces stations ont pour objectif l'enregistrement « en continu » (1 donnée par jour) des déplacements planimétrique et altimétrique sur le cirque de Salazie. L'emplacement des sites a été déterminé par le caractère actif des déplacements ;
- Réseau de repères géodésiques des trois cirques : une première campagne de mesure visant à retrouver et mesurer les bornes MvTerre-1 a été effectuée en janvier / février 2010. Lors de cette campagne, 141 repères valides ont été identifiés et 13 nouveaux repères de type spits ont été ajoutés, soit un total de 154 éléments. Une deuxième campagne a été effectuée en Juillet 2010 où la globalité des repères, y compris ceux installés début 2010, a été levée. 6 spits ont également été rajoutés, ce qui amène le nombre total de repères géodésiques à 160. Ce réseau sera complété par une vingtaine de nouveaux repères au cours de l'année 2011.  
Les mesures sont effectuées au GPS différentiel selon deux protocoles : temps réel ou post-traitement. Dans les deux cas, le réseau d'antennes fixes « LÉI@ » est utilisé. Différentes pistes de réflexion sur l'optimisation entre temps de mesure et qualité de mesure sont en cours de développement.  
Ce réseau a pour objectif la connaissance de la distribution spatiale des déplacements sur les trois cirques de La Réunion.

Actuellement, les données issues de ces réseaux sont communiquées à titre indicatif mais aucune analyse poussée des résultats n'a été effectuée. Ce travail sera réalisé lorsque le volume des données acquises sera plus important en 2011 puis 2012.



## **Annexe 1**

### **Systeme GPS 1200 de Leica**

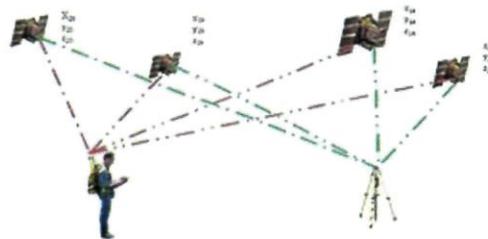


• **Fonctionnement d'un GPS différentiel**

Amélioration de la précision par positionnement différentiel

> **Distance récepteur-satellites mesurée par deux récepteurs sur les mêmes satellites**

- 1 récepteur fixe
- 1 récepteur mobile



> **Le récepteur fixe placé sur un point connu en coordonnées**

- Distances exactes calculées
- Corrections appliquées au récepteur mobile

> **Précision centimétrique**



SGR Réunion

2 solutions pour du positionnement différentiel

> **2 récepteurs identiques**

- Un mobile avec l'utilisateur pour le lever
- Un pivot sur un point connu qui sert de référence



> **Un récepteur + un réseau d'antennes GPS permanentes**

- Un mobile avec l'utilisateur pour le lever
- Un réseau d'antennes sur des points connus répartis sur le territoire



SGR Réunion

- **Le système 1200 de Leica**



*Récepteur GRX1200+GNSS*



*Antenne géodésique AX1203+ GNSS*

Les deux éléments ci-dessus sont la base du système 1200 de Leica, ils sont utilisés pour effectuer les campagnes de mesure des bornes géodésiques (dispositif n°1) et dans les 7 stations permanentes (dispositif n°2) :



*Dispositif n°1*



*Dispositif n°2*

## **Annexe 2**

### **Le réseau d'antennes GPS permanentes Lél@**



Opérationnel depuis 2006, ce réseau permet aux utilisateurs de se passer d'un deuxième récepteur et d'utiliser les stations de Lél@ comme référence.



*Les 8 stations du réseau Lél@*

Voici les coordonnées planes, dans la projection UTM 40S, des stations du réseau, à noter que la station MAVP vient d'être installée en août 2010 :

Nom	Est	Nord	Altitude	Localisation
DENI	338508.89	7690413.07	62.10	Saint Denis
JOSE	356830.88	7635353.29	42.94	Saint Joseph
MAVP	345357.93	7673973.80	858.92	Mare à Vieille Place
PALM	357205.32	7662319.78	1049.37	Plaine des palmistes
PANO	363551.57	7677071.93	31.59	Bras Panon
PAUL	321578.94	7677869.07	11.61	Saint Paul
SLEU	322289.72	7655204.19	22.99	Saint Leu
TAMP	345122.00	7647306.15	553.22	Le Tampon

*Coordonnées des stations Lél@*

## **Annexe 3**

# **Coordonnées des bornes du réseau géodésique**

Les coordonnées suivantes sont données en mètres, ce sont des coordonnées planes dans la projection UTM 40 SUD. Elles sont issues de la campagne de juillet/aout 2010 :

- 28 et 29 juillet 2010 pour le cirque de Cilaos
- 2, 3 et 11 aout 2010 pour le cirque de Mafate
- du 13 juillet au 6 aout 2010 pour le cirque de Salazie

Bornes	Emplacement	Type	Création	Est	Nord	Altitude
GP1	Grand Place les Hauts	Borne MvTerre	2007	335403.59	7672155.65	839.27
GP2	Grand Place les Hauts	Borne MvTerre	2007	334712.07	7672054.39	848.55
GP3	Grand Place	Borne MvTerre	2007	335007.10	7672393.73	765.08
GP4	Grand Place	Borne MvTerre	2007	334765.05	7672574.44	688.06
Ign0812	Aurere	Borne IGN		336171.79	7675015.94	944.79
Ign0813	Grand Place les Hauts	Borne IGN		335768.91	7672220.90	997.83
Ign0814	La Nouvelle	Borne IGN		336006.36	7668691.38	1442.44
Ign1518	Marla	Borne IGN		337339.74	7665639.35	1628.56
ma01	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003	336215.76	7668555.71	1419.67
ma02	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003	336069.90	7668327.54	1425.45
ma03	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003	335870.04	7668809.29	1405.44
ma04	La Nouvelle	Borne MvTerre	2003	336343.79	7669089.26	1468.14
ma05	Ilet Cimendal	Borne MvTerre	2003	336251.17	7669726.89	1340.60
ma06	Plaine des sables	Borne MvTerre	2003	336211.82	7667124.16	1413.95
ma07	Marla	Borne MvTerre	2003	336732.73	7666524.77	1409.09
ma08	Marla	Borne MvTerre	2003	337027.04	7665857.67	1586.55
ma09	Marla	Borne MvTerre	2003	337573.67	7665915.66	1575.10
ma10	Roche Plate Est	Borne MvTerre	2003	334387.20	7669443.84	1141.07
ma11	Roche Plate Ouest	Borne MvTerre	2003	333690.10	7669527.19	1096.82
ma13	Ilet des Orangers	Borne MvTerre	2003	332967.95	7672328.45	980.08
ma14	Cayenne	Borne MvTerre	2003	333830.83	7672932.36	620.63
ma15	Ilet des Lataniers	Borne MvTerre	2009	333691.27	7673056.96	611.28
ma16	Ilet des Orangers	Borne MvTerre	2009	333092.34	7672299.60	975.15
ma17	Roche Plate Sud	Borne MvTerre	2009	333868.14	7668861.47	1254.17

*Coordonnées des bornes du cirque de Mafate*

Bornes	Emplacement	Type	Création	Est	Nord	Altitude
ci01	Cilaos	Borne MvTerre	2003	340987.65	7662366.50	1224.03
ci02	Cilaos	Borne MvTerre	2003	341292.85	7660751.76	1150.57
ci03	Cilaos	Borne MvTerre	2003	341761.67	7661568.87	1228.53
ci05	Mare Seche	Borne MvTerre	2003	340829.82	7660929.24	1079.73
ci06	Mare Seche	Borne MvTerre	2003	340501.30	7660371.44	1055.44
ci07	La Plate-forme	Borne MvTerre	2003	340311.75	7659678.96	970.86
ci08	Ilet Gueule Rouge	Borne MvTerre	2003	342851.59	7660248.67	1284.26
ci10	Bras Sec	Borne MvTerre	2003	342517.64	7661178.76	1195.27
ci11	Ilet a Cordes	Borne MvTerre	2003	337816.23	7660640.21	1064.99
ci12	Ilet a Cordes	Borne MvTerre	2003	337947.49	7660084.33	1050.32
ci13	Ilet a Cordes	Borne MvTerre	2003	337398.49	7659360.69	1053.18
ci14	Cilaos	Borne MvTerre	2003	341324.67	7662568.82	1211.50
ci16	Cilaos	Borne MvTerre	2003	341697.89	7662575.60	1258.72
ci17	La Plate-forme	Borne MvTerre	2003	340137.39	7659535.02	941.73
ci18	La Plate-forme	Borne MvTerre	2003	340957.99	7660031.24	1023.26
ci20	Palmiste Rouge	Borne MvTerre	2003	341592.67	7658155.82	817.11
ci21	Ilet a Calebasse	Borne MvTerre	2003	342222.34	7657259.25	948.63
ci22	Palmiste Rouge	Borne MvTerre	2003	341792.03	7658320.52	867.55
ci23	Route de Gros Galets	Borne MvTerre	2003	342302.25	7657732.38	902.88
ci24	Palmiste Rouge	Borne MvTerre	2003	342257.56	7658453.81	887.80
ci25	Berge du Bras de Benjoin	Borne MvTerre	2003	341358.68	7660234.33	967.25
ci28	Bras Sec	Borne MvTerre	2003	342343.22	7660376.87	1112.91
ci29	Bonnet Carre	Borne MvTerre	2003	340901.60	7662726.03	1181.52
ci30	Ilet Bois Rouge	Borne MvTerre	2003	339479.30	7663720.30	1174.94
ci31	La Roche Merveilleuse	Repère Laiton	2003	342084.24	7663174.91	1442.17
ci32	Rampe des Thermes	Repère Laiton	2003	341322.85	7662801.39	1222.14
ci50	Bras sec	Spit	2010	343234.48	7661433.10	1264.33
ci51	Cap silestre	Spit	2010	343005.44	7660534.72	1320.60
ci53	Route d'Ilet a corde	Spit	2010	338825.69	7663924.39	1281.28
ci54	Route d'Ilet a corde	Spit	2010	338083.98	7661869.04	1217.90
ci55	Cilaos	Spit	2010	340779.67	7661629.16	1176.61
Ign2401	Cilaos	Borne IGN		341507.56	7662593.65	1225.30
Ign2402	Ilet a Cordes	Borne IGN		337629.53	7660357.68	1126.05
Ign2403	Bras Sec	Borne IGN		342763.38	7660773.42	1261.93
Ign2404	Peter Both	Borne IGN		340061.03	7657498.26	869.23
sfr	Cilaos	Borne MvTerre	2003	341642.45	7661642.27	1228.30

Coordonnées des bornes du cirque de Cilaos

Pour les bornes du cirque de Salazie, les coordonnées en rouge correspondent aux bornes n'ayant pas pu être levées lors de la campagne de Juillet 2010 (mais à celles d'une campagne antérieure).

Bornes	Emplacement	Type	Création	Est	Nord	Altitude
Ign2102	Piton Marmite	Borne IGN	0	339008.23	7670174.79	1850.77
Ign2103	Le Bélier	Borne IGN	0	340459.78	7672546.81	1299.09
Ign2104	Mare a Martin	Borne IGN	0	342911.06	7675566.65	1107.42
Ign2105	Mare a V. Place	Borne IGN	0	344519.40	7673995.23	890.75
Ign2107	Ilet a Vidot	Borne IGN	0	345093.17	7670464.87	933.22
sa01	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003	347069.67	7672368.14	537.53
sa02	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003	346840.47	7672095.51	616.44
sa03	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003	346925.31	7671805.53	642.35
sa04	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003	346714.05	7671981.96	681.59
sa05	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003	346456.70	7671590.45	740.33
sa06	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003	346088.40	7671187.35	750.35
sa07	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003	346071.16	7671638.47	719.10
sa08	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003	345922.07	7670905.29	762.99
sa10	Mare a Poule d'Eau	Repère Laiton	2003	347269.12	7672157.93	680.76
sa103	Mathurin	Borne MvTerre	2007	342130.49	7675041.16	995.33
sa104	Mathurin	Repère Laiton	2007	342149.82	7675165.24	990.37
sa105	Mathurin	Borne MvTerre	2007	341856.92	7675308.26	1030.49
sa106	Ilet a Vidot	Borne MvTerre	2007	344841.23	7670507.98	898.11
sa108	Ilet a Vidot	Borne MvTerre	2007	345188.73	7669555.66	1002.31
sa109	Ilet a Vidot	Borne MvTerre	2007	345380.49	7669942.40	935.21
sa11	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003	347622.28	7672399.95	653.25
sa114	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007	347945.80	7674389.48	475.28
sa115	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007	347528.11	7674356.73	515.95
sa116	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007	347886.32	7674637.06	562.68
sa117	Mare a Goyaves	Borne MvTerre	2007	347660.44	7674593.63	586.15
sa118	Mare a Martin	Spit	2010	343553.40	7674943.18	986.03
sa119	Mare a goyave	Spit	2010	348259.35	7675010.24	600.12
sa12	Mare a Poule d'Eau	Borne MvTerre	2003	347271.16	7671446.05	706.89
sa120	Mare a goyave	Spit	2010	347380.33	7674690.75	603.36
sa121	Hell bourg	Spit	2010	345890.65	7670130.62	935.36
sa122	Hell bourg	Spit	2010	345940.68	7670055.91	936.32
sa123	Hell bourg	Spit	2010	346161.46	7670219.26	943.12
sa124	Mare a citron	Spit	2010	347059.06	7673943.15	602.32
sa125	Bélier	Spit	2010	340046.99	7671947.92	1222.71
sa126	Bélier	Spit	2010	340256.78	7672066.90	1221.13
sa127	Grand Ilet	Spit	2010	341328.44	7673495.25	1172.04

Bornes	Emplacement	Type	Création	Est	Nord	Altitude
sa128	Grand Ilet	Spit	2010	341484.25	7674236.56	1076.39
sa129	Grand Sable	Spit	2010	341538.79	7670784.26	1069.69
sa130	Grand Sable	Spit	2010	341902.07	7670529.98	1067.16
sa131	Roche à Jacquot	Spit	2010	342132.60	7674721.13	882.69
sa14		Repère Laiton	2003	346625.60	7671477.15	686.05
sa15	Hell Bourg	Borne MvTerre	2003	346512.61	7670547.75	875.57
sa16	Hell Bourg	Borne MvTerre	2003	346340.55	7669993.88	935.84
sa17	Hell Bourg	Borne MvTerre	2003	345782.25	7670327.99	935.85
sa18	Hell Bourg ouest	Repère Laiton	2003	345822.41	7669976.83	946.92
sa19	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003	345214.69	7670133.08	932.99
sa20	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003	345138.70	7669854.82	956.67
sa21	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003	345320.36	7670288.57	911.21
sa22	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003	344827.52	7670813.65	948.71
sa23	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003	344898.69	7670990.18	909.63
sa24	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003	344868.06	7671344.03	789.53
sa25	Ilet a vidot	Borne MvTerre	2003	344912.80	7670240.70	895.37
sa26		Repère Laiton	2003	347394.96	7675309.07	625.78
sa28	Mare a Goyaves	Repère Laiton	2003	348204.40	7674837.40	611.24
sa29	Mare a Goyaves	Repère Laiton	2003	348080.80	7674639.09	591.20
sa33	Mare a Goyaves	Repère Laiton	2003	347699.90	7674399.83	514.84
sa34	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003	347552.73	7673083.88	656.02
sa35	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003	347529.33	7674035.15	652.33
sa37	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003	347731.42	7673598.74	640.47
sa38	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003	346239.65	7673852.19	713.26
sa39	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003	346932.96	7673037.72	670.64
sa40	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003	346939.39	7672992.01	650.67
sa42	Mare a vieille place	Borne MvTerre	2003	345620.12	7672478.29	796.24
sa43	Mare a Citrons	Borne MvTerre	2003	345245.23	7673301.04	802.80
sa44	Mare a vieille place	Borne MvTerre	2003	345414.43	7674233.47	868.28
sa45	Pente Carozin	Borne MvTerre	2003	343716.09	7673857.72	746.03
sa46	Mare d'Affouche	Repère Laiton	2003	343863.33	7671093.24	797.19
sa48	Mare d'Affouche	Repère Laiton	2003	343436.85	7671126.30	888.19
sa50	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341434.38	7674593.78	1017.54
sa51	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341992.14	7674332.82	1025.01
sa52	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341634.94	7674381.22	1049.64
sa54	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	342207.27	7674302.55	967.45
sa55	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341924.88	7674090.51	1076.31
sa56	Grand Ilet	Repère Laiton	2003	341676.25	7673767.05	1106.09
sa57	Grand Ilet Est	Repère Laiton	2003	341937.07	7673673.09	1087.16
sa58	Grand Ilet Est	Repère Laiton	2003	342190.61	7673840.76	1047.76
sa60	Grand Ilet Est	Borne MvTerre	2003	342107.07	7673352.39	1091.84
sa61	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341402.87	7674090.48	1121.96

Bornes	Emplacement	Type	Création	Est	Nord	Altitude
sa62	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341168.07	7673847.07	1185.93
sa63	Casabois	Borne MvTerre	2003	340331.92	7673468.36	1267.84
sa64	Casabois	Repère Laiton	2003	340842.65	7673118.70	1290.70
sa65	Grand Ilet amont	Borne MvTerre	2003	341225.15	7673223.02	1212.62
sa68	Mathurin	Borne MvTerre	2003	342465.60	7674840.68	934.38
sa70	Mathurin	Borne MvTerre	2003	342270.70	7675007.13	994.50
sa72	Mare a Martin	Borne MvTerre	2003	344191.25	7675186.12	902.93
sa73	Ilet Roche a Jacquot	Borne MvTerre	2003	341541.09	7675103.00	1047.34
sa74	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341625.67	7673144.39	1167.38
sa75	Grand Ilet	Repère Laiton	2003	341209.25	7672278.64	1099.54
sa76	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	340931.42	7671518.83	1066.90
sa77	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	341220.26	7672657.56	1127.42
sa78	Le belier	Borne MvTerre	2003	340312.95	7671914.23	1223.11
sa79	Le belier	Borne MvTerre	2003	339952.97	7672090.91	1261.56
sa80	Casabois	Borne MvTerre	2003	340775.16	7673289.87	1262.99
sa84	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003	342997.07	7672138.76	841.30
sa85	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003	343299.90	7672090.63	923.90
sa86	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003	342318.33	7671366.56	1029.21
sa87	Mare d'Affouche	Borne MvTerre	2003	342545.80	7672112.02	960.78
sa88	Ilet a Vidot	Borne MvTerre	2003	344298.38	7670785.40	757.75
sa89	Grand Ilet	Borne MvTerre	2003	343292.86	7673605.51	703.43
sa90	Le belier	Repère Laiton	2003	340251.24	7672269.76	1262.70

*Coordonnées des bornes du cirque de Salazie*

## **Annexe 4**

# **Convention entre les particuliers hébergeant un dispositif GPS permanent et le BRGM**

DPIQ/PAT



## CONVENTION DE PARTENARIAT

**ENTRE**

**M**..... occupant de l'habitation.....

Ci-après désigné par « **L'OCCUPANT** »

**D'une part,**

**ET**

**Le BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, établissement public de recherche et d'expertise, EPIC, dont le siège social est situé Tour Mirabeau, 39-43, quai André Citroën - 75739 PARIS Cedex 15 - R.C. 58 B 5614 Paris - SIRET n° 58205614900419, représenté par Jean-Louis Nédellec, Directeur du Service Géologique Régional Océan Indien, ayant tous pouvoirs à cet effet,**

Ci-après désigné par le « **BRGM** »

**D'autre part,**

L'OCCUPANT et le BRGM étant ci-après désignés individuellement par Partie et collectivement par les « **PARTIES** ».



DPIQ/PAT

## RAPPEL

- A. L'OCCUPANT est un particulier résidant sur une zone subissant de forts mouvements de terrain.
- B. Le BRGM est un établissement public spécialisé dans la connaissance et l'étude du sol et du sous-sol qui intervient notamment dans la gestion des risques naturels
- C. Le BRGM qui mène un programme concernant l'étude des grands mouvements de terrain du cirque de Salazie (projet MVTERRE2) souhaite installer un dispositif permanent GPS.

CECI ETANT RAPPELE, IL EST ARRÊTE ET CONVENU CE QUI SUIT :

## ARTICLE 1. OBJET

L'OCCUPANT et le BRGM ont décidé par la présente Convention, de fixer les termes et conditions par lesquels un dispositif permanent GPS sera installé chez L'OCCUPANT.

## ARTICLE 2. PRISE D'EFFET, DUREE

### 2.1. PRISE D'EFFET

La présente Convention entre en vigueur à compter de sa signature par la dernière des Parties.

### 2.2. DUREE

La durée de la présente Convention est de trois ans à compter de sa prise d'effet.

La présente convention pourra être renouvelée par accord commun des parties si l'étude venait à être prolongée.



DPIQ/PAT

### **ARTICLE 3. OBLIGATIONS DU BRGM**

Le BRGM s'engage à installer sur l'habitation de L'OCCUPANT un dispositif GPS permanent.

Le BRGM s'engage à prendre en charge :

- l'ensemble du dispositif (antenne, capteur, boîtier, câbles)
- le raccordement au réseau électrique

Dans le cas d'un raccordement téléphonique, une ligne ADSL dédiée au dispositif GPS sera installée aux frais du BRGM.

Le BRGM s'engage à retirer l'installation et à remettre le site en état au terme de cette convention.

Le BRGM s'engage à souscrire une assurance couvrant sa responsabilité civile.

### **ARTICLE 4. OBLIGATION DE L'OCCUPANT**

L'OCCUPANT, ayant la jouissance de l'habitation hébergeant le dispositif GPS, s'engage à conserver dans l'état l'ensemble de l'installation pendant les trois années de l'étude.

L'OCCUPANT s'engage à ne pas porter atteintes aux installations et équipements composant le dispositif GPS.

L'OCCUPANT s'engage à communiquer au BRGM tout changement de propriétaire de l'habitation.

L'OCCUPANT concède au BRGM, à ses préposés ou sous-traitants, pendant toutes la durée de la convention, un droit d'accès permanent lui permettant d'entretenir le dispositif GPS. Ce droit d'accès ne constitue ni une servitude, ni aucun autre droit particulier.

Dans le cas où L'OCCUPANT ne serait pas le propriétaire du bien, L'OCCUPANT s'engage à prévenir le propriétaire, de ladite convention, de telle sorte que le BRGM ne puisse être en aucun cas inquiété par ce dernier.



3/5

DPIQ/PAT

#### **ARTICLE 5. INDEMNITES**

Le BRGM s'engage à indemniser L'OCCUPANT pour la consommation électrique du dispositif GPS (pour information, un tel dispositif consomme 4W en permanence).

Le montant de cette indemnisation est fixé à **100 €** (cent euros) par an durant les trois années de l'étude. L'indemnisation du BRGM sera effectuée par chèque à l'ordre de L'OCCUPANT à l'issue de chaque année du projet (paiement en décembre 2010, 2011 et 2012) sur simple demande écrite.

#### **ARTICLE 6. RESILIATION**

La présente convention sera résiliée pour les motifs suivants :

- changement d'occupant de l'habitation hébergeant le dispositif
- arrêt du suivi des dispositifs GPS avant la fin des trois années prévues initialement

Dans chacun des ces cas, l'indemnisation pour la consommation électrique sera calculée au prorata du temps écoulé sur la base de la présente convention.



DPIQ/PAT

**ARTICLE 7. NOTIFICATION ET ÉLECTION DE DOMICILE**

Toute notification faite au titre du présent Contrat est considérée comme valablement faite si elle est effectuée par écrit aux adresses suivantes :

<p><b>Pour le BRGM :</b></p> <p><b>Jean-Louis Nédellec,</b>                  Directeur du Service Géologique                  Régional Océan Indien                  5, rue Sainte-Anne - BP 906                  97478 Saint-Denis Cedex                  tél : 02.62.21.22.14                  gsm : 06.92.66.88.26                  fax : 02.62.21.86.96</p>	<p><b>Pour l'occupant :</b></p>
---	---------------------------------

**ARTICLE 8. LITIGES**

Le présent contrat est régi par la loi française.

Les parties s'efforceront de résoudre à l'amiable tout différend pouvant naître de l'exécution de la présente convention. A défaut les litiges seront portés devant les Tribunaux compétents.

Fait en trois exemplaires le

M. ....  
 Occupant de l'habitation .....

Jean-Louis NEDELLEC  
 BRGM Réunion  
 Directeur



## **Annexe 5**

### **Cahier des charges de l'appel d'offre pour l'acquisition des GPS mobiles et permanents**



## PROJET DE RECHERCHE

# MvTerre 2

*Détection, suivi et modélisation des Mouvements de Terrain  
de grande ampleur dans les cirques de La Réunion*

Dossier de Consultation des Entreprises  
Cahier des charges

## Fourniture, mise en place et maintenance de dispositifs GPS permanents et mobiles

23 octobre 2009



## **1 PRESENTATION DU BRGM**

Le BRGM, établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), est en charge de la connaissance du sol et du sous-sol. Il intervient en appui aux politiques publiques pour l'environnement, l'aménagement du territoire et le développement durable.

Fondées sur les sciences de la Terre, ses compétences portent sur les ressources minérales, les pollutions, les risques et la gestion de l'espace géologique (urbain, littoral, stockages, déprise minière), la connaissance des ressources en eaux souterraines.

Son centre scientifique et technique est situé à Orléans et ses 33 sites régionaux sont implantés dans chaque région y compris DROM (Antilles, Guyane, Réunion) et COM (Polynésie, Mayotte).

Site Internet : <http://www.brgm.fr>

## **2 PRESENTATION- OBJECTIFS**

L'objet du marché consiste à (i) fournir le matériel destiné à la géolocalisation de sites et (ii) dans le cas où le matériel est permanent, installer ce matériel sur site afin d'assurer son fonctionnement et la transmission des données. Le marché est donc séparé en deux lots :

- > Lot 1 : fourniture, installation et maintenance de 7 GPS permanents alimentés par secteur
- > Lot 2 : fourniture d'un GPS mobile

Le prestataire répond séparément sur chacun des lots.

## **3 PRESENTATION DE L'EXISTANT – CONTEXTE**

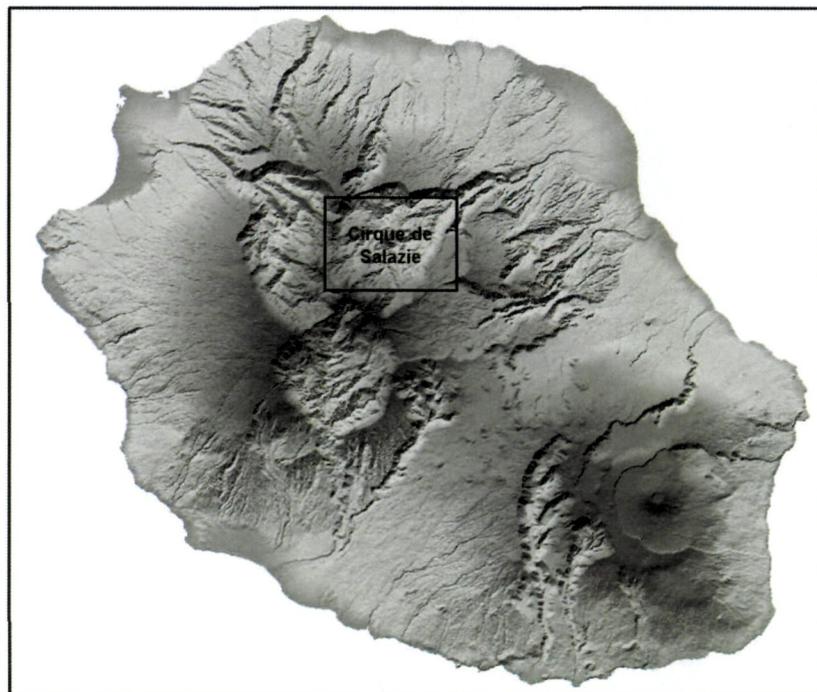
### **3.1 Contexte du marché**

Dans le cadre du projet de recherche MVTERRE-1, différents secteurs du cirque de Salazie ont été équipés en 2003 de GPS permanents afin de quantifier le déplacement des glissements de terrain de grande ampleur sur l'Île de la Réunion. Ce projet s'est achevé en 2008 mais la démarche scientifique adoptée perdue au sein du projet de recherche MVTERRE-2 (PO FEDER 2007-2013, Etat, Région, BRGM).

Dans le cadre du projet MVTERRE-2 et plus particulièrement au sein du module 2 "Détection et suivi des mouvements de terrain de grande ampleur", il a été programmé de compléter et d'améliorer le dispositif GPS déjà en service dans le cadre du projet MVTERRE-1.

### **3.2 Présentation du réseau existant**

Le 30 Décembre 2003, trois stations GPS permanentes ont été mises en place dans deux zones en mouvement ainsi qu'au niveau d'un pivot central choisi sur le site de Mare à Vieille Place. Ces sites sont localisés au sein du paragraphe relatif au lot n°1. Il s'agissait du matériel suivant : trois GPS LEICA SR520 équipé chacun d'un terminal TR 500 et d'une antenne AT 503. Un quatrième GPS non installé est utilisé en cas de panne pour un remplacement immédiat.



*Illustration 1 – Localisation du secteur d'étude – Ile de la Réunion - Cirque de Salazie*

## **4 DESCRIPTION DES BESOINS – SPECIFICATIONS FONCTIONNELLES**

### **4.1 Variantes**

Le marché est ouvert aux propositions de variantes, notamment en ce qui concerne (i) les modalités de télétransmission, stockage et post-traitement des données et (ii) le remplacement d'une station pivot par des systèmes alternatifs tels qu'un réseau d'antennes permanentes.

### **4.2 Lot 1: fourniture, installation et maintenance de 7 GPS permanents alimentés par secteur (dont un à utiliser en point pivot)**

#### **4.2.1 Localisation des sites**

La localisation géographique des différents sites est présentée dans le tableau ci-dessous.

N°	X WGS84	Y WGS84	Précision de la localisation	Dénomination	Information complémentaires
1	341678	7673820	1	Grand Ilet - Eglise	Matériel à remplacer. Sites déjà installés dans le cadre de MVTERRE-1
2	346811	7672131	1	Mare à Poule d'eau - Viraye	
3	344527	7673924	1	<u>Point Pivot</u> de Mare à Vieille Place	
4	341432	7674394	10	Grand Ilet - Nord	Nouveaux sites à instrumenter
5	347239	7671542	10	Mare à Poule d'Eau - Ecole	
6	345030	7670430	10	Ilet à Vidot	
7	341975	7673677	15	Grand Ilet - Abattoir	



#### 4.2.2 Prestations

Les prestations consisteront à :

- > fournir 7 dispositifs GPS permanents complets (GPS, capteur, mémoire interne, dispositif de transfert, antenne, câbles, boîtiers...) tels que décrits ci-après ;
- > aménager 7 sites pour recevoir ces dispositifs permanents en considérant que 3 sites sont déjà pré-équipés ;
- > installer, mettre en service et configurer ces dispositifs sur les zones aménagées afin qu'ils puissent être utilisables par le BRGM ;
- > fournir un logiciel de post-traitement, former trois ingénieurs à ce logiciel et à l'utilisation des GPS ;
- > post-traiter les données des 6 stations mesurant les déplacements afin d'obtenir les variations planimétrique et altimétrique par rapport à la station pivot de Mare à Vieille Place. Le fichier contenant les données post-traitées (format Excel) sera envoyé au BRGM à une fréquence bimensuelle ;
- > assurer la télétransmission des données brutes au pas de temps journalier ;
- > assurer une garantie et une maintenance technique de ces dispositifs pendant 3 années en considérant une période d'intervention en cas de panne inférieure à 48h.

##### 4.2.2.1 Description du matériel

Il est demandé de disposer de 7 GPS permanents présentant les caractéristiques suivantes :

- > Précision des mesures ;
  - en planimétrie après post-traitement inférieure ou égale 10 mm ;
  - en altimétrie après post-traitement inférieure ou égale à 20 mm ;
- > Pas de temps : deux acquisitions par jour (heures d'acquisition à déterminer par la suite) ;
- > Stockage des données : 2 mois de capacité au minimum ;
- > Protection : en raison du climat particulièrement humide du cirque de Salazie, le matériel devra être totalement protégé contre les poussières et les effets de l'immersion (protection IP67) ;
- > Alimentation : par défaut, le dispositif sera connecté au secteur (220 V) mais devra être autonome sur une durée de 4 jours en cas de panne d'alimentation électrique extérieure. La connexion au réseau EDF et l'abonnement seront à la charge du BRGM. Le prestataire devra assurer la mise en place de dispositifs électriques visant à protéger le matériel ;
- > Boîtier fermant à clé et permettant de protéger efficacement le matériel contre l'humidité et le vandalisme ;
- > Logiciel de post-traitement compatible Windows XP. Ce logiciel sera préférentiellement de langue française ;
- > Documentation en français relative au matériel fourni.

Le nombre et le type de constellations de satellites captés par le matériel devra être précisé.

#### **4.2.2.2 Aménagement des sites**

Les 4 sites seront sur des terrains plats à moins de 200 m d'un point accessible par véhicule.

Il est demandé d'aménager le site de façon à ce que les dispositifs GPS soient placés sur supports fixes résistant aux vents cycloniques. Si le site ne dispose pas au préalable de construction existante pouvant supporter le dispositif, il sera demandé de mettre en place un poteau métallique ou béton solidement encastré dans un massif béton ancré dans le sol d'au moins 70 cm de profondeur.

Un nettoyage du site est à prévoir en fin d'intervention, ainsi qu'une réfection des constructions endommagées par l'entreprise.

#### **4.2.2.3 Mise en place des dispositifs sur les sites**

Cette prestation comprend :

- > la livraison du matériel sur site ;
- > sa fixation aux supports ;
- > la connexion des appareils ;
- > la configuration des GPS ;
- > leur mise sous tension ;
- > leur mise en service ;
- > une série de tests ;
- > le nettoyage du site en fin de prestation.

Lors de l'installation du matériel, le prestataire devra mener des phases de test en "conditions difficiles" représentatives des périodes cycloniques. Plus concrètement, il s'agira de tester l'acquisition, le transfert et / ou le stockage des données lorsque l'alimentation par secteur est coupée ou lorsque les réseaux de télécommunication ne sont plus opérationnels.

#### **4.2.2.4 Maintenance**

Cette prestation d'une durée de 3 ans comprend :

- > une assistance téléphonique aux heures de travail usuelles ;
- > une assistance dépannage en cas de panne ou de dysfonctionnement des appareillages et des logiciels. Le diagnostic étant également à la charge du prestataire en s'appuyant éventuellement sur le rapatriement quotidien des données qui seront analysées par ses soins ;
- > le remplacement des pièces défectueuses.

Les interventions sur site devront être réalisées sous 48h après sollicitation.

#### **4.2.2.5 Télétransmission des données**

Il est demandé de mettre en place un système GSM (ou autre) permettant le rapatriement des données vers un ordinateur à distance. Ce dispositif sera prévu pour les 4 nouveaux GPS mais également pour les 3 GPS existants.

La prestation comprend pendant 3 ans :

- > la fourniture et la mise en place des équipements GSM et de déstockage des données ;
- > l'ouverture et l'abonnement des lignes ;
- > le rapatriement quotidien des données ;
- > la mise à disposition des fichiers sur un répertoire FTP en partage.

#### **4.2.2.6 Post-traitement des données**

Le post-traitement des données planimétrique et altimétrique des 6 stations GPS devra être réalisé par le prestataire afin d'obtenir les précisions mentionnées dans le paragraphe "4.2.2.1 Description du matériel". Le fichier contenant les données post-traitées (format Excel) sera envoyé au BRGM à une fréquence bimensuelle. Les données brutes seront associées à cet envoi au format RINEX (Receiver Independant EXchange Format).

Le prestataire devra décrire la méthodologie employée afin de filtrer les données, notamment les artéfacts relatifs aux ondes se répercutant sur les remparts.

#### **4.2.3 Délais de réalisation**

Les GPS, et leurs équipements associés, devront être obligatoirement opérationnels dans un délai de 3 mois après notification.

Toutefois, le BRGM souhaite que le matériel soit mis en place le plus tôt possible afin que la saison cyclonique (janvier 2009) puisse être enregistrée. En effet, le délai de réponse constitue un des critères de jugement des offres.

### **4.3 Lot 2 : fourniture d'un GPS mobile**

Les prestations consisteront à fournir

- > Un récepteur GPS mobile (c'est-à-dire aisément portable par un opérateur) complet (GPS, capteur, mémoire interne, batterie, dispositif de transfert, antenne, câbles, étui de transport, ...);
  - o L'autonomie du système doit être supérieure à 24h ;
  - o Précision des mesures en planimétrie après post-traitement ou RTK inférieure ou égale 10 mm ;
  - o Précision des mesures en altimétrie après post-traitement ou RTK inférieure ou égale à 30 mm ;
  - o Protection : en raison du climat particulièrement humide du cirque de Salazie, le matériel devra être totalement protégé contre les poussières et les effets de l'immersion (protection IP67) ;
  - o Ergonomie : facilité et rapidité d'utilisation en toute condition météorologique ;
- > Une base fixe permettant l'acquisition et la communication des données en temps réel vers le récepteur mobile. En cas de dysfonctionnement de communication avec le récepteur GPS mobile, cette base devra stocker les données en vue d'un post-traitement ;
- > Logiciel de post-traitement des données compatible Windows XP. Ce logiciel sera préférentiellement de langue française ;
- > Former deux ingénieurs à l'acquisition des données sur site avec le matériel fourni avec les méthodes GPS différentiel et temps réel.

Le matériel sera utilisé dans le cadre du suivi pluriannuel d'environ 150 bornes géodésiques. Ces bornes sont réparties dans les trois cirques de la Réunion, caractérisés par des reliefs particulièrement marqué et des accès peu évidents.

Le prestataire détaillera les spécificités techniques des appareils tout en justifiant les choix techniques en fonction du besoin du BRGM.

### **5 Compatibilité – Reprise de matériel**

Actuellement, le BRGM dispose déjà des éléments cités ci-dessous :

- > Trépied de marque Leica
- > Canne (en trois parties) de marque Leica
- > Logiciel "LEICA Geo Office" version 6.0

En cas de compatibilité de matériel, le prestataire peut ne pas intégrer ces éléments au sein de sa proposition financière.

Le prestataire peut proposer une reprise du matériel actuellement installé : trois GPS LEICA SR520 équipé chacun d'un terminal TR 500 et d'une antenne AT 503.

## **Annexe 6**

### **Réponse technique de l'entreprise LEICA à l'appel d'offre pour les dispositifs GPS permanents et mobiles**

**Fourniture, mise en place et maintenance de dispositifs GPS  
permanents et mobiles**

**Offre de base concernant le LOT n° 1**



**Notice technique**





## 1- Matériel proposé

L'offre comporte des récepteurs Leica GRX1200+GNSS et des antennes géodésiques AX1203+ GNSS tous deux de dernière génération capables de capter jusqu'à 120 signaux GNSS simultanés, de les stocker et de les traiter.



Ce récepteur est prévu d'être piloté à distance par le logiciel Leica GNSS Spider qui outre le contrôle du récepteur peut garantir la diffusion des corrections de positionnement différentiel centimétrique en temps réel sur le territoire mentionné.

Les Caractéristiques matérielles détaillées de la station permanente sont fournies dans les brochures "Leica GRX1200+" et "Leica GRX1200+ / Technical Specifications"



L'antenne AX1203+ GNSS permet de capter les signaux des systèmes GPS, GLONASS et Galileo et convient parfaitement aux stations de référence individuelles comme aux réseaux RTK. L'antenne AX1203+ GNSS procure une précision de centre de phase meilleure que le millimètre et d'excellentes observations même avec des satellites à faible élévation. Son plan de masse intégré élimine efficacement le "multitrajet". Cette antenne a été calibrée par le NGS et est livrée avec les valeurs de calibration NGS.

Le système proposé permet de capter les signaux GPS L1, L2, L2C, L5, GLONASS L1, L2 et signaux SBAS, NAVSTAR, EGNOS.

Les mesures sur L1 sont réalisées sur la phase / code C/A à corrélation étroite;

Les mesures L2, sur phase complète avec ou sans AS. Assistance code C et P2 /code P en cas d'anti-leurrage (AS). Le système proposé est pré-équipé des fonctionnalités de suivi des signaux GPS L5, Galileo L1, E5, E5a, E5b, Alt-BOC et Compass. Ces dernières sont activables à distance par code (option).

Le GRX1200+ est construit selon les spécifications MIL (militaires) IP67 pour supporter l'utilisation la plus rude. Avec son boîtier en magnésium, usiné avec précision, le GRX1200+ résiste aux chocs et aux chutes, comme aux secousses et aux vibrations des machines.

La température d'utilisation est de -40°C à +65°C (-40°C à +70°C pour l'antenne).

Le système est prévu pour fonctionner 24/24. Une alimentation 220v ainsi qu'une batterie relais en cas de coupure d'électricité assurent cette continuité. En cas de coupure de courant malgré la batterie relais, le système redémarre dans la configuration d'avant coupure.

Le GRX1200+ GNSS est équipé en standard d'une interface Web pour la configuration à distance. Il est aussi possible d'utiliser le logiciel GNSS Spider.



Le stockage est assuré en interne par une carte mémoire compact flash qui peut être changée par l'utilisateur si besoin est (augmentation de capacité dans le futur). La carte proposée de 1 Go permet le stockage de plus d'1 mois de données cadencées à la seconde (GPS+GLONASS). Cependant, le GRX1200+ permet de gérer une deuxième session d'enregistrement totalement indépendante de la principale et qui peut être utilisée ponctuellement pour des applications de plus grandes dynamiques (2 à 5Hz) sur des périodes de 24h ou plus. La grande capacité de la mémoire permet de gérer sans problème ces futures applications.

L'antenne est fournie avec un système stoppeur de foudre qui est installé à proximité de cette dernière et fixé au câble d'antenne pour empêcher toute diffusion de la foudre dans le bâtiment via le câble d'antenne.

Le récepteur GRX1200+ GNSS proposé en offre de base permet de capter tous les signaux GPS y compris L2C et L5. Grâce à la nouvelle technologie du GRX1200+ GNSS, les signaux L2P et L2C et L5 peuvent être tous les 3 captés simultanément ce qui permet aux usagers de récepteurs mobiles ne traitant pas L2C de recevoir L2P et inversement pour ceux qui peuvent traiter L2C de recevoir des corrections avec L2C dès que suffisamment de satellites seront opérationnels. Cette possibilité de transition "en douceur" est une des particularités de notre offre GNSS.

Le récepteur GRX1200+ GNSS proposé en offre de base permet de capter les signaux Galileo seulement si un code de protection est activé (option). Aucune modification hardware n'est nécessaire. Une adaptation firmware sera peut être requise (mais incluse dans la délivrance du code) si cela s'avérait indispensable.

Le GRX1200+GNSS est équipé des ports d'entrée/sortie suivants :

- 4 ports série renforcés et IP67,
- 1 port renforcé (IP67) RJ45, 10/100Mbit, 3 ports TCP configurables plus http, https et ftp
- 1 port d'antenne TNC
- 1 port de sortie pps (pulse per second)
- 1 port d'entrée d'évènements
- 1 port d'entrée de fréquence externe 5/10MHz
- 1 port d'alimentation externe à double entrée (2 alimentations distinctes peuvent être connectées sur le même port)

## 2- Solution de calcul « Réseau Lél@ »

**Le réseau Lél@ est un réseau GPS/GNSS mis en place en 2006.  
Ce réseau utilise la solution de calcul éprouvée Leica GNSS Spider.**

La société Réseau Lél@ a signé une convention avec l'IGN afin de garantir un contrôle régulier du réseau : la détermination des coordonnées précises du réseau repose sur l'utilisation des données de stations IGS (international GPS service) ou d'autres réseaux internationaux bien déterminées en position et vitesse dans la réalisation courante de l'ITRS. Le calcul est effectué par un logiciel scientifique (logiciel Bernese) selon les options en vigueur dans les centres d'analyse EUREF.

**La société Réseau Lél@ peut ainsi délivrer :**

- Le calcul des coordonnées des stations de référence
- Le contrôle des déformations structurelles sur l'ensemble des stations de référence
- Le contrôle de stabilité de la station de référence (pivot) opérée par le BRGM sur de longues périodes grâce à la convention signée avec l'IGN

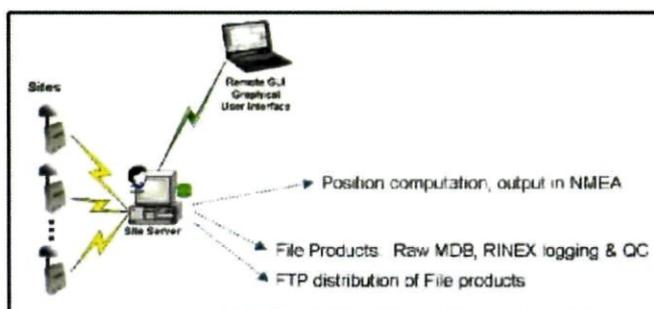
### Comment fonctionne le service proposé par le réseau Lél@ ?

- Le BRGM opère un réseau de stations GNSS mis en place par la société Réseau Lél@
- La société Réseau Lél@ utilise la solution de calcul Leica GNSS Spider pour fournir les positions et variations 3D des points du réseau opérés par le BRGM.
- Les résultats sont calculés tous les jours et envoyés tous les 15 jours sous forme d'un fichier ASCII compatible avec le logiciel de traitement Excel.

### Calcul des coordonnées

Ce calcul est assuré par le logiciel Leica GNSS Spider. Les spécifications de ce logiciel sont précisées dans la brochure présentée en pièce jointe.

Voici un schéma de l'installation (stations de référence du BRGM connectées au serveur réseau Lél@) :



Le logiciel crée ou télécharge des données RINEX en se connectant aux stations de références (via ADSL-IDOM) puis réalise les calculs GNSS à la fréquence souhaitée (1 mesure de haute précision par jour). Les paramètres du calcul sont ajustables afin de garantir les meilleurs résultats. Des rapports d'analyse qualité (QC) détaillés sont générés automatiquement par le logiciel au moment de la création des fichiers RINEX et lors du calcul.

Les précisions assurées sont conformes à la précision des capteurs GPS1200.

Les données traitées sont archivées simultanément dans une base de données Microsoft SQL ainsi que dans des fichiers ASCII (au format standard NMEA). Ces fichiers ASCII stockent les positions calculées des stations de référence puis sont ensuite mis à disposition du BRGM tous les 15 jours conformément au CCTP.

Les données brutes au format RINEX sont redirigées vers le site FTP du BRGM ou vers tout autre site FTP conformément au CCTP. Ces données sont systématiquement associées à un rapport qualité. L'ensemble des données collectées sont directement compatibles avec le logiciel Leica GeoOffice utilisé par le BRGM.

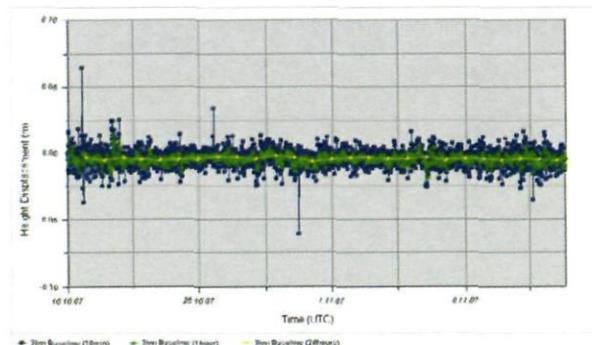
### Analyse des résultats

Les analyses et graphiques sont assurés par le logiciel Leica GNSSQC. Les spécifications de ce logiciel sont précisées dans la brochure présentée en pièce jointe.

Ce logiciel doit être installé sur un poste informatique du BRGM doté du logiciel d'exploitation Windows XP ou Vista ainsi que d'un port USB.

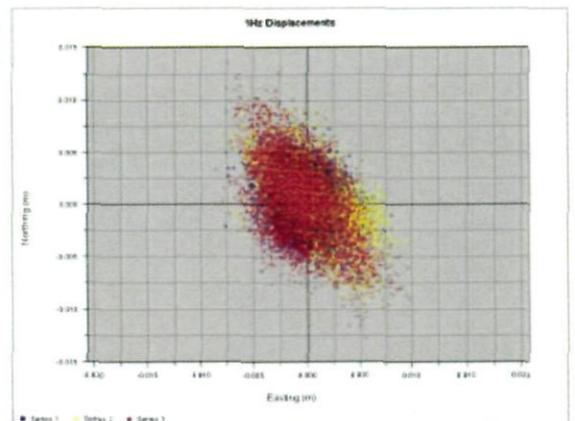
Ce logiciel permet de fixer les coordonnées initiales des stations de référence et de les comparer aux coordonnées mesurées archivées dans les fichiers ASCII (transmis tous les 15 jours au BRGM).

Ce logiciel permet également de réaliser le contrôle qualité des données RINEX collectées par les capteurs (analyse des sauts de cycles, des multitrajets etc.). Il est doté de nombreuses options dont des options de lissage de courbes adaptées à la réalisation de graphiques pour la mise en forme de rapports.



Série temporelle de déplacements altimétriques

Nuage de points correspondant aux déplacements planimétriques calculés



**Fourniture, mise en place et maintenance de dispositifs GPS  
permanents et mobiles**



**LOT N° 2**  
**Notice Technique**





## **Leica Geosystems GPS Système 1200**

---

Le System 1200, base de la présente proposition, fixe à nouveau un standard pour notre industrie. Avec sa petite taille, son poids léger, sa conception révolutionnaire et ses performances étonnantes, le System1200 fournit des données précises. Il est plus rapide que jamais et efficace dans les environnements GPS les plus difficiles.

### Le GPS-System1200

Conçus et fabriqués selon les normes les plus sévères, avec les technologies de mesure les plus récentes, les instruments Leica System 1200 sont extrêmement fiables et efficaces et ils supportent les environnements les plus rudes. Une interface très intuitive, une multitude de fonctions et de caractéristiques particulières, une gestion des données puissante et la possibilité d'être programmé par l'utilisateur sont intégrés au GPS System1200.

### Robustesse exceptionnelle

Peu importe la manière dont vous manipulez le GPS 1200. Il est construit selon les spécifications MIL (militaires) pour supporter l'utilisation la plus rude. Avec son boîtier en magnésium, usiné avec précision, le GPS 1200 résiste aux chocs et aux chutes, comme aux secousses et aux vibrations des machines. Même l'équipement de la canne RTK est à l'épreuve des chutes.

### Spécifications militaires

Conçu pour être utilisé à des températures allant de -40°C à +65°C (stockage jusqu'à +80°C), le GPS 1200 se joue des froids polaires comme des températures brûlantes. Entièrement étanche, il résiste à une immersion à 1 m, comme à la poussière et au sable et fonctionne parfaitement dans des conditions extrêmes comme les averse tropicales (jusqu'à 100% d'humidité) ou les tempêtes de sable du désert. Le GPS 1200 fonctionne toujours.

### Technologie GPS SmartTrack

Le moteur de mesure SmartTrack du GPS1200 repère tous les satellites visibles en quelques secondes, les poursuit à de faibles élévations et mesure sous les arbres et dans les zones d'interférence, là où d'autres récepteurs échouent fréquemment. Des signaux puissants, une atténuation très efficace des trajets multiples et un anti-brouillage sophistiqué garantissent des performances du plus haut niveau de la part du GPS 1200.

### SmartCheck+ : des lignes de base de 30 km en RTK

Le RTK est plus rapide, plus précis et plus fiable que jamais. SmartCheck traite les mesures SmartTrack pour une précision au centimètre près à 20 Hz. Il s'initialise en quelques secondes et peut opérer sous les arbres, là où le RTK n'avait encore jamais fonctionné. Un système intégré unique de contrôle d'intégrité vérifie immédiatement tous les résultats.

### Glonass / L5 / Galileo

Les récepteurs GPS 1200 sont conçus pour accueillir toutes les améliorations à venir en matière de signaux satellites GPS. Votre investissement est sûr.



Tous les récepteurs GPS System 1200 sont compatibles avec DGPS, WAAS et EGNOS, Glonass, L2C, L5 et seront compatibles avec Galileo dès que disponible. En plus des formats de données propriétaire, les récepteurs supportent CMR, CMR+ et RTCM versions 2.1, 2.2, 2.3 et 3.0. Vous pouvez choisir la fréquence de mise à jour de 0,05 (20 Hz) sec à 60 sec. NMEA 0180 V2.20 et Leica propriétaire peuvent également être des formats de sortie des récepteurs System 1200.

#### Communication RTK/DGPS

Les modems radio, les modules GSM/GPRS technologie EDGE, haut débit sans fil se placent dans des boîtiers étanches attachés au récepteur. Vous pouvez utiliser un ou deux de ces dispositifs pour la référence RTK/DGPS et les applications itinérantes. Utilisez le moyen de communication qui convient le mieux à vos projets.

#### Compatibilité Réseaux

Le GPS1200 peut se connecter directement par **GPRS** aux réseaux GNSS et interpréter les corrections **MAC, FKP et VRS** envoyées par le réseau avec le protocole **NTRIP**. Tous les instruments de la génération 1200 (Mobile GPS et SmartStation) sont disponibles en standard avec les paramètres **MAC, FKP, VRS** et la connexion **GPRS** sans module externe.

#### Dispositifs embarqués d'enregistrement des données

Accepte cartes compact flash industrielles standard, 64 Mb standard, 256 Mb à 1Go en option. Les données peuvent être enregistrées à des intervalles allant de 0,05 sec à 300 sec.

64 Mb correspondent approximativement à 1100 heures d'enregistrement de données L1 et L2 à une fréquence de 15 secondes, ou approximativement 4400 heures à une fréquence de 60 secondes. Une carte compact flash 64 Mb stocke 90000 points RTK avec leurs codes.

Toutes les données en temps réel peuvent être converties dans un format défini par l'utilisateur afin d'être compatibles avec votre logiciel. Le System 1200 possède cette fonction unique embarquée sur les récepteurs. La carte compact flash contient ainsi des données prêtes à être transférées à votre logiciel.

#### Programmes d'application

Lever de points, lignes et surfaces, intégration d'un fichier type dxf, Implantation, Point caché, Détermination du système de coordonnées et COGO fournis comme standard.  
RoadRunner, Ligne de Référence et implantation de MNT en option.

## Caractéristiques techniques du GX1230+GNSS

### Technologie du Récepteur

Le récepteur bi fréquence GX1230+GNSS possède 28 canaux GPS et 24 canaux Glonass. La technologie de mesures avancée **SmartTrack+** facilite la poursuite des satellites dans des conditions extrêmement rudes. Une fois que les signaux de tous les satellites disponibles sont acquis après un démarrage à froid, le temps de ré acquisition après avoir perdu le contact est inférieur à une seconde. La sensibilité du récepteur associé aux antennes AX1203+GNSS indique que plus de 99 % des observations disponibles sont reçues de satellites situés à une élévation supérieure ou égale à 10°. Le rapport signal/bruit est très faible et les trajets multiples peu nombreux. La précision des mesures est la suivante :



Phase	-	L1 0.2mm rms
		L2 0.2mm rms
Code (Pseudo-distance)	-	L1 20mm rms
		L2 20mm rms

Les algorithmes **SmartCheck+** permettent une initialisation en « temps réel » en moins de 7 secondes. Pendant ce temps, la procédure est répétée deux fois et les solutions sont comparées par souci de fiabilité. Cette procédure reprend toutes les trois secondes tout au long de l'utilisation du récepteur, garantissant une **fiabilité de 99,99 %** pour les lignes de base jusqu'à 30 km. Cette autoévaluation en continu est une exclusivité des récepteurs GPS Leica. Les taux de précision des mesures de lignes de base RTK et Statiques sont les suivants :

RTK :	Horizontal	10mm + 1ppm
	Vertical	20mm + 1ppm
Statique Rapide :	Horizontal	5mm + 0.5ppm
	Vertical	10mm + 0.5ppm
Statique avec observations longues pour lignes longues :	Horizontal	3mm + 0.5ppm
	Vertical	6mm + 0.5ppm

### Spécifications du terminal RX1210

Contraste élevé, affichage ¼ VGA

Écran tactile

11 lignes x 32 caractères

Clavier QWERTY complet

Touches de fonction définissables par l'utilisateur

Éclairage touches et écran

Utilisable avec les stations totales TPS1200

Affiche toutes les informations : État, Poursuite, Enregistrement des données, Base de données, RTK, DGPS, Navigation, Qualité, Heure, Alimentation



#### Mode affichage graphique

Les affichages graphiques vous montrent votre travail. Vous pouvez zoomer sur un détail ou reculer pour voir la totalité du chantier. Utilisez l'écran tactile ou le clavier pour accéder aux données relatives aux points et aux objets. Avec les affichages graphiques, vous pouvez vérifier rapidement sur le terrain l'exactitude et la qualité de votre travail.

#### Codification et planification de votre chantier

Définissez les points, lignes et surfaces pour construire un plan à l'écran pendant votre levé. Vous voyez immédiatement ce que vous avez fait. Attribuez les codes, les attributs et les informations nécessaires au transfert vers votre logiciel de bureau ou de cartographie.

#### Transfert des données dans tous les formats

Les données peuvent être exportées directement à partir du GPS1200 ou via Leica Geo Office dans divers formats standard ou dans les formats que vous avez définis vous-même pour un chargement direct dans tout type de logiciel de traitement, de bureau, de DAO, de SIG ou de cartographie.

#### Configuration du matériel

Le System 1200 offre des configurations de matériel optimales pour tous types d'applications et d'utilisations :

- Installation sur trépied (statique)
- Configuration en « Tout sur canne »
- Mode Sac à dos
- Installation fixe



## **Annexe 7**

### **Cahier des charges pour la construction des nouveaux éléments géodésiques (bornes et repères en laiton)**



## PROJET DE RECHERCHE

# MvTerre<sup>2</sup>

*Détection, suivi et modélisation des Mouvements de Terrain  
de grande ampleur dans les cirques de La Réunion*

Dossier de Consultation des Entreprises  
Cahier des Clauses Techniques Particulières

**Construction de bornes géodésiques**

**Décembre 2010**



Direction Départementale  
de l'Équipement  
de La Réunion





## **1.Présentation du BRGM**

Le BRGM, établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), est en charge de la connaissance du sol et du sous-sol. Il intervient en appui aux politiques publiques pour l'environnement, l'aménagement du territoire et le développement durable.

Fondées sur les sciences de la Terre, ses compétences portent sur les ressources minérales, les pollutions, les risques et la gestion de l'espace géologique (urbain, littoral, stockages, déprise minière), la connaissance des ressources en eaux souterraines.

Son centre scientifique et technique est situé à Orléans et ses 27 sites régionaux sont implantés dans chaque région y compris DROM (Antilles, Guyane, Réunion) et COM (Polynésie, Mayotte).

Site Internet : <http://www.brgm.fr>

## **2.Présentation- Objectifs**

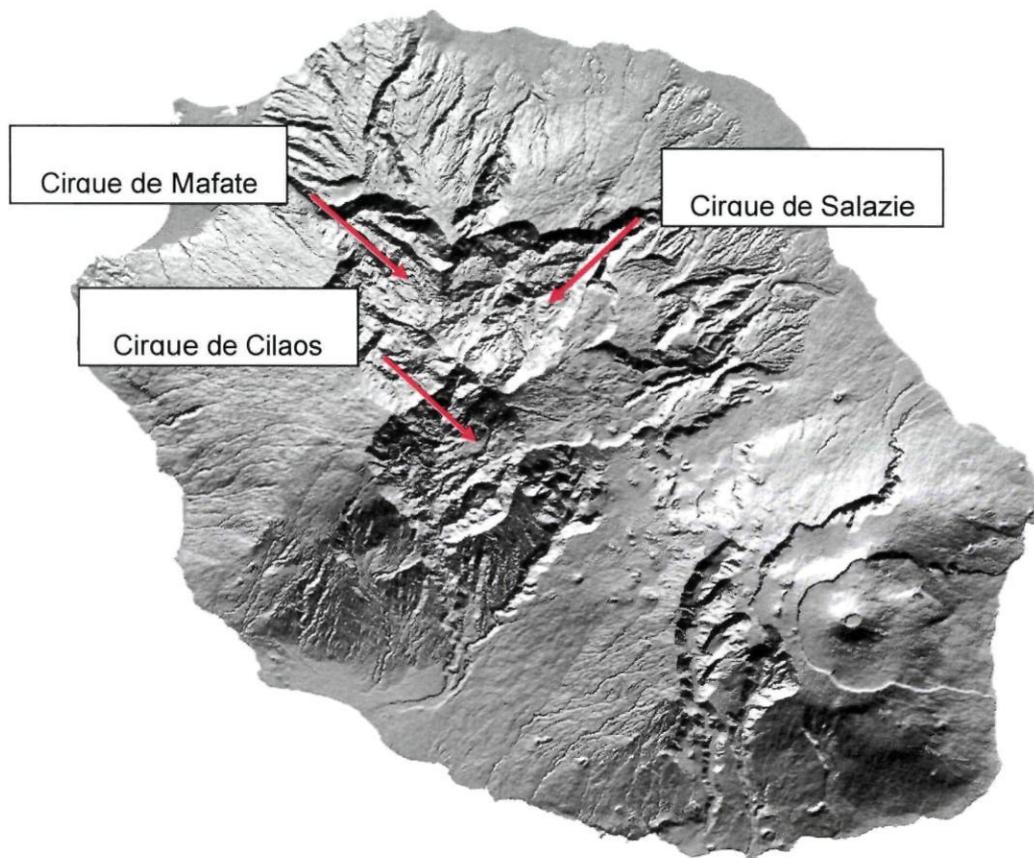
L'objet du marché consiste à compléter le réseau géodésique existant sur les trois cirques de la Réunion de 25 éléments géodésiques. Plus concrètement, il s'agit de :

- construire 19 bornes
- déplacer 2 bornes existantes
- mettre en place 4 repères inoxydables (type repère laiton de géomètre).

## **3.Présentation de l'existant – Contexte**

Dans le cadre du projet de recherche MvTERRE-1, des relations entre les glissements de terrain et l'hydrologie ont été mises en évidence. Ce projet s'est achevé en 2008 mais la démarche scientifique adoptée perdure au sein du projet de recherche MvTERRE-2 (PO FEDER 2007-2013, Etat, Région, BRGM).

Dans le cadre du projet MvTERRE-2 et plus particulièrement au sein du module 2 "Détection et suivi des mouvements de terrain de grande ampleur", il a été programmé de densifier le réseau géodésique existant. Celui-ci est actuellement constitué de 160 éléments répartis sur les trois cirques de la Réunion avec une importante concentration sur le cirque de Salazie.



*Illustration 1 – Localisation du secteur d'étude – Ile de la Réunion – Les 3 cirques*

## **4.Prestations demandées**

Les prestations consisteront à :

- construire 19 bornes et à la mettre en place
- déplacer 2 bornes (qui se trouvent déjà sur site)
- poser 4 repères inoxydables

Les divers éléments géodésiques devront être stables et solidement ancrés dans le sol.

### **4.1.Bornes géodésiques à construire**

#### **4.1.1.Caractéristiques géométriques des bornes**

Toutes les bornes seront identiques. Elles auront une forme cubique.

Les dimensions souhaitées sont 0,30 m x 0,30 m x 0,30 m.

Un repère inoxydable sera implanté sur la face supérieure de la borne (type repère laiton de géomètre).

La face supérieure de la borne sera très légèrement bombée ou rainurée pour éviter la stagnation d'eau.

Les angles supérieurs de la borne seront chanfreinés.

Le socle en béton est à adapter à la nature du terrain de manière à assurer la stabilité de la borne.



*Illustration 2 – exemple de borne géodésique*

#### **4.1.2.Constitution**

Ces bornes pourront être conçues in-situ ou préfabriquées et portées sur le site. Elles seront fabriquées avec du béton ou avec une matière de résistance équivalente.

L'entreprise choisira sa méthode de fabrication (préfabrication, moulage sur place, ou solution mixte).

#### **4.1.3.Pose des bornes**

Elles seront scellées au terrain en place dans le cas de terrain compact. La terre végétale et les parties de sol lâches auront été préalablement décapées.

Dans les zones à sol meuble, les bornes seront prises dans un socle maçonné.

La partie supérieure de la borne devra avoir une hauteur hors-sol (hauteur au-dessus du terrain naturel) de 15 cm minimum

#### **4.2.Bornes géodésiques à déplacer**

Deux bornes du réseau géodésique existant sont à déplacer, l'une est déjà déterrée et l'autre est encore en place. Les recommandations concernant la pose de ces deux bornes sont les mêmes que précédemment.

#### **4.3.Repères inoxydables à poser**

Ces repères inoxydables sont du même type que ceux à fixer dans les bornes. A la différence que ceux-ci seront posés directement l'un sur des murets ou des rochers.

#### **4.4.Rapport synthétique**

Pour chaque borne ou repère inoxydable, il est demandé de dresser une fiche signalétique comprenant notamment :

- la date de la pose
- les coordonnées du repère
- une photo de l'élément géodésique implanté
- une description de l'accès au site

## 5. Localisation des bornes

### 5.1. Cirque de Cilaos

#### 5.1.1. Route forestière de Cap sylvestre

- CI56

Ce repère inoxydable sera fixé dans le muret au niveau de l'intersection de la route de Cilaos avec la route forestière, à côté du panneau « Ilet de Gueule Rouge ».



*Illustration 3 - CI56*

- CI57

Cette borne sera posée en bordure de la route forestière, à côté du champ de bananier.



*Illustration 4 - CI57*

#### **5.1.2.Route forestière de la roche merveilleuse : CI58**

Cette borne sera construite en bordure de la route forestière au niveau du 4<sup>ème</sup> virage après la barrière du plateau des chênes.



*Illustration 5 - CI58*

#### **5.1.3.Route d'Ilet à Cordes : CI59**

Cette borne sera construite en bordure de route, juste après l'ilet Dijoux.



*Illustration 6 - C159*

## 5.2.Cirque de Mafate

### 5.2.1.Plateau Kerval : MA21

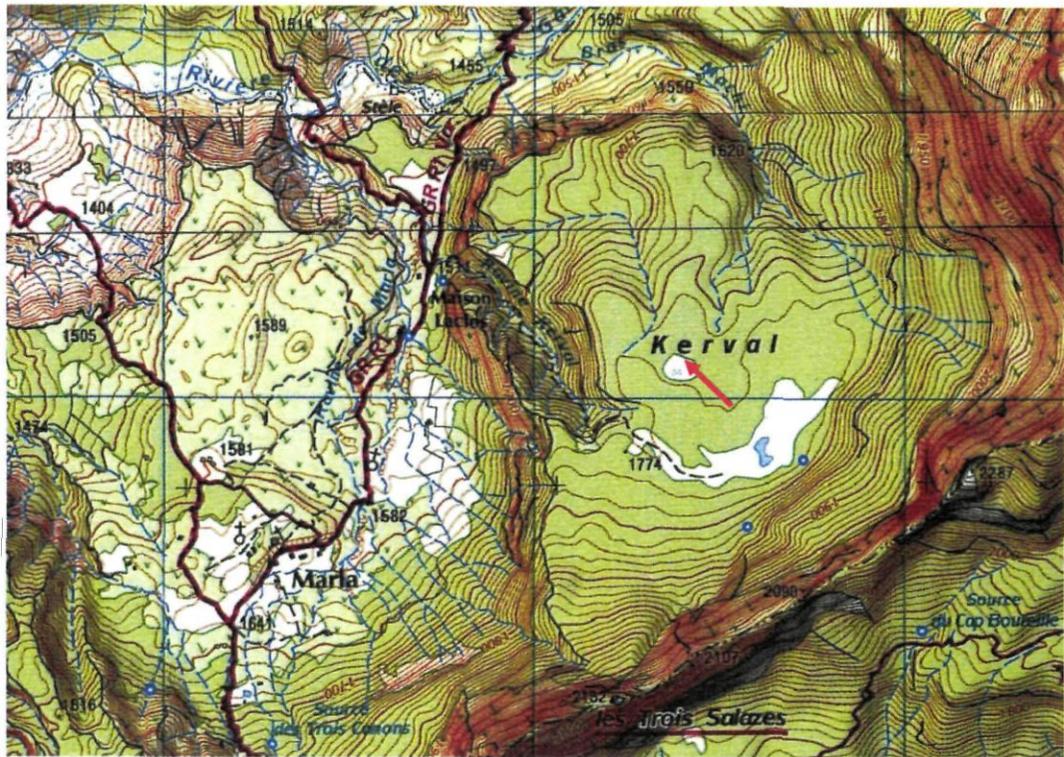


Illustration 7 – MA21

### 5.2.2.Plateau des tamarins : MA22

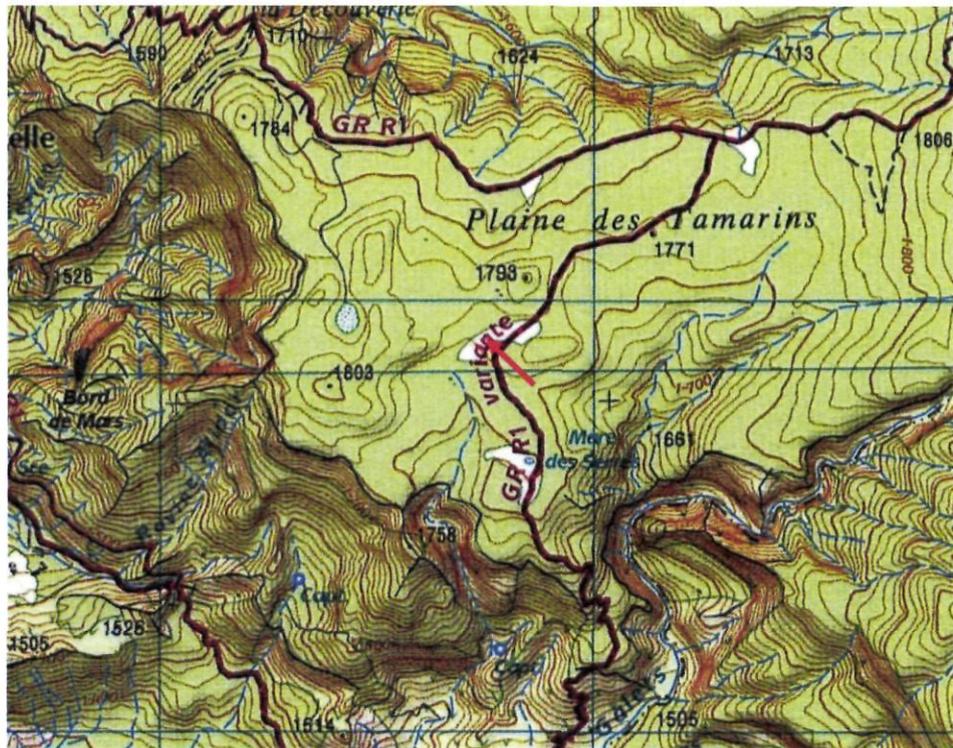


Illustration 8 - MA22

### 5.2.3. Cayenne : MA23

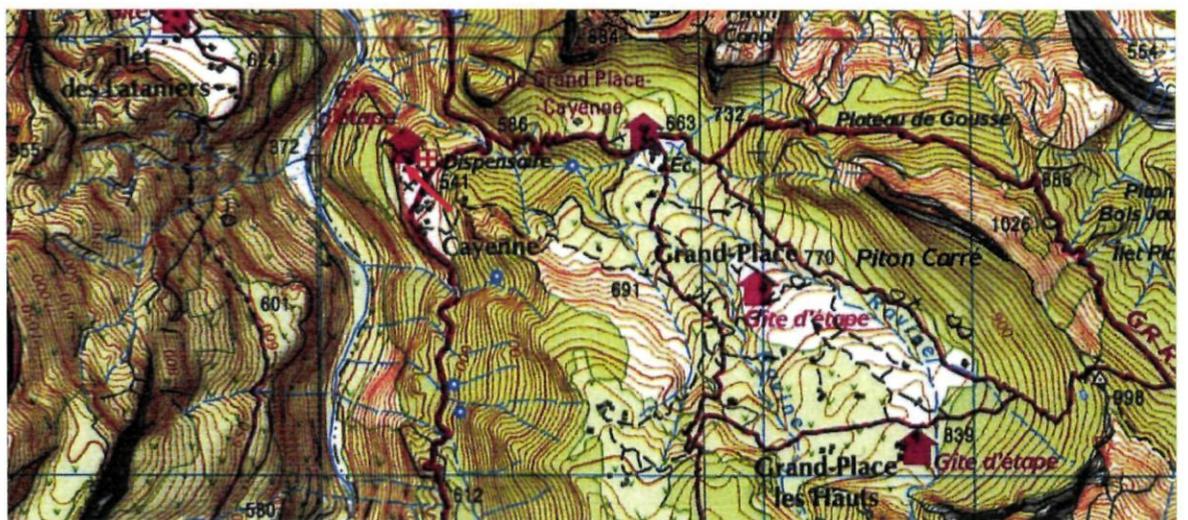


Illustration 9 - MA23 (emplacement approximatif)

### 5.3. Cirque de Salazie

### 5.3.1. Grand-Ilet

- SA132

Cette borne remplace la borne SA67 qui avait été déterrée. Cette dernière étant toujours existante, il n'est pas nécessaire de construire une nouvelle borne pour ce site, il suffit de réinstaller l'ancienne qui se trouve à 10m.



*Illustration 10 - SA132*

- SA133

Elle remplace SA59 qui avait disparue lors de la construction de la route, la nouvelle borne sera située à l'intersection de la route qui monte au Béliet et du chemin Papangue.



*Illustration 11 - SA133*

- SA144

Cette borne remplacera SA66 (supprimé lors de la réfection de la route). Elle se trouvera un peu plus bas que la précédente, au début du virage.



*Illustration 12 - SA144*

- SA145

Afin de remplacer SA83, une nouvelle borne sera installée en bordure de route, à l'angle de l'habitation.



*Illustration 13 - SA145*

### **5.3.2. Le béliet : SA146**

Cette nouvelle borne sera installée au départ de la route du col des bœufs, à l'endroit où l'on constate d'importants glissements.



*Illustration 14 - SA146*

### **5.3.3. Camp Pierrot**

- SA147

Une nouvelle borne sera construite à l'entrée du hameau de Camp Pierrot, devant l'arrêt de bus.



*Illustration 15 - SA147*

- SA148

Au bout de la piste au Nord-est de Camp Pierrot, un repère inoxydable sera implanté sur le rocher au bout du champ.



*Illustration 16 - SA148*

#### **5.3.4.Route entre Grand-Ilet et Pont de la rivière Fleur Jaune**

Trois bornes viendront densifier le réseau sur cette portion de route, elles seront chacune distance d'environ 100m de dénivelé.



*Illustration 17 - SA134, SA135 et SA136*

- SA134

En descendant de Grand Ilet, la borne sera située sur un terre-plein herbeux sur la gauche.



*Illustration 18 - SA134*

- SA135

Un peu plus bas que SA134, cette borne se situera à gauche de la route au niveau d'un virage à droite en descendant.



*Illustration 19 - SA135*

- SA136

En face de la croix, à l'intérieur d'un virage à gauche en descendant, dans un champ de canne.



*Illustration 20 - SA136*

### **5.3.5.Bois de Pomme : SA137**

A côté de l'école de Bois de Pomme, devant le petit stade.



*Illustration 21 - SA137*

### **5.3.6.Belvédère d'Hell Bourg**

La borne actuelle SA15 se trouve juste sur une marche de glissement de terrain et est en train de basculer. Aussi cette borne est inutilisable et sera déplacée au dessus des marches du glissement. Une nouvelle borne sera installée sous les marches.



*Illustration 22 - Borne actuelle*

- SA139

La borne actuelle sera déplacée à gauche du parking (lorsqu'on est face au belvédère).



*Illustration 23 - SA139*

- SA140

Une nouvelle borne se situera sous les différentes marches naturelles du terrain, au niveau de la table d'orientation.



*Illustration 24 - SA140*

### **5.3.7.Mare à Poule d'Eau**

- SA141

Cette borne se situera derrière le parking qui se trouve à côté de la maison hébergeant un GPS permanent à Mare à Poule d'Eau.



*Illustration 25 - SA141*

- SA142

Au sud du lotissement Bambou, après la fin de la route, au bord de la piste.



*Illustration 26 - SA142*

### **5.3.8. Ilet Roche à Jacquot : SA143**

Cette borne se situera au bord de la piste sur la droite, après le décroché important du aux glissements de terrains.



*Illustration 27 - SA143*

#### **5.3.9.Plaine des merles : SA149**

Un repère inoxydable sera implanté sur la Plaine des Merles, à côté du GR.



*Illustration 28 - SA149*

#### **5.3.10. Mare à Citron : SA150**

Une borne sera installée pour remplacer SA41 sur le plateau Sud-Ouest de Mare à Citron. L'emplacement précis n'est pas encore connu.

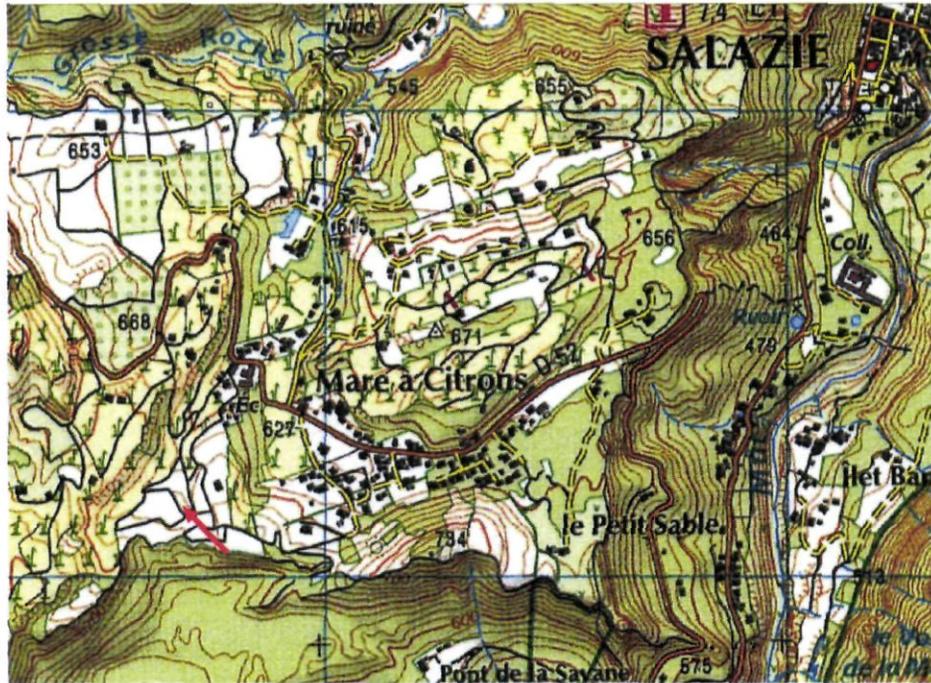


Illustration 29 - SA150 (emplacement approximatif)

#### 5.4.Synthèse

Il est prévu de mettre en place 25 éléments (19 bornes à construire, 2 bornes à déplacer et 4 repères inoxydables à poser). 21 éléments sont situés dans des zones accessibles des cirques (à proximité de pistes carrossables) et 4 dans des zones accessibles à pied ou éloignées (cirque de Mafate par exemple).

	Nombre de bornes	Nombre de repères inoxydables	Sites accessibles en voiture	Sites inaccessibles en voiture
Cirque de Salazie	16	2	17	1
Cirque de Cilaos	2	2	4	-
Cirque de Mafate	3	-	-	3

Voici les coordonnées des différents éléments à mettre en place (coordonnées WGS84 dans la projection UTM 40S) :

Nom	X	Y
CI56	341710	7659944
CI57	342442	7660588
CI58	341405	7663375
CI59	339815	7663244
MA21	338400	7666084
MA22	337779	7667915
MA23	334199	7672630
SA132	341115	7674413
SA133	341622	7673566
SA134	342267	7673506
SA135	342443	7673596
SA136	342903	7673334
SA137	349184	7675264
SA139	346504	7670523
SA140	346493	7670567
SA141	347201	7671559
SA142	347058	7671303
SA143	341516	7674805
SA144	341030	7673449
SA145	340618	7673058
SA146	340034	7672255
SA147	341071	7672464
SA148	341649	7672935
SA149	339476	7669622
SA150	346532	7673136

Ci-dessous une carte de chaque cirque avec l'emplacement des nouveaux éléments :

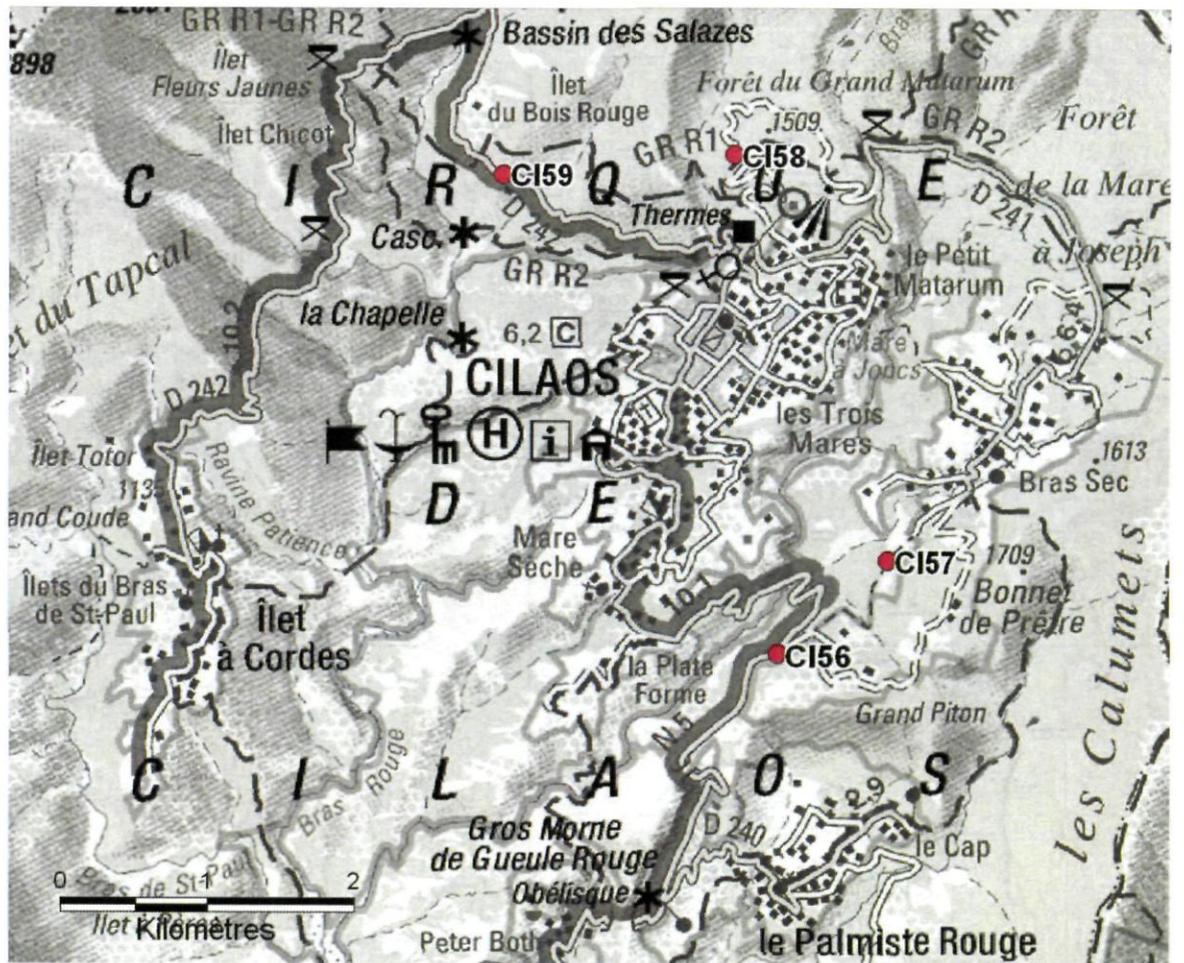


Illustration 30 - Cirque de Cilaos

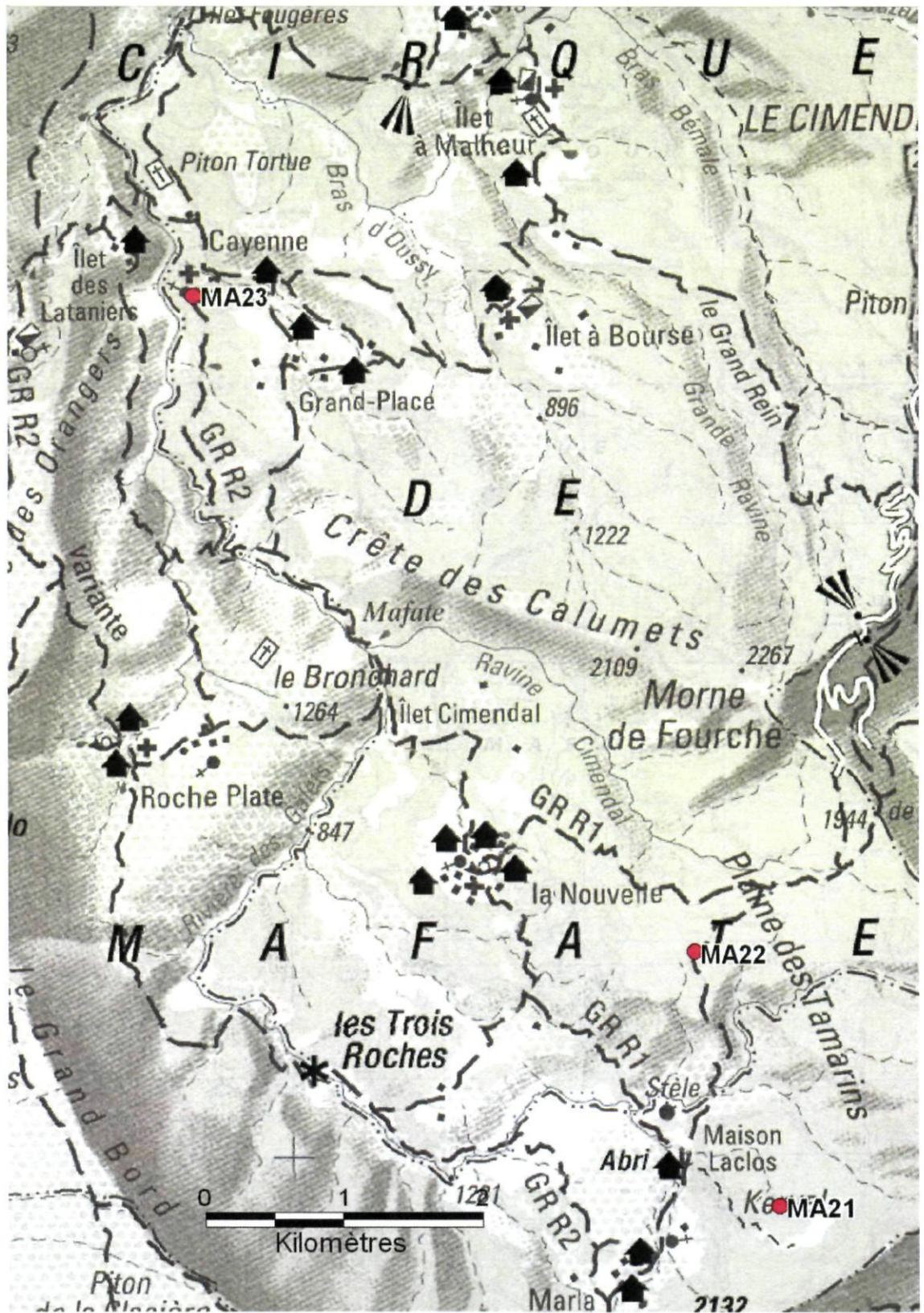


Illustration 31 - Cirque de Mafate

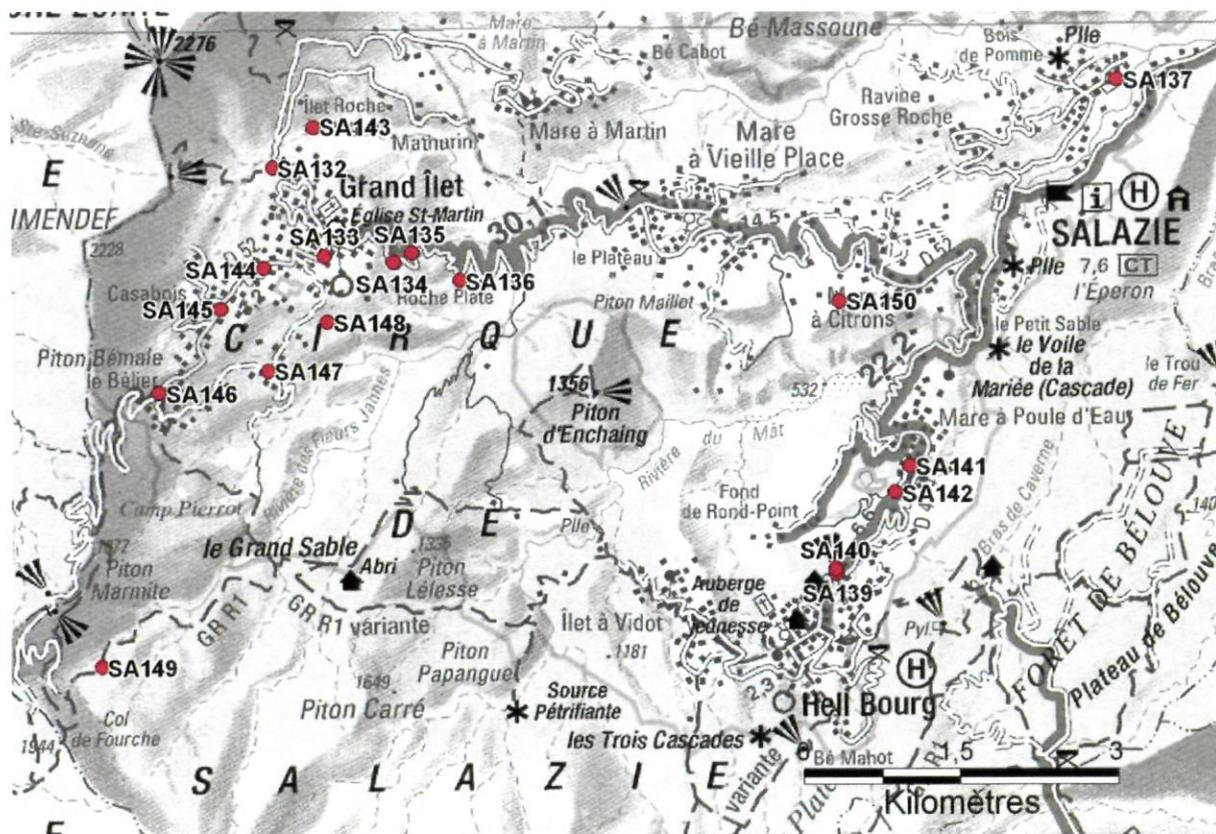


Illustration 32 - Cirque de Salazie

## 6. Délais de réalisation

L'implantation des divers éléments devra être effectuée avant le 31 décembre 2010.

## 7. Prix des éléments géodésiques

Plusieurs prix sont distingués, en fonction du type et de l'accessibilité (le bordereau de prix pourra être saisi à partir du tableau suivant) :

Prix en € HT	Prestation	Nombre
Prix 1	Construction d'une borne	19
Prix 2	Pose d'une borne accessible	17
Prix 3	Déplacement d'une borne accessible	2
Prix 4	Pose d'une borne inaccessible en voiture	3
Prix 5	Construction et pose d'un repère inoxydable accessible	3
Prix 6	Construction et pose d'un repère inoxydable inaccessible	1

Le prix unitaire englobe les coûts des prestations suivantes :

- la participation à une reconnaissance préalable du site dans le cadre de l'implantation de la borne ;
- la fabrication de la borne ;
- la réalisation de la fouille de pose (décapage de la terre végétale et compactage du sol) ;
- le scellement de la borne au terrain en place y compris la mise en place d'un socle maçonné dans le cas de terrain meuble ;
- la réception de la borne avant recouvrement de l'assise par la terre végétale ;
- la rédaction d'une fiche signalétique.

## **8.Critères de jugement des offres**

Ces critères sont les suivants :

- prix de la borne mise en place ;
- garanties apportées quant à la qualité des prestations ;
- références de l'entreprise ;
- délais d'exécution des prestations ;
- suggestions techniques de l'entreprise.

## **9.Remise des offres**

Les propositions techniques et financières devront être adressées au BRGM avant le 10 décembre 2010 à l'adresse ci-dessous :

BRGM

5 rue Ste Anne

BP 906

97478 ST DENIS CEDEX

Contact : Bertrand AUNAY (02 62 21 76 68, [b.aunay@brgm.fr](mailto:b.aunay@brgm.fr))

## **Annexe 8**

### **Liste des livrables du projet MvTerre-1**



**PROJET DE RECHERCHE MVTERRRE**

Programme	Module	Sous-module	Titre	réf. BRGM	Date édition	
1	2002	0	0.0	Bilan des travaux du programme 2002	RP-53210-FR	février 2004
2	2003	0	0.0	Bilan des travaux du programme 2003	RP-53209-FR	février 2004
3	2002	1	1.1	Cartographie géologique du cirque de Salazie à l'échelle 1/10000	RP-52681-FR	octobre 2003
4	2003	1	1.1	Cartographie du cirque de Cilaos	RP-52872-FR	décembre 2003
5	2004	1	1.1	Cartographie du Cirque de Cilaos Campagne 2004	RP-XXXXX-FR	Juillet 2004
6	2006	1	1.1	Notice des cartes géologiques des cirques du Filon des Neiges (île de La Réunion, France)	RP-56730-FR	décembre 2006
7	2006	1	1.1	Carte géologique du Cirque de Cilaos		décembre 2006
8	2006	1	1.1	Carte géologique du Cirque de Salazie		décembre 2006
9	2006	1	1.1	Carte géologique du Cirque de Mafate		décembre 2006
10	2002	1	1.2	Compilation des datations géochronologiques des roches magmatiques de La Réunion - état d'avancement	RP-52886-FR	janvier 2004
11	2006	1	1.2	Nouvelles datations K-Ar et <sup>14</sup> C dans le massif du Filon des Neiges	RP-56905-FR	novembre 2006
12	2002	1	1.3	Rapport sur l'évaluation paléoclimatologique de l'île de La Réunion et des régions environnantes	RP-52674-FR	octobre 2003
13	2003	1	1.3	Evolution paléoclimatologique de l'île de La Réunion - repérage des séquences sédimentaires remarquables dans les cirques - étude de faisabilité de datations par luminescence	RP-52873-FR	décembre 2003
14	2002	2	2.1	Rapport sur l'inventaire des mouvements de terrain historiques à La Réunion	RP-52386-FR	octobre 2003
15	2003	2	2.1	Inventaire des mouvements de terrain historiques à La Réunion	RP-52913-FR	décembre 2003
16	2006	2	2.1	Etude du glissement de terrain de grande ampleur de Cap Byvestre, Cirque de Cilaos	RP-56705-FR	octobre 2006
17	2006	2	2.1	Etude du glissement de terrain de grande ampleur de Malabar, Cirque de Salazie	RP-56707-FR	octobre 2006
18	2006	2	2.1	Analyse des modes d'effacement en masse sur plusieurs sites de La Réunion	RP-56729-FR	juin 2006
19	2002	2	2.2	Implémentation d'un référentiel géodésique dans les cirques - présentation du réseau	RP-52937-FR	décembre 2003
20	2006	2	2.2	Synthèse des résultats du suivi géodésique réalisé dans les cirques du Massif du Filon des Neiges	RP-56699-FR	octobre 2006
21	2002	2	2.3	Potentialité de l'interférométrie radar en matière de détection et de suivi des mouvements de grande ampleur - étude de faisabilité à partir d'images RadarSat	RP-52951-FR	octobre 2003
22	2003	2	2.3	Utilisation de techniques de télédétection (interférométrie radar et corrélation d'images optiques) pour la détection de glissements de terrain sur l'île de La Réunion	RP-52871-FR	décembre 2003
23	2002	3	3.1	Suivi des glissements d'Heil-Boung et de Grand Ilet - présentation des dispositifs	RP-52938-FR	décembre 2003
24	2006	3	3.1	Etude du glissement de terrain de grande ampleur de Grand Ilet, Cirque de Salazie	RP-56706-FR	octobre 2006
25	2006	3	3.1	Suivi des glissements de Heil-Boung et de Grand Ilet par les stations GPS permanentes	RP-56708-FR	octobre 2006
26	2006	3	3.1	Etude du glissement de terrain de grande ampleur d'Heil-Boung, Cirque de Salazie	RP-56725-FR	octobre 2006
27	2002	3	3.2	Auscultation des remparts de La Réunion - moyens à mettre en œuvre	RP-52887-FR	décembre 2003
28	2002	3	3.2	Suivi des déformations des remparts de La Réunion - présentation des dispositifs du Maïto et de Mahavel	RP-52939-FR	décembre 2003
29	2003	3	3.2	Typologie des éboulements rocheux et des modes de rupture associés - étude bibliographique - applications au casiste de l'île de La Réunion	RP-52909-FR	décembre 2003
30	2006	3	3.2	Analyse de la fracturation et suivi des mouvements des remparts du Maïto et de Mahavel par dispositif extensométrique	RP-56734-FR	octobre 2006



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional "Réunion"**  
5, rue Sainte Anne  
BP 906  
97478 – Saint-Denis Cedex  
Tél. : 02 62 21 22 14