

52939

52939

Document public

DOCUP 2002-2006
Cadre d'intervention C5-03

Projet de recherche : Les mouvements de terrain
de grande ampleur dans les cirques
et les grandes ravines de La Réunion

Module 3 : Suivi des mouvements
Sous module 3.2 : Dynamique des remparts
Programme 2002

Suivi des déformations des remparts de La Réunion

Présentation des dispositifs du Maïdo et de Mahavel



BRGM/RP-52939^g-FR
décembre 2003



Document public

DOCUP 2002-2006
Cadre d'intervention C5-03

Projet de recherche : Les mouvements de terrain
de grande ampleur dans les cirques
et les grandes ravines de La Réunion

Module 3 : Suivi des mouvements
Sous module 3.2 : Dynamique des remparts
Programme 2002

Suivi des déformations des remparts de La Réunion

Présentation des dispositifs du Maïdo et de Mahavel

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Recherche du BRGM 02 RISR10

M. CRUCHET, N. FRISSANT
Avec la collaboration de
C. MATHON



Mots clés : Océan Indien, auscultation, remparts, fissures, Maïdo, Mahavel.

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

M. Cruchet, N. Frissant, C. Mathon (2003) – Suivi des déformations des sommets de remparts de La Réunion. Présentation des dispositifs du Maïdo et de Mahavel, 4 fig., 6 photographies, 2 ann., 17 p.

© BRGM, 2003. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre d'intervention C5.03 du DOCUP (soutenir la recherche et le développement sur les phénomènes de risques naturels), le BRGM s'est engagé dans la réalisation d'un programme de recherche sur les mouvements de terrain de grande ampleur dans les cirques et les grandes ravines à La Réunion.

Le sous-module 3.2 du programme prévoit l'étude de la dynamique des remparts, escarpements rocheux qui délimitent les cirques et les grandes ravines et dont les hauteurs peuvent atteindre, voire dépasser, 1000 m.

Deux sites pilotes ont été retenus pour étudier le comportement des remparts de La Réunion, le site du Maïdo et le site de Mahavel.

Le site pilote du Maïdo est situé sur le sommet du rempart dominant le cirque de Mafate. Il est peu actif (fissures récentes), aucun éboulement, récent, en grande masse n'y a été recensé. 6 extensomètres ont été installés sur des fissures selon un profil perpendiculaire à la bordure du rempart, en octobre 2003.

Le site pilote de Mahavel situé à l'amont de la rivière des Remparts est très actif et a été le siège de nombreux éboulements de grande ampleur, en 1904, 1965, 1996 et 2001. 7 extensomètres ont été disposés sur des fissures récentes selon un profil perpendiculaire à la bordure de l'arrachement principal, en octobre 2003.

Les équipements mis en place sont décrits dans le présent rapport.

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	5
2. LE SITE DU MAÏDO	6
2.1 SITUATION	6
2.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	7
2.3 LEVE DES FISSURES.....	8
2.4 DEFINITION DE LA METHODE D'AUSCULTATION DU REMPART	8
2.5 IMPLANTATION DU DISPOSITIF DE MESURES	10
2.6 DESCRIPTION DU DISPOSITIF D'EXTENSOMETRES.....	12
3. LE SITE DE MAHAVEL.....	13
3.1 SITUATION	13
3.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	14
3.3 LEVE DES FISSURES.....	15
3.4 DEFINITION DE LA METHODE D'AUSCULTATION DU REMPART	16
3.5 IMPLANTATION DU DISPOSITIF DE MESURES	17
3.6 DESCRIPTION DU DISPOSITIF D'EXTENSOMETRES.....	17

Liste des figures

Figure 1 - Localisation du site du Maïdo.....	6
Figure 2 : Localisation des fissures ouvertes levées sur le site du Maïdo.....	11
Figure 3 - Localisation du site de Mahavel.....	13
Figure 4 : Localisation des fissures à Mahavel.....	16

Photographies

Photographie 1 : Le rempart du Maïdo, vu d'hélicoptère	7
Photographie 2 : Fissure d'ouverture métrique sur le site du Maïdo.....	9
Photographie 3 : Fissure d'ouverture décimétrique sur le site du Maïdo	9
Photographie 4 : Vue générale du site du Maïdo	10
Photographie 5 : Niche d'arrachement du Bras de Mahavel (cliché 2002)	14
Photographie 6 : Fissure récente sur le site de Mahavel.....	15

Liste des annexes

Annexe 1 : Rapport de pose des dispositifs de mesure

Annexe 2 : Tableaux de relevés des fissures sur les sites du Maïdo et de Mahavel

1. Introduction

Dans le cadre d'intervention C5.03 du DOCUP (soutenir la recherche et le développement sur les phénomènes de risques naturels), le BRGM s'est engagé dans la réalisation d'un programme de recherche sur les mouvements de terrain de grande ampleur dans les cirques et les grandes ravines à La Réunion.

Le sous-module 3.2 du programme prévoit l'étude de la dynamique des remparts, escarpements rocheux qui délimitent les cirques et les grandes ravines et dont les hauteurs peuvent atteindre, voire dépasser, 1000 m.

Deux sites pilotes ont été retenus pour étudier le comportement des remparts de La Réunion, le site du Maïdo et le site de Mahavel.

Le choix de ces sites a été motivé, en premier lieu, par l'existence d'un réseau de fissures sur chacun d'eux.

En second lieu, nous avons recherché des contextes différents pour tenter de comprendre les mécanismes des déformations affectant ces escarpements.

En effet, le rempart du Maïdo est représentatif des remparts délimitant les cirques du massif du Piton des Neiges. Il est peu actif, aucun éboulement, récent, en grande masse n'y a été recensé.

Quant au site de Mahavel, il est situé à l'amont d'une grande ravine, la rivière des Remparts qui entaille le massif volcanique du Piton de La Fournaise. Ce dernier est très actif et a été le siège de nombreux éboulements de grande ampleur, en 1904, 1965, 1996 et 2001.

Par ailleurs, les conditions d'observations sont intéressantes du fait de l'absence de végétation et de sol, sur les deux zones de hautes altitudes, respectivement 2 250 m NGR pour le site du Maïdo et 2 350 m NGR pour le site de Mahavel.

Le programme 2002 a eu pour objectif principal de sélectionner, sur chaque site, l'endroit le plus propice pour accueillir les dispositifs de mesure.

2. Le site du Maïdo

2.1 SITUATION

Le rempart du Maïdo domine le cirque de Mafate sur sa face Ouest. Il se situe sur la commune de Saint-Paul. On y accède depuis le littoral ouest, par la route du Maïdo, puis par des sentiers gérés par l'Office National des Forêts (figure 1).

Le rempart, dénommé le Grand Bord, a une orientation globalement nord-ouest / sud-est. Il s'étend sur plus de 13 km de longueur, passant par le Piton des Orangers (alt. 1944 m) jusqu'au Grand Bénare (alt. 2898 m).

La hauteur moyenne du rempart est de 1 000 m. Elle croît du nord vers le sud, de 900 m au droit du site touristique du Maïdo à 1 200 m sous le Grand Bénare.

La pente de l'escarpement est élevée de l'ordre 120 % (angle de 50 °).

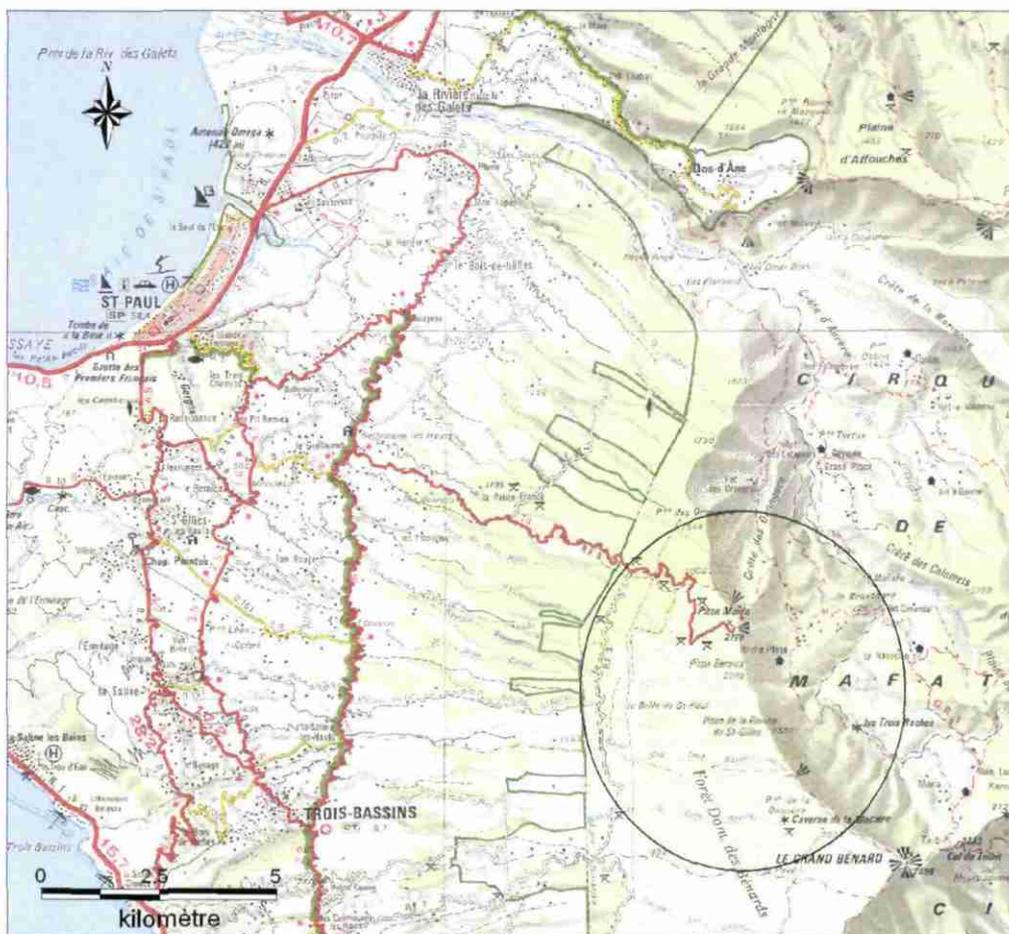


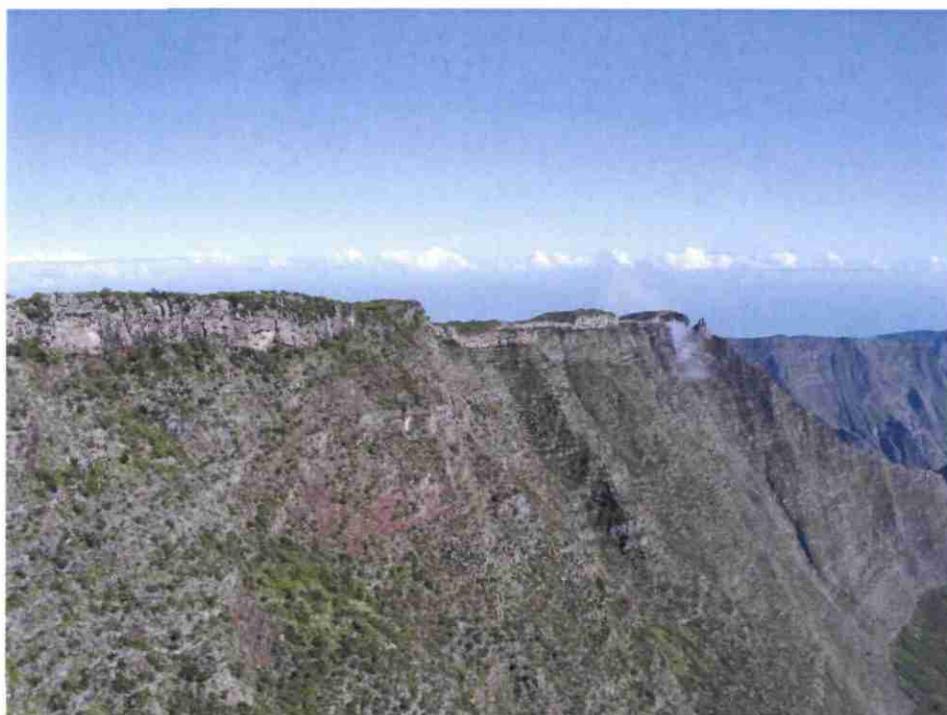
Figure 1 - Localisation du site du Maïdo
(extrait carte IGN 1/100 000)

2.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le rempart du Maïdo est constitué d'un empilement métrique de coulées de lave et de couches de scories qui présentent un pendage de 5 à 10 ° vers l'ouest (vers l'océan). Elles appartiennent aux séries de la phase III du massif du Piton des Neiges (Carte géologique G. Billard, 1974).

Une coulée de lave plus épaisse coiffe le sommet du rempart (photographie 1). Son épaisseur peut dépasser localement 20 m. Son âge serait de 221 000 ans (Kieffer et al 1993).

Ces coulées sont recouvertes par « la dalle soudée », coulée formée de fragments de lave, emballée dans un ciment compact. Elle est conservée dans les dépressions.



Photographie 1 : Le rempart du Maïdo, vu d'hélicoptère

2.3 LEVE DES FISSURES

Préalablement à l'implantation du dispositif d'auscultation de la bordure du rempart, un levé des fissures a été effectué en mai 2003.

Les observations sont portées sur des profils perpendiculaires à la bordure du rempart, sur une distance de 150 m environ.

15 profils ont été levés répartis sur un linéaire de 1500 ml, depuis le parking du Maïdo jusqu'au point de rapprochement du sentier GR et de la bordure du rempart.

Chaque fissure rencontrée a été positionnée (mesures au topofil et mesure de positionnement GPS.)

Les informations recueillies sont rassemblées dans le tableau 1 (cf. annexe 2). La largeur des fissures ainsi que leur éloignement par rapport à la bordure du rempart ont été notés. Les fissures les plus larges sont ouvertes de plus de 1 m (photographie 2). Elles sont situées généralement plus près de la bordure du rempart. Les autres fissures ont une ouverture de 5 à 50 cm (photographie 3).

2.4 DEFINITION DE LA METHODE D'AUSCULTATION DU REMPART

Les moyens à mettre en oeuvre ont fait l'objet d'une réflexion générale sur les remparts de La Réunion (cf rapport C. Mathon BRGM/RP-52887-FR).

Le parti pris a donc été de surveiller ponctuellement les mouvements éventuels des panneaux délimités par les crevasses (fissures) présentes à l'arrière des remparts, à Maïdo et Mahavel.

La première partie de l'instrumentation consiste en la pose de **capteurs de déplacements** à cheval sur les fissures en question. Il s'agit de capteurs potentiométriques de course utile 25 mm dont la précision constructeur est de $\pm 25 \mu\text{m}$, reliés à une station d'acquisition autonome (alimentée par batterie) interrogeable à distance par modem GSM.

Ces mesures d'écartement des fissures seront complétées par de la **topographie de précision** :

- nivellement de précision ($\pm 0,1 \text{ mm}$) de points situés de part et d'autre des crevasses à l'aide d'un tachéomètre de précision. Le cheminement sera rattaché à un point de référence extérieur au secteur crevassé ;
- mesures de distances horizontales (précision $\pm 1 \text{ mm}$) entre les points contrôlés et le point de référence, à l'aide d'un distancemètre électro-optique (faisceau laser infrarouge).

Ensuite, en fonction des mesures obtenues, **des mesures inclinométriques** pourront être envisagées. Des capteurs inclinométriques seront disposés entre les crevasses surveillées. Leur plage de mesure est de $\pm 10^\circ$ par rapport à la verticale, avec une précision de 1/100 de degré. Localement, 2 capteurs pourront être couplés à 90° (ou mise place de capteurs 2 axes) pour déterminer une direction exacte du mouvement par composition des 2 directions.



Photographie 2 : Fissure d'ouverture métrique sur le site du Maïdo



Photographie 3 : Fissure d'ouverture décimétrique sur le site du Maïdo

2.5 IMPLANTATION DU DISPOSITIF DE MESURES

Les levés, bien que non exhaustifs, montrent que le réseau de fissures n'est pas continu sur l'ensemble de la zone.

Des fissures ont été observées à plus de 100 m de la bordure du rempart.

Vers le profil 9, un faisceau de fissures parallèles semble délimiter une « écaille » de grande dimension, qui se termine au nord vers la Vierge (figure 2). Son extension est de 600 m.

La mise en évidence d'une telle structure a donc motivé une implantation d'un dispositif de mesure de l'ouverture des fissures au moyen d'extensomètres. Ce dispositif a pour objectif de mesurer l'activité de la déformation.

Le profil 9 a été retenu en raison de son accessibilité et de la faible fréquentation de cette zone par les promeneurs.



Photographie 4 : Vue générale du site du Maïdo

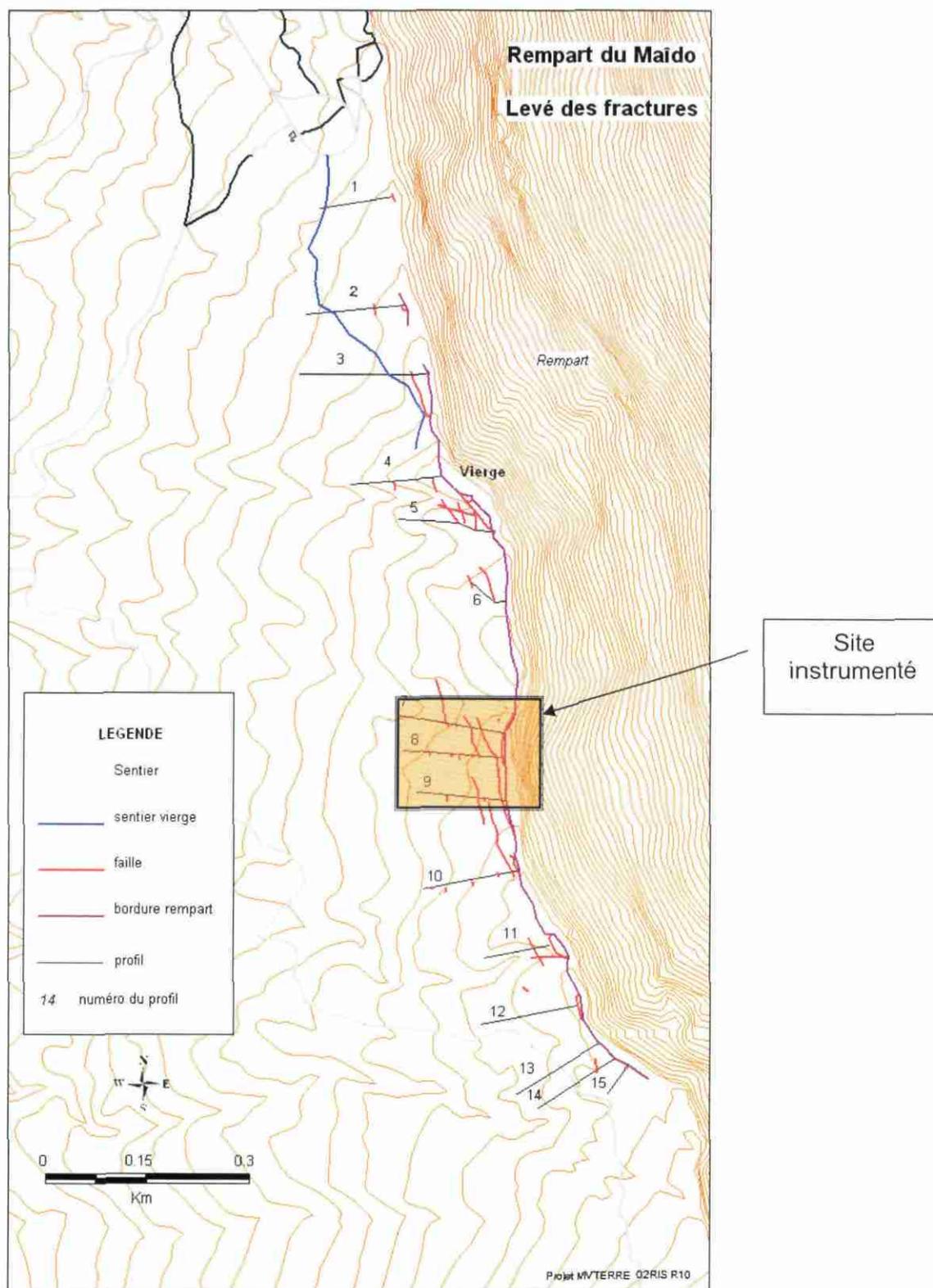


Figure 2 : Localisation des fissures ouvertes levées sur le site du Maïdo

2.6 DESCRIPTION DU DISPOSITIF D'EXTENSOMETRES

La mise en place du dispositif de mesure de l'écartement des fissures a été confiée à la société MINAUS, entreprise spécialisée dans les travaux d'instrumentation des sites naturels. Le rapport de pose est présenté en annexe 1.

Il comprend 6 capteurs implantés sur des fissures situées à des distances variables de la bordure du rempart.

Chaque capteur est relié à une centrale d'acquisition de mesure où les données sont stockées.

Une mesure est effectuée toutes les 2 heures. Les mesures ont débuté le 20 octobre 2003. Un modem permet une interrogation du système à distance.

Les caractéristiques techniques du dispositif sont présentées dans le rapport de pose.

3. Le site de Mahavel

3.1 SITUATION

Le rempart de Mahavel se situe sur le massif du Piton de La Fournaise, sur la commune de Saint-Joseph. Il surplombe le Bras de Mahavel qui rejoint la rivière des Remparts.

On y accède par la route du volcan depuis la plaine des Cafres (RN3), puis par un sentier de randonnée.

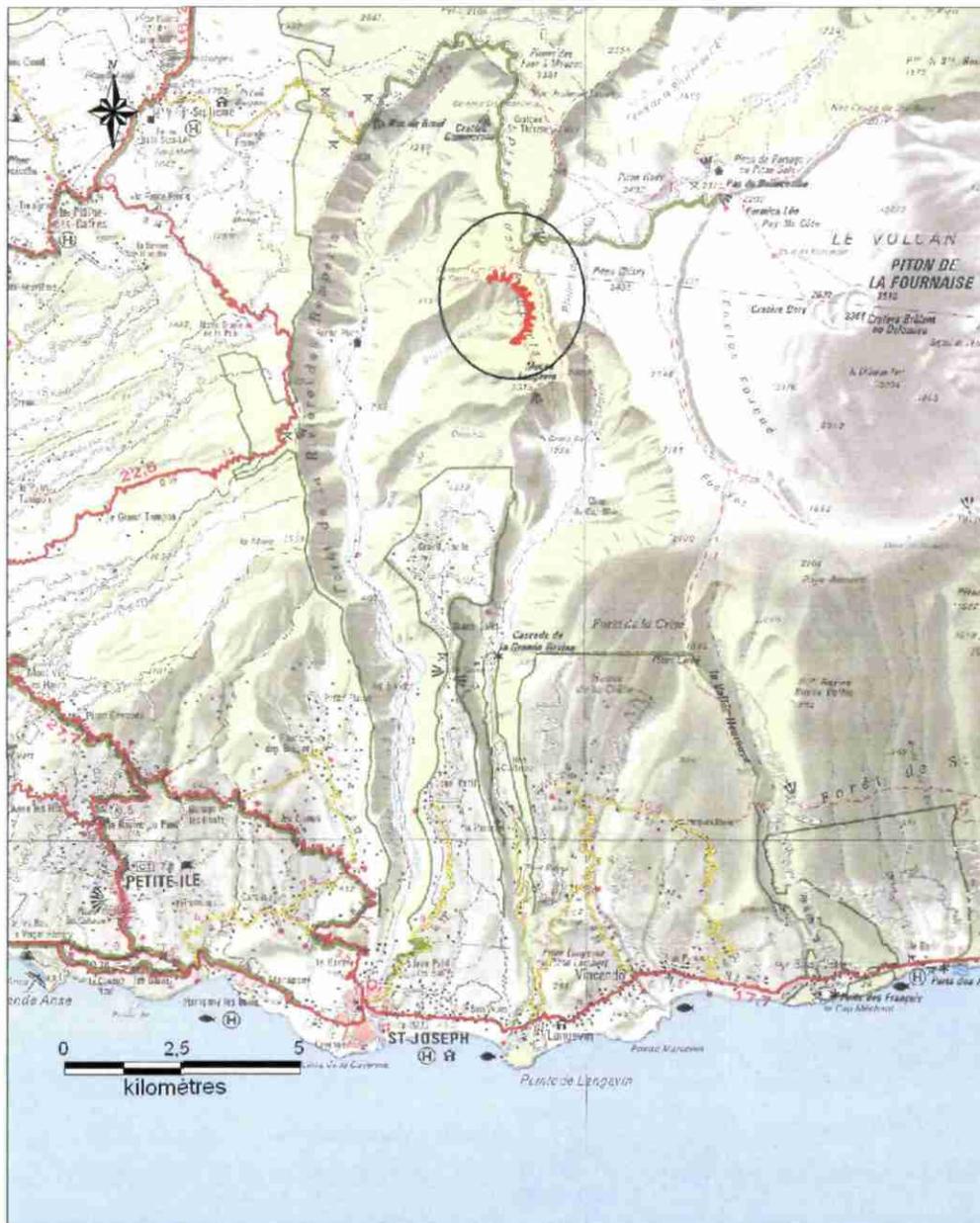


Figure 3 - Localisation du site de Mahavel

Le site se présente comme un petit amphithéâtre (ou un entonnoir), de 700 m de rayon, au fond du Bras de Mahavel. La bordure de la niche d'arrachement, en forme de demi-cercle, s'étend sur une longueur de 2 km.

L'altitude du sommet du rempart est comprise entre 2300 m et 2350 m NGR. Le dénivelé entre le sommet et le point d'incision le plus oriental du Bras de Mahavel (alt. 1590 m) est de 700 m.

La pente du rempart est de 58° dans ses parties les plus abruptes (dénivelé de 720 m pour une distance horizontale de 450 m). Dans la partie supérieure, l'inclinaison atteint localement 70°. En pied d'escarpement, la pente s'adoucit ainsi que latéralement où elle est de 45° environ.

3.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les séries constituant le rempart de Mahavel appartiennent aux formations récentes du massif de La Fournaise. Elles sont formées d'empilements réguliers de coulées de lave et de couches de scories d'épaisseur métrique.

Deux séries apparaissent clairement sur la photographie 5. Les coulées de la partie haute formant le soubassement de La Plaine des Remparts (série du bouclier récent 65 000 à 150 000 ans) présentent un pendage faible vers l'ouest. La série du volcan de Mahavel (150 000 à 300 000 ans) apparaît au pied de l'escarpement. Le contact entre les 2 séries est très redressé.



Photographie 5 : Niche d'arrachement du Bras de Mahavel (cliché 2002)

3.3 LEVE DES FISSURES

Un relevé des fissures a été effectué en mai 2003, sur toute la bordure de la niche d'arrachement. Les observations ont été effectuées sur des profils perpendiculaires à la bordure du rempart, sur une distance de 150 m environ.

16 profils ont été levés répartis sur le pourtour de la niche d'arrachement, soit sur un linéaire de 2000 ml.

Chaque fissure rencontrée a été positionnée (mesures au topofil et mesure de positionnement GPS).

Les informations recueillies sont rassemblées dans le tableau 2 (cf. annexe 2). La largeur des fissures ainsi que leur éloignement par rapport à la bordure du rempart ont été notés.

Les fissures discontinues sont globalement parallèles à la bordure de l'escarpement principal. Dans le détail, elles présentent un tracé en dents de scie.



Photographie 6 : Fissure récente sur le site de Mahavel

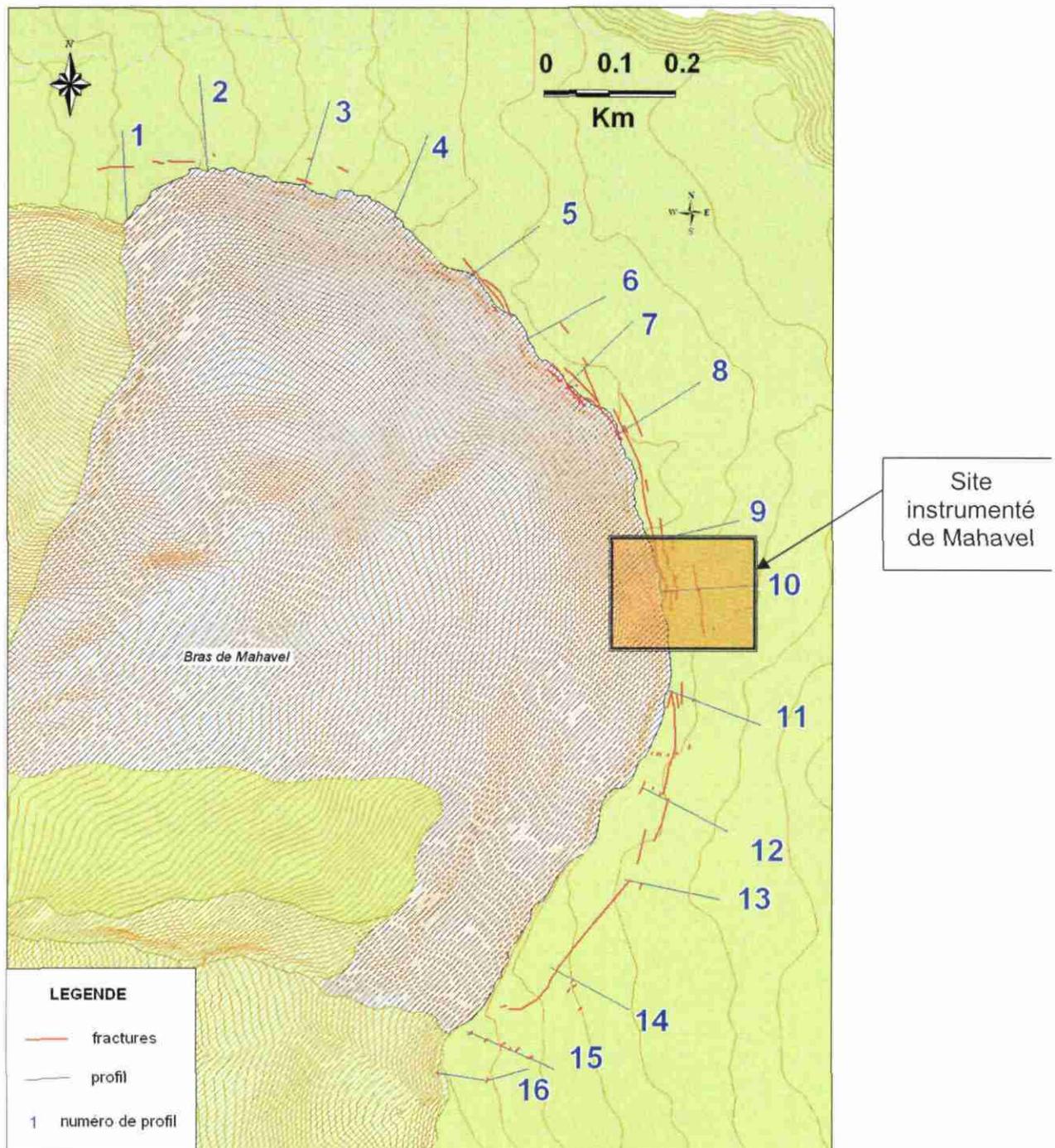


Figure 4 : Localisation des fissures à Mahavel

3.4 DEFINITION DE LA METHODE D'AUSCULTATION DU REMPART

Les moyens mis en œuvre sur le site de Mahavel sont les mêmes que ceux retenus pour le site du Maïdo. Le dispositif comprend :

- un réseau de 7 extensomètres ;

- une centrale d'acquisition reliée par modem.

Il est prévu de réaliser des contrôles topographiques de précision selon des profils perpendiculaires à la bordure de la niche d'arrachement.

3.5 IMPLANTATION DU DISPOSITIF DE MESURES

Les levés réalisés en mai 2003 ont permis de préciser la position de la bordure de la niche d'arrachement, en particulier vers le sud.

Le report des données sur le fond IGN 1997 (BD TOPO, IGN) montre qu'une partie du rempart a disparu sur une longueur de 400 m et sur une largeur moyenne de 50 m environ (cf. profils 10 à 15 sur la figure 4). La surface disparue est estimée à plus de 20 000 m².

Le recul de la bordure du rempart est à rattacher à l'éboulement de janvier 2001. Le volume avait été estimé à 1 million de m³ et avait donné naissance à une coulée de débris quelques mois plus tard, dans le cours amont de la rivière des remparts.

Le réseau de fissures au nord du panneau effondré en 2001 est apparu dense et marqué, évoquant une activité forte des fissures. Pour cette raison, il a été décidé d'équiper les fissures au droit du profil 10.

3.6 DESCRIPTION DU DISPOSITIF D'EXTENSOMETRES

La mise en place du dispositif de mesure de l'écartement des fissures a été confiée à la société MINAUS, entreprise spécialisée dans les travaux d'instrumentation des sites naturels. Le rapport de pose est présenté en annexe 1.

Il comprend 7 capteurs implantés sur des fissures situées à des distances variables de la bordure du rempart. Chaque capteur est relié à la centrale d'acquisition de mesure où les données sont stockées.

Les caractéristiques techniques du dispositif sont présentées dans le rapport de pose.

Annexe 1

Rapport de pose des dispositifs de mesure

SOMMAIRE

PREAMBULE – LES SITES INSTRUMENTES

CHAPITRE 1 – LES SIMILITUDES ENTRE LES DEUX SITES

1. OBJECTIF

2. LES EQUIPEMENTS

2.1 Le matériel

2.2 La configuration de montage

2.3 Implantation sur les sites

2.3.1 Implantation sur le site du MAÏDO

2.3.2 Implantation sur le site de MAHAVEL

2.3.3 Le site du MAÏDO

2.3.4 Le site de MAHAVEL

2.4 Détails des capteurs

3. LES DIFFERENTS CABLAGES

3.1 Le câblage des fissuromètres

3.2 Câblage du témoin de charge des batteries

3.3 Câblage de l'alimentation des divers organes de la station

3.4 Câblage du multiplexeur

CHAPITRE 2 – LES PARTICULARITES DU SITE DU MAÏDO

1 LES CAPTEURS

1.1 Photographie du capteur F5 – MA1

1.2 Photographie du capteur F4 – MA2

1.3 Photographie du capteur F1 – MA1

1.4 Photographie du capteur F2 – MA4

1.5 Photographie du capteur F3 – MA5

1.6 Photographie du capteur F6 – MA6

2 CONVERSION DES VALEURS ET LIMITES

3 LES PREMIERES MESURES

4 LA STATION DE MESURE

4.1 Intérieur de la station dans son environnement

4.2 Données complémentaires sur la station

- 4.2.1 Charge du modem GSM
- 4.2.2 Les références du matériel
- 4.2.3 Les ouvertures des fenêtres de communication
- 4.2.4 Recollement des horaires de la centrale
- 4.2.5 Démarrage des mesures

5 LIMITES DES BATTERIES

6 PROGRAMMATION DE LA FENETRE DE COMMUNICATION DU GSM

CHAPITRE 3 – LES PARTICULARITES DU SITE DE MAHAVEL

1 LES CAPTEURS

- 1.1 Photographie du capteur MH1
- 1.2 Photographie du capteur MH2
- 1.3 Photographie du capteur MH3-A
- 1.4 Photographie du capteur MH3-B
- 1.5 Photographie du capteur MH3-C
- 1.6 Photographie du capteur MH3-D
- 1.7 Photographie du capteur MH4

2 CONVERSION DES VALEURS ET LIMITES

3 LES PREMIERES MESURES

4 LA STATION DE MESURE

- 4.1 Intérieur de la station dans son environnement
- 4.2 Données complémentaires sur la station

- 4.2.1 Charge du modem GSM
- 4.2.2 Les références du matériel
- 4.2.3 Les ouvertures des fenêtres de communication
- 4.2.4 Recollement des horaires de la centrale
- 4.2.5 Démarrage des mesures

ANNEXE :

- FICHE SUR LA CENTRALE OSIRIS,
- FICHE SUR LE MODEM GSM,
- FICHE SUR LES FISSUROMETRES.

LISTES DES DOCUMENTS :

Les figures :

- n°1 : Implantation géographique des sites,

- n°2 : Configuration du MAÏDO,
- n°3 : Configuration de MAHAVEL,
- n°4 : Implantation au MAÏDO,
- n°5 : Implantation à MAHAVEL,
- n°6 : Câblage des fissuromètres,
- n°7 : Câblage du témoin de charge des batteries,
- n°8 : Câblage des alimentations.

Les photographies :

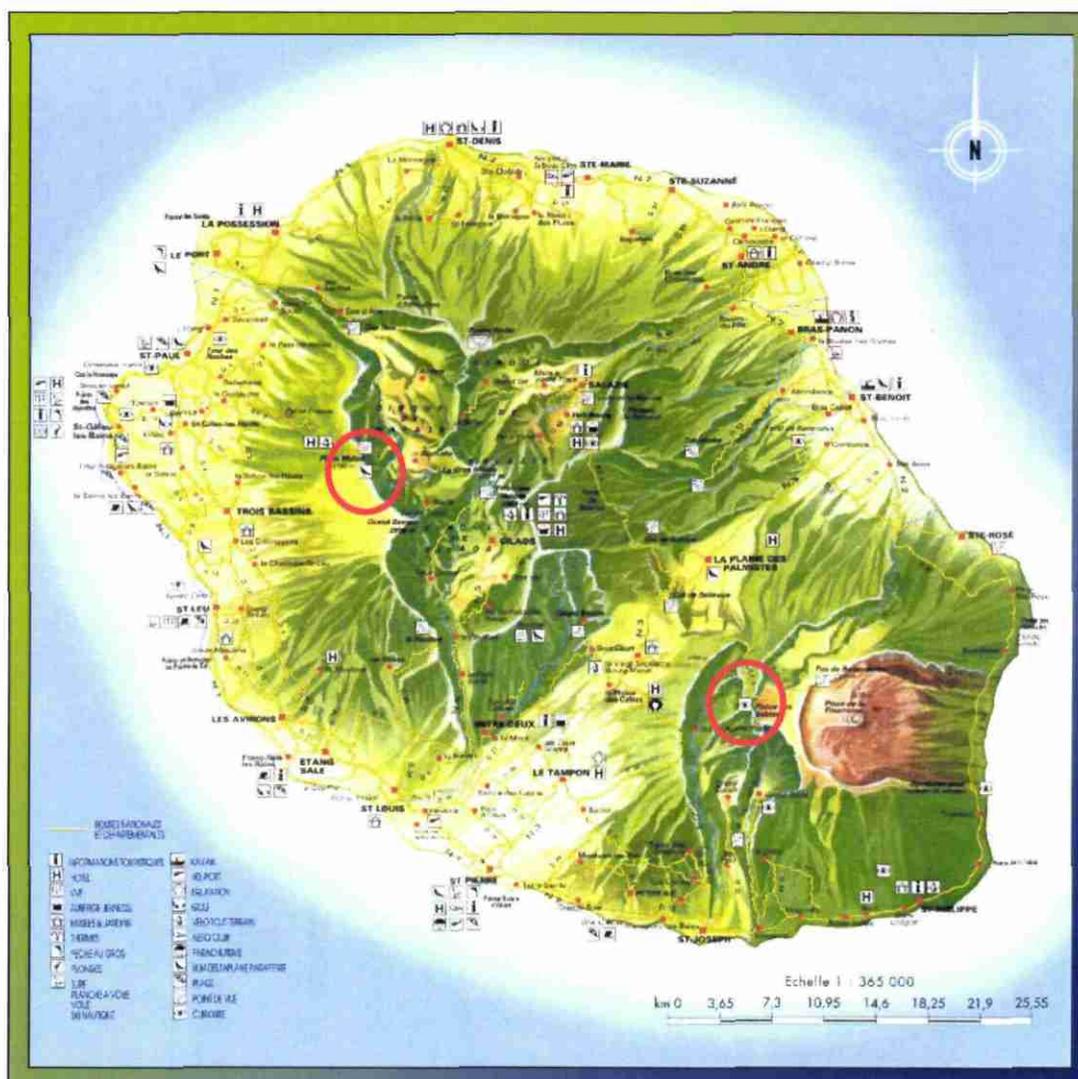
- n°1 : Vue depuis le bord du site du MAÏDO,
- n°2 : Vue du site à instrumenter de MAHAVEL,
- n°3 : Les capteurs avant le câblage en fonction du site,
- n°4 : Les fixations des capteurs,
- n°5 : Les protections contre le rayonnement solaire,
- n°6 et 7 : Capteur F5-MA1,
- n°8 et 9 : Capteur F4-MA2,
- n°10 et 11 : Capteur F1-MA3,
- n°12 : Capteur F2-MA4,
- n°13 : Capteur F3-MA5,
- n°14 : Capteur F3-MA5,
- n°15 : Capteur F6-MA6,
- n°16 : Capteur F6-MA6,
- n°17 et 18 : Station du MAÏDO,
- n°19 : Capteur MH1,
- n°20 : Capteur MH2,
- n°21 : Capteur MH3-A,
- n°22 : Capteur MH3-B,
- n°23 : Capteur MH3-C,
- n°24 : Capteur MH3-D,
- n°25 : Capteur MH4,
- n°26 et 27 : Station de MAHAVEL.

Les tableaux :

- n°1 : Câblage du multiplexeur,
- n°2 : Conversion des valeurs physiques,
- n°3 : Tension des régulateurs en atelier,
- n°4 : Premières mesures,
- n°5 : Conversion des valeurs physiques,
- n°6 : Tension des régulateurs en atelier,
- n°7 : Premières mesures,

PREAMBULE – LES SITES INSTRUMENTES

Les sites instrumentés sont les sites du MAÏDO et MAHAVEL de l'île de LA REUNION. Le premier est situé sur la crête Ouest du cirque de MAFATE, au nord de la forêt domaniale des Bénares, à une altitude d'environ 2200 m. Le second est situé sur le route du Volcan (Piton de la Fournaise), en bordure de la plaine des Remparts et au dessus d'une des branches de la vallée des Remparts, à une altitude d'environ 2400 m.



- figure 1 – implantation géographique des sites -

L'intervention s'est déroulée du 14 au 25 octobre 2003. Les participants à cette instrumentation étaient :

- M. Marc CRUCHET
- M. Nicolas FRISSANT
- M. Dominique MEILLIER

BRGM LA REUNION,
BRGM LA REUNION,
MINAUS S.A.

CHAPITRE 1 – LES SIMILITUDES ENTRE LES DEUX SITES

1. OBJECTIF

L'objectif était d'équiper en parallèle, deux sites qui présentent des fissures ouvertes à la verticale de falaises de grandes hauteurs. Les points d'implantation sont situés approximativement au milieu de grands ensembles de fissures, s'étendant de part et d'autre sur des centaines de mètres. Les volumes concernés par les fissures sont très conséquents, de l'ordre de plusieurs dizaines de millions de m³.

2. LES EQUIPEMENTS

Les deux sites sont équipés à l'identique. Il n'y a que le nombre de capteurs qui change, à savoir 6 capteur sur le site du MAÏDO et 7 capteurs sur le site de MAHAVEL.

2.1 Le matériel

Chaque station comporte :

- une armoire métallique de type électrique,
- un ensemble de supports d'armoire,
- une centrale d'acquisition multi-capteurs de type OSIRIS d'origine IRIS Instruments,
- un multiplexeur de 16 voies de mesure d'origine ROCK-TEST,
- un modem GSM data d'origine IRIS Instruments,
- deux batteries de type automobile d'environ 45 Ah.

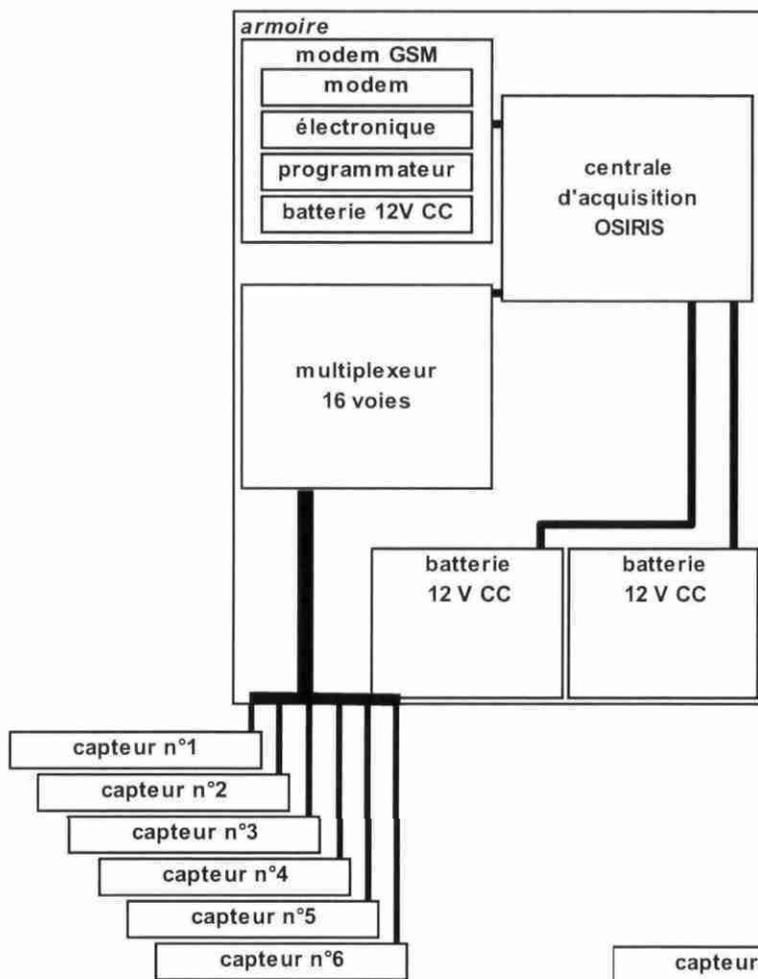
A cette station est ajouté, les capteurs :

- six fissuromètres de course 25 mm d'origine MINAUS S.A. pour le site du MAÏDO,
- sept fissuromètres de course 25 mm d'origine MINAUS S.A. pour le site de MAHAVEL.

En annexe sont présentées les fiches techniques des différents matériels employés dans la constitution des solutions instrumentées.

2.2 La configuration de montage

Dans chaque cas, la configuration de montage est la même, à la différence du nombre de capteurs :



- figure 3 – configuration MAHAVEL -

2.3 Implantation sur les sites

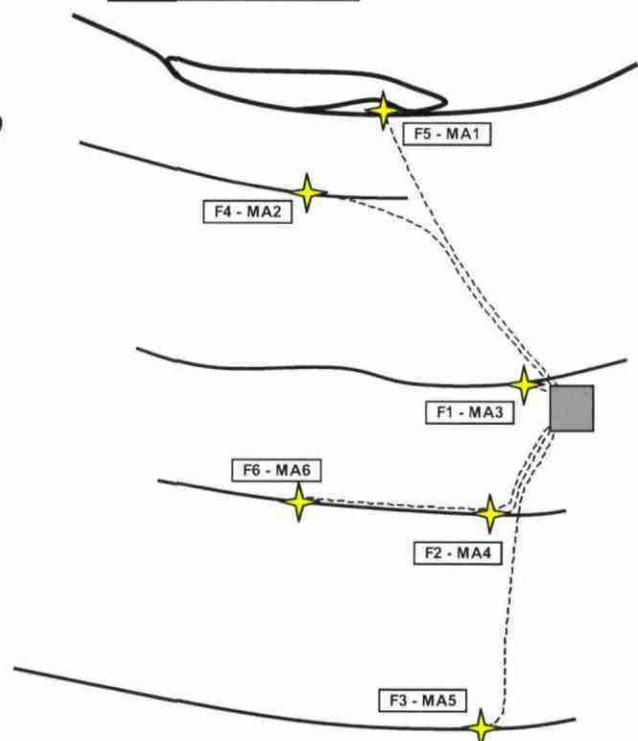
2.3.1 Implantation sur le site du MAÏDO

Le carré gris représente la station de mesure.

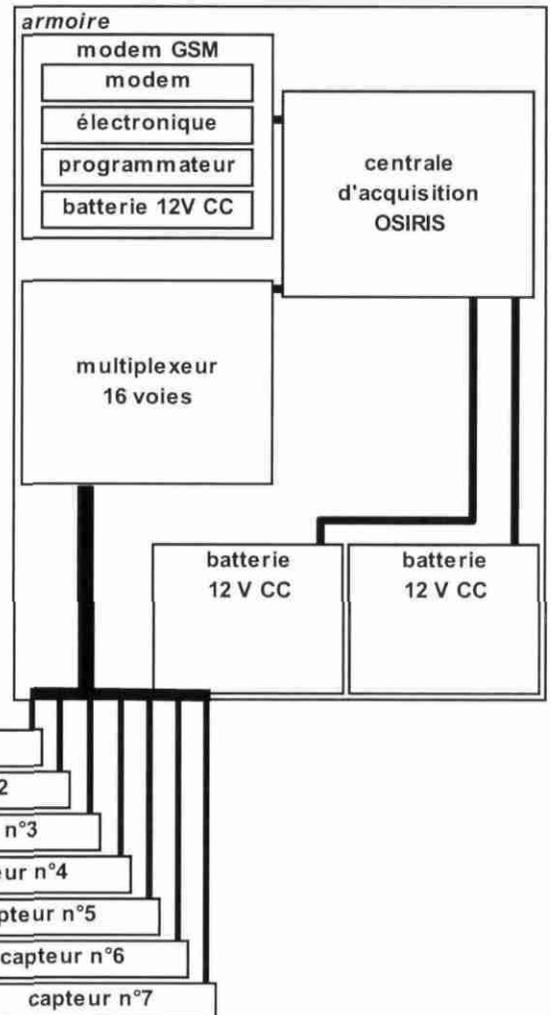
Les points d'implantation sont :

- F5 – MA1,
- F4 – MA2,
- F1 – MA3,
- F2 – MA4,
- F3 – MA5,
- F6 – MA6.

- figure 4 – implantation au MAÏDO -



- figure 2 : configuration MAÏDO -

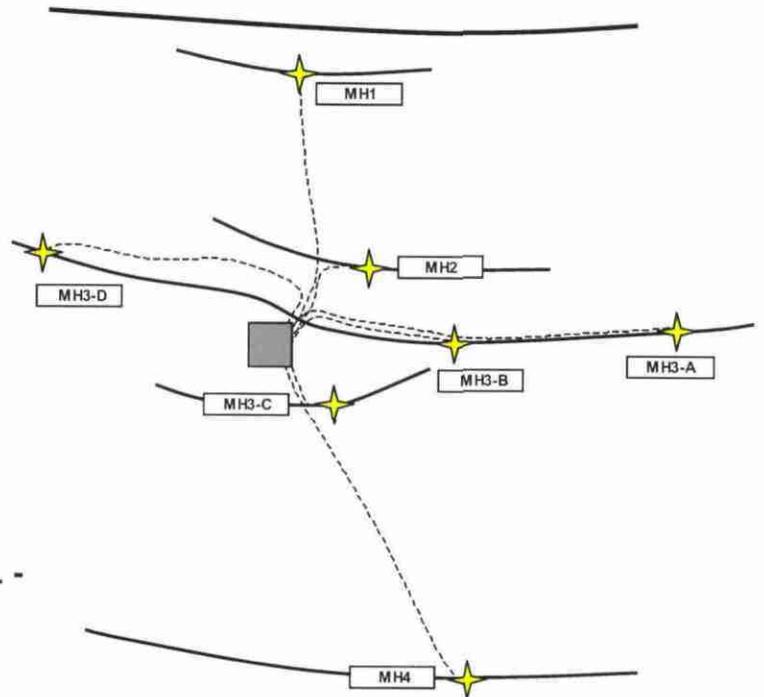


2.3.2 Implantation sur le site de MAHAVEL

Le carré gris représente la station de mesure.

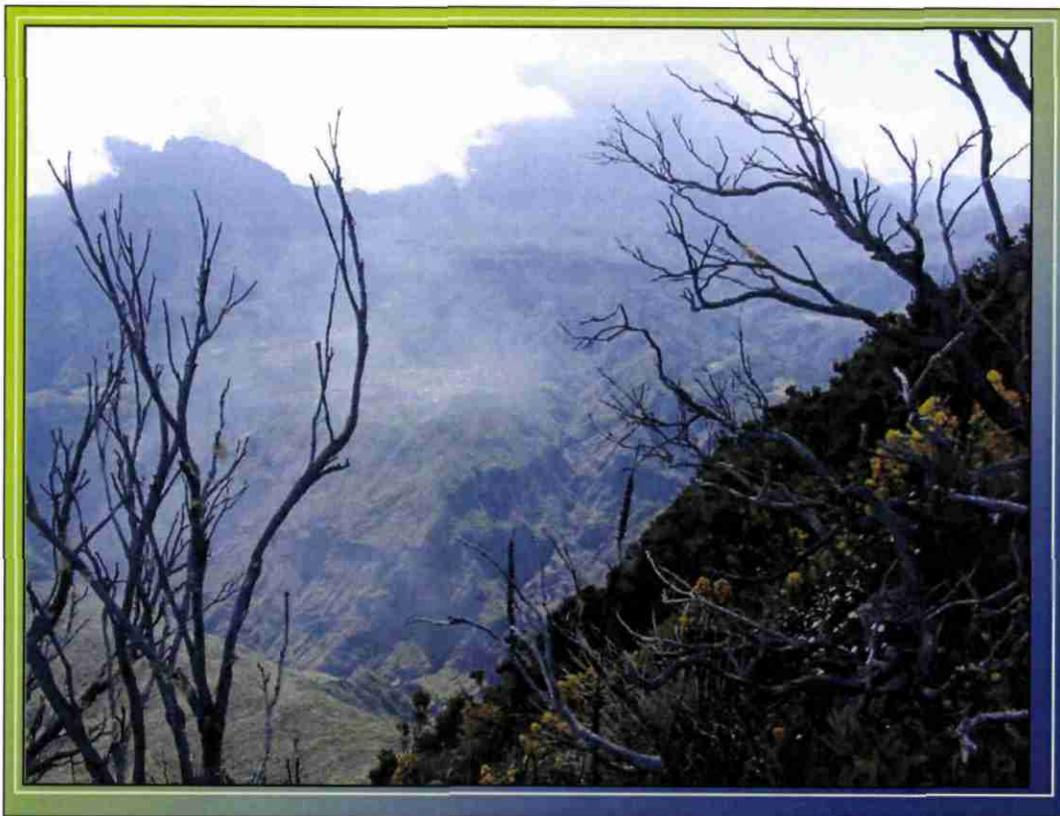
Les points d'implantation sont :

- MH1,
- MH2,
- MH3A,
- MH3B,
- MH3C,
- MH3D,
- MH4.



- figure 5 – implantation à MAHAVEL -

2.3.3 Le site du MAÏDO



- photographie 1 – vue depuis le bord du site du MAÏDO -

2.3.4 Le site de MAHAVEL



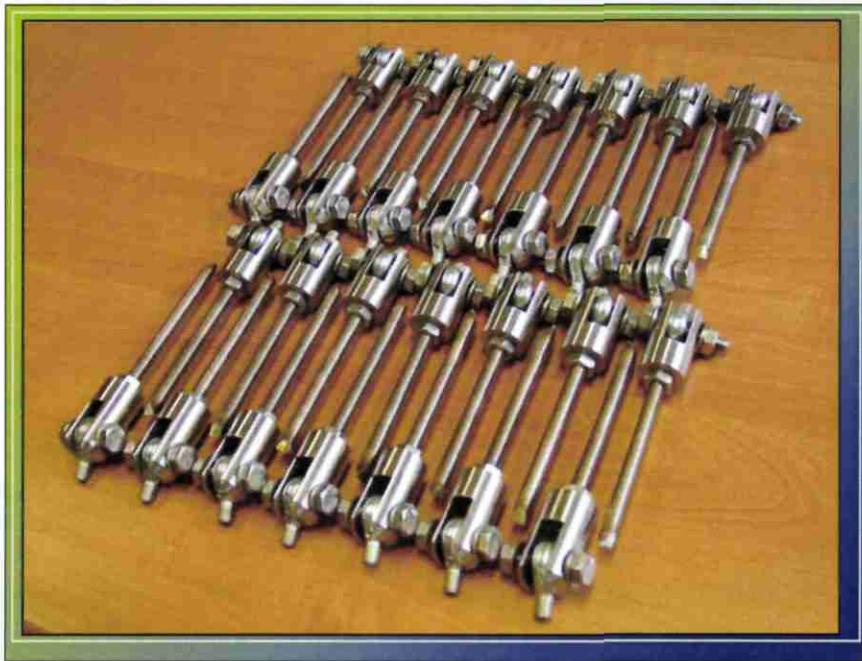
- photographie 2 – vue du site à instrumenter de MAHAVEL -

2.4 Détails des capteurs

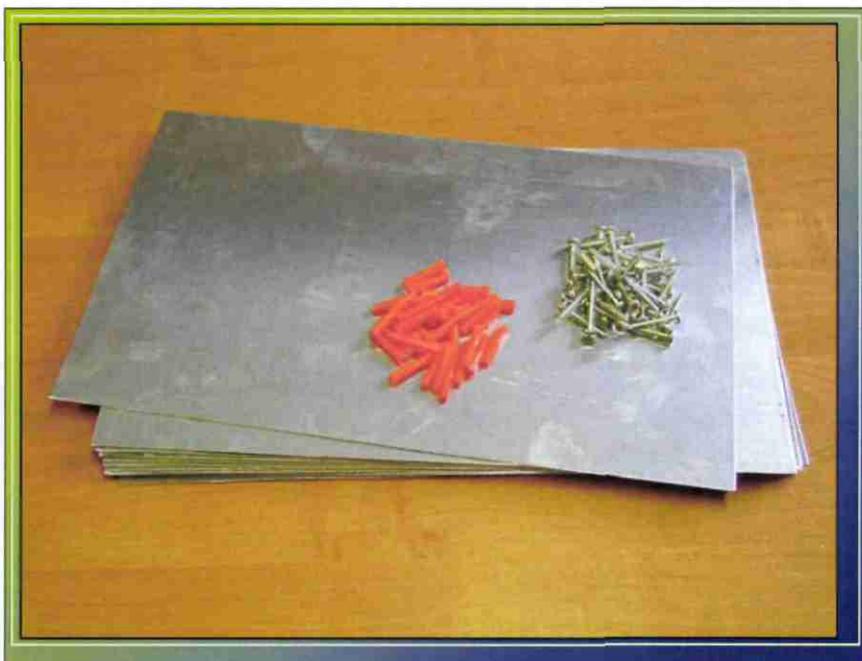
Chaque point instrumenté est équipé d'un fissuromètre, de fabrication MINAUS S.A., de supports de fixation, d'une protection contre le rayonnement direct du soleil.



- photographie 3 – Les capteurs avant le câblage en fonction du site -



- photographie 4 – Les fixations des capteurs -



- photographie 5 – Les protections contre le rayonnement solaire -

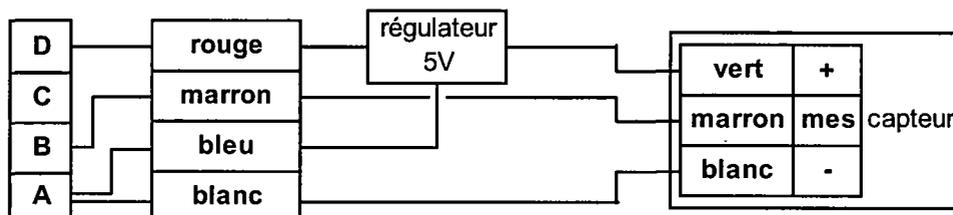
Les protections contre le rayonnement direct du soleil sont façonnées en fonction de chaque point de mesure. Dans les chapitres suivants sont incorporés les photographies des capteurs avec leurs protections.

3. LES DIFFERENTS CABLAGES

Les capteurs sont alimentés en 5V CC régulé. L'étalonnage est fait en fonction de la course réelle et intègre la longueur de câble électrique associée à chaque capteur sur site.

3.1 Le câblage des fissuromètres

Les fissuromètres sont câblés pour qu'un allongement lié à une ouverture de la fissure corresponde à une augmentation de la valeur de tension délivrée par le capteur.

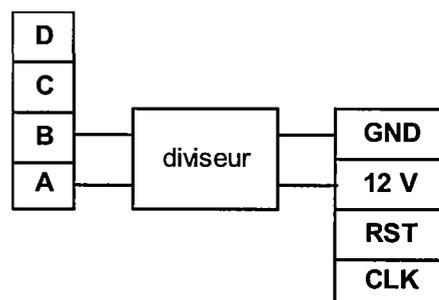


- figure n°6 : câblage des fissuromètres -

3.2 Câblage du témoin de charge des batteries

Le témoin de charge des batteries rend compte de l'état général de toutes les batteries incluses dans la station, c'est-à-dire :

- des 2 batteries de 12 V CC, 45 Ah (environ),
- de la batterie interne du 12 V CC, 7 Ah du GSM.

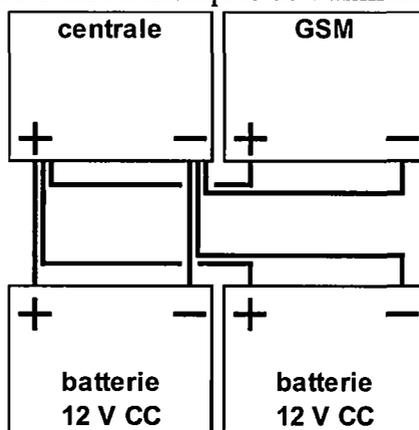


- figure n° 7 : câblage du témoin de charge des batteries -

Pour des raisons de sécurité et de compatibilité au niveau des voies de mesure en tension, la valeur lue correspond à la moitié de la valeur réelle dans les batteries.

3.3 Câblage de l'alimentation des divers organes de la station

Le schéma ci-dessous reproduit les caractéristiques de l'alimentation :



- figure n°8 : câblage des alimentations -

3.4 Câblage du multiplexeur

La correspondance entre le bus de mesure et le multiplexeur est la suivante :

câble	destination
bleu	CLK IN
vert	RST IN
rouge	12 V IN
tresse	GND IN
noir	COM A
blanc	COM B
jaune	COM C
marron	COM D

- tableau n° 1 : câblage du multiplexeur -

CHAPITRE 2 – LES PARTICULARITES DU SITE DU MAÏDO -

1. LES CAPTEURS

1.1 Photographies du capteur F5 – MA1



Ce capteur est équipé d'une rallonge. Il est situé le plus près du bord de la falaise (voir plan d'implantation de la figure 4)



- photographies n° 6 et 7 – capteur F5 – MA1 -

1.2 Photographies du capteur F4 – MA2



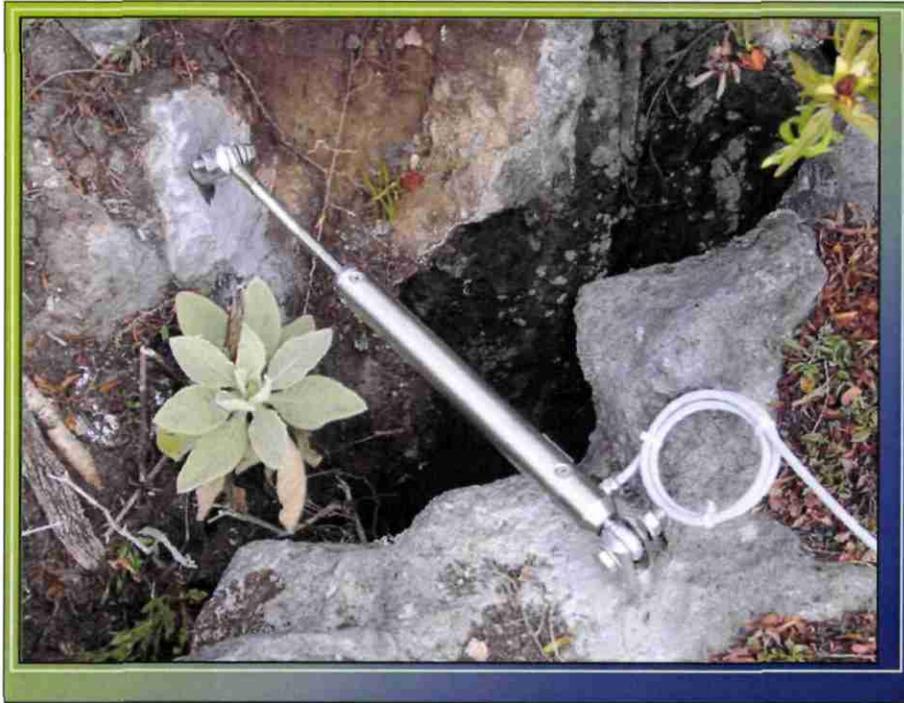
« je crois que je suis assis
du mauvais côté »

- photographies n°8 et 9 – capteur F4 – MA2 -

Ce capteur n'a pas été équipé d'une rallonge. Il est situé très proche du chemin qui borde la falaise. Il a été enterré sous environ 10 cm de terre, après avoir été recouvert d'une protection amovible en forme de gouttière.

Ce capteur peut éventuellement être utilisé pour corriger une variation thermique locale.

1.3 Photographies du capteur F1 – MA3

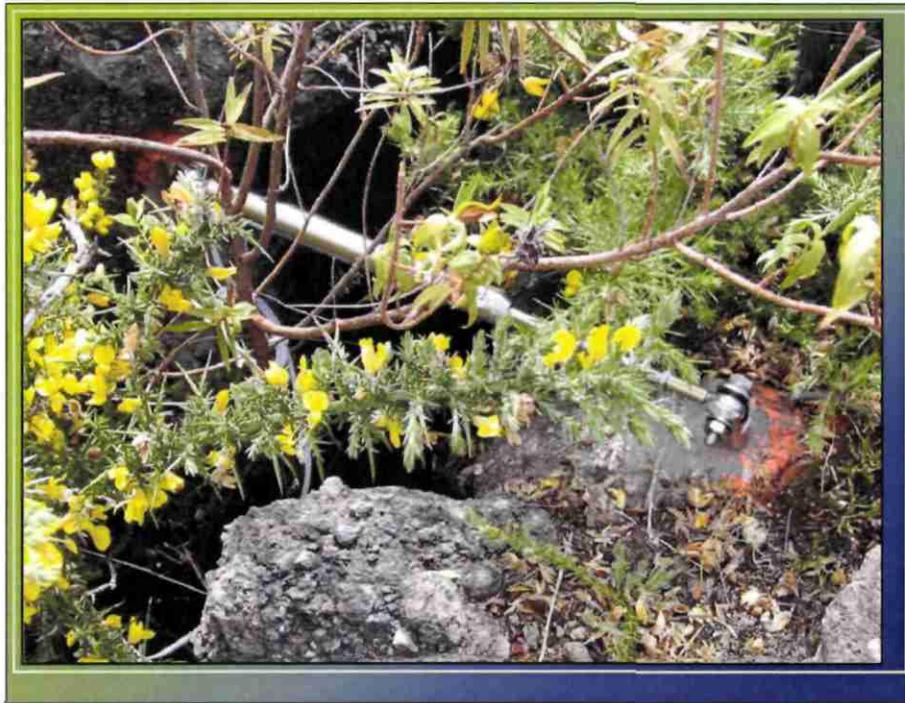


- photographies n°10 et 11 – capteur F1 – MA3 -

Ce capteur est équipé d'une petite allonge collée. Il est placé à proximité de la station d'acquisition. On notera que toutes les protections contre le rayonnement direct du soleil sont façonnées en fonction des différentes configurations naturelles autour des capteurs.

Les fixations rotulées s'adaptent à toutes les configurations possibles de pose. Elles sont scellées chimiquement directement dans la roche.

1.4 Photographie du capteur F2 – MA4



- photographie n° 12 – capteur F2 – MA4 -

Ce capteur n'a pas été protégé d'un capot contre le rayonnement solaire car il est bien protégé dans la végétation.

1.5 Photographies du capteur F3 – MA5



- photographie n° 13 – capteur F3 – MA5 -



- photographie n° 14 – capteur F3 – MA5 -

Equipé également d'une rallonge, il a été protégé par une tôle roulée. C'est le capteur le plus éloigné en distance depuis la centrale, mais aussi du bord de la falaise, soit environ 100 m depuis le bord de la falaise.

1.6 Photographies du capteur F6 – MA6



- photographie n° 15 – capteur F6 – MA6 -

Ce capteur, contrairement aux autres, est placé de façon éloigné de « l'alignement » des autres capteurs. Il est placé sur la même fissure que le capteur F2 – MA4, soit à environ 60 du bord de la falaise, sur une ligne parallèle au bord de la falaise.



- photographie n° 16 – capteur F6 – MA6 -

Comme la majorité des capteurs, il a été équipé d'une protection contre le rayonnement direct du soleil.

2. CONVERSIONS DES VALEURS ET LIMITES

Le tableau suivant donne la conversion des valeurs physiques, ici la tension en valeur de déplacement linéaire. La conversion est de la forme $Y = A X + B$.

La conversion donne directement l'allongement de la fissure en mm, c'est-à-dire l'ouverture de la fissure, en fonction de la tension mesurée en mV. (Attention, la tension délivrée par la centrale est en mV).

Voie de mesure	destination	conversion
1	Capteur MA1 Ref : 03-08-033	A = 0.00531593 B = -0.02646365
2	Capteur MA3 Ref : 03-08-032	A = 0.00520454 B = -0.00603451
3	Capteur MA4 Ref : 03-08-031	A = 0.00540549 B = -0.01046482
4	Capteur MA5 Ref : 03-08-030	A = 0.00512017 B = -0.02075267

5	Capteur MA6 Ref : 03-08-027	A = 0.00503989 B = -0.00640359
8	Tension d'alimentation	A = 2 B = 0
16	Capteur MA2 Ref : 03-08-029	A = 0.00524389 B = -0.01585306

- tableau n°2 : conversion des valeurs physiques -

ATTENTION : Lorsque que la valeur de la tension d'alimentation est de 11.5 V, il est impératif de procéder à un échange des batteries de 12V (45 Ah environ). La batterie du GSM pourra rester en place (attention aux courts-circuits). Elle sera chargée par la nouvelle paire de batteries.

A titre indicatif, les tensions des régulateurs mesurées en atelier juste avant l'installation sur le site sont données dans le tableau 3. Elles peuvent servir de correction en cas d'échange.

VOIE	TENSION (V)
1	5.01
2	4.98
3	5.01
4	5.00
5	5.07
16	4.99

- tableau n°3 : tension des régulateurs en atelier -

3. LES PREMIERES MESURES

Les premières mesures notées sur site sont :

Voie de mesure	destination	conversion
1	Capteur MA1	9.06 mm
2	Capteur MA3	10.73 mm
3	Capteur MA4	9.68 mm
4	Capteur MA5	8.08 mm
5	Capteur MA6	13.85 mm
8	Tension d'alimentation	12.21 V CC
16	Capteur MA2	11.96 mm

- tableau n°4 : premières mesures -

Dans la conversion, il est inutile de dépasser le 1/100 de mm pour la mesure d'allongement, dans la mesure ou la précision du capteur est de +/- 25 microns soit 0.1 % PE.

Les valeurs du tableau 4 sont les mesures dites de zéro. Elles ont été enregistrées dans un environnement brumeux, sans soleil direct.

4. LA STATION DE MESURE

4.1 La station de mesure dans son environnement



- photographies n° 17 et 18 -
- station du MAÏDO -

Ce compartiment de la station comporte les 2 batteries d'alimentation de 12 V CC (45 Ah environ), le multiplexeur 16 voies, la centrale de mesure, et le modem GSM.

4.2 Données complémentaires sur la station

4.2.1 Charge du modem GSM

La batterie du modem a été chargée juste avant la pose de la station. La tension aux bornes de la batterie interne du GSM a été contrôlée à 12.56 V CC.

4.2.2 Les références du matériel

- modem GSM, IRIS Instruments n° 32,
- centrale OSIRIS, IRIS Instruments n° 61,
- multiplexeur ROCTEST, IRIS Instruments n° 10302209,
- numéro de téléphone du GSM : 06.92.76.61.76.

4.2.3 Les ouvertures de fenêtres de communication

- le mardi de 16h00 à 17h30 (heure de La Réunion), soit de 14h00 à 15h30 heure d'été en métropole,
- le vendredi de 16h00 à 17h30 (heure de La Réunion), soit de 14h00 à 15h30 heure d'été en métropole.

4.2.4 Recollement des horaires avec la centrale

A la date du 21.10.03 à 11 h :05 :03 pour la centrale, il est en réalité, pour la même date : 14 h :46 (heure française), pour la centrale OSIRIS.

Le modem GSM a été calé sur l'heure française.

4.2.5 Démarrage des mesures

Le démarrage des mesures a été fixé à 12h00 le 21.10.03.

5. LIMITE DES BATTERIES

La limite des batteries est de 11.5 V CC. Au-delà, les batteries souffrent et le risque de perte de communication existe avec la centrale.

6. PROGRAMMATION DE LA FENETRE DE COMMUNICATION DU GSM

Les indications suivantes sont extraites de la notice livrée avec le modem GSM.

Information résumée sur la programmation de la fenêtre de communication à partir du programmeur intégré dans le modem GSM.

En cas de problème, faire un RESET avec une pointe de stylo sur la touche RESET.

Programmation de l'horloge interne :

- maintenir le petit bouton horloge enfoncé,
- introduire l'heure par impulsions sur le bouton heure, de même pour les minutes.

Programmation des fenêtres :

- appuyer sur CH1 pour avoir accès à une des 20 mémoires et relâcher,
- un fond d'écran apparaît,
- choisir les jours sur la semaine des fenêtres, par exemple pour une ouverture de la fenêtre de communication,
- indiquer l'heure et les minutes,
- utiliser le symbole de petite main, pour activer la fenêtre, un cercle ouvert avec un point noir dedans (pas de point noir = fermeture de la fenêtre de communication),
- pour ouvrir une autre fenêtre appuyer à nouveau sur CH1 ;

ATTENTION :

Attendre 90 secondes pour que les mémoires programmées soient enregistrées.

Vérification :

La vérification de la programmation des fenêtres se fait à l'aide de la touche CH1.

CHAPITRE 3 – LES PARTICULARITES DU SITE DE MAHAVEL -

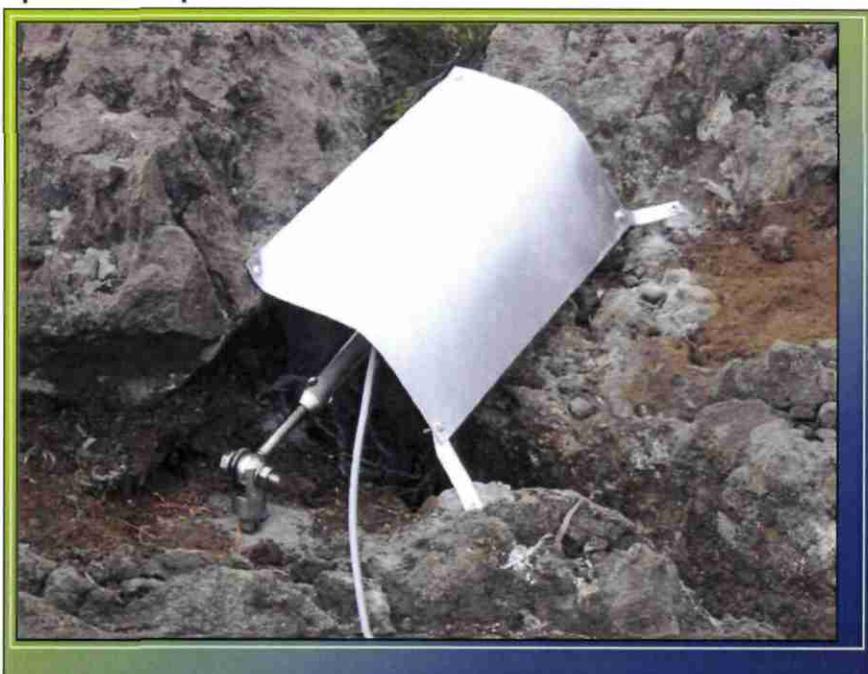
1 LES CAPTEURS

1.1 Photographie du capteur MH1



- photographie n° 19 – capteur MH1 -

1.2 Photographie du capteur MH2



- photographie n° 20 – capteur MH2 -

Les capteurs MH1 et MH1 ne sont pas équipés de rallonges. Ce sont les capteurs les plus proches du bord de la falaise. Les protections solaires sont adaptées aux points d'implantation.

1.3 Photographie du capteur MH3-A



- photographie n° 21 – capteur MH3-A -

1.4 Photographie du capteur MH3-B



- photographie n° 22 – capteur MH3-B -

Le capteur MH3-B est équipé d'une petite rallonge collée.

1.5 Photographie du capteur MH3-C



- photographie n° 23 – capteur MH3-C -

Il n'y a pas de rallonge non plus pour ce capteur. La roche a été particulièrement dure à forer.

1.6 Photographie du capteur MH3-D



- photographie n° 24 – capteur MH3-D -

On note sur certaines fissures des décalages aussi dans le plan vertical.

1.7 Photographie du capteur MH4



- photographie n° 25 – capteur MH4 -

Ce capteur est le plus éloigné du bord de la falaise, il est situé à environ 65 m du bord. Il est protégé par un buisson.

2. CONVERSIONS DES VALEURS ET LIMITES

Le tableau suivant donne la conversion des valeurs physiques, ici la tension en valeur de déplacement linéaire. La conversion est de la forme $Y = A X + B$.

La conversion donne directement l'allongement de la fissure en mm, c'est-à-dire l'ouverture de la fissure, en fonction de la tension mesurée en mV. (Attention, la tension délivrée par la centrale est en mV).

Voie de mesure	destination	conversion
1	Capteur MH1 Ref : 03-08-023	A = B =
2	Capteur MH2 Ref : 03-08-026	A = B =
3	Capteur MH3-A Ref : 03-08-021	A = B =
4	Capteur MH3-B Ref : 03-08-024	A = B =
5	Capteur MH3-C Ref : 03-08-025	A = B =

6	Capteur MH3-D Ref : 03-08-028	A = B =
7	Capteur MH4 Ref : 03-08-022	A = B =
8	Tension d'alimentation	A = 2 B = 0

- tableau n°5 : conversion des valeurs physiques -

ATTENTION : Lorsque que la valeur de la tension d'alimentation est de 11.5 V, il est impératif de procéder à un échange des batteries de 12V (45 Ah environ). La batterie du GSM pourra rester en place (attention aux courts-circuits). Elle sera chargée par la nouvelle paire de batteries.

A titre indicatif, les tensions des régulateurs mesurées en atelier juste avant l'installation sur le site sont données dans le tableau 3. Elles peuvent servir de correction en cas d'échange.

VOIE	TENSION (V)
1	
2	
3	
4	
5	
16	

- tableau n°6 : tension des régulateurs en atelier -

3. LES PREMIERES MESURES

Les premières mesures notées sur site sont :

Voie de mesure	destination	conversion
1	Capteur MA1	mm
2	Capteur MA3	mm
3	Capteur MA4	mm
4	Capteur MA5	mm
5	Capteur MA6	mm
8	Tension d'alimentation	V CC
16	Capteur MA2	mm

- tableau n°7 : premières mesures -

Dans la conversion, il est inutile de dépasser le 1/100 de mm pour la mesure d'allongement, dans la mesure où la précision du capteur est de +/- 25 microns soit 0.1 % PE.

Les valeurs du tableau 7 sont les mesures dites de zéro. Elles ont été enregistrées dans un environnement brumeux, sans soleil direct.

4. LA STATION DE MESURE

4.1 La station de mesure dans son environnement



- photographie n° 26 et 27 -
- station de MAHAVEL -

Ce compartiment de la station comporte les 2 batteries d'alimentation de 12 V CC (45 Ah environ), le multiplexeur 16 voies, la centrale de mesure, et le modem GSM.

4.2 Données complémentaires sur la station

4.2.1 Charge du modem GSM

La batterie du modem a été chargée juste avant la pose de la station. La tension aux bornes de la batterie interne du GSM a été contrôlée à V CC.

4.2.2 Les références du matériel

- modem GSM, IRIS Instruments n° 31,
- centrale OSIRIS, IRIS Instruments n° 60,
- multiplexeur ROCTEST, IRIS Instruments n° 10302206,
- numéro de téléphone du GSM : 06.92.76.62.47.

4.2.3 Les ouvertures de fenêtres de communication

- le mardi de 16h00 à 17h30 (heure de La Réunion), soit de 14h00 à 15h30 heure d'été en métropole,
- le vendredi de 16h00 à 17h30 (heure de La Réunion), soit de 14h00 à 15h30 heure d'été en métropole.

4.2.4 Recollement des horaires avec la centrale

A la date du 21.10.03 à 11 h :05 :03 pour la centrale, il est en réalité, pour la même date : 14 h :46 (heure française), pour la centrale OSIRIS.

Le modem GSM a été calé sur l'heure française.

4.2.5 Démarrage des mesures

Le démarrage des mesures a été fixé à 12h00 le 21.10.03.

ANNEXE



OSIRIS

- Acquisition de données pour l'**auscultation d'ouvrages** (édifices, ponts, tunnels, barrages, ...) ou la **surveillance environnementale** ou d'unité de production (eaux de surface, déchets, mines, ...).
- Centrale d'acquisition de 1 à plus de 500 voies de mesures
- Système autonome de mesures in situ
- Compatible avec tout type de capteurs
- Seuils programmables, alarmes et transmission

PRESENTATION

Le système d'acquisition et d'enregistrement de données OSIRIS permet d'effectuer des mesures provenant de tout type de capteurs. L'élément de base du système est composé d'une unité centrale et de modules de multiplexage à 8 ou 16 voies d'entrée; 32 modules peuvent être interconnectés à la centrale.

Le système est conçu de telle manière que n'importe quel type de capteur (capteur à sortie tension, courant, pont, demi-pont, quart de pont, corde vibrante, compteur, fréquencemètre, etc) peut être connecté à n'importe quelle voie d'un module. L'affectation du type de capteur à une voie donnée se fait par logiciel au moment de l'initialisation de la centrale.

De plus chaque centrale peut être connectée à une autre centrale par l'intermédiaire d'une série isolée. Ceci permet la gestion de l'ensemble du réseau par une liaison unique de la centrale maître (téléphonique, série). Le réseau peut s'étendre sur une distance de l'ordre du kilomètre, en fonction du type de câbles et de capteurs utilisés.

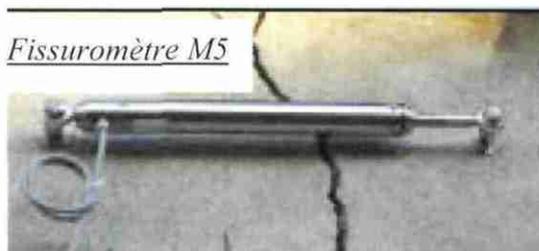
Une alarme provenant d'une voie d'un module quelconque peut remonter le réseau jusqu'à la centrale maître.

APPLICATION

Le système d'enregistrement OSIRIS est conçu pour l'auscultation des ouvrages de génie civil (chantiers, édifices, ponts, barrages, tunnels, etc).

Son caractère modulaire lui permet de s'adapter à la dimension de chaque ouvrage et au nombre de points de surveillance installés. Tous les types de capteurs classiques peuvent y être connectés pour effectuer des mesures de:

pression, déplacement, déformation, rotation, inclinaison, température, force, débit, pluie, humidité, ...



*Fissuromètre relié à une centrale OSIRIS
Etude de la chute d'une voûte*



IRIS Instruments

1 avenue Buffon – BP 6007 – 45060 ORLEANS CEDEX 2

tél: 02 38 63 81 00 – télécopie: 02 38 63 81 82

e-mail: irisins@attglobal.net - <http://www.iris-instruments.fr>

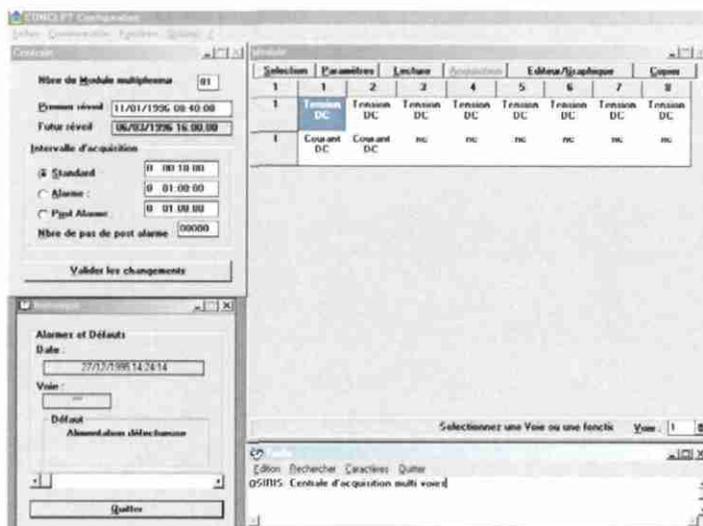
CARACTERISTIQUES D'UNE CENTRALE

- Fonctionnement: -40 à 70 °C
- Entièrement programmable par PC ou par transmission modem
- Dimensions: 27 x 16 x 27 cm
- Etanchéité IP 65
- Poids: 4,5 Kg
- Alimentation 12 V, bloc secteur
- Sortie alarme modem, relais (30V, 1A ou 220V, 0,15A)
- Composition d'une centrale:
 - Carte Unité centrale
 - Microcontrôleur 16bits
 - Eprom 32 Ko
 - Gestion de bus 2 Mo
 - Horloge temps réel
 - Liaison externe RS 232
 - Liaison externe pour communication entre plusieurs OSIRIS
 - Liaison série interne: modem Teliris
 - Carte mémoire : RAM jusqu'à 1Mo
 - Carte alimentation
 - Cartes d'acquisition (à choisir dans la liste ci dessous)

CARTES D'ACQUISITION D'UNE CENTRALE

- Carte de mesure tension et courant 0-20mA ou 4-20mA
 - Entrée tension +/- 10V
 - Entrée courant 25 mA max.
 - Résolution 20 bits
- Carte de mesure à entrée différentielle
 - Entrée Pont, demi-pont, quart de pont
 - Résolution 24 bits
- Carte compteur
 - Gestion de boîtier de comptage
- Carte fréquencemètre
- Carte mesure de corde vibrante

Chaque carte est facilement connectable dans la centrale OSIRIS grace au emplacement enfichable. La gestion des voies de mesure est ensuite configurer par l'utilisateur à l'aide du logiciel CONCEPT.



Concept
Logiciel complet de gestion et de visualisation

Iriscom



- Modem GSM
- Télégestion
- Télétransmission

Iriscom est un modem de type GSM qui permet de gérer les centrales de la gamme IRIS Instruments tels que MADOFIL, MADOFIL µS et MADOSIX .

Le logiciel sous Windows® **MADOSOFT Pro** permet une gestion complète de la centrale via l' IRISCOM

- Définition des voies
- Programmation
- Transfert des données
- Paramétrage des capteurs
- Test
- Visualisation graphique

Caractéristiques techniques :

- Sur le modem IRISCOM, deux câbles sont présents :
 - 1 câble d'antenne
 - 1 câble (7 broches) pour la connexion à la centrale
- Alimentation par batterie 12V / 6.5 Ah
- Une horloge interne permet le réveil du GSM à des heures prédéterminées pour des appels depuis un PC équipé d'un modem standard et permet ainsi d'économiser significativement la batterie interne.
- L'autonomie de la batterie interne est d'environ 1 an, pour une connexion de 1 heure par semaine.
- La vitesse de communication requise pour l'utilisation du modem IRISCOM est de 9600 bauds. L'entrée en communication avec une centrale via ce type de modem est assurée par le logiciel MADOSOFT



modèle

Fissuromètre - dynamomètre

- Mesure des déplacements des structures
- robuste et étanche
- Sortie tension 0 - 5 V
- utilisation réversible

Le **FISSUROMETRE-DYNAMOMETRE M5** est utilisé pour mesurer :

- l'ouverture des fissures des sites naturels ou des ouvrages,
- la convergence en carrière ou en tunnel.

Le **FISSUROMETRE-DYNAMOMETRE M5** est constitué d'un potentiomètre linéaire à piste plastique. Il est conditionné dans une mécanique en acier inoxydable 316 L.

La mécanique du capteur apporte une grande liberté de mouvement. Il est équipé d'un manchon à billes étanche et de deux ressorts de rappel protégés dans le corps du capteur. Le capteur accepte une déformation latérale sans dommage pour la mécanique et pour l'élément de mesure interne. Au repos, l'axe est rétracté pour le protéger.

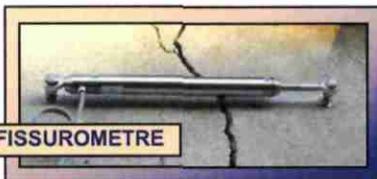
Le **FISSUROMETRE-DYNAMOMETRE M5** est étanche à l'immersion.

Le **FISSUROMETRE-DYNAMOMETRE M5** peut très facilement passer de la version fissuromètre à la version convergencemètre.

Le **FISSUROMETRE-DYNAMOMETRE M5** peut être monté avec une longue base en fil invar ou fibre kevlar, ou encore allongé avec des tiges filetées.

EXEMPLES D'UTILISATIONS:

- **OUVRAGES:**
 - surveillance des fissures
 - convergence en tunnel
- **CARRIERES:**
 - surveillance des failles
 - surveillance de la convergence
- **RISQUES NATURELS:**
 - surveillance des talus de terre
 - surveillance des couloirs à risques



VERSION FISSUROMETRE

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES:

- **PRINCIPALES CARACTERISTIQUES:**
 - 25 mm à 300 mm, par pas de 25 mm
 - résolution : infinie
 - précision: +/- 0.1% à 0.025 % suivant le modèle
 - résistance en standard: 5 Kohms
 - répétitivité : <= 0.01 %
 - température d'utilisation: - 55 à + 125 °C
 - durée de vie: 50 10⁶ manœuvres
 - indice de protection: IP 68
 - type de signal: tension
- **ACQUISITION:**
 - centrale de la gamme IRIS
 - autre système de mesure de tension
- **ALIMENTATION:**
 - 5 V CC conseillé pour toute la gamme
 - consommation: 1 mA maximum
- **DIMENSIONS:**
 - diamètre: 30 mm
 - longueur minimale hors tout: 347 mm
- **MATIERE:**
 - Inox 316 L

en standard
25 mm
de course



VERSION CONVERGENCEMETRE



MINAUS S.A.

Avenue du parc floral
45100 Orléans

Téléphone : +33 (0)2 38 69 03 00

Télécopie : +33 (0)2 38 69 16 18

email : minaus@libertysuf.fr

modèle déposé

MESURE DES DEPLACEMENTS

INSTRUMENTATION

Annexe 2

Tableau récapitulatif des relevés de fissures sur le site du Maïdo et de Mahavel

Rempart du Maïdo - Levé des fractures

N° du profil	N° fissure	Distance au rempart	Largeur	Direction	Direction du pendage	Rejet vertical apparent	Nature lithologique des terrain affleurant	Colmatage de la fracture	Remarques et points GPS	Début du profil coté rempart	Fin du profil	Profil levé le
1	1	5 m	20 cm	N10E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	Nombreuses diaclases à partir de 28 m du rempart			23/04/2003
2	1	5.5 m	10	N30E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	Diaclase : départ en biais du rempart			23/04/2003
2	2	47 m	20	N350E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS 68 - Extension sur 10 m au nord et 15 m au sud			23/04/2003
3	1	0 m à 2 m	40	N330E N200E	Vertical	0	coulée de lave (à vérifier)	Non colmatée	Bloc de 4 x 3 x 4 m prêt à tomber	GPS 76	GPS 69	23/04/2003
3	2	17 m	10	N30E	Vertical	0	(à vérifier)	Colmatée par endroit	Faible extension latérale	GPS 76	GPS 69	23/04/2003
3	3	23 m	10 cm à 1m	N155E	Vertical	0	coulée de lave (à vérifier)	Non colmatée	GPS : 70,71,72,73,74,75	GPS 76	GPS 69	23/04/2003
4	1	15 m	3 m	N0E	Vertical	0	coulée de lave	Colmatée	La fracture n'est pas nette, mais elle est dans l'alignement d'une fracture franche	GPS 77 statue de la vierge	GPS 78	23/04/2003
5	1	42 m	30 cm	N140E	Vertical	0	Tuf soudé	En grande partie colmatée	GPS 196	GPS 195	GPS 197	29/04/2003
5	2	56 m	1 m	N140E	Vertical	0	Tuf soudé	Colmatée		GPS 195	GPS 197	29/04/2003
5	3	112 m					Tuf soudé		Zone de fractures verticales et peu ouvertes sur le versant nord du talweg	GPS 195	GPS 197	29/04/2003
5	4	153 m	50 cm	N10E	Vertical	0	Tuf soudé	En partie colmaté sur le versant nord du talweg	GPS 197	GPS 195	GPS 197	29/04/2003
5	5	42 m	1 m	N10E	Vertical	0	Tuf soudé	Partie supérieure colmatée	Sur le versant nord du talweg	GPS 195	GPS 197	29/04/2003
5	6	24 m	25 cm	N150 E	Vertical	0	Tuf soudé		GPS 199	GPS 195	GPS 197	29/04/2003
6	1	23 m	40 cm	N140 E	Vertical	0	Tuf soudé	Quasi - totalement colmatée	GPS : 184,185,186,187,188 - Fracture très profonde	GPS 190	GPS 189	29/04/2003
6	2	63 m	20 cm	N0E	Vertical	0	Tuf soudé	Partie supérieure colmatée	GPS : 189 - visible sur 20 m	GPS 190	GPS 189	29/04/2003
7	1	0 à 3 m	0.8 m	N0E	Vertical	0	Tuf soudé ou lave ?	Non colmatée	Prêt à tomber	GPS 157	GPS 180	29/04/2003
7	2	13 m	5 cm	N20E	Vertical	0	Tuf soudé ou lave ?	Colmatée	GPS : 175	GPS 157	GPS 180	29/04/2003
7	3	44 m	0.8 m	N0E	Vertical	0	Tuf soudé ou lave ?	Non colmatée	GPS : 176	GPS 157	GPS 180	29/04/2003
7	4	60 m	30 cm	N120 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 177	GPS 157	GPS 180	29/04/2003
7	5	80 m	5 cm	N20E	Vertical	0	Tuf soudé	Colmatée	GPS : 178	GPS 157	GPS 180	29/04/2003
7	6	91 m	10 cm	N150 E	Vertical	0	Tuf soudé	Colmaté par endroit	GPS : 179	GPS 157	GPS 180	29/04/2003
8	1	3 m	50 cm	N160E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 150, 146, 156, 157 - Fracture de grande taille	GPS 150	GPS 154	25/04/2003
8	2	14 m	40 cm	N 10 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 155 - Fracture de grande taille	GPS 150	GPS 154	25/04/2003
8	3	33 m	20 cm	N 170 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 151	GPS 150	GPS 154	25/04/2003
8	4	46 m	15 cm	N 0 E	Vertical	0	Tuf soudé	Partie supérieure couverte par sol		GPS 150	GPS 154	25/04/2003
8	5	63 m	10 cm	N 10 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 152	GPS 150	GPS 154	25/04/2003
8	6	73 m	10 cm	N 0 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée		GPS 150	GPS 154	25/04/2003
8	7	106 m	15 cm	N 0 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 153	GPS 150	GPS 154	25/04/2003
9	1	9 m	50 cm	N 170 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144 fracture très pro	GPS 133	GPS 137	25/04/2003
9	2	27 m	15 cm	N 170 E	Vertical	0	Tuf soudé	Recouverte par sol		GPS 133	GPS 137	25/04/2003
9	3	30 m	20 cm	N 170 E	Vertical	0	Tuf soudé	recouvert par sol	GPS : 134	GPS 133	GPS 137	25/04/2003
9	4	41 m	25 cm	N 10 E	Vertical	0	Tuf soudé	Non colmatée	GPS : 135, 147, 148, 149 - Fracture de grande taille et profonde	GPS 133	GPS 137	25/04/2003
9	5	100 m	15 cm	N 10 E	Vertical	0	Tuf soudé	Recouverte par sol	GPS : 136	GPS 133	GPS 137	25/04/2003
10	1	7 m	30 cm	N130E N170 E	Vertical	0	Coulée de lave (?)	Partiellement recouverte par sol	GPS : 112, 113, 114, 130	GPS 110	GPS 120	25/04/2003
10	2	15 m	30 cm	N170 E	Vertical	0	Coulée de lave (?)	Partiellement recouverte par sol	GPS : 115, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128	GPS 110	GPS 120	25/04/2003
10	3	34 m	10 cm	N 30 E	Vertical	0	Coulée de lave (?)	Partiellement recouverte par sol	GPS : 116	GPS 110	GPS 120	25/04/2003

Rempart du Maïdo - Levé des fractures

10	4	75 m	10 cm	N 10 E	Vertical	0	Coulée de lave (?)	Partiellement recouverte par sol	GPS : 117 - Pas d'extension latérale visible	GPS 110	GPS 120	25/04/2003
10	5	119 m	10 cm	?	Vertical	0	Tuf soudé	Partiellement recouverte par sol	GPS : 118 - Fracture visible sur 50 cm de long seulement	GPS 110	GPS 120	25/04/2003
10	6	138 m	1 cm	N 90 E	Vertical	0	Tuf soudé	Colmatée	GPS : 119 - Fracture ou diaclase ?	GPS 110	GPS 120	25/04/2003
11	1	0.5 m	10 cm	N0E	Vertical	0	Coulée de lave	/		GPS 90	GPS 91	23/04/2003
11	2	0 à 8 m	1 m	N0E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	Fracture profonde (7m) - une grande écaille est prête à tomber	GPS 90	GPS 91	23/04/2003
11	3	36 m	30 cm	N160E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	Fracture profonde	GPS 90	GPS 91	23/04/2003
12	1	4.2 à 8 m	400	N0E	Vertical	0	coulée de lave et tuf consolidé (?)	En partie colmatée	Très grosse fracture de 44 m de long - GPS : 87,85	GPS 85	GPS 86	23/04/2003
13									Pas de fracture sur ce profil	GPS 84		23/04/2003
14	1	36 m	30 cm	N30 E	Vertical	0	?	En partie recouverte par sol	GPS : 100 - 23 m de long vers le nord	GPS 101	GPS 102	25/03/2003
15	1	1 m		N 130 E	Vertical	0	Coulée de lave (?)			GPS 82		23/04/2003



Rempart de Mahavel - Levé des fractures

N° du profil	N° fissure	Distance au rempart	Largeur	Direction	Direction du pendage	Rejet vertical apparent	Nature lithologique des terrain affleurant	Colmatage de la fracture	Remarques et points GPS	Début du profil coté rempart	Fin du profil	Profil levé le
1	1	4 m	15 cm	N60E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	Fracture ouverte sur le rempart	GPS 231	GPS : 233	21/05/2003
1	2	8 m	20 cm	N90E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée		GPS : 231	GPS : 233	21/05/2003
1	3	12 m	15 cm	N70E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée		GPS : 231	GPS : 233	21/05/2003
1	4	91 m	40 cm	N110E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	GPS : 232, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242 - Fracture s'élargissant vers le sud	GPS : 231	GPS : 233	21/05/2003
2	1	25 m	5 cm	N150E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	GPS : 244 - Fracture ou fissure de refroidissement ?	GPS : 243	GPS : 245	21/05/2003
3	1	13 m	10 cm	N150E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	GPS : 247, 248	GPS : 246	GPS : 250	21/05/2003
3	2	55 m	15 cm	N130E	Vertical	0	Sol	Partie supérieure en partie colmatée	GPS : 249	GPS : 246	GPS : 250	21/05/2003
4	-	-	-	-	-	-	-	-	Pas de Fracture	GPS : 253	GPS : 254	21/05/2003
5	1	13 m	10 cm	N0E	Vertical	0	Coulé de lave	En partie colmatée	GPS : 256 - 50 cm d'extension latérale	GPS : 255	GPS : 265	21/05/2003
5	2	17 m	50 cm à 1m	N140E	Vertical	0	Coulé de lave	Colmatée à 1 m de profondeur	GPS : 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263 - Fracture large et peu profonde	GPS : 255	GPS : 265	21/05/2003
6	1	56 m	5 cm	N150E	Vertical	0	Sol	Non colmatée	Peut être récent ?	GPS : 273	GPS : 276	21/05/2003
7	1	0 à 1 m	20 cm	N170E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	Cassure fraîche - La bordure du rempart est prête à s'effondrer	GPS : 291	GPS : 319	22/05/2003
7	2	6 m	20 cm	N180E	Vertical	0	Coulé de lave	En partie colmatée	Fracture majeure correspondant à la fracture 2 du profil 6	GPS : 291	GPS : 319	22/05/2003
7	3	16 m	2 cm	N165E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	GPS : 309	GPS : 291	GPS : 319	22/05/2003
7	4	22 m	10 cm	N160E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	GPS : 310, 311, 312, 313, 314, 315	GPS : 291	GPS : 319	22/05/2003
7	5	38 m	40 cm	N170E	Vertical	0	Coulé de lave	Non colmatée	Le sol est moins affecté que la coulée de lave sousjacent	GPS : 291	GPS : 319	22/05/2003
8	1	8 m	25 cm	N170E	Vertical	50 cm	Sol	Non colmatée	Cassure fraîche - Fracture de 3 m de profondeur - GPS : 321, 322, 300	GPS : 320	GPS : 336	22/05/2003
8	2	15 m	40 cm	N10E	Vertical	0	Sol	Non colmatée	Cassure fraîche - GPS : 331	GPS : 320	GPS : 336	22/05/2003
8	3	38 m	20 cm	N170E	Vertical	0	Sol	Partie supérieure en partie colmatée	GPS : 332	GPS : 320	GPS : 336	22/05/2003
9	1	12 m	30 cm	N10E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	Suite de la fracture 2 du profil 8 - GPS : 327, 337, 338, 339, 340, 341, 342	GPS : 327	GPS : 350	22/05/2003
9	2	25 m	10 cm	N10E	Vertical	0	Coulée de lave	Partie supérieur en partie colmatée	GPS : 346 (343 - 344?)	GPS : 327	GPS : 350	22/05/2003
9	3	41 m	15 cm	N10E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 348	GPS : 327	GPS : 350	22/05/2003
10	1	10 m	10 cm	N10E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 359	GPS : 359	GPS : 361	22/05/2003
10	2	13 m	10 cm	N10E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée		GPS : 359	GPS : 361	22/05/2003
10	3	21 m	15 cm	N170E	Vertical	0	Coulée de lave	Partie supérieure en partie colmatée	GPS : 360	GPS : 359	GPS : 361	22/05/2003
10	4	23 m	15 cm	N170E	Vertical	0	Coulée de lave	Partie supérieure en partie colmatée	-	GPS : 359	GPS : 361	22/05/2003
10	5	29 m	10 cm	N10E	Vertical	0	Coulée de lave	Partie supérieure en partie colmatée	GPS : 358	GPS : 359	GPS : 361	22/05/2003
10	6	60 m	1 à 10 cm	N20E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357	GPS : 359	GPS : 361	22/05/2003
10 bis	7		40 cm	N35E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 416	GPS : 359	GPS : 361	22/05/2003
11	1	3 m	40 cm	N30E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	-	GPS : 362	GPS : 366	22/05/2003
11	2	18 m	10 cm	N0E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 363	GPS : 362	GPS : 366	22/05/2003
11	3	25 m	25 cm	N20E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 364	GPS : 362	GPS : 366	22/05/2003
11	4	45 m	15 cm	N35E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 365	GPS : 362	GPS : 366	22/05/2003
11 bis	5	-	10 cm	N40E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 367	GPS : 362	GPS : 366	22/05/2003
11 bis	6	-	25 cm	N30E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 368	GPS : 362	GPS : 366	22/05/2003
11 bis	7	38 m	25 cm	N30E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 369 - Cassure très fraîche	GPS : 362	GPS : 366	22/05/2003
12	1	1 m	40 cm	N20E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	-	GPS : 371	GPS : 377	22/05/2003
12	2	15 m	5 cm	N45E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 372	GPS : 371	GPS : 377	22/05/2003
12	3	30 m	25 cm	N30E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 373	GPS : 371	GPS : 377	22/05/2003
12	4	34 m	10 cm	N10E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 374	GPS : 371	GPS : 377	22/05/2003

Rempart de Mahavel - Levé des fractures

12	5	42 m	30 cm	N40E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 375	GPS : 371	GPS : 377	22/05/2003
12	6	45 m	10 cm	N40E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 376	GPS : 371	GPS : 377	22/05/2003
13	1	5 m	15 cm	N20E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	-	GPS : 378	GPS : 380	22/05/2003
13	2	24 m	5 cm	N60E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 379	GPS : 378	GPS : 380	22/05/2003
13 bis	3	-	10 cm	N50E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 381	GPS : 378	GPS : 380	22/05/2003
13 bis	4	-	5 cm	N60E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 382	GPS : 378	GPS : 380	22/05/2003
14	1	14 m	10 à 40 cm	N45E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	-	GPS : 391	GPS : 393	22/05/2003
14bis	2	-	10 cm	N80E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 390	GPS : 391	GPS : 393	22/05/2003
14	3	45 m	5 cm	N80E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 392	GPS : 391	GPS : 393	22/05/2003
14bis	4	-	10 cm	N80E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 394	GPS : 391	GPS : 393	22/05/2003
14bis	5	-	10 cm	N70E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 395	GPS : 391	GPS : 393	22/05/2003
14 bis	6	-	10 cm	N80E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 397	GPS : 391	GPS : 393	22/05/2003
15	1	10 m	10 cm	N60E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 399	GPS : 399	GPS : 405	23/05/2003
15	2	38 m	10 cm	N50E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 400	GPS : 399	GPS : 405	23/05/2003
15	3	60 m	15 cm	N80E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 401	GPS : 399	GPS : 405	23/05/2003
15	4	74 m	10 cm	N50E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 402	GPS : 399	GPS : 405	23/05/2003
15	5	86 m	10 cm	N60E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 403	GPS : 399	GPS : 405	23/05/2003
15	6	105 m	10 cm	N90E	Vertical	0	Coulée de lave	En partie colmatée	GPS : 404	GPS : 399	GPS : 405	23/05/2003
16	1	3 m	5 cm	N20E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 438	GPS : 438	GPS : 434	23/05/2003
16	2	77 m	15 cm	N50E	Vertical	0	Coulée de lave	Non colmatée	GPS : 433	GPS : 438	GPS : 434	23/05/2003

