

# Hiérarchisation des risques de mouvements de terrain dans le Cirque de Mafate

Tranche conditionnelle

Rapport final

BRGM/RP-61079-FR

Décembre 2012





# Hiérarchisation des risques de mouvements de terrain dans le Cirque de Mafate

Tranche conditionnelle

Rapport final

**BRGM/RP-61079-FR**

Décembre 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2011

**A. DESPREZ, J. DRUON**

Avec la collaboration de

**M. CRUCHET**

**Vérificateur :**

Nom : Rey A.

Date :

Signature :

**Approbateur :**

Nom : Bes de Berc S.

Date :

Signature :

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 9001:2008.**



**Mots clés** : Mouvements de terrain, PPR, Saint-Paul, La Possession, Mafate, la Réunion, aléa, vulnérabilité, risque, sécurisation.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**DESPREZ A., DRUON J.** (2012) – Hiérarchisation des risques de mouvements de terrain dans le Cirque de Mafate – Tranche conditionnelle. Rapport BRGM/RP-61079-FR, 116 p., 58 fig., 2 tab., 14 ann.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Cette seconde phase de la hiérarchisation des risques de mouvements de terrain dans le Cirque de Mafate, porte d'une part sur certains des principaux îlets habités des communes de Saint Paul et de la Possession (Marla, La Nouvelle, Grand Place, Îlet à Bourse, Aurère et Îlet à Malheur) et d'autre part sur des îlets secondaires (Deux-Bras, Îlet Flamand, Îlet Nourry, Îlet à Déjeuner, Les Hirondelles, Îlet Moutou, Cayenne, Îlet au nord de Cayenne, Plateau des Calumets, Îlet Cerneau, Trois Roches, Îlet chemin Charrette, Plaines aux Sables, Maison Laclos). Cette étude a conduit à la réalisation :

- d'une cartographie des aléas mouvements de terrain à l'échelle 1/2 000, établie à « dire d'expert » et précisant le zonage effectué en 2006 à l'échelle 1/5 000 dans le cadre de l'élaboration du dossier Plan de Prévention des Risques (PPR) de Mafate. La présente étude apporte une connaissance accrue des phénomènes à craindre en distinguant dans l'évaluation du niveau d'aléa l'intensité et la fréquence (ou l'imminence) prévisibles ;
- d'une cartographie des enjeux à l'échelle 1/2 000, distinguant notamment les structures à occupation humaine permanente (habitation) ou semi-permanente (gites, écoles, etc.), et permettant la quantification par zone d'aléa homogène des enjeux menacés (calcul de notes d'enjeux) ;
- d'une cartographie de risques à l'échelle 1/2 000, issue du croisement des documents cartographiques précédents et permettant d'identifier et de hiérarchiser les principales zones d'enjeux parmi les plus menacées sur les zones d'étude.

Ces documents ont permis d'émettre des recommandations concernant les perspectives de développement des zones d'étude :

**Pour les zones très exposées soumises à un aléa élevé ou très élevé** (comme par exemple en bordure de rempart, en pied de falaise, dans le lit d'un axe d'écoulement), compte tenu des risques à court terme pour ces secteurs, il est conseillé de:

- geler les secteurs n'accueillant aujourd'hui aucun enjeu,
- proscrire tout nouveau projet d'habitation,
- envisager une relocalisation des habitations situées au sein de ces zones,

**Pour les zones exposées à un aléa moyen**, il est généralement conseillé d'éviter tout nouveau projet de construction, ce qui correspond aux règles habituelles pratiquées dans les PPR pour ces zones. Seuls quelques secteurs pourraient faire l'objet d'une sécurisation afin de minimiser l'exposition des enjeux existants et d'envisager la réalisation de nouveaux projets, comme par exemple la rive gauche de la ravine Marla. On peut également citer certaines zones en aléa moyen d'Îlet à Malheur, d'Îlet à Bourse ou de Cayenne. Toutefois, les mesures de sécurisation dans ces secteurs paraissent délicates à mettre en œuvre au vu de la configuration morphologique de ces secteurs et des coûts importants prévisibles.

**Pour les zones peu exposées soumises à un aléa faible**, il est conseillé de privilégier l'implantation de nouveaux projets d'aménagement au sein de ces secteurs, en veillant à respecter les principales règles de l'art en matière de construction.



# Sommaire

<b>1. Objet du rapport.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Contexte d'étude.....</b>	<b>15</b>
2.1. DELIMITATION GEOGRAPHIQUE DES SECTEURS D'ETUDE.....	15
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL.....	16
2.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE DES SECTEURS D'ETUDE .....	17
2.3.1. Ensemble septentrional.....	17
2.3.2. Ensemble méridional.....	21
<b>3. Expertise relative aux phénomènes de mouvement de terrain .....</b>	<b>25</b>
3.1. CARACTERISATION DES PHENOMENES PREVISIBLES .....	25
3.1.1. Eboulements et chutes de blocs et de pierres (P).....	25
3.1.2. Glissements de terrain (G) .....	26
3.1.3. Phénomènes d'érosion et de ravinement (E) .....	28
3.2. SOURCES D'INFORMATION EXPLOITEES .....	28
3.2.1. Données numériques générales.....	28
3.2.2. Reconnaissance de terrain.....	29
3.2.3. Recensement des phénomènes historiques .....	29
3.2.4. Suivi des bornes géodésiques.....	31
3.3. ANALYSE DES PHENOMENES RECENSES .....	36
3.3.1. Ensemble septentrional.....	36
3.3.2. Secteur sud .....	42
<b>4. Expertise de l'aléa et cartographies associés .....</b>	<b>47</b>
4.1. CARTOGRAPHIE DES ALEAS MOUVEMENTS DE TERRAIN .....	47
4.1.1. Caractérisation des niveaux d'aléas utilisés.....	47
4.1.2. Zonage des aléas proposé .....	49
4.2. CARTOGRAPHIE DES ENJEUX .....	64
4.2.1. Caractérisation des enjeux.....	64
4.2.2. Zonage des enjeux proposé .....	65
4.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES .....	66
4.4. COMMENTAIRES SUR LES CARTOGRAPHIES.....	69
4.4.1. Secteur septentrional.....	69
4.4.2. Secteur méridional.....	70
<b>5. Recommandations en matière de sécurisation .....</b>	<b>73</b>

5.1. RAPPELS RELATIFS AUX REGLES DE CONSTRUCTIBILITE .....	73
5.2. RECOMMANDATIONS GENERALES .....	74
5.2.1. Vis-à-vis des zones d'aléa élevé.....	74
5.2.2. Vis-à-vis des zones d'aléa faible .....	74
5.3. RECOMMANDATIONS PAR SECTEUR.....	75
5.3.1. Secteur septentrional.....	75
5.3.2. Secteur méridional.....	79
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>81</b>
<b>7. Bibliographie.....</b>	<b>83</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation des secteurs étudiés (fond topographique : Scan25® ©IGN) .....	12
Figure 2 : Carte de localisation des îlets principaux et secondaires étudiés dans la tranche conditionnelle (fond topographique : Scan100® ©IGN) .....	15
Figure 3 : Cartographie géologique au 1/10 000 des secteurs étudiés dans la tranche conditionnelle (Projet MVT Terre 1 - BRGM 2008, fond topographique : Scan100® ©IGN) .....	17
Figure 4 : Aurère et Îlet Sud .....	18
Figure 5 : Îlet à Malheur.....	19
Figure 6 : Îlet à Bourse .....	20
Figure 7 : Secteur Grand-Place - Cayenne .....	21
Figure 8 : La Nouvelle vu depuis le Maïdo .....	22
Figure 9 : La Plaine aux Sables .....	22
Figure 10 : Alluvions récentes de la rivière des Galets bordant l'est l'îlet de Trois Roches .....	23
Figure 11 : Marla .....	24
Figure 12 : Chute d'un bloc isolé et éboulement .....	25
Figure 13 : Schéma d'un glissement de terrain avec une surface de rupture courbe.....	26
Figure 14 : Glissement lent de fond de cirque affectant le plateau de Marla (Source : Rapport BRGM/RP-59508-FR, 2006) .....	27
Figure 15 : Localisation des phénomènes recensés dans la base de données mouvements de terrain du projet MVTERRE - BRGM (Source : BRGM BDMVT – Projet MVTERRE, ©IGN SCAN 100®).....	30
Figure 16 : Réseau géodésique de Mafate .....	32
Figure 17 : Déplacement planimétrique des bornes du secteur nord de Mafate (en m) sur la période de février 2010 à juin 2012 (excepté pour les bornes MA24 et MA25 installées depuis juin 2011) et orientation du vecteur déplacement .....	33
Figure 18 : Déplacement planimétrique des bornes du secteur sud de Mafate (en m) sur la période de février 2010 à juin 2012 et orientation du vecteur déplacement .....	34

Figure 19 : Problématiques mouvements de terrain sur les secteurs d’Aurère et d’Îlet à Malheur (Source : Rapport RP-54508-FR, 2006 - fond topographique : orthophoto et BD Topo® ©IGN 2003).....	37
Figure 20 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur d’Îlet à Malheur (Source : Rapport RP-54508-FR, 2006 - cliché héliporté 2005).....	37
Figure 21 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur d’Aurère (Source : Rapport RP-54508-FR, 2006 - cliché héliporté 2005 ).....	38
Figure 22 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Îlet à Bourse – Îlet à Bourse les Hauts- La Plaque (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO® 2003 ©IGN) .....	39
Figure 23 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Îlet à Bourse – Îlet à Bourse les Hauts- La Plaque (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005)..	39
Figure 24 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Grand Place- Grand Place les Hauts – Cayenne (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO® 2003 ©IGN) .....	40
Figure 25 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Grand Place- Grand Place les Hauts – Cayenne (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005)..	40
Figure 26 : Cartographie au 1/25 000 des principales formes d’érosion et des mouvements de grande ampleur constatés suite au cyclone Hyacinthe en 1980 à proximité de l’ensemble septentrional de la zone d’étude (source : M. Humbert, 1981 – Rapport BRGM ; orthophoto 2008).....	41
Figure 27 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur de La Nouvelle (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO® 2003 ©IGN).....	42
Figure 28 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur La Nouvelle (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005) .....	42
Figure 29 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Plaine aux Sables et Trois Roches (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO® 2003 ©IGN) .....	43
Figure 30 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Plaine aux Sables et Trois Roches (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005) .....	44
Figure 31 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur de Marla (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO® 2003 ©IGN).....	45
Figure 32 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur de Marla (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005) .....	45
Figure 33 : Cartographie au 1/25 000 des principales formes d’érosion et des mouvements de grande ampleur constatés après le passage du cyclone Hyacinthe en 1980 à proximité de l’ensemble septentrional de la zone d’étude (source : M. Humbert, 1981 – Rapport BRGM ; orthophoto 2008). .....	46
Figure 34 : Vue depuis les abords d’un versant. Au premier plan, habitation classée en zone d’aléa moyen, en recul de la tête de versant. En arrière plan, habitations classées en aléa faible mouvements de terrain. ....	50
Figure 35 : Versant ouest dominant la partie sud du village d’Aurère .....	51
Figure 36 : Village d’îlet à Malheur, délimité par le versant amont, les deux ravines et le rempart du Bras Bémale.....	52
Figure 37 : La Plaque .....	52
Figure 38 : La Plaque, îlet à Bourse et îlet à Bourse les Hauts .....	53
Figure 39 : Habitations en aval immédiat du Piton Tortue .....	54
Figure 40 : Phénomènes érosifs et glissements dans le rempart bordant le site de Cayenne...	54

Figure 41 : Versant en amont de la plateforme de Cayenne .....	55
Figure 42 : Fortes pentes limitant le secteur de Grand Place à l'est .....	55
Figure 43 : Mégabloc en amont des habitations. Secteur Grand Place, Piton Papangue.....	56
Figure 44 : Pointe nord du secteur de Grand Place les Hauts.....	57
Figure 45 : Îlet Cerneau.....	58
Figure 46 : Bras d'écoulement impactant le secteur sud de l'îlet Cerneau .....	58
Figure 47 : « Le bivouac », extrémité sud du secteur de la Nouvelle, contraint par les versants amont et aval .....	59
Figure 48 : Îlet Chemin Charrette .....	60
Figure 49 : Phénomènes érosifs importants au droit de la ravine aux Sables.....	60
Figure 50 : Remparts profondément incisés par l'érosion au nord du secteur de la Plaine aux Sables.....	61
Figure 51 : Maison Laclos en aval du plateau Kerval .....	62
Figure 52 : Secteurs de Maison Laclos et de Marla .....	62
Figure 53 : Bras alimentant la ravine de Marla. Vue depuis le sommet du mégabloc bréchiq.63	
Figure 54 : Typologie et pondération retenue des enjeux.....	64
Figure 55 : Exemple de calcul de la note d'enjeux.....	66
Figure 56 : Echelles de classification des niveaux de risque adoptées .....	67
Figure 57 : Cartographie des aléas, enjeux et risques sur le secteur de Cayenne .....	68

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des phénomènes historiques recensés dans le Cirque de Mafate (source : BDMVT – Projet MVTERRE).....	31
Tableau 2 : Définition de l'aléa en fonction de l'intensité et de la fréquence du phénomène .....	47
Tableau 3 : Pondération attribuée pour le niveau d'aléa.....	67

## Liste des annexes

Annexe 1 La Nouvelle .....	85
Annexe 2 Ilet Cerneau.....	87
Annexe 3 Grand Place, Grand Place les Hauts et Cayenne.....	89
Annexe 4 Ilet au nord de Cayenne et Ilet Moutou .....	91
Annexe 5 Ilet à Bourse, Ilet à Bourse les Hauts et La Plaque .....	93
Annexe 6 Trois Roches et La Plaine aux Sables .....	95
Annexe 7 Plateau des Calumets .....	97
Annexe 8 Ilet à Malheur et Ilet à Malheur les Hauts .....	99
Annexe 9 Aurère.....	101
Annexe 10 Ilet Flamand et Deux Bras.....	103

Annexe 11 Ilet à Déjeuner .....	105
Annexe 12 Ilet Nourry.....	107
Annexe 13 Les Hirondelles.....	109
Annexe 14 Marla et Maison Laclos .....	111



# 1. Objet du rapport

Faisant suite au recensement du bâti et de l'occupation des sols dans le Cirque de Mafate, et en préalable d'une part à la mise sur pied des documents d'urbanisme des communes de St-Paul et de la Possession (respectivement procédures d'élaboration et de révision de leur Plan Local d'Urbanisme) et d'autre part à l'élaboration du Schéma d'aménagement des îlets, le Parc National de la Réunion a souhaité disposer dans Mafate d'une cartographie précise des enjeux anthropiques exposés aux aléas de mouvements de terrain afin de procéder à une hiérarchisation des éléments les plus menacés.

La carte d'aléa mouvements de terrains au 1/5 000, dressée par le BRGM en 2006 dans le cadre de l'élaboration du dossier Plan de Prévention des Risques (PPR) de Mafate ne peut répondre de façon entièrement satisfaisante à cette demande, d'une part en raison de son échelle mal adaptée (trop imprécise au regard du besoin exprimé), d'autre part du fait que cette cartographie d'aléas issue des procédures PPR met principalement en avant l'intensité prévisible des phénomènes de référence, et non la fréquence (ou le caractère imminent) des instabilités, et enfin en raison de la non intégration des données d'enjeux.

Une première phase de hiérarchisation des risques de mouvements de terrain dans le cirque de Mafate (tranche 1 ou tranche ferme) a été réalisée en janvier 2011 concernant exclusivement les îlets de Roche Plate, des Orangers et des Lataniers (cf. RP-59472-FR). La tranche conditionnelle (tranche 2) de cette mission, objet du présent rapport, a porté sur les îlets mafatais principaux de la commune de Saint-Paul et de La Possession :

- Marla ;
- La Nouvelle ;
- Grand Place ;
- Îlet à Bourse ;
- Aurère ;
- Îlet à Malheur ;

ainsi que sur les îlets secondaires :

- Deux Bras ;
- Îlet Flamand ;
- Îlet Nourry ;
- Les Hirondelles ;
- Îlet à Déjeuner ;
- Plateau des Calumets ;
- Îlet Moutou ;
- Cayenne ;
- Îlet au nord de Cayenne ;
- Îlet Cerneau ;
- Trois Roches ;
- Îlet Chemin Charrette ;
- Plaine aux Sables ;
- Maison Laclos.

Les différents secteurs étudiés au cours de la tranche ferme et de la tranche conditionnelle sont localisés sur la figure suivante.

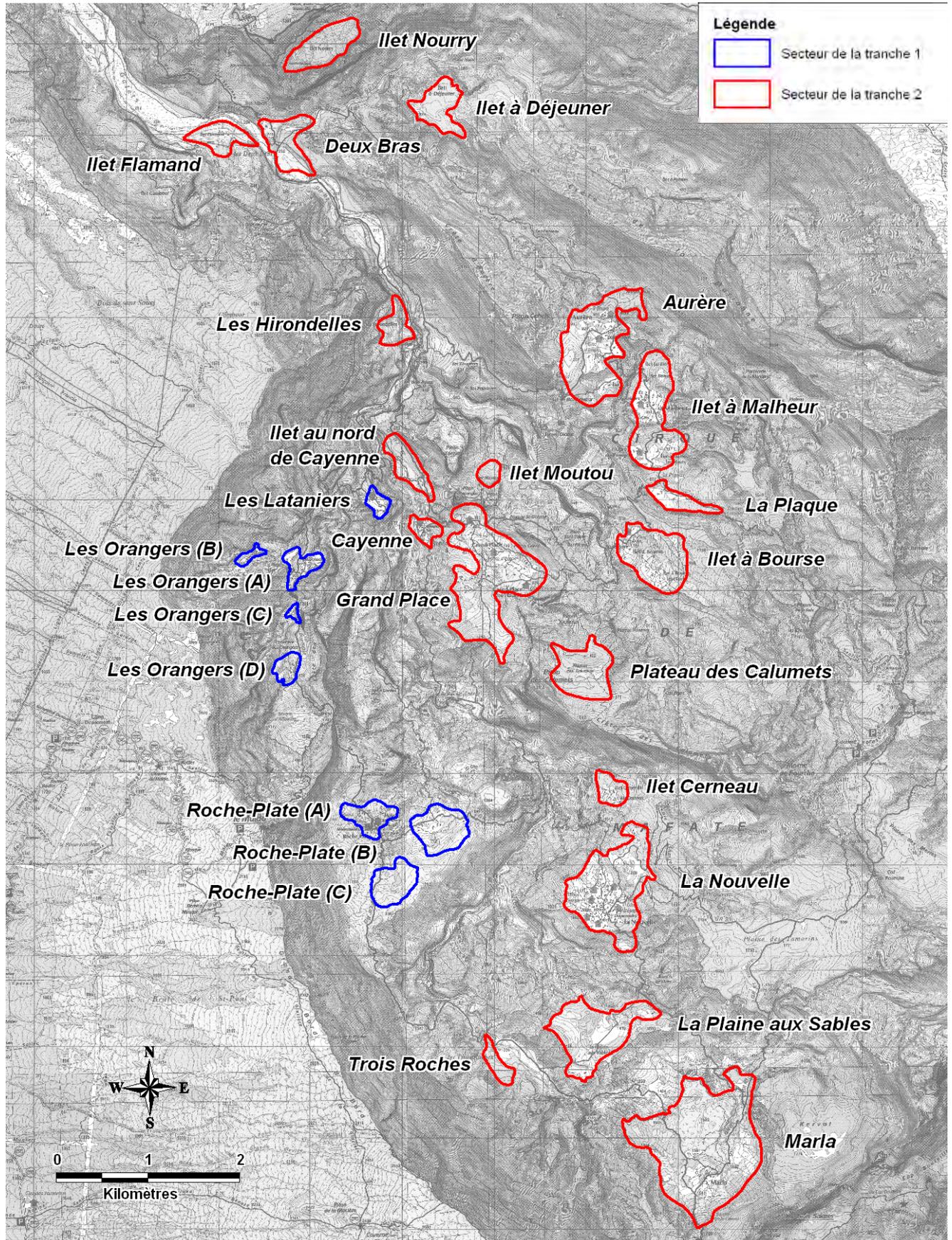


Figure 1 : Localisation des secteurs étudiés (fond topographique : Scan25© ©IGN)

Afin de répondre à ces demandes spécifiques, le BRGM a dressé une cartographie au 1/2 000 permettant de mettre en avant l'intensité des phénomènes et leur imminence. Cette cartographie a été établie à partir de données historiques, de l'exploitation des fonds topographiques et photographiques disponibles au BRGM et sur la réalisation de levés de terrain au 1/2 000.

L'objectif de cette cartographie étant de définir une hiérarchisation des zones occupées les plus menacées.

Sur la base des cartes de risques produites, des priorités d'action et des principes généraux de mise en sécurité seront proposées au Parc national et à la DEAL. Pour cette phase de l'étude, il s'agit uniquement de dresser des propositions sommaires pouvant contribuer de façon préliminaire aux réflexions du Parc national.

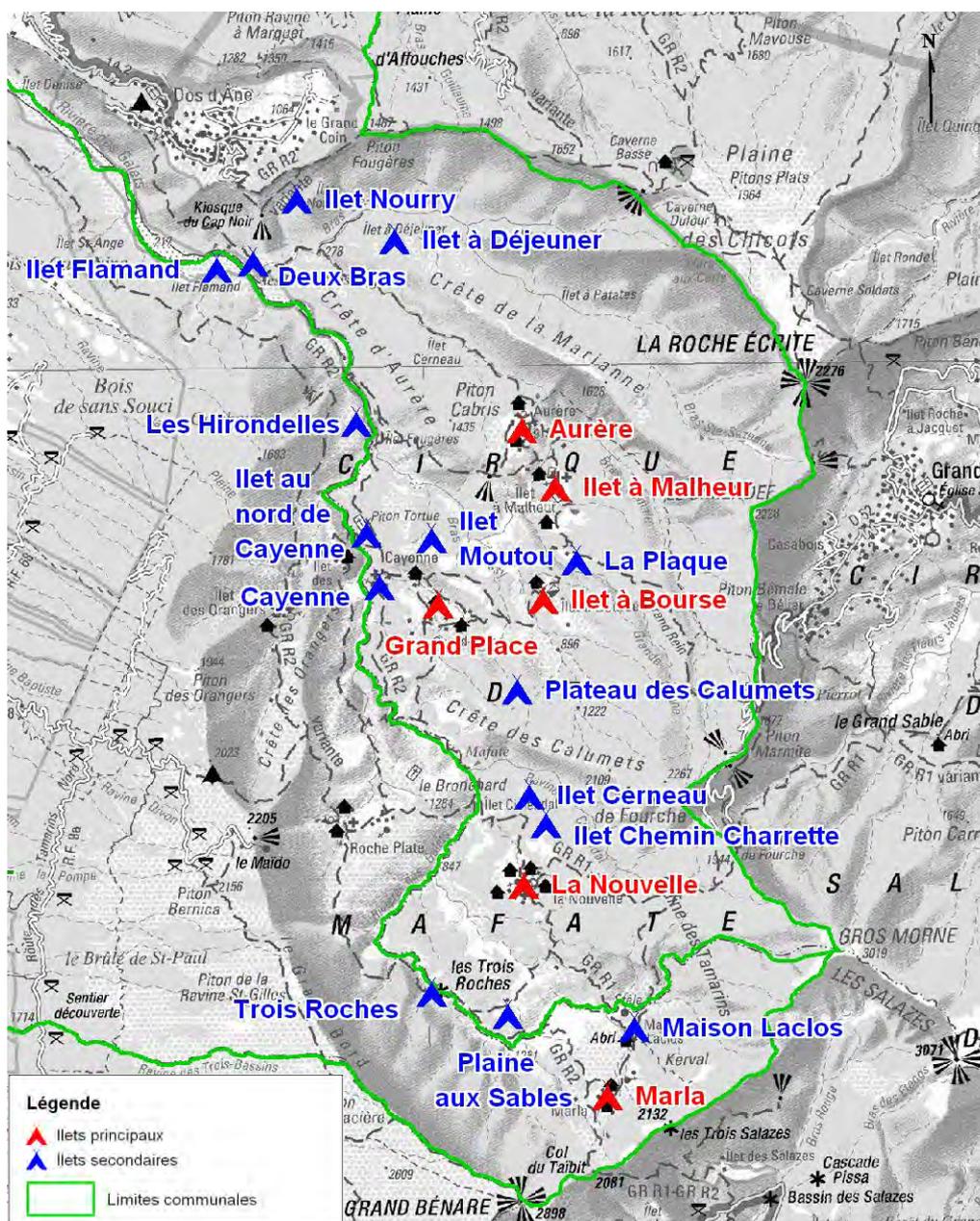


## 2. Contexte d'étude

### 2.1. DELIMITATION GEOGRAPHIQUE DES SECTEURS D'ETUDE

Les différents secteurs d'étude se situent dans le Cirque de Mafate, sur le flanc ouest du massif du Piton des Neiges. Les crêtes de la Marianne, des Calumets et des Trois Salazes viennent individualiser deux ensembles géographiques où se répartissent les îlets étudiés :

- un ensemble septentrional regroupant les principaux îlets d'Aurère, Îlet à Malheur, Îlet à Bourse et Grand Place, délimité entre la crête de la Marianne au nord et la crête des Calumets au sud ;
- un ensemble méridional regroupant les îlets principaux de La Nouvelle et de Marla, compris entre la crête des Calumets au nord et la crête des Trois Salazes au sud.



## 2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL

L'édification du massif du Piton des Neiges s'est effectuée en 4 phases d'activité selon la carte géologique de G. Billard de 1974. Les arêtes du cirque de Mafate sont formées d'empilement de coulées de lave issues de la phase III et IV. Les laves de la crête de la Marianne appartenant aux séries de la phase III du massif du Piton des Neiges (séries des laves différenciées précoces, émises entre 330 000 et 230 000 ans) se distinguent notamment des laves constituant la crête des Calumets résultant de la phase IV (séries des laves différenciées tardives, émises depuis 220 000 ans). Ces faciès différenciés coiffent les formations anciennes du Massif du Piton des Neiges constituées par la série des océanites anciennes (ou phase I ; représentée par des agglomérats, des brèches chloritisées et zéolitisées) et la série des océanites récentes (ou phase II ; émission de lave aphyrique et de lave riche en olivine). L'ensemble de ces séries volcaniques est recoupé par des intrusions filoniennes (dykes et sills ; notamment des dykes de syénites) qui ont largement guidé l'érosion.

La fin des activités volcaniques (phase III notamment) est marquée par des phénomènes explosifs et des effondrements importants, avec une érosion permanente qui attaque les formations en place.

Le fond des dépressions du cirque est constitué par les formations détritiques provenant du démantèlement progressif des reliefs environnants (Piton des Neiges *sensu stricto*) et des remparts. Ces produits relativement récents sont des éboulis, des chaos de blocs, de coulées de débris, des avalanches de débris, des colluvions à blocs et à matrice terreuse ou des alluvions anciennes formant des terrasses en banquette de part et d'autres des principales rivières. Elles reposent sur les brèches anciennes généralement soudées également issues du démantèlement des remparts.

Des formations récentes (éboulis, colluvions à blocs) occupent également le fond des dépressions. Ces accumulations peuvent se réactiver au fur et à mesure de l'enfoncement du réseau hydrographique. Ces formations sont reprises aujourd'hui par l'érosion, qui par un phénomène de sape de pied, pourraient les remettre en mouvement (glissements de terrain possibles en période de très fortes pluies).

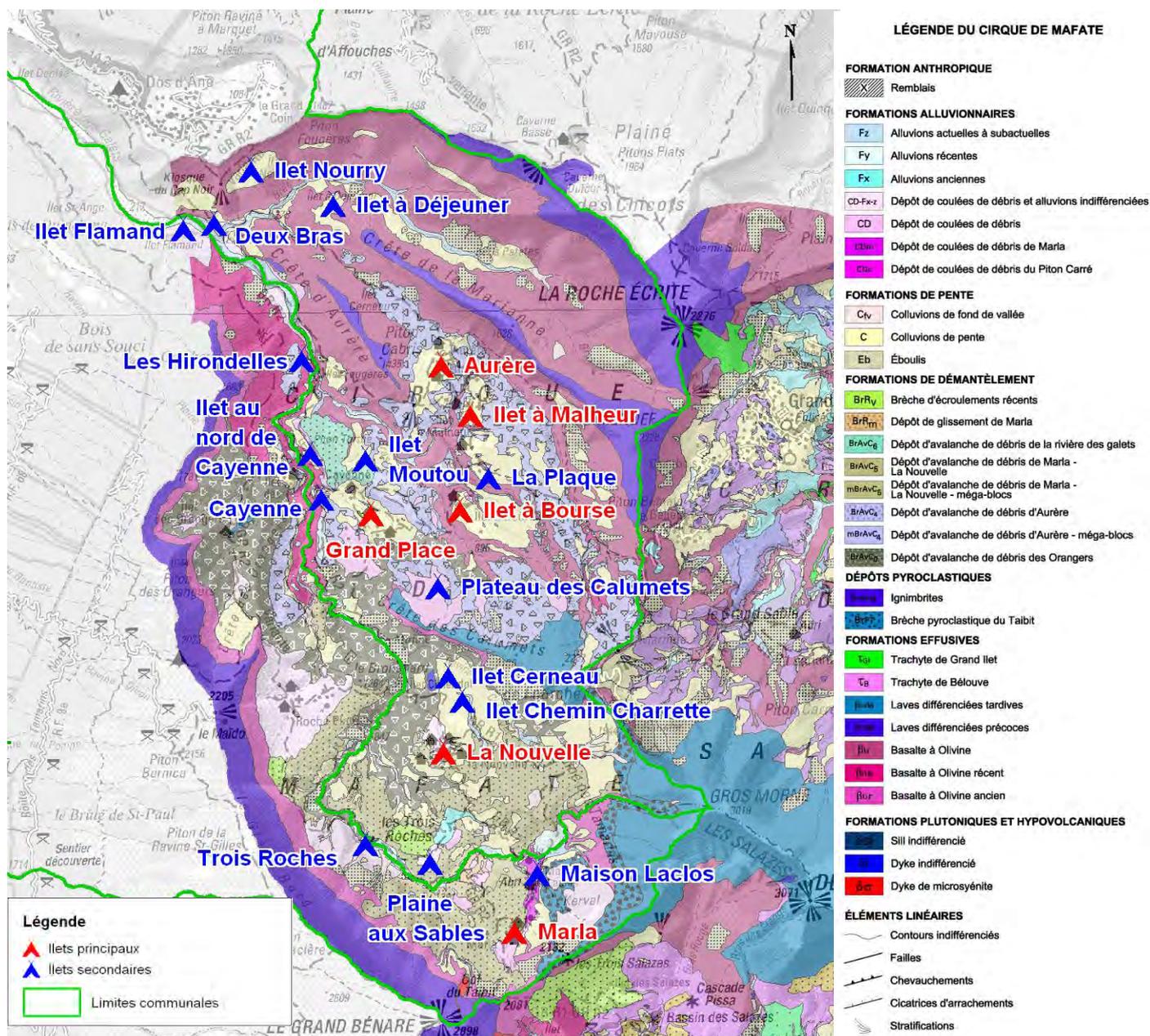


Figure 3 : Cartographie géologique au 1/10 000 des secteurs étudiés dans la tranche conditionnelle (Projet MVT Terre 1 - BRGM 2008, fond topographique : Scan100© ©IGN)

## 2.3. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE DES PRINCIPAUX SECTEURS D'ETUDE

### 2.3.1. Ensemble septentrional

Ce secteur est compris entre la crête des Calumets et la crête de La Marianne. Il est caractérisé par plusieurs morphologies semi-circulaires allongées selon la direction NO-SE, emboîtées, centrées sur Îlet à Bourse. Les formations superficielles formant des placages à la surface des îlets sont fortement entaillées par l'érosion. Les ravines sont nombreuses et s'encaissent dans les brèches anciennes soudées.

L'enfoncement progressif des cours d'eau (phénomènes érosifs) et les effondrements ont dû déclencher par le passé des mouvements gravitaires de grande ampleur expliquant la morphologie actuelle.

- **Secteur Aurère**

**Aurère** est un site vallonné situé entre l'extrémité sud-est de la Crête d'Aurère et de la Crête de la Marianne. Est inclus également dans ce secteur, l'**Îlet Sud**, situé en contre-bas vers le sud-est (Figure 4). Avec le secteur Îlet à Malheur, celui-ci forme un plateau incisé par le Bras Bémale, avec une érosion régressive qui se développe sur chaque berge.

Ces secteurs sont constitués de brèches variées, notamment de brèches colluviales (colluvions de pente) en surface. Ces brèches colluviales, épaisses de quelques mètres à plusieurs mètres aux abords des reliefs, reposent sur une formation bréchique (dépôt d'avalanche de débris d'Aurère) épaisse de 100 à 150 m. L'ensemble de ces brèches reposent sur des coulées de lave (basalte à olivine) au moins épaisses d'une centaine de mètres qui forment les gorges du Bras Bémale.

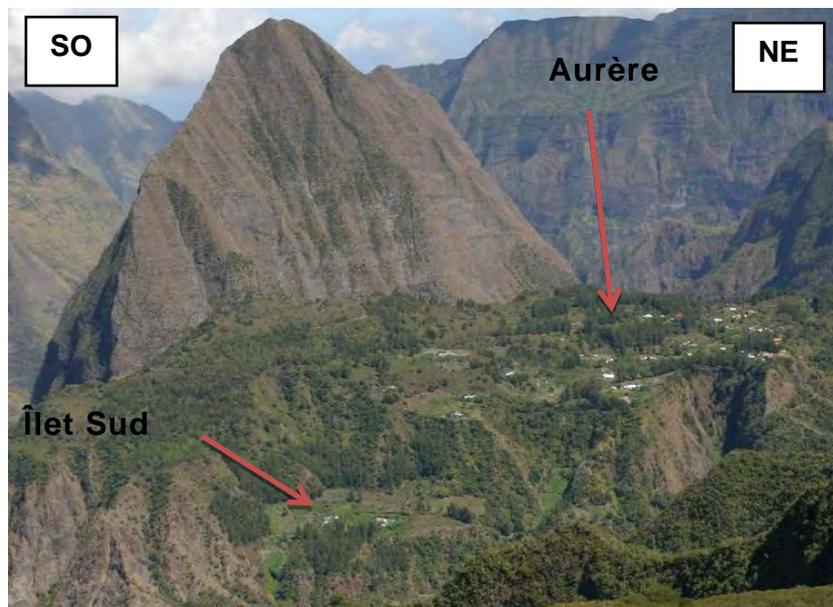


Figure 4 : Aurère et Îlet Sud

### • Secteur Îlet à Malheur

Ce secteur comprend l'**Îlet à Malheur** et l'**Îlet à Malheur les Hauts**. Ces derniers forment des plateaux d'extension relativement réduite, faiblement inclinés vers le nord-ouest et dominés à l'est par des reliefs escarpés d'altitude modeste (1100 m environ). Les plateaux se trouvent à une altitude de l'ordre de 820 m pour l'îlet principal et 900 m pour les Hauts. En aval des îlets (au niveau de Bras Bémale et de Grande Ravine) et entre ceux-ci (au niveau de la ravine Jozon et de la ravine Carreau Chouchou), les pentes sont très fortes. Le rempart en aval (Bras Bémale) de l'Îlet à Malheur atteint une hauteur de l'ordre de 150 m et de 250 m pour l'Îlet à Malheur les Hauts. Les formations géologiques de ce secteur sont sensiblement les mêmes que celles du secteur d'Aurère. Les produits de démantèlement des reliefs forment des accumulations d'éboulis en amont des plateaux.



Figure 5 : Îlet à Malheur

### • Îlet à Bourse

Ce secteur est situé en partie centrale, à l'est du cirque. Il comprend l'**Îlet à Bourse**, l'**Îlet à Bourse les Hauts** et le lieu-dit **La Plaque**.

Ce site est constitué de différentes zones planes, inclinées vers le nord-ouest et séparées par des thalwegs plus ou moins encaissés. Au sud de la Grande Ravine, on distingue une première zone (Îlet à Bourse les Hauts) dont la pente s'adoucit depuis un sommet culminant à 1401 m. L'Îlet à Bourse est séparé du secteur précédent par une pente plus forte d'environ 50 m de haut. Ces deux plateaux sont bordés à l'ouest par le Bras d'Oussy où le rempart atteint entre 100 et 150 m. Au nord de la Grande Ravine, le site de La Plaque, à faible pente, s'élargit vers le nord-ouest.

Ce secteur est constitué en surface et sur plusieurs mètres d'épaisseur par des brèches reposant sur des coulées de laves recoupées par de très nombreux dykes.



Figure 6 : Îlet à Bourse

• **Secteur Grand Place**

Ce secteur occupe une position centrale dans le Cirque de Mafate. Il englobe les Îlets de **Grand Place** et **Grand Place les Hauts** qui sont entourés de crêtes circulaires fortement ravinées. À l'ouest et au sud, des crêtes correspondantes aux versants en rive droite de la rivière des Galets viennent délimiter ce secteur.

Dans le cadre de l'étude, ce secteur inclut également l'îlet de **Cayenne**. Ce dernier constitue une plateforme de faible extension (une centaine de mètres de large) qui domine la rivière des Galets en rive droite, d'environ 150 à 200 m. En aval, les pentes sont fortes alors qu'en amont le relief est peu escarpé.

Ce secteur est constitué par des brèches issues du démantèlement des reliefs environnants.



Figure 7 : Secteur Grand-Place - Cayenne

### 2.3.2. Ensemble méridional

Dominé par quatre sommets : le Maïdo au nord-ouest (2208 m), le Morne de Fourche au nord-est (2267 m), le Gros Morne à l'est (3019 m) et le Grand Bénare au sud (2898 m), cet ensemble est constitué de plusieurs plateaux entaillés par la rivière des Galets.

L'enfoncement du lit de la rivière a déclenché plusieurs glissements de grande ampleur par suppression de la butée de pied. Ces morphologies typiques sont visibles en aval du plateau de Marla où elles sont actives.

#### • Secteur La Nouvelle

Ce secteur occupe une position centrale dans le tiers sud du cirque. Il comprend les **îlets de La Nouvelle, de Cimendal, de Cerneau** et inclut également l'îlet situé sur le chemin Charrette. L'îlet de la Nouvelle forme une zone plane d'extension réduite, faiblement inclinée vers le nord-ouest, à une altitude moyenne de 1450 m. Les bordures sud et ouest de l'îlet constituent les versants très escarpés, de plusieurs centaines de mètres de haut, en rive droite de différents cours d'eau (Trou de Jacques, Bras de Rémy, rivière des Galets). La limite sud-est est formée par une pente qui s'accroît progressivement jusqu'à un sommet qui culmine à environ 1650 m. L'**îlet chemin Charrette**, de faible extension, ferme le site vers le nord-est, à une altitude de 1500 m.

Les îlets de Cimendal et de Cerneau, situés environ 800 m au nord de La Nouvelle, sont de dimension très réduite. Ce site présente de fortes pentes à l'ouest et au nord (versants respectivement de la rivière des Galets et de la ravine Cimendal) et est fermé à l'est par des pentes modérées.

Ce secteur est constitué de formations bréchiques recouvrant des alternances de coulées de lave massive et de niveaux de scories. Ces brèches semblent toutefois constituer la totalité des reliefs qui limitent les îlets vers l'est.

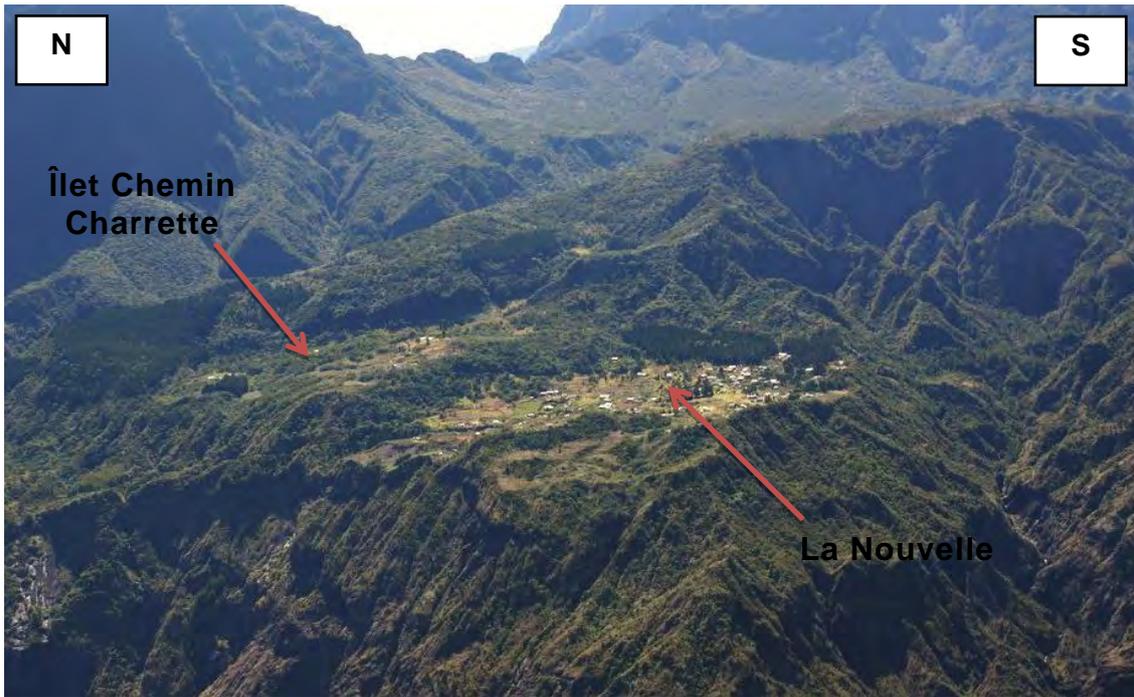


Figure 8 : La Nouvelle vu depuis le Maïdo

• **Secteur de la Plaine aux Sables**

Situé entre La Nouvelle et Marla, à une altitude moyenne de l'ordre de 1450 m, ce secteur est délimité au sud par les versants escarpés de la rivière des Galets et à l'est par la ravine des Sables. La partie centrale est constituée de dépôts lacustres (limons, sables, graviers) sur une épaisseur avoisinant les 6m. La partie nord-ouest présente des brèches d'écroulements récents. A l'est, au droit de la ravine des sables, les terrains sont constitués de brèches et d'alluvions anciennes.



Figure 9 : La Plaine aux Sables

• **Secteur de Trois Roches**

Trois Roches est situé au pied du rempart ouest du cirque de Mafate et en rive gauche de la rivière des Galets. L'extension de la zone de pente faible est très limitée. Ce secteur est constitué de formations bréchiques, bordé à l'est par des alluvions récentes.



Figure 10 : Alluvions récentes de la rivière des Galets bordant l'est l'îlet de Trois Roches

• **Secteur de Marla**

**Marla** est l'îlet le plus méridional du cirque de Mafate. Il est situé au pied des remparts fermant le cirque au sud (Grand Bénare, Col du Taïbit et les Trois Salazes). Le site est dominé à l'est par le plateau du Kerval (1774 m), à l'ouest par un ancien plateau fortement disséqué par l'érosion et au nord par la rivière des Galets. Ce secteur inclut également le site de **Maison Laclos**.

A la différence des autres plateaux du cirque de Mafate tous constitués de formations bréchiques, celui de Marla est formé par des océanites.



Figure 11 : Marla

### 3. Expertise relative aux phénomènes de mouvements de terrain

#### 3.1. CARACTERISATION DES PHENOMENES PREVISIBLES

On distingue les instabilités gravitaires dont le déplacement s'effectue principalement avec une composante verticale (éboulements, chutes de blocs,...) et ceux dont le déplacement s'effectue avec une composante horizontale prépondérante (glissements de terrain). Dans le premier cas, les matériaux sont les plus souvent rocheux ou à tendance rocheuse, tandis que dans le second cas, les matériaux mobilisés sont meubles. Pour ces deux grands types d'instabilités, une distinction peut être faite en fonction des volumes mobilisés (cas le plus fréquent), mais aussi en fonction de la nature des matériaux mobilisés et de la géométrie de la surface de rupture.

##### 3.1.1. Eboulements et chutes de blocs et de pierres (P)

Au sein du cirque de Mafate, les mouvements à déplacement vertical, sont les phénomènes les plus fréquemment observés ou relatés, depuis des chutes de pierres jusqu'aux éboulements en masse de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes.

Quasiment toutes les fortes pentes sont exposées (remparts, reliefs escarpés au sein du cirque, berges abruptes des cours d'eau, talus des sentiers,...). Les phénomènes d'éboulement en masse sont souvent favorisés par la présence de dykes en aval-pendage, qui constituent des surfaces de décollement privilégiées. Ils se produisent également souvent en périphérie aval de grands glissements actifs.

Les phénomènes de chutes de pierres et de blocs se produisent de manière régulière (toute l'année) et quasiment dans tout le cirque. Ils sont en relation avec la verticalité des divers reliefs et la nature des formations géologiques affectées. Les chutes se produisent au sein des remparts, de talus sub-verticaux (matériaux rocheux fracturés, brèches diverses), ou peuvent concerner des blocs en équilibre instable sur les pentes.

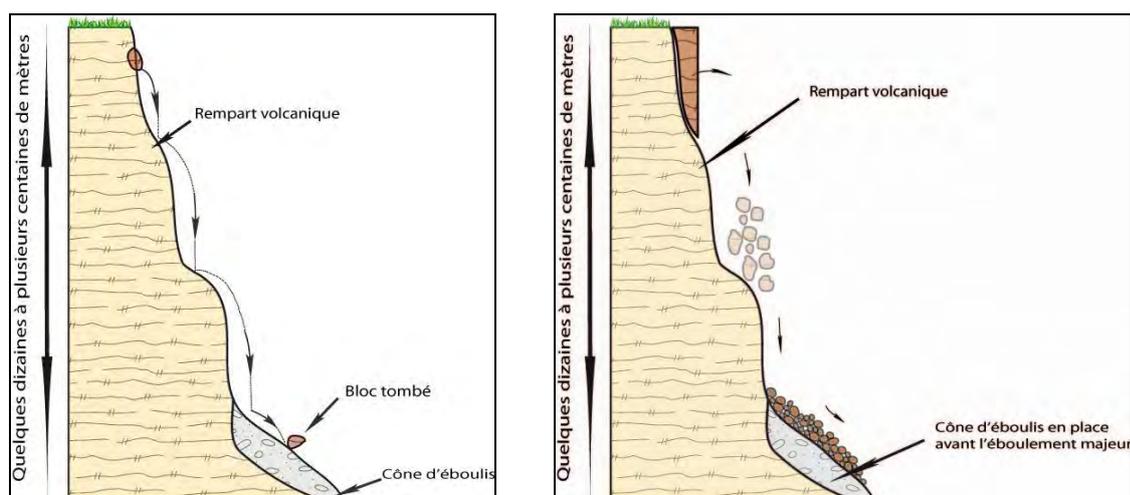


Figure 12 : Chute d'un bloc isolé et éboulement

### 3.1.2. Glissements de terrain (G)

Selon les volumes de matériaux mis en jeu, on peut distinguer les glissements de terrain superficiels et les glissements de terrain profonds ou « glissement lent de fond de cirque » (de grande ampleur).

Les glissements de terrain superficiels n'affectent généralement que la couverture détritique des terrains ou la partie supérieure des matériaux bréchiques (plus ou moins altérés) sur une épaisseur de quelques mètres. Ils sont nombreux en bordure des différents îlets, au sommet des talus, mais ils s'estompent vite, ne laissant plus dans le paysage qu'une forme d'érosion semi-circulaire (petite niche d'érosion active, grande niche d'érosion localement active).

Les glissements de terrain profonds, actifs dans le cirque de Mafate, sont plus difficiles à appréhender que ceux des cirques de Salazie ou de Cilaos, où nous possédons davantage d'informations sur leur localisation et leurs caractéristiques. Il s'agit, le plus souvent, de phénomènes d'ampleur hectométrique à kilométrique qui affectent sur des épaisseurs importantes les brèches de démantèlement ou les océanites tapissant le fond du cirque. Ces phénomènes peuvent se manifester en surface par une morphologie en « marche d'escalier ». Des zones planes, en pendage aval ou en contre pente, sont limitées par des escarpements (au droit des lignes de rupture) qui peuvent s'organiser en arcs de cercle concentriques. Compte tenu de cette morphologie, il peut exister au sein des portions planes, des zones de soubassement sujettes à un risque d'inondation (zones de mares en général).

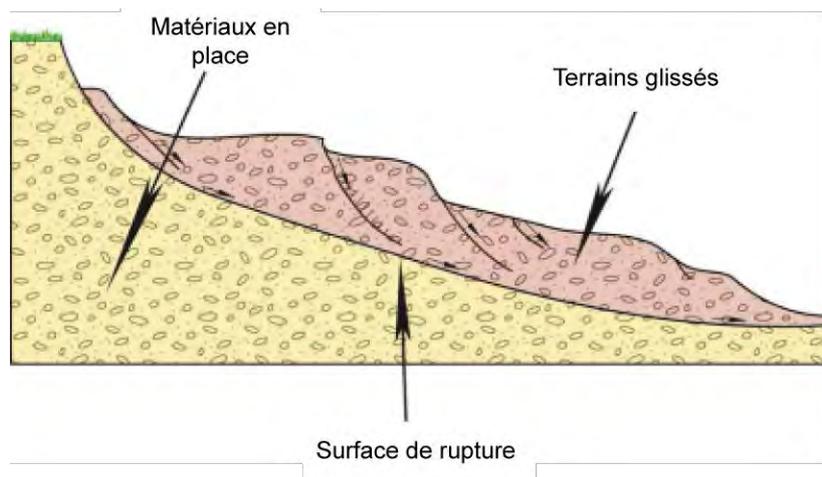


Figure 13 : Schéma d'un glissement de terrain avec une surface de rupture courbe

Le **glissement lent de fond de cirque de Marla** est l'exemple le plus explicite de cette typologie de mouvement de terrain. Ce glissement de grande ampleur a d'ailleurs fait l'objet d'un rapport du bureau d'études Mascareignes Géologie dans le cadre du projet de recherche MVTERRE 2, « Détection, suivi et modélisation des mouvements de terrain de grande ampleur dans les cirques de La Réunion ; projet cofinancé par le PO FEDER 2007-2012, le FIDOM, la Région et le BRGM.

Ce rapport, « Etude Géologique du glissement de terrain de Marla dans le cirque de Mafate » (version communiquée : rapport provisoire de mai 2012), fait état d'une analyse géomorphologique et d'un contrôle géodésique du secteur de Marla afin de mettre en évidence les processus à l'origine du mouvement de terrain. Les éléments qui suivent sont extraits de la synthèse de ce rapport.

D'un point de vue géologique, le plateau de Marla est formé par des océanites, à la différence des autres plateaux du cirque de Mafate tous constitués d'une couverture bréchique dépassant la centaine de mètres d'épaisseur. Les glissements emboîtés circulaires situés en rive gauche de la Rivière des Galets et marquant la partie frontale du plateau de Marla sont toujours actifs et connaissent des tassements compris entre 1 à 2 cm par an. Pour la partie amont du plateau découpé par des structures Est-Ouest, les déplacements planimétriques et les tassements sont quant à eux inférieurs à 1 cm par an. L'affaissement du plateau de Marla résulterait de glissements successifs de très grande ampleur produits au cours des derniers 4000 ans. Un mouvement datant de 1500 ans est également mis en évidence. Un glissement plan au sein des océanites serait à l'origine de l'affaissement du plateau de Marla. La présence d'eau aurait joué un rôle déclencheur dans ce glissement. D'ailleurs, il n'est pas exclu que ce glissement se réactive à la suite d'un épisode pluvieux exceptionnel (par saturation du plateau) ou suite à une baisse significative du niveau du lit de la rivière des Galets (par suppression du rôle de butée de pied de glissement).



Figure 14 : Glissement lent de fond de cirque affectant le plateau de Marla (Source : Rapport BRGM/RP-59508-FR, 2006)

### **3.1.3. Phénomènes d'érosion et de ravinement (E)**

Les érosions de berge se manifestent par un « arrachement » ou un éboulement de la berge d'un cours d'eau soumis aux facteurs suivant :

- la force érosive de l'écoulement des eaux sapant le pied des rives et conduisant au glissement ou à l'éboulement de la berge par suppression de la butée qui en assurait l'équilibre ;
- l'incision du cours d'eau au fil du temps conduisant également à l'éboulement de la berge (par décompression gravitaire par exemple).

La sensibilité d'une berge d'un cours d'eau à ce type de phénomène est notamment fonction de l'érodabilité des matériaux qui la constituent et du pouvoir érosif de l'axe d'écoulement en question (débits de crues, vitesses d'écoulement).

Le ravinement, lié à l'écoulement en surface des eaux météoriques, peut être très localisé ou au contraire diffus sur toute une pente. L'érosion des sols dépend de plusieurs paramètres qui sont en premier lieu :

- la topographie ;
- l'intensité des précipitations ;
- la géologie (érodabilité des terrains de couverture) ;
- l'occupation du sol (notamment présence et densité du couvert végétal) ;
- la sensibilité à la battance. Elle est provoquée par les eaux de pluie qui, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en emportant des particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux excédentaires apparaît lorsque l'intensité des pluies est supérieure au pouvoir d'absorption du sol.

Les zones touchées sont souvent des terrains en partie dénudés et vallonnés, voire accidentés, qui favorisent de ce fait le développement et la concentration de ruissellements.

## **3.2. SOURCES D'INFORMATION EXPLOITEES**

### **3.2.1. Données numériques générales**

Les données exploitées pour le travail d'expertise et pour le rendu cartographique sous MapInfo sont les suivantes :

- BD topo IGN 2008 (courbes de niveaux, bâti) ;
- BD Ortho IGN 1997 ;
- BD Ortho IGN 2003 (photographies aériennes ortho-rectifiées) ;
- BD Ortho IGN 2008 (photographies aériennes ortho-rectifiées) ;

- découpage parcellaire commune de Saint-Paul et de La Possession ;
- constructions existantes sur la zone d'étude (données du Parc National) ;
- cartographie des aléas « mouvements de terrain » du cirque de Mafate au 1/5 000 (février 2006).

Depuis le travail de hiérarchisation des risques dans le cirque de Mafate réalisé en janvier 2011 sur les îlets de la tranche ferme (Cf. RP-59472-FR), des nouvelles données numériques ont été mises à disposition du BRGM Réunion par la DEAL et ont donc été exploitées pour la hiérarchisation des risques sur les îlets de la tranche conditionnelle :

- **MNTR®** ©IGN 2012 : Ce Modèle Numérique de Terrain Réunionnais est issu du produit Litto3D® (produit développé par l'IGN et SHOM). L'outil Litto3D® est une base de données altimétrique unique et continue terre-mer donnant une représentation tridimensionnelle de la forme de la position du sol sur la frange littorale du territoire réunionnais. La base de données de Litto3D® ne s'étend qu'à 2km à l'intérieur des terres. Aussi, l'IGN a étendu cette base de données à l'ensemble de l'île en produisant un Modèle Numérique de Terrain Réunionnais (MNTR®). La précision altimétrique de cet outil est de l'ordre de 20 cm et la précision planimétrique est de l'ordre de 50 cm.
- **BD Ortho IGN 2012** (photographies aériennes ortho-rectifiées).

### 3.2.2. Reconnaissance de terrain

L'ensemble de la zone d'étude a fait l'objet de reconnaissances de terrain, visant notamment à mettre en évidence d'éventuels indices d'instabilité (phénomènes actifs ou traces d'événements anciens) et à apprécier les paramètres (facteurs de prédisposition) conditionnant le déclenchement des mouvements de terrain.

Ces reconnaissances de terrain se sont faites à partir des chemins de randonnée GR R1 et R2 et des autres chemins accessibles sur les différents secteurs et dans les îlets.

### 3.2.3. Recensement des phénomènes historiques

La base nationale des mouvements de terrain (BDMVT), gérée par le BRGM, recense une grande partie des mouvements de terrains historiques connus et des indices d'instabilités avérés. Cette base de données a été complétée en 2002 avec le recensement des mouvements de terrains liés au passage du cyclone Dina à proximité de La Réunion. Cette base de données est actuellement en cours de mise à jour. Les phénomènes recensés dans la BDMVT sur le secteur de Mafate sont localisés sur la figure suivante.

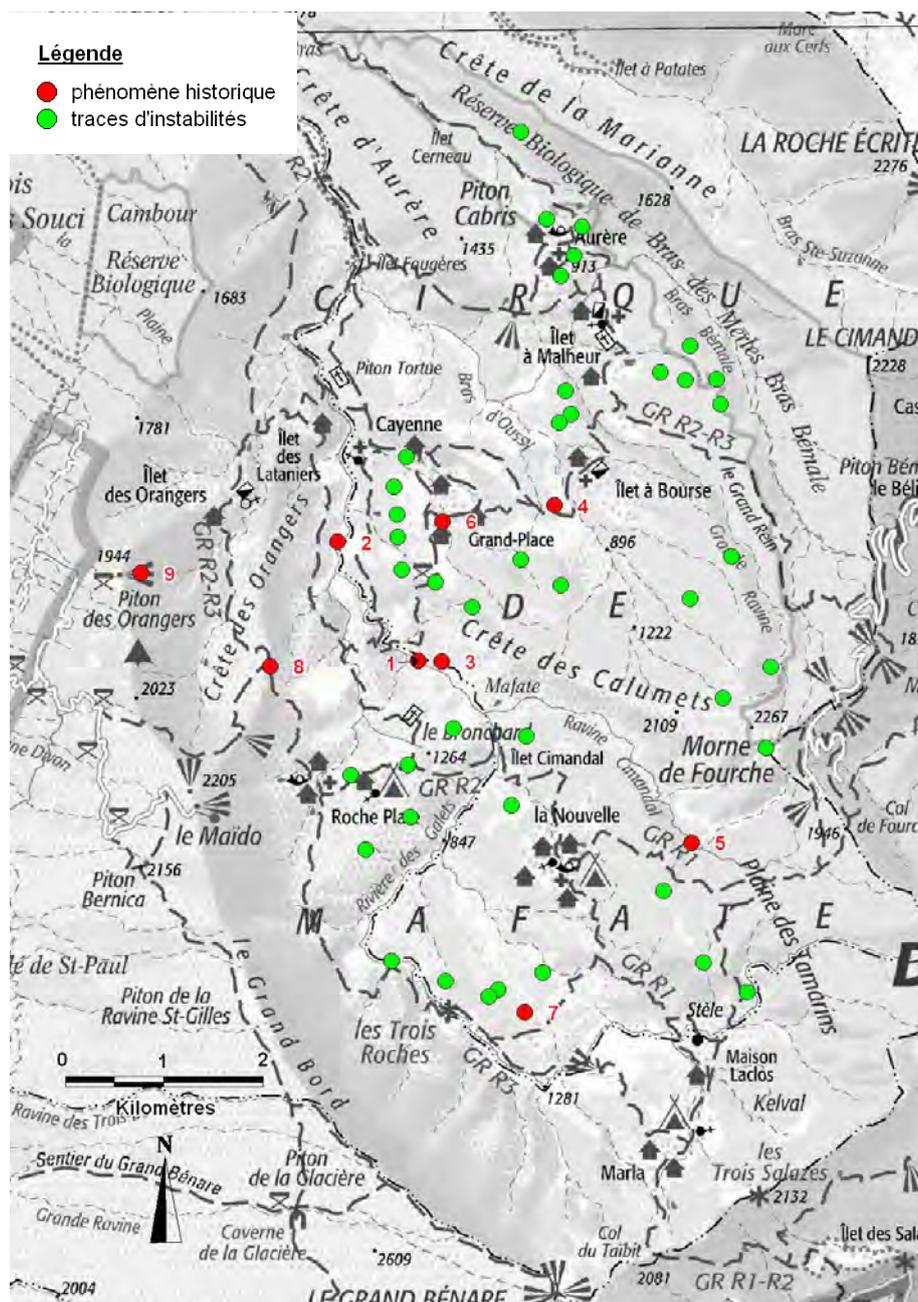


Figure 15 : Localisation des phénomènes recensés dans la base de données mouvements de terrain du projet MVTERRE - BRGM (Source : BRGM BDMVT – Projet MVTERRE, ©IGN SCAN 100®)

N° Phénomène Historique	Situation Géographique	Nature du phénomène	Date de l'événement	Ampleur du mouvement	Remarques
1	15 ème km du sentier	Glissement de terrain	15/01/1878	métrique	-
2	13 ème km du sentier	Glissement de terrain	01/04/1905	métrique	-
3	Cap Noir	Chute de blocs/éboulement	01/03/1879	métrique	Ecroulement sur route du Cap Noir
4	Ilet à Picard	Chute de blocs/éboulement	38/03/1879	métrique	-

5	Source de Cimendal	Chute de blocs/éboulement	01/02/1872	métrique	En cédant, la route a emportée et creusée le petit radier
6	Grand Place	Chute de blocs/éboulement	01/02/193	métrique	-
7	Plaine des Sables	Glissement de terrain	01/02/1872	décamétrique	Les rampes de la Plaine des Sables ont été en partie détruites
8	La Brèche	Chute de blocs/éboulement	01/02/2000	-	-
9	Ravine Roche Plate	Chute de blocs/éboulement	01/02/1872	métrique	Le radier permettant le passag de la ravine Roche Plate avant le Bloc n'existe plus

Tableau 1 : Caractéristiques des phénomènes historiques recensés dans le Cirque de Mafate (source : BDMVT – Projet MVTERRE)

### 3.2.4. Suivi des bornes géodésiques

Le suivi des bornes géodésiques dans le cirque de Mafate, implantées et levées dans le cadre du projet MVTerre (phases 1 et 2) du BRGM (projet de recherche sur les mouvements de terrain de grande ampleur à La Réunion) et dans le cadre d'un suivi spécifique pour le Parc National, permet de mettre en évidence d'éventuels mouvements au niveau des îlets. Les données présentées ci-dessous sont issues des tournées de mesures réalisées depuis 2007 en partenariat avec le Parc National de la Réunion.

Le réseau géodésique de Mafate comporte actuellement 30 éléments suivis (cf. Figure 16), dont 3 bornes récemment implantées (en 2011) dans les secteurs étudiés (financées par le PNR) : Aurère, Îlet à Malheur, Îlet à Bourse. Ces bornes ont été relevées pour la première fois en juin 2011, ne permettant pas d'interpréter les mesures en terme de déplacement étant donné la période de suivi limitée pour ces secteurs (affichage d'un « 0 » sur les Figure 17 et 18 suivantes qui ne signifie pas qu'il n'y a aucun mouvement mais traduit le manque de données sur la période considérée).

Ce type de dispositif géodésique permet d'effectuer des mesures avec une précision de l'ordre de 2 cm. La pertinence des données de déplacement présentées ci-dessous est fonction de l'étendue de la période de mesures. D'une manière générale, les cumuls de déplacements mesurés sur les 30 éléments implantés et suivis dans le cirque de Mafate, ne montrent pas de déplacements significatifs sur la période de mesure (depuis 2007), qui restent trop proches en valeur (maximum 5 cm en cumul depuis 2007, pour la borne MA08 à Marla notamment) des limites de précisions du matériel de mesure pour confirmer qu'il s'agit d'un véritable mouvement.

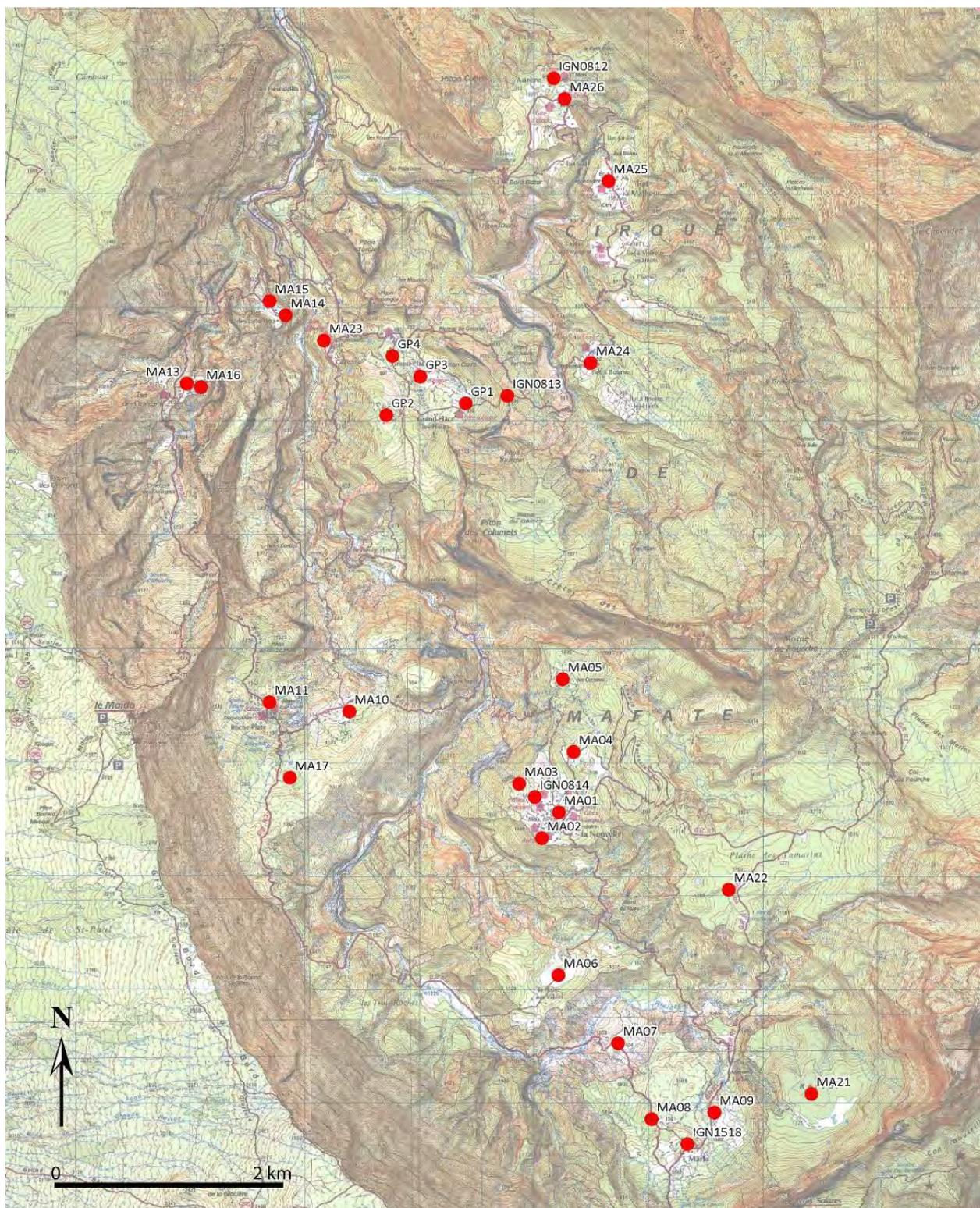


Figure 16 : Réseau géodésique de Mafate

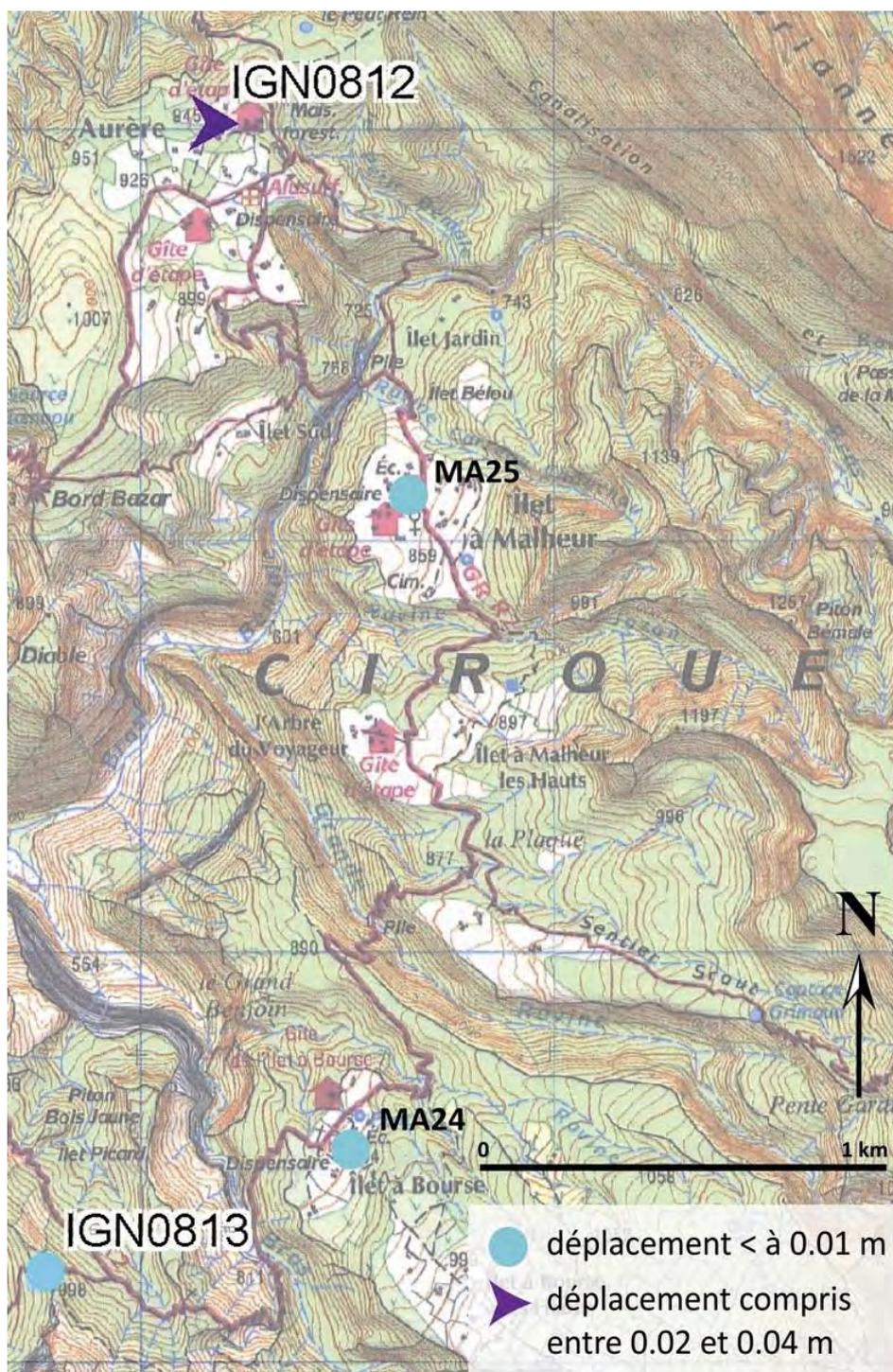


Figure 17 : Déplacement planimétrique des bornes du secteur nord de Mafate (en m) sur la période de février 2010 à juin 2012 (excepté pour les bornes MA24 et MA25 installées depuis juin 2011) et orientation du vecteur déplacement

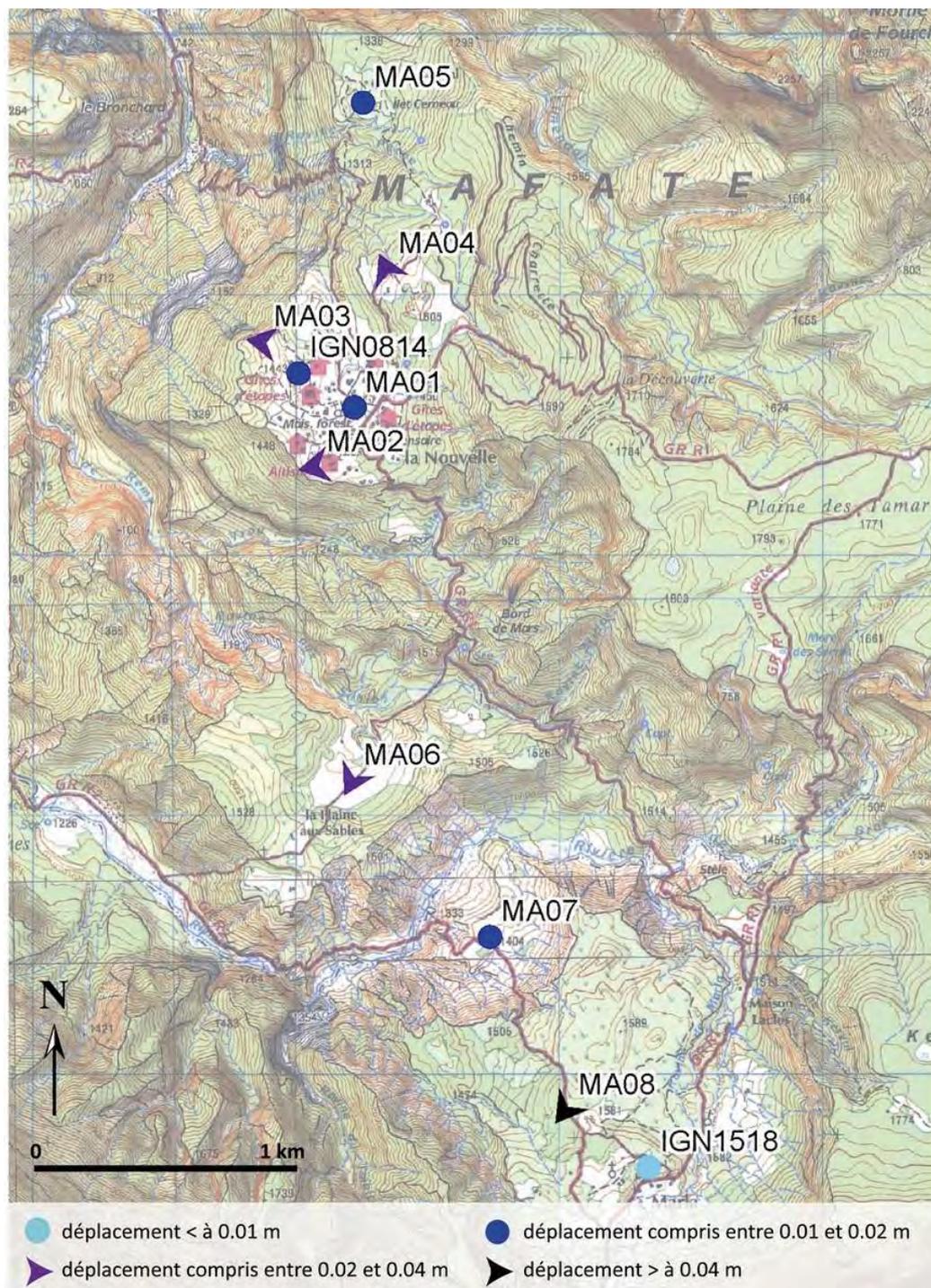


Figure 18 : Déplacement planimétrique des bornes du secteur sud de Mafate (en m) sur la période de février 2010 à juin 2012 et orientation du vecteur déplacement

Pour le secteur d'Aurère, les données montrent un déplacement planimétrique cumulé de l'ordre de 2 à 4 cm depuis 2010, cette tendance sera à confirmer ou infirmer lors des prochains suivis et à partir des données mesurées sur la seconde borne récemment implantée dans l'îlet. Cette valeur reste proche de la précision du matériel (2 cm) pour être considérée comme un véritable déplacement.

Les données mesurées pour les secteurs d'Îlet à Malheur et Îlet à Bourse ne sont pas suffisantes (suivi effectif depuis 2011 seulement) pour établir une tendance vis-à-vis d'un éventuel déplacement.

Sur Grand-Place, les déplacements planimétriques cumulés enregistrés depuis 2010 sont assez faibles (<1 cm) et l'orientation des vecteurs déplacements est peu représentative car en limite de précision du dispositif de mesure utilisé.

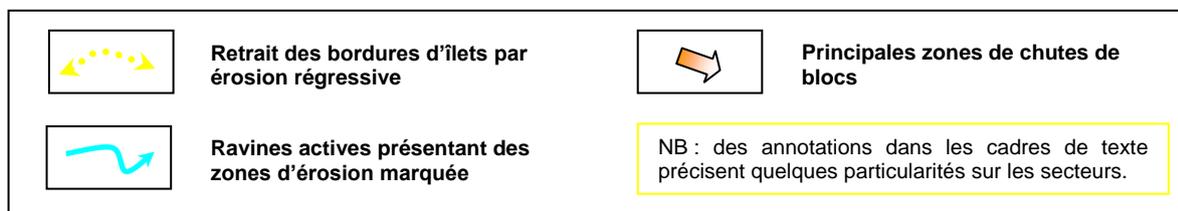
Pour La Nouvelle, la majorité des déplacements sont très faibles, compris entre 2 à 4 cm ou inférieurs à 2 cm (valeurs proches de la précision du matériel).

Sur la Plaine aux Sables, les déplacements sont compris entre 2 et 4 cm et sont également en limite de précision du dispositif de mesure utilisé.

A Marla, on relève des déplacements planimétriques supérieurs (mais proches) de 4 cm avec une orientation sud-ouest au niveau de la borne située la plus au nord.

### 3.3. ANALYSE DES PHENOMENES RECENSES

Pour l'ensemble des illustrations (orthophotos et clichés héliportés) figurant dans les paragraphes ci-après, les principales problématiques de mouvements de terrain sont présentées de la manière suivante :



#### 3.3.1. Ensemble septentrional

##### • Secteur Aurère et secteur Îlet à Malheur

Le versant situé dans la partie nord-ouest du secteur d'Aurère est très sujet à l'érosion. Des niches d'arrachements, des écroulements rocheux ponctuels et des éboulis vifs actifs sont observables. La bute qui culmine à 1007m d'altitude dominant le secteur sud d'Aurère à l'ouest est également marquée par ces types d'instabilités. Des traces d'instabilités sont également recensées dans la partie est du secteur, au droit des trois axes d'écoulement (le Petit Bémale et les axes d'écoulement plus au sud).

Les secteurs d'Îlet à Malheur et d'Îlet à Malheur les Hauts ne connaissent pas d'évènements historiques ou de traces d'instabilités renseignés dans la base de données mouvements de terrain BDMVT. Cependant, les sédiments meubles, les brèches d'écroulement non consolidées et les colluvions de pente qui constituent les terrains de ce secteur restent sensibles aux phénomènes érosifs. Aussi, les éboulis de pente situés en pied du versant est (en amont du village d'Îlet à Malheur) témoignent de l'activité de celui-ci. Les ravines de Carreau à Chouchou et de Jozon sont soumises à des phénomènes d'érosion et de ravinement important et peuvent générer des phénomènes de laves torrentielles lors de fortes pluies, étant donné la nature et la quantité de matériaux mobilisables dans leur lit respectif.

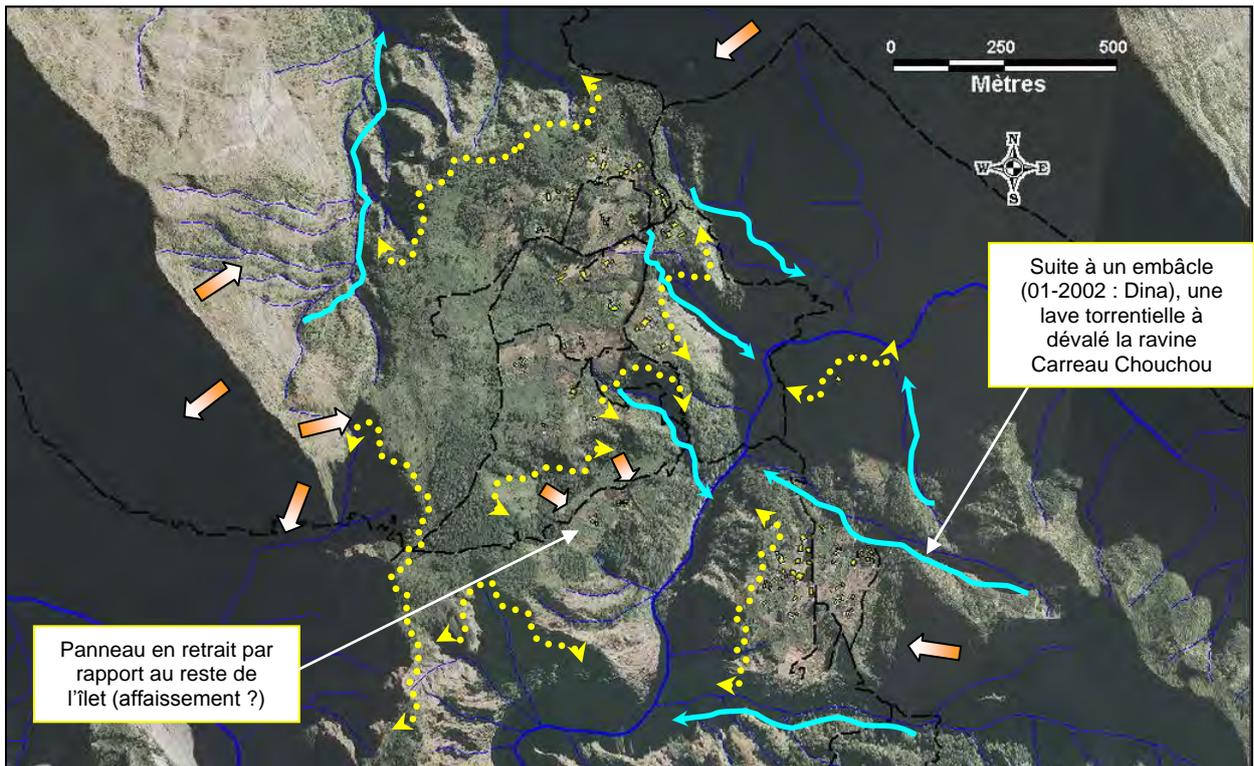


Figure 19 : Problématiques mouvements de terrain sur les secteurs d'Aurère et d'Îlet à Malheur (Source : Rapport RP-54508-FR, 2006 - fond topographique : orthophoto et BD Topo® ©IGN 2003)

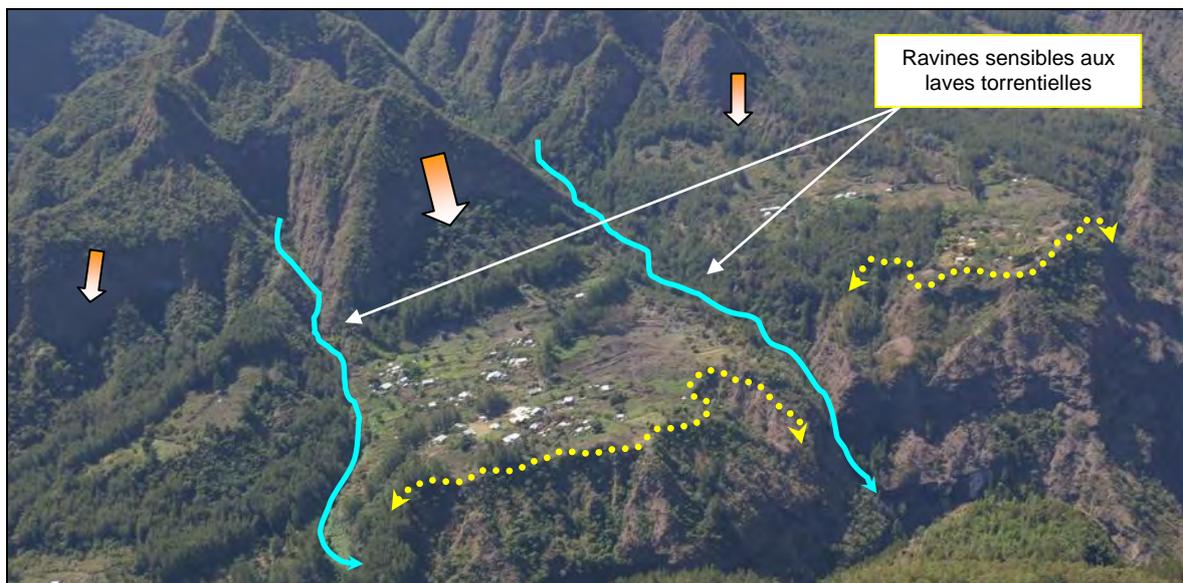


Figure 20 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur d'Îlet à Malheur (Source : Rapport RP-54508-FR, 2006 - cliché hélicoporté 2005)

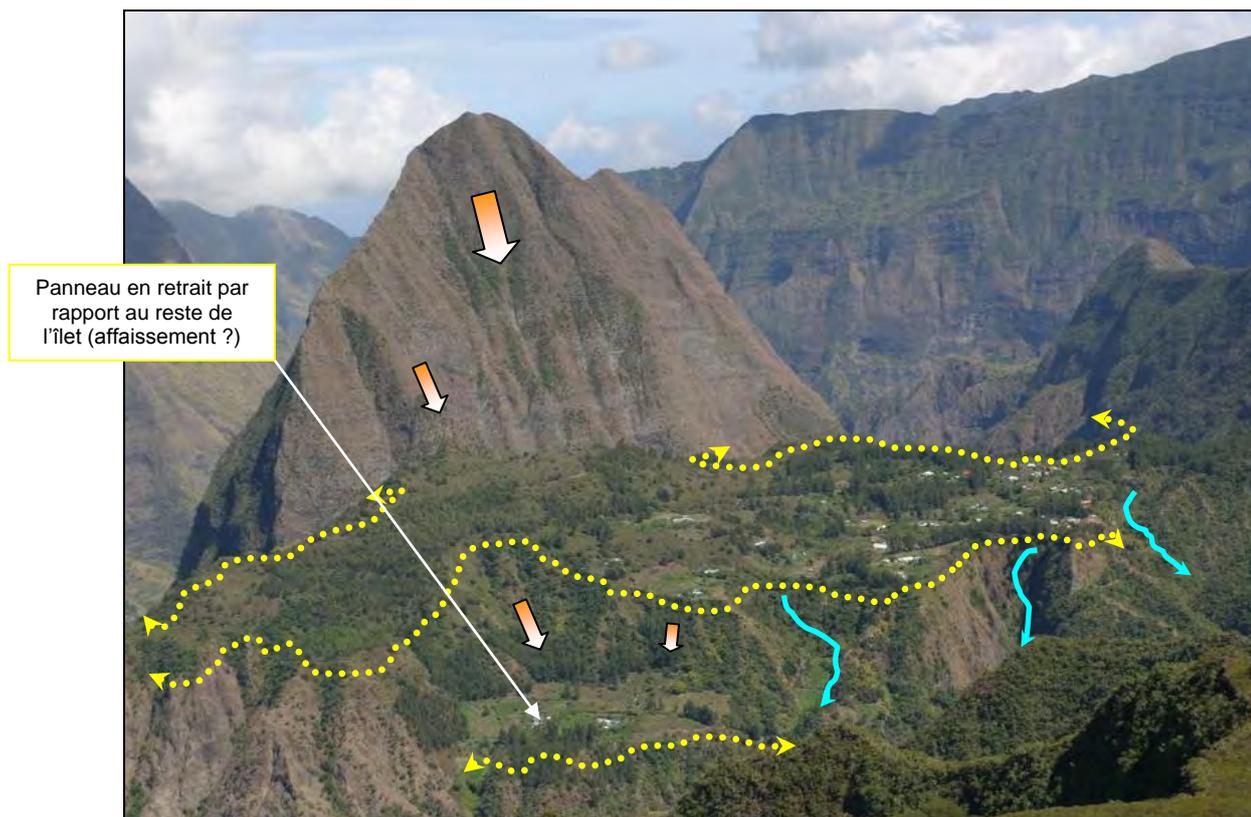


Figure 21 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur d'Aurère (Source : Rapport RP-54508-FR, 2006 - cliché hélicoptère 2005 )

### • Secteur d'Îlet à Bourse

Les ravines limitant les zones planes de ce secteur (le Bras d'Oussy au sud et à l'ouest, la Grande Ravine et la ravine Bruneuil au nord) sont très encaissées. Leurs versants sont particulièrement soumis à l'érosion et les traces d'instabilités récentes sont nombreuses. Ces instabilités sont expliquées par la présence de très nombreux dykes venant recouper les coulées de lave ; dykes par lesquels la circulation des eaux est favorisée et vient induire une altération hydrothermale.

Les terrains des zones planes étant constitués de sédiments meubles, de brèches d'écroulements non consolidées et de colluvions de pente, ceux-ci restent sensibles à l'érosion et potentiellement remobilisables lors de fortes pluies. Une rupture de pente vient différencier les deux plateaux d'Îlet à Bourse et d'Îlet à Bourse les Hauts. Ce versant et la zone située en aval de ce versant sont soumis aux phénomènes de chutes de blocs et des éboulements d'intensité potentiellement importante.

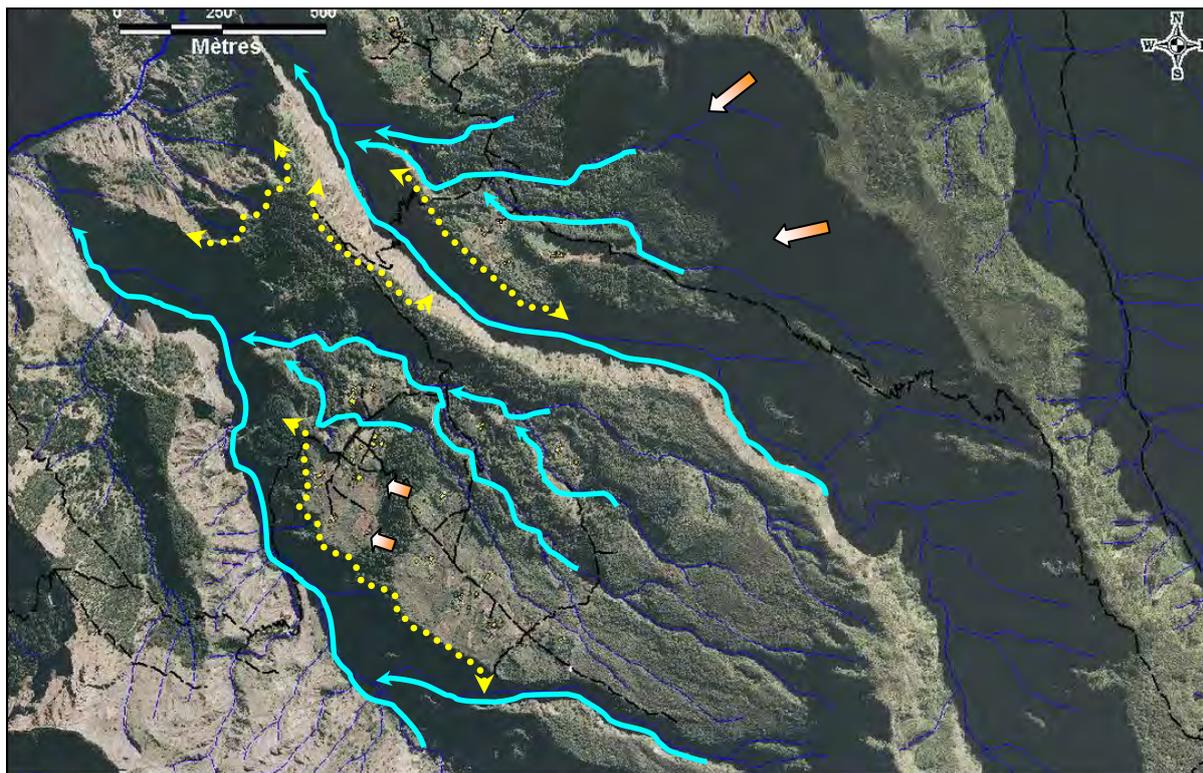


Figure 22 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Îlet à Bourse – Îlet à Bourse les Hauts- La Plaque (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO© 2003 ©IGN)

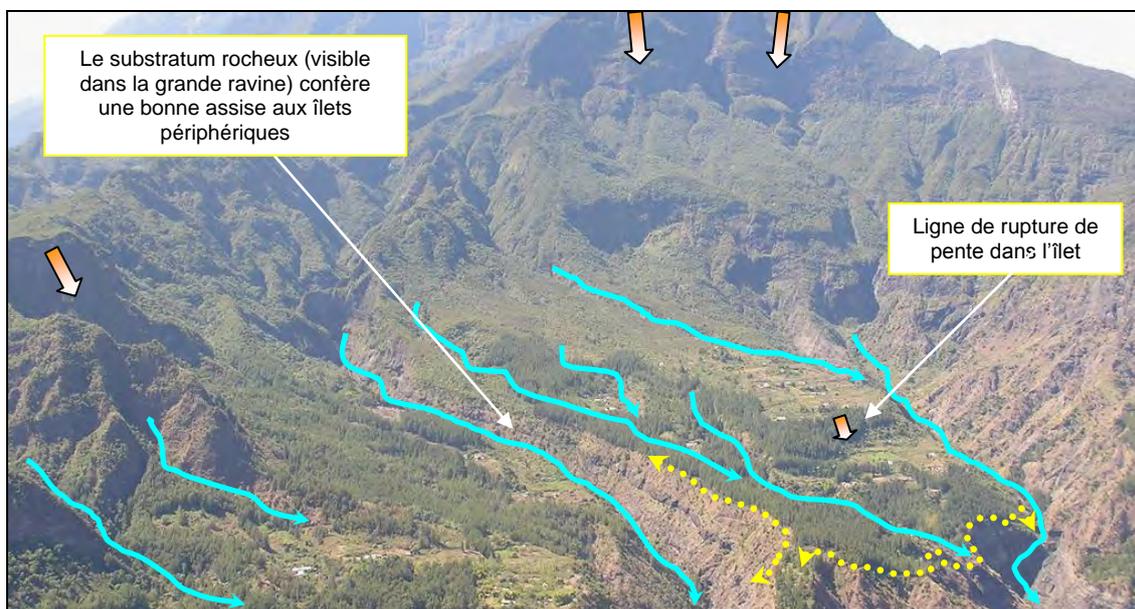


Figure 23 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Îlet à Bourse – Îlet à Bourse les Hauts- La Plaque (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005)

- **Secteur Grand Place**

Le rempart situé en rive droite de la rivière des Galets, délimitant le secteur de Grand Place à l'ouest et au sud, est sujet à de nombreuses instabilités. Le Piton Calumets, le Piton Carré, le Piton Canal et le Piton Papangue viennent du sud au nord dominés ce secteur et le rendent sensible à des phénomènes de chutes de blocs et éboulements.

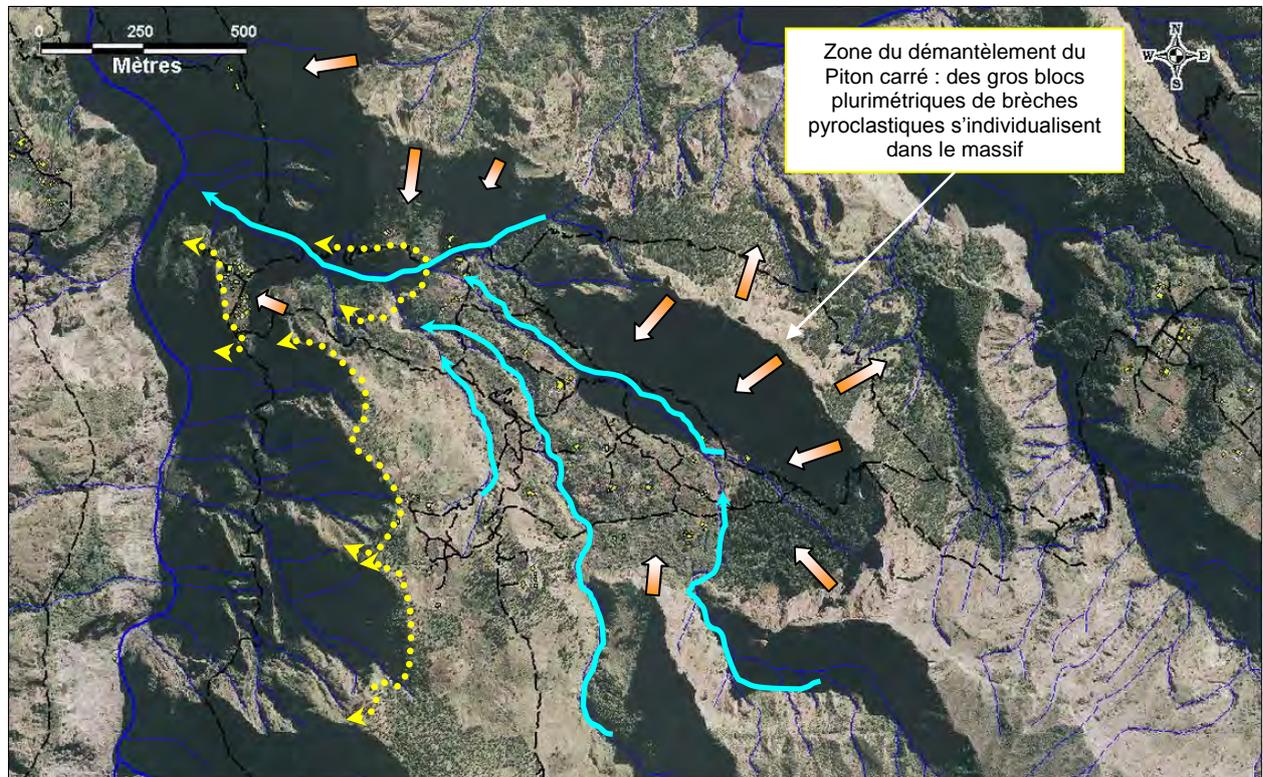


Figure 24 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Grand Place- Grand Place les Hauts – Cayenne (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO© 2003 ©IGN)

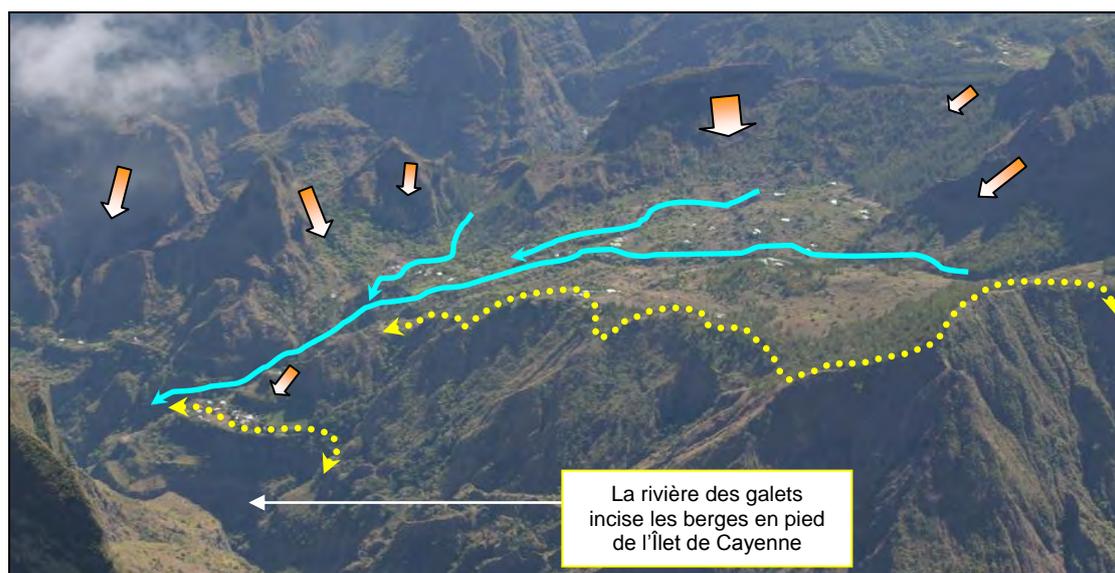


Figure 25 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Grand Place- Grand Place les Hauts – Cayenne (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005)

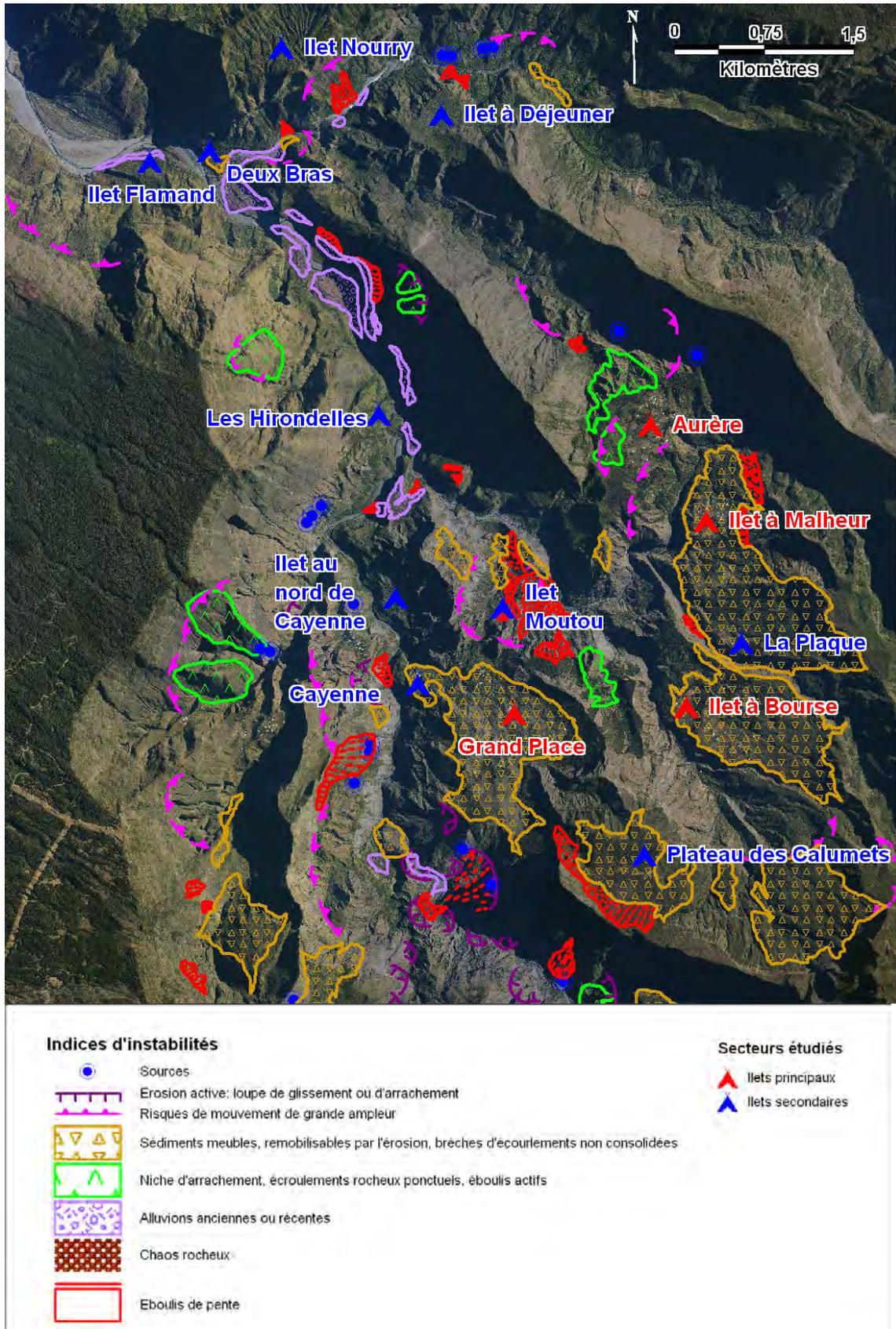


Figure 26 : Cartographie au 1/25 000 des principales formes d'érosion et des mouvements de grande ampleur constatés suite au cyclone Hyacinthe en 1980 à proximité de l'ensemble septentrional de la zone d'étude (source : M. Humbert, 1981 – Rapport BRGM ; orthophoto 2008).

### 3.3.2. Secteur sud

#### • Secteur de La Nouvelle

Des instabilités dans les versants ouest et sud de La Nouvelle, guidées par le réseau de fractures parallèles au cours de la rivière des Galets, témoignent de la morpho-dynamique active, généré par l'enfoncement de la rivière des Galets.

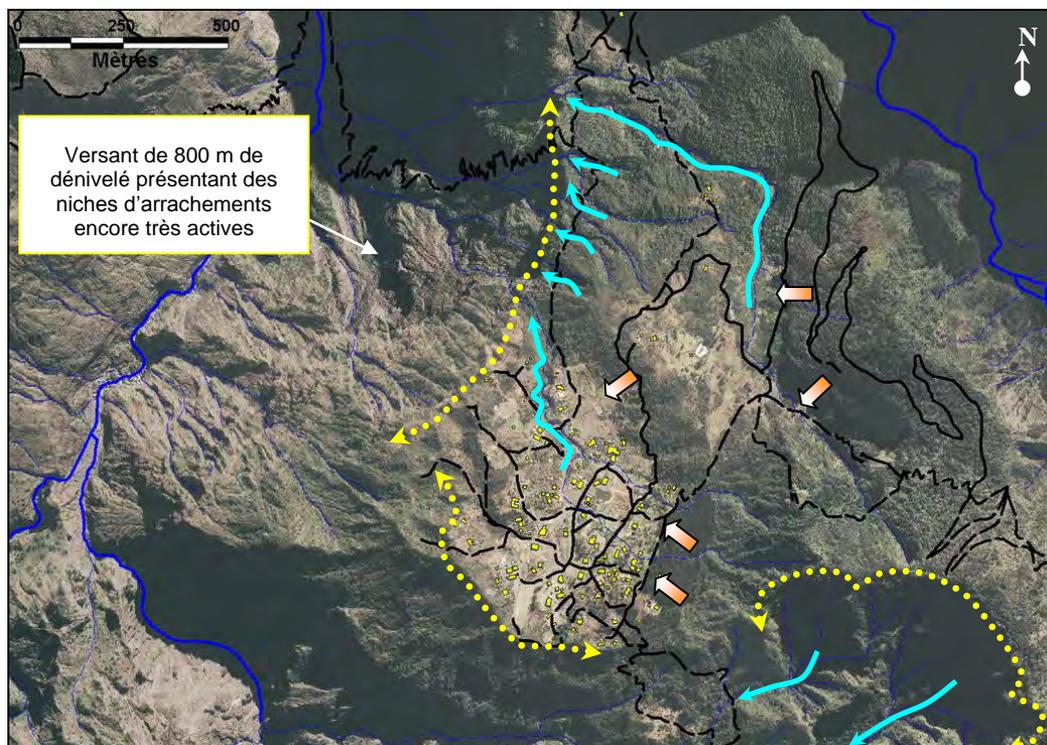


Figure 27 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur de La Nouvelle (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO® 2003 ©IGN)

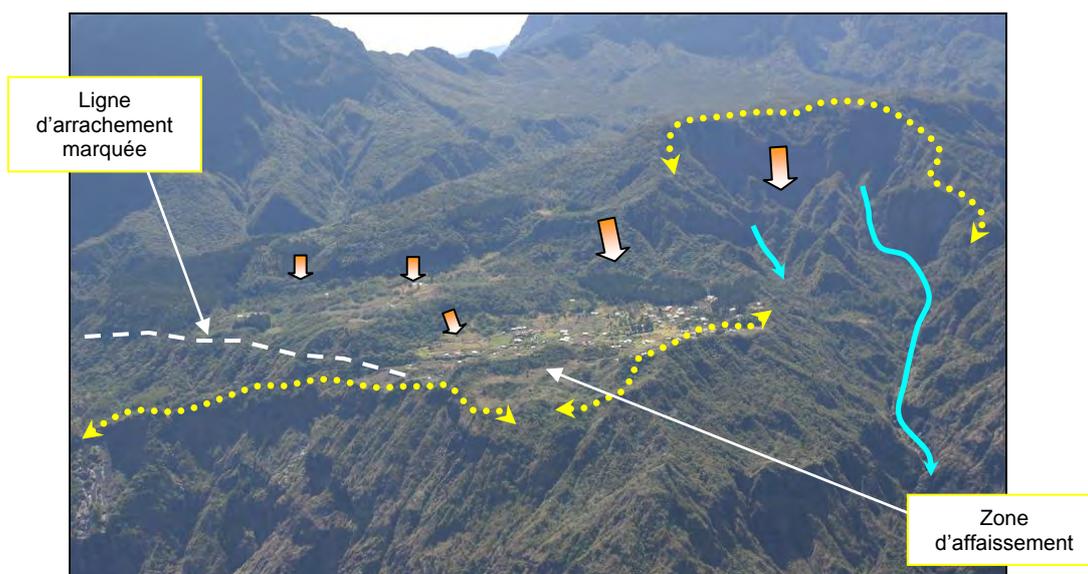


Figure 28 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur La Nouvelle (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché hélicoptéré 2005)

### • Secteur de la Plaine aux Sables et Trois Roches

Les dépôts lacustres de la Plaine aux Sables rendent ce secteur très sensible à l'érosion, notamment à l'extrémité nord-est du secteur où l'encaissement de la ravine des Sables favorise les phénomènes de ravinement. Le rempart en rive droite de la rivière des Galets bordant le sud du secteur est profondément incisé par des ravinelements concentrés et est potentiellement fragilisé en son pied par des phénomènes de sapement liées aux crues de la rivière, qui peuvent générer des instabilités de versant et des risques d'embâcles le cas échéant. Le rempart coté sud-est du secteur montre d'importantes griffes d'érosion et l'absence de végétation témoignant de l'activité des phénomènes érosifs.

Le secteur de Trois Roches, en rive gauche immédiate de la rivière des Galets est soumis aux instabilités du lit de cette rivière. Les écoulements des eaux de la rivière des Galets viennent éroder et déstabiliser les terrains par sapement au pied. Ce secteur correspond d'ailleurs à une ancienne anse d'érosion. Le risque de mouvement de grande ampleur des terrains surplombant cette anse est réel.

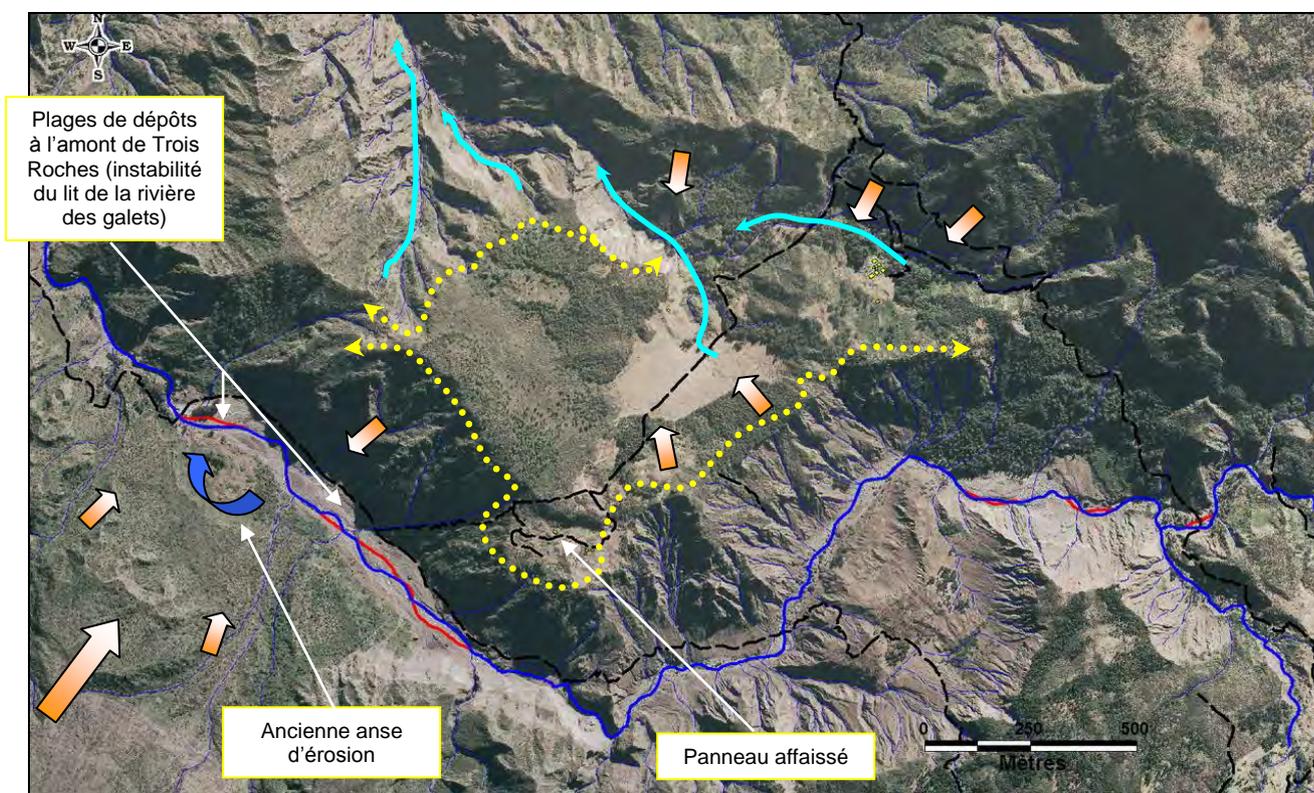


Figure 29 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Plaine aux Sables et Trois Roches (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO© 2003 ©IGN)



Figure 30 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur Plaine aux Sables et Trois Roches  
(Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché héliporté 2005)

#### • Secteur de Marla

Les glissements circulaires emboîtés de la partie frontale du plateau de Marla sont toujours actifs et rendent ce secteur sensible au risque de mouvement de grande ampleur. La partie amont du plateau est soumise à un mouvement lent de fond de cirque mais le risque d'évolution rapide aux bordures de la zone en glissement n'est pas exclu (Cf. 3.1.2). Le rempart sud est profondément incisé par des ravinelements concentrés. Le secteur est et sud-est est très impacté par des phénomènes d'érosion et de ravinement (incisions marquées dans le rempart et en aval du rempart au niveau de la ravine de Marla).

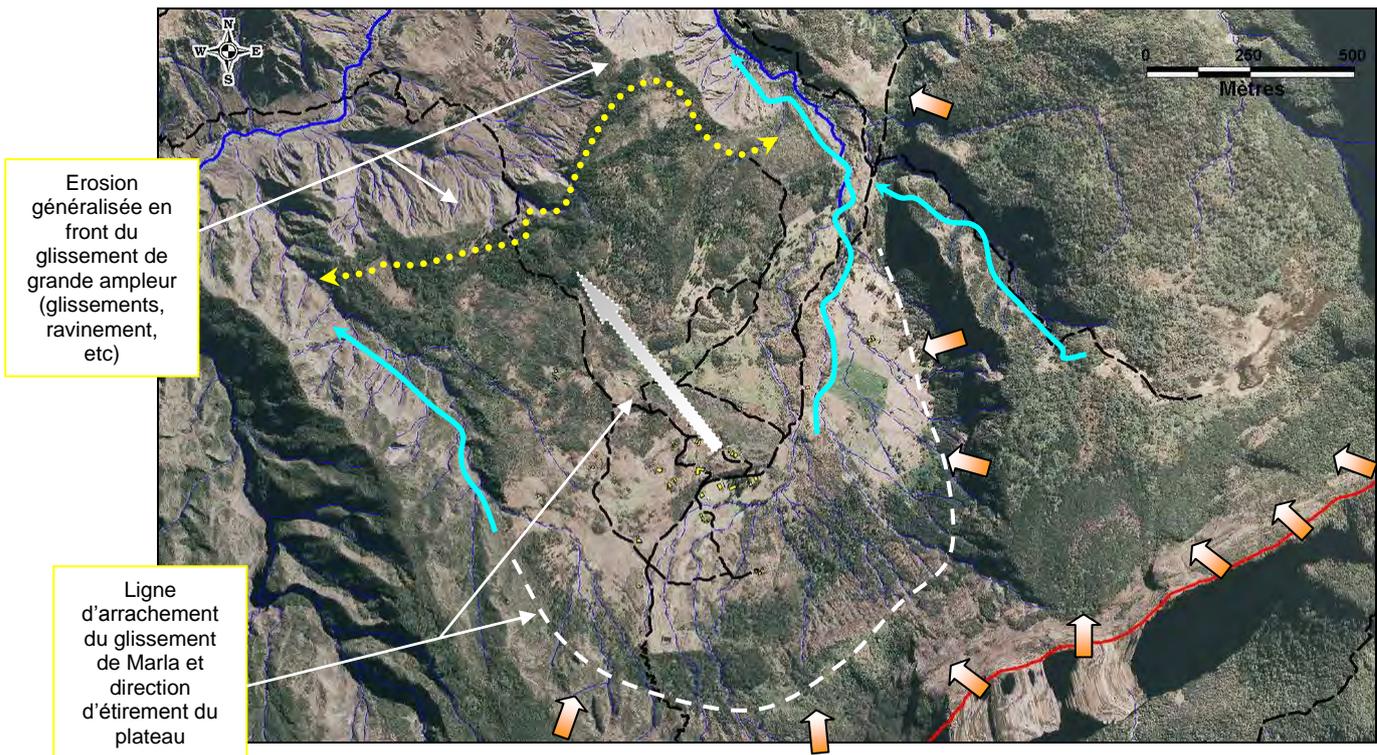


Figure 31 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur de Marla (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – fond topographique : orthophoto et BD TOPO® 2003 ©IGN)

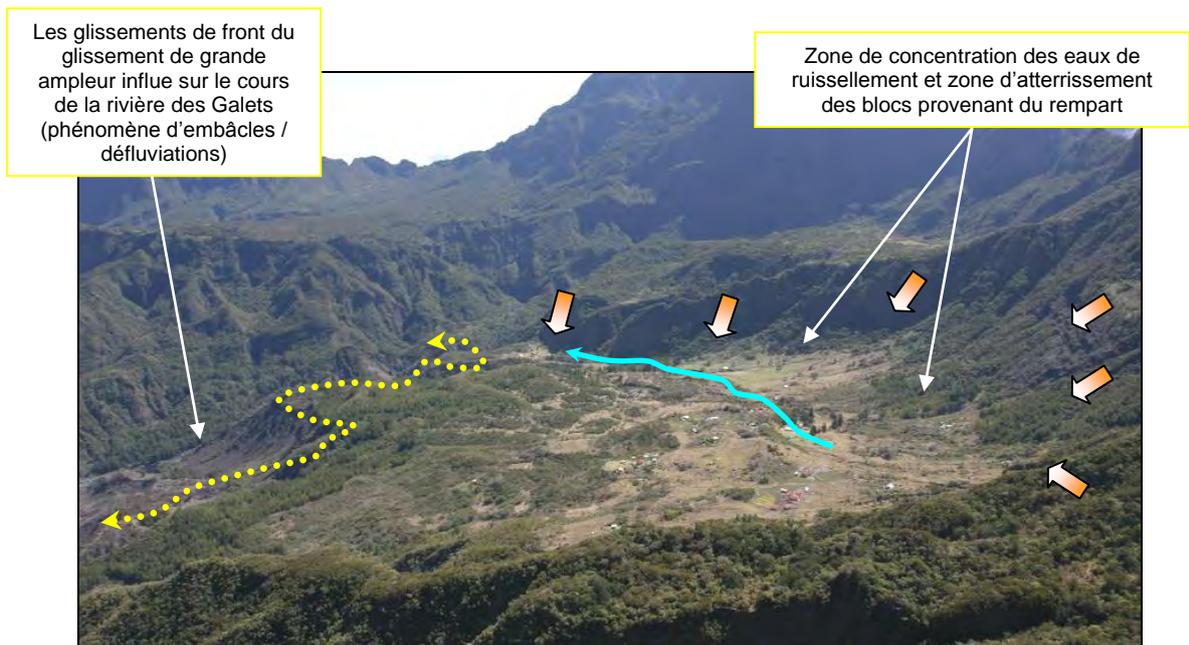


Figure 32 : Problématiques mouvements de terrain sur le secteur de Marla (Source : Rapport BRGM/RP-54508-FR, 2006 – cliché hélicoptéré 2005)

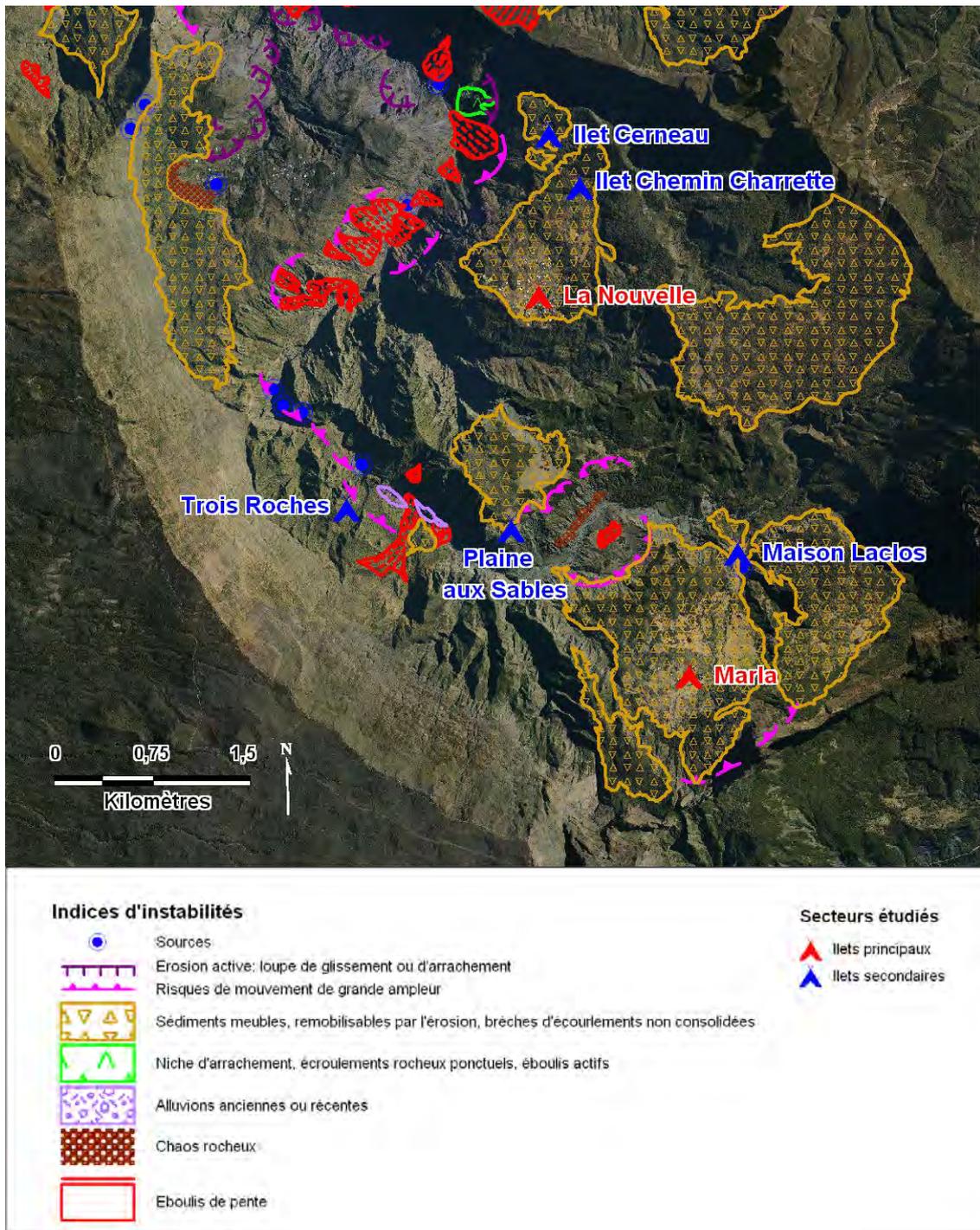


Figure 33 : Cartographie au 1/25 000 des principales formes d'érosion et des mouvements de grande ampleur constatés après le passage du cyclone Hyacinthe en 1980 à proximité de l'ensemble septentrional de la zone d'étude (source : M. Humbert, 1981 – Rapport BRGM ; orthophoto 2008).

## 4. Expertise de l'aléa et cartographies associés

### 4.1. CARTOGRAPHIE DES ALEAS MOUVEMENTS DE TERRAIN

#### 4.1.1. Caractérisation des niveaux d'aléas utilisés

En conformité avec la méthodologie utilisée pour l'élaboration des PPR mouvements de terrain à la Réunion, l'évaluation de l'exposition aux mouvements de terrain de la zone d'étude a été réalisée à partir d'une grille de quatre niveaux d'aléas.

La notion d'aléa, complexe et pour laquelle plusieurs définitions peuvent être données, peut être définie de la façon suivante :

*« L'aléa traduit, en un point donné, la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définies pour une période de retour donnée ».*

L'évaluation des niveaux d'aléas est ainsi basée à la fois sur les données physiques et événementielles de la zone d'étude et sur les observations de terrain (exposées aux paragraphes précédents) ; l'expérience du chargé d'études permettant in fine de distinguer une série de contextes, auxquels sont attachés des critères physiques, afin de définir le zonage de l'aléa.

Afin d'être en conformité avec les exigences du Parc National, le zonage de l'aléa mouvements de terrain a été effectué de façon à pouvoir montrer de manière visible le croisement des deux paramètres d'intensité et d'imminence. Le principe directeur est, pour les aléas faibles ou moyens, de considérer qu'un phénomène de fréquence faible génère un aléa plus faible qu'un même phénomène de fréquence plus forte. Le problème n'est plus tout à fait le même pour une intensité majeure (voire forte) associée à une probabilité d'occurrence faible ou très faible : dans le cas d'une logique de protection des biens, le même raisonnement probabiliste reste valable (fréquence plus faible, aléa plus faible) ; mais dans l'optique de protection des personnes, le risque de mort d'homme est intolérable ne serait-ce qu'une fois dans le siècle et conduit à afficher un aléa élevé.

Chaque type de phénomène se voit attribuer un couple d'indice chiffré qui reflète son intensité (de faible : 1 à majeure : 4) et son imminence ou fréquence (de 0-5 ans : 1 à plus de 50 ans : 4). Chaque couple va permettre de définir un niveau d'aléa tel que présenté dans le tableau suivant :

ALEA		Imminence ou fréquence			
		0-5 ans (1)	5-20 ans (2)	20-50 ans (3)	> 50 ans (4)
Intensité	Faible (1)	Moyen	Faible	Faible	Faible
	Moyenne (2)	Elevé	Moyen	Moyen	Faible
	Forte (3)	Très élevé	Elevé	Elevé	Moyen
	Majeure (4)	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Elevé

Tableau 2 : Définition de l'aléa en fonction de l'intensité et de la fréquence du phénomène

L'intensité d'un phénomène peut être appréciée de manière variable en fonction de sa nature même, de ses conséquences ou des parades à mettre en œuvre pour s'en préserver (il n'existe pas de valeur universelle, à l'exception pour les séismes de l'intensité MSK). Alors que pour les inondations par exemple des paramètres simples et quantifiables (comme la hauteur de submersion) peuvent être déterminés, pour les mouvements de terrain, les paramètres (très variables) ne peuvent souvent être appréciés, à ce niveau d'expertise, que qualitativement : volume et distance d'arrêt pour les chutes de pierres et de blocs, épaisseur et cinétique du mouvement pour les glissements de terrain, etc. En conséquence, la caractérisation de l'intensité d'un aléa nécessite d'apprécier au mieux les diverses composantes de son impact :

1. conséquences sur le bâti (« agressivité ») : faible si celui-ci est peu touché, moyenne si les dégâts sont importants mais si une réparation est possible, forte si les dégâts rendent la construction inutilisable, et majeure si l'événement dépasse la capacité de « résistance » du bâti en présence, quelque que soit sa nature ;
2. conséquences sur les personnes (« gravité ») : faible si pas d'accident ou accident très peu probable, moyenne si le risque d'impact humain est « isolé », forte si l'événement est susceptible de provoquer plusieurs victimes, et majeure si le phénomène est en mesure d'avoir un impact humain important avec une forte probabilité ;
3. mesures de prévention nécessaires : faible (parade supportable dans le cadre d'un projet de construction « classique »), moyenne (parade supportable par un « collectif »), forte (parade débordant largement le cadre parcellaire, d'un coût très important), et majeure (pas de mesure envisageable du double point de vue technique et économique).

Quatre niveaux d'aléa ont été définis par regroupement des typologies rencontrées :

- **aléa faible** : concerne des zones sur lesquelles les caractéristiques géomécaniques sont plutôt favorables à la stabilité des terrains, et sur lesquelles aucun désordre n'a été recensé. L'intensité prévisible du phénomène à craindre reste limitée. La sécurisation est possible par le biais de parades à maîtrise d'ouvrage individuelle ;
- **aléa moyen** : concerne des zones sur lesquelles des indices d'activité ont été observés ou encore des zones potentiellement exposées à des phénomènes d'intensité moyenne. Les moyens de mise en sécurité sont généralement maîtrisables par une collectivité, voire un groupement de particuliers ;
- **aléa élevé** : cela correspond soit à des zones d'instabilité avérée importante (historicité ou activité actuelle), soit à des zones jugées instables compte-tenu de l'existence de paramètres géomécaniques défavorables et indiquant une stabilité précaire. Ces secteurs correspondent notamment aux terrains situés à proximité de ravines importantes. Les moyens de mise en sécurité sont difficilement réalisables et/ou très coûteux. Les travaux éventuels envisageables sont maîtrisables dans le cadre d'un vaste projet à maîtrise d'œuvre publique ;
- **aléa très élevé** : concerne des zones directement exposées à des phénomènes de grande ampleur et/ou très fréquents. C'est par exemple le cas des ravines importantes ou des terrains situés sous le rempart du Maïdo à Plateau l'Ecole. Au regard de l'ampleur des phénomènes prévisibles, il n'existe pas de parades techniques financièrement envisageables.

#### **4.1.2. Zonage des aléas proposé**

La cartographie des aléas mouvements de terrain sur fond topographique (MNTR© ©IGN 2012) est présentée en annexe.

Pour chaque îlet, le secteur d'étude a été défini en tenant compte de la morphologie des terrains, de l'habitat et du PLU de la Possession. Ainsi, toutes les habitations (d'après les données transmises par le Parc National, bâti de 2010) et les secteurs Ni correspond aux zones habitées de Mafate renseignés dans le PLU de la Possession (2005) ont été intégrés dans ces secteurs d'études. Enfin, les très fortes pentes viennent délimiter les différents secteurs d'étude.

- **Secteur septentrional**

##### ***Îlet Nourry***

L'îlet est situé au cœur du rempart est du cirque de Mafate (haut de 750 m par rapport au lit du Bras Sainte Suzanne) avec un rempart dominant de plus de 300 m de hauteur et un versant en contre-bas de l'îlet de plus de 750 m de hauteur. Ce secteur est donc très exposé aux phénomènes de chutes de blocs isolés et à des éboulements en masse provenant du rempart dominant mais également exposé aux phénomènes de recul en crête de rempart, notamment la bordure sud du secteur. De plus, l'ensemble de l'îlet étant incisé par de nombreux axes d'écoulements, ce secteur est très impacté par les phénomènes d'érosion et de ravinement. L'évolution régressive du rempart justifie le zonage d'un aléa très élevé en recul de la crête de rempart.

##### ***Îlet à Déjeuner***

Les zones en aval de la crête de la Marianne sont sujettes aux phénomènes de chutes de blocs, du fait de la proximité du rempart, de sa hauteur comprise entre 150 et 200 m au droit de l'îlet et de la nature des formations. L'évolution régressive des remparts dominant l'îlet (le rempart en rive gauche du Bras Sainte Suzanne au nord du secteur et le rempart en rive droite du Bras des Merles à l'ouest du secteur) justifie le zonage d'aléa très élevé en crête de rempart (bande de recul pris en compte depuis la crête de rempart). Etant donné la hauteur des remparts avoisinant les 300 m, la largeur de cette bande de recul est d'environ 30 m en aléa élevé et en aléa moyen. La décroissance des aléas en fonction de l'éloignement de la crête de rempart vient classée une zone d'aléa faible en partie centrale de l'îlet. Ce secteur d'étude n'est pas exposé aux phénomènes de ravinement (pas d'axe d'écoulement identifié)

##### ***Deux Bras***

Situé à la jonction de la ravine de Deux Bras et de la rivière des Galets, ce secteur est très exposé aux phénomènes d'érosion (érosion des berges et divagations des axes d'écoulement accompagnées de phénomènes érosifs potentiellement importants). Le sapement au niveau des berges vient également contribuer à déstabiliser les terrains situés en arrière. Les parties nord et sud-est du secteur d'étude sont davantage soumises à des phénomènes de chutes de blocs isolés ou éboulements provenant respectivement du rempart est du Cirque de Mafate et de la crête d'Aurère.

### **Îlet Flamand**

Situé en rive gauche de la rivière des Galets, les terrains constituant la berge de la rivière sont sujets aux phénomènes érosifs associés aux écoulements des eaux et à leur divagation. Les phénomènes de sapement au pied peuvent induire des instabilités (glissements) sur les terrains situés en arrière de la berge. Des phénomènes de propagation de blocs depuis le rempart ouest du cirque de Mafate sont potentiellement importants dans les zones de plus fortes pentes. Les zones de replat ne sont que moyennement impactées par le risque de propagation des blocs.

### **Les Hirondelles**

Ce secteur est très exposé aux phénomènes de chutes de blocs isolés et éboulements en masse provenant du rempart ouest du cirque de Mafate (haut de 1000 m au droit de l'îlet, avec un replat marqué à 500 m à l'aplomb de l'îlet). Les fortes pentes du secteur (comprises entre 25 et 75°) favorisent la propagation des blocs, les phénomènes d'érosion lors des pluies et le développement d'instabilités de type glissement. Les zones de plus faibles pentes conservent un classement en zone d'aléa élevé au vu du contexte général et de la proximité des zones génératrices d'instabilités.

### **Aurère**

En dehors des fortes pentes délimitant les bordures du site, l'aléa mouvements de terrain est de niveau faible à moyen sur ce secteur. Les remparts qui délimitent le secteur au nord et à l'est sont profondément incisés par des axes de ravinement. L'évolution régressive de ces remparts justifie le zonage de bandes de recul en aléa élevé et moyen mouvements de terrain sur les terrains situés en arrière.



*Figure 34 : Vue depuis les abords d'un versant. Au premier plan, habitation classée en zone d'aléa moyen, en recul de la tête de versant. En arrière plan, habitations classées en aléa faible mouvements de terrain.*

Dans la partie sud du village des phénomènes d'instabilités (glissements et chutes de blocs isolés) sont potentiellement importants au droit d'un versant culminant à 1007 m. Le démantèlement des brèches qui constituent ce versant peut induire des chutes de blocs avec une propagation possible du fait des pentes observées. La probabilité d'atteinte des zones habitées reste cependant faible du fait de la faible hauteur du versant (50 m) et de la distance d'éloignement de ces habitations par rapport au sommet du versant (environ 125 m), qui est par ailleurs boisé.



Figure 35 : Versant ouest dominant la partie sud du village d'Aurère

Le zonage de l'aléa mouvements de terrain sur l'îlet Sud est inclus dans la cartographie de ce secteur. Dominé par un versant d'une centaine de mètres de hauteur et situé en bordure d'un rempart atteignant 125 m de hauteur (rive droite du Bras Bémale), l'îlet Sud est un secteur très exposé aux phénomènes d'instabilités (chute de blocs notamment).

### **Îlet à Malheur et îlet à Malheur les Hauts**

Ce secteur est contraint par des phénomènes de chutes de blocs isolés ou éboulements en masse provenant des versants amont, par des phénomènes de ravinement potentiellement importants lors d'évènements pluviaux exceptionnels (ravine Jozon et ravine Carreau Chouchou) et par l'évolution régressive du rempart (en rive gauche du Bras Bémale pour le secteur îlet à Malheur ; en rive gauche et rive droite de la Grande Ravine pour le secteur d'îlet à Malheur les Hauts) qui délimite le secteur à l'ouest. Seules les zones de replat suffisamment éloignées des axes de ravinement, en dehors des zones d'accumulation d'éboulis (pied de versant) et éloignés des rebords des plateaux sont classées en aléa faible mouvements de terrain. Cette zone d'aléa faible correspond ainsi aux zones centrales des trois plateaux délimités par les ravines Jozon et Carreau Chouchou. Cette zone d'aléa faible est la plus étendue au niveau du village de l'îlet à Malheur.

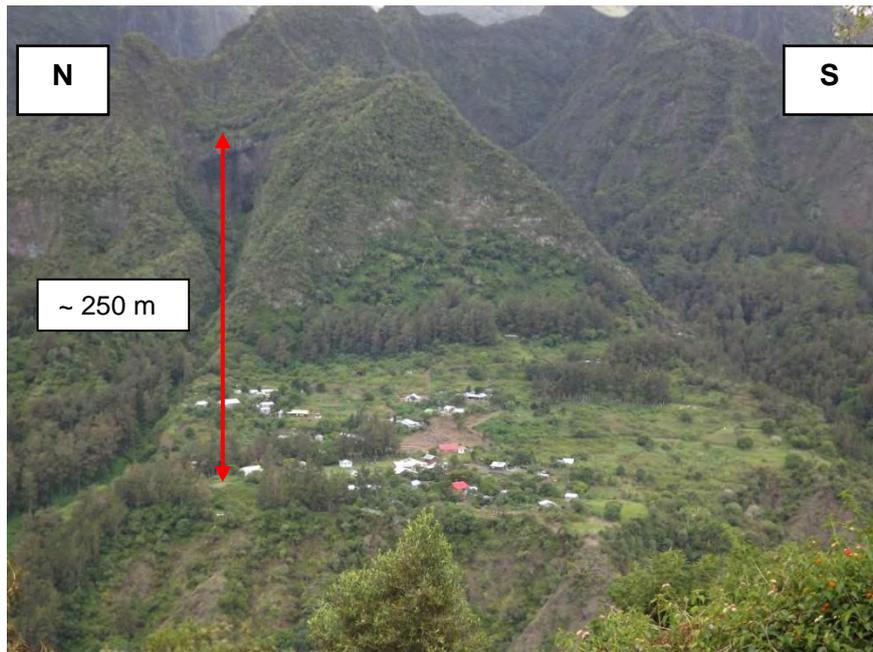


Figure 36 : Village d'îlet à Malheur, délimité par le versant amont, les deux ravines et le rempart du Bras Bémale.

### La Plaque

L'extension de ce plateau reste limitée. Bordé à l'ouest et au sud par la Grande Ravine, les abords de ce plateau sont sensibles aux phénomènes d'érosion et sont le siège de potentiels glissements importants. A l'est et au nord, les terrains sont également soumis à des phénomènes d'érosion au niveau d'un axe d'écoulement. Ces phénomènes érosifs et de ravinement contribuent au développement d'instabilités de type glissement dans les terrains situés en arrière.



Figure 37 : La Plaque

### **Îlet à Bourse et îlet à Bourse les Hauts**

Une rupture de pente (50 m de hauteur) vient distinguer les deux îlets. Des risques d'instabilités de type glissement dans ce versant et la propagation de blocs jusqu'à son pied sont envisageables. L'ensemble du secteur est également très exposé aux phénomènes d'érosion et de ravinement. Trois axes d'écoulements viennent impacter l'îlet à Bourse les Hauts et justifient un classement en aléa élevé mouvements de terrain dans l'axe des ravines et un classement en aléa moyen en recul afin de considérer le risque d'érosion et de déstabilisation des terrains en recul des berges. Un des trois axes de ravinement vient également impacter en contre-bas l'îlet à Bourse. La ravine Bruneuil et la Bras d'Oussy viennent respectivement impacter les bordures nord et sud de ce secteur.

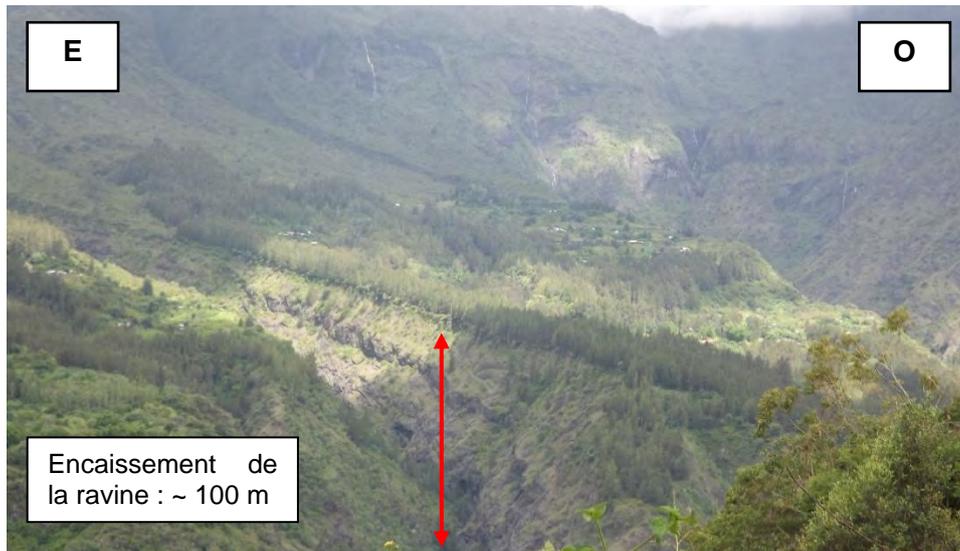


Figure 38 : La Plaque, îlet à Bourse et îlet à Bourse les Hauts

### **Îlet au nord de Cayenne**

Ce secteur est contraint à l'ouest par un versant aval matérialisant la rive droite de la rivière des Galets, haut de 125 m et par le versant dominant du Piton Tortue à l'est, haut de 300 m. Le secteur est ainsi très exposé aux phénomènes de chutes de blocs issus du versant dominant et contraint par le recul potentiel du rempart aval qui est le siège de glissements potentiels. Les reconnaissances de terrain ont permis d'identifier la nature de ce rempart, très sensible à l'érosion et aux instabilités.



Figure 39 : Habitations en aval immédiat du Piton Tortue

### **Cayenne**

Ce secteur est très exposé aux mouvements de terrain et est classé intégralement en aléa moyen à élevé. L'extension du plateau est très réduite et reste contrainte par les abords du plateau et par le versant amont (haut de 150 m pour la partie dominant directement l'îlet). Les phénomènes d'érosion et de glissement sont potentiellement importants dans les remparts en aval du site (haut de 170 m environ), où de nombreux indices d'érosion active peuvent être observés. L'évolution régressive de ces remparts justifie un classement en aléa moyen en recul des crêtes de rempart, sur environ 30 à 40 m depuis la crête.



Figure 40 : Phénomènes érosifs et glissements dans le rempart bordant le site de Cayenne

Etant donné la nature des formations en place, des phénomènes de chutes de blocs isolés, voire de glissements potentiellement importants, peuvent survenir dans le versant dominant la plateforme de Cayenne.



Figure 41 : Versant en amont de la plateforme de Cayenne

### **Grand Place et Grand Place les Hauts**

En dehors des axes de ravinement et des très fortes pentes (de l'ordre de 30 à 50°) fermant le site de Grand Place au sud-est, à l'est et au nord, l'aléa est de niveau faible à moyen par ailleurs. Les phénomènes d'érosion potentiellement importants justifient un classement en aléa moyen au droit des axes d'écoulement et au niveau des berges.



Figure 42 : Fortes pentes limitant le secteur de Grand Place à l'est

Le secteur nord de Grand Place est très contraint par les phénomènes de chutes de blocs et de ravinement. Lors de la visite de terrain, un habitant d'une des maisons situées en aval du Piton Papangue et du Piton Canal témoigne d'une coulée de boue et de pierres passant en limite de son habitation lors du passage du cyclone Hyacinthe en 1980. Ces pitons matérialisent le versant dominant le secteur sur près de 200 à 250 m de hauteur entre le point culminant et les habitations.

En sortie nord du sentier GR2, un bloc de plusieurs dizaine, voire centaine de m<sup>3</sup> dans le versant a été observé. Des traces d'érosion sont visibles sur ses abords. Celui-ci est potentiellement menaçant pour les habitations situées en aval en cas de chute.

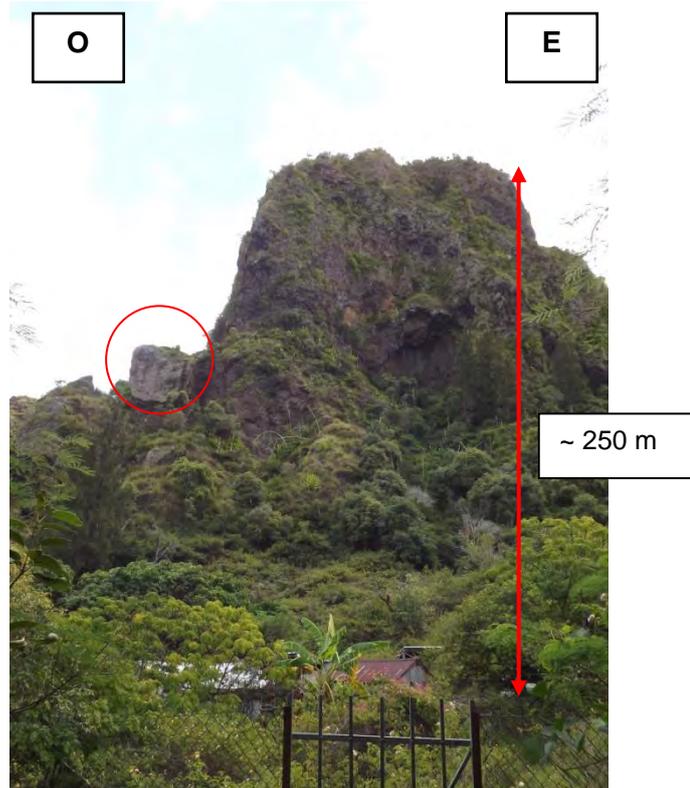


Figure 43 : Mégabloc en amont des habitations. Secteur Grand Place, Piton Papangue.

En dehors des axes de ravinement (dont la ravine des Calumets) et des abords du rempart bordant à l'ouest le secteur de Grand Place les Hauts, le secteur de Grand Place les Hauts est impacté par des aléas faible à moyen mouvements de terrain. La pointe nord de ce secteur classée en aléa élevé et moyen est la plus contrainte aux phénomènes d'instabilités (évolution régressive des versants délimitant la zone).



Figure 44 : Pointe nord du secteur de Grand Place les Hauts

### **Plateau des Calumets**

Les abords de ce plateau sont soumis à des phénomènes d'instabilités importants. Les phénomènes érosifs des remparts contribuent à déstabiliser les terrains situés en arrière. Ainsi, pour tenir compte de l'évolution régressive de ces remparts, les terrains situés en recul sont classés en aléa moyen mouvements de terrain. Au nord, cette bande de recul en aléa moyen est plus étendue et vient intégrer les pentes plus fortes des terrains (de l'ordre de 25°). Le sud du secteur est également impacté par des phénomènes de ravinement (ravine des Calumets).

- **Secteur méridional**

#### **Îlet Cerneau**

Les remparts fermant le site au nord et à l'ouest de ce secteur sont soumis aux phénomènes érosifs et peuvent être le siège de glissements importants. Des déstabilisations des terrains situés en arrière des crêtes de rempart sous l'îlet sont prévisibles et justifient un classement en aléa moyen mouvements de terrain. Seule la zone de replat suffisamment éloignée des rebords du plateau et éloignée du pied de versant est classée en aléa faible mouvements de terrain. Cette zone d'aléa faible est recoupée dans sa partie sud par une zone d'aléa moyen au niveau d'un axe d'écoulement (bras alimentant la ravine Pêche).



Figure 45 : Îlet Cerneau



Figure 46 : Bras d'écoulement impactant le secteur sud de l'îlet Cerneau

### **La Nouvelle et îlet Chemin Charrette**

Les abords ouest et sud de la Nouvelle sont sujets à des phénomènes érosifs importants et sont le siège de glissements potentiels. Les terrains situés en recul de la crête de rempart à l'ouest du secteur (rive droite de la rivière des Galets, versant de plus de 800 m de hauteur) et de la crête de rempart au sud du secteur (rive droite du Trou de Jacques, versant de plus de 200 m de hauteur) sont classés en aléa moyen mouvements de terrain pour tenir compte de l'évolution régressive des versants (recul en cas de déstabilisation dans le versant).

A la pointe sud du secteur, une plateforme réduite (« Le bivouac ») est très exposée aux phénomènes de glissement et de chutes de blocs étant donné la nature des formations et la proximité du versant dominant, haut de plus de 80 m. Le secteur est également contraint par le recul potentiel des terrains en cas d'instabilités dans le versant en contre-bas de la plateforme.



*Figure 47 : « Le bivouac », extrémité sud du secteur de la Nouvelle, contraint par les versants amont et aval*

En amont et plus au nord du « bivouac », le secteur comporte une zone de replat très étendue (où est implanté le cœur du village de la Nouvelle) classée en aléa faible mouvement de terrain, à l'exception des axes de ravinement.

Les terrains de la partie nord du secteur de la Nouvelle sont majoritairement classés en aléa moyen à élevé mouvements de terrain. Seule une plateforme de très faible extension est classée en niveau d'aléa faible.

L'îlet chemin Charrette est également inclus dans cette cartographie. Il forme un plateau de faible extension contraint à l'est et au nord par des phénomènes d'érosion associés aux écoulements de la ravine Pêche et au sud-ouest par les phénomènes érosifs associés aux écoulements d'une autre ravine. Le phénomène de sapement au pied contribue à la déstabilisation des terrains au niveau des berges de l'axe d'écoulement et justifie le classement en aléa moyen en recul des berges.



Figure 48 : Îlet Chemin Charrette

### **La Plaine aux Sables**

La nature des terrains (sables alluvionnaires) les rendent très sensibles à l'érosion notamment au droit des axes d'écoulement du secteur (ravine des Sables notamment, cf. Figure 49).



Figure 49 : Phénomènes érosifs importants au droit de la ravine aux Sables

La pointe est du secteur est sujette également à des phénomènes de chutes de blocs provenant du versant amont. La plateforme d'extension réduite située dans cette pointe

est ainsi contrainte par le versant amont (sud), par l'axe d'écoulement de la ravine aux Sables (à l'est) et par des fortes pentes (à l'ouest).

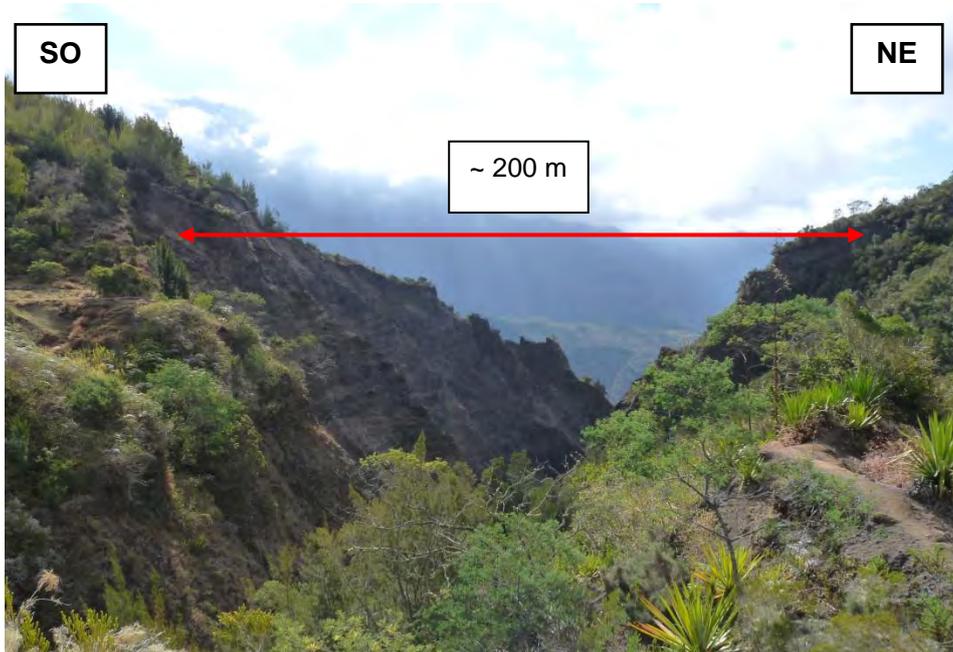


Figure 50 : Remparts profondément incisés par l'érosion au nord du secteur de la Plaine aux Sables

Le sud de la Plaine aux Sables est très exposé aux phénomènes de mouvements de terrain et est classé intégralement en aléa moyen à très élevé. La plateforme existante résulte d'un ancien affaissement du plateau vers la rivière des Galets. Le risque d'un nouvel affaissement de cette plateforme reste envisageable (mouvement lent pouvant être réactivé) et exclu cette zone d'un classement en aléa faible.

### **Trois Roches**

Ce secteur est très exposé aux aléas mouvements de terrain et est entièrement classé en aléa de niveaux moyen à très élevé. Situé en rive gauche de la rivière des Galets, ce site est directement soumis aux phénomènes érosifs associés aux écoulements et à la divagation des eaux de la rivière. Le phénomène de sapement au pied vient contribuer à la déstabilisation des terrains en arrière, situés dans un contexte défavorable, en pied du rempart du cirque de Mafate, de plus de 1250 m de hauteur avec des pentes allant de 30° en pied au droit de l'îlet jusqu'à 60° dans le rempart.

### **Marla et Maison Laclos**

Le secteur de Maison Laclos est soumis aux phénomènes de chutes de blocs isolés et d'éboulements en masse provenant du versant situé à l'est (rempart bordant le plateau Kerval atteignant 150 m de hauteur). La propagation des blocs vient classer la zone de replat en pied de versant en aléa moyen. Les phénomènes érosifs associés aux écoulements de la rivière des Galets et de la ravine Kerval viennent classer respectivement les bordures nord et sud-sud-ouest du secteur en aléa élevé. Les terrains en recul de ces axes d'écoulement sont classés en aléa moyen pour tenir compte de l'évolution régressive du rempart ou des berges.

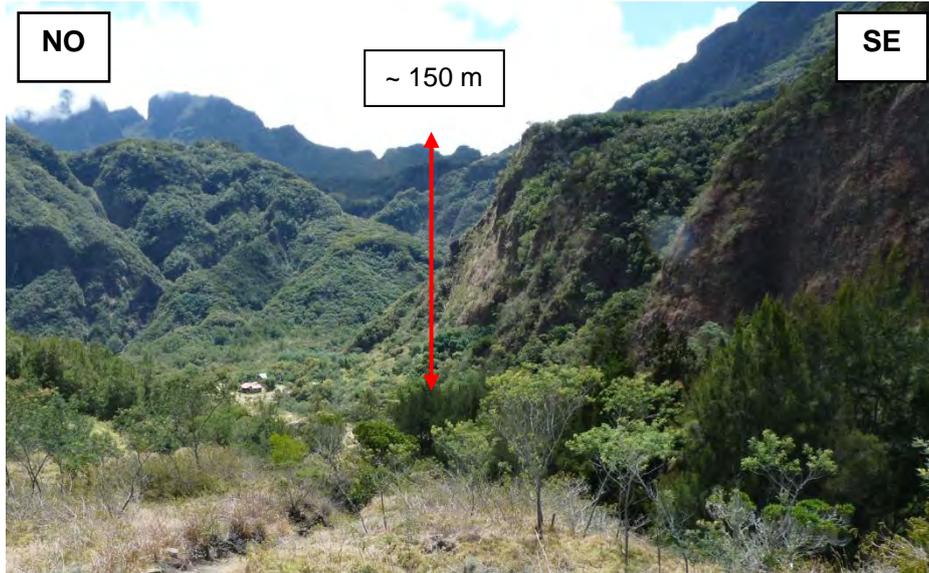


Figure 51 : Maison Laclos en aval du plateau Kerval

Le site de Marla est très exposé aux phénomènes de chutes de blocs et d'éboulements provenant du rempart sud fermant le cirque de Mafate (crête des Trois Salazes). En partie basse du versant, les zones de propagation et d'arrêt éventuels des blocs sont classées en niveau d'aléa moyen. Ce secteur présente notamment de nombreux blocs voire des mégablocs posés à la surface des terrains qui témoignent de l'activité ancienne et de la probabilité d'atteinte en cas d'évènement de ce type. Les terrains situés du côté est du secteur et incisés par les axes d'écoulements de la ravine de Marla sont classés en aléa élevé, avec des bandes d'aléa moyen en recul des berges. Le front du plateau de Marla est classé en aléa moyen mouvements de terrain pour tenir compte de l'évolution du rempart aval (en rive gauche de la rivière des Galets) et de la réactivation potentielle des glissements circulaires emboîtés pouvant provoquer un mouvement de grande ampleur.



Figure 52 : Secteurs de Maison Laclos et de Marla



*Figure 53 : Bras alimentant la ravine de Marla. Vue depuis le sommet du mégabloc bréchtique.*

## 4.2. CARTOGRAPHIE DES ENJEUX

### 4.2.1. Caractérisation des enjeux

Les enjeux représentent un ensemble de personnes et de biens ou l'environnement pouvant être affectés par un événement (l'aléa).

Après récupération des différentes données numériques auprès des services du Parc National, trois types d'enjeux ont été distingués en fonction de leur valeur et de leur vulnérabilité :

- **les structures à occupation permanente ou quasi permanente** : il s'agit du bâti qui regroupe les habitations, les gîtes, les écoles, les commerces, etc. C'est ce premier type d'enjeu qui a la plus forte valeur et qui parfois est le plus vulnérable<sup>1</sup> ;
- **les équipements fondamentaux** : ce sont les réservoirs et les canalisations en eau potable. Même si la perte de ce type d'enjeu n'impacte pas directement les vies humaines, leur pérennité reste essentielle au bien-être de la population. C'est pourquoi il a été attribué à ces équipements une valeur et une vulnérabilité moyennes ;
- **les activités économiques sans occupation humaine** : elles regroupent notamment les cultures et l'élevage en général. Il s'agit ici des enjeux les moins vulnérables.

De façon arbitraire, une pondération à chaque type d'enjeux a été attribuée en fonction de sa valeur et de sa vulnérabilité :

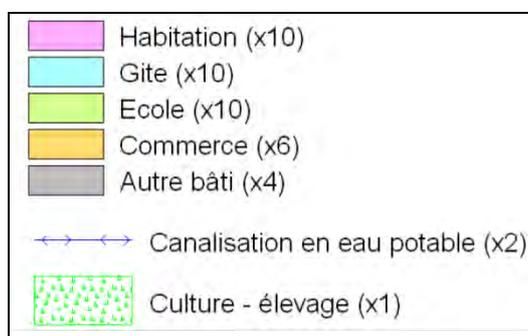


Figure 54 : Typologie et pondération retenue des enjeux

La pondération retenue a bien entendu comme souci premier de traduire la forte sensibilité des bâtiments accueillant de façon plus ou permanente des vies humaines (habitations en premier lieu, mais également gîtes et écoles), par rapport aux autres types d'enjeux, certes important pour la vie locale, mais moins « impactant » en cas d'occurrence des phénomènes prévisibles (« potentiel de gravité » moindre). Les

---

<sup>1</sup> La vulnérabilité correspond au taux d'endommagement d'un ouvrage, d'un équipement, etc, en fonction de la nature et de l'intensité du phénomène d'agression (ou en d'autres termes à sa capacité à résister à cette agression donnée).

coefficients pondérateurs retenus s'avèrent ainsi quelque peu subjectifs, ou tout du moins sujets à discussion, certaines questions apparaissant légitimes :

- l'écart ne devrait-il pas être encore plus marqué entre les bâtiments à occupation humaine et les catégories « commerces » et « autre bâti » (bâtiments agricoles, etc.) ? ;
- un coefficient plus fort ne devrait-il pas être attribué aux bâtiments à usage d'habitation par rapport aux gîtes et écoles, occupés que de façon non permanente ? ;
- au contraire, un coefficient plus fort ne devrait-il pas être attribué aux gîtes et écoles par rapport aux bâtiments à usage d'habitation, dans la mesure où en cas d'occurrence d'un phénomène intense en période d'occupation du bâtiment, le nombre de victimes potentielles est *a priori* sensiblement plus important ?

Quoi qu'il en soit, la pondération adoptée apparaît relativement « équilibrée » par rapport à l'objectif recherché et permet de faire ressortir, dans l'évaluation globale des enjeux par zone homogène d'aléa (cf. ci-après), les zones les plus sensibles du fait d'une occupation humaine plus concentrée.

#### 4.2.2. Zonage des enjeux proposé

Après avoir pondéré et recensé les enjeux présents sur les secteurs étudiés, ces derniers ont été regroupés par zone d'aléa homogène. Chaque zone d'aléa reçoit alors une note globale d'enjeu (NE), résultat de la somme des enjeux présents dans la zone (cf. exemple ci-dessous).

De façon à tenir compte de la superficie très variable des zones d'aléa homogène et ainsi ne pas fausser l'évaluation « quantitative » des enjeux, le calcul de la note d'enjeu a été pondéré par la superficie de la zone en question. Pour cela, ces calculs ont été effectués sur des sous-secteurs d'aléa homogène (« blocs ») d'une superficie maximale arbitrairement fixée à **1 ha** (définie en cohérence avec la superficie moyenne des zones d'aléas homogènes rencontrés sur les îlets étudiés).

Exemple (cf. Figure 55) :

*Une habitation* = 1 x 10

*Trois autres bâtis* = 3 x 4

*Une canalisation* = 1 x 2

*Une zone de culture et élevage* = 1 x 1

*Note d'enjeu* = (1x10) + (3x4) + (1x2) + (1x1) = 25

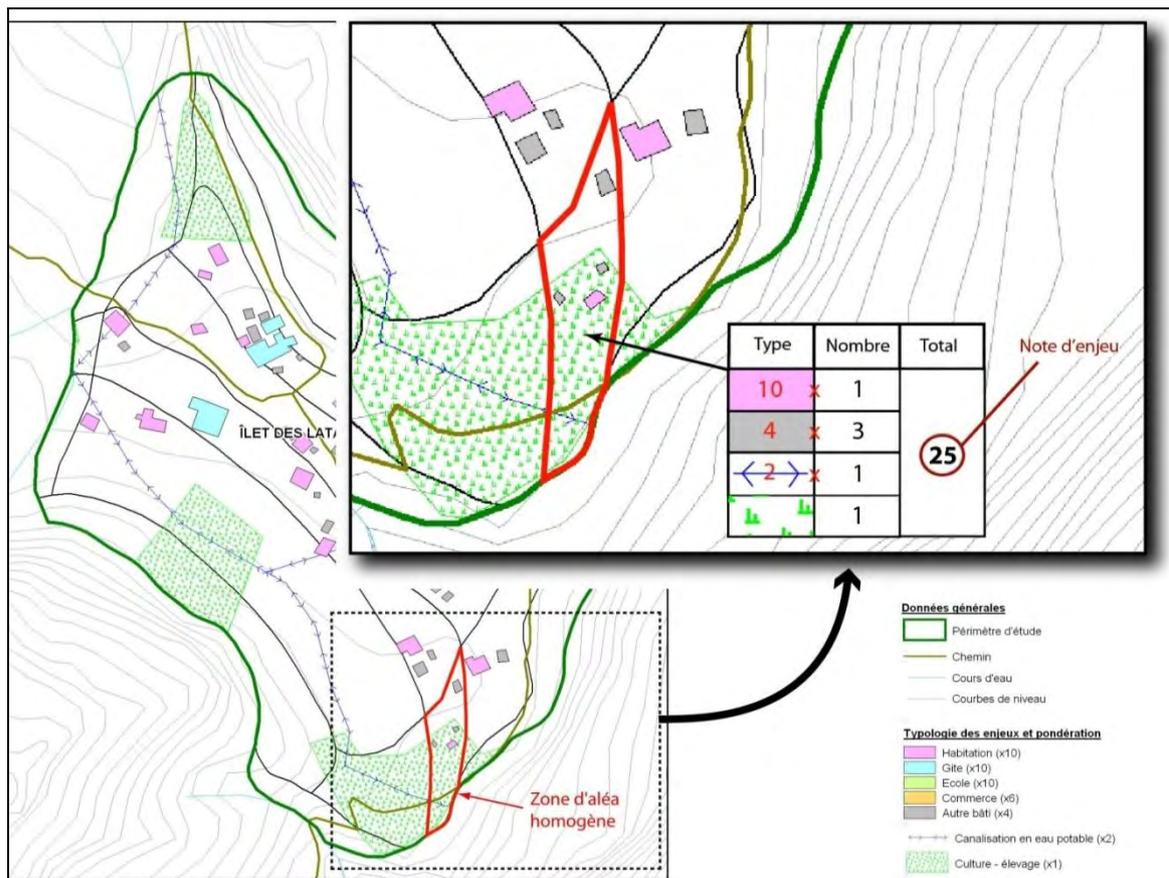


Figure 55 : Exemple de calcul de la note d'enjeux

Nota : les données de la table « bâti 2010 » transmises par le Parc National distinguent les bâtiments de type gîte, habitation, commerce mais celles-ci ne permettent pas d'identifier les écoles du cirque. Seules les écoles de La Nouvelle, Îlet à Malheur, Marla ont pu être prises en compte dans le calcul de la note d'enjeux (suivant le champ « salle commune » de la table de données « bâti 2010 »).

Aussi, les données de la table « bâti 2010 » ne sont pas entièrement représentatives de l'état actuel du bâti. Des modifications ont donc été apportées en fonction des observations de terrain et de l'orthophoto 2012 (identification de gîtes et ajout de nouvelles constructions).

Il est également nécessaire de noter que la précision de la localisation des canalisations est limitée. Ces canalisations ont été digitalisées à partir d'une image géoréférencée où l'épaisseur du tracé d'une canalisation représente une largeur d'environ 20 m.

#### 4.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES

Après évaluation de la note d'enjeux (NE) pour chaque sous-zone (« bloc ») d'aléa homogène, il a été procédé à une hiérarchisation des zones de risques pour chaque îlet étudié. Cette hiérarchisation vise, pour chacun d'entre eux (mais permettant également d'en faire une analyse en comparant les îlets entre eux), à identifier les secteurs:

- d'une part, dans les **zones considérées comme les plus exposées** (zones d'aléas élevé et très élevé, sur lesquels des phénomènes caractérisés par un potentiel destructeur plus ou moins important sont possibles à court ou moyen terme), sur lesquels il convient de limiter au maximum l'implantation de nouveaux enjeux et au contraire chercher, autant que possible, des solutions permettant de réduire à terme les biens et personnes menacées (principalement par des actions de délocalisation – les solutions de protection « classiques » étant peu voire pas envisageables dans ces zones) ;
- d'autre part, dans les **zones considérées comme moyennement exposées** (zones d'aléa moyen, sur lesquels des phénomènes caractérisés par un potentiel destructeur plus ou moins important sont possibles à court ou moyen terme), sur lesquels le développement des enjeux, bien que non souhaitable, reste réalisable moyennant des mesures de sécurisation « lourdes », et uniquement dans l'optique d'une densification lorsqu'aucune solution alternative n'est possible. Il sera ainsi possible de distinguer les zones accueillant déjà de nombreux enjeux des zones sur lesquels cette densification s'avère encore réalisable ;
- enfin, dans les **zones considérées comme globalement moins exposées** (zones d'aléas faibles, sur lesquels les phénomènes prévisibles sont d'une intensité moindre ou d'intensité plus marquée mais à échéance sensiblement plus lointaine), sur lesquels le développement des enjeux reste envisageable sans mesure de sécurisation « lourde ». Ces secteurs correspondent aux zones de développement à privilégier des îlets étudiés.

Pour répondre à ces objectifs et avec le souci d'une lisibilité optimale, il a été fait le choix de distinguer cartographiquement la hiérarchisation des zones de risques pour les zones d'aléas très élevé à élevé (cf. annexes) et la hiérarchisation des zones de risques pour les zones d'aléas faible à moyen (cf. annexes).

Les notes de risques (NR) ont été calculées de la façon suivante :

1. Pondération du niveau d'aléa selon le tableau ci-dessous :

Niveau d'aléa	Pondération
Faible	1
Moyen	1

Niveau d'aléa	Pondération
Elevé	1
Très élevé	2

Tableau 3 : Pondération attribuée pour le niveau d'aléa

2. évaluation de la note de vulnérabilité par multiplication de la note d'enjeu et du niveau d'aléa pondéré ;
3. représentation cartographique des niveaux de risques sur la base des classes suivantes :

<b>Niveau de risque (NR) pour les zones d'aléa moyen</b>	
Secteurs sur lesquels une densification de l'urbanisation reste envisageable sous réserve de prescription	
	Très élevé : NR > 60
	Elevé : 30 < NR < 60
	Moyen : 20 < NR < 30
	Modéré : 10 < NR < 20
	Nul à faible : NR < 10

<b>Niveau de risque (NR) élevé (aléa élevé à très élevé)</b>	
Secteurs sur lesquels des mesures de mitigation sont nécessaires	
	Très élevé : NR > 60
	Elevé : 30 < NR < 60
	Moyen : 20 < NR < 30
	Modéré : 10 < NR < 20
	Nul à faible : NR < 10

Figure 56 : Echelles de classification des niveaux de risque adoptées

Hierarchisation des risques dans le Cirque de Mafate – Tranche 2

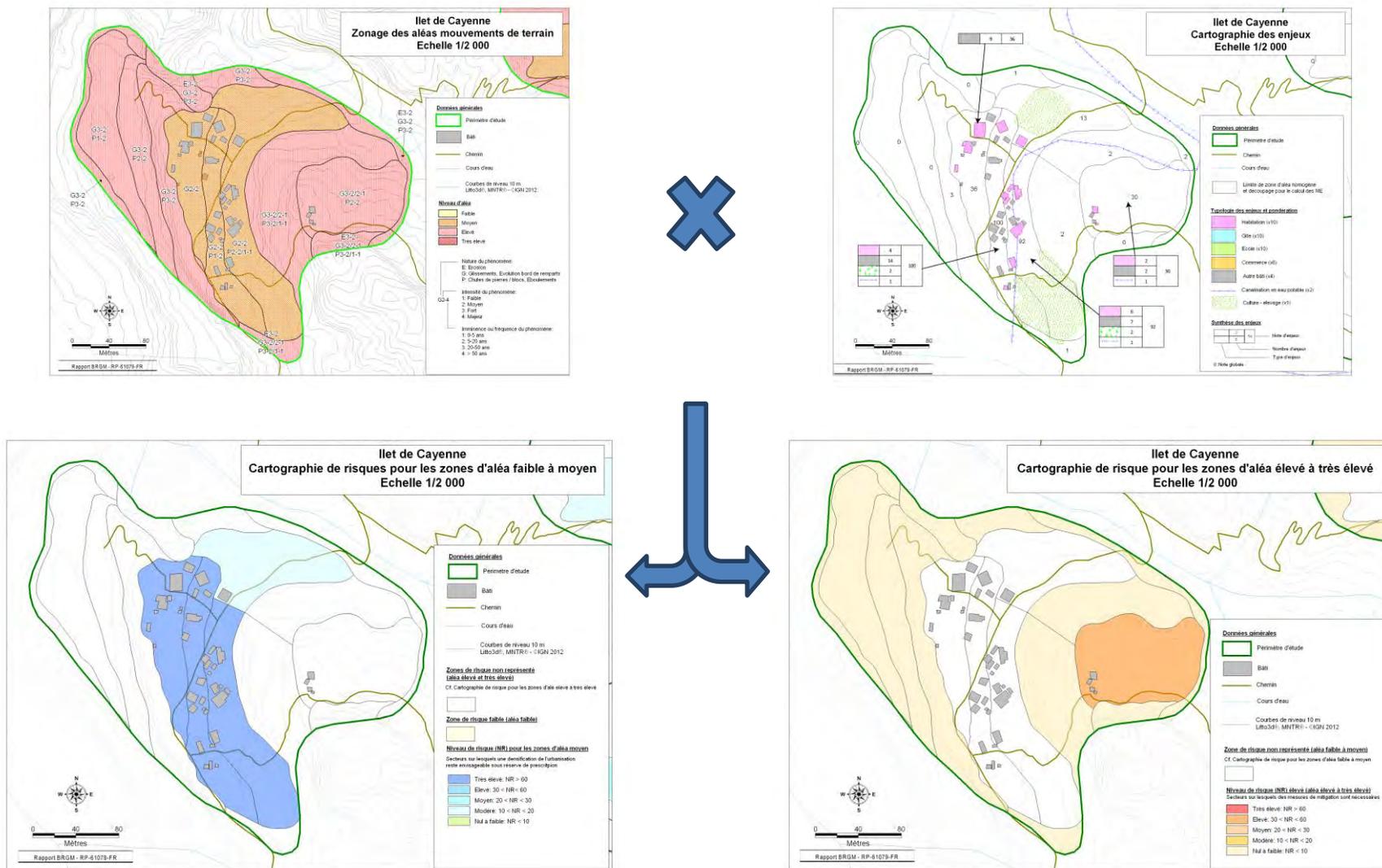


Figure 57 : Cartographie des aléas, enjeux et risques sur le secteur de Cayenne

## **4.4. COMMENTAIRES SUR LES CARTOGRAPHIES**

### **4.4.1. Secteur septentrional**

#### ***Îlet Nourry, Îlet Déjeuner, Les Hirondelles, Plateau des Calumets***

Ces secteurs sont aujourd'hui dénués ou pratiquement dénués de tout enjeu et, de fait, la vulnérabilité y est nulle ou quasiment nulle.

#### ***Deux Bras***

En zone d'aléa élevé à très élevé, deux « blocs » situés dans la partie centrale du secteur, en pied du rempart et en bordure du lit de la rivière des Galets accueillent un nombre d'enjeux relativement important (classés en niveau de risque modéré à moyen).

#### ***Îlet Flamand***

Deux zones d'aléa élevé à très élevé présentent des notes de risque de niveau modéré.

#### ***Aurère et Îlet Sud***

Les zones les plus vulnérables correspondent dans ce secteur aux zones habitées d'aléa moyen situé en recul de rempart du Bras Bémale et du rempart bordant le nord du secteur (soient six blocs de niveau de risque élevé).

#### ***Îlet à Malheur et îlet à Malheur les Hauts***

Classés en aléa élevé à très élevé, deux blocs présentent des notes de risque de niveau modéré à moyen. Le plus vulnérable, situé sur le secteur d'îlet à Malheur, est exposé aux instabilités du fait de sa proximité par rapport à la bordure ouest du plateau. Quatre blocs classés en aléa moyen mouvements de terrain présentent des vulnérabilités élevé à très élevé. Ces terrains situés en pied de falaise ou en recul de tête de rempart accueillent plusieurs constructions à vocation d'habitation et également un gîte pour le bloc situé sur le secteur d'îlet à Malheur les Hauts.

#### ***Îlet à Bourse et Îlet à Bourse les Hauts***

Cinq constructions situées sur le secteur d'îlet à Bourse sont placées dans une zone d'aléa élevé à très élevé (proximité avec l'axe d'écoulement d'une ravine) associé à une note de risque de niveau élevé. Les bandes en recul d'aléa moyen présentent également bon nombre de constructions et présentent également une vulnérabilité élevée à très élevée. La vulnérabilité du bâti dans le secteur d'îlet à Bourse les Hauts est moins notable. Le secteur compris entre la ravine Carreau Chouchou et la ravine Jozon comporte des zones de vulnérabilité moyenne à très élevée au niveau du pied de versant.

### ***La Plaque***

La bande de recul en aléa moyen par rapport à la tête de rempart ouest (rive droite de la Grande Ravine) comporte les zones les plus vulnérables (niveau de risque moyen à élevé).

### ***Grand Place et Grand Place les Hauts***

Deux zones d'aléa élevé à très élevé présentent des notes de risque de niveau élevé. Une première, située sur le secteur de Grand Place, présente six constructions très exposées aux phénomènes de chutes de blocs provenant du rempart (Piton Carré). L'autre zone comporte également six constructions en recul immédiat de la tête de rempart.

Concernant les zones d'aléa moyen, les zones les plus vulnérables sont situées davantage dans le secteur de Grand Place. Ces zones de niveau de risque modéré à élevé sont majoritairement situées en recul des axes de ravinement et sont donc principalement exposées aux phénomènes d'instabilités générés par l'érosion des berges.

### ***Cayenne***

La zone d'aléa élevé en amont du versant dominant le village de Cayenne présente quatre constructions traduisant une note de risque élevé. La plateforme aval classée en aléa moyen concentre l'essentiel des constructions et comporte donc une vulnérabilité très élevée (niveau de risque très élevé).

### ***Îlet au nord de Cayenne***

Le secteur étant très exposé aux instabilités, les constructions existantes sont très vulnérables (niveau de risque modéré à élevé).

## **4.4.2. Secteur méridional**

### ***Îlet Cerneau***

Les quelques enjeux de ce secteur sont tous situés en zone d'aléa faible mouvements de terrain. La vulnérabilité est donc quasiment nulle.

### ***Îlet Chemin Charrette et La Nouvelle***

La partie sud de La Nouvelle qui accueille de nombreuses habitations présentent trois blocs d'aléa élevé à très élevé avec une note de risque de niveau élevé et un bloc avec une note de risque de niveau moyen. Ces quatre zones sont exposées aux phénomènes de ravinement.

Le secteur sud, au « bivouac », plateforme intégralement classée en aléa moyen et élevé mouvements de terrain, présente six nouvelles constructions non figurées sur la cartographie. La vulnérabilité est donc considérablement augmentée dans ce secteur.

Plusieurs zones d'aléa moyen situées en recul de berges et impactées par des phénomènes érosifs comportent des notes de risque de niveau élevé à très élevé. Le secteur nord de la Nouvelle qui présente de nombreuses habitations dans des zones d'aléa moyen est également vulnérable.

### ***La Plaine aux Sables***

La zone la plus vulnérable est située à la pointe sud de la Plaine aux Sables, au niveau de la plateforme affaissée.

### ***Trois Roches***

Le secteur habité est très vulnérable aux phénomènes d'instabilités (risque de niveau élevé).

### ***Maison Laclos et Marla***

Le secteur de Maison Laclos présente deux zones d'aléa élevé à très élevé (tête de rempart ou pied de versant) où la note de risque est de niveau modéré.

Plusieurs zones d'aléa moyen du secteur de Marla situées en recul des axes d'écoulement de la ravine de Marla présentent des vulnérabilités plus marquées (de niveau modéré à élevé).



## 5. Recommandations en matière de sécurisation

Les recommandations qui suivent ont pour objectif de limiter certains risques liés aux mouvements de terrain qui pourraient se développer dans la zone d'étude, en proposant des principes généraux de réduction de l'aléa en fonction des secteurs exposés.

On insistera sur le fait que ces recommandations ne se substituent en aucune façon au règlement PPR voué à être mis en place sur les territoires saint-paulois et possessionnais (auquel appartiennent les zones d'étude) dans un avenir plus ou moins proche (le document pour le cirque de Mafate est en cours d'élaboration), ni même aux normes et règles de l'art existantes en matière de construction.

### 5.1. RAPPELS RELATIFS AUX REGLES DE CONSTRUCTIBILITE

Il est rappelé ci-dessous les principales règles de constructibilité en zone exposées aux aléas mouvements de terrain, selon les règlements PPR en vigueur à la Réunion :

- **aléa faible** : ces zones sont constructibles, la construction d'habitat, l'extension du bâti existant, etc., étant autorisées sous réserve de respecter certaines prescriptions visant à adapter le projet au contexte et limiter ainsi le risque de désordres en cas d'instabilités ;
- **aléa moyen** : ces zones sont dites inconstructibles dans la mesure où - dans le cas général - la construction d'habitat nouveau y est interdite ; les projets d'extension ainsi que les opérations de démolition/reconstruction du bâti existant étant possibles sous conditions et limitées.

Dans certains cas néanmoins où une sécurisation de la zone est envisageable sous responsabilité d'un maître d'ouvrage « pérenne et structuré » (maîtrise d'ouvrage collective), des projets d'habitation peuvent être autorisés après réalisation des mesures de protection adaptées.

- **aléa élevé à très élevé** : ces zones sont dites inconstructibles : la construction d'habitat nouveau, les extensions et opérations de démolition/reconstruction du bâti existant sont interdites.

Les principales dérogations à la règle générale d'inconstructibilité concernent notamment :

- les travaux et aménagements de nature à réduire les risques ;
- les travaux d'entretien et de gestion courante des constructions et des installations existantes ;
- les équipements légers et installations légères directement liées à l'exploitation agricole ;
- les équipements légers sportifs et de loisir (y compris kiosques et sanitaires publics secs).

## 5.2. RECOMMANDATIONS GENERALES

### 5.2.1. Vis-à-vis des zones d'aléa élevé et très élevé

Les zones très exposées sont situées dans une des configurations suivantes :

- **en bordure de rempart** où les zones sont exposées à un risque de recul plus ou moins rapide et brutal des bordures d'îlet (sans nécessairement de signe annonciateur perceptible suffisamment à l'avance) ;
- **en pied de falaise** où les phénomènes de type chutes de blocs et éboulements dont l'intensité et la fréquence conduit à un classement des zones en aléa élevé ou très élevé ;
- **dans le lit mineur des axes de ravinement** où les phénomènes érosifs associés à l'écoulement des eaux dans les ravines lors d'événements exceptionnels (période de référence retenue : centennale) sont importants.

Compte tenu des risques à court ou moyen terme dans ces zones, on conseillera de proscrire tout nouveau projet d'habitation (ou autre projet présentant une vulnérabilité marquée) et autant que possible de mener une réflexion sur les possibilités de relocalisation des personnes et biens exposés. Cette mesure préventive de délocalisation concerne en premier lieu les habitations et autres infrastructures sensibles (gîtes notamment).

Pour les zones très exposées n'accueillant aujourd'hui aucun enjeux ; il convient de geler en l'état ces secteurs. Pour les secteurs ne présentant que très peu de constructions et habitations, il convient de geler toute nouvelle implantation d'enjeu particulier sur la zone et, en parallèle, de privilégier un abandon plus ou moins rapide du secteur en ce qui concerne le bâti existant (ce qui est le cas des îlets suivant : Trois Roches, Îlet Moutou, Deux Bras, Îlet Nourry, Les Hirondelles, Îlet Flamand, Îlet au nord de Cayenne).

Des travaux visant à réduire le risque d'instabilités sont toutefois envisageables dans des zones d'aléa élevé à condition que ceux-ci soit en cohérence avec l'ampleur du phénomène et de nature à apporter un bénéfice sur le long terme pour des enjeux proches.

### 5.2.2. Vis-à-vis des zones d'aléa faible

Les zones peu exposées, d'aléa faible mouvements de terrain, et donc de niveau de risque faible ne sont pas soumises à des restrictions particulières en matière de construction. Ce sont les secteurs à privilégier pour la réalisation de nouveaux aménagements. Les éventuelles mesures de sécurisation à mettre en œuvre au sein de ces zones ne nécessitent généralement pas de lourds moyens financiers.

En zone d'aléa faible, les principales recommandations suivantes peuvent être formulées :

- s'assurer du respect des normes et règles de l'art en matière de construction ;

- privilégier autant que possible des fondations descendues au rocher (ou dans des niveaux suffisamment « portants » et durs), de façon à résister à des affouillements, tassements ou érosions localisés ;
- en cas de remblaiement, décapage au préalable de la terre végétale et compactage selon les règles de l'art des matériaux rapportés ;
- les terrassements de plus de 2 m de hauteur et inclinés à plus de 3H/2V, nécessitent d'être soutenus par un ouvrage adapté et fondé correctement. Un soin particulier doit être porté sur le drainage de l'ouvrage et des terrains en arrière ;
- les eaux pluviales doivent autant que possible être collectées et évacuées dans des exutoires - naturel ou artificiel - appropriés (capacité de transit apte à recevoir les nouveaux apports, absence d'érosion liée au rejet, etc.).

### **5.3. RECOMMANDATIONS PAR SECTEUR**

#### **5.3.1. Secteur septentrional**

##### ***Îlet Nourry***

L'îlet Nourry présente une majorité de terrains classés en aléa élevé à très élevé mouvements de terrain. Pour ces zones très exposées, on se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Les zones d'aléa moyen de faible extension abritent actuellement quelques constructions. Au vu du contexte général très défavorable, il est souhaitable de ne pas développer de nouveaux aménagements dans ce secteur et de ne pas utiliser les bâtiments existants à titre d'habitation.

##### ***Îlet Déjeuner***

Cet îlet n'accueille pas d'enjeux actuellement. Il conviendrait de geler en l'état les terrains classés en aléa très élevé, élevé et moyen mouvements de terrain.

##### ***Deux Bras***

Pour les deux zones très exposées (aléa élevé mouvements de terrain et note de risque de niveau modéré à moyen) accueillant quelques constructions (8 au total) on se reportera aux recommandations émises au paragraphes 5.2.1.

Pour les zones les moins exposées d'aléa moyen mouvements de terrain, il conviendra de ne pas augmenter davantage la vulnérabilité du site en limitant au maximum les nouvelles implantations de constructions et en interdisant les nouvelles constructions à vocation d'habitation.

##### ***Îlet Flamand***

Pour les zones très exposées, d'aléa élevé et très élevé mouvements de terrain. On se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Pour les zones moins

exposées, d'aléa moyen mouvements de terrain, il est souhaitable de ne pas augmenter la vulnérabilité. L'implantation de nouveaux enjeux dans ce secteur n'est donc pas conseillée. Les bâtiments existants dans ce secteur doivent rester des constructions non habitables.

### ***Les Hirondelles***

Cet îlet est classé entièrement en aléa élevé et très élevé mouvements de terrain. On se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1.

### ***Aurère et Îlet Sud***

Les zones très exposées, d'aléa élevé et très élevé, n'accueillent pas à ce jour de constructions. Il convient de geler en l'état ces terrains.

Concernant les zones les moins exposées, on compte six zones d'aléa moyen mouvements de terrain présentant des vulnérabilités élevées. Celles-ci sont situées en recul de tête de rempart où les mesures de sécurisation ne sont pas envisageables. L'implantation de tout nouveau projet de construction est donc à proscrire (il est conseillé de privilégier pour cela les zones d'aléa faible situées en arrière) et une réflexion de délocalisation des enjeux existants doit être menée dans ces zones.

### ***Îlet à Malheur et îlet à Malheur les Hauts***

Située dans une zone très exposée (aléa élevé et note de risque de niveau moyen), une habitation se trouve menacée. Il est fortement souhaitable qu'aucun nouvel enjeu fort ne prenne place dans cette zone, de même qu'à terme il conviendrait d'envisager la délocalisation de l'habitation présente et des deux autres constructions.

Deux zones moins exposées classées en aléa moyen mouvements de terrain présentent des vulnérabilités élevées et sont concernées par l'évolution régressive des bordures des plateaux. Ces zones en bordure de rempart n'étant pas sécurisables, elles ne doivent accueillir aucun nouveau projet.

Une zone soumise aux phénomènes de chutes de blocs a conduit à un classement en aléa moyen mouvements de terrain. Celle-ci accueille un bon nombre d'enjeux et donne à cette zone une vulnérabilité très élevée. L'activité prévisible se caractérise sur le court à moyen terme (5-20 ans) par une intensité potentiellement moyenne, et en l'absence de mesure de sécurisation satisfaisante, on recommandera de ne pas autoriser la réalisation de nouveau projet dans cette zone. Le cas échéant, concernant les constructions existantes, un objectif de délocalisation de ces enjeux est à terme souhaitable (départ progressif des principaux enjeux existants à envisager).

### ***La Plaque***

Pour les zones très exposées, d'aléa élevé et très élevé, on se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Les zones d'aléa moyen mouvements de terrain comportant des notes de risque moyen à élevé sont concernées par l'évolution régressive des bordures du plateau (rempart en rive droite de la Grande

Ravine), processus contre lequel il n'existe pas de parade satisfaisante. Les nouveaux projets de construction sont donc à proscrire dans ces zones et des réflexions de délocalisation des bâtiments existants doivent être menées. Il conviendra de privilégier les nouvelles constructions dans la zone centrale d'aléa faible.

### ***Îlet à Bourse et Îlet à Bourse les Hauts***

Pour les zones très exposées, d'aléa élevé et très élevé, on se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Cinq constructions (dont deux habitations) sont situées à proximité de l'axe d'écoulement d'une ravine dans ce secteur. Celles-ci sont menacées à court terme et doivent être, à terme, délocalisées.

Pour les zones moins exposées d'aléa moyen mouvements de terrain, quelques constructions dont deux habitations situées en pied de versant (versant séparant les deux îlets) sont menacées. Les phénomènes de chutes de blocs et de glissements ont conduit à classer cette zone en aléa moyen mouvements de terrain. Des dispositifs de protection peuvent être mis en place afin de se prémunir des risques de chutes de blocs. Toutefois, au vu du linéaire de versant à traiter, sécuriser le pied de ce versant reste onéreux et difficilement envisageable. Il est préférable d'envisager de délocaliser les quelques constructions situées dans cette zone et d'y proscrire tout nouveau projet d'aménagement. Une densification du bâti est réalisable dans la zone d'aléa faible éloignée du pied de versant.

Il est souhaitable que les zones d'aléa moyen situées en recul de rempart ou de berges n'accueillent plus de nouveau projet de construction. De plus, dans la pointe nord du secteur d'étude, une zone classée en aléa moyen mouvements de terrain présente de nombreux enjeux (gites) caractérisant une vulnérabilité très élevée. A terme, il conviendrait de relocaliser les biens et les personnes de cette zone.

### ***Îlet au nord de Cayenne***

Cet îlet est essentiellement caractérisé par des zones d'aléa élevé mouvements de terrain. On se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Ainsi, les quatre habitations et l'ensemble des autres constructions doivent être relocalisés. Au vu du contexte général très défavorable, tout projet de construction est à proscrire dans cet îlet, même au sein des zones moins exposées d'aléa moyen mouvements de terrain.

### ***Îlet Moutou***

L'îlet Moutou présente essentiellement des zones très exposées, d'aléa élevé et très élevé mouvements de terrain. On se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1.

### ***Cayenne***

Pour les zones très exposées d'aléa élevé mouvements de terrain, on se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Ainsi, les deux habitations situées dans la partie est de l'îlet (plateforme en amont d'extension très réduite) sont fortement

menacées (le risque associé à cette zone est de niveau élevé). Il est fortement préconisé d'interdire tout nouveau projet de construction et de délocaliser à terme les deux habitations concernées. La partie aval de l'îlet classée en aléa élevé mouvements de terrain n'accueille à ce jour aucun enjeux. Il convient de geler toutes nouvelles constructions dans cette zone.

Pour les zones les moins exposées, celles-ci sont soumises à un aléa moyen mouvements de terrain associé aux phénomènes de chutes de blocs et aux phénomènes d'évolution régressive du rempart. Cette zone concentre la quasi-totalité des habitations de l'îlet et présente une note de risque de niveau très élevé. Il conviendra donc d'éviter les nouvelles constructions dédiées à l'habitation et de privilégier les constructions (à autre vocation que d'occupation humaine) dans les zones à la fois les plus éloignées du pied de falaise dominant l'îlet et à la fois les plus en recul de la crête de rempart sous l'îlet afin de limiter l'exposition des biens aux phénomènes d'instabilités. Concernant le bâti existant, des dispositifs de protection de type filets ou gabions peuvent être envisagés afin de se prémunir des phénomènes de chutes de blocs. Toutefois, la proximité (environ 10 m entre le pied et les premières habitations) et la hauteur de la falaise (50-60 m) limitent le type de parade afin de garantir un niveau de protection satisfaisant. La réalisation d'une étude détaillée de la zone pourrait permettre de préconiser les dispositifs de protection les plus adaptés à la configuration du site.

### ***Grand Place et Grand Place les Hauts***

Concernant les deux zones d'aléa élevé mouvements de terrain présentant des notes de risque de niveau élevé, les deux habitations situées en pied du Piton Carré et les deux habitations en recul immédiat du rempart ouest de l'îlet sont très menacées. On conseillera donc d'engager une réflexion quant aux possibilités de procéder dans le meilleur délai à la délocalisation de ces enjeux. Les autres constructions existantes dans ces deux zones doivent rester à vocation autre que celle d'occupation humaine.

D'autres secteurs classés en aléa moyen mouvements de terrain présentent également une vulnérabilité élevée (au nombre de six « blocs »). Situés en recul de rempart ou en recul d'un axe de ravinement, on conseillera de considérer ces terrains comme zone « tampon » vis-à-vis du recul du rempart ou de l'évolution régressive des berges et de privilégier l'implantation de nouveaux projets en zone d'aléa faible située en arrière immédiat.

### ***Plateau des Calumets***

Cet îlet n'accueille aujourd'hui aucune construction et est actuellement dédié à la culture et à l'élevage. Des projets de construction pourront être réalisés dans la partie centrale de l'îlet (zone d'aléa faible de grande étendue).

### **5.3.2. Secteur méridional**

#### ***Îlet Cerneau***

L'îlet Cerneau présente une plateforme d'aléa faible mouvements de terrain d'extension assez conséquente. Il convient donc de privilégier les nouvelles constructions à cet endroit (partie centrale de l'îlet) et de ne pas développer de nouveaux enjeux dans les bordures d'îlet contraintes par la proximité de la falaise (bordure est), du rempart (bordures ouest et nord) et d'un axe de ravinement (bordure sud) et des phénomènes naturels associés.

#### ***Îlet Chemin Charrette et La Nouvelle***

La partie sud du secteur de la Nouvelle comporte les zones les plus exposées, d'aléa élevé mouvements de terrain avec des risques de niveau modéré à élevé. Pour ces zones non sécurisables (bordure de rempart et axe de ravinement) on se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1.

Pour les zones moins exposées d'aléa moyen mouvement de terrain situées en recul d'axe de ravinement, il est conseillé d'interdire tous nouveaux projets de construction pouvant augmenter la vulnérabilité de ces zones. Aussi, pour le bâti existant, il serait souhaitable d'engager des réflexions de délocalisation des enjeux principaux.

Pour la partie nord du secteur d'étude classée en aléa moyen mouvements de terrain et comportant des notes de risque de niveau moyen à très élevé une densification significative du bâti – déjà marquée – n'est pas souhaitable.

L'implantation très récente de six habitations dans la pointe sud du secteur d'étude (zone nommée « le bivouac ») augmente considérablement la vulnérabilité de cette zone. Il aurait été préférable de ne pas autoriser ces aménagements en zone d'aléa moyen à élevé mouvements de terrain. Des dispositifs de protection sont difficilement envisageables au vu de l'ampleur des phénomènes prévisibles (évolution régressive du versant aval et propagation de blocs provenant du versant amont).

#### ***La Plaine aux Sables***

Les recommandations qui suivent portent sur le secteur sud de l'îlet, présentant les zones les plus vulnérables. Pour la zone la plus exposée classée en aléa élevé mouvements de terrain et présentant une note de risque modéré, il conviendra de ne pas implanter de nouvelles constructions et d'abandonner les bâtiments déjà existant dans cette zone. Pour la zone classée en aléa moyen mouvements de terrain accueillant plusieurs constructions dont une habitation, celle-ci présentant une vulnérabilité élevée, il conviendra de limiter les nouvelles constructions et d'interdire tout projet de construction à vocation humaine. Des mesures de sécurisation n'étant pas envisageables (affaissement vers la rivière des Galets pouvant être réactivé), à terme, il est souhaitable de délocaliser l'habitation existante de la zone.

La réalisation de nouveaux aménagements devra être effectuée dans les zones d'aléa faible. La zone d'aléa faible située au nord-est étant d'extension restreinte et

accueillant déjà à ce jour plusieurs enjeux, il conviendra de privilégier les constructions dans les zones d'aléa faible situées au centre et au sud de l'îlet.

### ***Trois Roches***

L'îlet de Trois Roches présente essentiellement des zones très exposées, d'aléa élevé et très élevé mouvements de terrain. On se reportera aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Au vu du contexte général, il convient de ne pas réaliser de nouvelles constructions dans les zones moins exposées d'aléa moyen mouvements de terrain qui sont d'extension assez restreinte.

### ***Marla et Maison Laclos***

Les zones les plus exposées, d'aléa élevé mouvements de terrain et de note de risque de niveau modéré sont localisées au niveau du secteur de Maison Laclos. On se reportera pour ces zones aux recommandations émises au paragraphe 5.2.1. Le secteur de Maison Laclos présente également une zone de vulnérabilité élevé, classée en aléa moyen mouvements de terrain. Située en recul de rempart de la rivière des Galets ou de la ravine Kerval, cette zone est difficilement sécurisable. Il est souhaitable de geler toutes nouvelles constructions à vocation d'habitation et à terme de délocaliser les enjeux existants (trois habitations) dans cette zone.

Pour le secteur de Marla, il conviendra de privilégier les nouvelles implantations d'enjeux dans les zones d'aléa faible situées coté rive gauche de la ravine de Marla.

Il apparaît souhaitable que les constructions situées en rive droite immédiate de la ravine de Marla (dans une zone d'aléa moyen mouvements de terrain associé à une note de risque élevé) soient délocalisées. Aussi, les zones d'aléa moyen qui présentent une note de risque moyenne ne devront pas accueillir de nouveaux enjeux.

Pour les zones d'aléa moyen mouvements de terrain situées coté rive gauche de la ravine de Marla et présentant des notes de risque élevé ou moyenne, la réalisation de nouvelles constructions doit être limitée. Des mesures de confortement des terrains peuvent être entreprises pour stabiliser les terrains accueillant à ce jour des habitations.

## 6. Conclusion

Cette deuxième phase de la hiérarchisation des risques de mouvements de terrain dans le Cirque de Mafate, portant sur les autres principaux îlets habités (Marla, La Nouvelle, Grand Place, Îlet à Bourse, Aurère et Îlet à Malheur), a conduit à émettre des recommandations concernant les perspectives de développement des périmètres étudiés, en intégrant notamment les paramètres suivants :

- le niveau d'exposition et les caractéristiques des phénomènes prévisibles (intensité, échéance ou période de retour, soudaineté du phénomène, etc.) ;
- les règles en vigueur à La Réunion en matière de prévention des risques ;
- les possibilités techniques de sécurisation ;
- l'importance des enjeux déjà existants et exposés au(x) phénomène(s).

Il ressort des recommandations émises les principales orientations suivantes :

**Pour les zones très exposées soumises à un aléa élevé ou très élevé** (bordure de rempart, en pied de falaise, dans le lit d'un axe d'écoulement par exemple), compte tenu des risques à court terme pour ces secteurs, il est conseillé de:

- proscrire tout nouveau projet d'habitation,
- envisager une relocalisation des habitations situées au sein de ces zones,
- geler les secteurs n'accueillant aujourd'hui aucun enjeu

**Pour les zones exposées à un aléa moyen**, il est généralement conseillé d'éviter tout nouveau projet de construction, ce qui correspond aux règles habituelles pratiquées dans les PPR pour ces zones. Seuls quelques secteurs pourraient faire l'objet d'une sécurisation afin de minimiser l'exposition des enjeux existants et d'envisager la réalisation de nouveaux projets, comme par exemple la rive gauche de la ravine Marla. On peut également citer certaines zones en aléa moyen d'Îlet à Malheur, d'Îlet à Bourse ou de Cayenne. Toutefois, les mesures de sécurisation dans ces secteurs paraissent délicates à mettre en œuvre au vu de la configuration morphologique de ces secteurs et des coûts importants prévisibles.

**Pour les zones peu exposées soumises à un aléa faible**, il est conseillé de privilégier l'implantation de nouveaux projets d'aménagement au sein de ces secteurs, en veillant à respecter les principales règles de l'art en matière de construction.



## 7. Bibliographie

GARNIER C., TAQUET J. (2011) – Hiérarchisation des risques dans le cirque de Mafate, Saint-Paul (974) – tranche ferme : Îlets de Roche Plate, des Orangers et des Lataniers. Rapport BRGM/RP-59472-FR, 67p, 47 fig., 2 tab, 4 ann.

AUBER B. (2006) – Cartographie des aléas « mouvements de terrain » du cirque de Mafate – Ile de la Réunion. Rapport BRGM/RP-54508-FR, 52p, 46 ill., 3 tabl., 5 ann.

MOMPELAT J.M., AUBIE S., CRUCHET M. (2001) – Evaluation et cartographie à l'échelle du 1/10 000 de l'aléa « mouvement de terrain » dans le cirque de Mafate, Ile de la Réunion. – Rapport BRGM/RP-50-782-FR – 2001 SGR/REU 07, 3 fig., 25 photographies, 3 ann. dont 2 h.t, 69p.

CRUCHET M. Mascareignes Géologie (mai 2012) – Etude géologique du glissement de terrain de Marla dans le cirque de Mafate - Rapport 11 MG 05, 59p.

LACQUEMENT F. et NEHLIG P. (2008) – Notice des cartes géologiques des cirques du Piton des Neiges (Ile de La Réunion, France) – Rapport Final, BRGM/RP-56730-FR, 96 p.34 ill., 3 planches hors texte.



# **Annexe 1**

## **La Nouvelle**

**(hors texte)**

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 2**

### **Ilet Cerneau**

**(hors texte)**

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 3**

### **Grand Place, Grand Place les Hauts et Cayenne**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 4**

### **Ilet au nord de Cayenne et Ilet Moutou**

**(hors texte)**

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 5**

### **Ilet à Bourse, Ilet à Bourse les Hauts et La Plaque**

**(hors texte)**

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 6**

### **Trois Roches et La Plaine aux Sables**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 7**

### **Plateau des Calumets**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 8**

### **Ilet à Malheur et Ilet à Malheur les Hauts**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 9**

### **Aurère**

**(hors texte)**

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 10**

### **Ilet Flamand et Deux Bras**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 11**

### **Ilet à Déjeuner**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 12**

### **Ilet Nourry**

**(hors texte)**

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 13**

### **Les Hirondelles**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**



## **Annexe 14**

### **Marla et Maison Laclos**

(hors texte)

- **Cartographie des aléas mouvements de terrain**
- **Cartographie des enjeux**
- **Cartes de risques – zones d'aléas élevé à très élevé**
- **Cartes de risques – zones d'aléas faible à moyen**







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

**BRGM Réunion**  
5 rue Ste-Anne  
CS 51016  
97404 St-Denis Cedex  
Tél. : 02 62 21 22 14