

MASTER
Sciences de la Terre de l'Univers et de l'Environnement,
Spécialité Sciences de la Terre

Rapport de stage de Master 2 de Aline Déprez



Caractérisation de la cinématique de glissements de terrain par mesure GPS en continu et modélisation mécanique. Application aux sites de La Valette et de Villerville.

Laboratoire d'accueil : IPGS

Responsables scientifiques : Frédéric Masson, Jean-Philippe Malet, Gilbert Ferhat

Année 2009-2010

INTRODUCTION	2
I. ETAT DE L'ART DES MESURES CINEMATQUES AU NIVEAU DE GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	3
A. TECHNIQUES A DISPOSITION	3
B. APPROCHES GPS DISPONIBLES	4
C. OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
II. SITES D'ETUDE ET CONNAISSANCE ACTUELLE DE LEUR CINEMATIQUE.....	6
A. GLISSEMENT DE TERRAIN DE VILLERVILLE.....	6
B. GLISSEMENT-COULEE DE LA VALETTE	7
III. DEVELOPPEMENT D'UNE CHAINE DE TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES DONNEES GPS.....	9
A. PRESENTATION DU LOGICIEL GAMIT/GLOBK.....	9
B. STRATEGIES DE TRAITEMENT	9
C. AUTOMATISATION	17
IV. FACTEURS DE CONTROLE DES DEPLACEMENTS : PLUIE EFFICACE ET VARIATIONS HYDROLOGIQUES	20
A. GLISSEMENT DE TERRAIN DE VILLERVILLE.....	20
B. GLISSEMENT-COULEE DE LA VALETTE	22
V. MODELISATION MECANIQUE DES DEPLACEMENTS	24
A. PRESENTATION DU MODELE	24
B. CALIBRATION DU MODELE AU NIVEAU DE LA PARTIE AVALE DU GLISSEMENT-COULEE DE LA VALETTE...	25
C. APPLICATION DU MODELE AU NIVEAU DE LA STATION LVA1	26
CONCLUSION.....	28
REMERCIEMENTS	30
RESUME	68
ABSTRACT	68

Introduction

L'analyse et la compréhension de la dynamique des glissements de terrain constituent un enjeu fondamental en matière de prévention des risques naturels. En effet, un grand nombre de régions (en France et à travers le monde) comportent des zones fortement instables qui rendent vulnérables les infrastructures alentour.

L'observation des déplacements en surface représente le moyen le plus simple et le plus utilisé pour la surveillance de ces zones de glissement. Le développement et la standardisation fulgurants au cours des deux dernières décennies de l'outil GPS (Global Positioning System) ont permis d'accroître considérablement les potentialités de mesures de positionnement. La facilité d'acquisition et la précision se sont en effet trouvées accrues et un enregistrement automatique et continu s'est avéré possible. Les résultats escomptés des mesures GPS pour l'étude des glissements de terrain sont rentables et efficaces du point de vue des temps et coûts de mesure ainsi que des délais d'accès aux données, par rapport à d'autres méthodes ayant même vocation. Cet outil permet de recueillir une quantité importante de données, en particulier lors de l'installation de stations permanentes. Une longue chronique du déplacement au niveau de points d'un glissement de terrain améliore la connaissance de la cinématique de la zone sur le long terme.

Dans une première partie, l'état de l'art des méthodes d'observation de la cinématique des glissements sera présenté. Les nombreux avantages du GPS, qui le rendent quasiment incontournable, seront décrits. La seconde partie comporte une description des sites choisis pour la mise en place de stations GPS permanentes situés à Villerville (Calvados) et Barcelonnette (Alpes-de-Haute-Provence). Ces sites sont des lieux d'observation de l'OMIV (Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants). Cet observatoire est l'initiateur du projet de développement d'un traitement automatique de données GPS, point central de ce stage qui constitue la troisième partie de ce rapport. Elle permettra d'identifier les paramètres de traitement GPS ayant semblé optimaux au vu des conditions et des contraintes du projet. Des interprétations possibles des résultats en corrélation avec d'autres sources de données (météorologiques, piézométriques,...) seront ensuite mises en évidence. La dernière partie de ce rapport comporte la présentation d'une tentative d'élaboration d'un modèle mécanique de glissement ayant pour but de simuler le déplacement.

I. État de l'art des mesures cinématiques au niveau de glissements de terrain

A. Techniques à disposition

Les terrains favorables au glissement ont été le sujet de nombreuses études ayant pour vocation de caractériser leur cinématique. Pour ce faire, les moyens sont nombreux et variés, chacun d'entre eux présentant des propriétés spécifiques en ce qui concerne le type d'utilisation, la quantité mesurée ainsi que son étendue et sa précision (figure 1).

Méthode	Utilisation	Mesure	Étendue de mesure	Précision
<i>Mesures ponctuelles</i>				
Nivelle à vis micrométrique	déplacement angulaire en surface	da	0,125 rad	$4 \cdot 10^{-4}$ rad
Fissuromètre à pige centrale	mouvement de compartiments	dD	< 20 mm	± 0,1 mm
Mire à vernier	ouverture de petites fissures	dD	< 200 mm	± 0,5 mm
Extensomètre à base courte	ouverture de fissures	dD	25 - 450 mm	± 0,1 mm
Extensomètre à base longue en fil d'invar	déplacement de points mobiles	dD	jusqu'à 100 m	± 0,5 mm
Niveau de chantier	variation d'altitude	dZ	variable	2 cm
Distance-mètre électro-optique	déplacement de cibles mobiles	dD	1 - 10 km	7 mm ± 1-5 ppm ³
Théodolite et distance-mètre électro-optique	déplacement de cibles mobiles	dX, dY, dZ	1 - 10 km	3 mm ± 1-5 ppm ³
dGPS (GPS différentiel) par campagnes	déplacement de points mobiles	dX, dY, dZ	variable *	± 1 mm *
dGPS (GPS différentiel) par installations permanentes	déplacement de points mobiles	dX, dY, dZ	variable *	± 0,5 mm *
<i>Mesures distribuées (image)</i>				
Photogrammétrie optique terrestre	déplacement de cibles mobiles comparaison de MNT ⁴	dX, dY, dZ	< 200 m	40 mm
Photogrammétrie optique aérienne	déplacement de cibles mobiles comparaison de MNT ⁴	dX, dY, dZ	H _{vol} < 500 m	100 mm
Corrélation d'images optique terrestre	champ de déplacement 2D	dX, dY	< 500 m	
Corrélation d'images optique satellite	champ de déplacement 2D	dX, dY	500 – 1000 km	± 2000 mm **
Interférométrie radar INSAR satellite ^{1.}	distance à un point cible	dD	500 – 1000 km	5-10 mm
Interférométrie radar INSAR terrestre ^{1.}	distance à un point cible	dD	1 - 3 km	1-2 mm
Scanner laser terrestre (LiDAR TLS) ²	comparaison de MNT ⁴	dX, dY, dZ	< 500 m	± 20 mm
Scanner laser aérien (LiDAR ALS) ²	comparaison de MNT ⁴	dX, dY, dZ	< 1000 m	± 30 mm

1. Interferometric Synthetic Aperture Radar 2. Light Detection and Ranging

3. parts per million 4. Modèle Numérique de Terrain

* selon configuration du réseau, du site de mesure et du type de récepteur (mono ou bi fréquence)

** selon résolution spatiale du satellite

Figure 1 : Caractéristiques des principales méthodes de suivi des déplacements. (d'après Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1985 ; Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1994 ; Gili et al., 2000 modifié par Malet et al., 2002).

Les déplacements attendus sur les sites de Villerville (en période de crise) et La Valette dépassent la précision de mesure du GPS différentiel utilisé avec des installations permanentes ; et cela sur une durée parfois inférieure à la semaine. La mise en place de stations GPS à demeure est un apport intéressant pour une connaissance plus fine (en particulier en termes d'échantillonnage temporel) de la cinématique de ces sites.

B. Approches GPS disponibles

Au cours des années 2000, les techniques GPS ont été largement appliquées pour surveiller les mouvements superficiels de zones instables, ceci en complément ou en guise d'alternative aux méthodes conventionnelles (théodolites, inclinomètres, ...). Les résultats de différents travaux portant sur la surveillance par GPS de glissements de terrain mettent en évidence l'aide précieuse de cet outil dans le cadre des mouvements de surface d'une vitesse de quelques cm par mois à plusieurs cm par jour.

Différentes approches sont disponibles : des positionnements discontinus permettant d'atteindre une précision de l'ordre de quelques cm ou une surveillance en continu, comme dans l'étude présente, avec laquelle la précision de la localisation peut atteindre le mm (*Mora et al., 2003*).

- ◆ Les travaux présentés dans la littérature à propos des mesures au cours de campagnes GPS sont nombreux. On constate que les temps d'occupation dépendent principalement des caractéristiques du réseau et peuvent être réduits à 10 minutes environ pour des lignes de base inférieures à quelques kilomètres avec 5 satellites visibles et l'application d'un post-traitement sophistiqué. Afin d'optimiser les résultats, il peut être avantageux d'utiliser différentes méthodes (positionnement d'une cible à partir de radiation de ligne de base autour de points de base différents par exemple). Une autre alternative est la technique de réoccupation (Gili et al., 2000) qui consiste à répéter les observations à une heure ou un jour différent avec de préférence un arrangement de satellites différent, cela nécessitant une planification stratégique de la campagne en amont. Enfin, il est conseillé, pour repérer les points de mesure, d'utiliser un symbole discret et robuste : en effet une gravure sur la roche ou une vis sera moins sujette à des perturbations naturelles ou à des actes de vandalisme qu'un cylindre géodésique typique. Cette procédure de mesures par campagnes donne accès à une première évaluation des vitesses de déplacements sur des glissements de terrain, mais l'échantillonnage temporel des données de positionnement reste bien souvent très lâche : de l'ordre du mois ou de l'année.
- ◆ Pour surveiller avec une haute précision les processus de glissement au cours du temps des études faisant suite à l'installation de stations GPS permanentes sont présentées dans un certain nombre d'articles. La plupart d'entre eux font référence aux études de Malet et al. [2000, 2002] sur le glissement-coulée de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence) qui font office de pionnières en la matière. Le suivi continu de glissement de terrain reste néanmoins plutôt rare. Cette approche permet d'améliorer la précision du positionnement et d'affiner l'échantillonnage temporel. Des corrélations (*Baldi et al., 2008*) sont ainsi envisageables avec d'autres sources de données (pluviométriques par exemple), et également un contrôle en temps réel pouvant être combiné à un système d'alerte (*Gabriele et al., 2009*).

Cette possibilité d'approche, via l'utilisation de stations permanentes, constitue un atout du GPS par rapport aux méthodes optiques. Mais, quelle que soit la démarche utilisée (campagnes ou installations fixes), les avantages du GPS par rapport aux méthodes optiques sont majeurs :

- -les relevés GPS permettent d'acquérir un grand nombre de données haute résolution avec un coût relativement faible et à une vitesse relativement élevée.
- -ils permettent de surveiller des points relativement éloignés (jusqu'à 20 km de distance) sans réduction fondamentale de la précision des mesures (*Peyret et al., 2008*).
- -ils ne nécessitent pas de visibilité directe entre la base et les points de surveillance.
- -les enregistrements GPS peuvent être effectués quelles que soient les conditions météorologiques et de jour comme de nuit.

Ces aspects positifs, notamment la précision des mesures, sont améliorés par l'utilisation de récepteurs bi fréquence. Même si on recense des travaux, notamment sur le site de la Valette (*Squarzoni et al., 2005*), donnant des résultats satisfaisants avec l'utilisation de récepteurs mono fréquence sur des lignes de base de quelques kilomètres. Un travail en mode différentiel est également préconisé (*Herrera et al., 2009*) : l'utilisation du positionnement relatif permettant l'annulation d'erreurs systématiques qui n'affecteront donc pas les résultats. Et, en pratique, la surveillance des glissements de terrain par GPS au cours de longues périodes de temps peut être optimisée en tenant compte des conseils suivants (*Gili et al., 2000*) :

- -les cibles sélectionnées doivent refléter le comportement moyen de la zone environnante. Il n'est pas judicieux d'inclure des points qui présentent des mouvements propres (gros rochers, pylônes électriques,...).
- -il faut éviter les obstacles (feuillage dense, bâtiments,...) pouvant restreindre la réception du signal satellite et provoquer, par réflexion, des multi-trajets de ce dernier. Un nombre important de satellites visibles (7-8) et ne se situant pas trop bas sur l'horizon (dans la plupart des cas un masque est appliqué pour filtrer les signaux issus de satellites dont l'élévation est inférieure à 15°) améliore la qualité du positionnement.
- -il est commode d'inclure dans le réseau de contrôle plusieurs points fixes à l'extérieur de la zone de glissement. Les mesures successives de ces points, qui doivent indiquer une position plus ou moins constante, mettront en évidence la fiabilité du réseau de surveillance en particulier la stabilité des points de base.

Néanmoins le GPS ne peut être présenté comme une méthode alternative exclusive et, en pratique, l'utilisation de 2 techniques géodésiques ou plus permet un apport d'informations complémentaires dans l'étude de phénomènes naturels comme les glissements de terrain. Un des gros désavantages du GPS, par rapport à l'imagerie optique ou radar par exemple, est notamment de ne fournir qu'une information ponctuelle d'un point de vue spatial. Il est également nécessaire que l'opérateur puisse accéder au point de mesure.

Les méthodes géodésiques ne fournissant que des informations à propos des mouvements de surface, il est donc essentiel de déterminer la représentativité de ces mesures dans les trois dimensions de l'espace (*Brückl et al., 2006*). Afin de caractériser le phénomène dans sa globalité, la combinaison de mesures géotechniques, hydrologiques, géophysiques et géodésiques s'avère être une solution optimale. Des corrélations entre les différentes sources de données peuvent alors être envisagées (*Coe et al., 2003*) qui pourront éventuellement aboutir à des descriptions anticipées des champs de vitesse et de déplacement comme fruit de l'analyse d'événements déclencheurs, saisonniers ou plus ponctuels.

C. Objectifs de l'étude

Dans le cadre de ce projet, les données de deux sites de glissement de terrain équipés de stations GPS permanentes (gérées par l'EOST) ont été analysées. La justification de la présente démarche se trouve dans le fait que ces zones constituent une menace pour les infrastructures environnantes et font l'objet d'une surveillance par l'observatoire INSU OMIV. Les caractéristiques de chacune d'entre elles ainsi que l'état des connaissances actuelles les concernant seront développés plus en détails dans la partie suivante. Le but de l'installation de stations GPS à demeure et de l'automatisation du traitement des données est donc en premier lieu d'améliorer la connaissance de processus et d'estimer l'aléa.

II. Sites d'étude et connaissance actuelle de leur cinématique

A. Glissement de terrain de Villerville

Le long de la côte du Calvados, on recense sur 50 km des zones d'escarpements affectés depuis plusieurs siècles par des glissements de terrain en rotation et en translation notamment au niveau de la commune de Villerville-Criqueboeuf (figure 2). Cette municipalité se situe le long de la section du Pays d'Auge qui présente une morphologie de plateau bordé au Nord par de hautes falaises et dont la topographie et la géologie sont hétérogènes. La zone de glissement étudiée est essentiellement constituée de marnes surmontées par des sables, des craies et des dépôts de surface quaternaires. Les mouvements enregistrés en « temps normal » sur le glissement peuvent être considérés comme lents (de l'ordre de 10 cm/an). Il a été répertorié des périodes de crises majeures caractérisées par des phases d'accélération. Le principal facteur déclencheur se trouve être d'abondantes précipitations (Lissak et al., 2009). De nombreux piézomètres ont été placés sur le versant et une station Météo France est installée à proximité. Il est envisageable de déterminer précisément les relations causales entre pluviométrie, évolution de la nappe sous le versant et la vitesse de déplacement. Les relevés GPS effectués par campagnes jusqu'alors laissent apparaître une variation saisonnière du taux de déplacement : les vitesses sont plus importantes en hiver lorsque la hauteur de la nappe est plus élevée. Le temps de réponse entre le début des précipitations effectives et la hausse du niveau de la nappe a été estimé entre 4 à 6 jours suivant l'altitude de la nappe entre janvier 1985 et juin 1987 (Maquaire, 1990).

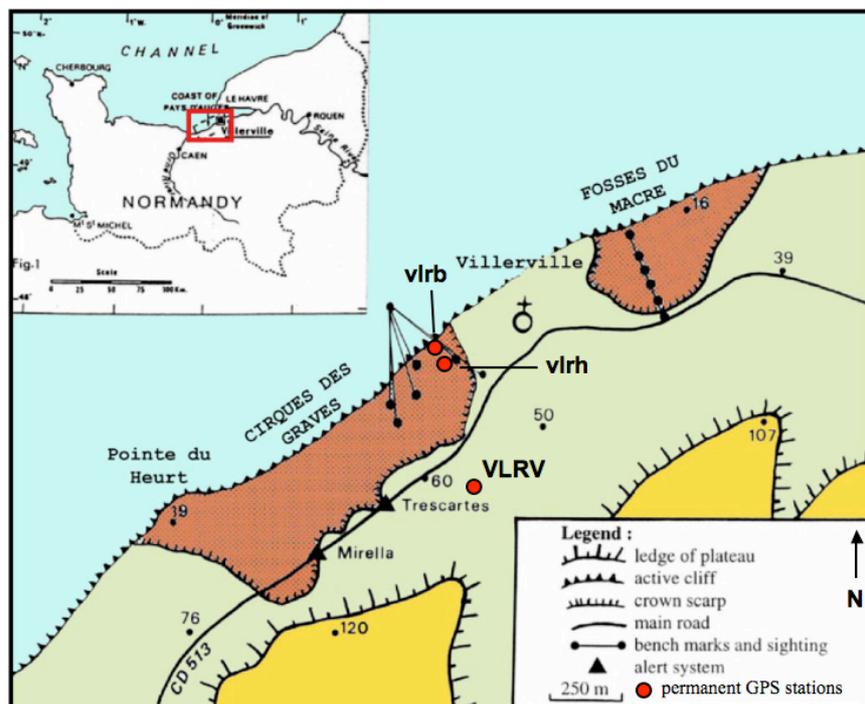


Figure 2 : Localisation du glissement de terrain de Villerville (Calvados) et du réseau de surveillance antérieur aux stations GPS permanentes (<http://east.u-strasbg.fr/omiv/>).

Les différentes tentatives de corrélations entre le déplacement et d'autres sources d'informations sont limitées par la connaissance discrète des positions des repères : l'échantillonnage temporel des mesures est de quelques mois voire quelques années. La mise en place de stations GPS permanentes (installées en juillet 2009) pourra combler cette lacune. L'emplacement de ces dernières a été choisi de manière stratégique : la station VLRV se situe sur une zone stable alors que les positions de vlrh et vlrh sont localisées dans un secteur actif du glissement de terrain (figure 3). La localisation de chacune de ces deux stations mobiles pourra être évaluée de façon relative par l'intermédiaire d'une

estimation de la ligne de base la reliant à la station fixe. Les trois stations sont équipées d'une antenne TRM41249.00 avec un radome TZGD et d'un récepteur bi fréquence TRIMBLE NetRS.

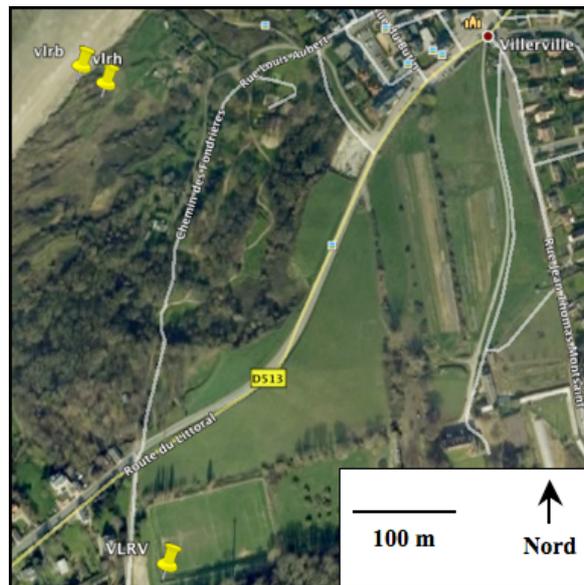


Figure 3 : Localisation des trois stations GPS installées en juillet 2009 pour la surveillance du glissement de terrain de Villerville. La station VLRV est localisée sur une zone en amont du glissement supposée stable. vlrh (haut) et vlrb (bas) sont localisées sur le glissement, distantes d'une quarantaine de mètres, les lignes de base qui les séparent de VLRV étant comprises entre 450 et 500m (fond de carte Google Earth).

B. Glissement-coulée de La Valette

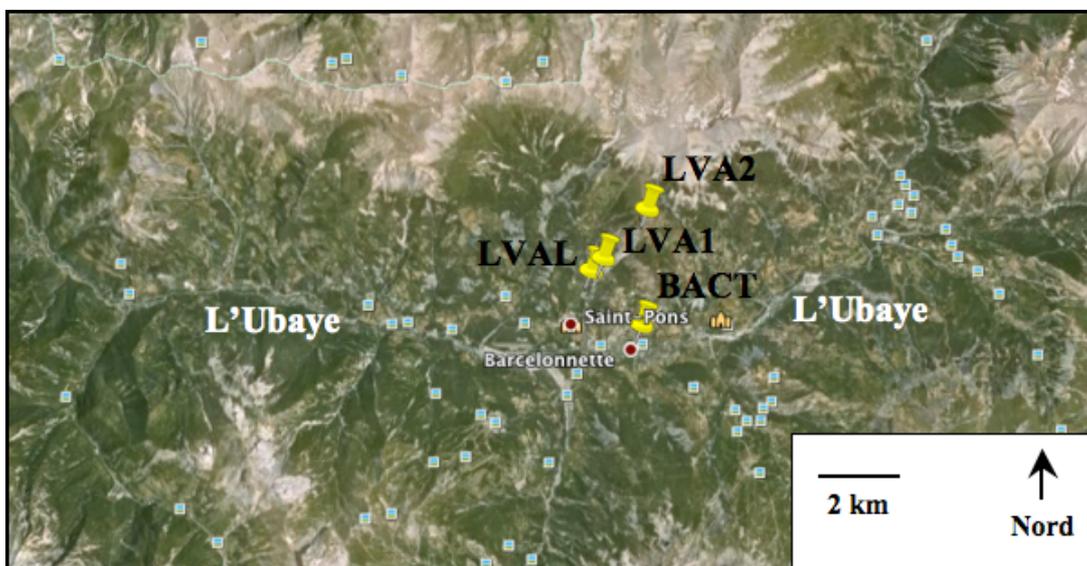


Figure 4 : Localisation du glissement de terrain de La Valette au sein du bassin de Barcelonnette dans la vallée de l'Ubaye. La station LVAL a été installée en octobre 2009 en tant que station de base, LVA1 et LVA2 sont localisées, respectivement depuis octobre 2009 et mai 2010, au niveau de positions stratégiques sur le glissement et BACT est la station de Barcelonnette, ses données sont fournies par le RGP (Réseau GNSS Permanent, l'acronyme GNSS signifiant Global Navigation Satellite System)(fond de carte Google Earth).

Situé au niveau de la commune de Saint-Pons, à l'adret du bassin de Barcelonnette (Alpes-de-Haute-Provence), sur la rive droite de l'Ubaye (figure 4), le glissement de terrain de La Valette constitue un des glissements de terrains français les plus conséquents en termes de volume de matériel déplacé. Des dépôts morainiques argileux et perméables surmontent des marnes argileuses fortement imperméables. Le versant est propice aux glissements de terrain, le caractère instable est accentué lors d'augmentation de la pression d'eau interstitielle en particulier en période de fonte des neiges ou de précipitations prolongées. Les vitesses observées sur le site sont comprises entre 0,05 et 0,40 m/jour (<http://eost.u-strasbg.fr/omiv/>).

Ce glissement s'est déclenché en février 1982 et a eu pour conséquence une mobilisation des équipes locales du RTM (Restauration Terrain en Montagne) qui ont notamment mis en place un système de drainage au cours des années 1989-1990 permettant la réduction d'un facteur 10 des vitesses sur le glissement. Un système d'alerte a également été installé (caméra infrarouge et détecteur d'écoulement de matériaux). La cinématique du glissement est connue, en amont de l'étude GPS, via des mesures trimestrielles de repères implantés sur la zone instable et des données DInSAR, ce qui a permis de distinguer des zones plus ou moins actives ainsi que de mettre en évidence des variations saisonnières du mouvement. L'utilisation de relevés de déplacement par laser géodésique, combinés à une étude sismique a donné accès à une estimation du volume de matériau traversant un profil transversal au milieu du glissement (<http://eost.u-strasbg.fr/omiv/>).

Le choix des sites d'installation des stations GPS permanentes (le matériel est le même que celui utilisé à Villerville) est moins évident que pour le site normand du fait de la dynamique importante. La station « de base » (LVAL, installée en octobre 2009) par rapport à laquelle les mouvements sur le glissement devaient être évalués a été placée sur une crête qui a un mouvement propre. Ceci aurait difficilement pu être anticipé et le choix du site devait se soumettre à de nombreuses autres contraintes (accessibilité, visibilité, mise en place d'une ligne ADSL, etc.). Les deux autres stations, « mobiles », ont pour vocation de refléter le mouvement de la partie médiane (lva1, installée en octobre 2009) et amont (lva2, installée en mai 2010) de la coulée (figure 5).



Figure 5 : Localisation des stations GPS sur le glissement de terrain de la Valette. La ligne de base BACT-LVAL est de l'ordre de 1950 m, 2050 m environ séparent BACT de lva1 alors que BACT et lva2 sont distantes d'environ 3130m. Pour les lignes de base du glissement à proprement parler LVAL-lva1 est de l'ordre de 450m et LVAL-lva2 et lva1-lva2 valent respectivement 2240m et 1810m environ (fond de carte Google Earth).

III. Développement d'une chaîne de traitement automatique des données GPS

A. Présentation du logiciel GAMIT/GLOBK

Le logiciel GAMIT/GLOBK a été développé par le MIT (Massachusetts Institute of Technology) afin de traiter les données GPS, essentiellement par l'intermédiaire de programmes C-shell. GAMIT est le processus qui opère en premier sur les données de phases et de codes extraites des fichiers RINEX produits par les stations GPS. Il englobe une séquence de fonctions qui permettent d'aboutir à une première estimation lâche de la solution journalière (positions des stations, valeurs des lignes de base, paramètres troposphériques,...) associée à une matrice de covariance, le tout contenu dans un fichier H. L'étape suivante fait appel à des programmes de l'ensemble GLOBK, et consiste en une mise en référence des stations du réseau afin d'aboutir à des informations précises concernant les valeurs des coordonnées des stations (géodésiques, cartésiennes,...) et des lignes de base. Ce logiciel comporte de nombreuses tables de paramètres qui permettent à l'utilisateur de moduler le traitement en fonction notamment de l'ordre de grandeur des longueurs des lignes de base étudiées, de la précision des valeurs a priori des coordonnées de chaque station du réseau, etc. Parmi ces fichiers de contrôle, on trouve notamment :

- ♣ *sestbl* : Ce fichier de commande GAMIT régit le déroulement de la session de traitement. Lors de cette étude, les paramètres dont l'influence a été testée sont le choix du type d'expérience et le choix de l'observable.
- ♣ *station.info* : On trouve dans ce fichier les informations concernant le type de récepteur et le type d'antenne présents sur chaque site.
- ♣ *sittbl* : Cette table de contrôle permet de spécifier, pour chaque site, les contraintes sur les coordonnées a priori.
- ♣ *sites.defaults* : Grâce à ce fichier, il est possible de spécifier les stations prises en compte au cours de l'expérience et la façon d'appréhender les données concernant les caractéristiques matérielles de chaque station (priorité entre *station.info* et entêtes des fichiers RINEX).
- ♣ *process.defaults* : Par l'intermédiaire de ce fichier l'utilisateur peut éditer son environnement de travail, les sources de données internes et externes, l'heure de début des sessions, l'intervalle d'échantillonnage et les instruction concernant l'archivage.
- ♣ *lfiles* : Ce fichier doit contenir une estimation des coordonnées de toutes les stations utilisées lors de l'expérience (le référentiel utilisé au cours de cette étude est l'ITRF05, International Terrestrial Reference Frame).

B. Stratégies de traitement

1. Comparaison des différents modes de traitement avec GAMIT/GLOBK

Différentes stratégies de traitement ont été testées. Les résultats obtenus avec chacune d'entre-elles ont été comparés afin d'opter pour la solution la plus simple possible en jouant sur les paramètres des tables GAMIT ainsi que sur l'étendue du réseau. La précision recherchée est millimétrique pour l'évaluation de lignes de base de plusieurs centaines de mètres. Ces tests ont été effectués sur le site de Villerville.

- ♠ L'utilisateur peut choisir deux types d'expérience : BASELINE ou RELAX. Avec la première option, les orbites sont fixées et les paramètres orbitaux sont omis du traitement GAMIT. Ce choix est pertinent lors du traitement grâce à des orbites IGS récentes (après 1995) ou dans le cadre de réseaux régionaux. Avec l'option RELAX, une estimation des paramètres orbitaux et ceux de rotation de la Terre est effectuée. Elle est donc plutôt adaptée à un réseau largement étendu (de l'ordre de plusieurs centaines à plusieurs milliers de km).

- ♣ L'observable utilisé par GAMIT est dans tous les cas les données de phase. Cependant, le signal GPS étant modulé sur deux fréquences porteuses, il est possible d'exploiter chaque fréquence indépendamment (L1,L2_INDEPEN). Cette approche permet de diminuer le bruit sur les mesures tant que l'erreur due au passage dans l'ionosphère est négligeable et convient pour des réseaux s'étendant sur moins de quelques kilomètres. Lorsque l'étendue du réseau atteint de plus grandes proportions, il est judicieux de recueillir les observations via une combinaison linéaire des deux fréquences (LC_AUTCLN). Ce procédé permet d'affranchir les données des retards ionosphériques grâce aux caractéristiques dispersives de l'ionosphère. Les ambiguïtés de phase sont ensuite fixées à des entiers par un recours aux données de codes.
- ♣ Concernant l'étendue du réseau, les calculs ont été effectués au sein de trois ensembles de stations : global, régional et local (figures 6 et 7).

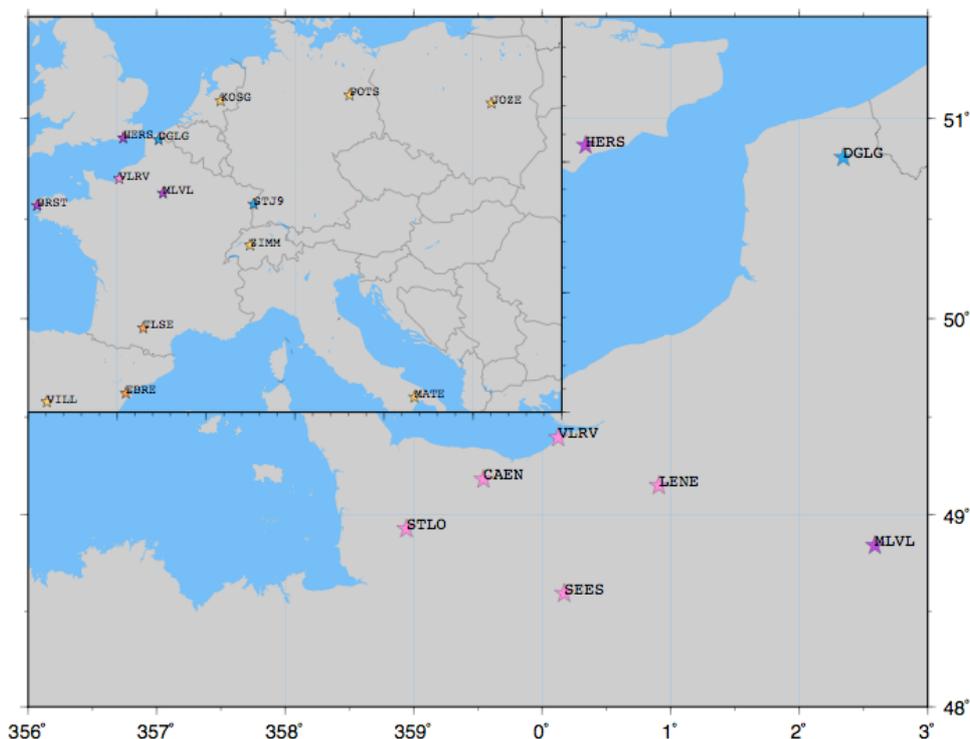


Figure 6 : Cartographie des différents réseaux pour le traitement du glissement de terrain de Villerville. Le traitement global inclut les stations IGS (en jaune : JOZE, MATE, POTS, KOSG, ZIMM, VILL), les stations RGP (en violet : MLVL, BRST, HERS, en orange : TLSE, EBRE et en rose : CAEN, LENE, SEES) et les stations de Villerville (VLRV). Le premier réseau régional comprend les stations RGP violette, orange et rose sauf STLO, et les stations de Villerville (VLRV) ; le second les stations RGP violette, bleues et rose sauf STLO et les stations de Villerville (VLRV). Le réseau local étendu, choisi pour l'automatisation du traitement, est composé des stations rose.

Nom des stations	JOZE, POTS, MATE, KOSG, ZIMM, VILL	CAEN, LENE, SEES	MLVL, BRST, HERS	TLSE, EBRE	DGLG, STJ9	STLO	VLRV, vlrh, vlrh
Réseau global	X	X	X	X			X
Réseau régional 1		X	X	X			X
Réseau régional 2		X	X		X		X
Réseau local choisi pour le traitement		X				X	X

Figure 7 : Tableau récapitulatif des stations GPS composant les différents réseaux.

Une première évaluation de la qualité des stratégies de traitement a d'abord été effectuée sur un échantillon de 10 jours de traitement. Il en ressort que, pour cette étude, les données brutes ne sont pas ajustées par GAMIT avec l'option L1,L2_INDEPEN quel que soit le type de réseau choisi.

Pour les réseaux globaux, lors du traitement avec l'option RELAX les séries temporelles sont indéniablement de meilleure qualité pour les stations locales et se dégradent lorsque l'on s'éloigne du site étudié et que la densité spatiale des données diminue. Cependant la connaissance de la position étant intrinsèquement plus précise pour les stations IGS que pour les stations régionales ou locales, on est amené à constater une défaillance du traitement : le logiciel basant probablement le recalcul des orbites au niveau de la forte densité de stations. Pour parer à cette incohérence, une série de fichiers H couvrant toute l'Eurasie a été importée en amont du traitement avec GLOBK. Ce mode de traitement aboutissant à des séries temporelles des positions des stations d'une très grande stabilité (valeurs comprises dans un intervalle de l'ordre du mm pour les stations IGS et inférieur à 5 mm pour les stations régionales et locales), il a été jugé pertinent de le considérer comme point de comparaison fiable pour l'évaluation des autres traitements. Les choix de paramètres ayant fourni des résultats cohérents sont alors soumis à une évaluation plus fine sur une période de 175 jours, soit un peu moins de 6 mois.

♠ *Réseau global et option BASELINE* : Lorsque avec le réseau global l'option BASELINE est sélectionnée (orbites fixes) aucune importation de données supplémentaires n'est nécessaire. L'écart des valeurs des lignes de base locales entre ce traitement et celui de référence est de l'ordre du dixième de mm, comme le montre la figure ci-dessous. On peut donc considérer comme identiques les résultats de ces deux types de traitements (figure 8).

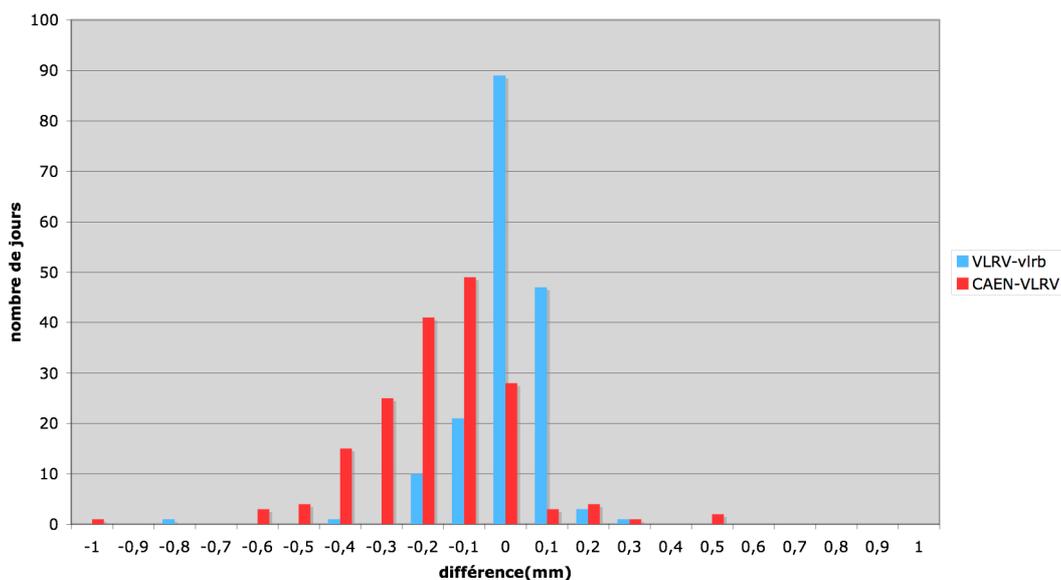


Figure 8 : Comparaison de l'évaluation des lignes de base dans le cadre d'un réseau global avec l'utilisation d'orbites fixées ou non. Le traitement réalisé avec une réévaluation des orbites nécessite l'importation de données supplémentaires. La ligne de base CAEN-VLRV est de l'ordre de 50 km alors que celle VLRV-vlrb, la plus longue ligne de base appartenant à proprement parlé au glissement, vaut environ 500m. Écarts type de 0,18 mm pour CAEN-VLRV et de 0,11 mm pour VLRV-vlrb.

♠ *Évaluation du réseau régional par rapport au réseau global* : Le réseau régional 1 a ensuite été comparé à un traitement global, toutes choses égales par ailleurs. L'analyse des résultats sur les 175 jours tests montre que les différences pour l'évaluation journalière des lignes de base locales sont majoritairement nulles et dans tous les cas inférieures au millimètre (figure 9).

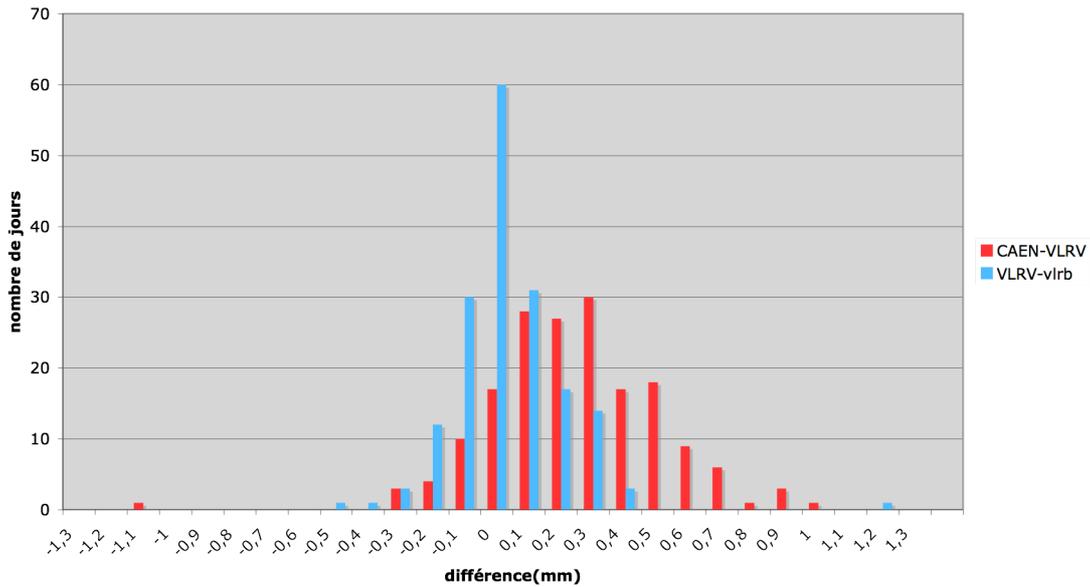


Figure 9 : Comparaison de l'évaluation des lignes de base entre le traitement au sein d'un réseau global et au sein d'un réseau régional. Écarts type de 0,26 mm pour CAEN-VLRV et de 0,18 mm pour VLRV-vlrb.

♠ *Effet de la géométrie du réseau régional* : Deux géométries de réseau régional ont été portées à l'étude. Les deux configurations comportent les stations de CAEN, HERS, LENE, EPRN, BRST, MLVL. Dans le premier cas, les stations de TLSE et EBRE viennent compléter le réseau alors que dans le second cas ce sont les stations de STJ9 et DGLG. On constate ainsi qu'au niveau de l'évaluation des lignes de base de la zone de glissement les résultats sont similaires (figure 10).

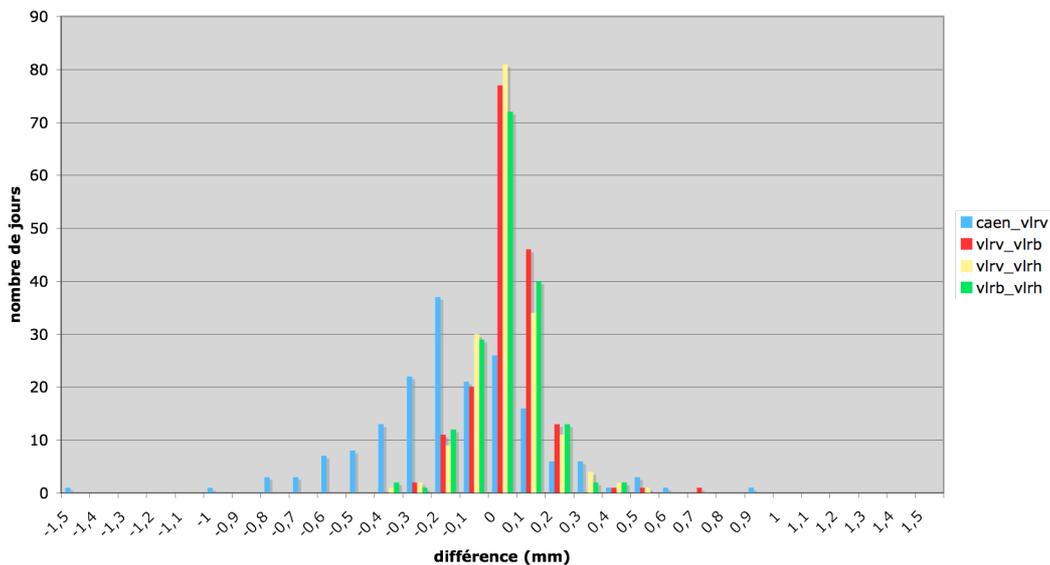


Figure 10 : Histogramme représentant la distribution des différences de longueur des lignes de base entre les 2 géométries de réseaux régionaux (réseau 1 – réseau 2). Écarts type de 0,30 mm pour CAEN-VLRV, de 0,19 mm pour VLRV-vlrb, de 0,23 mm pour VLRV-vlrb et de 0,12 mm pour vlrb-vlrb.

- ♠ *Mise en évidence du nombre minimum de stations nécessaires au traitement* : Le traitement incluant uniquement les 3 stations locales (VLRV, vlr_b, vlr_h) ne donne aucun résultat satisfaisant. Ainsi, il a été ajouté à ce réseau de Villerville successivement une seule station (celle de Caen) puis 2 (celles de Caen et de Le Neubourg). Des résultats cohérents sont obtenus dès que le réseau comporte au minimum 5 stations. Lorsque le nombre de stations est inférieur à 5, aucun ajustement n'est apporté aux données brutes au cours du traitement. Ceci est mis en évidence de façon flagrante lorsque l'expérience est menée avec 5 stations : GLOBK établit une stabilisation du réseau qui paraît pertinente au cours de la période étudiée mais ne procède à aucun ajustement les jours où les données d'une des stations sont indisponibles. Il serait judicieux de travailler avec un panel de 7 stations afin de pallier d'éventuelles défaillances ponctuelles au niveau des différents sites.
- ♠ *Influence de chaque station du réseau local* : Afin de mettre en évidence l'influence éventuelle de chaque station sur les résultats obtenus, les lignes de base locales sont évaluées en omettant chaque station successivement. Il en résulte des différences de l'ordre de quelques dixièmes de mm, entre chacun de ces réseaux « locaux étendus ».
- ♠ *Évaluation du réseau local par rapport au réseau global* : Une comparaison entre un réseau « local étendu » (les 3 stations du glissement et celles de CAEN, LENE, SEES, STLO) et le réseau global révèle des différences infra millimétriques pour l'évaluation des lignes de base locales (figure 11). Les écarts sont tout de même plus forts que ceux observés lors de la comparaison réseau global/réseau régional.

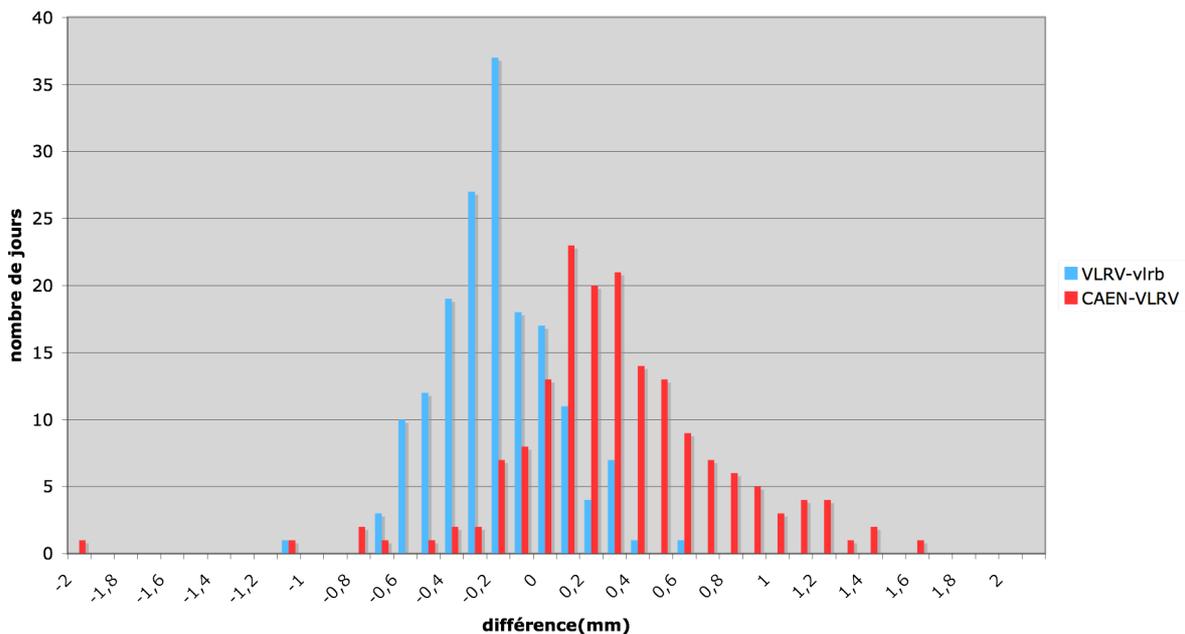


Figure 11 : Comparaison de l'évaluation des lignes de base entre le traitement au sein d'un réseau global et au sein d'un réseau local « étendu ». Écarts type de 0,47 mm pour CAEN-VLRV et de 0,25 mm pour VLRV-vlr_b.

- ♠ *Choix des contraintes initiales appliquées à chaque station* : Différents autres tests indépendants ont permis de constater que l'influence du choix de contraintes sur les coordonnées des sites régionaux dans le traitement (sittbl.) est négligeable. Lors du traitement, une contrainte de 50 cm est ainsi imposée aux stations régionales.

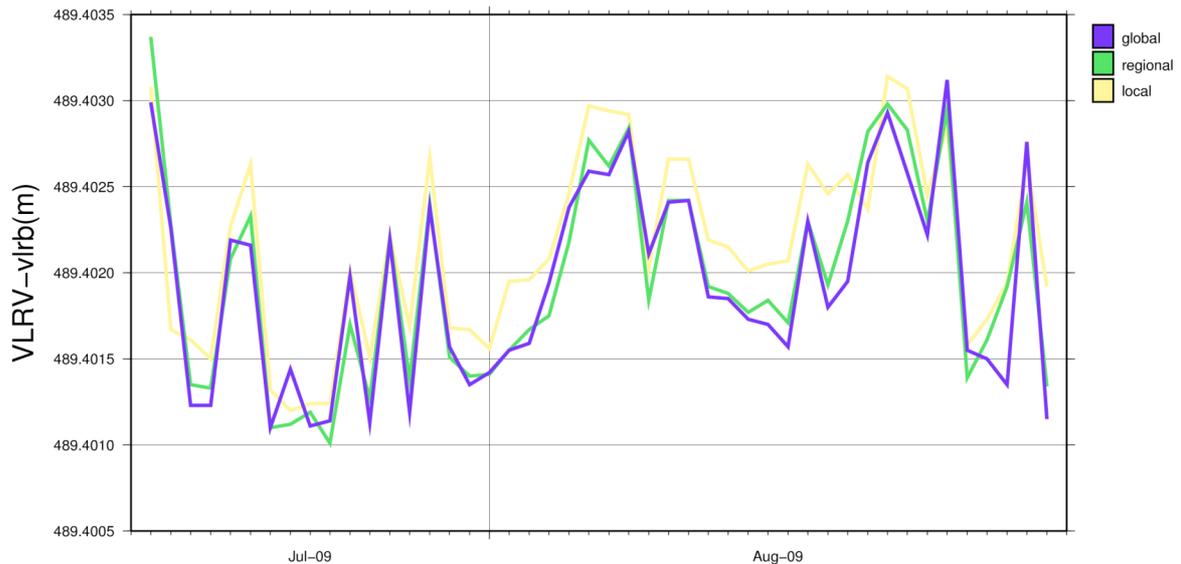


Figure 12 : Evaluations de la variation de la ligne de base VLRV-vlrb au sein de réseaux d'étendues différentes.

Les écarts des valeurs des lignes de base avec les différents modes de traitements sont inférieurs au mm (figure 12). En étudiant les différences sur chaque composante indépendamment, on observe qu'elles atteignent 1 à 2 centimètres : quasi 20 mm pour la coordonnée verticale et en deçà de 15 mm pour les composantes horizontales. La qualité du traitement local est donc légèrement moindre, mais il reste dans la gamme de précision recherchée, ce qui nous permet de choisir le traitement optimal du point de vue du temps de calcul et de la quantité de données à importer. Il semble que le réseau local composé des 3 stations de Villerville auquel 4 autres stations (CAEN, SEES, LENE, STLO) seraient ajoutées, pourrait constituer le cadre pertinent pour le calcul avec GAMIT/GLOBK des lignes de bases des stations du glissement de terrain. Les tests sur différentes options et les conseils présents dans la documentation du logiciel semble conduire au choix de l'observable : LC_AUTCLN et de l'expérience : BASELINE.

- ♠ *Évolution de la précision avec la durée des sessions* : Un travail portant sur l'évolution de la précision avec la durée des sessions a été réalisé. Des traitements GAMIT basés sur des fichiers RINEX comportant 3, 6 puis 12 heures de données ont été effectués pour le réseau local étendu. Les résultats de ces différents traitements ont ensuite été comparés aux valeurs obtenues pour les solutions journalières afin d'évaluer leur précision en termes de longueur de lignes de base. On constate que l'écart avec la solution journalière diminue avec l'augmentation de la durée de la session (figure 13). La forme de la décroissance étant très proche de celle observée par *Malet et al.* [2000] sur les données issues de la coulée de Super Sauze (Alpes-de-Haute-Provence), il semble évident que ceci ne soit pas propre au site étudié mais reflète une caractéristique du traitement GPS.

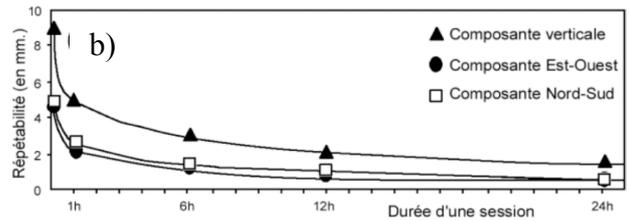
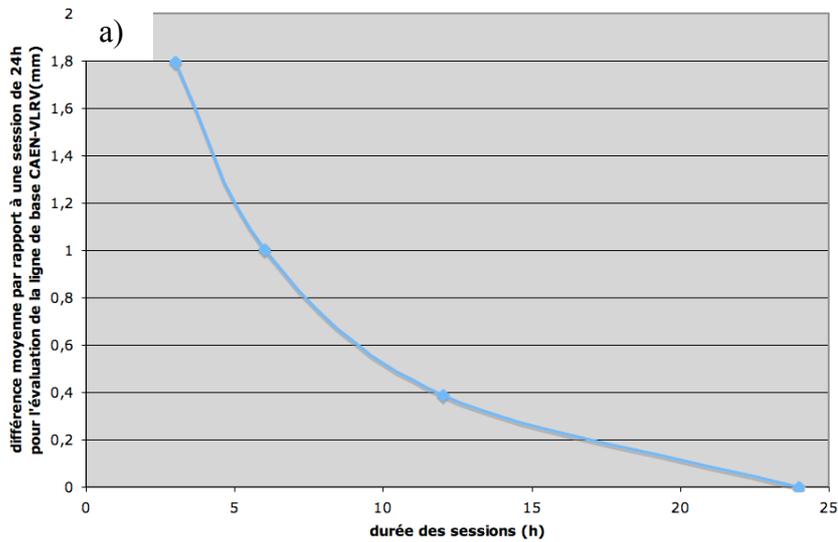


Figure 13 : Evolution de la précision en fonction de la durée des sessions. a) sur l'évaluation de la longueur des lignes de base dans le cadre de cette étude. b) sur l'évaluation des composantes des lignes de base dans le cadre d'une étude de Malet et al. [2000] sur le glissement de terrain de Super Sauze.

♠ *Utilisation d'un échantillonnage plus fin* : Il a été opéré une comparaison entre un traitement avec des sessions de 3 heures échantillonnées à 30 secondes (traitement « standard ») et un autre basé sur des données échantillonnées à 4 secondes. Les valeurs ainsi obtenues pour les lignes de base ne diffèrent jamais plus de 1,5 mm (figure 14). Cet échantillonnage plus fin pourra peut-être se révéler utile en cas d'accélération importante sur l'un des sites afin de disposer d'une solution de positionnement horaire.

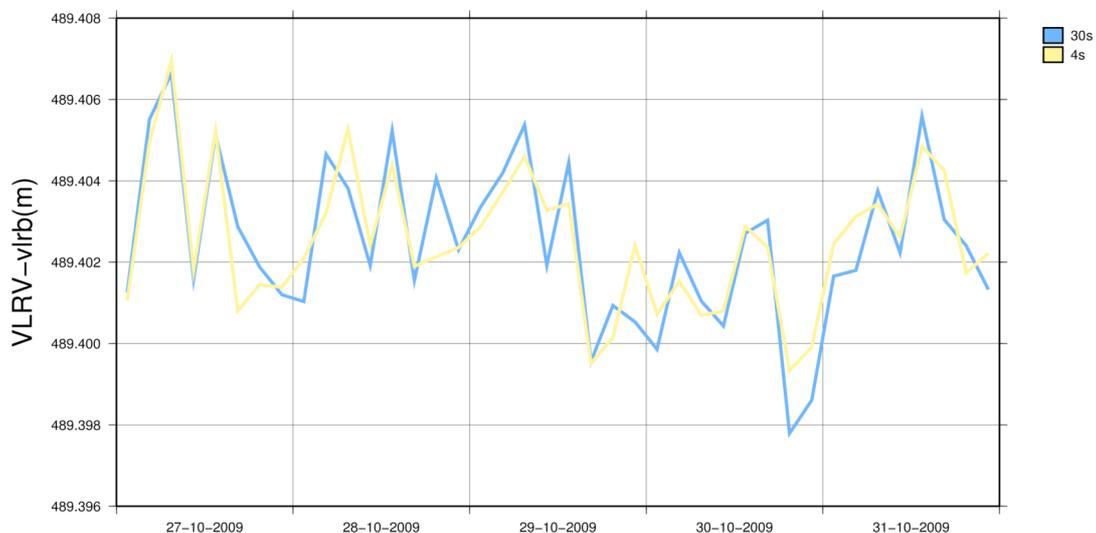


Figure 14 : Evaluation de la variation de la ligne de base VLRV-vlrb sur des sessions de 3 heures avec des échantillonnages distincts.

2. Adaptation au site de la Valette

Le même type de traitement a été adopté pour le glissement de terrain de La Valette, en insérant donc les stations GPS du glissement (au nombre de 2 puis 3 à compter de mai 2010) au sein d'un réseau de 4 autres stations RGP réparties de façon la plus homogène possible autour de la zone d'étude (figure 15). À l'issue d'une première représentation des lignes de base, il est possible de constater que la station supposée se situer à l'extérieur de la zone de glissement (LVAL) présente un

mouvement nettement supérieur au bruit de mesure, qui par ailleurs se trouve être indéniablement plus conséquent que dans le cas de Villerville (de l'ordre de la dizaine de mm dans les Alpes contre 1 à 2 mm en Normandie). Il a semblé donc plus judicieux d'utiliser la station RGP de Barcelonnette (BACT), localisée à 2 km environ du glissement, comme repère fixe pour évaluer les déplacements sur le glissement. Cette dernière station présente en effet une relativement bonne stabilité par rapport aux autres stations RGP du réseau.

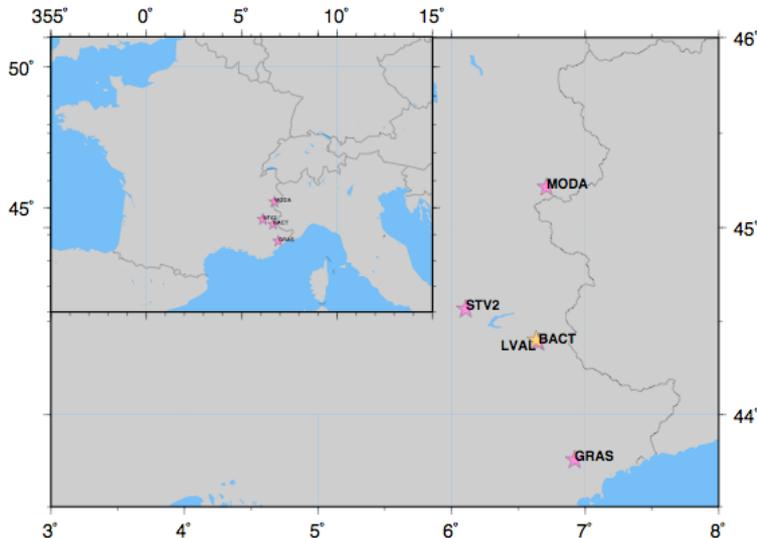


Figure 15 : Cartographie du réseau pour le traitement des données GPS du glissement de terrain de La Valette. En jaune les stations locales et en rose les stations dont les données sont diffusées par le RGP.

3. Comparaison entre le traitement des logiciels GAMIT/GLOBK et TGO (Trimble Geomatics Office)

Les travaux décrits dans ce paragraphe ont pour but d'évaluer la précision que l'on peut attendre d'un logiciel commercial (TGO) en le comparant à un logiciel ayant une visée scientifique (GAMIT). Le traitement final du projet ne pourra cependant pas être effectué avec le logiciel TGO car il ne présente aucune possibilité d'automatisation. Dans un premier temps, l'idée était de moduler le traitement TGO afin que ce dernier soit le plus proche possible de celui pratiqué avec GAMIT/GLOBK. Mais il s'avère que le logiciel ne peut pas employer d'éphémérides précises. Les calculs de lignes de base au sein du réseau global et les différents essais pour lesquels les paramètres par défaut du logiciel sont modifiés conduisent à des résultats dont les valeurs RMS associées sont supérieures au seuil fixé (0,03 m lorsqu'une seule fréquence est utilisée et 0,02 m lors de l'utilisation de 2 fréquences).

Le traitement proposé pour la comparaison avec le logiciel du MIT est donc fondé sur un réseau composé du site de Caen et des 3 stations de Villerville. Aucune modification n'est apportée aux paramètres utilisés par défaut par le logiciel mises à part les hauteurs d'antennes des stations de Villerville qui ont été ramenées à 0. En effet, lors de l'importation des fichiers de données RINEX, le logiciel détecte une hauteur d'antenne non nulle pour les 3 stations locales alors que l'on fixe cette valeur à 0 dans le fichier station_info de GAMIT. Il est usuel d'attribuer une hauteur nulle à l'antenne lors de la mise en place initiale d'un site GPS et de ne faire varier cette dernière qu'en cas de modification au cours du temps. Les coordonnées de la station de Caen sont fortement contraintes (control quality point). Cette forme de traitement est associée à des valeurs RMS admissibles, nous nous trouvons ainsi en mesure d'évaluer les possibilités du logiciel TGO. Ceci a été effectué sur une période de 30 jours (du jour 300 au jour 329 de l'année 2009, soit au cours du mois de novembre 2009) et met en évidence une différence maximale de 8,39mm sur la ligne de base entre Caen et Villerville (49km environ). Cependant, l'écart entre les solutions journalières des lignes de base de TGO et de GAMIT se révèle en général inférieur à 5mm (figure 16). Les valeurs des lignes de base évaluées par TGO coïncident toujours avec une valeur entière de millimètres ce qui est probablement une des causes des écarts d'évaluation entre les deux logiciels.

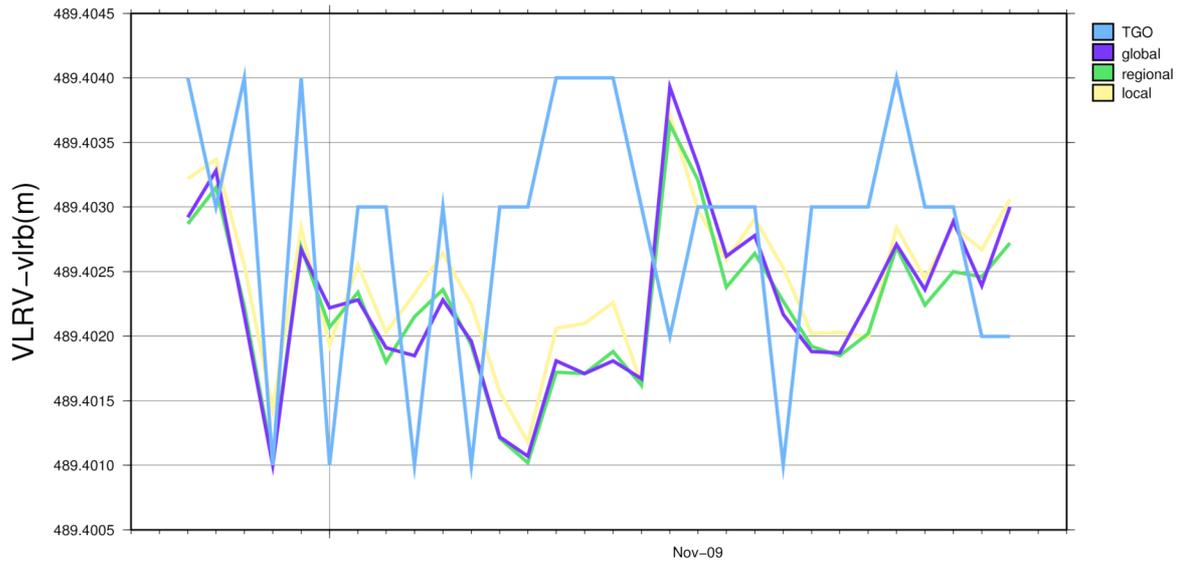


Figure 16 : Comparaison des évaluations journalières de la ligne de base VLRV-vlrb suite à des traitements GAMIT au sein des différents réseaux et du traitement TGO.

C. Automatisation

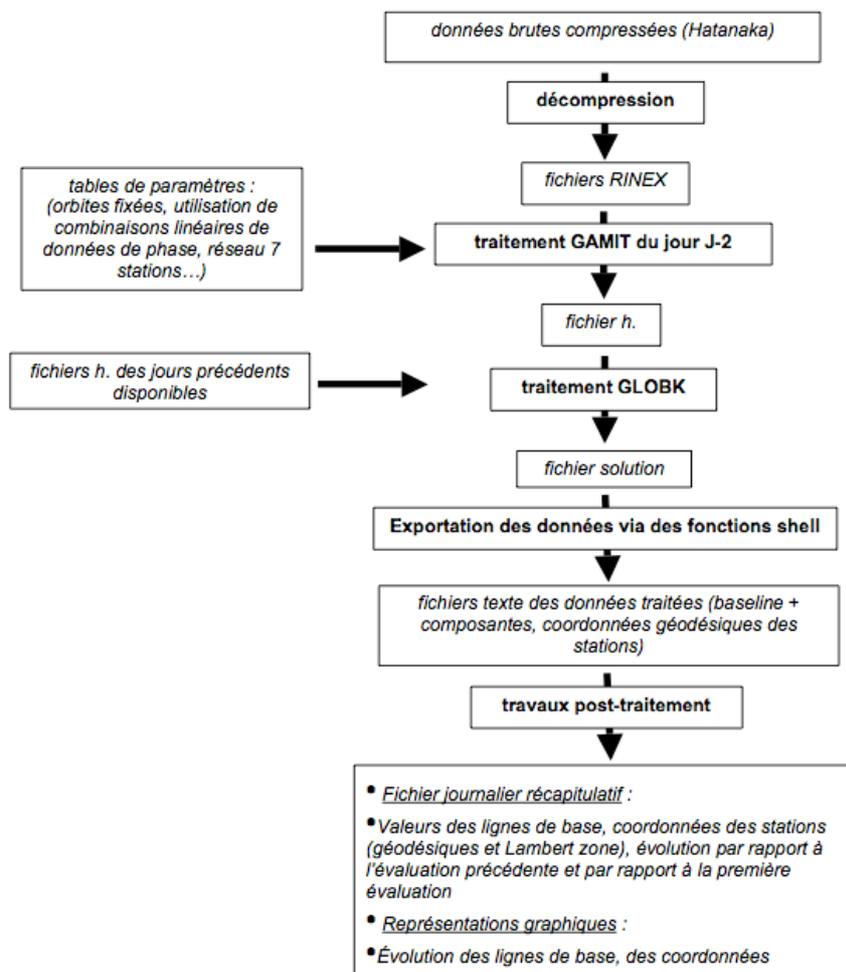


Figure 17 : Organigramme d'automatisation du traitement des données GPS.

Le traitement des données GPS a été automatisé afin d'obtenir la position de chaque station et de détecter au plus vite tout mouvement substantiel sur la zone de glissement et en vue d'aboutir à un dispositif d'alerte (figure 17). Les fichiers RINEX journaliers des différentes stations GPS sont disponibles le surlendemain et il est possible de se procurer des données d'orbites dites rapides dans un délais de 17 à 41 heures. Ainsi l'automatisation du traitement peut être effectuée à J+2. Afin d'évaluer la précision des résultats issus d'un traitement avec les orbites rapides, un échantillon de 110 jours a été traité avec les deux types d'orbites (rapides et finales) fournies par l'IGS (International GNSS Service). Ce test nous permet de constater que les deux types de traitements engendrent des différences de l'ordre du centième de mm sur les valeurs des lignes de base. L'utilisation des orbites rapides n'est donc pas préjudiciable quant à la connaissance précise des distances analysées. En amont de la mise en place de l'automatisation, basée sur un script shell, l'intégralité des données disponibles a été traitée via le programme du MIT «sh_gamit». On dispose donc pour chaque jour d'un fichier h contenant une solution journalière faiblement contrainte ainsi qu'une matrice de covariance associée. Le programme d'automatisation est lancé par le programme « crontab » de façon quotidienne à un horaire fixé. Son rôle est essentiellement de traiter avec GAMIT/GLOBK les données journalières les plus récentes disponibles et de générer des séries temporelles des positions des stations et des longueurs des lignes de base par l'intermédiaire de l'outil « glred » du logiciel GLOBK. Cette fonction, permettant de créer des estimations indépendantes des coordonnées pour les sessions journalières, opère au moyen d'un filtre de Kalman et à partir des quasi-observations et des covariances associées, issues du traitement GAMIT. L'exploitation du fichier de sortie (globk_rep.prt) de cette dernière fonction donne accès à la fois aux coordonnées géodésiques (latitude, longitude, hauteur ellipsoïdale) des stations et aux valeurs des lignes de base. Afin d'optimiser la lisibilité des données les plus fondamentales, une représentation au sein d'un même graphique de l'évolution des lignes de base VLRV-VLRB et VLRV-VLRH s'est avérée intéressante (figure 18).

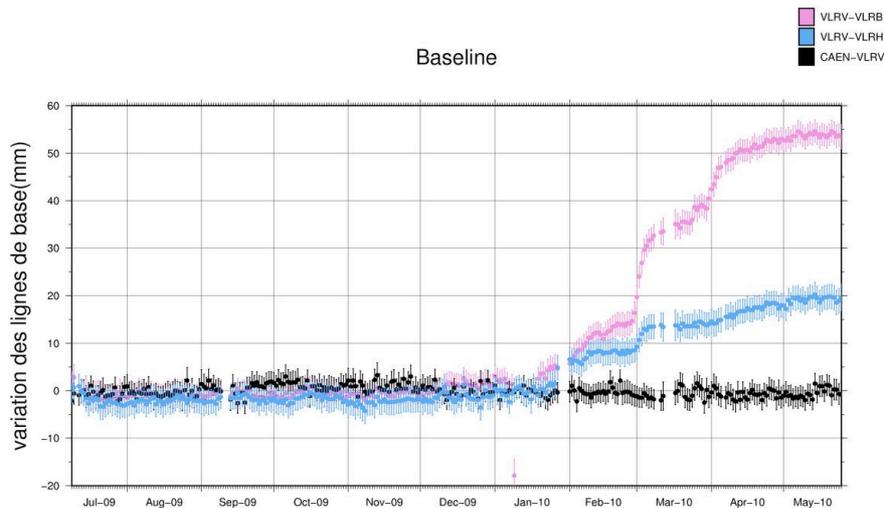


Figure 18 : Evolution de la longueur des lignes de base pour le glissement de terrain de Villerville sur la période juillet 2009-mai 2010.

Dans le cas de La Valette, il a été inclus dans l'automatisation une représentation graphique de l'évolution des lignes de base entre Barcelonnette et les stations mobiles du glissement. Les lignes de base entre Barcelonnette et les autres stations RGP du réseau font également l'objet de la figure 19. Ceci permet une visualisation directe de la stabilité de cette station, point de repère fixe, exempt de tout mouvement dû au glissement.

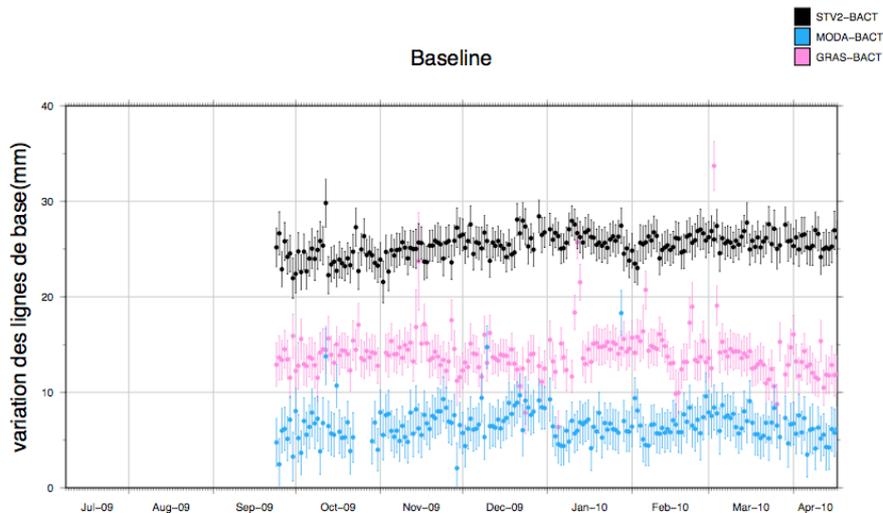


Figure 19 : Evolution de la longueur des lignes de base entre la station de Barcelonnette et les autres stations RGP utilisées dans la mise en réseau pour le traitement des données GPS du glissement de terrain de La Valette.

Le protocole fait ensuite appel à un logiciel de conversion de coordonnées développé par l'IGN (Institut Géographique National) : Circé (<http://rgp.ign.fr/>). Il permet l'obtention des positions des stations en projection Lambert zones (nord, est, altitude). Ce type de projection est utilisé pour de nombreuses autres bases de données. Puis les mouvements des stations sont cartographiés et l'évolution de leurs coordonnées Lambert (I pour Villerville et III pour La Valette) en fonction du temps est représentée. Le but étant d'obtenir des vecteurs déplacement. Le programme d'automatisation produit sous forme de fichiers texte : les coordonnées (géodésiques et Lambert) des différentes stations depuis le premier jour de traitement, les valeurs des lignes de base et de leurs composantes ; ainsi qu'un résumé du déroulement du programme comportant, le cas échéant, les éventuelles entraves à son exécution correcte et un récapitulatif des données supplémentaires du jour présentant les valeurs des lignes de base, les positions des stations en coordonnées Lambert, les différences par rapport au jour précédent ainsi que par rapport au début du traitement. Le script d'automatisation est relancé après un délai de 30 jours avec l'utilisation des orbites IGS finales et la récupération de l'intégralité des fichiers RINEX enregistrés, ces derniers n'étant parfois pas disponibles lors du premier traitement du fait de problèmes de transmission ponctuels.

IV. Facteurs de contrôle des déplacements : pluie efficace et variations hydrologiques

A. Glissement de terrain de Villerville

Le protocole de traitement des données GPS effectué, il est possible d'analyser l'évolution du comportement des stations au cours du temps et de tenter de corrélérer les déplacements GPS avec d'autres sources de données en particulier météorologiques et hydrologiques (pluie, température, niveau d'eau). L'étude porte sur une période s'étendant de juillet 2009 à mars 2010. Les données de la station de vlrh comporte mi-janvier 2010 (jours 9 à 18) une partie non exploitable due à un basculement de l'antenne et les données de la station VLRV ne sont pas transmises fin janvier 2010 (jours 28 à 31).

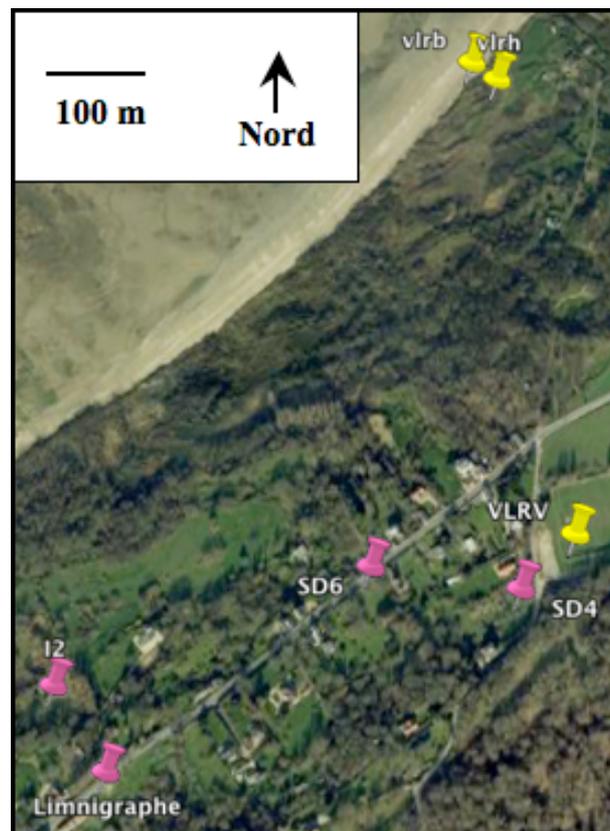


Figure 20 : Carte du réseau de piézomètres (rose) à proximité des stations GPS (jaune) du glissement de terrain de Villerville (fond de carte Google Earth).

Afin de procéder à une première sélection des données recueillies et de ne conserver que celles qui semblent pouvoir se corrélérer avec les informations concernant les déplacements des stations GPS, il a été représenté graphiquement l'évolution temporelle des différentes variables disponibles. Les données issues de la station Météo France de Saint Gatien, située à quelques kilomètres de Villerville, ont permis de valider la mesure des paramètres météo observés au niveau de l'antenne GPS VLRV, en terme de pression, température et humidité de l'air. Concernant la pluviométrie, le récepteur situé au niveau du glissement présente des lacunes de données conséquentes au cours de la période d'étude qui limitent fortement les possibilités de corrélation. Les périodes d'enregistrement effectif du capteur révèlent, au niveau de la courbe des précipitations cumulées, un motif similaire avec celui de la station de Saint Gatien. Les données de pluie efficace (P_{eff}) fournies par Météo France ont été exploitées pour la corrélation.

$$P_{\text{eff}} = P - \text{ETP}$$

avec P, la pluviométrie

et ETP l'évapotranspiration. C'est-à-dire la perte totale d'eau sous forme de vapeur par évaporation et transpiration (flux d'eau entrant dans les plantes par la racine, transféré à la feuille puis qui passe dans l'atmosphère).

Des données continues de hauteur de nappe sont disponibles au niveau de quatre piézomètres localisés en amont du glissement. La représentation graphique de l'évolution temporelle de l'altitude des nappes met en évidence que seules les données issues du piézomètre SD4 (figure 20) sont susceptibles de vérifier une forte corrélation avec les mouvements de la zone d'étude.

Les données GPS ont été moyennées au sein d'une fenêtre glissante de 5 jours pour s'affranchir d'une partie du bruit. Les courbes d'évolution des lignes de base lissées présentent des similitudes avec l'enregistrement du piézomètre SD4, notamment à compter de mi-janvier 2010 où des déplacements significatifs sont observés (figure 21).

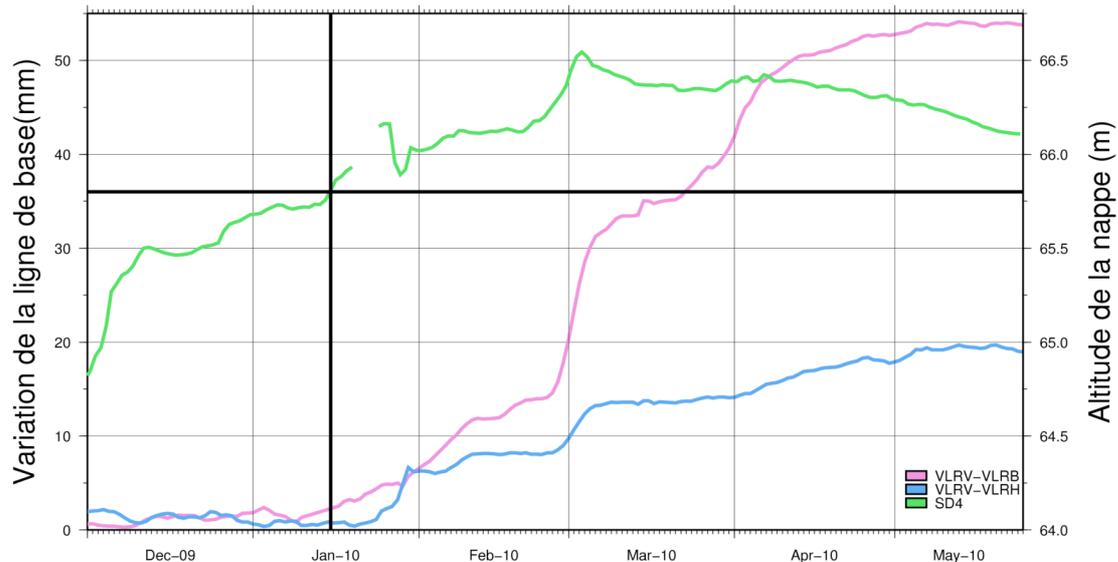


Figure 21 : Corrélation entre les mouvements sur le glissement de terrain et les variations d'altitude de la nappe d'eau dans le sol. La direction des lignes de base étant quasiment colinéaire aux déplacements de vlrb et vlrh, on peut raisonnablement considérer que les variations de lignes de base correspondent de manière assez exacte aux variations de déplacements des stations mobiles.

À partir du 15 janvier 2010, un déplacement supérieur au bruit expérimental est observé au niveau de la station vlrb. Cette initiation de mouvement coïncide avec une position de nappe de 65,8 m que nous considérons comme valeur seuil pour l'initiation de mouvements en période de recharge de nappe. Deux périodes d'accélération sont identifiées fin janvier 2010 et fin février 2010 pour les deux GPS ; celles-ci peuvent être mises en relation avec des remontées rapides (sur quelques jours) de la nappe. Une troisième période d'accélération est observée début avril 2010 uniquement pour la station GPS localisée en aval du glissement. Cette accélération n'est corrélée à aucune variation de nappe et est probablement liée à de fortes rafales de vent et à de fortes vagues répertoriées entre le 20 et le 31 mars 2010 qui ont érodé le pied du glissement entraînant un raidissement du profil en long. Au cours des mois d'avril et mai 2010, la nappe amorce une phase de drainage et aucun mouvement significatif n'est observé.

Une des hypothèses proposées dans les travaux de thèse de J.P. Malet pour expliquer l'asymétrie des seuils d'accélération en période de croissance ou de décroissance de l'altitude de la nappe est un changement des propriétés géomécaniques du matériau lors du drainage (en particulier une augmentation de la cohésion) qui provoque une consolidation de ce dernier.

Le décalage entre les précipitations et les variations de hauteur de nappe est évalué à 2 jours (coefficient de corrélation de 0,985 entre les deux courbes) (figure 22). Ce qui est en accord avec les études effectuées précédemment (travaux de thèse de O. Maquaire, Lissak et al., 2009).

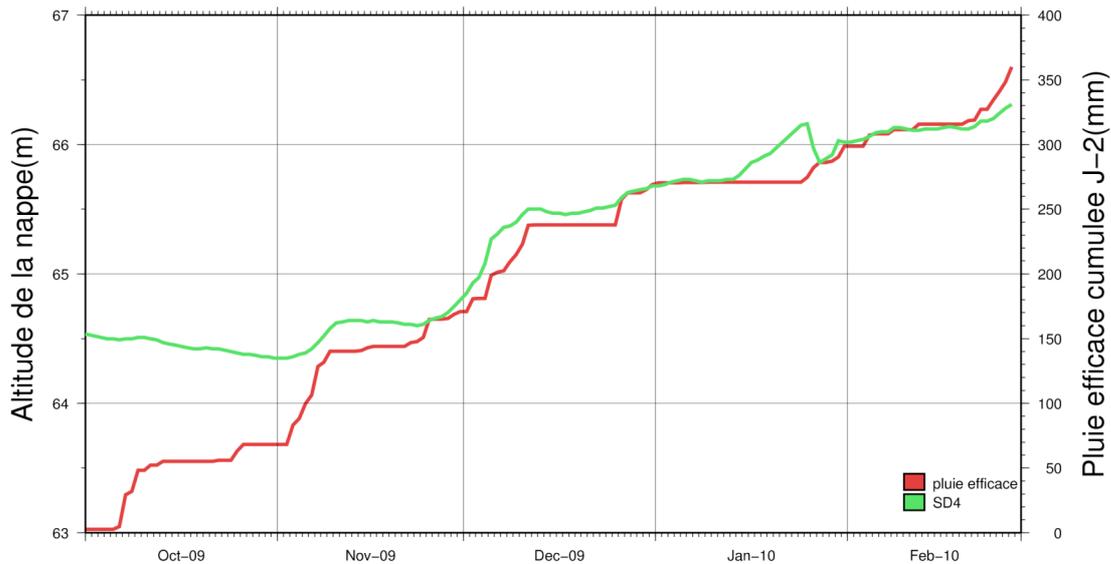


Figure 22 : Corrélation entre les variations d'altitude de la nappe d'eau dans le sol et la pluviométrie efficace.

La nappe est extrêmement compartimentée selon la nature et les matériaux rencontrés sur le versant. Il est donc difficile d'identifier de façon précise spatialement et temporellement les phases de recharge ou de drainage. Des imperfections dans la corrélation entre les mesures des stations GPS et celles du piézomètre SD4 sont probablement en partie dues à la distance de 520 m environ qui les sépare. D'autres facteurs entre également en jeu et le motif de déplacement résulte d'une combinaison complexe de paramètres.

B. Glissement-coulée de La Valette

Sur le site de La Valette, au niveau de la station GPS de lva1, un capteur multi paramètres mesure à 3 profondeurs la pression interstitielle d'eau. Une tentative de corrélation entre les données recueillies et les déplacements de la station lva1 a été effectuée. Les représentations graphiques des variations des composantes Nord et Est étant quasiment superposables, il est raisonnable de considérer une courbe du déplacement planimétrique de la station de même forme que ces dernières. Les variations temporelles d'altitude de la station lva1 sont trop dispersées pour être exploitées sur la période d'octobre 2009 à mai 2010.

Les déclenchements d'accélération se produisent au niveau des augmentations de pression interstitielle (figure 23). On peut supposer que ces augmentations sont liées à une arrivée d'eau dans le sol. Lorsque le niveau de la nappe est inférieur à la position des capteurs de pression, qui se situent à des profondeurs superficielles, on observe une relative stabilité de la position de la station GPS. L'influence des paramètres hydrologiques du terrain sur les fluctuations du motif de glissement est fortement probable.

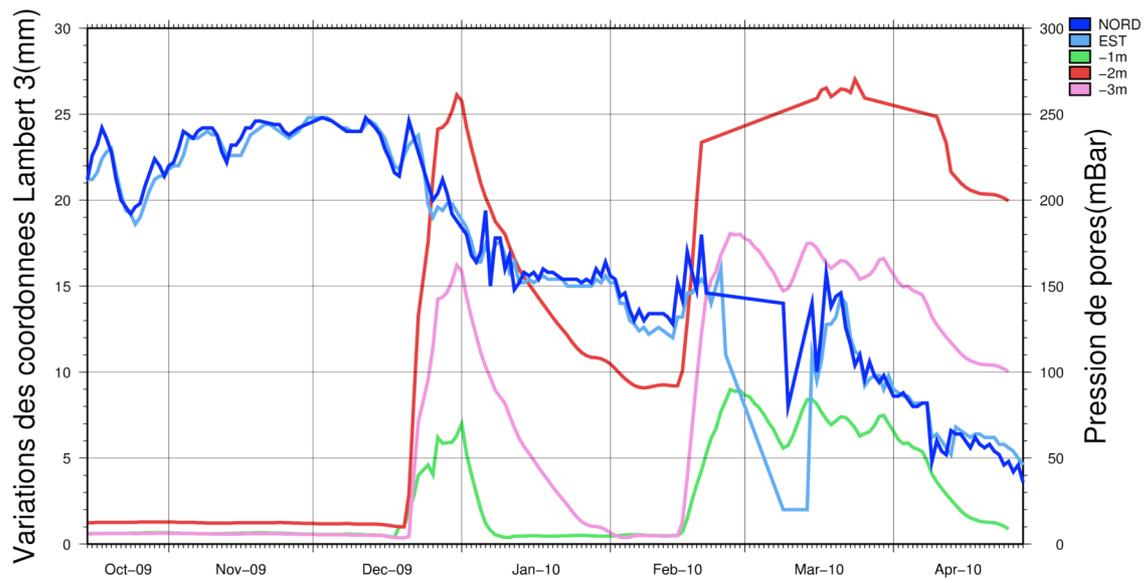


Figure 23 : Corrélation entre les mouvements de la station Iva1 sur le glissement de terrain et les variations de pression de interstitielle à différentes profondeurs.

V. Modélisation mécanique des déplacements

A. Présentation du modèle

Pour progresser dans la compréhension mécanique des deux glissements de terrain, une modélisation mécanique des déplacements (en surface et en profondeur) a été réalisée grâce à un modèle 2D proposé par van Asch et al. [2009]. Seule l'application au site de La Valette est présentée ici. Il n'a pas été possible d'étalonner le modèle pour le site de Villerville. Ce type de modélisation n'est probablement pas applicable dans le cadre d'un glissement de terrain dont la pente de la surface de rupture est relativement peu importante, comme celle du site normand (pente d'une dizaine de degrés d'après les travaux de thèse de O. Maquaire).

De nombreux paramètres hydrologiques et géomécaniques contrôlent l'évolution cinématique des glissements de terrain. Le modèle présenté se fonde sur un découpage de la zone de glissement en tranches (figure 24). Pour chaque tranche, un bilan de forces est réalisé et le concept d'équilibre limite est appliqué (le mouvement est provoqué par l'excès de forces déstabilisatrices par rapport aux forces résistantes de Coulomb : cohésion et friction du matériel). L'hypothèse majeure du modèle est de considérer que les déplacements sont contrôlés par les fluctuations de niveau d'eau dans le sol et donc des variations de contraintes effectives. Cette modélisation est basée sur un programme Matlab procédant par itérations. Ces paramètres d'entrée sont : la masse volumique (ρ), la cohésion effective (C'), l'angle de friction interne effectif (φ'), la viscosité (ν) et la géométrie. À chaque itération, un calcul détermine successivement pour chaque tranche, d'amont en aval, la hauteur de sol (h_{critique}) pour laquelle la somme des forces prise en compte est nulle. La différence entre h_{critique} et la hauteur de sol réelle est translatée vers la tranche en aval.

Le bilan de forces comprend les éléments suivants :

$$D_i = G_i + P_i$$

$$G_i = W_i \sin \alpha_i$$

$$P_i = \kappa W_i \sin \alpha_i \tan \beta_i$$

$$R_i = c' l_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi'$$

Avec :

- - D_i : les forces favorisant le glissement (N),
- - W_i : le poids de la tranche (N),
- - G_i : la composante tangentielle du poids de la tranche (N),
- - P_i : le terme de pression interne (Pa),
- - κ : le coefficient de pression des terres latérales (-),
- - R_i : les forces résistantes (N),
- - c' : la cohésion effective (Pa),
- - u_i : la pression de pores (Pa),
- - φ' : l'angle de friction interne effectif du matériau (°).

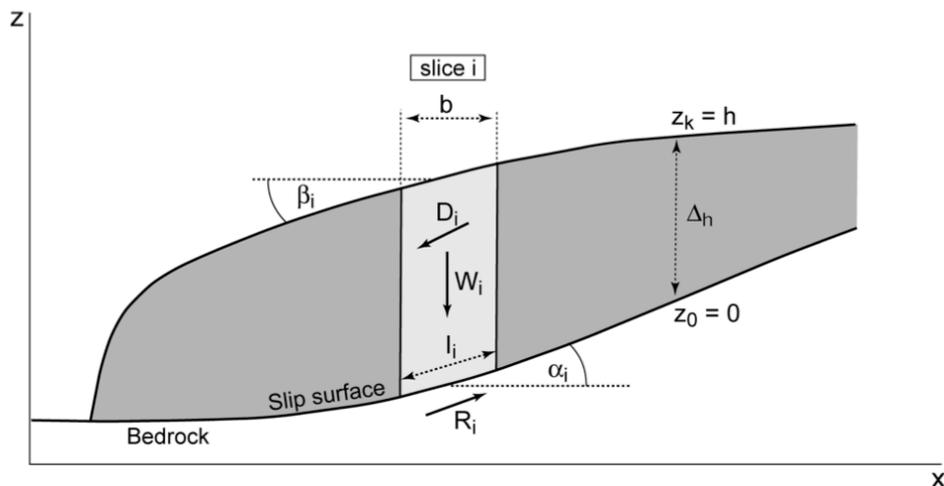


Figure 24 : Schéma d'une tranche du glissement de terrain indiquant les principales forces prises en compte dans le modèle de déplacement (van Asch et al., 2009). Des déplacements se produisent lorsque D_i est supérieur à R_i .

B. Calibration du modèle au niveau de la partie avale du glissement-coulée de La Valette

L'analyse est centrée sur la partie avale de la coulée. Sur ce profil, la profondeur de la surface de glissement a été déterminée par des études sismiques préalables. Des données inclinométriques obtenues au cours de l'année 2008 par l'intermédiaire d'un forage localisé quelques mètres à l'amont de la station GPS Iva1 ont été utilisées (figure 25).

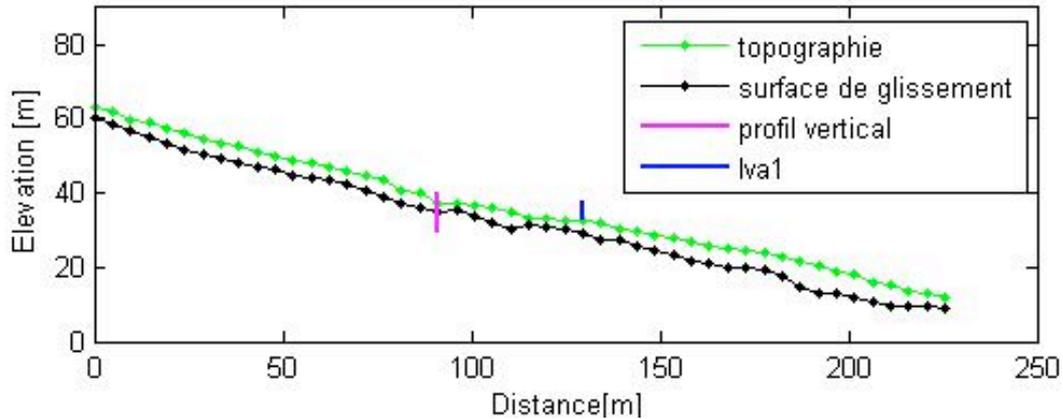


Figure 25 : Géométrie de la surface topographique et de la surface de glissement du modèle. Localisation du profil inclinométrique vertical et de la station GPS Iva1.

Les mesures inclinométriques consistent en des relevés d'angles dans deux directions perpendiculaires, dont l'intégration sur la longueur d'un tube inclinométrique permet de calculer la déformée de tubage et les déplacements au cours du temps sur un profil vertical. On dispose de 6 courbes instrumentales chacune composée d'une série de mesures de déplacement entre 1 et 9,5 m de profondeur avec un pas de 0,5 m entre chaque mesure. Le premier relevé (datant du 10/09/08) fait office de référence (temps t_0) par rapport à laquelle les déplacements après des périodes de 12, 26, 39, 55 et 96 jours sont évalués.

Le modèle a été calibré par essais et erreurs et un jeu de paramètres optimaux permet de reproduire des courbes inclinométriques (figure 26) qui diffèrent des données réelles de quelques mm. Les courbes modélisées reproduisent le comportement rigide du matériau sur une épaisseur de 9 m environ et la concentration de la déformation au niveau d'une bande de cisaillement d'environ 1 m. L'écart entre les observations et la modélisation, plus conséquent sur certaines périodes, s'explique sans doute en partie par le fait que le coefficient de friction interne effectif du sol fluctue avec la quantité d'eau en présence. Le terme « effectif » signifie, dans la théorie de Coulomb, que l'effet de pression lié à l'eau est pris en compte.

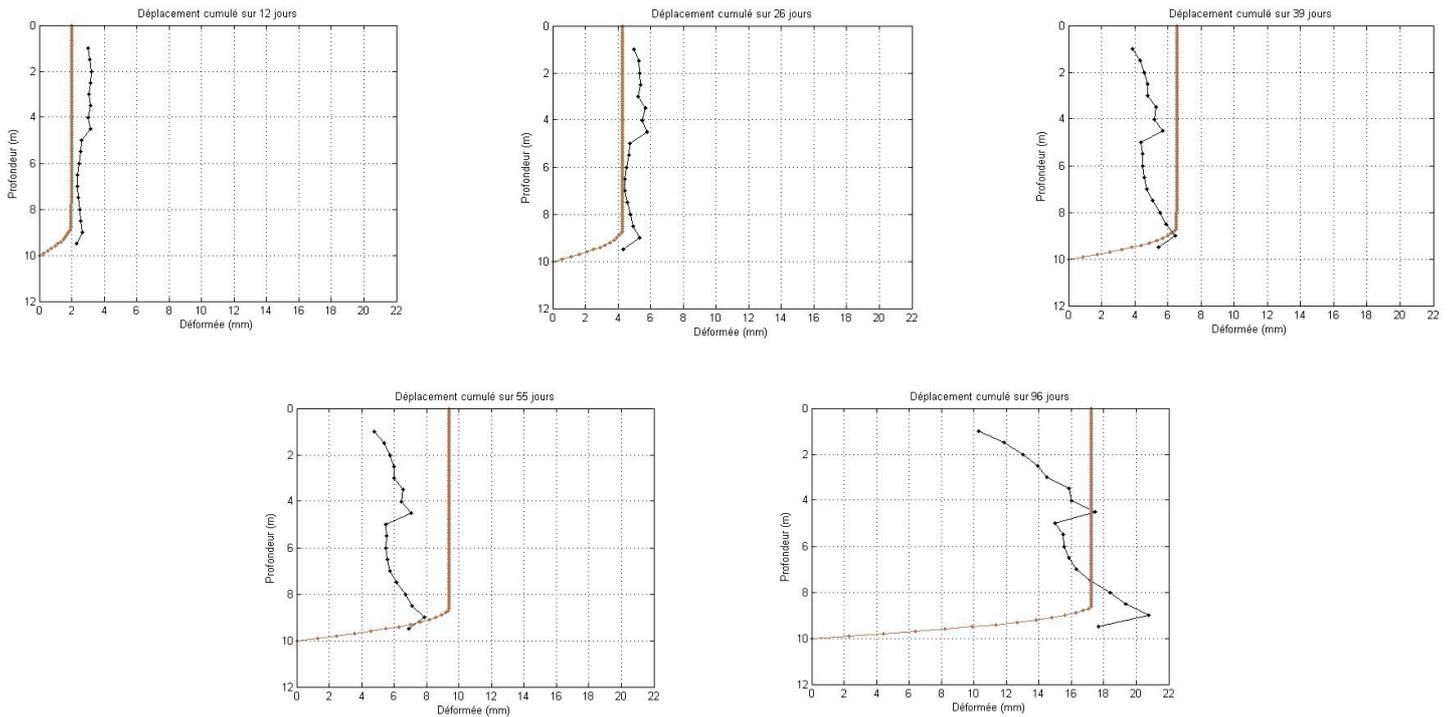


Figure 26: Simulation du profil vertical de déplacement pour différents temps à l'inclinomètre I3 (déplacement simulé en couleur marron, déplacement instrumental observé en noir). Les paramètres du modèle de glissement (cohésion, angle de friction interne effectif, densité, viscosité) ont été étalonnés en optimisant l'amplitude du déplacement et l'allure du profil de déplacement. Les paramètres du modèle utilisés ont pour valeur : $C' = 20.5 \text{ kPa}$, $\rho = 2000 \text{ kg.m}^{-3}$, $\varphi' = 2^\circ$, $\nu = 1.2 \cdot 10^{12} \text{ Pa.s}$. La valeur de viscosité choisie pour l'étalonnage du modèle doit être considérée comme une grandeur numérique qui ne correspond à aucune réalité physique en terme de comportement rhéologique du matériau. La valeur des paramètres optimisés est dans la gamme des valeurs obtenues à partir d'essais géotechniques décrits dans la littérature (Guillon, 2001 ; Maquaire et al., 2003) pour le poids volumique ($1910 \text{ kg.m}^{-3} < \rho < 2030 \text{ kg.m}^{-3}$) et la cohésion ($10 \text{ kPa} < c' < 40 \text{ kPa}$ en cisaillement direct et annulaire), mais inférieure d'un ordre de grandeur pour l'angle de friction interne effectif ($19^\circ < \varphi' < 24^\circ$ en cisaillement direct et annulaire). Ceci amène des commentaires dans le paragraphe précédent. Les écarts type entre le modèle et les mesures sont de 0,3 mm pour la courbe à 12 jours, 0,5 mm pour celle à 26 jours, 1,0 mm pour celle à 39 jours, 1,4 mm pour celle à 55 et 3,5 mm pour celle à 96 jours.

C. Application du modèle au niveau de la station Iva1

Les déplacements en surface ont été modélisés sur le site d'installation de la station GPS Iva1 avec des valeurs différentes d'angle de friction interne effectif. On observe que les valeurs d'angle de friction interne pour lesquelles le déplacement modélisé est non nul sont inférieures à 15° (figure 27), ce qui reflète une présence d'eau dans le sol. Cette constatation se révèle cohérente avec la corrélation effectuée dans la partie précédente entre la pression interstitielle et les enregistrements GPS, qui avait permis d'observer une concordance temporelle entre l'augmentation de la pression interstitielle (signe d'un accroissement de la quantité d'eau au sein du terrain) et les mouvements significatifs sur le glissement.

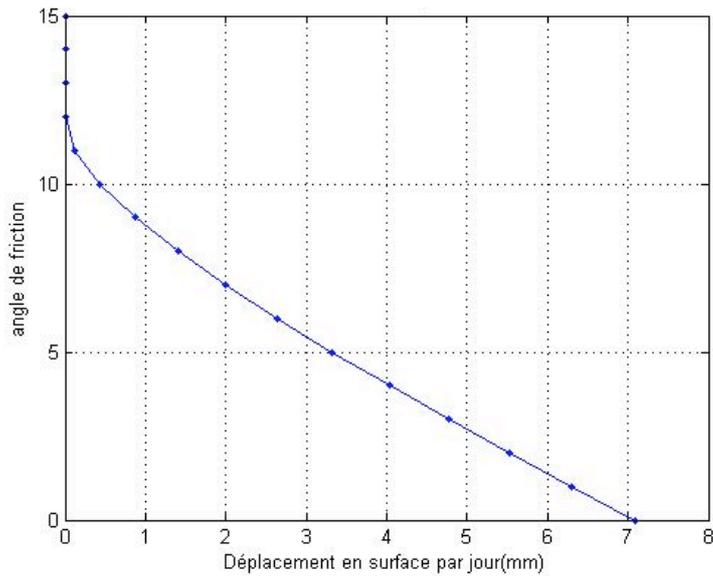


Figure 27 : Mise en évidence de l'influence de l'angle de friction interne sur le déplacement modélisé en surface.

On peut dégager différentes phases sur les représentations graphiques de l'évolution des coordonnées Lambert 3 Nord et Est. Il est possible de distinguer des périodes relativement calmes (où l'on considère que la vitesse moyenne de déplacement est nulle) qui s'opposent à des périodes de mouvement significatif (vitesses moyennes comprises entre 0,2 et 0,4 mm/jour) : 5 intervalles ont été délimités entre octobre 2009 et avril 2010. Et, pour chacun d'entre eux une valeur d'angle de friction interne, à insérer comme paramètre d'entrée dans le programme de modélisation, a été déterminée grâce au graphique de la figure 27 en vue de reproduire le déplacement observé (figure 28).

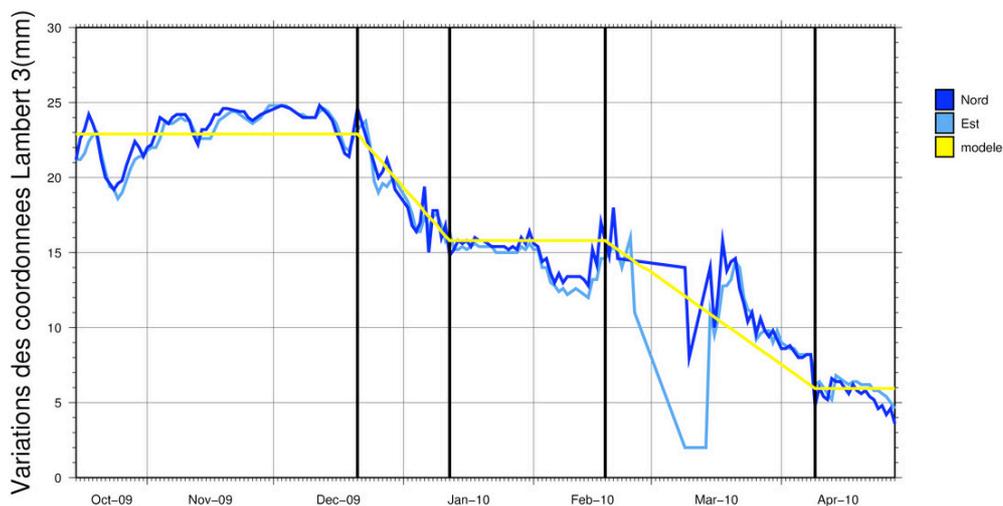


Figure 28 : Modélisation des différentes phases de variations des composantes du déplacement de lva1 par des changements de la valeur de l'angle de friction interne. L'angle de friction interne effectif du modèle est constant par phase et vaut respectivement du premier au cinquième intervalle : 15°, 10.25°, 15°, 10.7°, 15°.

Par un programme de modélisation paramétré par des caractéristiques hydrologiques et géomécaniques, les grandes tendances du déplacement ont été reproduites. Ceci n'est possible qu'en faisant varier l'angle de friction interne effectif du modèle, mettant ainsi en évidence le rôle de l'eau dans les variations de vitesse sur le glissement.

Conclusion

L'enregistrement GPS continu via des stations permanentes a été appliqué dans le contexte de la surveillance de l'évolution des surfaces au niveau de glissements de terrain. Après différents tests méthodologiques visant à déterminer la stratégie adéquate de traitement des données, il a été possible d'observer les mouvements relatifs des zones instables avec une précision de l'ordre du mm et avec un échantillonnage temporel journalier. Les valeurs de déplacements ainsi répertoriés sont en accord avec les observations déjà effectuées en ces lieux par relevés GPS ou d'autres méthodes géodésiques. Dès lors, la quantité importante de données recueillies a été mise à profit dans une démarche de corrélation avec des données hydrologiques (pluviométriques, piézométriques et pression interstitielle) qui s'avère très concluante.

Le lien tenu de cause à effet entre les observations hydrologiques et le déplacement en surface a été confirmé au cours de la modélisation. Cette démarche, qui s'est appuyée sur un programme simple, a permis de retracer les grandes tendances de déplacement. Les données d'entrée du modèle utilisé sont des caractéristiques du sol (cohésion, viscosité, angle de friction interne, masse volumique) physiquement pertinentes et évoluant de façon cohérente avec les observations.

L'automatisation du traitement des données et la proposition d'une solution journalière de traitement en termes de lignes de bases et de coordonnées est une des missions d'observation de l'OMIV. L'obtention de telles informations en temps pseudo réel (J+2) se révèle être une approche prometteuse dans le cadre de la mise en place de systèmes de surveillance et d'alerte. Ce mode de traitement permet d'acquérir une quantité de données conséquente. Ainsi la connaissance à long terme et avec un échantillonnage temporel fin du comportement des glissements de terrain étudiés va être fondamentalement enrichie.

Bibliographie

Articles :

- Baldi and al. (2008). Kinematics of a landslide derived from archival photogrammetry and GPS data. *Geomorphology*, n°102, p435-444.
- Brückl et al. (2006). Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data. *Engineering geology*, n°88, p149-159.
- Coe et al. (2003). Seasonal movement of the Slumgullion landslide determined from Global Positioning System surveys and field instrumentation, July 1998 – March 2002. *Engineering geology*, n°63, p67-101.
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (1985). Les travaux de mensuration en terrain instable. *Projet d'école « Détection et Utilisation des terrains instables », DUTI*, p27.
- Gabriele et al. (2009). A distributed real-time monitoring system for landslide hazard and risk assessment. *GeoSpatial Visual Analytics*, p387-394.
- Gili et al. (2000). Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering geology*, n°55, p167-192.
- Guillon J. (2001). « Interprétation morphologique de l'évolution du glissement-coulée de Poche et caractérisation physico-mécanique des matériaux marneux » (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Mémoire de maîtrise de géographie physique*
- Herrera et al. (2009). A landslide forecasting model using ground based SAR data: The Portalet case study. *Engineering geology*, n°105, p220-230.
- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (1994). *Surveillance des pentes instables. Guide technique*, LCPC, p125.
- Lissak et al. (2009). Role of hydrological process in landslide occurrence : Villerville-Cricqueboeuf landslides (Normandy coast, France). *Proceedings of the International Conference on Landslide Processes : from geomorphologic mapping to dynamic modelling*, Strasbourg, CERG Editions, p175-180.
- Malet et al. (2000). Contribution of GPS to continuous monitoring of landslides. Application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie IIA: Sciences de la Terre et des Planètes*, n°331(3), p175-182.
- Malet et al. (2002). The use of GPS for the continuous monitoring of landslides. Application to the Super Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Geomorphology*, n°43, p33-54.
- Malet J.P. (2003). Les glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du Sud. *Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique*.
- Maquaire O. (1990). Les mouvements de terrain de la côte du Calvados. *Recherches et prévention. Documents du BRGM.*, n° 197, Ed. BRGM, Orléans, 430 p.
- Maquaire et al. (2003). Instability conditions of marly hillslopes: towards landsliding or gullying? The case of the Barcelonnette Basin, South East France. *Engineering Geology*, Volume 70, Issues 1-2, p109-130.
- Mora et al. (2003). Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslide (northern Apennines, Italy). *Engineering geology*, n°68, p103-121.
- Peyret et al. (2008). Monitoring of the large slow Kahrod landslide in Alborz mountain range (Iran) by GPS and SAR interferometry. *Engineering geology*, n°100, p131-141.
- van Asch and al. (2009). The effect of groundwater fluctuations on the velocity pattern of slow-moving landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n°9, p739-749.

Sites internet :

- <http://rgp.ign.fr/>
- <http://eost.u-strasbg.fr/omiv/>

Remerciements

Merci à mes responsables de stage : F. Masson, J.P. Malet, G. Ferhat.

Merci à ceux qui étaient présents lors de la semaine sur le terrain à Barcelonnette.

Merci en particulier à Patrice pour sa disponibilité et à Nicolas d'avoir supporté mon côté ringard.

Merci à Julien et Candide pour leur collaboration.

Merci à Charles pour l'appareil photo et les appels à la « Poz » (et vivent Les Choristes !!!).

Merci également aux 4 autres 3A rescapés à l'EOST pour ces fameuses « Poz » dans la joie et la bonne humeur.

Annexes

- Script du programme C-shell d'automatisation du traitement des données GPS

```
#!/bin/csh
# Ce programme permet une automatisation du traitement des données GPS.
# Les données sont traitées à J+3 avec l'utilisation des orbites rapides de l'IGS.
# il génère chaque jour :
# -une série de fichiers texte répertoriant les valeurs des lignes de base (CAEN-VLRV, VLRV-VLRH,
VLRV-VLRB), de leurs composantes, et les positions des points (VLRV, VLRB, VLRH, CAEN) en
coordonnées géographiques et Lambert zone.
# -un graphique représentant l'évolution des lignes de base sur l'année en cours (année s'étendant du
09/07/?? (jour GPS 190) au 08/07/??) et une "décomposition" de ce graphique en périodes de 4 mois,
# -des graphiques représentant l'évolution des positions via l'utilisation des coordonnées projetées en
Lambert zone.
# Il fait appel à des fonctions du logiciel GAMIT/GLOBK (MIT), a des fonctions du logiciel GMT
(indirectement via GAMIT/GLOBK et directement) et au logiciel Circé(IGN)
# Pré requis avant de lancer le programme :
# -trouver dans le répertoire glbf les fichiers h*.glx de l'année en cours (du 09/07/?? au 08/07/??)
# -les tables du traitement GAMIT doivent se trouver dans le répertoire tables
# -les fichiers de données doivent être dans le répertoire indique dans data
# -les fichiers globk_comb.cmd, glorg_comb_cmd, baseline et all(J-4).gld doivent se trouver dans le
fichier gsoln
# -les fichiers .gmtdefaults4 et legend.cpt doivent se trouver dans le répertoire courant
# -le répertoire courant doit contenir un dossier Recap_files et un dossier graph
# Le dossier Circe contenant l'exécutable de ce logiciel (version linux mode de commande) ainsi que
les bases de données qu'il utilise doit se trouver dans le répertoire courant (PS : veiller a ce que
circeFR soit exécutable pour l'utilisateur).
```

source /home/malet/.cshrc

```
###Mise à jour de la date et des répertoires de traitement
```

```
#####
gmtset OUTPUT_DATE_FORMAT = yyyy-mm-dd
set yesterday = `date -d '3 day ago' +%j`
set DAY = `date -d '2 day ago' +%j`
set YEAR = `date -d '2 day ago' +%Y`
set jour = `date -d '2 day ago' +%m%d`
set procdir = /home/malet/traitement/Normandie
set data = /home/malet/rinex/data_30/$YEAR/$DAY
cd $procdir
```

```
###Destruction des fichiers de la veille
```

```
#####
rm *.tmp
rm *.txt
rm -r $YEAR"_"$yesterday archive brdc control igs ionex met mkrinex raw rinex
rm ./gsoln/H* ./gsoln/com* ./gsoln/mb* ./gsoln/ps* ./gsoln/tmp* ./gsoln/v* ./gsoln/V* ./gsoln/s*
./gsoln/S* ./gsoln/G* ./gsoln/base_stat* ./gsoln/*.sol ./gsoln/*.log ./gsoln/*.prt ./gsoln/*.org
rm ./glbf/H* ./glbf/hvlrva*
rm ./graph/*
```

```
###le script est conçu pour tourner sur des plages de données ne s'étendant pas sur plus de 2 années les
fichiers h trop anciens sont ici évincés du traitement globk
```

```

#=====
if(DAY == 001) then
tail -n 200 ./gsoln/all$yesterday.gdl > ./gsoln/all$yesterday.gdl
endif

mv ./gsoln/all$yesterday.gdl ./gsoln/all$DAY.gdl

echo "ce fichier contient un résumé des étapes de traitement des lignes de bases du glissement de
terrain de Villerville" > $procdir/summary.txt
echo " "

###Vérifications des données disponibles
#=====
if (`ls -l glbf | grep -v total | wc -l` < 20) then
echo "fichiers des jours précédents indisponibles" >> $procdir/summary.txt
exit 1
endif

###Téléchargement des fichiers RGP et conversion des données
#=====
mkdir rinex
echo "recherche des fichiers de données du jour $DAY $YEAR et conversion en format rinex" >>
$procdir/summary.txt

cd ./rinex
cp $data/vlr*d* .
cp $data/caen*d* .
cp $data/sees*d* .
cp $data/lene*d* .
cp $data/stlo*d* .
sh_cr2rn -c y -f *d*

###Vérification de la bonne conversion des fichiers en format rinex
#=====
if (`ls -l *d* | grep -v total | grep -v get | wc -l` > 0) then
set noconv = `ls -l *d* | grep -v total | grep -v get`
echo "le(s) fichier(s) : $noconv n'ont pas été convertis en format rinex" >> $procdir/summary.txt
echo " " >> $procdir/summary.txt
endif

###Traitement GAMIT du jour J-2 et vérification de sa bonne exécution
#=====
cd ../
echo "début du traitement GAMIT du jour $DAY $YEAR" >> $procdir/summary.txt
sh_gamit -expt vlr -s $YEAR $DAY $DAY -yext -orbit IGSR -sessinfo 30 2880 0 0 -update_1 N -
aprfile itr05.apr

if(-e ./YEAR_"$DAY/GAMIT.fatal)then
echo "interruption du programme du fait de l'erreur fatale ci dessous lors de l'exécution de sh_gamit"
>> $procdir/summary.txt
cat ./YEAR_"$DAY/GAMIT.fatal >> $procdir/summary.txt
exit 1
endif

```

```

###Information des stations ayant contribué au traitement
#=====
grep -A7 Tracking ./YEAR" "$DAY/qvrvrva.$DAY | grep -v Satellites | grep -v PRN >>
$procdir/summary.txt

###Copie du fichier h du jour J-2 dans le répertoire glbf
#=====
cp ./YEAR" "$DAY/hvrvrva.?$DAY ./glbf
cd ./glbf

###Conversion du fichier h du jour J-2 en binaire et vérification de sa bonne exécution
#=====
echo "lancement de htoglb traduction des fichiers h en binaires glx et glr" >> $procdir/summary.txt
htoglb . ./h*a.*

if(-e HTOGLB.fatal) then
echo "interruption du programme du fait de l'erreur fatale ci dessous lors de l'exécution de htoglb" >>
$procdir/summary.txt
exit 1
endif

if(! -e "h" `date -d '2 day ago' +%y%m%d` "1200_vlrv.glx") then
echo "fichier h du jour traite indisponible" >> $procdir/summary.txt
exit 1
endif

cd ../gsoln

###Mise a jour du fichier all.gld et traitement GLOBK
#=====
echo "liste les fichiers h dans le répertoire glbf" >> $procdir/summary.txt
echo "../glbf/h" `date -d '2 day ago' +%y%m%d` "1200_vlrv.glx" >> all$DAY.gdl

echo "lance glred" >> $procdir/summary.txt

glred 6 globk_rep.prt globk_rep.log all$DAY.gdl globk_comb.cmd

sh_globk_scatter -f globk_rep.prt
multibase val.globk_rep.prt -s baseline -d

###Exportation des fichiers de données traitées en .txt (lignes de base + composantes, coordonnées
géodésiques)
#=====
echo "exportation des données traitées (coordonnées géodésiques de CAEN et des 3 stations du
glissement entre J-102 et J-2) sous forme de fichiers txt" >> $procdir/summary.txt
grep "GEOD CAEN_GPS" globk_*org | awk '{print $9, $3, $4, $5}' > $procdir/CAEN.txt
grep "GEOD VLRV_GPS" globk_*org | awk '{print $9, $3, $4, $5}' > $procdir/VLRV.txt
grep "GEOD VLRB_GPS" globk_*org | awk '{print $9, $3, $4, $5}' > $procdir/VLRB.txt
grep "GEOD VLRH_GPS" globk_*org | awk '{print $9, $3, $4, $5}' > $procdir/VLRH.txt

echo "exportation des données traitées (valeurs des lignes de base et de leurs composantes entre J-102
et J-2) sous forme de fichiers txt" >> $procdir/summary.txt

awk 'NR>=4' mb_VLRB_GPS_VLRH_GPS.dat1 | awk '{print $1}' > jours.tmp

```

```

grep "VLRB_GPS to VLRH_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.00000 1.41421" >
VLRB2VLRH.tmp
paste jours.tmp VLRB2VLRH.tmp > $procdir/VLRB2VLRH$DAY$YEAR.txt
grep "VLRH_GPS-VLRB_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.0 1414.2" > VLRB2VLRH_comp.tmp
paste jours.tmp VLRB2VLRH_comp.tmp > $procdir/VLRB2VLRH_comp$DAY$YEAR.txt
rm *.tmp

awk 'NR>=4' mb_VLRV_GPS_VLRB_GPS.dat1 | awk '{print $1}'> jours.tmp
grep "VLRV_GPS to VLRB_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.00000 1.41421" >
VLRV2VLRB.tmp
paste jours.tmp VLRV2VLRB.tmp > $procdir/VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt
grep "VLRB_GPS-VLRV_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.0 1414.2" > VLRV2VLRB_comp.tmp
paste jours.tmp VLRV2VLRB_comp.tmp > $procdir/VLRV2VLRB_comp$DAY$YEAR.txt
rm *.tmp

awk 'NR>=4' mb_VLRV_GPS_VLRH_GPS.dat1 | awk '{print $1}'> jours.tmp
grep "VLRV_GPS to VLRH_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.00000 1.41421" >
VLRV2VLRH.tmp
paste jours.tmp VLRV2VLRH.tmp > $procdir/VLRV2VLRH$DAY$YEAR.txt
grep "VLRH_GPS-VLRV_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.0 1414.2" > VLRV2VLRH_comp.tmp
paste jours.tmp VLRV2VLRH_comp.tmp > $procdir/VLRV2VLRH_comp$DAY$YEAR.txt
rm *.tmp

awk 'NR>=4' mb_CAEN_GPS_VLRV_GPS.dat1 | awk '{print $1}'> jours.tmp
grep "CAEN_GPS to VLRV_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.00000 1.41421" >
CAEN2VLRV.tmp
paste jours.tmp CAEN2VLRV.tmp > $procdir/CAEN2VLRV$DAY$YEAR.txt
grep "VLRV_GPS-CAEN_GPS" globk_rep.prt | grep -v "0.0 1414.2" > CAEN2VLRV_comp.tmp
paste jours.tmp CAEN2VLRV_comp.tmp > $procdir/CAEN2VLRV_comp$DAY$YEAR.txt
rm *.tmp

cd ../
echo "fin du programme du jour $DAY $YEAR" >> $procdir/summary.txt

## si année bissextile
set congru = `expr $YEAR % 4`

###Représentation annuelle des lignes de base (sur un même graphique)
#=====
##définition de l'échelle
#les graphiques annuels s'étendent du 09/07/an au 08/07/an+1

gmtset OUTPUT_DATE_FORMAT = yyyy-mm-dd

if ($congru == 1)then
awk '($1<=366.499) {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499} ($1>367) {print '$YEAR'"-"$1-366-0.499}';
VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt | minmax -fT -C > scale.txt
else
awk '($1<=365.499) {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499} ($1>366) {print '$YEAR'"-"$1-365-0.499}';
VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt | minmax -fT -C > scale.txt
endif

#test avant ou après le 09/07
if ($jour < 0709) then
set w = `echo "$YEAR-1" | bc`"-07-09T00:00:00"

```

```

else
set w = $YEAR"-07-09T00:00:00"
endif

set e = `cut -f2 scale.txt`
set n = `awk '(-20<=($5-489.403)*1000 &&($5-498.403)*1000<=60) {print ($5-489.403)*1000}'
VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt | minmax -C | awk '{print 10*(int($1/10)-1), 10*(int($2/10)+1)}' | cut
-f2 -d" ""
set s = `awk '(-20<=($5-489.403)*1000 &&($5-498.403)*1000<=60) {print ($5-489.403)*1000}'
VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt | minmax -C | awk '{print 10*(int($1/10)-1), 10*(int($2/10)+1)}' | cut
-f1 -d" ""

set R = "-R$w/$e/$s/$n"

rm scale.txt

##Représentation des axes et des titres
psbasemap -R$w/$e/$s/$n -Bpa1Ofldg1O:"Date":/a10f5g10:"variation des lignes de
base(mm)":::"Baseline":WSen -JX10iT/5i -U -V -K > baseline.ps

###Représentation de l'évolution des lignes de base
if ($congru == 1)then
awk '$1<=366.499' {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499, $5, $7} ($1>367) {print '$YEAR'"-"$1-366-0.499,
$5, $7}' VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt | awk '{print $1, 1000*($2-489.403), 0.15, 1000*$3}' >
VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline.ps
awk '$1<=366.499' {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499, $5, $7} ($1>367) {print '$YEAR'"-"$1-366-0.499,
$5, $7}' CAEN2VLRV$DAY$YEAR.txt | awk '{print $1, 1000*($2-48418.855), 0.15, 1000*$3}' >
CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >> baseline.ps
awk '$1<=366.499' {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499, $5, $7} ($1>367) {print '$YEAR'"-"$1-366-0.499,
$5, $7}' VLRV2VLRH$DAY$YEAR.txt | awk '{print $1, 1000*($2-464.606), 0.15, 1000*$3}' >
VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline.ps
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*366+1), $2, $3, $4}' VLRB.txt > VLRB.tmp
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*366+1), $2, $3, $4}' VLRV.txt > VLRV.tmp
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*366+1), $2, $3, $4}' VLRH.txt > VLRH.tmp
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*366+1), $2, $3, $4}' CAEN.txt > CAEN.tmp
else

awk '$1<=365.499' {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499, $5, $7} ($1>366) {print '$YEAR'"-"$1-365-0.499,
$5, $7}' VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt | awk '{print $1, 1000*($2-489.403), 0.15, 1000*$3}' >
VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline.ps
awk '$1<=365.499' {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499, $5, $7} ($1>366) {print '$YEAR'"-"$1-365-0.499,
$5, $7}' CAEN2VLRV$DAY$YEAR.txt | awk '{print $1, 1000*($2-48418.855), 0.15, 1000*$3}' >
CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >> baseline.ps
awk '$1<=365.499' {print '$YEAR-1'"-"$1-0.499, $5, $7} ($1>366) {print '$YEAR'"-"$1-365-0.499,
$5, $7}' VLRV2VLRH$DAY$YEAR.txt | awk '{print $1, 1000*($2-464.606), 0.15, 1000*$3}' >
VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp

```

```

psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -K -V -O -R -J >>
baseline.ps
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*365+1), $2, $3, $4}' VLRB.txt > VLRB.tmp
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*365+1), $2, $3, $4}' VLRV.txt > VLRV.tmp
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*365+1), $2, $3, $4}' VLRH.txt > VLRH.tmp
awk '{print int($1)"-"int(($1-int($1))*365+1), $2, $3, $4}' CAEN.txt > CAEN.tmp
endif

```

```

##Définition de la légende
psscale -Clegend.cpt -D24/15/-2/0.5 -O -L0.1 >> baseline.ps

```

```

###Représentation des lignes de bases sur 4 mois

```

```

#=====
if(0709 <= $jour && $jour <= 1108) then
set w1 = $YEAR"-07-09T00:00:00"
set R1 = "-R$w1/$e/$s/$n"
psbasemap $R1 -Bpa1Of1dg1O:":":/a10f5g10:":":":":WSen -JX6iT/3i -P -Y8i -V -K -U >
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psscale -Clegend.cpt -D3/9/7/0.5h -O -L1.5 >> baseline_mois.ps

```

```

else if(1109 <= $jour && $jour <= 1231) then
set w1 = $YEAR"-07-09T00:00:00"
set e1 = $YEAR"-11-08T00:00:00"
set w2 = $YEAR"-11-09T00:00:00"
set R1 = "-R$w1/$e1/$s/$n"
set R2 = "-R$w2/$e/$s/$n"
psbasemap $R2 -Bpa1Of1dg1O:":":/a10f5g10:":":":":WSen -JX6iT/3i -Y4.5i -P -V -K -U >
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psbasemap $R1 -Bpa1Of1dg1O:":":/a10f5g10:":":":":WSen -JX6iT/3i -P -Y3.5i -V -K -O >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psscale -Clegend.cpt -D3/9/7/0.5h -O -L1.5 >> baseline_mois.ps

```

```

else if(0101 <= $jour && $jour <= 0308) then
set w1 = `echo "$YEAR-1" | bc`"-07-09T00:00:00"

```

```

set e1 = `echo "$YEAR-1" | bc`"-11-08T00:00:00"
set w2 = `echo "$YEAR-1" | bc`"-11-09T00:00:00"
set R1 = "-R$w1/$e1/$s/$n"
set R2 = "-R$w2/$e/$s/$n"
psbasemap $R2 -Bpa1Of1dg1O:":/a10f5g10:":":":WSen -JX6iT/3i -Y4.5i -P -V -K -U >
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psbasemap $R1 -Bpa1Of1dg1O:":/a10f5g10:":":":WSen -JX6iT/3i -P -Y3.5i -V -K -O >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psscale -Clegend.cpt -D3/9/7/0.5h -O -L1.5 >> baseline_mois.ps

else if(0309 <= $jour && $jour <= 0708) then
set w1 = `echo "$YEAR-1" | bc`"-07-09T00:00:00"
set e1 = `echo "$YEAR-1" | bc`"-11-08T00:00:00"
set w2 = `echo "$YEAR-1" | bc`"-11-09T00:00:00"
set e2 = $YEAR"-03-08T00:00:00"
set w3 = $YEAR"-03-09T00:00:00"
psbasemap -R${w3}/${e}/${s}/${n} -Bpa1Of1dg1O:":/a10f5g10:":":":WSen -JX6iT/3i -U -P -V -
K > baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psbasemap -R${w2}/${e2}/${s}/${n} -Bpa1Of1dg1O:":/a10f5g10:":":":WSen -JX6iT/3i -Y3.5i -P
-V -K -O >> baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psbasemap -R${w1}/${e1}/${s}/${n} -Bpa1Of1dg1O:":/a10f5g10:":":":WSen -JX6iT/3i -P -Y3.5i
-V -K -O >> baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/236/129/218 -G236/129/218 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy CAEN2VLRV$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/0/0/0 -G0/0/0 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psxy VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp -Sc -Ey0.05/3/79/156/241 -G79/156/241 -V -K -O -R -J >>
baseline_mois.ps
psscale -Clegend.cpt -D3/9/7/0.5h -O -L1.5 >> baseline_mois.ps
endif

```

```
###Conversion des coordonnées cartésiennes en coordonnées géographiques et en coordonnées Lambert 1 (pour Villerville)
```

```
#####  
cd $procdircirce  
cp $procdircirce/VLRV.txt .  
cp $procdircirce/VLRH.txt .  
cp $procdircirce/VLRB.txt .  
cp $procdircirce/CAEN.txt .
```

```
$procdircirce/circeFR -v -init Circe.ini -mode 1 -type 2 -sys1 24 -sys2 2 -alt 1 3 -typcoor1 2 2 1 -  
typcoor2 3 101 -f1 6 VLRV.txt -f2 1 lam_VLRV.txt  
$procdircirce/circeFR -v -init Circe.ini -mode 1 -type 2 -sys1 24 -sys2 2 -alt 1 3 -typcoor1 2 2 1 -  
typcoor2 3 101 -f1 6 VLRB.txt -f2 1 lam_VLRB.txt  
$procdircirce/circeFR -v -init Circe.ini -mode 1 -type 2 -sys1 24 -sys2 2 -alt 1 3 -typcoor1 2 2 1 -  
typcoor2 3 101 -f1 6 VLRH.txt -f2 1 lam_VLRH.txt
```

```
rm VLRV.txt VLRH.txt VLRB.txt CAEN.txt  
cd ../
```

```
mv $procdircirce/lam_VLRH.txtq? $procdircirce/lam_VLRH.txt  
mv $procdircirce/lam_VLRB.txtq? $procdircirce/lam_VLRB.txt  
mv $procdircirce/lam_VLRV.txtq? $procdircirce/lam_VLRV.txt
```

```
###Représentation cartographique (projection Lambert 1)
```

```
#####  
psbasemap -R0/30/0/30 -Bpa10f2g10:"EST(mm)"/:a10f2g10:"NORD(mm)"/::"Projection Lambert  
zone 1(Haut)":WSen -JX10i/6i -U -V -K > cartH.ps  
sed '1,19d' lam_VLRH.txt | sed '$d' | awk '{print ($2-439381.296)*1000, ($3-191127.595)*1000,  
0.1}' | psxy -H -Wthin,79/156/241 -V -O -R -J >> cartH.ps  
psbasemap -R0/60/0/60 -Bpa10f5g10:"EST(mm)"/:a10f5g10:"NORD(mm)"/::"Projection Lambert  
zone 1 (BAS)":WSen -JX10i/6i -U -V -K > cartB.ps  
sed '1,19d' lam_VLRB.txt | sed '$d' | awk '{print ($2-439347.165)*1000, ($3-191146.582)*1000,  
0.1}' | psxy -H -Wthin,236/129/218 -V -O -R -J >> cartB.ps
```

```
###Evolution des coordonnées des points en fonction du temps
```

```
#####  
if ($congru == 1)then  
sed '1,19d' lam_VLRB.txt | sed '$d' | awk '{print int($1)-"int(($1-int($1))*366+1), ($2-  
439347.158)*1000, ($3-191146.573)*1000, ($4-9.544)*1000}' > lam_VLRB.tmp  
sed '1,19d' lam_VLRH.txt | sed '$d' | awk '{print int($1)-"int(($1-int($1))*366+1), ($2-  
439381.291)*1000, ($3-191127.595)*1000, ($4-16.61)*1000}' > lam_VLRH.tmp  
  
else  
sed '1,19d' lam_VLRB.txt | sed '$d' | awk '{print int($1)-"int(($1-int($1))*365+1), ($2-  
439347.158)*1000, ($3-191146.573)*1000, ($4-9.544)*1000}' > lam_VLRB.tmp  
sed '1,19d' lam_VLRH.txt | sed '$d' | awk '{print int($1)-"int(($1-int($1))*365+1), ($2-  
439381.291)*1000, ($3-191127.595)*1000, ($4-16.61)*1000}' > lam_VLRH.tmp  
endif
```

```
psbasemap -R${w}/${e}/0/70 -Bpa10f1dg10:"date"/:a10f5g10:"EST(mm)"/::"WSen -JX7iT/3i -P -U  
-V -K > cartes.ps  
awk '{print $1, $2, 0.1}' lam_VLRB.tmp | psxy -Sc -G236/129/218 -V -K -O -R -J >> cartes.ps
```

```

awk '{print $1, $2, 0.1}' lam_VLRH.tmp | psxy -Sc -G79/156/241 -V -K -O -R -J >> cartes.ps
psbasemap -R${w}/${e}/0/90 -Bpa1Ofldg1O:""/:a10f5g10:"NORD(mm)":...:"":WSen -JX7iT/3i -
Y3.5i -O -P -V -K >> cartes.ps
awk '{print $1, $3, 0.1}' lam_VLRB.tmp | psxy -Sc -G236/129/218 -V -K -O -R -J >> cartes.ps
awk '{print $1, $3, 0.1}' lam_VLRH.tmp | psxy -Sc -G79/156/241 -V -O -R -J -K >> cartes.ps
psbasemap -R${w}/${e}/0/40 -Bpa1Ofldg1O:""/:a5f1g5:"altitude(mm)":...:"":WSen -Y3.5i -JX7iT/3i -
P -V -K -O >> cartes.ps
awk '{print $1, $4, 0.1}' lam_VLRB.tmp | psxy -Sc -G236/129/218 -V -K -O -R -J >> cartes.ps
awk '{print $1, $4, 0.1}' lam_VLRH.tmp | psxy -Sc -G79/156/241 -V -O -R -J >> cartes.ps

```

###Extraction des résultats essentiels

```

#=====
set DER_DAYvh = `awk 'END {print $1}' VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp`
set VH = `awk 'END {print $5}' VLRV2VLRH$DAY$YEAR.txt`
set DAY_avantvh = `tail VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp | awk 'NR == 9 {print $1}'`
set VH_av = `tail VLRV2VLRH$DAY$YEAR.txt | awk 'NR == 9 {print $5}'`
set diff_h = `echo "($VH - $VH_av)*1000" | bc`
set diff_H = `echo "($VH - 464.60614)*1000" | bc`
set DER_DAYh = `awk 'END {print $1}' VLRH.tmp`
set DAY_avanh = `tail VLRH.tmp | awk 'NR == 9 {print $1}'`
set XH = `tail lam_VLRH.txt | awk 'NR == 9 {print $2}'`
set YH = `tail lam_VLRH.txt | awk 'NR == 9 {print $3}'`
set ZH = `tail lam_VLRH.txt | awk 'NR == 9 {print $4}'`
set XH_av = `tail lam_VLRH.txt | awk 'NR == 8 {print $2}'`
set YH_av = `tail lam_VLRH.txt | awk 'NR == 8 {print $3}'`
set ZH_av = `tail lam_VLRH.txt | awk 'NR == 8 {print $4}'`
set diff_xh = `echo "($XH - $XH_av)*1000" | bc`
set diff_yh = `echo "($YH - $YH_av)*1000" | bc`
set diff_zh = `echo "($ZH - $ZH_av)*1000" | bc`
set diff_XH = `echo "($XH - 439381.310)*1000" | bc`
set diff_YH = `echo "($YH - 191127.597)*1000" | bc`
set diff_ZH = `echo "($ZH - 16.626)*1000" | bc`
set latH = `awk 'END {print $2}' VLRH.txt`
set longH = `awk 'END {print $3}' VLRH.txt`
set elevH = `awk 'END {print $4}' VLRH.txt`

set DER_DAYvb = `awk 'END {print $1}' VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp`
set VB = `awk 'END {print $5}' VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt`
set DAY_avantvb = `tail VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp | awk 'NR == 9 {print $1}'`
set VB_av = `tail VLRV2VLRB$DAY$YEAR.txt | awk 'NR == 9 {print $5}'`
set diff_b = `echo "($VB - $VB_av)*1000" | bc`
set diff_B = `echo "($VB - 489.40423)*1000" | bc`
set DER_DAYb = `awk 'END {print $1}' VLRB.tmp`
set DAY_avanb = `tail VLRB.tmp | awk 'NR == 9 {print $1}'`
set XB = `tail lam_VLRB.txt | awk 'NR == 9 {print $2}'`
set YB = `tail lam_VLRB.txt | awk 'NR == 9 {print $3}'`
set ZB = `tail lam_VLRB.txt | awk 'NR == 9 {print $4}'`
set XB_av = `tail lam_VLRB.txt | awk 'NR == 8 {print $2}'`
set YB_av = `tail lam_VLRB.txt | awk 'NR == 8 {print $3}'`
set ZB_av = `tail lam_VLRB.txt | awk 'NR == 8 {print $4}'`
set diff_xb = `echo "($XB - $XB_av)*1000" | bc`
set diff_yb = `echo "($YB - $YB_av)*1000" | bc`
set diff_zb = `echo "($ZB - $ZB_av)*1000" | bc`
set diff_XB = `echo "($XB - 439347.216)*1000" | bc`
set diff_YB = `echo "($YB - 191146.592)*1000" | bc`

```

```

set diff_ZB = `echo "($ZB - 9.560)*1000" | bc`
set latB = `awk 'END {print $2}' VLRB.txt`
set longB = `awk 'END {print $3}' VLRB.txt`
set elevB = `awk 'END {print $4}' VLRB.txt`

gmtset OUTPUT_DATE_FORMAT = dd-mm-yyyy

set date_vb = `awk '{print $1}' VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`
set date_avan_vb = `awk '{print $1}' VLRV2VLRB$DAY$YEAR.tmp | sed 'd' | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`
set date_b = `awk '{print $1}' VLRB.tmp | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`
set date_avant_b = `awk '{print $1}' VLRB.tmp | sed 'd' | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`
set date_vh = `awk '{print $1}' VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`
set date_avan_vh = `awk '{print $1}' VLRV2VLRH$DAY$YEAR.tmp | sed 'd' | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`
set date_h = `awk '{print $1}' VLRH.tmp | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`
set date_avant_h = `awk '{print $1}' VLRH.tmp | sed 'd' | minmax -fT -C -H | awk '{print substr($NF,1,10)}'`

###Etablissement d'un fichier journalier récapitulatif
#=====
echo "Résultats du post-traitement GPS concernant la zone de glissement de Villerville (Calvados):" >
Recap$DAY$YEAR
echo " " >> Recap$DAY$YEAR
echo "Ligne de base VLRV-VLRH:" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Evaluation journalière le jour GPS $DER_DAYvh ($date_vh) : $VH m" >>
Recap$DAY$YEAR
echo "* Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS $DAY_avantvh ($date_avan_vh):
$diff_h mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190 (09 Juillet 2009): $diff_H mm"
>> Recap$DAY$YEAR
echo "Coordonnées de la position de VLRH : " >> Recap$DAY$YEAR
echo "* jour GPS $DER_DAYh ($date_h) : " >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Coordonnées en Lambert Zone1 : NORD=$XH m ; EST=$YH m ; Z(altitude)=$ZH m" >>
Recap$DAY$YEAR
echo "- Coordonnées géographiques : Lat=$latH (d décimaux) ; Long=$longH (d décimaux) ;
Hauteur=$elevH m" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS $DAY_avanh ($date_avant_h) : " >>
Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante NORD : $diff_yh mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante EST : $diff_xh mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante Z (altitude) : $diff_zh mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190(09 Juillet 2009) : " >>
Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante NORD : $diff_YH mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante EST : $diff_XH mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante Z (altitude) : $diff_ZH mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo " " >> Recap$DAY$YEAR
echo "Ligne de base VLRV-VLRB:" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Evaluation journalière le jour GPS $DER_DAYvb ($date_vb) : $VB m" >>
Recap$DAY$YEAR

```

```

echo "* Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS $DAY_avantvb ($date_avan_vb):
$diff_b mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190 (09 Juillet 2009): $diff_B mm"
>> Recap$DAY$YEAR
echo "Coordonnées de la position de VLRB : " >> Recap$DAY$YEAR
echo "* jour GPS $DER_DAYb ($date_b) : " >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Coordonnées en Lambert Zone1 : NORD=$XB m ; EST=$YB m ; Z(altitude)=$ZB m" >>
Recap$DAY$YEAR
echo "- Coordonnées géographiques : Lat=$latB (d décimaux) ; Long=$longB (d décimaux) ;
Hauteur=$elevB m" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS $DAY_avanb ($date_avant_b) : " >>
Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante NORD : $diff_yb mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante EST : $diff_xb mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante Z (altitude): $diff_zb mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "* Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190(09 Juillet 2009) : " >>
Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante NORD : $diff_YB mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante EST : $diff_XB mm" >> Recap$DAY$YEAR
echo "- Composante Z (altitude) : $diff_ZB mm" >> Recap$DAY$YEAR

```

###Archivage des informations essentielles et conversion des graphiques en format jpeg

#####

```

mv $procdir/Recap$DAY$YEAR $procdir/Recap_files/Recap$DAY$YEAR
mv $procdir/baseline.ps $procdir/graph/baseline$DAY$YEAR.ps
mv $procdir/baseline_mois.ps $procdir/graph/baseline_mois.ps
mv $procdir/cartes.ps $procdir/graph/cartes.ps
mv $procdir/cartH.ps $procdir/graph/cartH.ps
mv $procdir/cartB.ps $procdir/graph/cartB.ps

```

```

convert -density 400 ./graph/baseline$DAY$YEAR.ps -resize 25% -quality 92
./graph/baseline_tmp$DAY$YEAR.jpg
convert -rotate 90 ./graph/baseline_tmp$DAY$YEAR.jpg ./graph/baseline$DAY$YEAR.jpg
convert -density 400 ./graph/baseline_mois.ps -resize 25% -quality 92
./graph/baseline_mois$DAY$YEAR.jpg
convert -density 400 ./graph/cartes.ps -resize 25% -quality 92
./graph/composantes_NEA_$DAY$YEAR.jpg
convert -density 400 ./graph/cartH.ps -resize 25% -quality 92 ./graph/cartH.jpg
convert -density 400 ./graph/cartB.ps -resize 25% -quality 92 ./graph/cartB.jpg

```

```

mv $procdir/VLRV.tmp $procdir/lat_long_elev_VLRV.txt
mv $procdir/VLRB.tmp $procdir/lat_long_elev_VLRB.txt
mv $procdir/VLRH.tmp $procdir/lat_long_elev_VLRH.txt
mv $procdir/lam_VLRV.txt $procdir/lambert1_VLRV.txt
mv $procdir/lam_VLRB.txt $procdir/lambert1_VLRB.txt
mv $procdir/lam_VLRH.txt $procdir/lambert1_VLRH.txt

```

###envoi de mail

=====

```

mutt -a /home/malet/traitement/Normandie/graph/baseline$DAY$YEAR.jpg -a
/home/malet/traitement/Normandie/graph/baseline_mois$DAY$YEAR.jpg -a
/home/malet/traitement/Normandie/graph/composantes_NEA_$DAY$YEAR.jpg -a
/home/malet/traitement/Normandie/summary.txt -s "glissement Villerville" adresse@mail.fr <
/home/malet/traitement/Normandie/Recap_files/Recap$DAY$YEAR

```

- Tables utilisées lors du traitement automatique GAMIT/GLOBK pour le glissement de terrain de Villerville

-autcln.cmd

- * Command file for AUTCLN version 3.125 to be used for global and regional data
- * Default values are listed with comment flag (non-blank first character)
- * Last edited by tah/rwk/scm 061204

- * Don't use any GAMIT edits
use_gamit no

- * Remove more bias flags by allowing a base satellite if multiple slips
allow_one_bg yes

- * If needed to increase the number of channels (compiled default is now 15)
* max_chan 15

- * Allow up to three missing epochs before flagging a data point; this helps with
* hourly telemetry gaps and seems to do no harm otherwise
gap_size all 3

- * Set minimum elevation for editing and output: 15 10 better for older receivers
* also sets minimum SNR
site_param all 10 10 0 0

- * Set the ionospheric tolerances so you don't throw out too much data.
* These are the current defaults and will work under both low and high
* ionospheric conditions with well-behaved receivers. For poorly tracking
* receivers and low ionosphere, you can improve the editing using
* 240 4 0.3 0.8.
* ion_jump all 30 6 2 5

- * Criteria for detecting slips (initial bias flags). Defaults shown.
* First three are for WL, irrelevant for codeless L2 receivers
* Second three (LC) might be set tighter (e.g. 4 0.2 0.5) to catch
* partial-cycle jumps with poorly performing receivers.
* With poor prefit coordinates, set the last two numbers to 2 5 (or 5 10)
* but use the defaults for POST or, with noisy data, skip the postfit
* edit until a second pass with good coordinates allows tight detection of jumps.
* dd_fit_tol 5 2 10 3 0.35 0.8

- * The following three commands control the repair of cycle slips and subsequent
* removal of bias flags. The default values are conservative in the sense
* that they retain the most data. They are optimal for global networks but
* will work ok also for regional networks. However, for better ambiguity
* resolution in regional networks, different values are optimal.
*
- * Set the tolerances used in trimming the one-way data to remove small
* segments between bias flags. The following are defaults:
* trim_oneway 120 8 0.1 24
* For regional networks use
trim_oneway 1000 10 0.2 50
- * The first two parameters are the minimum times in seconds and minimum
* epochs for attempting to remove a bias flag; the last two are the minimum

- * fraction of total span and minimum number of epochs allowed after last bias
- * flag. To strengthen ambiguity resolution for regional data, increase the
- * last two parameters. For fewer bias flags in 24-hr data increase the first
- * two parameters.
- *
- * Number of data used to repair cycle slips. Defaults are ok for all data but
- * all values could be reduced for data sampled less often than 30s.
- * dd_return_size 100 50 10 10
- *
- * DD criteria for removing bias flags: chi-sq ratio chi-sq min max gap gap scale
- * For global networks use
- * remove_bias 10 3 1800 5
- * For regional networks use
- remove_bias 10 3 3600 5
- * For fewer flags but more risk over small gaps, decrease the first value (see
- * autcln.out). For fewer flags and more risk over large gaps, increase the
- * third and decrease the fourth,

- * Maximum number of bias flags per SV before deleting all the data.
- * Default infinite (not checked).
- max_scan_edit 30

- * To enhance numerical stability in SOLVE (but be careful in interpreting
- * one-way residuals)
- apply_phs_clk 1

- * Set the summary filename to agree with the command file produced by FIXDRV
- summary autcln.prefit.sum

- * Exclude L1-only (or bad RINEX files) to avoid problems: comment out if you want to process L1
- data
- noL1only

- * Commands to be used if post-fit editing invoked in the sestbl.
- POST summary autcln.post.sum
- POST apply_phs_clk 30
- POST use_postfit
- POST postfit_edit 10 4.0
- * Remove biases in one-ways after postfit edit
- POST pf_remove_bf
- * Possibly allow patching over larger gaps
- * POST remove_bias 10 3 3600 2
- * Output phase residuals for sky plots
- POST phs_res_root DPH
- * Resolve widelane ambiguities in autcln
- POST lc_autcln

- * Explicit edits added by sh_autedit or the analyst
- x edit_site_sv algo 0 1 2800
- x edit_site_sv all 23 1 400
- x edit_site_sv trom 15 451 460

-process.defaults

```
# process.defaults
# Do not remove any of these entries. To by-pass a function, set the value to null: ""

## LOCAL DIRECTORIES
# Directory for translation of raw data
set rawpth = "$procdir/raw"
# Directory path for raw archives (search all levels); e.g. /data18/simon
set rawfnd = ""
# Input files for RINEX translators
set mpth = "$procdir/mkrinex"
# RINEX files directory
set rpth = "$procdir/rinex"
# Directory path for RINEX archives (search all levels); e.g. /data18/simon
set rxfnd = ""
# Broadcast orbit directory
set bpth = "$procdir/brdc"
# IGS files directory
set ipth = "$procdir/igs"
# G-files directory
set gpth = "$procdir/gfiles"
# GAMIT and GLOBK tables directory
set tpth = "$procdir/tables"
# Output gifs directory
set gifpth = "$procdir/gifs"
# Globk solution directory
set glbpth = "$procdir/gsoln"
# Globk binary h-file directory
set glfpth = "$procdir/glbf"
# Directory path for other h-files (search all levels); e.g. /raid1/tah/SIO_GLL
set hfnd = ""
# Template files
set templatepth = "$procdir/templates"
# Place to store temporary control files
set cpth = "$procdir/control"
# Archive root directory (cannot be null)
set archivepth = "$procdir/archive"

## FTP INFO FOR REMOTE FILES
# Raw data archive
# set rawarchive = 'handler.mit.edu'
# set rawdir = 'pub/continuous/mitnet'
# set rawlogin = "anonymous simon@handler.mit.edu"
# Addresses for CDDSI, SOPAC, IGSCB, UNAVCO, BKG, IGN, USNO are given in
template/ftp_info

##GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time for processing
set sint = '30'
set nepc = '2880'
set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
set stinf_unique = "-u"
set stinf_nosort = "-nosort"
```

```

set stinf_slthgt = "2.00"
# Set "Y" to use RINEX header coordinates not in lfile or apr file
set use_rxc      = "N"
# Broadcast orbits
set brdc = 'brdc'
# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most OS use 1 Kb blocks)
set minxf = '300'
# Set search window for RINEX files which might contain data for day - default check the previous
day
set rx_doy_plus = 0
set rx_doy_minus = 1
# Default globk .apr file
set aprf = itr00.apr
# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts) options. (Don't forget to set the archivepth.)
# Possible d-, c-, and a- opts: D, H, ao, ac, as, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, o, p, q, t, x, ps, all"
set dopts = ( )
set copts = ( x k ao )
set aopts = "
# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would like to look for data in.
# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).
set rinex_ftpsites = (sopac cddis unavco)

```

RESOURCES

```

# Minimum raw disk space in Mbytes
set minraw = '100'
# Minimum rinex disk space in Mbytes
set minrinex = '100'
# Minimum archive disk space in Mbytes
set minarchive = '100'
# Minimum working disk space in Mbytes
set minwork = '500'

```

SYSTEM-DEPENDENT SETTINGS

```

# UNIX df command must be set to return the correct form
# Most machines (
set udf = 'df -mk'
# but note that if you have free > 1 Tb, you will need to change this to Mb
# set udf = 'df -m'
# HP
# set udf = 'bdf'
# UNIX mail command
# Most machines
set umail = 'mail -s'
# HP
# set umail = 'mailx -s'
# Mail address for sending the processing report (if " will default to `whoami` in sh_gamit)
set mailto = "
# Host name for email and anonymous ftp password use (if " will default to `hostname` in sh_gamit)
set machine = "
# Ghostscript path
set gspath = '/usr/bin'
# ImageMagick path fir gif conversion
# set impath = '/usr/bin/X11'
set impath = '/usr/bin'

```

-sestbl

Session Table

Processing Agency = MIT

Satellite Constraint = Y ; Y/N (next two lines are free-format but 'all' must be present)
all a e i n w M rad1 rad2 rad3 rad4 rad5 rad6 rad7 rad8 rad9;
0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01

Choice of Experiment = BASELINE ; BASELINE/RELAX./ORBIT

Type of Analysis = 1-ITER ; 1-ITER/0-ITER (no postfit autcln)/PREFIT

This now redundant AUTCLN Postfit = R ; Run autcln for postfit run; R causes repeat run.

Choice of Observable = LC_AUTCLN ; L1&L2/L1_ONLY/L2_ONLY/LC_ONLY/
; L1,L2_INDEPEND./LC_HELP/LC_AUTCLN

Station Error = ELEVATION 10 5 ; 1-way L1, a**2 + (b**2)(L**2) in mm, ppm, default = 10. 0.

Use N-file = Y ; Y/N (default no): automatic procedure to reweight by station

AUTCLN reweight = Y ; Release 10.31 equivalent of Use N-file

AUTCLN Command File = autcln.cmd ; Filename; default none (use default options)

Decimation Factor = 4 ; FOR SOLVE, default = 1

Quick-pre decimation factor = 10 ; 1st iter or autcln pre, default same as Decimation Factor

Quick-pre observable = LC_ONLY ; for 1st soln, default same as Choice of observable

Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 8.00 ppm

Ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; used for LC_HELP only

Ambiguity resolution NL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; Allow long baselines with LC_AUTCLN

Zenith Delay Estimation = Y ; Yes/No (default No)

Interval zen = 2 ; 2 hrs = 13 knots/day (default is 1 ZD per day)

Zenith Constraints = 0.50 ; zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)

Zenith Variation = 0.02 100. ; zenith-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)

Elevation Cutoff = 0 ; default 0 to use value in autcln.cmd

Atmospheric gradients = Y ; Yes/Np (default No)

Number gradients = 1 ; number of gradient parameters per day (NS or ES); default 1

Gradient Constraints = 0.01 ; gradient at 10 deg elevation in meters; default 0.03 m

Update T/L files = L_ONLY ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE

Update tolerance = .3 ; minimum adjustment for updating L-file coordinates, default .3 m

Met obs source = GPT 50 ; hierarchical list: RNX ufile GPT/STP [humid value]; default GTP 50
if [humid value] < 0, use RNX or UFL if available

Output met = N ; write the a priori met values to a z-file (Y/N)

Use met.list = N

Use met.grid = N

DMap = GMF ; GMF(default)/NMFH/VMF1

WMap = GMF ; GMF(default)/NMFV/VMF1

Use map.list = N

Use map.grid = N

Yaw Model = Y ; Y/N default = Y

Radiation Model for ARC = BERNE

Inertial frame = J2000

Tides applied = 31 ; Binary coded: 1 earth 2 freq-dep 4 pole 8 ocean 16 remove mean for
pole tide

; 32 atmosphere ; default = 31

Use otl.list = N

Use otl.grid = Y
 Use atl.list = N
 Use atl.grid = N
 Etide model = IERS03 ; IERS96/IERS03
 Apply atm loading = N ; Y/N for atmospheric loading
 Use atml.list = N
 Use atml.grid = N
 Antenna Model = AZEL ; NONE/ELEV/AZEL default = ELEV Use ELEV for IGS01
 relative model
 SV antenna model = ELEV ; NONE/ELEV default = NONE
 SV antenna off = N ; Y/N to estimate satellite antenna offsets (default N)
 Delete AUTCLN input C-files = Y ; Y/N ; default Y to force rerun of MODEL
 Scratch directory = /tmp

Optional controls:

Inertial frame = B1950 ; B1950/J2000 (default = J2000)

Initial ARC ; Y/N default = Yes
 Final ARC ; Y/N default = No
 Radiation Model for ARC ; SPHRC/BERNE/SRDYB/SVBDY default = SPHRC
 Reference System for ARC ; WGS72/WGS84/MERIT/IGS92/EGM96 (default = EGM96)
 Tabular interval for ARC ; 900. seconds (new default), 1350. seconds (old default)
 Stepsize for ARC ; 75. seconds (new default), 168.75 seconds (old default)

Earth Rotation ; Diurnal/Semidirunal terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 4=Ray model;
default=7

Estimate EOP ; Binary coded: 1 wob 2 ut1 4 wob rate 8 ut1 rate
 Wobble Constraint = 3. 0.3 ; Default 3. (arcsec) 0.3 (arcsec/day)
 UT1 Constraint = 0.00002 0.02 ; Default .00002 (sec) 0.02 (sec/day)

Number Zen = 4 ; number of zenith-delay parameters (default 1)
 Zenith Constraints = 0.50 ; zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)
 Zenith Model = PWL ; PWL (piecewise linear)/CON (step)
 Zenith Variation = 0.02 100. ; zenith-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)
 Gradient Constraints = 0.03 ; gradient at 10 deg elevation in meters
 Gradient Variation = .01 100 ; gradient variation
 Tropospheric Constraints = NO ; YES/NO (spatial constraint)

Antenna Model ; NONE/ELEV/AZEL default = NONE
 Tide Model ; Binary coded: 1 earth 2 freq-dep 4 pole 8 ocean default = 15
 Yaw Model ; YES/NO default = YES
 I-file = N ; Use I-file (Y/N) (default Y)

AUTCLN Postfit = Y ; Assume 'Y' if 'Type of analysis = 1-ITER' (autcln.cmd.postfit file also)

Delete AUTCLN input C-files = Y ; YES/NO/Intermediate (default no)
 Quick-pre observable = LC ; For 1st iter or autcln pre, default same as Choice of observable
 AUTCLN Command File ; Filename; default none (use default options)
 Delete eclipse data = POST ; ALL/NO/POST (Default = NO)
 SCANDD control ; BOTH (default) /NONE/FIRST/FULL/IFBAD see manual sec. 5.2
 Iteration ; CFILES / XFILES (default)
 Edit AUTCLN Command File ; YES/NO; default = NO (For clocks, no longer needed)

Ambiguity resolution WL ; default = 0.15 0.15 1000. 10. 500.

Ambiguity resolution NL ; default = 0.15 0.15 1000. 10. 500.
 Type of Biases : IMPLICIT (default for quick), EXPLICIT (default for full)
 H-file solutions ; ALL ; LOOSE-ONLY
 Station Error = BASELINE 10. 0. ; 1-way L1, $a^{**2} + (b^{**2})(L^{**2})$ in mm, ppm, default = 10. 0.
 Station Error = UNIFORM 10. ; 1-way L1 in mm, default = 10.
 Station Error = ELEVATION 4.3 7.0 ; 1-way L1 , $a^{**2} + b^{**2}/\sin(\text{elev})^{**2}$ in mm, default = 4.3 7.0
 Satellite Error = UNIFORM 0. ; 1-way L1 in mm (added quadratically to station error) default = 0.
 Select Epochs ; Enter start and stop epoch number (applies only to SOLVE)
 Decimation Factor ; FOR SOLVE, default = 1
 Quick-pre decimation factor = 10 ; 1st iter or autcln pre, default same as Decimation Factor
 Elevation Cutoff = 15. ; For SOLVE, overrides the MODEL or AUTCLN values if they are lower
 Correlation print ; Threshold for printing correlations (default 0.9999)

 Export Orbits ; YES/NO default = NO
 Orbit id ; 4-char code read only if Export Orbits = YES
 Orbit Format ; SP1/SP3 (NGS Standard Products)
 Orbit organization ; 3-char code read only if Export Orbits = YES
 Reference System for Orbit = ITR93 ; ITR92/ITR91/ITR90/WGS84/MERIT (for SP3 header)
 Lunar eclipses = Y ; Set = N to turn off lunar eclipses in ARC to match model of GAMIT < 10.2 (default Y)

 Delete all input C-files ; YES/NO default = NO
 Delete MODEL input C-files ; YES/NO default = NO
 Delete AUTCLN input C-files ; YES/NO default = NO
 Update T/L files ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE
 (Applies only to update for final solution after initial)
 Update tolerance ; minimum adjustment for updating L-file coordinates, default .3 m
 SOLVE-only = YES ; YES/NO default = NO
 X-compress = YES ; Uncompress/compress X-files default = NO
 SCANDD control ; FULL (default), FIRST, BOTH, IFBAD, NONE
 Run CTOX = YES ; Make clean X-files from C-files default = NO
 Bias apriori = 100. ; Optional constraint on biases for LC_AUTCLN (default 0 -> no constraint)
 SOLVE print = Y ; Turn on SOLVE output to screen (default N)

 Bias apriori = 1000. ; Optional constraint on biases for LC_AUTCLN (default 1000, 0 -> constraint)
 Bias rcond = 10000. ; Condition number ratio for fixing dependent biases (default 10000.)

-sites.defaults

```
# File to control the use of stations in the processing
# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
# where the first token is the 4- or 8-character site name (GAMIT uses only
# 4 characters, GLOBK allows only 4 unless there are earthquakes or renames),
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the processing.
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will be used
# automatically and do not need to be listed.
#
# GAMIT:
# ftpnx = sites to ftp from rinex data archives.
# ftpraw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx xstinfo = sites names used to search for rinex files on your local system.
#       (required in conjunction with rnxofd path variable set in process.defaults).
# xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.
# xsite = sites to exclude from processing, all days or specified days
# GLOBK:
# glrepu = sites used in the GLRED repeatability solution (default is to use all)
# glreps = sites used for reference frame definition (stabilization) in
#       GLORG for the GLRED repeatability solution (default is IGS list)
# glts = sites to plot as time series from GLRED repeatability solution (default is all)
#
# may use the following
# all_sites tubi xstinfo
# individual station commands will override all_sites if they follow it

# VLRV sites
vrv_gps vrv localrx xstinfo glrepu
vrb_gps vrv localrx xstinfo glrepu
vrlh_gps vrv localrx xstinfo glrepu

# RGP sites
lene_gps vrv localrx xstinfo glrepu
sees_gps vrv localrx xstinfo glrepu
caen_gps vrv localrx xstinfo glrepu
stlo_gps vrv localrx xstinfo glrepu
```

-sittbl

```
SITE      FIX  --COORD.CONSTR.--
  << default for regional stations >>
ALL       NNN  100. 100. 100.
  << IGS core stations >>

  << RGP stations >>
CAEN CAEN_GPS  NNN  .50 .50 .5
LENE LENE_GPS  NNN  .50 .50 .5
SEES SEES_GPS  NNN  .50 .50 .5
STLO STLO_GPS  NNN  .50 .50 .5
```

-station.info

Station.info written by MSTINF user masson on 2010-03-09 10:46

* Reference file : station.info

*

*

*SITE Station Name Session Start Session Stop Ant Ht HtCod Ant N Ant E Receiver
Type Vers SwVer Receiver SN Antenna Type Dome Antenna SN
CAEN Aeroport Caen 2005 314 0 0 0 2009 16 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
ASHTECH UZ-12 CN00-1A01 9.94 UC22003020 ASH701945E_M SCIS
CR620024323

CAEN Aeroport Caen 2009 16 0 0 0 2009 238 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETR5 3.60 3.60 4812K54632 TRM55971.00 NONE
30975409

CAEN Aeroport Caen 2009 238 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETR5 4.03 4.03 4812K54632 TRM55971.00 NONE
30975409 Verifie le 8 jan 2010

LENE Le Neubourg 2007 108 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
ASHTECH UZ-12 CN00-1A01 9.94 IR22005390 ASH701945E_M SNOW
CR5200530061 Verifie le 8 jan 2010

SEES Sees 2009 76 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
ASHTECH UZ-12 CN00-1A01 9.94 IR22006390 ASH701945E_M SNOW
CR6200538018 Verifie le 8 jan 2010

STLO Saint Lo 2007 025 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
ASHTECH UZ-12 CN00-1A01 0.00 IR2200539037 ASH701945E_M SNOW
CR5200530045

VLRB vlrB 2009 190 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETRS 1.25 1.25 4752143430 TRM41249.00 SCIT 60205838
Verifie le 8 jan 2010

VLRH vlrh 2009 190 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETRS 1.25 1.25 4811147005 TRM41249.00 SCIT 60240016
Verifie le 8 jan 2010

VLRV VLRV 2009 190 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETRS 1.25 1.25 4752143441 TRM41249.00 SCIT 60104195
Verifie le 8 jan 2010

-globk_comb.cmd

- * Globk command file to combine two or more daily h-file and/or daily h-files
- * into longer spans (e.g weekly or monthly) (no velocities)
- * --works also for daily repeatabilities

* << column 1 must be blank if not comment >>

renames and earthquakes for global IGS analysis--add local earthquakes and renames

```
eq_file ../tables/eq_rename
make_svs comb.svs
com_file comb.com
srt_file comb.srt
sol_file globk_comb.sol
```

```
apr_file ../tables/itrf05.apr
# apr_file ../tables/regional.apr
```

```
# increase chii and rotation tolerance to include all files for diagnostics
# or to account for naturally large rotations when you have only short baselines
max_chi 30 50 2000.0
```

```
# in_pmu ../tables/pmu.usno
```

```
# sites to include in the solution (default all)
```

```
# crt_opt NOPR
# rwk 080916: add MDPT option when combining files of more than one day
prt_opt GEOD BLEN GDLF CMDS
org_opt GEOD PSUM CMDS GDLF
org_cmd glorg_comb.cmd
org_out globk_comb.org
```

* Apply the pole tide whenever not applied in GAMIT
app_ptid all

* Stations loose for glorg
apr_neu all 1 1 1 .1 .1 .1

* Satellites loose for combination w/ global h-files
x apr_svs all 100 100 100 10 10 10 1R
tight if not combining with global data
x apr_svs all .05 .05 .05 .005 .005 .005 .01 .01 F F F F F F F F F F F F F F F F

* If using SIO h-files, unlink radiation-pressure for satellites with the wrong block number
PN22/SV22 1993-2003
x apr_svs prn_22 100 100 100 10 10 10 OR
PN16/SV56 2003 2 7 - 2003 3 31
x apr_svs prn_16 100 100 100 10 10 10 OR
PN21/SV45 2003 4 1 - 2003 4 30

```

x apr_svs prn_21 100 100 100 10 10 10 0R
# PN22/SV47 2006 12 1 - 2007 2 28
x apr_svs prn_22 100 100 100 10 10 10 0R
# PN12/SV58 2006 11 17 - 2007 2 28
x apr_svs prn_12 100 100 100 10 10 10 0R
# Unlink rad parms for some days that have chi2 > 0.3
x apr_svs all 100 100 100 10 10 10 0R

* apply constraints before 1994
x apr_svs all .1 .1 .1 .01 .01 .01 F F F F F F F F F F

# EOP loose if estimating rotation in glorg
x apr_wob 10 10 0 0
x apr_ut1 10 0
# EOP tight if position-only stabilization in glorg
apr_wob .25 .25 .1 .1
apr ut1 .25 .1

# Comment out this line if not saving a combined H-file
out_glb H-----test1.GLX

# Optionally put a long uselist and/or sig_neu and mar_neu reweight in a source file
x source ../../tables/uselist
x source ../../tables/daily_reweights

```

-glorg_comb.cmd

```

* Glorg command file for daily- to monthly solutions (no velocities)
* --works also for daily repeatabilities

* << column 1 must be blank if not comment >>

apr_file ../../tables/itr05.apr
# Substitute a regional solution for spatial filtering:
x apr_file ../../tables/vel_070425c.apr

# Position and rotation (moderate to large spatial scale, at least 6 well-distributed stations)
x pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
# Position only (small network, EOP constrained in globk)
pos_org xtran ytran ztran

# Natural downweight of heights is 10 in variance (3 in sigma)
cnd_hgtv 10 10 3. 3.
# Downweight heights 20-1000 if necessary (but need more stations for redundancy)
x cnd_hgtv 100 100 3. 3.

# Set n-sigma for keeping station between 2.5 and 4.0
stab_it 4 0.5 2.5

# List of stations for stabilization (default is 'all')

```

- Table .gmtdefaults4 de GMT (Global Mapping Tool) utilisée pour une bonne exécution du programme

```

# GMT-SYSTEM 4.1.3 Defaults file
#
#----- Plot Media Parameters -----
PAGE_COLOR = 255/255/255
PAGE_ORIENTATION = landscape
PAPER_MEDIA = a4
#----- Basemap Annotation Parameters -----
ANNOT_MIN_ANGLE = 20
ANNOT_MIN_SPACING = 0
ANNOT_FONT_PRIMARY = Helvetica
ANNOT_FONT_SIZE = 10p
ANNOT_OFFSET_PRIMARY = 0.2c
ANNOT_FONT_SECONDARY = Helvetica
ANNOT_FONT_SIZE_SECONDARY = 8p
ANNOT_OFFSET_SECONDARY = 0.2c
DEGREE_SYMBOL = ring
HEADER_FONT = Helvetica
HEADER_FONT_SIZE = 20p
HEADER_OFFSET = 0.47625c
LABEL_FONT = Helvetica
LABEL_FONT_SIZE = 20p
LABEL_OFFSET = 0.3c
OBLIQUE_ANNOTATION = 1
PLOT_CLOCK_FORMAT = hh:mm:ss
PLOT_DATE_FORMAT = o-yy
PLOT_DEGREE_FORMAT = +ddd:mm:ss
Y_AXIS_TYPE = hor_text
#----- Basemap Layout Parameters -----
BASEMAP_AXES = WESN
BASEMAP_FRAME_RGB = 0/0/0
BASEMAP_TYPE = fancy
FRAME_PEN = 1.25p
FRAME_WIDTH = 0.2c
GRID_CROSS_SIZE_PRIMARY = 0c
GRID_CROSS_SIZE_SECONDARY = 0c
GRID_PEN_PRIMARY = 0.25p
GRID_PEN_SECONDARY = 0.5p
MAP_SCALE_HEIGHT = 0.2c
TICK_LENGTH = 0.2c
POLAR_CAP = 85/90
TICK_PEN = 0.5p
X_AXIS_LENGTH = 25c
Y_AXIS_LENGTH = 15c
X_ORIGIN = 2.5c
Y_ORIGIN = 2.5c
UNIX_TIME = FALSE
UNIX_TIME_POS = -2c/-2c
#----- Color System Parameters -----
COLOR_BACKGROUND = 0/0/0
COLOR_FOREGROUND = 255/255/255
COLOR_NAN = 128/128/128
COLOR_IMAGE = adobe
COLOR_MODEL = rgb
HSV_MIN_SATURATION = 1
HSV_MAX_SATURATION = 0.1
HSV_MIN_VALUE = 0.3
HSV_MAX_VALUE = 1
#----- PostScript Parameters -----
CHAR_ENCODING = ISOLatin1+
DOTS_PR_INCH = 300
N_COPIES = 1
PS_COLOR = rgb
PS_IMAGE_COMPRESS = none
PS_IMAGE_FORMAT = ascii
PS_LINE_CAP = butt
PS_LINE_JOIN = miter
PS_MITER_LIMIT = 0
PS_VERBOSE = FALSE
GLOBAL_X_SCALE = 1
GLOBAL_Y_SCALE = 1
#----- I/O Format Parameters -----
D_FORMAT = %lg
FIELD_DELIMITER = tab
GRIDFILE_SHORTHAND = FALSE
GRID_FORMAT = nf
INPUT_CLOCK_FORMAT = hh:mm:ss
INPUT_DATE_FORMAT = yyyy-ijj
IO_HEADER = FALSE
N_HEADER_RECS = 1
OUTPUT_CLOCK_FORMAT = hh:mm:ss
OUTPUT_DATE_FORMAT = dd-mm-yyyy
OUTPUT_DEGREE_FORMAT = +D
XY_TOGGLE = FALSE
#----- Projection Parameters -----
ELLIPSOID = WGS-84
MAP_SCALE_FACTOR = default
MEASURE_UNIT = cm
#----- Calendar/Time Parameters -----
TIME_FORMAT_PRIMARY = abbreviated
TIME_FORMAT_SECONDARY = full
TIME_EPOCH = 2000-01-01T00:00:00
TIME_IS_INTERVAL = OFF
TIME_INTERVAL_FRACTION = 0.5
TIME_LANGUAGE = us
TIME_SYSTEM = j2000
TIME_UNIT = d
TIME_WEEK_START = Sunday
Y2K_OFFSET_YEAR = 1950
#----- Miscellaneous Parameters -----
HISTORY = TRUE
INTERPOLANT = akima
LINE_STEP = 0.025c
VECTOR_SHAPE = 0
VERBOSE = FALSE

```

- Exemple de fichier récapitulatif généré par le programme précédent

OMIV - Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants (Service d'Observation INSU)

Résultats du post-traitement GPS concernant la zone de glissement de Villerville (Calvados) ; avec une station fixe (VLRV) et deux stations mobiles dans la zone de glissement (VLRB, VLRH)

A. Ligne de base VLRV-VLRH:

- * Évaluation journalière le jour GPS 2010-152 (01-06-2010) : 464.62482 m
- * Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS 2010-151 (31-05-2010): -.73000 mm
- * Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190 (09 Juillet 2009): 18.68000 mm

Coordonnées de la position de VLRH :

* jour GPS 2010-152 (01-06-2010) :

- Coordonnées en Lambert Zone1 : NORD=439381.302 m ; EST=191127.618 m ;
Z(altitude)=16.618 m

- Coordonnées géographiques : Lat=49.398918329 (d décimaux) ; Long=0.123120226 (d décimaux) ; Hauteur=61.8595 m

* Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS 2010-151 (31-05-2010) :

- Composante NORD : 0 mm

- Composante EST : 3.000 mm

- Composante Z (altitude) : 3.000 mm

* Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190 (09 Juillet 2009) :

- Composante NORD : 21.000 mm

- Composante EST : -8.000 mm

- Composante Z (altitude) : -8.000 mm

B. Ligne de base VLRV-VLRB:

* Évaluation journalière le jour GPS 2010-152 (01-06-2010) : 489.45695 m

* Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS 2010-151 (31-05-2010): -.35000 mm

* Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190 (09 Juillet 2009): 52.72000 mm

Coordonnées de la position de VLRB :

* jour GPS 2010-152 (01-06-2010) :

- Coordonnées en Lambert Zone1 : NORD=439347.170 m ; EST=191146.639 m ; Z(altitude) =9.546 m

- Coordonnées géographiques : Lat=49.399080278 (d décimaux) ; Long=0.122642441 (d décimaux) ; Hauteur=54.7866 m

* Changement depuis l'évaluation précédente le jour GPS 2010-151 (31-05-2010) :

- Composante NORD : 0 mm

- Composante EST : 3.000 mm

- Composante Z (altitude): 4.000 mm

* Changement depuis l'évaluation initiale le jour GPS 2009-190 (09 Juillet 2009) :

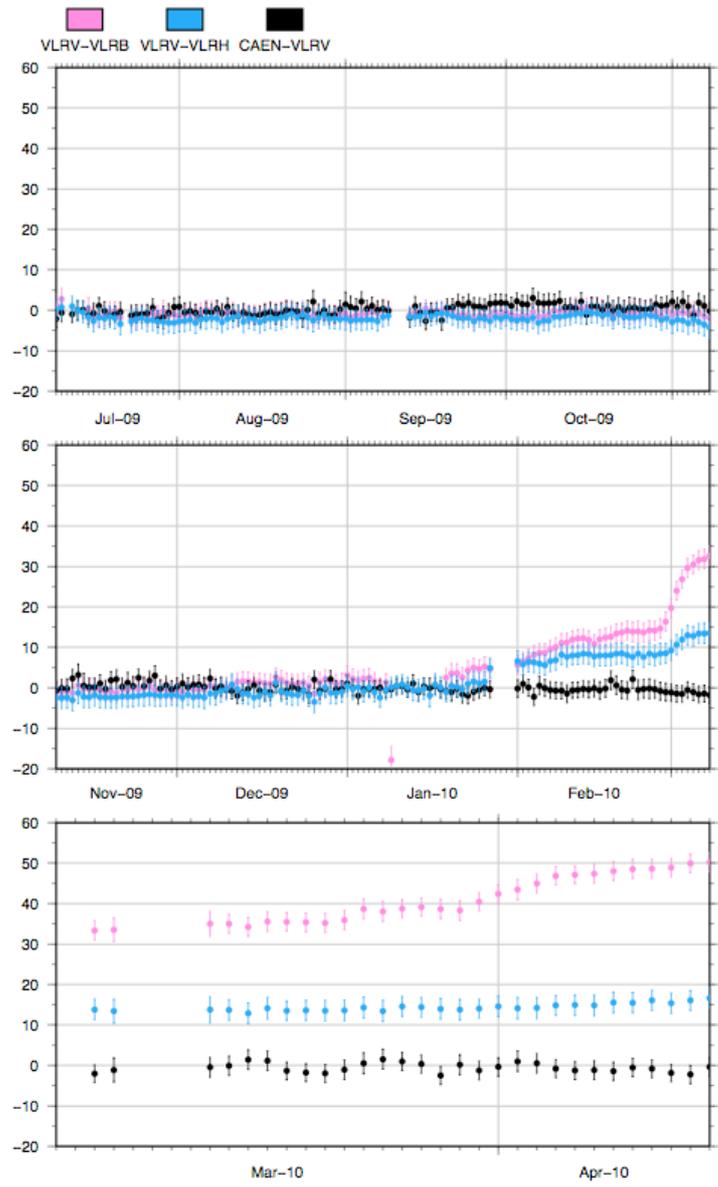
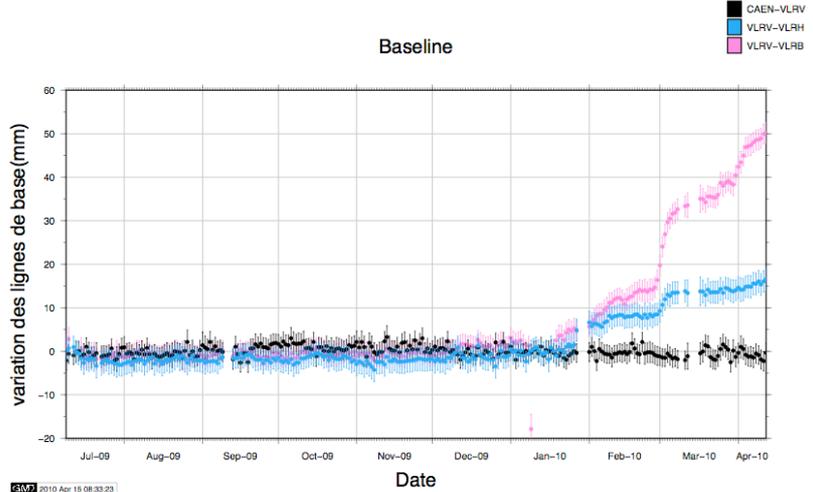
- Composante NORD : 47.000 mm

- Composante EST : -46.000 mm

- Composante Z (altitude) : -14.000 mm

Solution proposée par l'équipe OMIV-EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre) Strasbourg P. Ulrich, J.P. Malet, F. Masson, A. Déprez

- Exemple de représentations de l'évolution de lignes de base générée par le programme précédent



- Fiches descriptives des stations locales

Fiche de renseignements LVAL La Valette

Propriétaire : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Usufruitier : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Mise en service : octobre 2009

Coordonnées (RGF93 - Lambert-93) valides à c\ du 08/05/2010

X	Y	Z	Antenne
4534921.466 m	527356.498 m	4441001.866 m	Hauteur : 0.0533m
Latitude	Longitude	Hauteur	
44°24'1.74801"N	6°37'58.84987"E	1440.155 m	
N	E	Altitude	
242311.603 m	942085.808 m	1386.472 m	

Type de données disponibles

Session/Echantillonnage	1h/1s	1h/30s	24h/30s
Temps Différé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
J+2	DGPS	RTK	Interpolé
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

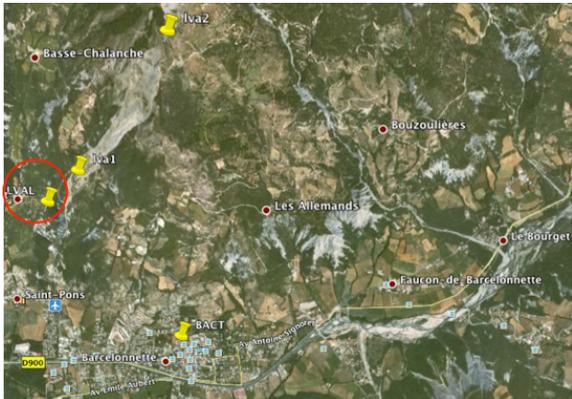
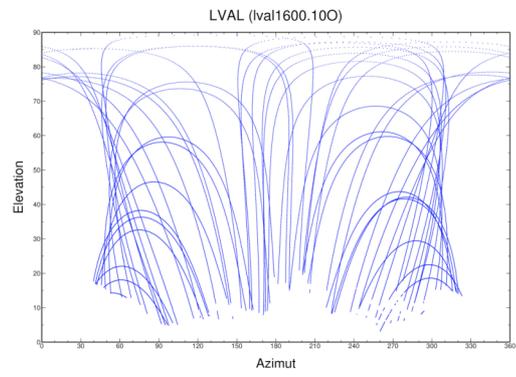
Situation	Plan d'accès
<p>LVAL</p> 	

Photo du site



Qualité du site



Fiche de renseignements Iva1 La Valette 1

Propriétaire : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Usufruitier : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Mise en service : octobre 2009

Coordonnées (RGF93 - Lambert-93) valides à c\ du 08/05/2010

X	Y	Z	Antenne
4534646.897 m	527630.089 m	4441246.523 m	Hauteur : 0.0533m
Latitude	Longitude	Hauteur	
44°24'12.87409"N	6°38'12.56135"E	1439.072 m	
N	E	Altitude	
242670.353 m	942370.865 m	1385.367 m	

Type de données disponibles

Session/Echantillonnage	1h/1s	1h/30s	24h/30s
Temps Différé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
J+2	DGPS	RTK	Interpolé
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

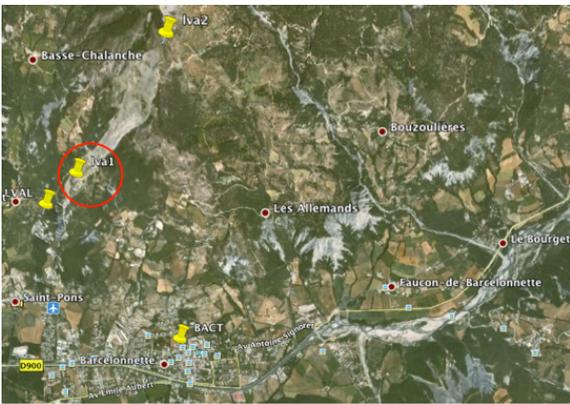
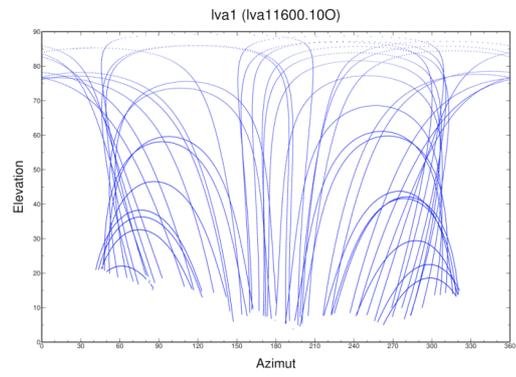
Situation	Plan d'accès
<p>Iva1</p> 	

Photo du site



Qualité du site



Fiche de renseignements Iva2 La Valette 2

Propriétaire : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Usufruitier : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Mise en service : mai 2010

Coordonnées (RGF93 - Lambert-93) valides à c\ du 08/05/2010

X	Y	Z	Antenne
4532672.779 m	528564.637 m	4441158.252 m	Hauteur : 0.0533m
Latitude	Longitude	Hauteur	
44°24'52.82963"N	6°39'4.83259"E	2078.924 m	
N	E	Altitude	
243962.301 m	943461.242 m	2025.142 m	

Type de données disponibles

Session/Echantillonnage	1h/1s	1h/30s	24h/30s
Temps Différé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
J+2	DGPS	RTK	Interpolé
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

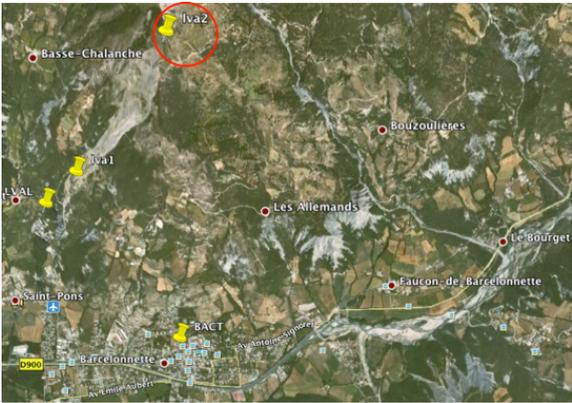
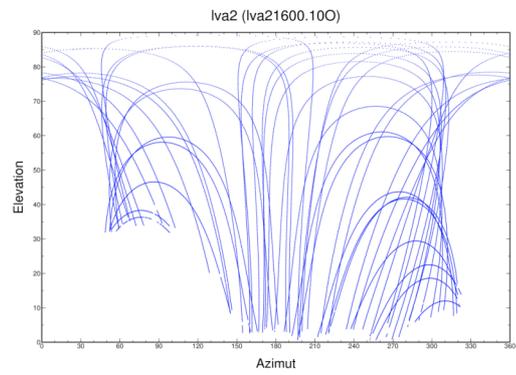
Situation	Plan d'accès
	

Photo du site



Qualité du site



Fiche de renseignements VLRV Villerville

Propriétaire : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Usufruitier : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Mise en service : juillet 2009

Coordonnées (RGF93 - Lambert-93) valides à c\ du 09/07/2009

X	Y	Z	Antenne
4159264.40839	9008.38406	4819341.35747	Hauteur : 0m
Latitude	Longitude	Hauteur	
49°23'41.35328"N	0°07'26.73998"E	118.378m	
N	E	Altitude	
5498606.24972	8990.88969	72.434	

Type de données disponibles

Session/Echantillonnage	1h/1s	1h/30s	24h/30s
Temps Différé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
J+2	DGPS	RTK	Interpolé
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

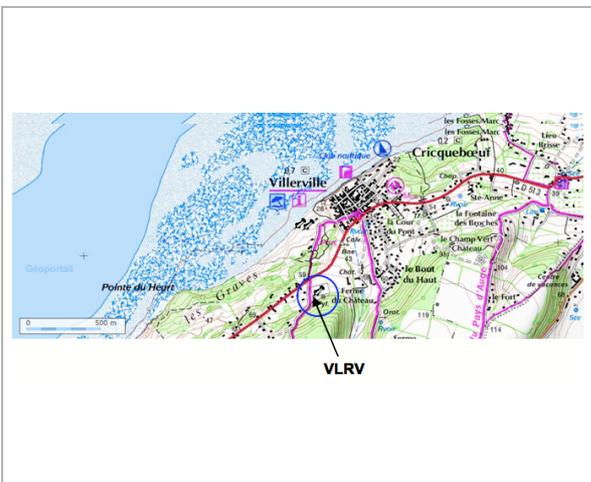
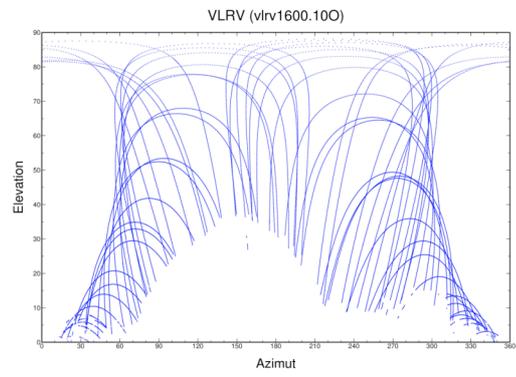
Situation	Plan d'accès
 <p>VLRV</p>	 <p>VLRV</p>

Photo du site



Qualité du site



Fiche de renseignements virh Villerville haut

Propriétaire : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Usufruitier : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Mise en service : juillet 2009

Coordonnées (RGF93 - Lambert-93) valides à c\ du 09/07/2009

X	Y	Z	Antenne
4158881.76482 m	8936.95487 m	4819595.01232 m	Hauteur : 0m
Latitude	Longitude	Hauteur	
49°23'56.10414"N	0°07'23.23848"E	61.83147 m	
N	E	Altitude	
5499062.37707 m	8919.37949 m	15.898 m	

Type de données disponibles

Session/Echantillonnage	1h/1s	1h/30s	24h/30s
Temps Différé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
J+2	DGPS	RTK	Interpolé
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

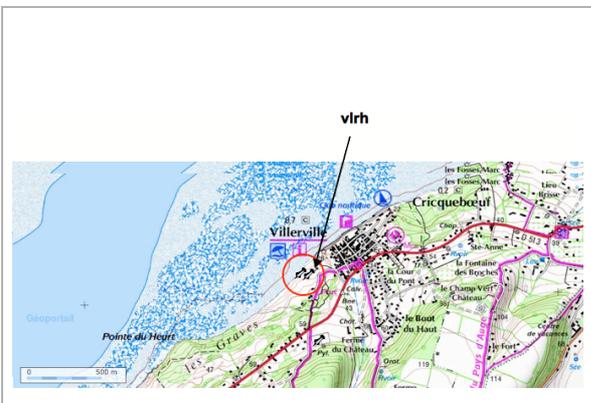
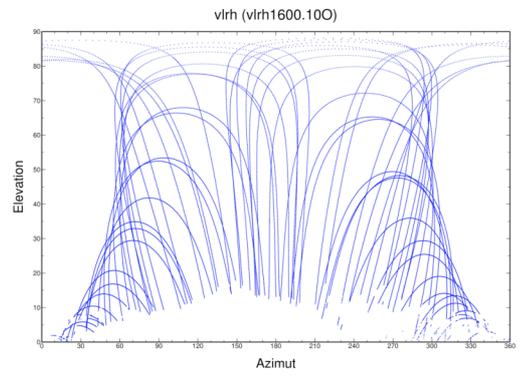
Situation	Plan d'accès
	

Photo du site



Qualité du site



Fiche de renseignements vrb Villerville bas

Propriétaire : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Usufruitier : EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre)

Mise en service : juillet 2009

Coordonnées (RGF93 - Lambert-93) valides à c\ du 09/07/2009

X	Y	Z	Antenne
4158863.58415 m	8902.27447 m	4819601.35244 m	Hauteur : 0m
Latitude	Longitude	Hauteur	
49°23'56.68634"N	0°07'21.52040"E	54.76514 m	
N	E	Altitude	
5499080.37977 m	8884.80623 m	8.832 m	

Type de données disponibles

Session/Echantillonnage	1h/1s	1h/30s	24h/30s
Temps Différé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
J+2	DGPS	RTK	Interpolé
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informations complémentaires

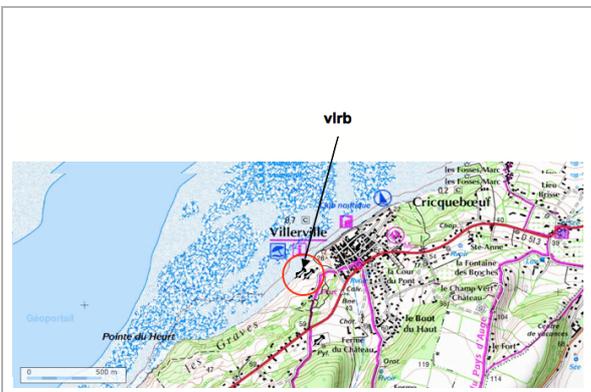
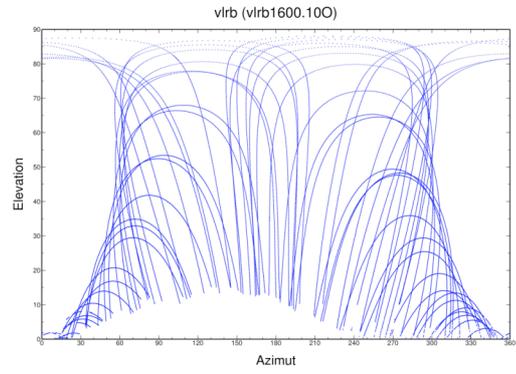
Situation	Plan d'accès
	

Photo du site



Qualité du site



Résumé

Les sites de La Valette (Alpes-de-Haute-Provence) et Villerville (Calvados) constituent des zones de glissements potentiellement dangereux pour les infrastructures et les habitants des environs. L'installation de stations GPS permanentes au niveau de points stratégiques de ces zones instables a pour objectif l'accès à des valeurs précises du déplacement (de l'ordre du mm) dans des délais relativement courts (J+2). Les travaux effectués au cours de ce stage ont dans un premier temps été de déterminer la méthode de traitement des données GPS appropriée, avec le logiciel GAMIT/GLOBK, pour l'évaluation journalière des lignes de base. Il a ensuite été question d'inclure les étapes de traitement suivi d'un processus de représentations graphiques et d'archivage des résultats essentiels au sein d'un script C-shell et d'automatiser cette procédure. Les résultats ont été analysés et des corrélations pertinentes ont été établies entre les mouvements sur les glissements et d'autres sources de données telles que la pluviométrie, la piézométrie et la pression de pores. Au terme de ce travail, l'utilisation d'un modèle simple (à quatre paramètres) a permis de reproduire les grandes tendances de déplacement et de confirmer les relations étroites entre les caractéristiques hydrologiques du sol et les glissements en surface.

Mots clés : GPS, glissements de terrain, gestion des risques naturels

Abstract

La Valette and Villerville are two active landslides investigated more particularly since the beginning of the eighties and their major crisis. These instabilities of land are considered to be serious threats to the infrastructures and community in the neighbourhood. The setting up of permanent GPS stations on strategic points of the landslides aims at collecting precise values of displacement (on the order of mm) and relatively quickly (J+2). At first, the project consists in the determination of the GPS data processing method with the software GAMIT/GLOBK for the baselines evaluation. Then the different stages of processing and a plotting and a filing of the essential results were included in a C-shell script to process automatically GPS data. After, the results were studied and the displacements and others data sources (rainfall, groundwater rise, pore pressure) were correlated. Eventually the main movement trends were recreated thanks to a simple model (with 4 parameters) and this modelling confirms the close connection between soil hydrologic characteristics and surface moving.

Key words : GPS, landslide hazard, monitoring system