

52871

52871

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 2  
Sous module 2.3  
Programme 2003

## Utilisation de techniques de télédétection (interférométrie radar et corrélation d'images optiques) pour la détection de glissements de terrain sur l'île de La Réunion



BRGM/RP-52871-FR

décembre 2003



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

Module 2  
Sous module 2.3  
Programme 2003

## Utilisation de techniques de télédétection (interférométrie radar et corrélation d'images optiques) pour la détection de glissements de terrain sur l'île de la Réunion

BRGM/RP-52871-FR  
décembre 2003

Étude réalisée dans le cadre du projet de recherche 02-RIS-R10

D. Raucoules, Cruchet M., Carnec C., Feurer D.,  
Avec la collaboration de  
Delacourt C. et Le Mouélic S.



Mots clés : mouvements de terrain, interférométrie radar, bande L, corrélation d'image optique, Ile de la Réunion

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

D. Raucoules, Cruchet M., Carnec C. , Feurer D., avec la collaboration de C. Delacourt et S. Le Mouelic (2003) - Utilisation de techniques de télédétection (interférométrie radar et corrélation d'images optiques) pour la détection de glissements de Terrain sur l'Ile de la Réunion. Rapport BRGM/RP-52871-FR, 26 p, 16 fig.

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

## **Synthèse**

**D**ans 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.

La télédétection des mouvements de grande ampleur est abordée dans le sous-module 2.3 du programme de recherche.

En 2002, le potentiel et les limitations de l'interférométrie radar (INSAR) à partir de données Radarsat en bande C ont été évalués dans la perspective de la détection de glissements de terrains sur l'île de la Réunion, (rapport BRGM/RP-52091-FR).

En 2003, objet de ce rapport, l'utilisation de données radar en bande L issues du satellite japonais JERS-1 a été envisagée afin de pallier les limitations constatées en bande C.

De plus, l'utilisation d'une technique de corrélation d'images optiques à partir d'images aériennes et SPOT V a été évaluée à titre d'alternative et de complément à l'INSAR.

Le présent rapport décrit l'application de ces deux techniques sur l'île de la Réunion avec une validation sur les grands glissements du cirque de Salazie (secteur d'Hell-Bourg et Grand Ilet).

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Interférométrie radar en Bande L .....</b>	<b>8</b>
2.1 Données acquises et combinaisons interférométriques .....	9
2.2 Produits Interférométriques .....	10
2.2.1 image d'intensité .....	10
2.2.2 Interférogrammes .....	11
2.2.3 comparaison JERS-1/Radarsat .....	13
2.3 Secteur du Cirque de Salazie .....	14
2.4 Conclusion sur les performances de la Bande L.....	17
<b>3. Utilisation de données EnviSAT .....</b>	<b>18</b>
<b>4. Corrélation d'images optiques.....</b>	<b>19</b>
4.1 principe de la corrélation .....	19
4.2 Données utilisées.....	19
4.3 Traitement.....	20
4.4 Interpretation: site de Hell-Bourg.....	21
4.5 Evaluation de la déformation.....	22
4.6 Secteur de Grand Ilet.....	24
4.7 Conclusions sur la corrélation optique.....	25
<b>5. Conclusion et perspectives .....</b>	<b>26</b>

## Liste des figures

- Figure 1 : image d'intensité (acquisition du 27/06/1997)..... 11
- Figure 2: Interférogramme 02/01/1997-31/03/1997 superposé à l'image d'intensité. Un cycle de complet de couleur est équivalent à un déplacement (en l'absence d'effets atmosphériques) de 11,5 cm..... 12
- Figure 3: Comparaison d'un interférogramme Radarsat (2001/05/15 – 2001/11/23, Bp=68m) et l'interférogramme JERS-1 02/01/1997-14/05/1997 (Bp=187m).. 13
- Figure 4 : Photographie aérienne du secteur de Grand Ilet / Hell-Bourg (source IGN). Les zones instables connues y sont localisées..... 14
- Figure 5 : Interférogrammes 02/01/1997-31/03/1997 (gauche) et 15/02/1997-14/05/1997 (droite). Un cycle complet de couleur correspond à un déplacement de 12 cm en direction du capteur (signalé par le triangle blanc). Le fait que la signature apparaisse sur les 2 interférogrammes indépendants confirme la détection. .... 15
- Figure 6 : Glissement de Hell-Bourg. Gauche : somme des deux interférogrammes JERS-1 (1 frange = 6cm de déplacement en direction du satellite). Les limites du glissement sont bien identifiées par la structure de franges. Les points GPS sont localisés (noir: valeur indisponible sur la période suivie, bleu moins de 6 cm de déplacement, rouge: plus de 12 cm de déplacement). Droite: interférogramme Radarsat 29198 (2001-06-08) / 29884 (2001-07-26) (1 frange=2,8 cm en direction du satellite): le glissement n'est que partiellement détectable. fond: photographie aérienne (source IGN). .... 16
- Figure 7 : Glissement de Grand Ilet. Gauche : somme des 2 interférogrammes JERS-1 à 3 (1 frange = 6 cm de déformation en direction du capteur). La flèche blanche signale une signature de déformation. Les points GPS sont localisés (noir: valeur non disponible sur la période, bleu 0-6cm, jaune: 6-12 cm). Droite: interférogramme Radarsat 29198 (2001-06-08) / 29884 (2001-07-26) (1 frange=2.8cm): pas de signature fiable identifiée sur cette période de 48 jours. Fond: photographie aérienne (source IGN)..... 17
- Figure 8: vue en 3D du cirque de Salazie (image SpotV, MNT 25m)..... 20
- Figure 9 : Décalages en ligne entre l'image SPOT V (2002) et l'ortho-photo aérienne. Le contour du glissement de Hell-Bourg (flèche blanche) y est bien délimité. 20
- Figure 10: image des décalages en ligne (période 1997-2002) sur le secteur de Hell-Bourg. Le contour rouge correspond à un glissement situé au nord de la rivière et se déplaçant vers le sud, le contour blanc signale le glissement principal dirigé vers le nord. On notera une concordance sur la position des glissements avec les glissements observés par interférométrie (figure 6a).... 21
- Figure 11: Orthophoto aérienne superposée aux contours des glissements déduits de la corrélation d'image (blanc et rouge) et de la morphologie (bleu – pour le glissement Nord). La localisation est cohérente. .... 21

- Figure 12: Exemple situé au nord-ouest de la figure 11 où la corrélation a fourni des résultats non fiables du fait d'un changement de morphologie du fond de vallée (probablement en relation avec des crues de la rivière) et de la présence de nuages sur l'image SPOT V..... 22
- Figure 13: Profil de déformation suivant approximativement la direction N-S (une valeur positive indique un mouvement sud-nord) sur le glissement sud pendant la période 1997-2002. La position du profil est signalée par le trait rouge. .... 23
- Figure 14: Profil de déformation suivant approximativement la direction N-S (une valeur positive indique un mouvement Sud-Nord) sur le glissement Nord pendant la période 1997-2002. La position du profil est signalée par le trait rouge. .... 23
- Figure 15: Déformation Nord-Sud à proximité au de Grand Ilet. Les déformations observées sont de l'ordre de 3-5m de part et d'autres de la rivière..... 24
- Figure 16: Limites du glissement observé sur Grand Ilet..... 25

## 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.

L'étude présentée ci-après correspond au troisième volet du module 2 (sous-module 2.3) du programme qui est consacré à la détection des mouvements de terrain de grande ampleur (programme 2003).

Elle fait suite à celle décrite dans le rapport BRGM/RP-52091-FR (programme 2002). Le potentiel et les limitations de l'interférométrie radar à partir de données Radarsat en bande C y étaient évalués dans la perspective de la détection de glissements de terrains sur L'île de la Réunion. Ce premier test a été effectué en prévision de la distribution (débutant mi-2003) des données du satellite européen Envisat dont les caractéristiques (bande C, multi-incidence) sont proches de Radarsat.

Des limitations importantes ont été mises en évidence – notamment liées à la perte de cohérence sur les secteurs végétalisés – réduisant sévèrement les performances interférométriques pour des paires d'images dont les dates sont séparées de plus de deux à trois mois. Compte tenu de la faiblesse de l'archive disponible sur le secteur et des contraintes liées à la technique interférométrique (nécessité d'avoir des écarts orbitaux faibles), cette perte de cohérence est rédhibitoire sur les secteurs des cirques de La Réunion qui présente un intérêt majeur en terme de mouvement gravitaire. De plus, cette première étude a fait ressortir que les données radar sur le secteur sont très affectées par des effets atmosphériques importants probablement en rapport avec le relief et le climat spécifiques à l'île.

Afin de s'affranchir de ces difficultés, nous proposons, au cours de cette deuxième étape de l'étude, d'évaluer les performances des capteurs radar en bande L à partir de données du satellite japonais JERS-1. Bien que depuis l'arrêt de JERS-1 en 1998, il n'y ait plus de données satellitales en bande L disponibles, de nouveaux capteurs seront prochainement lancés (notamment ALOS et SAOCOM, en 2004 et 2005). Aussi, cette étude a pour but d'anticiper les possibilités de ces capteurs qui pourraient permettre un suivi à long terme des déformations de surface.

Parallèlement, une alternative au suivi par radar a été envisagée : la corrélation d'images optiques satellitales Haute Résolution. Des données Spot V et aéroportées ont été utilisées pour cette étude (effectuée en collaboration avec le laboratoire des sciences de la Terre de l'université Claude Bernard Lyon-1).

## **2. Interférométrie radar en Bande L**

Alors que le satellite canadien Radarsat fonctionne en bande C (longueur d'onde de 5,6 cm), le capteur japonais JERS-1 utilise une longueur d'onde de 23 cm (bande L). Pour l'application interférométrique, les conséquences de ces différentes caractéristiques sont les suivantes :

1. L'onde radar en bande L pénètre mieux le couvert végétal qu'en bande C. En présence d'un couvert végétal, l'utilisation de données en bande L semble donc plus appropriée pour des applications interférométriques : la perte de cohérence devrait être réduite.
2. L'interférométrie en bande C offre une meilleure sensibilité à la déformation que la bande L. En effet, en bande C, une rotation complète de phase (frange) correspond à un déplacement de 2,8 cm en direction du capteur alors qu'en bande L une frange correspond à 11,5 cm. Par conséquent, en interférométrie classique, la bande C est plus adaptée aux déformations de l'ordre du cm alors que la bande L aux déformations de l'ordre de plusieurs cm au dm.
3. Compte tenu qu'à l'échelle de l'image, les artefacts atmosphériques sont du même ordre de grandeur en bande C et en bande L (quelques cm) du fait que la troposphère n'est pas un milieu dispersif, ils se traduisent différemment en terme de phase. En bande L, la fraction de phase d'origine atmosphérique est moindre. Ceci permet d'obtenir des interférogrammes contenant moins de franges atmosphériques et donc plus faciles à filtrer et dérouler.

Par conséquent, la bande L peut s'avérer être plus performante que la bande C dans le contexte de La Réunion si l'amélioration de la cohérence interférométrique permet d'utiliser des durées entre prises de vues nettement plus importantes. L'utilisation de couples à plusieurs mois (voire plusieurs années) compenserait très largement la perte de sensibilité à la déformation. Le rapport atmosphère/déformation serait alors un autre élément favorable.

Dans cette étude, la comparaison des deux capteurs fournira des éléments de réponse quant au type de capteur le mieux adapté au contexte local.

## 2.1 DONNEES ACQUISES ET COMBINAISONS INTERFEROMETRIQUES

Pour cette étude, nous avons acquis les 6 images disponibles sur le secteur de l'île de la Réunion. Les combinaisons interférométriques possibles sont résumées dans le tableau 1.

Caractéristiques communes aux images :

Répétitivité du capteur : 44 jours  
 Angle d'Incidence : 38°  
 Mode : Descendant  
 Path : 195  
 Row : 336

Dates d'acquisition	02/01/1997	15/02/1997	31/03/1997	14/05/1997	27/06/1997	10/08/1997
02/01/1997		44	88	132		
15/02/1997	153		44	88		
31/03/1997		70		44		
14/05/1997	187		90			
27/06/1997						44
10/08/1997					920	

**Tableau 1 : Images acquises et combinaisons interférométriques produites**

La composante perpendiculaire de l'écart orbital (en mètres) est indiquée dans la partie inférieure du tableau. La partie supérieure indique la durée couverte par l'interférogramme en jours.

Parmi les couples présentés dans le tableau 1, les deux interférogrammes indiqués en rouge sont particulièrement intéressants car ils sont indépendants (pas d'image commune), ont de faibles écarts orbitaux et couvrent approximativement la même période (3 mois début 1997).

En effet, afin de rejeter l'éventualité qu'une signature soit un artefact atmosphérique plutôt que la traduction d'une déformation du sol, il suffit que cette signature apparaisse sur deux interférogrammes indépendants couvrant la même période. On admet, en effet, que l'état de l'atmosphère est différent d'une date à l'autre.

## 2.2 PRODUITS INTERFEROMETRIQUES

Les produits issus des traitements des images SAR sont de trois types :

- Images d'intensité
- Images de cohérences
- Images de phase (interférogrammes)

La définition et les caractéristiques de ces types de produits ont été spécifiées dans le rapport BRGM/RP-52091-FR. Les sous-sections suivantes présentent les interférogrammes obtenus.

Les produits ont été géocodés à partir du même Modèle Numérique de Terrain que les images Radarsat. Les caractéristiques de ce MNT sont :

Coordonnées du premier point (en haut à gauche)	20,8724 S
Nombres de colonnes et lignes	55,2165 E
	2068 ; 1726
Pas d'échantillonnage	0,0003°x0,0003°

**Tableau 2 : Caractéristiques du MNT utilisé**

### 2.2.1 image d'intensité

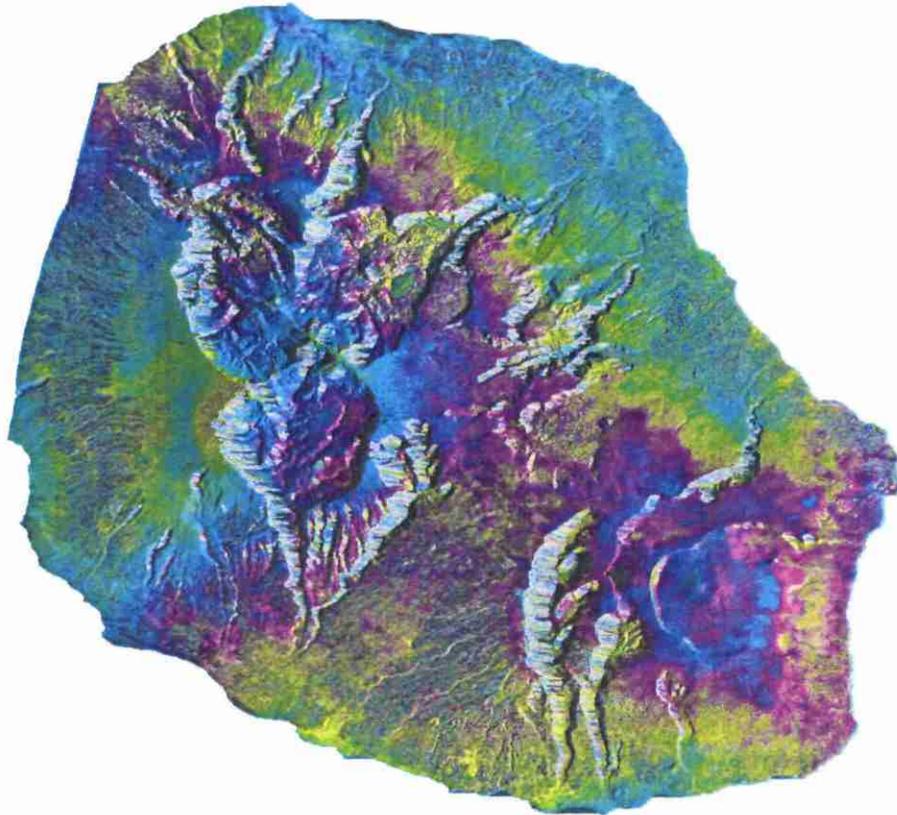
La figure 1 montre l'image d'intensité de l'acquisition du 27/06/1997. La quasi-totalité de l'île est couverte.



Figure 1 : image d'intensité (acquisition du 27/06/1997)

### 2.2.2 Interférogrammes

La figure 2 montre l'image de phase interférométrique du couple 02/01/1997-31/03/1997. On notera qu'au bout d'une période de 3 mois, la phase reste cohérente sur l'ensemble de l'île.



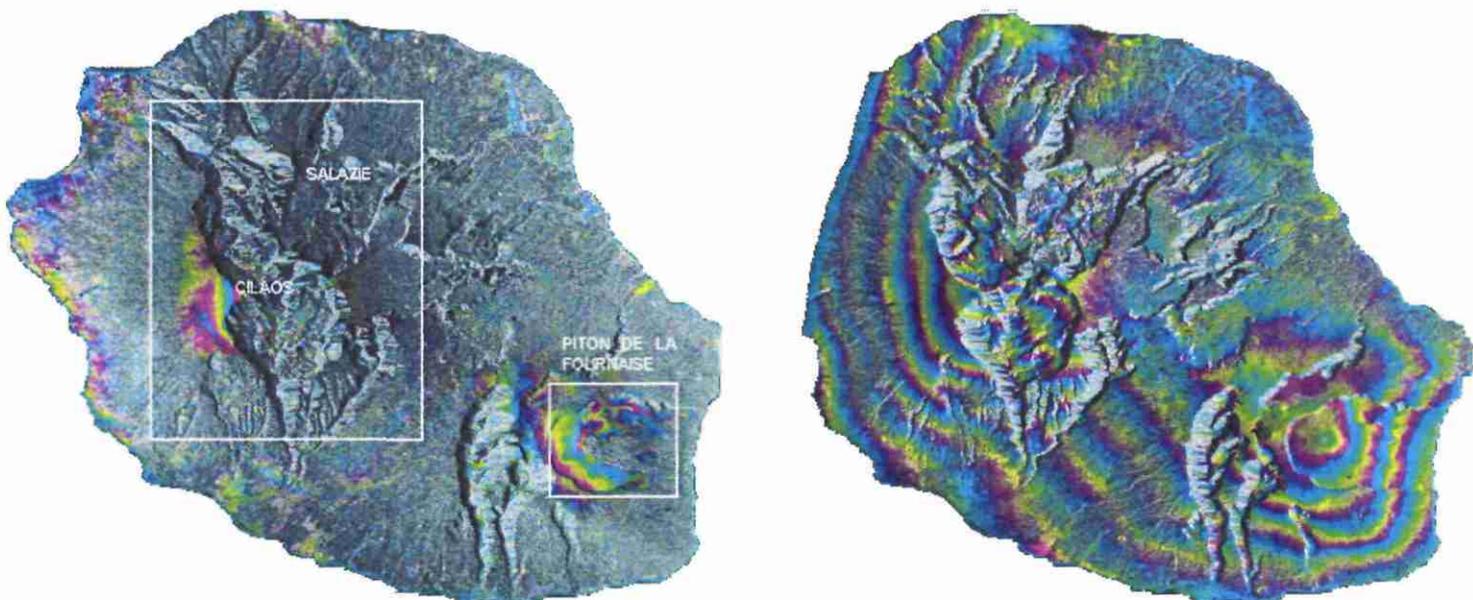
**Figure 2: Interférogramme 02/01/1997-31/03/1997 superposé à l'image d'intensité. Un cycle de complet de couleur est équivalent à un déplacement (en l'absence d'effets atmosphériques) de 11,5 cm.**

### 2.2.3 comparaison JERS-1/Radarsat

La figure 3 montre deux interférogrammes Radarsat et JERS couvrant des durées équivalentes (5-6 mois). Le couple JERS-1 a toutefois un écart orbital plus défavorable (187 m et 68 m pour le couple Radarsat).

Nous constatons qu'à l'exception de zones non végétalisées telles que le Piton de la Fournaise et le Grand Benare, les structures de franges sont nettement plus cohérentes sur l'interférogramme JERS-1 que sur l'interférogramme Radarsat. En particulier, sur les secteurs des Cirques, la perte de cohérence est quasi-totale en bande C mais pas sur l'interférogramme JERS-1.

Cette simple comparaison, montre que la cohérence en bande L, peut être conservée sur de longues périodes. L'utilisation de cet outil sur des bases de temps annuelles à multi-annuelle est donc envisageable (lorsque les capteurs seront disponibles).



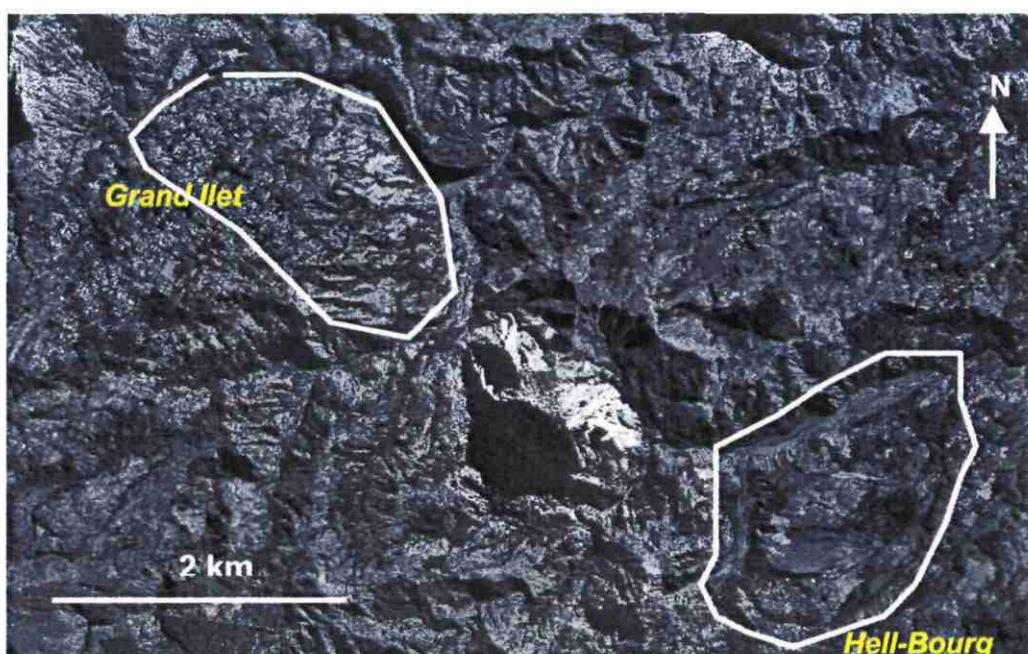
**Figure 3: Comparaison d'un interférogramme Radarsat (2001/05/15 – 2001/11/23, Bp=68m) et l'interférogramme JERS-1 02/01/1997-14/05/1997 (Bp=187m).**

On remarquera que l'interférogramme 02/01/1997-14/05/1997 présente, par ailleurs, des franges atmosphériques et des franges orbitales résiduelles non corrigées. Il ne sera donc pas utilisé dans l'interprétation qui suit.

### 2.3 Secteur du Cirque de Salazie

Dans le cirque de Salazie deux glissements connus (figure 4) sur Grand Ilet et Hell-Bourg ayant provoqué des dommages aux infrastructures font l'objet d'un suivi par GPS.

Cette connaissance a priori nous fournira un élément de comparaison.



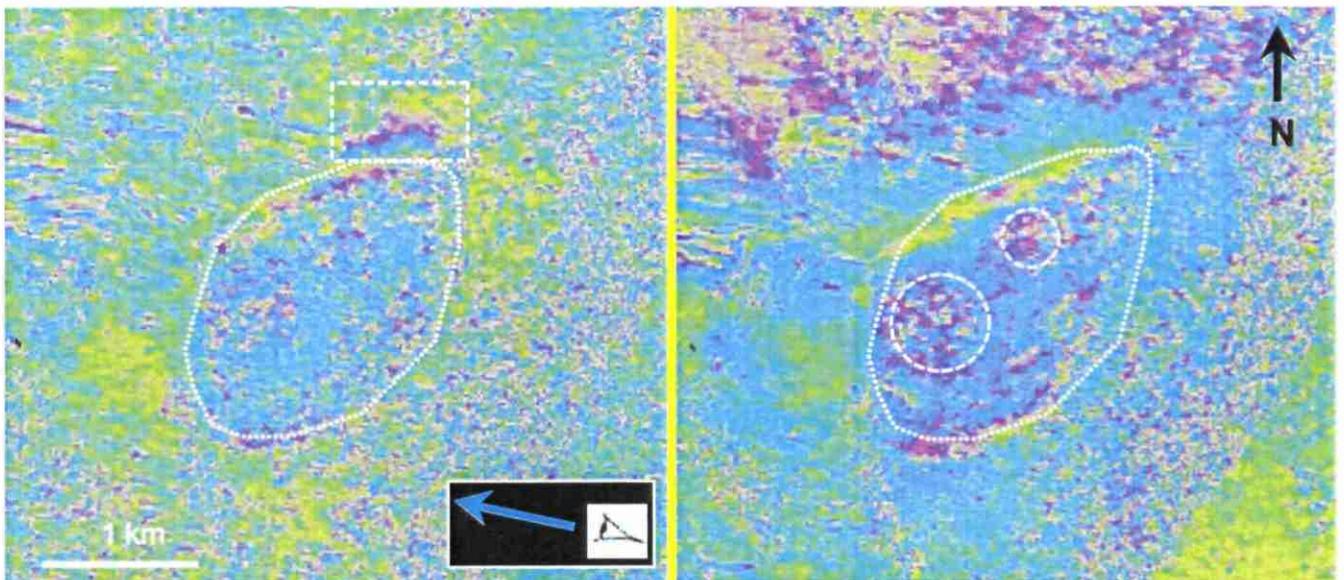
*Figure 4 : Photographie aérienne du secteur de Grand Ilet / Hell-Bourg (source IGN). Les zones instables connues y sont localisées.*

### 2.3.1 résultats en bande L sur Hell-Bourg

La figure 5 montre les résultats obtenus par interférométrie JERS-1 sur le site d'Hell-Bourg sur deux interférogrammes couvrant une période de 3 mois début 1997.

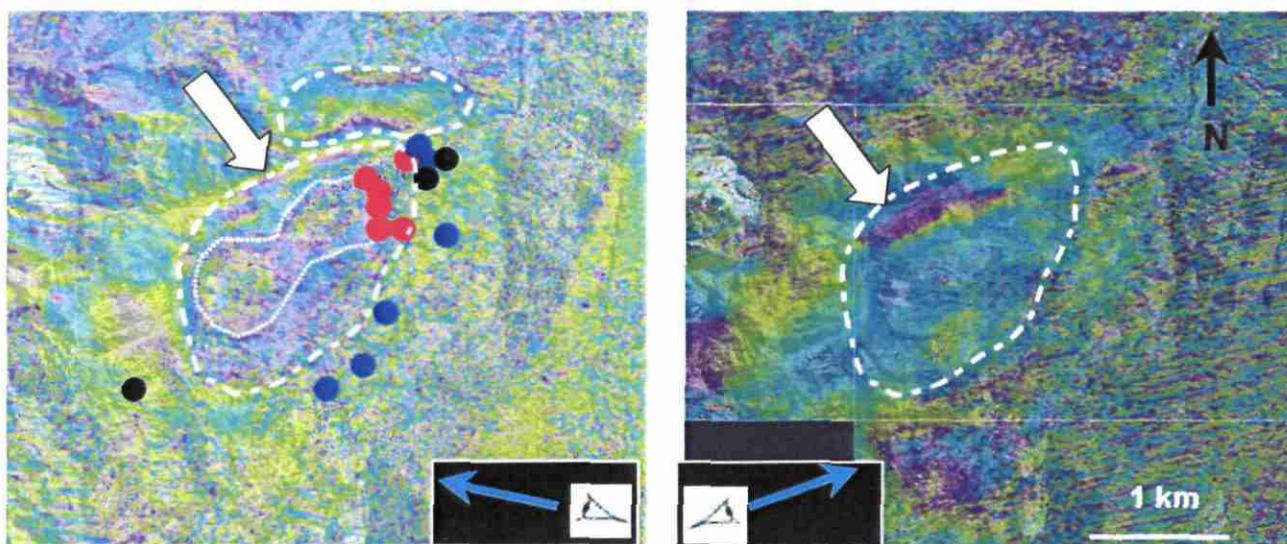
La persistance de la signature sur les deux interférogrammes indépendants confirme la détection du mouvement.

Les cercles indiquent 2 zones semblant se déplacer plus rapidement (en direction du capteur) que le reste du glissement. Le carré signale une signature observée sur le couple 02/01/1997-31/03/1997 mais non confirmée sur 15/02/1997-14/05/1997: il peut s'agir d'un effet atmosphérique ou d'un déplacement ayant eu lieu sur la période 02/01/1997-15/02/1997 couverte que par le 1<sup>er</sup> interférogramme.



**Figure 5 : Interférogrammes 02/01/1997-31/03/1997 (gauche) et 15/02/1997-14/05/1997 (droite). Un cycle complet de couleur correspond à un déplacement de 12 cm en direction du capteur (signalé par le triangle blanc). Le fait que la signature apparaisse sur les 2 interférogrammes indépendants confirme la détection.**

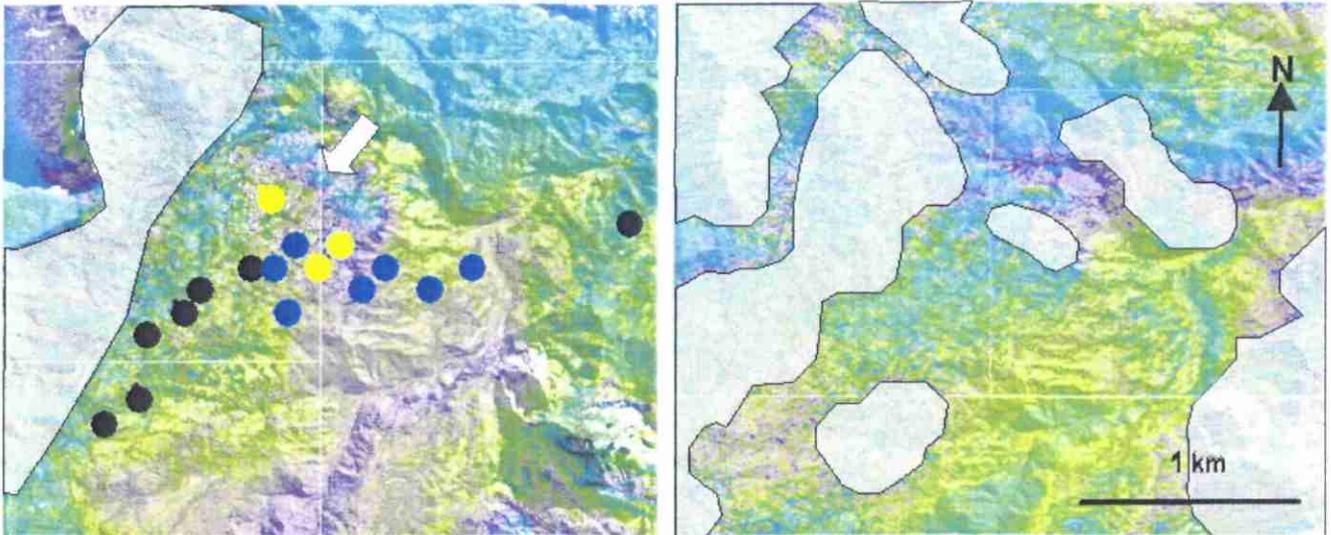
La figure 6 montre une superposition du résultat interférométrique et des points GPS. Les données GPS dont nous disposons ne fournissent que la composante verticale et la, composante horizontale du mouvement et non pas un vecteur 3D. Il n'est donc pas possible de projeter la déformation sur la ligne de visée du satellite. L'intérêt de la superposition est donc plutôt qualitatif. Les déformations seront classées dans ce qui suit en trois couleurs (bleu faible déformation 0-6 cm ; jaune 6-12cm ; rouge au-delà de 12 cm). La comparaison avec l'image Radarsat 29198 (2001-06-08) / 29884 (2001-07-26) – qui est la seule paire Radarsat de cohérence suffisante pour être interprétée – montre des ressemblances dans les structures observées mais la limite de la zone en mouvement est distordue par des effets atmosphériques.



**Figure 6 : Glissement de Hell-Bourg. Gauche : somme des deux interférogrammes JERS-1 (1 frange = 6cm de déplacement en direction du satellite). Les limites du glissement sont bien identifiées par la structure de franges. Les points GPS sont localisés (noir: valeur indisponible sur la période suivie, bleu moins de 6 cm de déplacement, rouge: plus de 12 cm de déplacement). Droite: interférogramme Radarsat 29198 (2001-06-08) / 29884 (2001-07-26) (1 frange=2,8 cm en direction du satellite): le glissement n'est que partiellement détectable. fond: photographie aérienne (source IGN).**

### 2.3.2 résultats en bande L sur Grand Ilet

Sur le secteur de Grand Ilet, les déformations observées par GPS sont moins importantes, pour la période considérée, que sur le secteur de Hell-Bourg. Les signatures de déformation sont donc moins nettes compte tenu de la durée couverte. Un bon candidat est néanmoins repéré sur le couple (flèche blanche sur la figure 7).



**Figure 7 : Glissement de Grand Ilet. Gauche : somme des 2 interférogrammes JERS-1 à 3 (1 frange = 6 cm de déformation en direction du capteur). La flèche blanche signale une signature de déformation. Les points GPS sont localisés (noir: valeur non disponible sur la période, bleu 0-6cm, jaune: 6-12 cm). Droite: interférogramme Radarsat 29198 (2001-06-08) / 29884 (2001-07-26) (1 frange=2.8cm): pas de signature fiable identifiée sur cette période de 48 jours. Fond: photographie aérienne (source IGN).**

## 2.4 CONCLUSION SUR LES PERFORMANCES DE LA BANDE L

L'étude effectuée avec un nombre réduit d'images (6 images JERS contre 15 images Radarsat) a montré une très nette supériorité des performances obtenues en interférométrie bande L dans le contexte environnemental de l'île de la Réunion. Des résultats réellement interprétables ont ainsi pu être produits sur le secteur du glissement de Hell-Bourg.

### 3. Utilisation de données EnviSAT

L'acquisition de couples interférométriques de données issues du satellite européen ENVISAT (les caractéristiques du satellite sont accessibles sur le site web <http://envisat.esa.int/> ) avait été envisagée pour 2003 dans le cadre du projet MVTerre. Toutefois, en raison de différents problèmes techniques des capteurs du satellite, les premières acquisitions ont eu lieu au mois de juin 2003. De plus, compte tenu de la diversité des modes d'acquisition, au moment de la rédaction de ce rapport, il n'y a pas de couples interférométrisables de disponible offrant des caractéristiques orbitales intéressantes : des Bperp inférieurs à 50m sont nécessaires compte tenu des caractéristiques du site mises en évidence lors de l'utilisation des données Radarsat. Les couples possibles identifiés avec l'outil EOLI – ENVISAT de l'ESA (<http://muis-env.esrin.esa.it/servlets/template/welcome/entryPage2.vm>) ont été reportés sur la table 3.

mode	track	orbite	Date (2003)	Bperp (m)	disponibilité
I6	277	7345	27/07	-316	ok
I6	277	7846	31/08	-344	non
I6	277	8347	05/10	247	En attente
I2 Asc (ne couvre que le cirque de Salazie)	313	6880	24/06	189	A vérifier
I2 Asc	313	7381	29/07	-133	ok
I2 Asc	313	7882	02/09	508	En attente
I2 Asc	313	8383	07/10	211	En attente
I2 Desc	363	6930	28/06	-592	ok
I2 Desc	363	7431	02/08	-69	ok
I2 Desc	363	8433	11/10	37	En attente

Table 3 : Images interférométrisables. En gras deux couples présentant des écarts orbitaux acceptables. Après vérification les données ne sont pas toutes disponibles.

## 4. Corrélation d'images optiques

Le test de corrélation d'images optiques sur le secteur test du cirque de Salazie a été effectué dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire de Sciences de la Terre de l'Université Claude Bernard-Lyon 1 et de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon. Il vise à évaluer le potentiel de la méthode pour fournir une information complémentaire de l'InSAR.

### 4.1 PRINCIPE DE LA CORRELATION

La méthode consiste à évaluer par corrélation bidimensionnelle les décalages (en nombre de lignes et de colonnes) entre deux images acquises à des instants différents. Ces décalages sont estimés en chacun des pixel de l'image. Ils peuvent être interprétés comme des déplacements planimétriques s'étant produits entre les dates d'acquisition des images. Ces résultats peuvent être complémentaires, pour l'évaluation des 3 composantes de la déformation, de ceux obtenus par interférométrie radar qui ne prennent en compte que les déplacements en direction du satellite : compte tenu des faibles angles d'incidence ( $<35^\circ$ ), l'InSAR est en effet principalement sensible à la composante verticale du mouvement.

Les traitements ont été effectués à partir d'une chaîne de traitements développés par le Laboratoire de Sciences de la Terre utilisant le corrélateur MEDICIS développé par le CNES.

### 4.2 DONNEES UTILISEES

Pour cette étude, deux types de données ont été utilisés :

- Des ortho-photos aérienne de résolution 1m acquises en 1997 fournies par l'IGN. (Fig8) projetées en Lambert Réunion ;
- Une orthoimage en bande THX issue du satellite SPOT V acquise le 06 juillet 2002 de résolution 2,5m et présentant une faible couverture nuageuse sur le secteur. Cette image nous a été fournie dans le cadre du projet de banque de données sur la Réunion BD-ISLE.

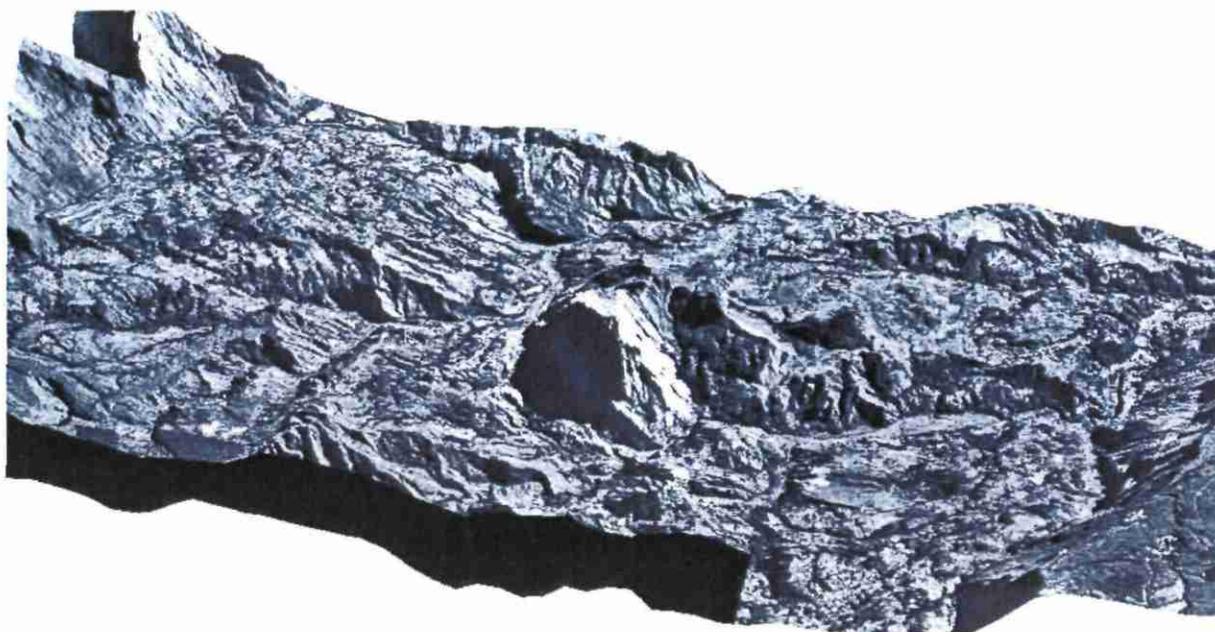


Figure 8: vue en 3D du cirque de Salazie (image SpotV, MNT 25m)

#### 4.3 TRAITEMENT

L'image aérienne choisie comme référence a été sous-échantillonnée à 2,5m. La figure 9 montre les décalages en lignes (suivant la direction Nord-Sud) entre les 2 images. Les décalages en colonnes sont plus bruités. Ce bruit provient de la géométrie d'acquisition des images SPOT plus sensible à la topographie selon la direction perpendiculaire à l'avancée du satellite. La quantification et éventuellement l'élimination de ce bruit l'objet de travaux ultérieurs.

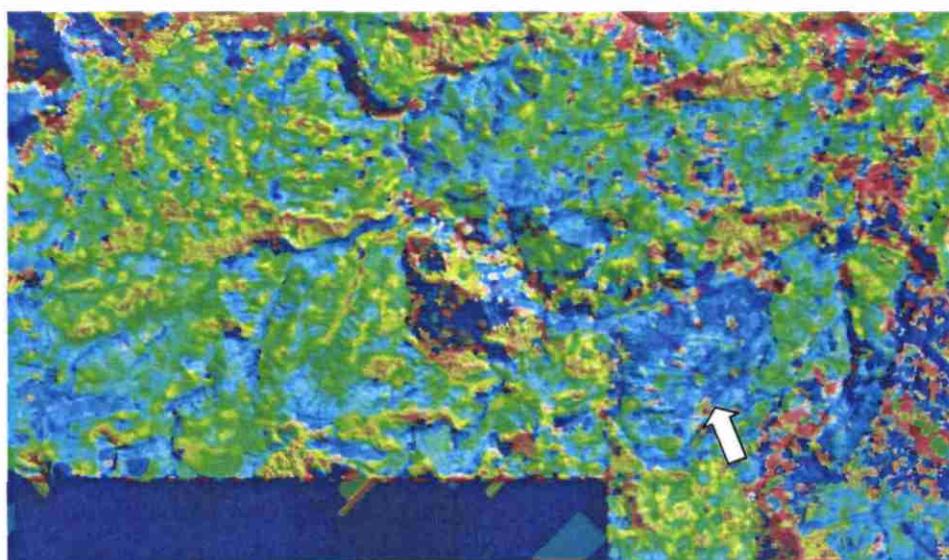
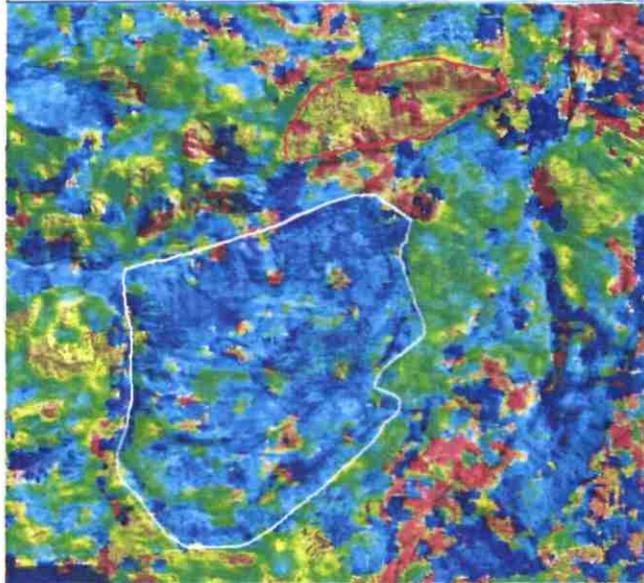


Figure 9 : Décalages en ligne entre l'image SPOT V (2002) et l'ortho-photo aérienne. Le contour du glissement de Hell-Bourg (flèche blanche) y est bien délimité.

#### 4.4 INTERPRETATION: SITE DE HELL-BOURG

Sur le secteur de Hell-Bourg, deux zones présentant des décalages en ligne significatifs de signes opposés sont observées (figure 10) de part et d'autre de la vallée.

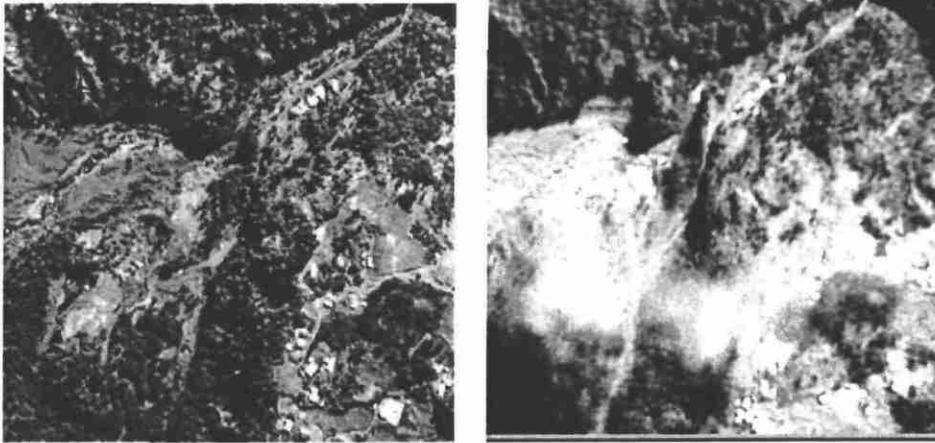


*Figure 10: Image des décalages en ligne (période 1997-2002) sur le secteur de Hell-Bourg. Le contour rouge correspond à un glissement situé au nord de la rivière et se déplaçant vers le sud, le contour blanc signale le glissement principal dirigé vers le nord. On notera une concordance sur la position des glissements avec les glissements observés par interférométrie (figure 6a).*



*Figure 11: Orthophoto aérienne superposée aux contours des glissements déduits de la corrélation d'image (blanc et rouge) et de la morphologie (bleu – pour le glissement Nord). La localisation est cohérente.*

Il faut signaler que les résultats peuvent être affectés par des artefacts liés à des modifications trop importantes du contexte imagé entre les deux dates. La figure 12 montre un exemple où la corrélation s'est avérée inopérante.



**Figure 12: Exemple situé au nord-ouest de la figure 11 où la corrélation a fourni des résultats non fiables du fait d'un changement de morphologie du fond de vallée (probablement en relation avec des crues de la rivière) et de la présence de nuages sur l'image SPOT V.**

#### 4.5 EVALUATION DE LA DEFORMATION

Dans le but d'évaluer la vitesse de la déformation ayant eu lieu entre les deux dates acquisitions des données, deux profils ont été représentés (figure 13 et 14). Les points aberrants dus aux artefacts décrits en 4.4 ont été rejetés en appliquant un seuil de 10 mètres aux mesures.

Pour le glissement du sud, la déformation estimée est de 3 à 5m sur la période 1997-2002. Pour le second glissement, l'estimation est de 5 à 6m.

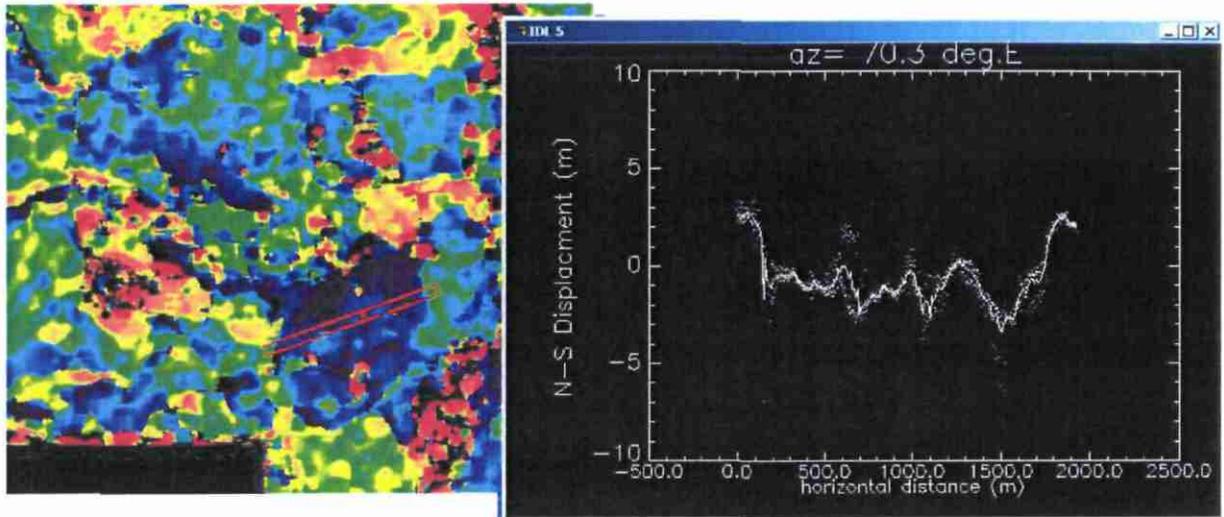


Figure 13: Profil de déformation suivant approximativement la direction N-S (une valeur positive indique un mouvement sud-nord) sur le glissement sud pendant la période 1997-2002. La position du profil est signalée par le trait rouge.

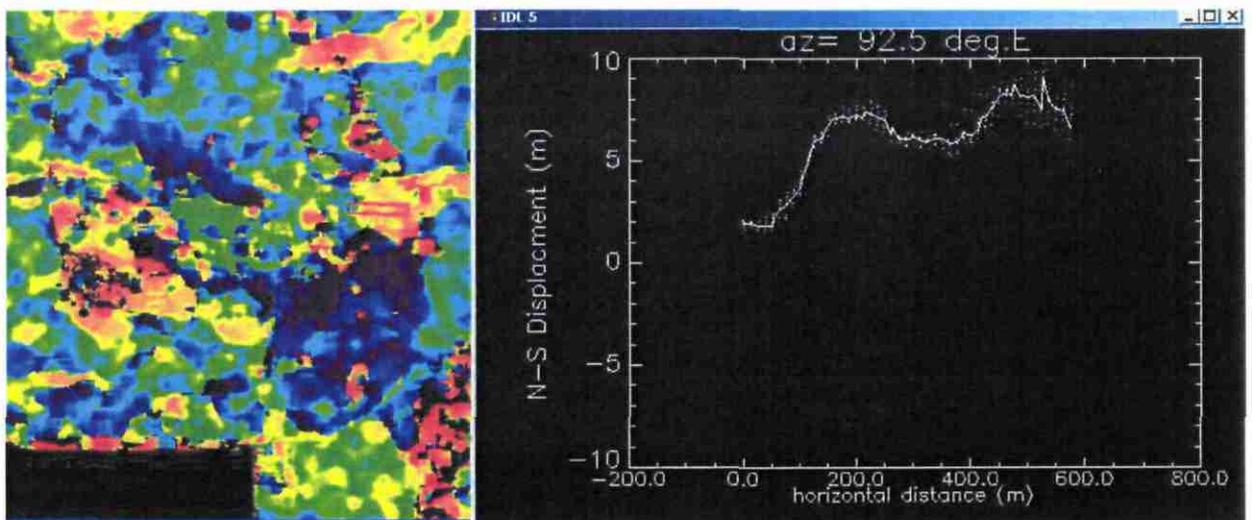
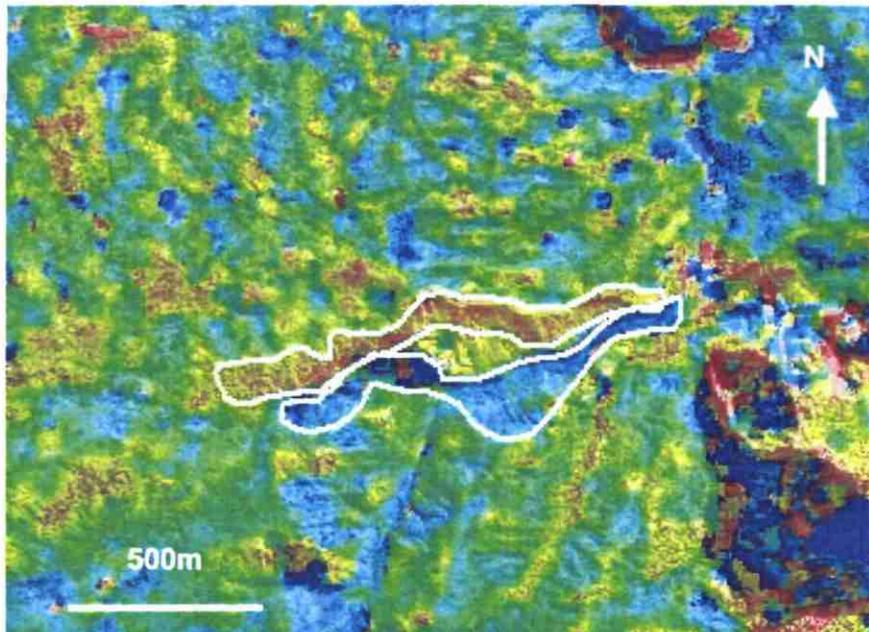


Figure 14: Profil de déformation suivant approximativement la direction N-S (une valeur positive indique un mouvement Sud-Nord) sur le glissement Nord pendant la période 1997-2002. La position du profil est signalée par le trait rouge.

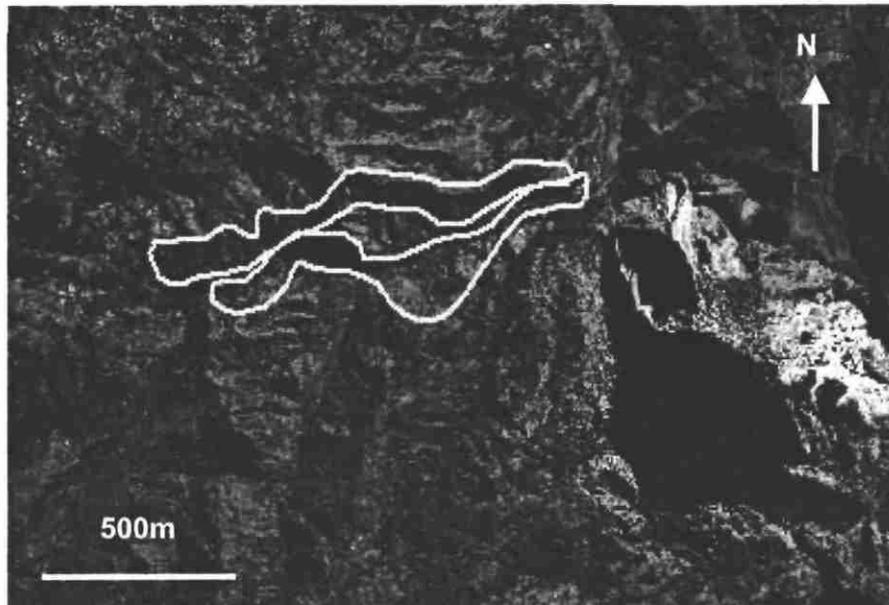
#### 4.6 SECTEUR DE GRAND ILET

Au sud du secteur de Grand Ilet, deux autres signatures de glissement ont pu être observées. Les figures 15 et 16 montrent les résultats obtenus. On note à nouveau la cohérence des résultats, la zone située au Nord (représentée en Jaune-Orange) se déplaçant vers le fond de la vallée tandis que la zone Sud (représentée en Bleue) située sur le flanc opposée de la vallée se déplace également vers le fond de la vallée dans une direction opposée. Ces signaux ne sont pas visibles sur les interférogrammes ce qui semble indiquer soit que ce glissement est postérieur à la période suivie par interférométrie JERS (première moitié de 1997) ou que les pentes importantes dans cette zone en masquent la visibilité sur les images radar.

Ces mouvements n'ont pas encore été validés sur le terrain contrairement à ceux détectés sur Hell-Bourg



**Figure 15: Déformation Nord-Sud à proximité au de Grand Ilet. Les déformations observées sont de l'ordre de 3-5m de part et d'autres de la rivière.**



*Figure 16: Limites du glissement observé sur Grand Ilet*

#### 4.7 CONCLUSIONS SUR LA CORRELATION OPTIQUE

Les résultats préliminaires de corrélation d'image SPOT V et de photo aérienne a permis d'identifier des glissements de terrains correspondant à des mouvements de 3 à 5 m sur 5 ans. Les deux glissements détectés sur le secteur de Hell-Bourg sont cohérents avec les résultats fournis par interférométrie SAR. Ces résultats semblent montrer les performances de la technique permettent le suivi de glissements de cette ampleur et que son utilisation systématique à l'ensemble des cirques est envisageable. L'utilisation de données de résolution plus fine et sur des intervalles de temps plus importants devrait permettre une meilleure (par exemple l'exploitation de l'ensemble de l'archive de photographies IGN depuis les années 60 ou l'acquisition de données du satellite QuickBird à 60cm de résolution) permettrait de plus, d'accéder à la détection de glissements plus lents.

## **5. Conclusion et perspectives**

Dans le contexte de l'île de la Réunion, les données en bande L sont nettement plus performantes que les images en bande C pour l'interférométrie classique, compte tenu d'une meilleure cohérence, et permettent une détection des glissements. Une recherche de signatures de déformation à l'échelle des cirques sur le jeu de données JERS acquis (6 images en 1997) pourra ainsi être effectuée.

Néanmoins, l'archive de données JERS sur la Réunion étant limitée à 1997 et du fait de l'absence actuelle de capteur en bande L on ne peut pas envisager de nouvelles acquisitions d'images avant 2005 (lorsque les satellites ALOS, TERRASAR-L et/ou SAOCOM seront opérationnels et auront fourni une archive suffisante).

Une alternative pourrait venir de la technique des réflecteurs permanents qui utilise des points particuliers de l'image radar (par exemple correspondant à des bâtiments) restant stables du point de vue radiométriques au cours du temps. Cette technique permet (si la densité de réflecteurs permanents et le nombre d'images sont suffisants) d'utiliser l'ensemble des images disponibles (de même configuration) même si des interférogrammes individuels sont peu cohérents.

L'acquisition du logiciel IPTA (Interferometric Point Target Analysis) de Gamma basé sur cette méthode est envisagée par le BRGM pour 2004. Elle permettrait ainsi une réutilisation du jeu de données RADARSAT (15 images) et s'affranchissant d'une partie des limitations constatées.

Les performances de la corrélation d'images optiques de Haute Résolution ont été mises en évidence pour la détection de glissements à partir d'images SPOT V et aériennes de l'IGN. On peut donc envisager d'étendre la zone d'étude à l'ensemble des cirques. De plus, l'utilisation d'une archive plus étendue dans le temps de données IGN ainsi que de données satellitales plus fines (par exemple du satellite QuickBird) pourraient fournir une meilleure sensibilité de la mesure obtenue.

