

Ingrid Charvet

Mémoire de stage

**Occurrence spatio-temporelle et fonctionnement hydrologique de glissements de terrain : exemples des glissements du Trièves (Isère) et de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence).**

BACHELOR OCEANOGRAPHE  
PROSPECTION DU DOMAINE MARIN

Promotion Bougainville  
2003-2006

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord M.Olivier Maquaire, qui a répondu favorablement à ma demande de stage, et dont les connaissances et l'aide m'ont été précieuses.

En second lieu je remercie très fortement M.Jean-Philippe Malet, grâce à qui j'ai vécu quatre mois merveilleusement riches en enseignements et en expériences. Merci infiniment pour la disponibilité, les explications, l'aide et la patience dont il a fait preuve en toutes circonstances, et jusqu'à la dernière minute.

Merci également à M.Robert Davidson, pour son aide sur le terrain et au Geophen. Mes sollicitations ont toujours été considérées avec gentillesse.

Merci à tous les doctorants du Geophen, pour leur accueil, leur aide, et les moments de détente (en canoë?!) bien mérités. De même je remercie Claire, Lucille et Bilge, pour le plaisir que j'ai eu (de me rouler dans les marnes...) et de travailler avec elles.

Un grand merci aussi à M. Pascal Sailhac, pour m'avoir accueilli à l'IPG de Strasbourg à deux reprises, pour tout le temps qu'il m'a consacré, pour sa patience exemplaire devant mes multiples questions. Grâce à lui le PS n'est plus un mystère ininterprétable (mais un phénomène aux causes multiples...)!

Je remercie ensuite M. Pierre-Daniel Matthey, sans qui je n'aurais pas pu traiter mes données correctement sous MATLAB et comprendre le fonctionnement du logiciel. Lui aussi a fait preuve d'énormément de dévouement à mon égard.

Merci à M.Yannick Thierry, pour avoir prêté son logement strasbourgeois en toute confiance (et en toute urgence!) à une pauvre stagiaire sans domicile débarquant de Caen!

Merci beaucoup à Anne-Laure, Vincent, Stéphane et Yves, qui m'ont grandement aidée lors des missions de terrain, et m'ont fait profiter de leurs connaissances en toutes circonstances.

Merci enfin à M.Mickaël Behaegel, sa compagnie dans les bureaux de l'EOST était sympathique et il n'a pas hésité à me rendre service.

## RESUME

En montagne les pentes importantes, les lithologies susceptibles, les activités humaines, le climat « agressif » (fortes intensités de pluie, accumulation de neige en hiver) font des glissements de terrain un aléa à considérer. Acquérir des connaissances multidisciplinaires et à différentes échelles est nécessaire à une meilleure évaluation de l'aléa 'Glissement de terrain'.

L'étude menée ici a ainsi pour objectifs :

-d'évaluer l'occurrence spatiale et temporelle des glissements de terrain à l'échelle régionale , en s'appuyant, en premier lieu, sur des inventaires, des rapports d'études et des données multisources disponibles dans la région du Trièves (Isère). Les glissements de terrain observés dans cette region se déclenchent suite à une conjonction de facteurs de prédisposition et de déclenchement favorables, notamment d'origine climatiques, que nous essaierons de mettre en valeur.

-d'étudier le comportement hydrologique d'un glissement de terrain bien documenté (glissement-coulée de Super-Sauze) à l'échelle locale, par l'acquisition et le traitement de données multi-sources acquises sur le terrain (relevé géomorphologique, GPS, imagerie drone, prélèvements par carottages, mesures de potentiels électriques, mesures de bruit de fond sismique).

**Mots-clés:** Aléa gravitaire, répartition spatiale et temporelle, géomorphologie, climat, hydrologie, potentiel électrique spontané

## ABSTRACT

In the mountains high-gradient slopes, susceptible lithologies, human activities and « aggressive » climate characteristics (intense rainfalls, snow accumulation during winter) explain why landslide hazard has to be considered. Gaining multidisciplinary knowledge at different scales is therefore necessary for a better assessment of landslide hazard.

Therefore, the study carried out here will aim at:

- assessing the spatial and temporal occurrence of landslides at a regional scale by referring firstly at inventories, studies' reports, and multisource data available for the Trièves region (Isere). The landslides observed in this region are controlled by predisposing and triggering factors, notably of a climatic origin, which we will try to highlight;

- studying the hydrological behaviour of a well-documented landslide (the Super-Sauze mudslide) at a local scale by collecting in the field and processing multi-source data (geomorphological observations, GPS, drone imagery, core sampling, electrical potential measurements, ambient seismic noise measurements).

**Keywords:** landslide hazard, spatial and temporal distribution, geomorphology, climate, hydrology, spontaneous electrical potential

# Sommaire

1.Caractéristiques géomorphologiques, facteurs de contrôle et méthodes d’investigation des glissements de terrain.....	7
1.1.Définitions	7
1.1.1.Définition générale	7
1.1.2.Classifications	7
1.1.3.Caractéristiques géomorphologiques	7
1.2.Facteurs de contrôle	8
1.2.1.Facteurs statiques	8
1.2.2.Facteurs dynamiques	8
1.3.Méthodologies d’étude des glissements de terrain à différentes échelles	9
1.3.1.Inventaire et analyses des glissements de terrain à l’échelle régionale	9
1.3.1.1.Distribution spatiale	9
1.3.1.2.Activité temporelle	9
1.3.1.3.Climat	9
1.3.2.Connaissance des mécanismes de glissement à l’échelle locale	9
1.3.2.1.Structure de la masse instable	11
1.3.2.2.Hydrologie de la masse instable	11
1.3.2.3.Vitesse	11
2.Analyses à l’échelle régionale: les glissements de terrain dans le Trièves .....	11
2.1.Présentation de la région d’étude : le Plateau du Trièves	11
2.2.Analyse qualitative de la répartition spatiale des glissements	12
2.2.1.Analyse de documents de bureaux d’étude et ortho-photographies des zones glissées .....	12
2.2.1.1.Présentation des documents	12
2.2.1.2.Présentation du logiciel Photo Explorer	12
2.2.1.3.Objectifs: détermination et visualisation de la zone d'étude	12
2.2.1.3.1.Première délimitation des zones à investiguer	12
2.2.1.3.2.Observation et création de dalles d’ortho-photographie sous Photo Explorer.....	13
2.2.1.4.Géoréférencement des données de bureau d’étude et des dalles d’ortho-photographies sur Arc GIS	14
2.2.1.4.1.Géoréférencement des orthophotographies	14
2.2.1.4.2.Géoréférencement des documents de bureaux d'étude	15
2.2.1.5.Synthèse des informations recueillies	16
2.3.Identification qualitative de l’activité temporelle des glissements de terrain	18
2.3.1.Méthodologie	18
2.3.1.1.Utilisation de l'inventaire	18
2.3.1.2.Dérivation d'information issue de l'analyse d'ortho-photographies numériques .....	19
2.3.1.3.Repérage et interprétation qualitative multi-dates des formes géomorphologiques principales .....	19
2.4.Analyse quantitative des clichés aériens	20
2.5.Caractéristiques climatiques moyennes du Trièves sur la période 1947 – 2005 .....	21
2.5.1.Analyse des données climatiques : identification d’une tendance sur le long-terme.....	23
2.5.1.1.Présentation des données	23
2.5.1.2.Identification de tendances climatiques	23
2.5.1.2.1.Visualisation des tendances par stations à différentes échelles temporelles .....	23
2.5.1.2.2.Evolution d'un paramètre en fonction du lieu	23
2.5.1.3.Activité des glissements vs. tendance climatique : tentative de corrélation.....	26
2.5.1.4.Résultats	26
2.6.Synthèse des résultats	27
3.Connaissance des mécanismes à l’échelle locale: le site de Super Sauze.....	27
3.1.Présentation du site	27
3.2.Méthodes d’investigation de la structure du glissement-coulée	29
3.2.1.Méthode d’investigation directe (sondages géotechniques ponctuels par carottages au vibro-percuteur)	29
3.2.1.1.Applicabilité	29
3.2.1.2.Descriptif de la méthode	29

3.2.1.3.Résultats	30
3.2.2.Méthode d'investigation indirecte (mesure de bruit de fond sismique et traitement H/V).....	30
3.2.2.1.Applicabilité	30
3.2.2.2.Descriptif de la méthode	31
3.2.2.3.Résultats	31
3.3.Méthodes d'analyses de la vitesse du glissement	32
3.3.1.GPS	32
3.3.1.1.Applicabilité	32
3.3.1.2.Descriptif de la méthode	32
3.3.1.3.Résultats	32
3.3.2.Imagerie optique aéroportée	32
3.3.2.1.Applicabilité	32
3.3.2.2.Descriptif de la méthode	32
3.3.2.3.Résultats	33
3.4.Méthodes d'analyses du comportement hydrologique du glissement-coulée	33
3.4.1.Mesures de Potentiel Spontané (PS)	33
3.4.1.1.Applicabilité	33
3.4.1.2.Descriptif de la méthode	33
3.4.1.3.Réseau PS en profondeur	33
3.4.1.3.1.Principe	33
3.4.1.3.2.Objectifs de l'étude	34
3.4.1.3.3.Disposition des électrodes	34
3.4.1.3.4.Présentation des données de potentiel spontané	34
3.4.1.3.5.Application: Traitement des données à l'aide du logiciel MATLAB.....	34
3.4.1.3.6.Résultats	37
3.4.1.4.Mesures du Potentiel Spontané en Surface – Mesure volante	39
3.4.1.4.1.Principe	39
3.4.1.4.2.Application	39
3.4.1.4.3.Résultats	41
3.5.Synthèse des résultats	44

## Index des illustrations

Illustration 1Eléments Géomorphologiques d'un glissement	8
Illustration 2Facteurs de contrôle et activité des glissements	9
Illustration 3Carte géomorphologique et profils de Super Sauze	11
Illustration 4Plateau du Trièves	12

Illustration 5	Glissement de l'Harmalière	13
Illustration 6	Zones en destructuration au Sud Ouest de Villarnet	14
Illustration 7	Glissement au Sud de Villarnet (Lavars)	15
Illustration 8	Mosaïque Lavars	17
Illustration 9	Mosaïque Saint Martin de Clelles	17
Illustration 10	Documents Bureau d'étude Lavars	18
Illustration 11	Documents bureaux d'étude Saint Martin de Clelles	18
Illustration 12	Mouvements de terrain: statistiques	19
Illustration 13	Stéréoscope	20
Illustration 14	Notations conventionnelles	20
Illustration 15	Calques multidates de la commune de Ponsonnas	21
Illustration 16	Photos multidates correspondantes (Ponsonnas)	21
Illustration 17	Courbes de niveau Saint Martin de Clelles	22
Illustration 18	Courbes de niveau Lavars	22
Illustration 19	Courbes resserées Nord-Ouest Villarnet	22
Illustration 20	Positions des stations climatiques et glissements	27
Illustration 21	Délimitation Coulée	29
Illustration 22	Localisation Super Sauze	29
Illustration 23	Escarpement Principal	29
Illustration 24	Filon calcaire	29
Illustration 25	Structure du profil B	29
Illustration 26	Enfoncement de la gouge	30
Illustration 27	Récupération du marériau	30
Illustration 28	Extraction	30
Illustration 29	Capteur sismique et centrale City Shark II	31
Illustration 30	Résultats des mesures H/V et position du bed-rock en B	32
Illustration 31	Drone	33
Illustration 32	Mesures PS à Super Sauze	35
Illustration 33	Graphe PS en fonction du temps pour le mois de Février: chute du PS	38
Illustration 34	Gradient total PS A-C Décembre	39
Illustration 35	Gradient partiel PS A-C Avril	39
Illustration 36	Bilan PS réalisé en A	40
Illustration 37	Geobox et GPS	40
Illustration 38	Electrode, multimètre, bobine électrique pour relier à la référence	40
Illustration 39	Tarière	40
Illustration 40	Graphe MATLAB des PS moyennés par mesure	42
Illustration 41	Graphe MATLAB 3D des PS volants et réseau en A	43
Illustration 42	Carte d'interpolation des PS MATLAB	44

## INTRODUCTION

Les glissements de terrains sont des risques naturels omniprésents en Europe, et très répandus en France, en particulier dans les Alpes. Ils sont très souvent peut spectaculaires comparés à d'autres catastrophes naturelles comme les séismes, les éruptions volcaniques ou les inondations, cependant ils endommagent les structures et occasionnent de fortes dépenses. Occasionnellement ils peuvent mettre en danger des vies humaines, comme en témoignent les catastrophes de Vaiont, tuant en 1963 plus de 2500 personnes, ou d'Aberfan qui, en 1966 au Pays de Galles, causa le décès de 144 personnes. Mieux comprendre ces phénomènes est indispensable pour, dans l'avenir, mettre en place des plans d'action et de mitigation adaptés.

L'objet de mon stage s'insère dans le cadre de l'étude des risques naturels et plus spécifiquement dans celui de la définition, la compréhension, la prévision et l'évaluation de l'aléa 'glissement de terrain' (ou 'aléa gravitaire') en terme d'intensité et d'occurrence spatiale et temporelle. Il peut s'agir de phénomènes

ponctuels, superficiels, limités dans le temps et dans l'espace, mais aussi de mouvements de grande ampleur affectant l'ensemble d'un versant. Ces glissements de terrain peuvent être inactifs, dormants, actifs (déclarés) ou potentiels (en devenir).

Seront étudiés ici deux types de glissements à deux échelles différentes, d'abord à l'échelle régionale (plateau du Trièves, Isère) puis à l'échelle locale (glissement-coulée de Super-Sauze, Alpes-de-Haute-Provence). Après avoir défini le phénomène 'glissement de terrain', on présentera les sites d'étude et les méthodes d'investigation propres à chaque échelle d'analyse.

- L'analyse régionale consistera en l'étude de la répartition des glissements sur une certaine zone géographique, leur activité, et leur lien avec certains paramètres climatiques.
- L'analyse locale se concentrera sur l'étude des mécanismes d'un glissement de terrain caractéristique et bien documenté pour compléter les informations déjà acquises sur sa structure, sa cinématique et son comportement hydrologique. Une synthèse des résultats obtenus pour chaque type d'analyse est ensuite proposée.

Cette étude a pour cadre le Sud des Alpes françaises où les argiles litées du Trièves et les marnes de l'Oxfordien-Callovien du Bassin de Barcelonnette sont susceptibles de générer des glissements de terrain à contrôle hydrologique. L'étude se déroule dans le cadre du projet GACH2C (Glissements Alpains à contrôle hydrologique et changement climatique: développements méthodologiques, simulations numériques et scénarios d'évènements) qui s'inscrit dans le programme ACI-FNS 2004 (Aléas et Changements Globaux). Entre autres GACH2C a pour objectifs d'étudier les relations entre le climat et l'activité des glissements sur les cinquante dernières années dans le Sud-Est des Alpes, de développer des méthodes et des outils adaptés et finalement des modélisations numériques permettant d'aboutir à des scénarios. Ce projet réunit sept laboratoires de recherche et réunit plus d'une vingtaine de participants.

Dans ce cadre, j'ai effectué mon stage dans deux laboratoires du CNRS :

- au laboratoire Geophen (Caen), qui coordonne le projet Gach2c, et qui apporte ses compétences en climatologie, géomorphologie et modélisation numérique des glissements de terrain à contrôle hydrologique (GCH).
- à l'IPGS (Institut de Physique du Globe de Strasbourg). Qui apporte ses compétences en géophysique de subsurface et en modélisation hydro-géophysique.

# 1. Caractéristiques géomorphologiques, facteurs de contrôle et méthodes d'investigation des glissements de terrain

## 1.1. Définitions

### 1.1.1. Définition générale

Un glissement de terrain peut être défini comme un mouvement de masse de roches, de terre ou de gravats (fragments de roche) le long d'une pente (Cruden, 1991). Selon Varnes (1978), les glissements de terrain sont des mouvements de matériau sur une pente contrôlée par la gravité, d'où leur terme d'**instabilités gravitaires**. Toutes les définitions existantes donnent une indication concernant les mécanismes ainsi que le type de matériaux impliqué dans le déplacement (Dikau et al., 1996).

### 1.1.2. Classifications

De même qu'il existe plusieurs définitions, plusieurs classifications ont été établies. Elles sont en général basées sur la morphologie, les mécanismes, le type de matériel et le taux d'avancement du glissement (Dikau et al., 1996). Une classification classique, selon Varnes, est donnée en annexe 1.

Par la suite l'étude portera sur des glissements de type complexe (glissement-coulée de Super Sauze) et rotationnels (glissements très lents du Trièves Sud). Les comportements des glissements coulée et rotationnels sont présentés en annexe 2..

### 1.1.3. Caractéristiques géomorphologiques

Certaines formes caractéristiques permettent de reconnaître un glissement de terrain: un escarpement principal, en amont de la masse glissée indique la zone de départ du glissement. Le matériau s'accumule en aval dans la zone d'accumulation, formant des bourrelets.

Les caractéristiques géomorphologiques d'un glissement permettent entre autres de nous renseigner sur sa nature. Ainsi, les glissements rotationnels ont une surface de rupture en forme de « cuillère », des subdivisions à l'intérieur de la masse instable apparaissent souvent pour former des gradins ou escarpements secondaires (figure ci-dessous). Ces glissements ont en général une largeur au moins égale à leur longueur.

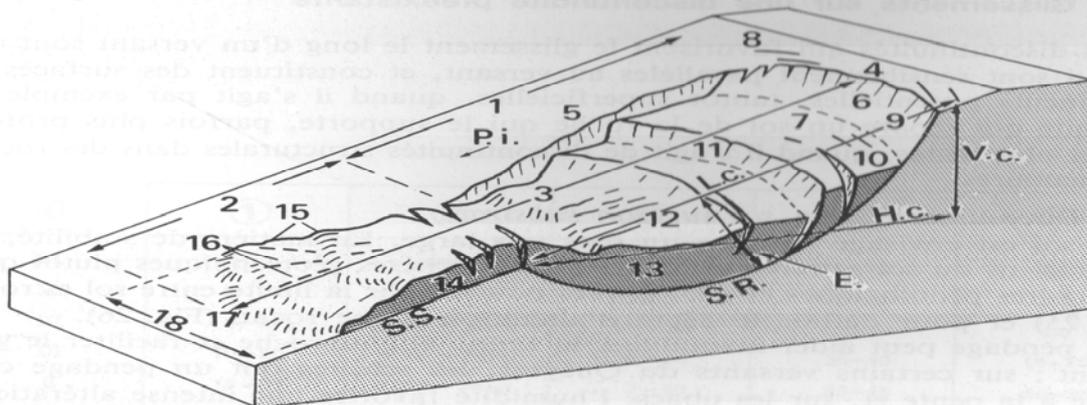


Fig. 23. — *Éléments géomorphologiques d'un glissement rotationnel suivi d'une coulée*  
(D'après D.J. Varnes, 1978)

1 : zone de départ. 2 : zone d'accumulation. 3 : longueur de déplacement. 4 : couronne. 5 : flanc droit. 6 : escarpement principal. 7 : tête. 8 : fissures de couronne. 9 : sommet. 10 : fissures transversales. 11 : escarpement secondaire. 12 : zone de fissures longitudinales. 13 : corps principal. 14 : pied. 15 : bourrelets transversaux. 16 : fissures radiales. 17 : pointe. 18 : front. Lc : longueur de la surface de rupture. Hc : composante horizontale de Lc. Vc : composante verticale de Lc. E : épaisseur maximum. Pi : pente initiale. Ss : surface de séparation. Sr : surface de rupture

*Illustration 1* *Éléments Géomorphologiques d'un glissement*

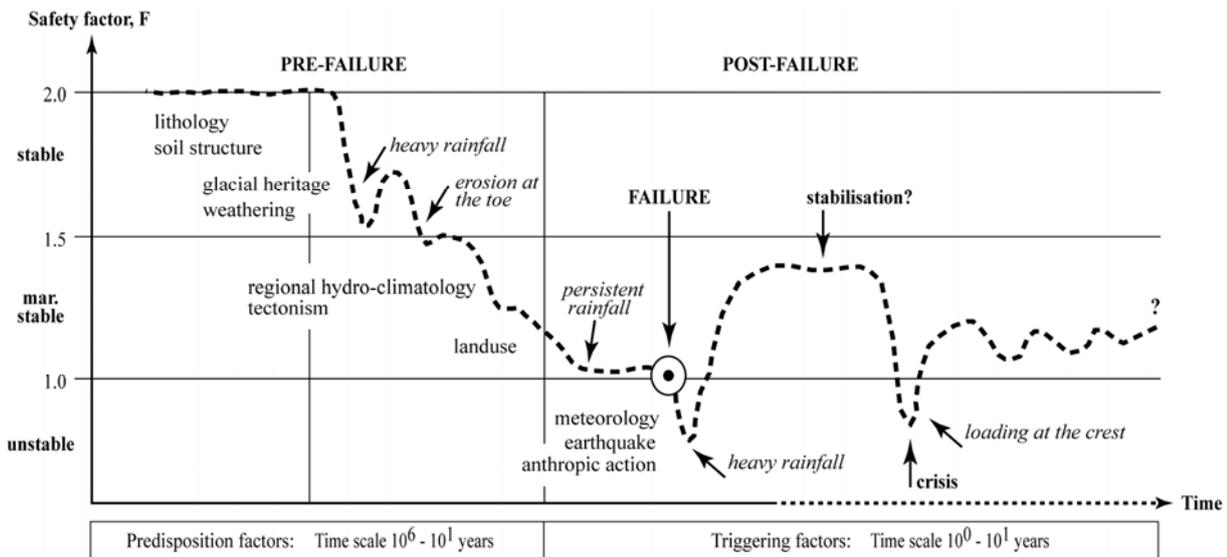
Les glissements translationnels ont une surface de rupture plane, avec un rapport longueur sur largeur important, et une forme générale de « langue ».

On peut également évaluer la cinématique du glissement: les formes apparaîtront plus ou moins fraîches, la

végétation aura eu ou non le temps de s'installer.

## 1.2. Facteurs de contrôle

Les glissements de terrain se déclenchent quand la gravité devient plus importante que la résistance de la pente (Mc Guire et al., 2002). Ces changements sont contrôlés par des facteurs de différentes natures: climatique, anthropique (occupation des sols...), topographique, ou géologique (séismes...). On distingue deux types de facteurs: les facteurs de prédisposition (statiques) et les facteurs de déclenchement (dynamiques). Chaque type de facteur joue un rôle spécifique dans les stades successifs du mouvement, comme indiqué sur la figure ci-dessous:



### 1.2.1. Facteurs statiques

Ce sont ceux qui rendent la pente progressivement instable, les matériaux qui la composent sujets à glisser. La **géométrie** initiale même de la pente ainsi que la **nature** du matériau déterminent la stabilité initiale. Ainsi l'**érosion**, les glaciers ayant profondément découpé les vallées des régions montagneuses, la formation de failles, sont des causes d'augmentation, de modification des pentes et donc influent sur la susceptibilité des terrains à glisser. La sismicité de la région joue aussi un rôle dans la fragilisation de la stabilité des couches. Notons enfin que des **variations de pression** et des **processus physico-chimiques** internes à la roche peuvent aussi changer les propriétés des roches (Schuster *et al.*, 1978).

### 1.2.2. Facteurs dynamiques

Ce sont ceux qui déclenchent l'évènement. Ils sont principalement liés au climat, des études ont cependant montré que ces facteurs n'induisent pas systématiquement un glissement (Flageollet *et al.*, 1998), leur action est en grande partie conditionnée par les facteurs statiques.

Ainsi peuvent être considérées comme facteur dynamique les pluies fortes et violentes sur une courte période. Elles peuvent déclencher un glissement dans les heures qui suivent. Parfois si le taux de précipitations mensuel dépasse un certain seuil, le déclenchement de glissements est certain. L'observation annuelle des taux de précipitations est également utile, et peut expliquer certaines années « riches » en glissements de terrain (annexe 3).

De même, une **surcharge** locale due à une accumulation d'eau (d'origines diverses: pluie, sources, neige...), de débris rocheux, de végétation, ou à des constructions humaines, peuvent générer un glissement, ainsi que des **vibrations** se propageant à travers le sol, générées par des tremblements de terre ou un trafic intense.

### **1.3. Méthodologies d'étude des glissements de terrain à différentes échelles**

#### **1.3.1. Inventaire et analyses des glissements de terrain à l'échelle régionale**

Ces analyses permettent d'évaluer la répartition spatiale et l'activité temporelle des glissements de terrain à l'aide d'indices géomorphologiques. Dans le cadre du projet Gach2c, on s'intéresse en particulier au Plateau du Trièves, région où les glissements sont omniprésents mais extrêmement lents (de l'ordre de 3 à 4 cm.an<sup>-1</sup> pour la plupart) et pour laquelle un inventaire est en cours de réalisation. On dégage trois axes d'étude principaux: distribution spatiale, activité temporelle et indices climatiques associés.

##### **1.3.1.1. Distribution spatiale**

A l'échelle régionale on doit d'abord localiser les zones en mouvement. Les **éléments géomorphologiques**, ainsi que certains indices caractéristiques sont à connaître pour les repérer. On cherchera les escarpements, zones d'arrachement en amont, les bourrelets en aval, les surfaces d'apparence « déstructurée », les endroits où la végétation a du mal à s'installer. On utilisera donc des photographies aériennes, des orthophoto-plans, ainsi que des documents de bureaux d'étude pour les repérer. Sur le terrain, on peut voir d'autres indices tels que des arbres au tronc courbé, des crevasses et dépressions (Flageollet, 1989), ainsi que des dommages sur les bâtiments.

##### **1.3.1.2. Activité temporelle**

Pour évaluer l'activité d'un glissement de terrain, on peut soit se fonder sur des relevés de déplacement effectués in-situ grâce à un réseau de surveillance tachéométrique ou dGPS, soit utiliser des couples de photographies aériennes (ou plus récemment des images satellites) prises à différentes dates sur lesquelles on cherche à identifier des modifications morphologiques. Un couple de photographies permet grâce à un stéréoscope d'obtenir une vue en 3D de la zone; les reliefs ainsi mis en valeur permettent de mieux identifier les escarpements, ainsi que les reliefs en « marche d'escalier » caractéristiques des gradins de glissement, ou le recul d'un escarpement. Dans un premier temps une étude qualitative est réalisée au stéréoscope afin d'identifier les secteurs géographiques ayant connu des modifications géomorphologiques majeures; dans un second temps, une étude quantitative par stéréoscopie numérique peut être réalisée sur les secteurs sélectionnés.

##### **1.3.1.3. Climat**

Sept stations climatiques sont réparties sur la région, enregistrant des paramètres tels que le cumul de pluie journalier, la hauteur de neige pendant les mois d'hiver, les températures maximales et minimales toute l'année. Des calculs statistiques (moyenne à différents pas de temps, moyenne glissante, courbe intensité-fréquence) permettent de caractériser le climat local de ces stations. Des corrélations peuvent ensuite être menées soit avec un inventaire de dates de déclenchement de glissements, soit avec des vitesses d'avancement identifiées à la section précédente.

#### **1.3.2. Connaissance des mécanismes de glissement à l'échelle locale**

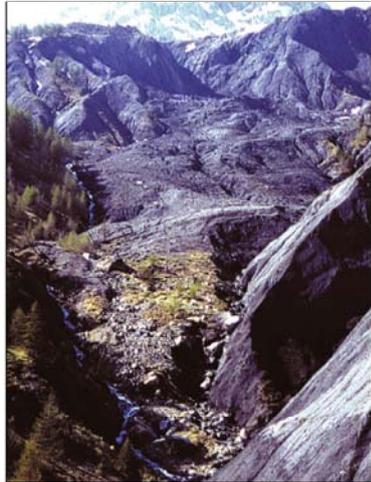
Ces analyses permettent de mieux comprendre les mécanismes de contrôle des glissements, de développer des techniques d'investigation adaptés et de développer des modèles numériques de prédiction. Dans le cadre du projet Gach2c, on s'intéresse au glissement-coulée de Super-Sauze, dans les marnes noires de la vallée de l'Ubaye, qui est un observatoire expérimental de recherche.

# GLISSEMENT-COULEE DE SUPER-SAUZE

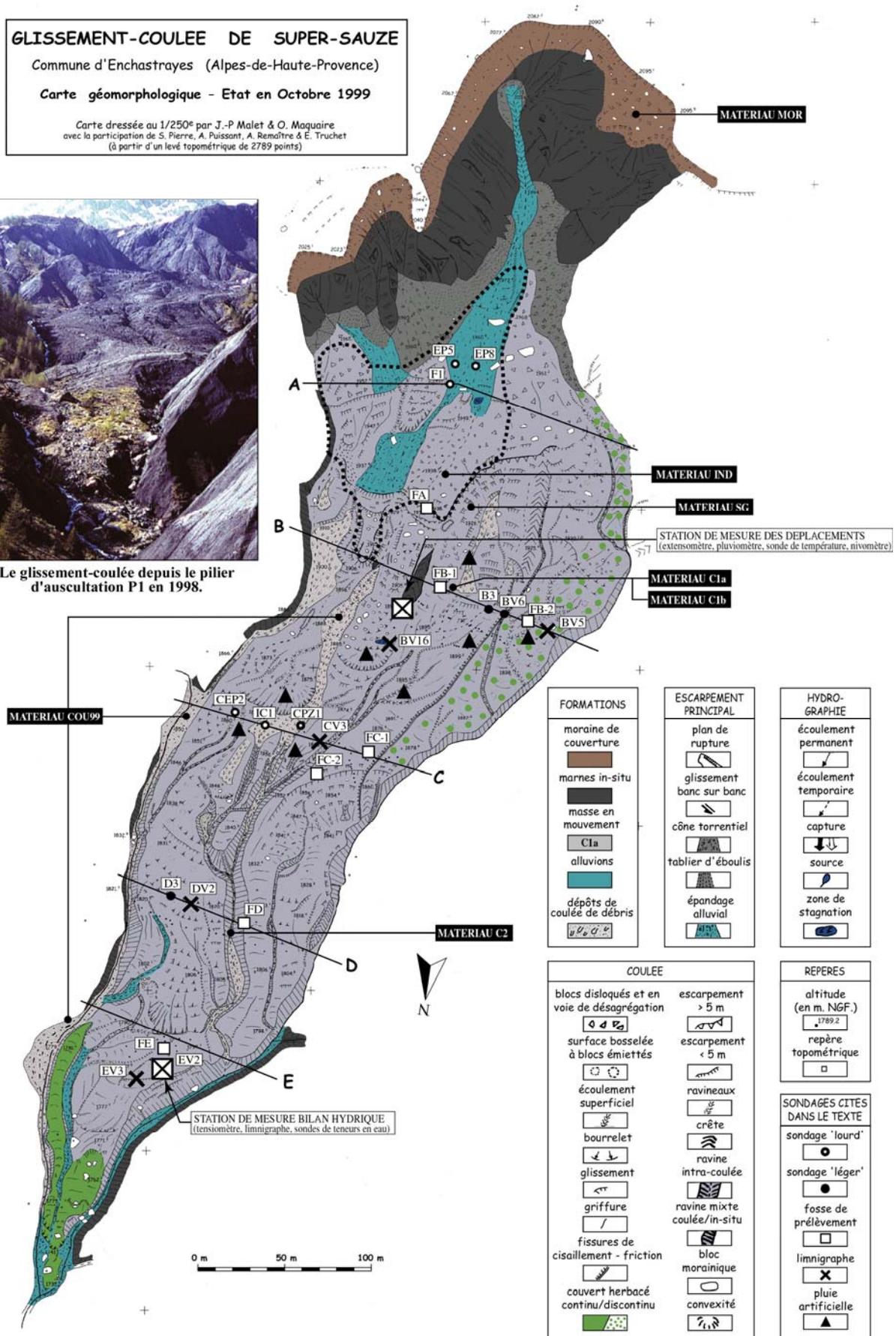
Commune d'Enchastrayes (Alpes-de-Haute-Provence)

Carte géomorphologique - Etat en Octobre 1999

Carte dressée au 1/250<sup>e</sup> par J.-P. Malet & O. Mauguire  
avec la participation de S. Pierre, A. Puissant, A. Remaître & E. Truchet  
(à partir d'un levé topométrique de 2789 points)



Le glissement-coulée depuis le pilier d'auscultation P1 en 1998.



FORMATIONS	ESCARPEMENT PRINCIPAL	HYDRO-GRAPHIE
moraine de couverture	plan de rupture	écoulement permanent
marnes in-situ	glissement banc sur banc	écoulement temporaire
masse en mouvement	cône torrentiel	capture
C1a	tablier d'éboulis	source
alluvions	épandage alluvial	zone de stagnation
dépôts de coulée de débris		

COULEE		REPERES
blocs disloqués et en voie de désagrégation	escarpement > 5 m	altitude (en m. NGF.)
surface bosselée à blocs émiétés	escarpement < 5 m	1789.2
écoulement superficiel	ravineaux	repère topométrique
bourrelet	crête	
glissement	ravine intra-coulée	SONDAGES CITES DANS LE TEXTE
griffure	ravine mixte coulée/in-situ	sondage 'lourd'
fissures de cisaillement - friction	bloc morainique	sondage 'léger'
couvert herbacé continu/discontinu	convexité	fosse de prélèvement
		limnigraphe
		pluie artificielle

### 1.3.2.1.

### Structure de la masse

### instable

Etudier la structure d'un glissement de terrain consiste à identifier la géométrie et le volume de la masse instable, à identifier la profondeur et les caractéristiques de la surface de glissement, ainsi qu'à identifier les caractéristiques géomécaniques des matériaux. Pour cela, plusieurs techniques géotechniques (sondages carottés et destructifs, essais pressiométriques, mesures inclinométriques, etc) et géophysiques (tomographies électriques, tomographies sismiques, mesure de bruit de fond sismique, etc) peuvent être utilisées à des fins complémentaires.

#### 1.3.2.2. instable

#### Hydrologie de la masse

Les circulations d'eau à l'intérieur du glissement sont étudiées par des mesures de perméabilité du milieu, d'identification de la position de la nappe phréatique et de ses fluctuations saisonnières et événementielles (piézométrie, mesures de potentiel spontané), ainsi que la qualité hydro-chimique de l'eau (prélèvements d'eau et analyses hydrogéochimiques).

#### 1.3.2.3.

#### Vitesse

Les vitesses d'avancement des glissements peuvent être évaluées par la mise en place d'un réseau de surveillance in-situ et des relevés tachéométriques ou GPS multi-dates, l'installation d'extensomètres ou d'inclinomètres si la configuration du site le permet, ainsi que par imagerie satellite Très Haute Résolution (THR) optique ou radar.

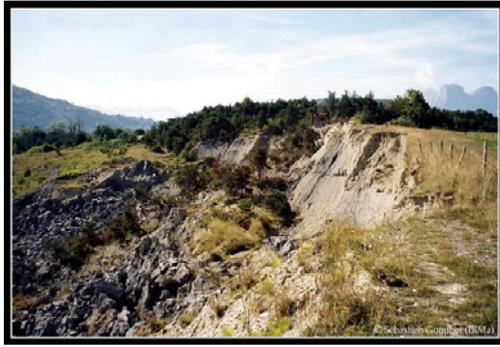
## 2. Analyses à l'échelle régionale: les glissements de terrain dans le Trièves



Illustration 4 Plateau du Trièves

### 2.1. Présentation de la région d'étude : le Plateau du Trièves

Le Trièves est une dépression à fond accidenté, avec des dépôts d'argiles litées (lac de barrage glaciaire quaternaire) dans lesquelles des instabilités apparaissent dès que la pente atteint  $8^\circ$  à  $10^\circ$ . Les glissements dans cette région sont plus ou moins **actifs** mais lents (1 à 10 centimètres par an) sur lesquels la végétation peut s'installer. Cette région est particulièrement touchée par des phénomènes d'instabilité, parfois de grande ampleur. Cette instabilité est due principalement à la présence en grande masse d'argiles d'origine glacio-lacustre (quaternaire), les argiles litées.



*Illustration 5* Glissement de l'Harmalière, représentatif de certains glissements observés dans le Trièves

## **2.2. Analyse qualitative de la répartition spatiale des glissements**

### **2.2.1. Analyse de documents de bureaux d'étude et ortho-photographies des zones glissées**

#### **2.2.1.1.**

#### **Présentation des documents**

Pour localiser et faire une première analyse qualitative des zones de glissements, on dispose de sources d'informations diverses, et en particulier de documents scannés, imprimés ou sous format informatique, provenant de divers bureaux d'étude (ADRGT, IMS-RN, DDE, RTM, DDA, ERGH, IRIGM, CEMAGREF) ayant fait des études et/ou sondages sur la région. Ces documents sont classés selon cinq zones, centrées sur de villages du Trièves vulnérables où ayant subi des dommages : Ponsonnas, La Mure, Saint-Martin-de-Clelles, Lavars et Mens. On dispose également d'ortho-photographies de la région, visualisées à partir du logiciel Photo Explorer et géoréférencées sous ArcGis, ainsi que de cartes IGN au 1/25000 (Dévoluy, Glandasse, La Mure). Sur place, diverses photographies ont été prises, elles témoignent localement de l'amplitude de l'impact des glissements de terrain (bourelets, croissance de la végétation, fissures...). Quelques unes sont présentées en annexe 4. Un inventaire (BD INVI) est aussi disponible; il regroupe des informations sur le type d'évènement observé, sa localisation, la date, le degré de précision, la source (annexe 6).

#### **2.2.1.2.**

#### **Présentation du logiciel**

##### **Photo Explorer**

Photo Explorer est un logiciel qui permet de visualiser les orthophotographies de la BD ORTHO IGN, de connaître la position d'un point, de rechercher un lieu particulier à l'aide de la BD NYME ou un point à l'aide de ses coordonnées géographiques.

Le logiciel s'utilise avec un CD de données de la zone concernée, dans notre cas l'Isère (partie Sud). Les données sont chargées en continu, on peut donc se déplacer sur la zone sans qu'il y ait de rupture entre les photos adjacentes.

#### **2.2.1.3.**

##### **visualisation de la zone d'étude**

#### **Objectifs: détermination et**

On travaillera tout d'abord sur les communes de Lavars et Saint-Martin-de-Clelles afin d'établir une

méthodologie de travail ; le même protocole sera ensuite étendu aux autres communes citées plus haut.

#### **2.2.1.3.1. Première délimitation des zones à investiguer**

Les documents préparés par les bureaux d'étude sont à des échelles différentes et contiennent des informations diverses (limites supposées de glissement, présence de bourrelets ou d'escarpements, localisation de sondages) qu'il convient de hiérarchiser et d'harmoniser. Ces informations sont plus ou moins précises ou redondantes. En fonction des objectifs du projet, certains documents ont donc été écartés de l'étude.

Ainsi les cartes couvrant une zone trop large ou trop interprétatives ne seront considérées qu'à titre informatif.

De même, les cartes couvrant une zone trop petite, ou contenant trop peu d'informations, ont été écartées.

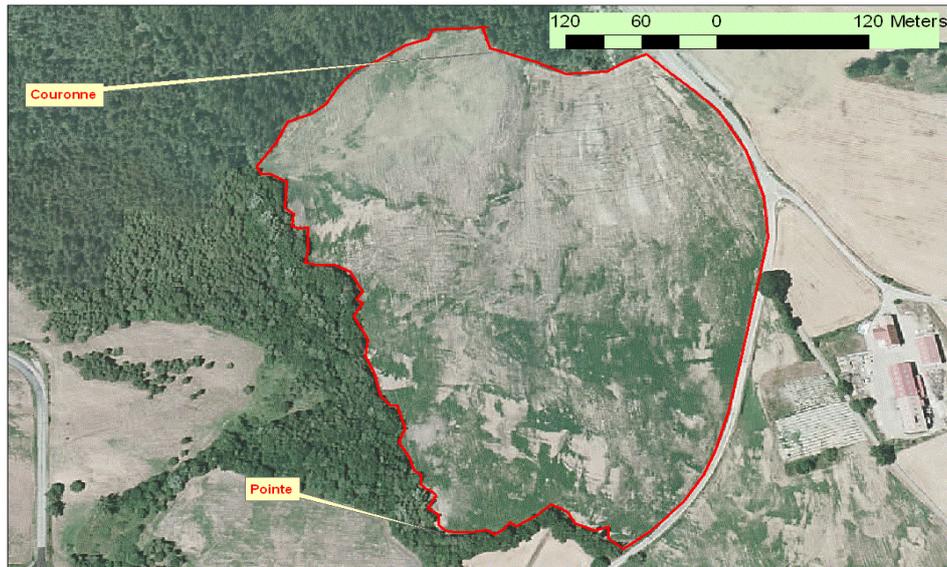
Les documents exploitables sont dans un premier temps localisés approximativement sur une carte IGN au 1/25000, puis sur les ortho-photographies numériques pour identifier des signes de glissements.

#### **2.2.1.3.2. Observation et création de dalles d'ortho-photographie sous Photo Explorer**

Les glissements lents du Trièves sont moins faciles à repérer sur ortho-photographie que les glissements de grande ampleur comme ceux observés dans le Bassin de Barcelonnette. Sur Lavars et Saint-Martin-de-Clelles, les glissements sont souvent plus petits, et plus lents donc présentent moins de modifications géomorphologiques au cours du temps. Il faut donc essayer de repérer des éléments géomorphologiques caractéristiques parfois cachés par la végétation ou par une modification anthropique de l'occupation du sol. Par exemple, les lignes régulières façonnées par les cultures peuvent se détruire à certains endroits.



*Illustration 6 Zones en destruction au Sud Ouest de Villarnet*



*Illustration 7 Glissement au Sud de Villarnet (Lavors)*

La certitude d'observer des indices de glissements à certains endroits peut être vérifiée grâce à l'observation stéréoscopique de couples de photographies aériennes (voir partie 2.4).

On confronte ainsi les observations des ortho-photographies avec celles des documents de bureaux d'étude pour un ajustement des limites de la zone à étudier, et pour retrouver les indices de glissements aux endroits sondés. Le but est d'avoir au final un ensemble d'ortho-photographies géoréférencées pour pouvoir les visualiser et les traiter dans un SIG.

**Création de dalles d'ortho-photographie :** On utilise pour toutes les dalles un zoom de 50% afin d'obtenir une résolution image optimale pour identifier les indices de glissement, sans perdre beaucoup de temps pour la création d'un grand nombre de dalles pour couvrir les zones.

Chaque dalle doit toucher ou recouper la suivante. On utilise le curseur pour noter les coordonnées des quatre pixels extrêmes d'une dalle. Ce faisant, on schématise la couverture de la zone d'étude en nommant différemment et en localisant chaque pixel en vue du futur géoréférencement des dalles (annexe 5). Cependant, il n'est pas possible directement à partir de Photo Explorer de créer des dalles, puis de les importer dans un SIG sous un format adéquat. Il faudra donc traiter les fichiers de Photo Explorer dans le logiciel Photoshop.

Une par une on transfère les images ainsi visualisées dans Photoshop, en prenant soin de garder ici une résolution à 100%. On utilise l'outil de recadrage pour ne garder que l'orthophoto, ici il faut être très précis car chaque pixel compte: les coordonnées notées plus haut correspondent aux pixels limites d'une dalle visualisée. L'enregistrement s'effectue au format .tif pour que le SIG puisse directement importer l'image en tant que raster.

#### 2.2.1.4. Géoréférencement des données de bureau d'étude et des dalles d'ortho-photographies sur Arc GIS 9

Le géoréférencement s'effectue avant tout à des fins de visualisation, et d'analyse qualitative. Donc une précision métrique pour le géoréférencement suffit.

##### 2.2.1.4.1. Géoréférencement des orthophotographies

Deux méthodes existent pour géoréférencer les dalles créées sous Arc GIS 9. la première consiste à créer des

tables contenant les coordonnées des points relevés, puis d'exporter à partir de ces tables des shapefiles de points géoréférencés qui serviront de points de contrôle pour le géoréférencement des dalles. L'avantage de cette méthode est que l'on crée une base de données des points de contrôle des dalles toujours exploitable si un problème de géoréférencement survient. L'inconvénient majeur est que cette méthode prend du temps, et dans notre cas la création d'une base de données de points de contrôle n'est pas indispensable. C'est pourquoi on choisira une méthode plus directe de géoréférencement.

On importe la dalle à géoréférencer, puis on choisit le système de coordonnées du *Data Frame*: Lambert II étendu. On utilise ensuite l'outil *Georeferencing*. En zoomant sur les pixels extrêmes des quatre coins de la dalle, on rentre à la main les coordonnées X et Y correspondant. Le raster n'est géoréférencé que lorsque l'opération *Update georeferencing* a été effectuée. On répète ceci pour chaque dalle.

Pour avoir une orthophotographie géoréférencée de l'ensemble de la zone d'étude, on peut faire ensuite une mosaïque des dalles individuelles. Pour cela, on crée une nouvelle *Geodatabase*, qui contiendra les rasters mosaïques (*New Raster Dataset*). En utilisant le *Mosaic Tool*, on s'assure que le raster mosaïque (*Target*) ait le même nombre de bandes de couleur que les rasters d'entrée (*Input rasters*): ici 3 (RGB).

Enfin, comme on dispose d'une carte IGN au 1/25000 géoréférencée, on superpose les dalles et/ou la mosaïque obtenue avec celle-ci pour vérifier la précision du géoréférencement.

#### **2.2.1.4.2. Géoréférencement des documents de bureaux d'étude**

Les documents de bureau d'étude considérés comme exploitables vont eux aussi être géoréférencés pour être intégrables dans le SIG. Certains doivent être scannés, d'autres sont déjà sous format informatique. Souvent, ils nécessitent quand même d'être pré-traités sous Photoshop. Par exemple les documents non scannés font apparaître certaines zones sombres lors de la numérisation, qu'il convient alors de « nettoyer ». D'autres sont souvent coupés (deux ou trois scans pour une même zone) et nécessitent d'être reconstituées en un seul numérique.

Puis, selon les points remarquables visibles pour chaque document, on choisit de les géoréférencer selon l'ortho-photographie numérique ou selon le Scan25 IGN dans ArcGIS. On détermine un minimum de trois points de contrôle par document (croisement de route, maison...). Puis à l'aide du même outil *Georeferencing* Arc GIS, on relie le point désigné du raster à géoréférencer au raster déjà géoréférencé. Il faut cependant faire attention à ne pas choisir des points de contrôle sur deux couches différentes pour le géoréférencement d'un même document. Selon le même procédé que pour les dalles on utilise *Update Georeferencing* pour que le document intègre ses coordonnées.

Là encore, il est utile de s'assurer que le géoréférencement de chaque document est correct. On remarque cependant que, vu le degré de précision de certains documents, il est très difficile d'obtenir une superposition parfaite .... ce qui n'est pas grave étant donné que ces documents sont géoréférencés uniquement à des fins de visualisation.

Les informations principales de ces documents étant la localisation et la nature des points de sondage, on créera ensuite des shapefiles spécifiques pour identifier ces sondages plus aisément dans le SIG.

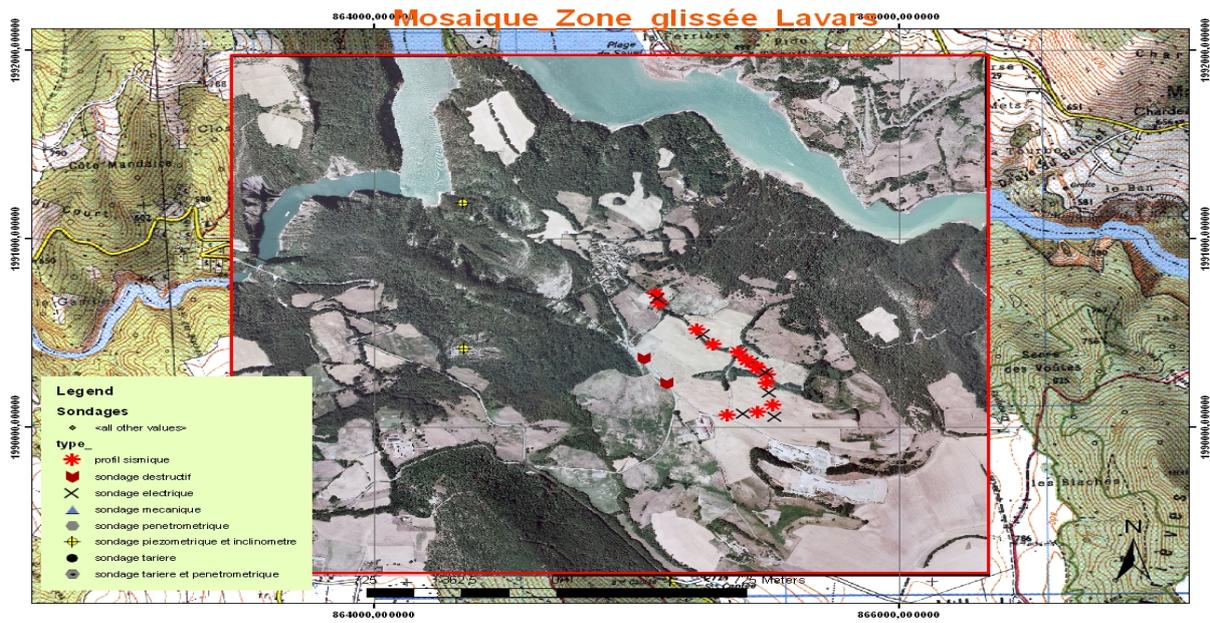
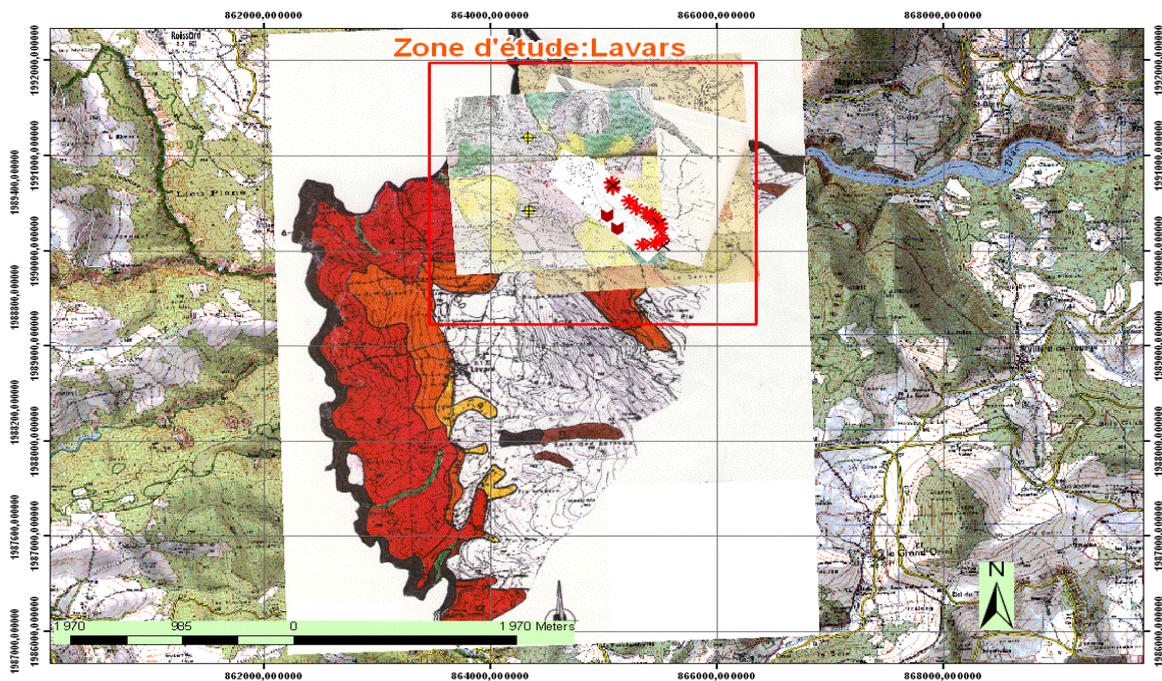
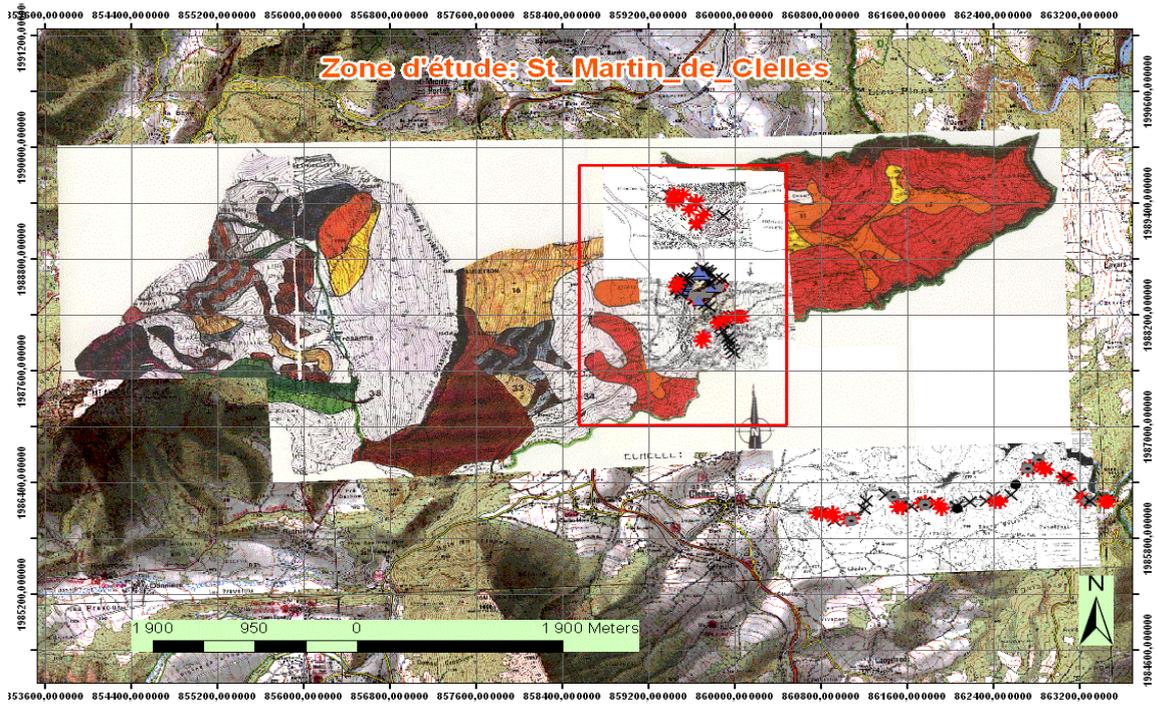


Illustration 8 Mosaïque Lavers  
 recueillies





*Illustration 11 Documents bureaux d'étude Saint Martin de Clelles*

## **2.3. Identification qualitative de l'activité temporelle des glissements de terrain**

### **2.3.1. Méthodologie**

#### **2.3.1.1.**

#### **Utilisation de l'inventaire**

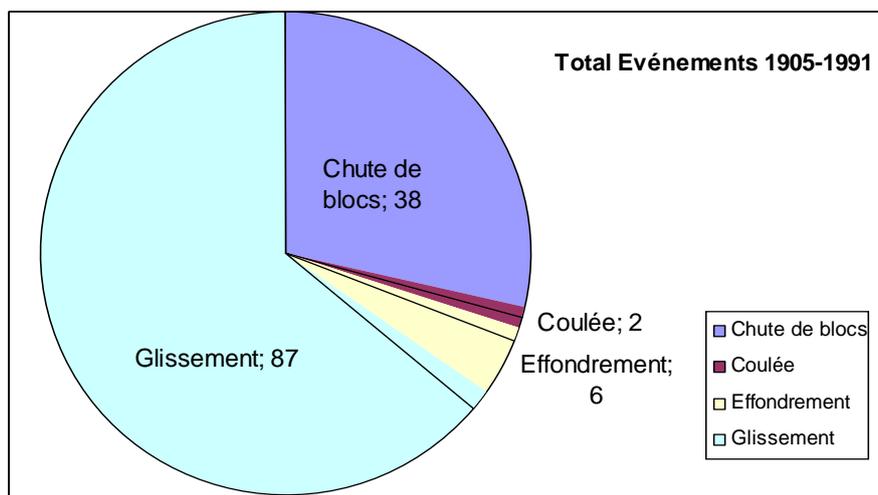
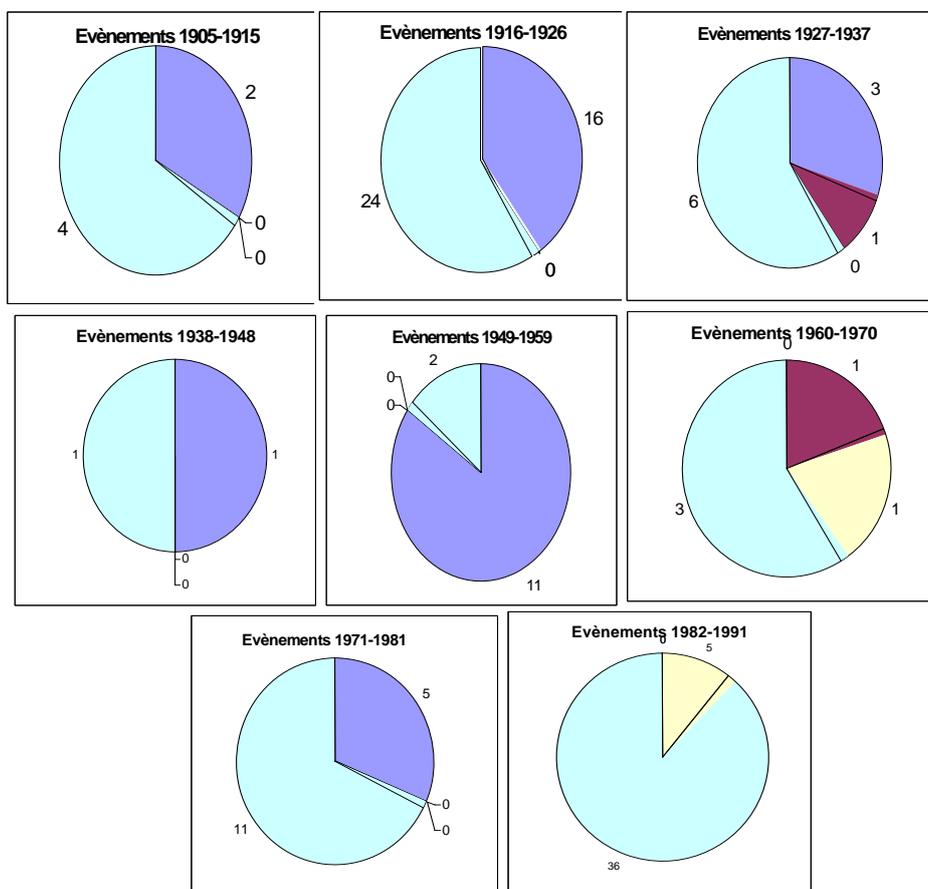


Illustration 12 Mouvements de terrain: statistiques



On remarque que les glissements ont une place généralement prépondérante sur l'ensemble de la période 1905-1991, de même lorsque l'on considère les événements par décennie. On remarque tout de même de nombreuses coulées sur les périodes 1927-1937 et 1960-1970. Les chutes de blocs commencent à s'imposer à partir de 1938 et deviennent majoritaires en 1949-1959.

Ces statistiques sont à nuancer étant donné l'incertitudes et la non-exhaustivité potentielle de la base de données.

### 2.3.1.2. Dérivation d'information issue de l'analyse d'ortho-photographies numériques

Pour quantifier l'activité temporelle des glissements, on s'intéresse à des photographies aériennes multi-dates des zones d'étude qui seront analysées dans un premier temps de manière qualitative, et dans un deuxième temps de manière quantitative.

On dispose d'une ortho-photographie numérique pour 2002, le reste étant des clichés aériens en tirage papier. Ceux-ci seront par la suite scannés, puis ortho-rectifiés.

Ces photographies, visualisables en trois dimensions, permettront de déceler entre deux dates toute modification significative du relief pouvant indiquer un mouvement. Un schéma d'interprétation avec chaque forme caractéristique peut être créé pour identifier les dates pour lesquelles des modifications significatives sont observées; seules les photographies correspondant à ces dates seront ensuite analysées de manière quantitative afin d'estimer la vitesse de recul d'une forme spécifique sur une période donnée.

### 2.3.1.3. Repérage et interprétation qualitative multi-dates des formes géomorphologiques principales

Les clichés photographiques utilisés sont des couples de clichés, avec un recouvrement proche de 70% ce qui permet de visualiser le relief.

Pour visualiser une zone en trois dimensions, on utilise un stéréoscope. Il faut ajuster les positions relatives des couples de cliché jusqu'à ce que la visualisation du relief soit évidente. On dessine alors les contours des glissements repérés, plus particulièrement les escarpements et les bourrelets. Les calques créés pour différentes années, pour une même zone serviront plus tard à mettre en évidence les modifications morphologiques.



Illustration 14 Stéréoscope

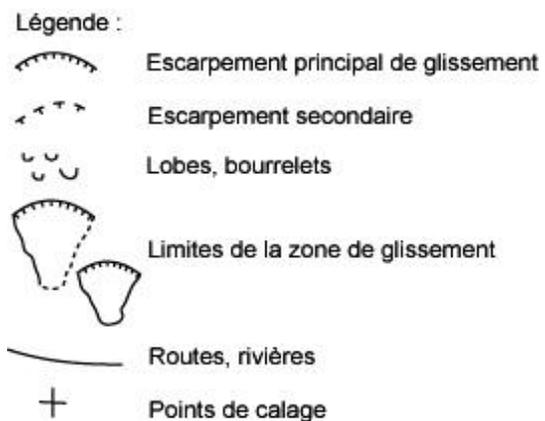
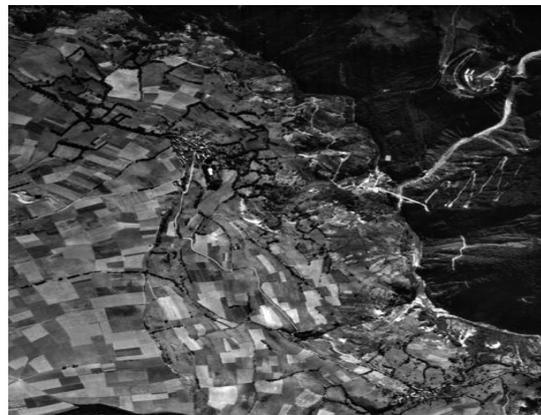


Illustration 13 Notations conventionnelles

Voici un exemple d'interprétation géomorphologique pour la commune de Ponsonnas:

PONSONNAS 1952



## 2.4. Analyse quantitative des clichés aériens

Les estimations qualitatives et la sélection des clichés effectuées, constituent la base pour une évaluation, cette fois quantitative, de l'évolution des indices morphologiques associés aux glissements de terrain.

Au préalable, il faudra avoir créé des MNT sur les zones d'études, qui serviront par la suite au traitement des photographies sous le logiciel ENVI. En effet, ce MNT sert à amorcer l'algorithme d'ortho-rectification du logiciel.

Ensuite, on pourra s'intéresser aux couples de clichés observés à l'aide du stéréoscope: on sélectionnera les plus significatifs. Ces derniers pourront être scannés (avec un scanner haute résolution 1200dpi) pour être importés dans ENVI (logiciel de télédétection et de photogrammétrie numérique), au format raster. Là, les

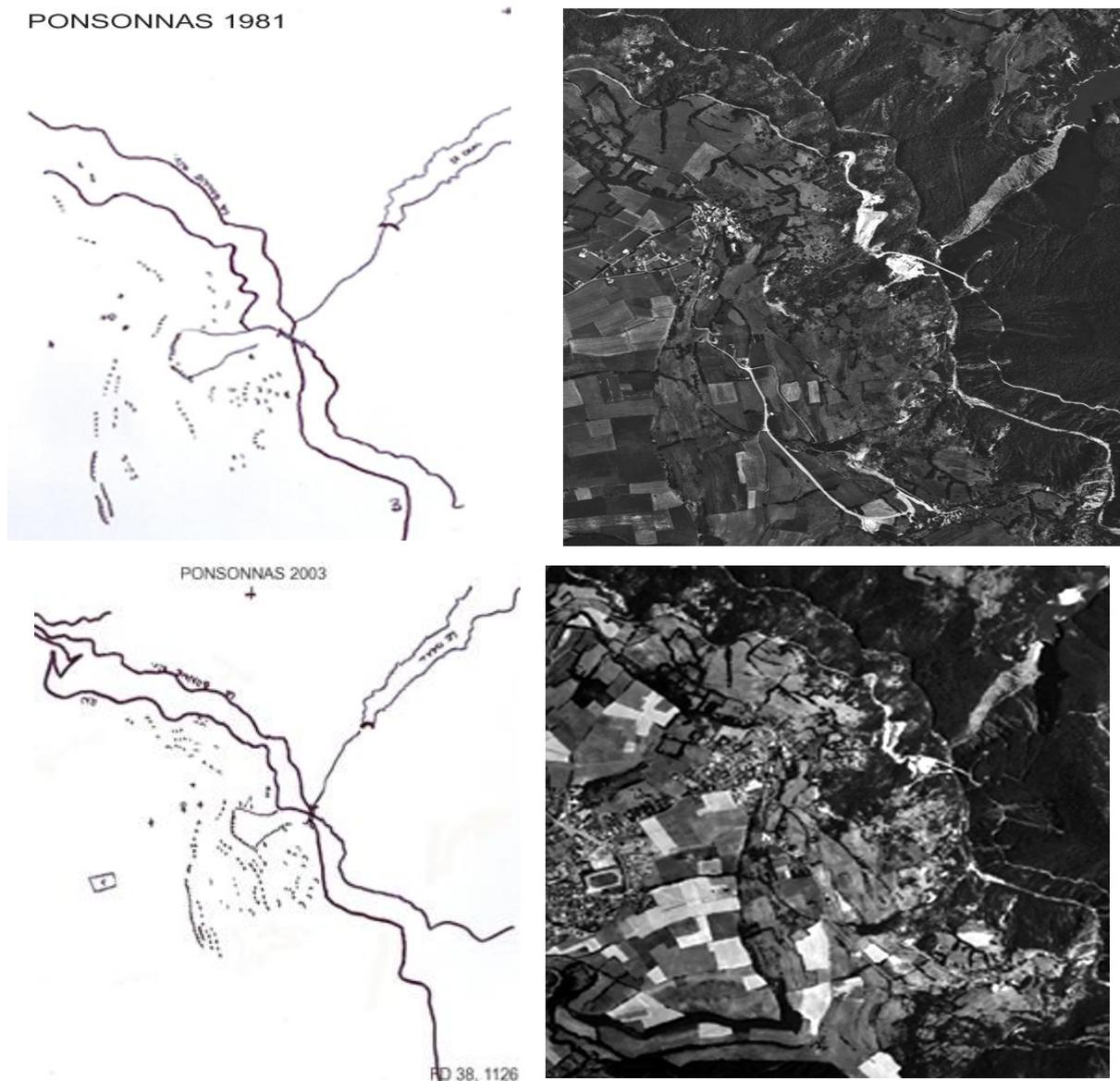


Illustration 16 Calques multi-dates de la commune de Ponnassas

Illustration 15 Photographies multi-dates correspondantes (Ponnassas)

photographies pourront être traitées, notamment pour corriger les distorsions: l'une due à la chambre numérique utilisée, l'autre due au relief terrestre (ortho-rectification). Puis il leur sera associé le MNT

correspondant, créé sous Arc View.

Nous avons donc digitalisé les courbes de niveau sur les Scan25 IGN pour les zones d'étude. Un shapefile de polygones auxquelles sont assignées les altitudes correspondantes dans la table attributaire est ainsi créé sur ArcGis. Un fichier avec des triplets de point X,Y,Z est ensuite créé à partir des points d'ancrage des courbes de niveaux digitalisées. Ce maillage de point est ensuite utilisé pour interpoler un MNT au format raster, à une résolution de 5 m.

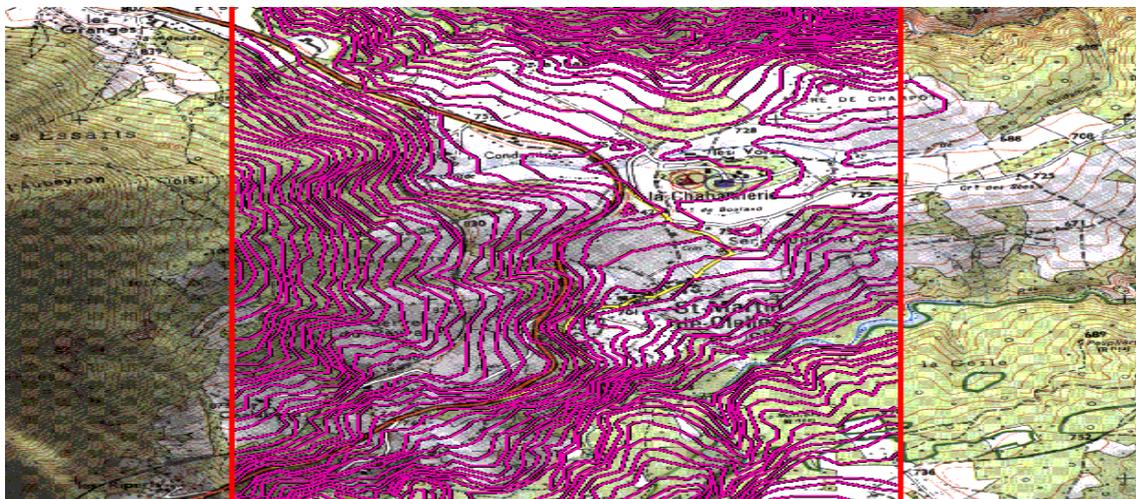


Illustration 17 Courbes de niveau Saint Martin de Clelles

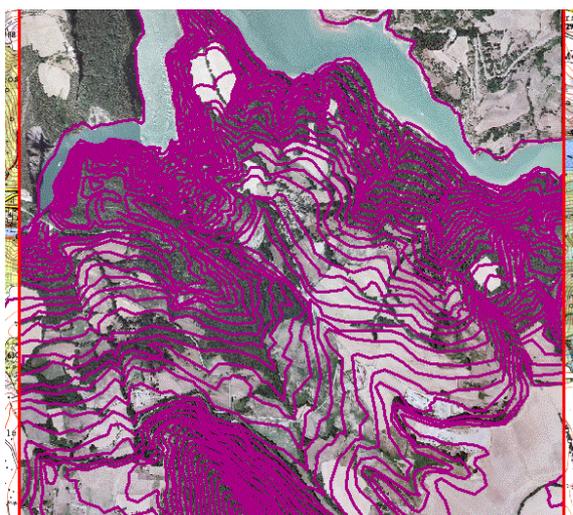


Illustration 19 Courbes de niveau Lavars

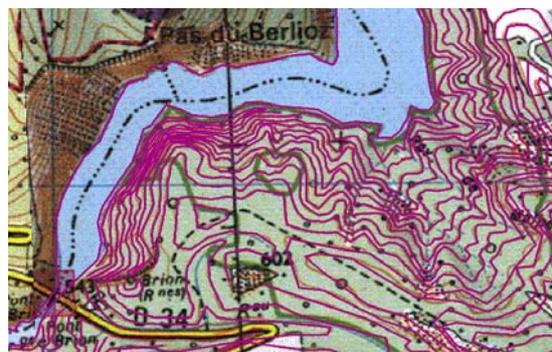


Illustration 18 Courbes resserrées Nord-Ouest Villarnet

La troisième étape consiste à intégrer le MNT raster créé dans le logiciel ENVI, et à tester plusieurs algorithmes d'ortho-rectification. Ce travail a été réalisé par une stagiaire de l'Université de Strasbourg lors d'un séjour de 6 semaines effectué au Laboratoire Geophen.

Les données que j'ai personnellement produites sont les MNT de chaque zone, qui sont utilisées dans le processus d'orthorectification.

## 2.5. Caractéristiques climatiques moyennes du Trièves sur la période 1947 – 2005

Comme exposé précédemment, les glissements de terrain observés dans le Trièves sont des glissements à contrôle hydro-climatique ; le climat joue donc un rôle important dans l'activité de ces glissements de terrain. Nous disposons d'une bases de données climatiques (précipitations journalières, températures moyennes

journalières, hauteurs de neige moyennes journalières) enregistrées depuis une cinquantaine d'années par Météo-France par le biais de sept stations météorologiques réparties sur l'ensemble de la région: Château-Bernard, Chichilianne, Clelles, Gresse-en-Vercors, La Mure, Monestier-de-Clermont et Roissard.

<i>STATION</i>	<i>Lambert X (hm)</i>	<i>Lambert Y (hm)</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Paramètres mesurés</i>	<i>Dates</i>
Château Bernard	8552	20024	800	Précipitations	01/01/48 au 31/12/90
Chichilianne (posit1)	8565	19841	990	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	01/04/62 au 31/12/00
Chichilianne (posit2)	8558	19842	1010	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	Depuis le 01/01/01
Clelles (posit1)	8598	19861	740	Précipitations	Du 01/01/47 au 31/12/51
Clelles (posit2)	8598	19861	800	Précipitations	Du 01/12/51 au 31/08/62
Clelles (posit3)	8598	19861	766	Précipitations	Du 01/09/62 au 15/04/74
Clelles (posit4)	8594	19859	815	Précipitations	Depuis le 16/04/74
Gresse-en- Vercors	8551	19940	1220	Précipitations, Hauteurs neige	Du 01/12/58 au 30/09/05
Monestier (posit1)	8603	19963	800	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	Du 01/01/1948 au 30/11/62
Monestier (posit2)	8604	19963	800	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	Depuis le 01/12/1962
La Mure (posit1)	8725	19952	885	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	DU 01/01/48 au 21/06/55
La Mure (posit2)	8725	19952	854	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	Du 22/06/55 au 31/07/1994
La Mure (posit3)	8722	19955	865	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	Depuis le 01/08/1994
La Mure (posit4)	8723	19985	885	Précipitations, Hauteurs neige, Températures	Depuis le 01/11/2003

Roissard (posit1)	8609	19924	720	Précipitations	Du 01/01/1949 au 31/12/51
Roissard (posit2)	8622	19917	730	Précipitations	Depuis le 01/01/56

## 2.5.1. Analyse des données climatiques : identification d'une tendance sur le long-terme

### 2.5.1.1. Présentation des données

Les données climatiques livrées par Météo-France sont sous format ASCII. Elles sont classées par station, puis par catégorie (*rr* pour les cumuls de pluie en millimètres par jour, *hneige* pour les hauteurs de neige par 24heures pendant les mois d'hiver et les hauteurs maximales de neige par mois, et *TnTx* pour les températures minimales et maximales par jour).

### 2.5.1.2. Identification de tendances climatiques

Sous Excel, à partir de ces fichiers, on cherchera à analyser une tendance climatique pour chacune des stations et des paramètres mesurés, et à créer des graphes représentatifs des évolutions climatiques en fonction de différents facteurs.

#### 2.5.1.2.1. Visualisation des tendances par stations à différentes échelles temporelles

Pour étudier la relation entre les glissements de terrain et les variations climatiques, on utilise classiquement les échelles décennales, mensuelles et annuelles. L'échelle journalière n'est pas analysée dans un premier temps car notre objectif est d'identifier des périodes où des cumuls de pluie importants ont pu déclencher des glissements de terrain; en effet, une des caractéristiques des glissement du Trièves est qu'ils réagissent à une succession d'évènements pluvieux (éventuellement sur plusieurs mois) plutôt qu'à un seul épisode pluviométrique même majeur.

Les tendances à grande échelle sont celles qui sont recherchées en premier, on ira donc un peu plus loin dans le traitement du cumul annuel de précipitations en faisant une moyenne générale de toute la période étudiée, puis une moyenne mobile sur trois, cinq et dix ans afin d'identifier des périodes climatiques avec des précipitations supérieures ou inférieures à la moyenne globale.

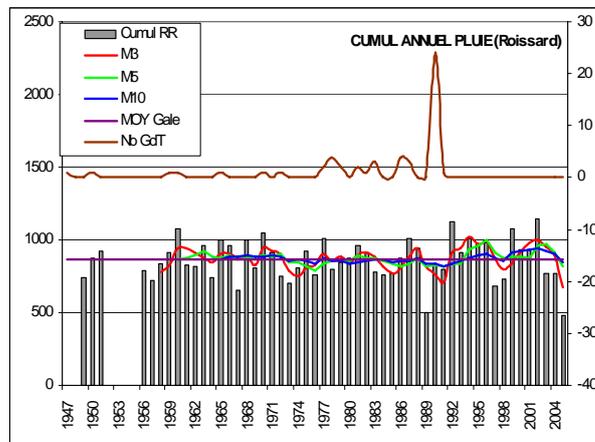
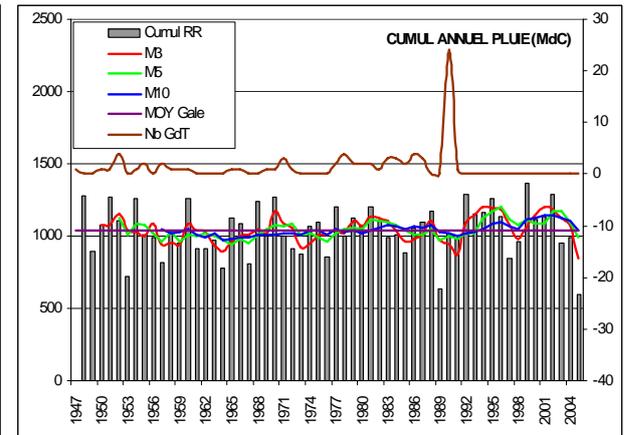
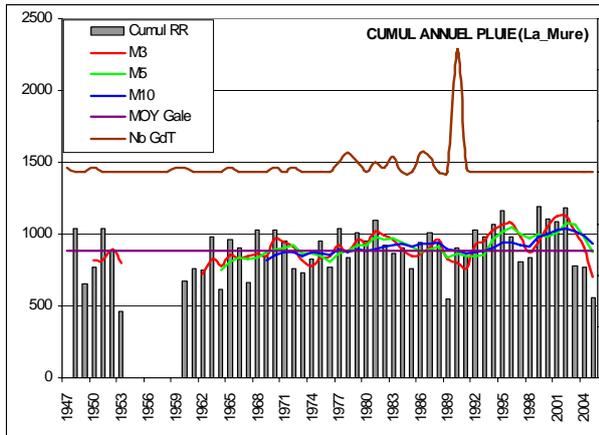
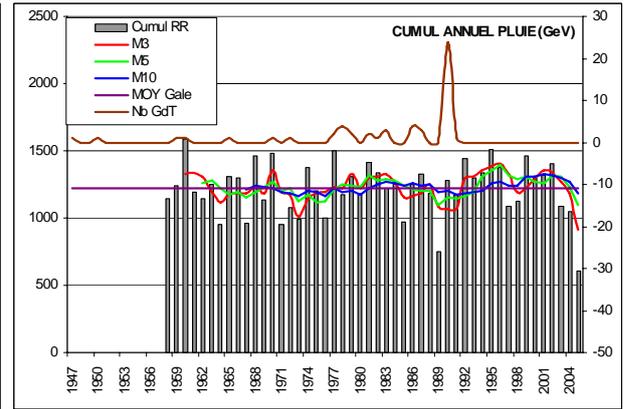
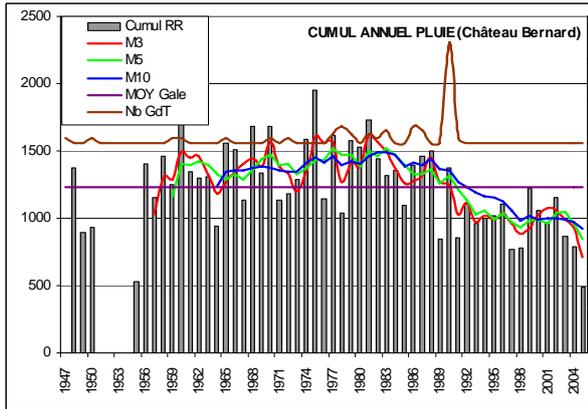
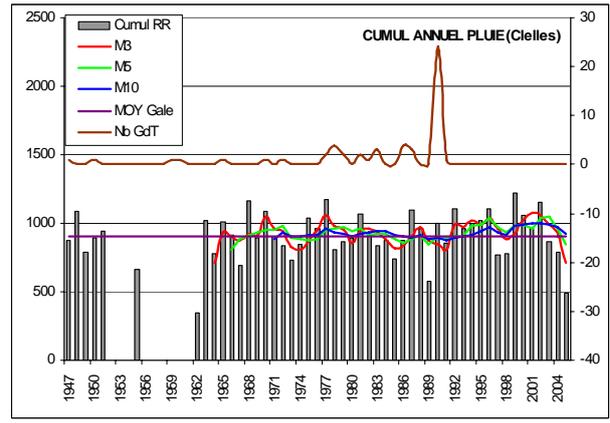
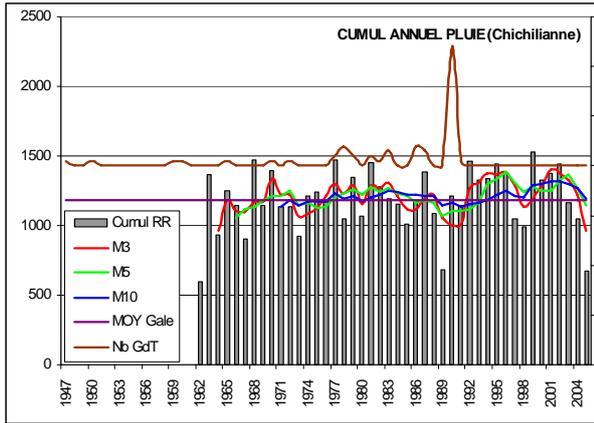
Concernant les hauteurs de neige, on s'intéressera en priorité aux hauteurs maximales. Pour cela, un cumul annuel (qui ne représente que les quatre mois d'enregistrement hivernaux) est calculé, puis on calculera la moyenne des hauteurs maximales par an ( $H_{max}/4$ ). Pour d'éventuelles futures investigations à plus petite échelle, un cumul par décennie pourra également être calculé.

Pour l'analyse des températures, on s'intéressera au calcul des moyennes décennales, mensuelles et annuelles pour les températures maximales et minimales. Là aussi on s'intéressera plus particulièrement aux variations annuelles de température par rapport à la moyenne générale de toute la période couverte.

#### 2.5.1.2.2. Evolution d'un paramètre en fonction du lieu

Un autre objectif est de pouvoir comparer la variabilité spatiale de chaque paramètre climatique en fonction de la localisation du poste pluviométrique, et en particulier en fonction de l'altitude.

Ci-dessous est représenté l'évolution du paramètre précipitations parallèlement au nombre de glissements (BD INVI):



L'ensemble des graphiques est disponible en annexe 7.

Trois stations sur sept enregistrent les trois paramètres climatiques: Chichilianne, La Mure et Monestier-de-Clermont. Il est intéressant dans ce cas de comparer les données ces stations entre elles, l'information étant la plus complète possible.



Aucune des stations ne présente de tendance remarquable à première vue, concernant les hauteurs de neige. Pour Château Bernard, on remarque que sur l'échelle temporelle considérée les variations du taux de précipitations sont plus importantes que pour les autres stations.

On note aussi que la moyenne générale des précipitations est beaucoup plus élevée à Chichilianne que dans les autres stations, ainsi que la hauteur de neige. Ces disparités climatiques entre les stations peuvent être dues à une différence d'altitude.

On remarque également une tendance générale d'augmentation des températures maximales par rapport à la moyenne, pour La Mure et Monestier.

Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques climatiques moyennes et extrêmes calculés pour chaque station.

<i>Stations</i>	<i>Cumul Pluie MAX</i>	<i>Cumul Pluie MIN</i>	<i>Précipitations Moyennes</i>	<i>Températures MAX Moyennes</i>	<i>Températures MIN Moyennes</i>	<i>Hneige MAX Moyenne</i>
-----------------	------------------------	------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	---------------------------

Château Bernard	1955,5	487,3	1227,2			
Chichilianne	1526,1	599,8	1187,3	15,4	3,5	12,6
Clelles	1224,8	341,4	906,1			
GeV	1589,4	610,1	1218,1			18,9
Monestier	1368,6	594,5	1041,9	14,2	4,3	11
La Mure	1194,9	463,7	887,3	14,2	4,9	9,9
Roissard	1148,1	479,1	863,6			

### 2.5.2. Synthèse des résultats : activité des glissements vs. tendance climatique - tentative de corrélation

Sur l'ensemble des événements recensés sur la période 1905-1991 (représentés par des étoiles sur la figure ci-dessous), on remarque un pic important du nombre de glissements en 1990 (24 événements). Sous Arc GIS, grâce à l'outil *select by attributes*, on peut visualiser à quels endroits se situent les événements de 1990 (en bleu sur la figure ci-dessous). La plupart se situe au Sud de Château Bernard, un ou deux événements isolés du côté de la Mure et tous les autres sont dans le périmètre de Saint Martin de Clelles.

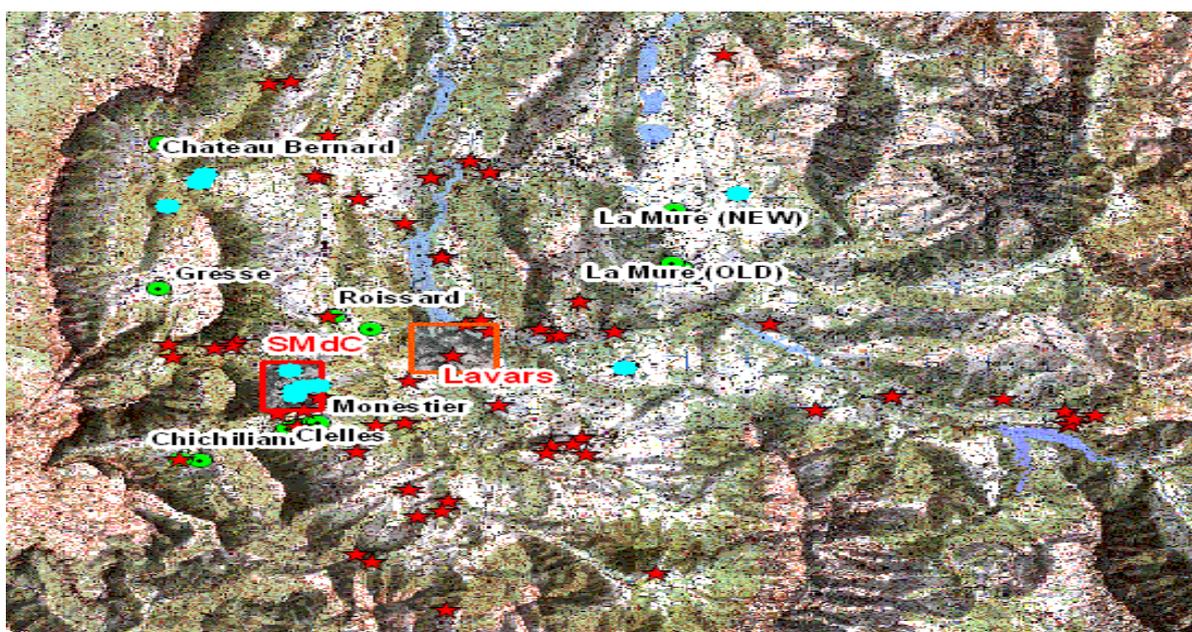


Illustration 20 Positions des stations climatiques et localisation des glissements

L'étude de la répartition spatiale des glissements du Trièves a permis de mettre en valeur plus précisément les zones à risque. La majeure partie des documents de bureaux d'étude ont été utilisés pour déterminer l'étendue des zones à risques aux alentours de Lavars et Saint Martin de Clelles. Les plus intéressants ont été géoréférencés, traités sous SIG et superposés aux orthophotos et permettront de mieux cibler les prochaines investigations.

Le traitement des données climatiques de 1947 à 2005 a permis de visualiser certaines tendances et certains événements particuliers (cf figure ci-dessus). Aucune corrélation évidente ne peut être observée à cette échelle d'analyse entre le nombre de glissements observés par année et les caractéristiques climatiques

annuelles.

En particulier, le pic de glissements de 1990 correspond à une période de déficit pluviométrique ; inversement, les périodes d'excès pluviométrique ne correspondent pas forcément à un nombre de glissements plus importants.

Ceci est à mettre en relation avec l'incertitude associée à l'inventaire des glissements de terrain comme évoqué plus haut.

### 3. Connaissance des mécanismes à l'échelle locale: le site de Super-Sauze

#### 3.1. Présentation du site

Super-Sauze est un glissement-coulée de 820 mètres de longueur dont la vitesse d'avancement atteint 4 à 5 mètres par an en moyenne. Il est constitué principalement de marnes (structurées ou remaniées), et de dépôts morainiques. A la couronne, l'altitude est de 2105 mètres et au pied de la coulée elle est de 1740 mètres. La pente moyenne est de 25°. Sa vitesse est de 0,002 à 0,03 mètres par jour en moyenne. Il est constitué de deux couches, l'une semi-perméable (épaisseur 5 à 10 m) l'autre imperméable (épaisseur maximum 10 m). Ce site expérimental est instrumenté et étudié depuis une dizaine d'années. Il est situé dans les marnes noires de la vallée de l'Ubaye (bassin de Barcelonnette, Alpes Alpes-de -Haute-Provence), et est influencé par une grande diversité de facteurs humains, climatiques, structurels.

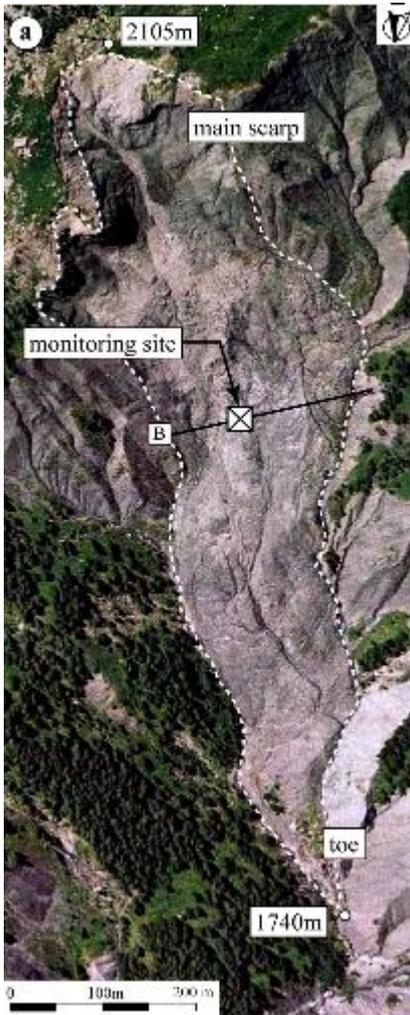


Illustration 23 Vue aérienne de la Coulée



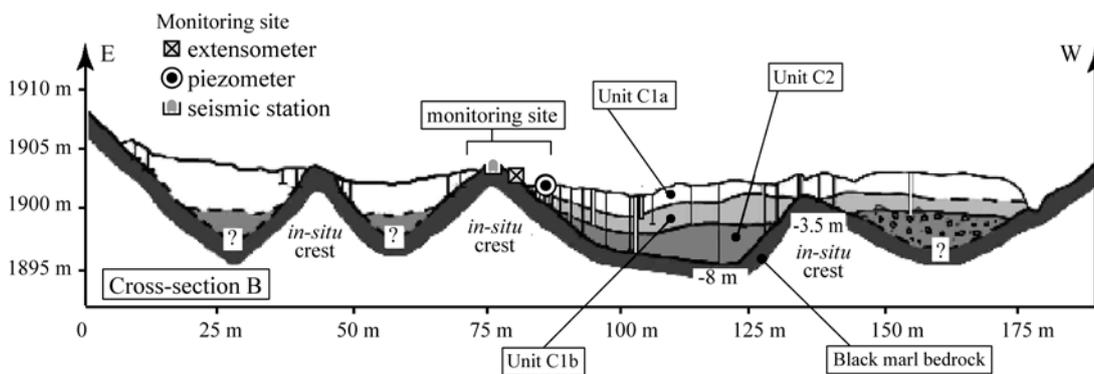
Illustration 22 Escarpement Principal



Illustration 21 Filon calcaire



Illustration 24 Localisation Super Sauze



## 3.2. Méthodes d'investigation de la structure du glissement-coulée

Plusieurs méthodes (géotechniques et géophysiques) ont été employées depuis une dizaine d'années sur le site afin d'aboutir à la formalisation d'un modèle géométrique 3D. On ne décrira par la suite que les méthodes que j'ai effectivement employées dans le cadre du stage, ainsi que les objectifs des investigations réalisées avec ces méthodes pendant les deux campagnes de terrain auxquelles j'ai participé (en mai 2006 et en juillet 2006).

### 3.2.1. Méthode d'investigation directe (sondages géotechniques ponctuels par carottages au vibro-percuteur)

#### 3.2.1.1.

#### Applicabilité

On dispose d'un vibro-percuteur à gouges permettant d'identifier la nature du sol, de prélever des échantillons intacts ou remaniés jusqu'à une profondeur de l'ordre de 9 m et d'installer des tubes piézométriques.

#### 3.2.1.2.

#### Descriptif de la méthode

On choisit un endroit assez plat, le vibropercuteur enfonce la gouge de plus gros diamètre en premier, à environ 1,50m dans le sol, à la verticale. Selon la profondeur à creuser, on peut ajouter des tiges métalliques, une fois la gouge enfoncée (il faut aussi la retirer après chaque enfoncement de 1m), et aller plus profond. Parfois on rencontre un obstacle et la gouge peut être déviée. Par contre si on rencontre la roche dure il faut arrêter le forage et recommencer à un autre endroit.

Il faut ensuite procéder à l'extraction. On place deux tubes PVC épais côte à côte, l'un entourant la partie non-enfoncée de la tige. Par dessus on met un sabot, puis une enclume à bielle et on extrait la gouge par un système de levier (photo ci-dessous).

Illustration 28 Enfoncement de la gouge



Illustration 27 Extraction



Illustration 26 Récupération du matériel

Une fois le forage réalisé, un tube piézométrique est installé dans le trou de forage à l'aide d'un tube PVC crépiné afin de réaliser un équilibre hydrostatique entre la nappe phréatique en dehors du piézomètre et dans le piézomètre. Le trou de forage pouvant s'effondrer sur lui-même, on prendra soin d'avoir un tube piézométrique prêt à être installé dès que la gouge est retirée.

Finalement la carotte est décrite, et le contenu placé dans des sacs à échantillons.

#### 3.2.1.3.

#### Résultats

En outre de nous renseigner sur la composition du matériau présent dans les premiers mètres, l'utilisation du

vibro-percuteur a permis d'installer plusieurs piézomètres à des profondeurs allant de 1m50 à 4m. Ces profondeurs d'installation sont suffisantes pour le site car la nappe phréatique est très proche de la surface et fluctue entre des profondeurs de -0.5m à -3m. Ils sont régulièrement utilisés pour prélever et analyser la qualité chimique de l'eau circulant dans le sol. Les vitesses de déplacement élevées du glissement nécessite de réinstaller un réseau de piézomètres chaque année, car leur durée de vie ne dépasse pas deux ans (déformation du tube sur la verticale, puis cisaillement).

### 3.2.2. Méthode d'investigation indirecte (mesure de bruit de fond sismique et traitement H/V)

#### 3.2.2.1.

#### Applicabilité

Le *H/V* est une méthode de mesure du bruit de fond sismique. Celui-ci est mesuré selon trois axes: un axe vertical, un axe horizontal Nord-Sud, un axe horizontal Est-Ouest. H correspond à l'amplitude spectrale horizontale, V à l'amplitude spectrale verticale.

Cette méthode apporte des informations sur la profondeur et la géométrie de la surface de glissement. Cependant, elle doit être associée à d'autres méthodes pour apporter une information valable quant à la structure du glissement. On peut obtenir une estimation de l'épaisseur de la masse instable, c'est-à-dire la profondeur de la surface de glissement, grâce à la relation :

$Fo = Vs/4h$ , pour un milieu à une dimension,  
avec Vs: Vitesse des ondes sismiques S  
H: Epaisseur de la couche,  
Fo: Fréquence de résonance du site

Le glissement est caractérisé par de plus faibles vitesses d'onde de cisaillement ( $Vs < 300$  m/s) et de plus faibles résistivité ( $\rho < 60$  Ohm.m) dans le corps du glissement que dans la partie stable ( $Vs > 550$  m/s;  $\rho > 150$  Ohm.m).

#### 3.2.2.2.

#### Descriptif de la méthode

On dispose d'une *City Shark II* avec trois capteurs sismiques, mesurant chacun les trois composantes citées ci-dessus. On paramètre donc l'appareil avec neuf canaux. Les autres paramètres sont: la saturation (5%), la fréquence d'échantillonnage (200Hz), la durée de la mesure (15 minutes), l'espacement des capteurs (plus ou moins 5 mètres selon le terrain) et le gain. Celui-ci doit se situer entre 128 et 512. En effet, si le gain est trop fort, le signal sera rapidement saturé, s'il est trop faible, on risque de perdre de l'information.

Les capteurs doivent être orientés correctement et être placés à l'horizontale (quelle que soit la pente du terrain...), puis branchés à la centrale *City Shark II*. Quand la mesure est lancée, rien ne doit perturber la mesure, il faut donc éviter de provoquer des vibrations dans le sol. Une forte pluie, des chutes de pierres ou même des rafales de vent peuvent affecter le signal, il faudra donc noter tout événement susceptible d'influencer les résultats.



Illustration 29 Capteur sismique et centrale *City Shark II*

### 3.2.2.3.

### Résultats

Les données sont ensuite téléchargées sous le logiciel *Read City*, puis traitées sous *Geopsy*. Un fichier contient 9 sismogrammes (neuf canaux). Le logiciel choisit automatiquement des fenêtres stables pour calculer le rapport H/V. Un pic H/V est le maximum d'amplitude spectrale, il correspond à  $F_0$ .

Beaucoup de sismogrammes s'avèrent être saturés, sans raison particulière dans la plupart des cas. Pour les autres, on observe un ou deux pics, souvent on considère que le premier correspond à la fréquence de résonance du site et le pic plus haute fréquence à la surface de glissement.

Les capteurs enregistrent classiquement des pics allant de 0,4 Hz à 10 Hz, ils ne sont pas faits pour des fréquences très hautes ou très basses. Cependant, on observe des fichiers où le pic  $F_0$  décelé est bien en dehors de ces limites, dans ce cas on ne peut rien en déduire.

Les données obtenues ont été analysées par une stagiaire de l'Université de Grenoble qui a également participé aux deux missions de terrain. Un exemple d'interprétation des données H/V pour la définition de la structure du glissement-coulée est donnée sur la figure suivante. Les points en gris les profondeurs du bedrock identifiées par la méthode H/V, les points en noir les positions identifiées par carottage géotechnique et le tireté gris représente l'interprétation géomorphologique de la position du bedrock.

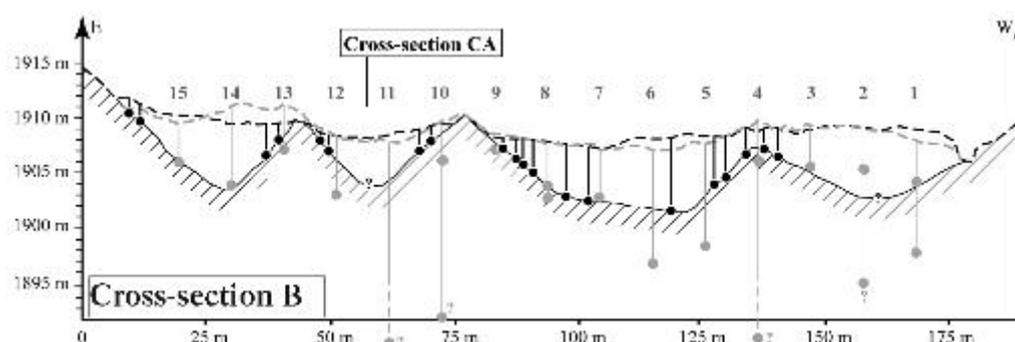


Illustration 30 Résultats des mesures H/V et position du bedrock en B

## 3.3. Méthodes d'analyses de la vitesse du glissement

### 3.3.1. GPS

#### 3.3.1.1.

#### Applicabilité

Le GPS a été utilisé lors des deux missions pour relever les points de mesure effectués: H/V, potentiel spontané, tomographies électriques, et piézomètres. Mais son utilisation ne se limite pas à la localisation des points de mesure pour traitement sous SIG. Le GPS a également permis de relever la position des 60 bornes du réseau de surveillance installés sur le site depuis 1993, et qui se déplacent avec le temps. Lors de la mission de juillet 2006, une cartographie géomorphologique et un MNT d'une zone spécifique du glissement-coulée ont également été réalisés.

#### 3.3.1.2.

#### Descriptif de la méthode

Quel que soit le travail effectué, le GPS a été utilisé mode différentiel cinématique temps réel. La précision associée à chaque mesure est d'environ 1 cm dans les deux directions horizontale, et 2 cm en verticale.

En juillet, la zone à cartographier a été parcourue selon plusieurs profils parallèles entre eux, perpendiculaires à la coulée, espacés d'environ 4 ou 5 mètres. Sur chaque profil, des points étaient relevés à chaque endroit où la morphologie était caractéristique ( talwegs, ruptures de pente, formes particulières). Si

on se trouvait sur un replat sans spécificités, des points étaient tout de même relevés régulièrement Afin d'obtenir un maillage de point optimal pour l'interpolation d'un MNT. En ce qui concerne le relevé des bornes de surveillance, la base mobile du GPS était systématiquement positionné pour une durée de 2 minutes sur chaque piquet..

### 3.3.1.3.

### Résultats

Les données GPS ont été traitées par Jean-Philippe Malet ; la cartographie géomorphologique sera réalisée plus tard par Olivier Maquaire. Plusieurs cartographies ont été réalisées depuis le début de l'étude du site. On peut donc comparer l'évolution des morphologies principales (échine centrale par exemple), qui atteste de la dynamique du glissement. Plusieurs MNT sont également disponibles ce qui permet d'obtenir un suivi 3D (en volume) du glissement-coulée sur plusieurs périodes.

## 3.3.2. Imagerie optique aéroportée

### 3.3.2.1.

### Applicabilité

Lors de la mission de mai, des photographies aériennes du glissement ont été prises par un **drone**. Il vole à une altitude relativement basse, prend des clichés de petit format et est très influencé par les vents. Ces photographies peuvent permettre de voir l'évolution de la coulée, mais également de créer des MNT.



*Illustration 31Drone*

### 3.3.2.2.

### Descriptif de la méthode

Le drone est télécommandé, toujours en vue, depuis le bord de la coulée. Une personne se situe sur le glissement et aide par instructions radio au guidage de l'appareil.

### 3.3.2.3.

### Résultats

Les données obtenues ont été analysées par une stagiaire de l'Université de Brest. Les résultats de cette étude ne nous sont pas encore parvenus.

## 3.4. Méthodes d'analyses du comportement hydrologique du glissement-coulée

### 3.4.1. Mesures de Potentiel Spontané (PS)

#### 3.4.1.1.

#### Applicabilité

La mesure du potentiel spontané (PS) du sol est une technique de prospection électrique passive qui consiste à mesurer le champ électrique naturel de la Terre qui se développe dans la subsurface (annexe 8). Plusieurs mécanismes sont en cause: électrothermiques, électrochimiques, anthropiques... Les mesures spatiales et temporelles du PS peuvent renseigner sur les conditions hydrogéologiques internes aux glissements de terrain. Le champ de PS est fonction de la géométrie et de l'intensité des écoulements hydriques. Puisque les courants sont de faible intensité, des sondes précises et stables (Darnet, 2003) doivent être utilisées. On

choisit donc des électrodes impolarisables (constituée d'un métal en équilibre chimique avec son sel en solution) et un voltmètre à haute impédance d'entrée (pour que l'intensité du courant mesuré ne soit pas influencée par la présence du voltmètre, la résistance du voltmètre doit toujours être très grande devant celle du sol et de l'ordre de quelques dizaines de Giga Ohm).

### 3.4.1.2.

#### Descriptif de la méthode

On utilise des électrodes au plomb (équilibre chimique dans une solution  $PbCl_2-NaCl$ ) impolarisables PMS 9000. Pour faire les mesures, on utilise une électrode de référence: elle sert à mesurer la différence de potentiel entre celle-ci et l'électrode de mesure. C'est pourquoi elle doit toujours être placée dans un endroit où le potentiel électrique est supposé stable (si possible hors de la coulée et relativement éloignée des autres électrodes) pour qu'il n'y ait pas de dérive due à l'environnement de la référence.

Les méthodes utilisées pour les mesures spatiales (PS en surface) et temporelles (PS en profondeur) sont différentes. Chacune sera donc décrite séparément.

### 3.4.1.3.

#### Réseau PS en profondeur

##### 3.4.1.3.1. Principe

Les électrodes PS enfouies ne bougent pas et sont liées à des centrales d'acquisitions qui stockent des données sur de longues périodes (plusieurs mois). On évalue ainsi les **variations temporelles** du PS. Nous verrons cependant que la disposition des réseaux d'électrodes permet également une étude spatiale du PS entre l'amont et l'aval de la coulée (d'où une installation au niveau des profils A et C). En tout, 25 électrodes sont installées en réseau et réparties sur les profils A et C: E1 à E12 au niveau de A et E13 à E25 au niveau de C. Elles se situent entre 60cm et 1m de profondeur environ.

##### 3.4.1.3.2. Objectifs de l'étude

Le réseau de surveillance Ps a pour objectif d'aider à la compréhension des circulations d'eau au sein de la coulée (sources en surface et en profondeur, zones saturées, etc) ; l'installation des électrodes sur deux profils parallèles dans la partie amont et médiane de la coulée permet également de calculer des gradients de PS entre A et C.

##### 3.4.1.3.3. Disposition des électrodes

Un réseau d'électrodes a été placé sur la coulée au niveau des profils A et C. Chaque profil possède une électrode de référence: E12 pour le profil A, E25 pour le profil C. Une électrode E13, placée sur le profil C, est reliée aux deux références et permet donc de faire le lien entre les deux profils. Cette configuration permet de ramener les électrodes des deux profils A et C à une référence commune pour pouvoir les comparer dans le temps, après avoir calculé une moyenne glissante pour chaque différence de potentiel.

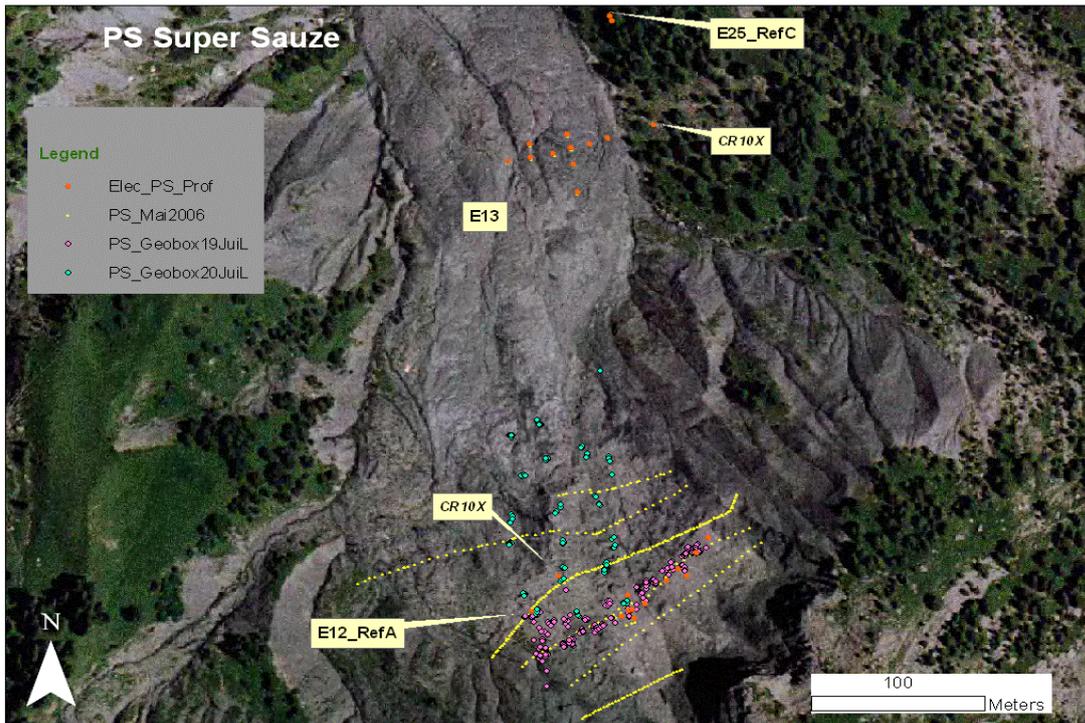


Illustration 32 Mesures PS à Super Sauze

#### 3.4.1.3.4. Présentation des données de potentiel spontané

Les données traitées vont du 21 octobre 2005 au 31 mai 2006. Chaque table contient 8 fichiers, un par mois. Normalement, une valeur de différence de potentiel est enregistrée chaque minute de chaque mois, pour chacun des profils, pour chaque couple d'électrodes  $E_n$  ( $1 < n < 13$  - {12})  $E_m$  ( $13 < m < 24$ ). Cependant, on observe parfois des différences dans les dates d'enregistrements de chaque profil (annexe 9) ou des données aberrantes. Il est ainsi nécessaire de filtrer les fichiers pour les rendre exploitables.

#### 3.4.1.3.5. Application: Traitement des données à l'aide du logiciel MATLAB

Le but est d'importer les fichiers de données PS et de les traiter, c'est-à-dire d'afficher des courbes  $PS=f(t)$ , les moins bruitées possible (en enlevant les valeurs aberrantes) et « lissées » (grâce à la moyenne glissante). Chaque fichier est traité séparément, pour un temps de traitement des données pas trop long et une visualisation à bonne échelle du comportement des courbes. On obtiendra donc une figure par mois. Dans un premier temps, les électrodes des deux profils doivent être ramenés à une référence commune: d'abord E12, puis E25. Ceci se fera par le calcul en élaborant des équations puis en les faisant fonctionner dans MATLAB (annexe 10).

La première étape de mon séjour à l'IPGS a été de se familiariser avec le logiciel MATLAB (logiciel de programmation et de visualisation de données) par l'étude de l'interface de commande, de la structure des matrices et les calculs associés, les possibilités mathématiques, statistiques et graphiques.

Par exemple, il est nécessaire de différencier un vecteur colonne d'un vecteur ligne, de savoir transposer une matrice (en fonction de la structure des données), de savoir également comment importer et lire différents types de fichiers (excel, texte). Certaines commandes sont également à connaître: pour n'en citer que quelques unes, la fonction *textread* permettra à MATLAB de lire un fichier texte, avec quelques paramètres à définir, la fonction *size(X,1)* ou *size(X,2)* prendra en compte la taille des vecteurs lignes ou colonnes de la



champ « Dates » sera conservé.

**Format des dates:** MATLAB ne peut pas afficher les dates si celles-ci sont des cellules (*cell array*), créées systématiquement lors de la lecture des fichiers. Il faut donc les convertir en chaînes de caractères (*char()*). Puis, pour les intégrer à la matrice, elles doivent correspondre à un format numérique. La chaîne de caractères est donc convertie en numérique (*datenum*), mais seulement pour les champs affectés d'une date (condition *if*).

```
%CAS où format dates= YMD HH:MM
```

```
for k=1:length(Dates)
```

```
  dstr=char(Dates(k));
```

```
  if length(dstr)==16,
```

```
    DatesN(k)=datenum(str2num(dstr(1:4)),str2num(dstr(6:7)),str2num(dstr(9:10)),str2num(dstr(12:13)),str2num(dstr(15:16)),0);
```

```
    % else : garde les NaN
```

```
  end
```

**Définition des matrices:** On définit les matrices EA\_E12 (« profil A») et les matrices EC\_E25 (« profil C »). Pour s'affranchir des données aberrantes, c'est-à-dire celles dépassant 200mV en valeur absolue (calibre de l'électrode), on utilise la fonction *abs*: toutes les valeurs supérieures seront remplacées par *NaN* (considéré comme non-valeur par le logiciel). En effet, si on ne le fait pas, on observe des « sauts » qui correspondent à -6999, valeur de non enregistrement dans le fichier brut.

```
EA_E12=[E1E12 E2E12 E3E12 E4E12 E5E12 E6E12 E7E12 E8E12 E9E12 E10E12 E11E12 zeros(size(E1E12)) E13AE12];
```

```
EC_E25=[E13E25 E14E25 E15E25 E16E25 E17E25 E18E25 E19E25 E20E25 E21E25 E22E25 E23E25 E24E25 zeros(size(E14E25))];
```

```
[i0 j0] = find(abs(EA_E12) > 200)
```

```
EA_E12(i0,j0)=NaN;
```

**Dimensions des matrices « A » et « C »:** Même si le champ de dates le plus long est conservé, parfois une des deux matrices reste plus petite que l'autre. Un message d'erreur s'affiche donc lorsque l'on effectue des opérations pour regrouper les deux matrices et les ramener à la même référence. Le but est en effet de créer une matrice regroupant toutes les différences de potentiel (de E12 à E25 par rapport à E12) sur la plus grande période, il faut donc que les matrices « A » et « C » aient la même dimension. Nous appellerons cette matrice EAC\_E12.

Deux scripts différents seront donc créés: *LireDatPSAC* prendra en compte les disparités entre les deux matrices, *LireDatPSACok* sera utilisé pour les mois où les matrices de départ ont exactement la même dimension. A l'intérieur de *LireDatPSAC*, plusieurs lignes de commentaires seront élaborées en fonction du type de différence entre les matrices, qu'il faudra activer ou désactiver en fonction du mois traité (annexe 12, deuxième cas).

**Création de EAC\_E12:** Tout d'abord on crée un vecteur DeltaRef25\_12: il correspond à la différence entre les deux références. Avec DeltaRef25\_12, on crée une matrice EC\_E12 (les électrodes du profil C par rapport à E12). Enfin, on joint les deux matrices (EA\_E12 et EC\_E12) en remplissant de *NaN* la partie manquante de la plus petite matrice. On fera attention au fait que E13\_E12 sera présent deux fois: à la fin de EA\_E12 et au début de EC\_E12. On enlève donc la dernière colonne de EA\_E12 avant de joindre les deux matrices.

```
DeltaRef25_12= E13AE12(1:length(E13E25)) + E13E25;
```

```
EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]);
```

```
EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) EC_E12];
```

**Visualisation des données:** Les données sont visualisées une première fois, sans moyenne glissante, par profil à l'aide de la fonction *plot*. Puis, on visualise la matrice finale EAC\_E12 en lissant les petites variations grâce à la fonction *mg*. Sur un mois, on considère que la longueur de la fenêtre glissante doit être de 1 jour (1440 secondes) et le pas doit être de la moitié de la longueur de cette fenêtre (720) pour une optimisation du temps de traitement.

```
LFen = 1440; %1 jour
Pas = 720;
for j=1:size(EAC_E12,2)
    mg=MG(LFen,EAC_E12(:,j), Pas);
    Emg(:,j)=mg';
end
```

On remarque que certaines données semblent constantes: c'est en fait un effet de bord (annexe 13) ; comme le logiciel ne peut plus calculer une moyenne glissante à l'extrémité du profil, il calcule alors une moyenne seule. En modifiant la fonction *mg*, il est possible de le réduire.

Cette fonction sera aussi modifiée en fonction du mois traité, à la suite de divers problèmes d'affichage des données. Par exemple, en Décembre 2005, les moyennes glissantes des dernières électrodes ne s'affichent pas, alors que celles des données non moyennées s'affichent. En effet, dans MATLAB, une moyenne de NaN donne NaN: avec des NaN au début de l'enregistrement et une interpolation (*interp1* (*\_*,*\_*,*\_*, *spline*)) sur un grand nombre de NaN, une grande partie des données est transformée en non-valeurs.

### 3.4.1.3.6. Résultats

Les courbes obtenues sont présentées en annexe 14. On observe aux alentours du 20 février une chute importante du PS pour les électrodes du profil C par rapport à E12, et dans les mois qui suivent des données problématiques. Une électrode est certainement endommagée ou déconnectée.

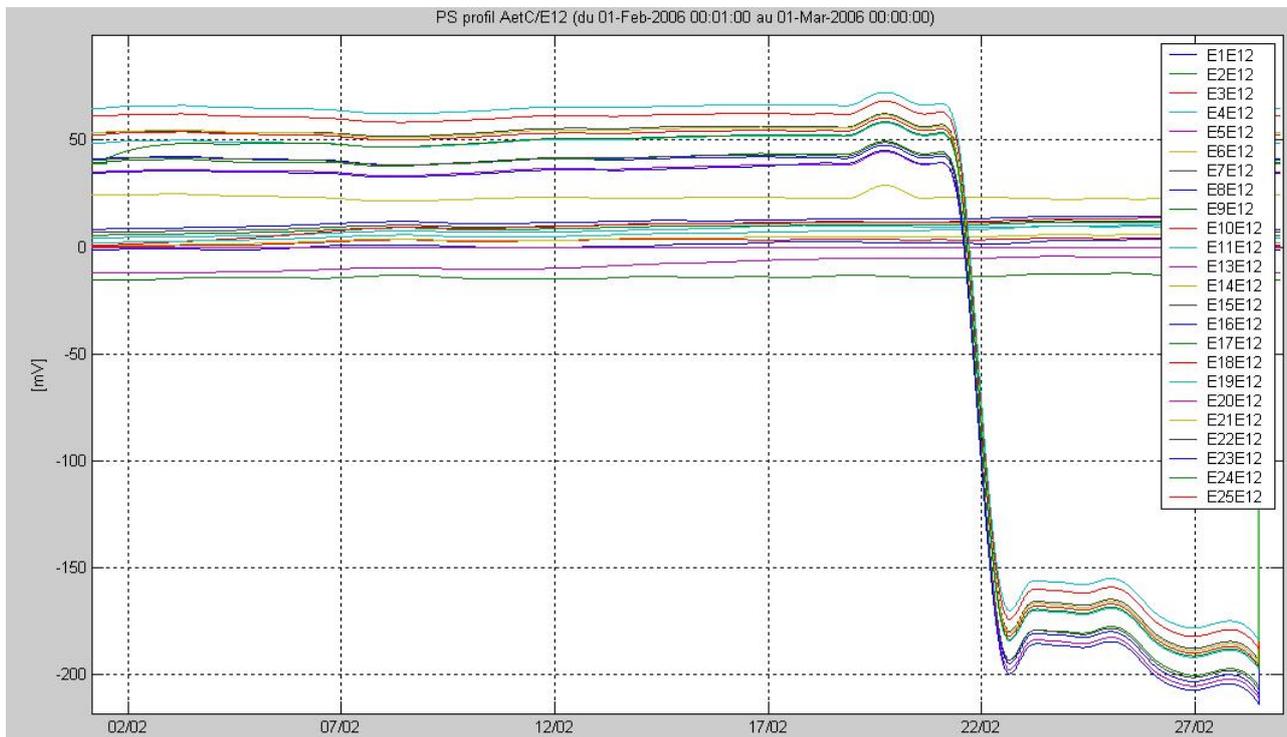
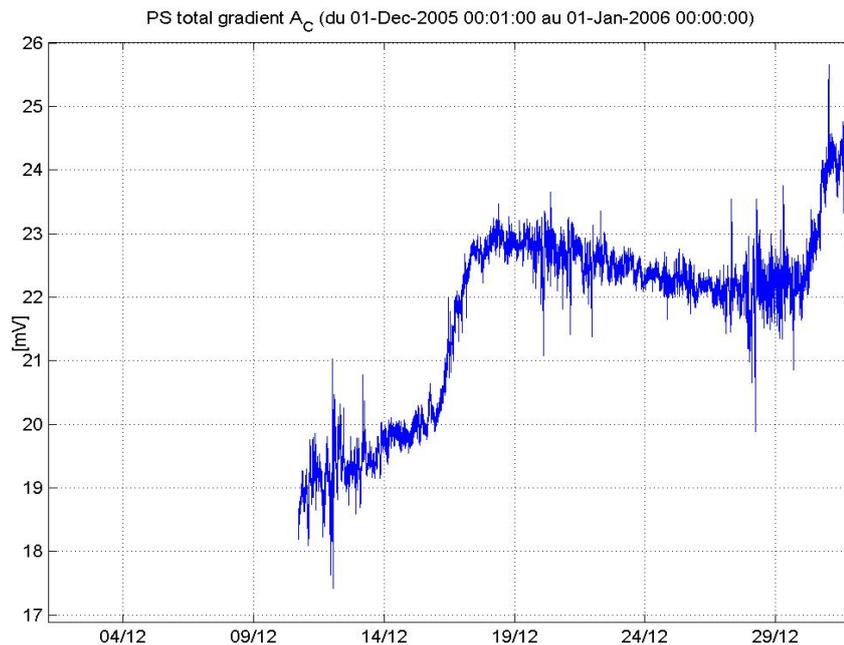


Illustration 33 Graphe PS en fonction du temps pour le mois de Février: chute du PS

Les données du profil A par rapport à E12 restent correctes. On regarde ensuite le comportement de E14 par rapport à E25, que l'on compare à celui de E13 par rapport à E25: le premier est normal, le second s'arrête aux alentours du 20 février. Toutes les électrodes du profil C par rapport à E25 semblent bien connectées, sauf une: E13. Comme c'est elle qui sert à ramener les électrodes de C à la référence de A, on va être forcé à

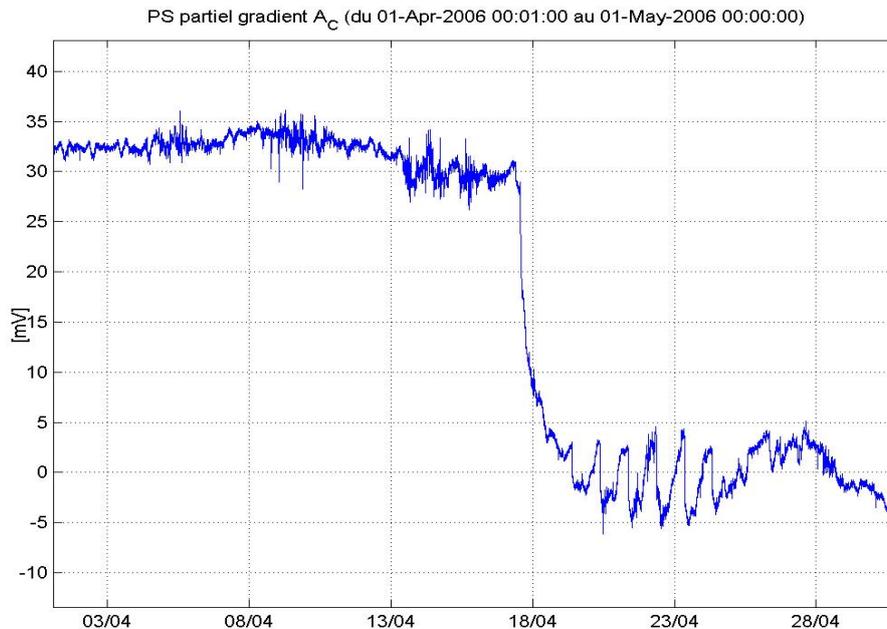
partir de cette date de considérer les deux profils séparément. De plus, on planifiera lors de la mission de juillet 2006 de reconnecter E13. L'hypothèse que E13 soit endommagée est écartée, étant donnée que E13 par rapport à E12 (non converti) ne pose aucun problème.



*Illustration 34 Gradient total PS A-C Décembre*

Il en découle que le gradient entre A et C devra être considéré et interprété différemment avant et après la déconnexion de E13: avant février, on pourra calculer un gradient total (annexe 15), à partir de février inclus, on ne calcule que la différence du profil A par rapport à E13 seule. Ceci est beaucoup moins précis, mais permet tout de même d'avoir une idée de l'évolution du gradient (annexe 16).

Le gradient A-C augmente significativement, par paliers, en décembre puis semble se stabiliser en janvier. En février, le gradient (cette fois partiel: A-E13) réaugmente légèrement et progressivement, ainsi qu'en mars où les variations plus hautes fréquences sont plus marquées.



*Illustration 35 Gradient partiel PS A-C Avril*

En avril, on remarque une chute spectaculaire du gradient partiel de 30mV. Il ne réaugmente que très progressivement en mai, avec un saut notable de 22mV en fin de mois. Ces fluctuations de PS peuvent indiquer un changement de la position de l'aquifère.

### 3.4.1.4. Mesures du Potentiel Spontané en Surface – Mesure volante

#### 3.4.1.4.1. Principe

Ces mesures permettent d'apprécier les **variations spatiales** de PS.

Ces mesures de potentiel spontané en surface ont été réalisées les 19 et 20 juillet 2006 afin d'identifier les éventuelles anomalies de PS, témoins de la circulation d'eau dans le sol (résurgence ou infiltration).

Les mesures du 19 juillet ont été réalisées le long du profil A afin de comparer les mesures faites en profondeur avec celles effectuées en surface. Les mesures du 20 juillet ont été effectuées à l'aval du profil A, selon 3 profils parallèles orientés Sud-Nord, espacés de 25 mètres environ, avec une valeur mesurée tout les 25 mètres. Le but est de quadriller régulièrement la zone séparant les deux profils pour pouvoir interpoler les données enregistrées et obtenir une carte de PS de cette zone.

A terme, l'étude visera à faire une cartographie de PS sur l'ensemble de la zone située entre les deux profils A et C par interpolation.

#### 3.4.1.4.2. Application

Un trépied mobile constitué d'un boîtier Geobox (multimètre), d'une électrode et d'une antenne GPS a été utilisé. La Geobox était reliée à une centrale d'acquisition Campbell CR1000 afin d'enregistrer une valeur PS toutes les secondes pendant une durée d'une minute. L'emplacement de la référence était située près de la centrale d'acquisition du profil A. L'électrode mobile à la base du trépied était enfoncée si possible sur toute sa longueur, dans un trou préparé à l'aide d'une tarière, et humidifié avec de l'eau des sources de la coulée. Deux à trois minutes d'observations étaient nécessaires, avant l'enregistrement, pour s'assurer que le PS restait stable. En effet, une électrode mal enfoncée ou dans un milieu laissant passer l'air donne lieu à une dérive de PS.

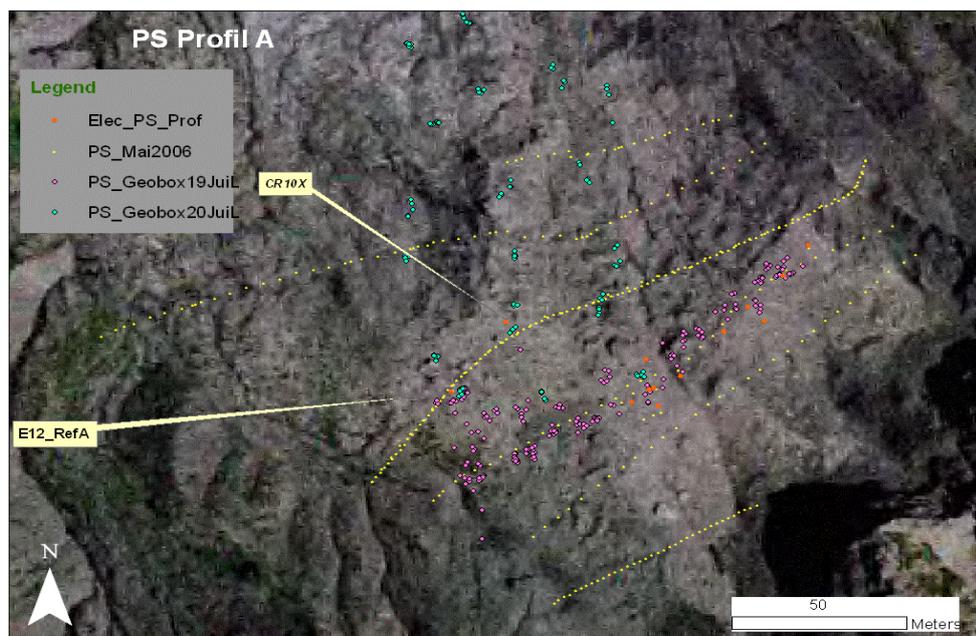


Illustration  
36Geobox et GPS

Illustration 38Bilan PS réalisé en A

Illustration  
37Tarière

Les mesures de juillet 2006 ont fait l'objet d'un traitement MATLAB, comme pour les données du réseau de surveillance PS. Le script réalisé est disponible en annexe 17. Notons qu'ici, c'est la fonction *colorplot3* (annexe 18) de MATLAB qui permettra la visualisation des différents paramètres à représenter selon une échelle de couleur représentative des valeurs considérées, en trois dimensions.

**Comparaison des données de surface avec celles du réseau:** Le premier objectif est de pouvoir comparer les données de juillet avec celles du réseau en A pour les mois précédents. Remarquons que les PS de juillet sont représentatifs d'une ou deux journées, alors que ceux du réseau sont représentatifs de six mois d'enregistrement. Pour que les deux types de données soient comparables, on va moyenner les données PS du réseau de surveillance sur 24 heures au 15 de chaque mois.

```
E=[E1E12 E2E12 E3E12 E4E12 E5E12 E6E12 E7E12 E8E12 E9E12 E10E12 E11E12 E13AE12];
```

```
Mean1501=mean(E(161:1600,:)); %moyenne au 15 JAN
```

On dispose de fichiers séparés pour les positions et les mesures PS. Le 19 et le 20 juillet sont aussi enregistrés séparément. Il sera donc en premier lieu nécessaire de corrélérer position et PS. Il faut savoir que le GPS a fait une mesure toutes les 20 secondes, les mesures PS ont été enregistrées toutes les secondes. On va donc effectuer une moyenne sur une minute, considérant 3 lignes pour les fichiers de position et 60 pour ceux de PS.

On essaiera ensuite de regrouper les mesures des 19 et 20 juillet sur le même graphe, et d'enlever les valeurs aberrantes. Celles-ci seront identifiées par des valeurs de dérive (*drift*: fonction *Slop*) ou d'écart type (*standard deviation*: fonction *Std*) trop grandes:

```
% Mise a l'écart des "mauvais" enregistrements : std>0.15mV ou |slope|>0.15mV/min
```

```
Mauvais=find(StdPS>0.15 | abs(SlopPS)>0.15); %Mauvais=indice de MeanPS et de Posit où l'écart type est trop gd, où
```

la dérive est certaine

```
Posit(Mauvais,:)=[]; MeanPS(Mauvais)=[]; %[]=remplacé par rien
```

```
StdPS(Mauvais)=[]; SlopPS(Mauvais)=[];
```

```
indice(Mauvais,:)=[];
```

Pour vérifier que ces valeurs ont bien été retirées, on visualisera sur une minute les graphes de dérive et d'écart type, en même temps que celui de moyenne du PS. Un exemple est donné en annexe 19.

Il sera également utile de représenter les positions des points dans l'ordre d'acquisition, pour s'assurer que les coordonnées des points sont correctes (annexe 20).

**Cartographie:** Grâce à la fonction *griddata*, on peut interpoler le PS (à partir de *mean PS*) sur la surface échantillonnée. 'v4' (utilisée ici en paramètre de *griddata*) est la technique d'interpolation propre à MATLAB, il est cependant possible de choisir des triangulations ou une interpolation *nearest neighbor*.

```
step=0.005;
```

```
x=0.78:step:0.88;
```

```
y=0.59:step:0.68;
```

```
[X,Y]=meshgrid(x,y);
```

```
PSmap=griddata(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0,MeanPS,X,Y,'v4');
```

```
Khull=convhull(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0);
```

```
[Xout,Yout]=find(PSmap>max(MeanPS)+1 | PSmap<min(MeanPS)-1); %délimite la zone où le PS est significatif
```

```
for k=1:length(Xout),
```

```
    PSmap(Xout(k),Yout(k))=NaN;
```

```
end
```

```
figure
```

```
surf(X,Y,zeros(size(X)),PSmap); caxis([min(MeanPS) max(MeanPS)])
```

```
colormap(jet)
```

```
grid on
```

```
h=colorbar;
```

```
set(gca,'YDir','reverse');
```

```
axis([0.78 0.88 0.59 0.68])
```

```
hold on, plot3(Posit(Khull,1)-Positx0,Posit(Khull,2)-Posity0,ones(length(Khull),1),'k')
```

```
title('Interpolated SP map (in mV)')
```

**Géolocalisation:** Enfin, sous Arc GIS, on comparera les positions des stations de juillet avec le réseau pour mieux interpréter la cartographie réalisée. Il faudra faire attention aux systèmes géodésiques: en effet, les coordonnées du réseau sont en NTF, projection Lambert III, type planes, en degrés minutes décimales, alors que celles enregistrées par le boîtier Geobox sont en WGS84, type géographiques, en degrés minutes décimales. On utilisera le logiciel Circé 2000 (mode fichier), pour convertir les fichiers de la Geobox. Cependant, Circé ne peut traiter que des fichiers de la forme:

```
[Nom][blanc][coordonnées1][blanc][coordonnées2][blanc] [coordonnées3] ou
```

```
[coordonnées1][blanc] [coordonnées2][blanc] ...
```

On pré-traitera donc les fichiers bruts pour qu'ils soient exploitables par Circé avant d'y intégrer les données.

#### 3.4.1.4.3. Résultats

##### Graphes des moyennes PS pour chaque point des 19 et 20 juillet:

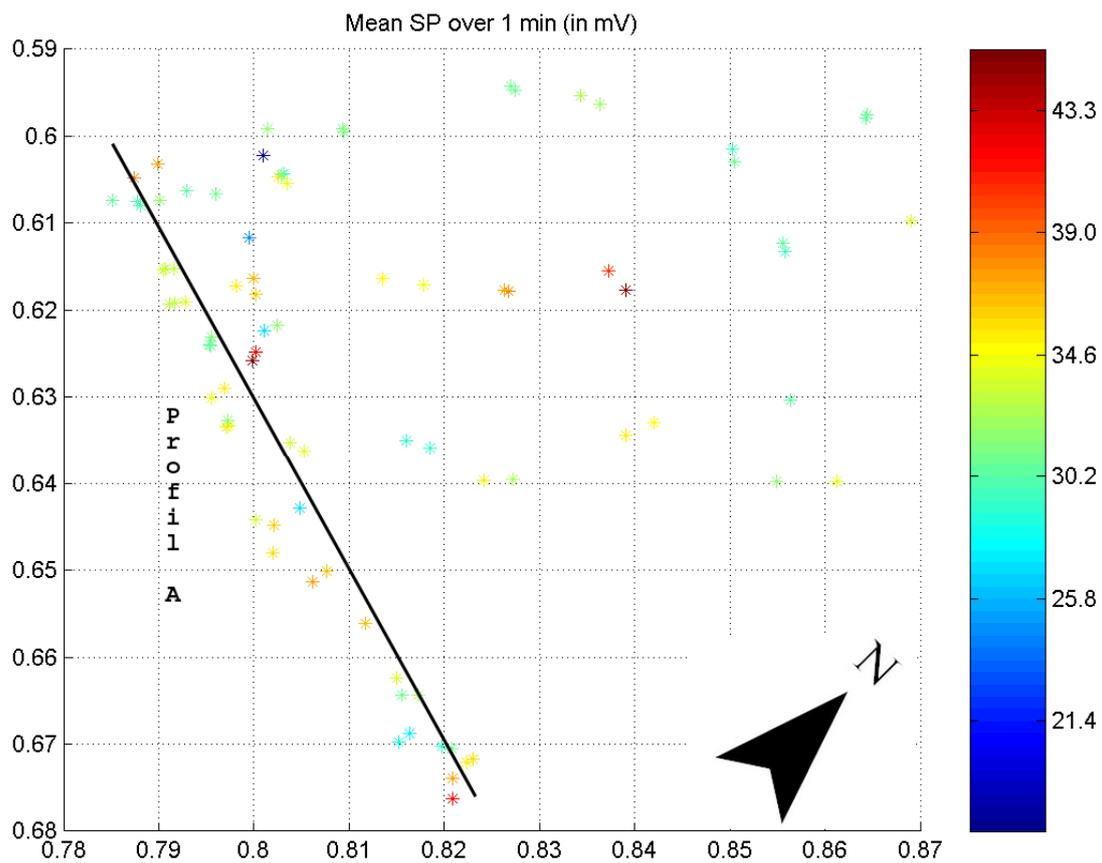


Illustration 39 Graphe MATLAB des PS moyennés par mesure

Les PS ici couvrent une grande amplitude de valeurs, entre 20 et 40 mV. Les tendances seront plus visibles sur une carte des PS.

**Graphe de comparaison des moyennes PS du 19 juillet avec celles du réseau pour le 15 janvier 2006 (vue Sud-Nord):**

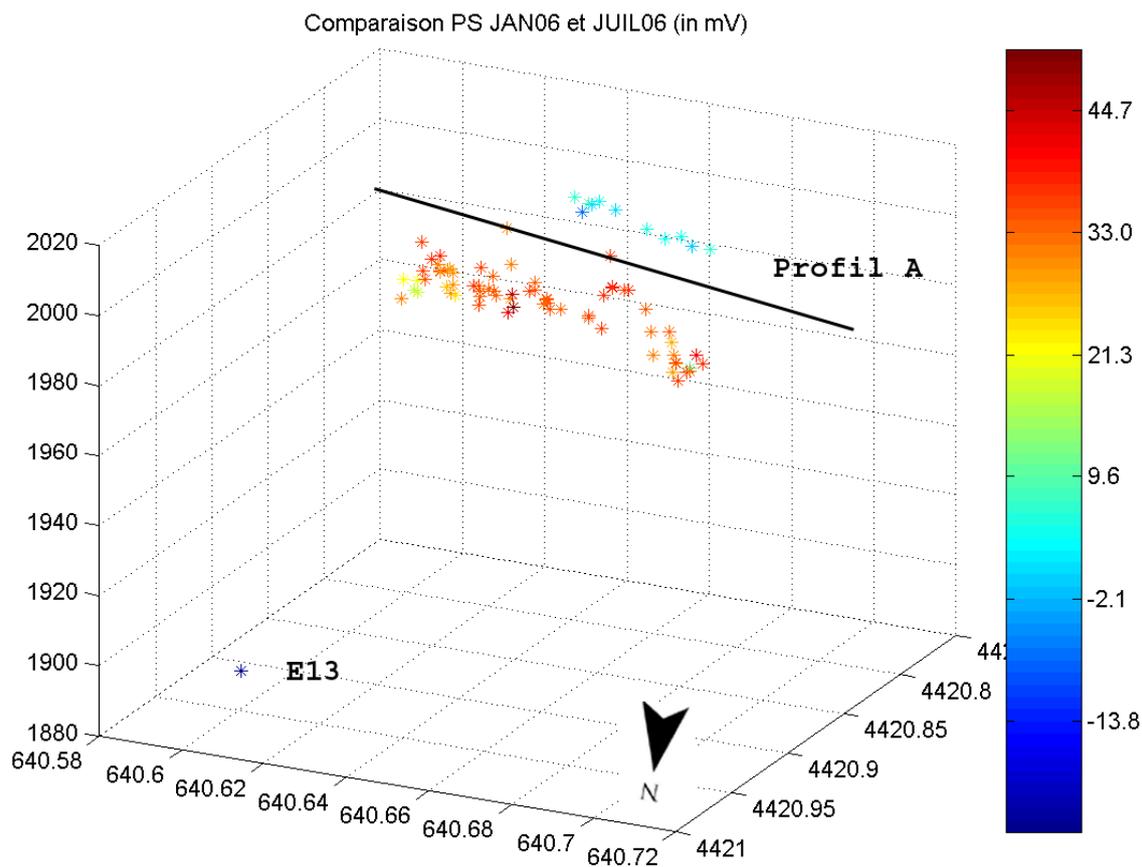


Illustration 40 Graphe MATLAB 3D des PS volants et réseau en A

Comme on peut le voir, l'utilisation brute de *colorplot3* ne permet pas bien de distinguer les points entre eux, et ne permet qu'une estimation de l'ordre de grandeur du PS. Il faudra par la suite modifier le script pour permettre l'identification des points et faciliter l'interprétation. De plus, le paramétrage de l'altitude effectué en juillet pour le GPS associé à la Geobox ne s'est pas révélé fiable. On devine bien sûr la présence de E13 en bas de la coulée, mais les valeurs de Z sont à considérer avec précaution. Pour cette raison les cartes de comparaison du 15 des autres mois avec juillet n'ont pas encore été représentées.

## Cartographie du PS et du gradient pour juillet 2006 entre les profils A et B:

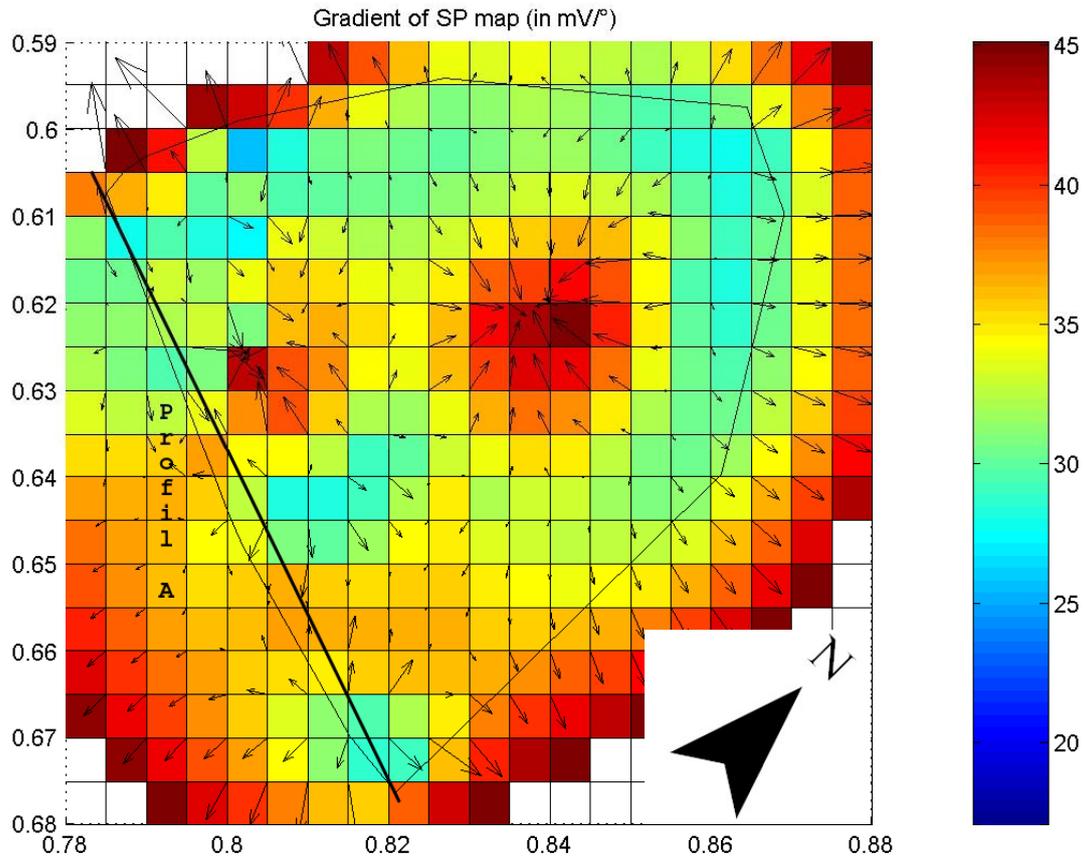


Illustration 41 Carte d'interpolation des PS MATLAB

Globalement sur cette carte, la zone rouge au centre représente une bosse entourée de deux dépressions. L'amont de la coulée se situe à gauche, l'aval à droite.

Or, quand on est proche des écoulements, il y a un bon couplage électrocinétique, les conditions sont idéales pour appliquer les lois physiques. Le gradient de PS va dans le même sens que l'écoulement. Ceci semble se vérifier dans les dépressions (les flux vont de l'amont vers l'aval) en revanche la zone centrale semble être sujette à un autre phénomène (le gradient est dirigé vers le haut de la bosse). Plusieurs hypothèses sont à considérer : l'accumulation d'eau au niveau de cette morphologie (pluie?), un PS mesuré trop loin des sources ce qui peut rendre les lois classiques d'électro-couplage inapplicables. Dans ce cas, d'autres facteurs seront à prendre en compte, notamment par l'intermédiaire de modèles numériques.

La courbe noire représente la limite de la zone « interpolable » : hors de cette zone et même aux limites les valeurs de PS sont influencées par la densité trop faible de points d'échantillonnage. Il ne faut donc pas tenir compte des valeurs interpolées dans ce cas.

### 3.5. Synthèse des résultats

Les carottages effectués au vibropercuteur ont permis d'évaluer la composition du matériau et en certains endroits la profondeur du bed-rock. De plus, ils ont permis l'installation de nouveaux piézomètres qui permettront le suivi de la nappe en de nouveaux points, ainsi que le prélèvement d'échantillons pour des mesures d'électrofiltration en laboratoire. Ces mesures permettront une ré-évaluation du coefficient de couplage C (annexe 8) et une optimisation du traitement des futures données électriques.

Tous les points de mesure ont été géoréférencés à l'aide du GPS et du logiciel Arc GIS, de plus l'élaboration d'une cartographie d'une zone active du glissement est en cours. Des données d'imagerie ont également été acquises. Notons que la mise en place d'un appareil photographique en face de la coulée est en cours: lui aussi permettra de suivre la dynamique du glissement en prenant des clichés régulièrement, dans des conditions identiques.

Les premières études des données PS du réseau installé en octobre ont révélé un dysfonctionnement au niveau de l'électrode E13, on a donc pu y remédier en reconnectant l'électrode lors de la mission de juillet pour les mesures futures. On a malgré tout pu mettre en évidence un gradient très fluctuant au fil des mois, sûrement lié à la position de la nappe phréatique.

Les données de PS en surface de juillet 2006 ont permis d'obtenir les PS moyens sur deux jours le long du profil A, puis entre A et B. Ils ont permis d'effectuer une interpolation du PS qui peut révéler des circulations de fluides évidentes en certains endroits (dépressions), mais des phénomènes encore inexplicables dans d'autres (bosse). Les comparaisons entre les données de surface et de profondeur ne sont pas encore possibles, le script de traitement des données doit être amélioré.

## **CONCLUSION**

L'étude de la répartition des glissements de terrain dans le Trièves a permis de cartographier et de mieux cibler les zones d'aléa (orthophotographies, documents de bureaux d'étude). Il est également possible d'évaluer qualitativement et quantitativement son ampleur : qualitativement grâce à des photographies prises sur place (évaluation des signes d'instabilité) et à l'analyse d'inventaires, quantitativement grâce à l'étude en trois dimensions de photographie aériennes multidates et de leur traitement par un logiciel adapté.

Pour mieux comprendre la relation de ce phénomène avec le climat, des données climatiques de différentes natures, à des échelles temporelles diverses, ont été traitées. Par la suite, elles permettront peut être de mieux comprendre le déclenchement du glissement, par corrélation avec les événements recensés, leur amplitude, leur nature.

Enfin, pour mieux comprendre les facteurs locaux de contrôle de la dynamique d'un glissement de terrain, plusieurs types de mesures ont été faites sur le site instrumenté de Super Sauze : prélèvement d'échantillons par vibrocarottier, mesure de bruit de fond sismique, mesures de potentiel spontané, géolocalisation au GPS... Elles permettent d'observer l'évolution des différents paramètres du site, comme la profondeur de la surface de glissement, la position de l'aquifère, etc. Elles permettent également de tester la fiabilité de certaines techniques et de certains paramètres établis en fonction des résultats obtenus, pour pouvoir les optimiser par la suite. Ces mesures sont interprétables individuellement, mais plus encore leur mise en commun permet d'aboutir à une connaissance plus fine de la structure, de l'hydrologie et de la vitesse de la coulée.

## GLOSSAIRE

Aléa: occurrence, pour un type d'accident donné, du couple probabilité d'occurrence/effets. Utilisé pour étudier le risque, en croisant les données sur l'aléa et sur les enjeux vulnérables. Il existe un risque quand l'aléa menace l'enjeu.

Bed-rock: substratum résistant de sédiments meubles ou peu consolidés.

Climat: Etat général de l'atmosphère résultant de la succession de différentes conditions météorologiques pendant une longue période dans une région donnée. On le détermine à l'aide de mesures statistiques sur des données atmosphériques locales: température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent.

Dérive: Voir *Tendance*

Drone: Aéronef inhabité, piloté à distance, semi autonome ou autonome, susceptible d'emporter différentes charges utiles et le rendant capable d'effectuer des tâches spécifiques pendant une durée de vol.

Ecart type: Critère de dispersion qui mesure l'écart à la moyenne observée.

Géomorphologie: Branche commune de la géographie physique et de la géologie. Décrit le relief et explique sa formation et son évolution.

Glissement-coulée: déplacement en masse, lent ou rapide, d'un mélange hétérogène de matériaux meubles et rocheux, selon une (ou plusieurs) surface(s) de cisaillement localisée(s).

Marne: roche sédimentaire constituée d'un mélange de calcaire et d'argile. Les marnes sont moins compacte que les calcaires, et moins plastique que les argiles.

MNT (Modèle Numérique de Terrain): Représentation de la topographie d'une zone terrestre sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur numérique.

Moraine: ensemble des pierres entraînées par un glacier.

Moyenne glissante: moyenne calculée sur n valeurs consécutives, « glissantes ».

Ondes S: Ondes secondaires ou de cisaillement ou transversales. A leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Elles ne se propagent pas en milieu liquide.

Orthophotographies: Images aériennes ou satellitaires de la surface terrestre rectifiées géométriquement et égalisées radiométriquement.

Tarière: Outil à main permettant de creuser des trous.

Tendance: Notion statistique et mathématique, correspondant à l'orientation constatée pour une série de données sur une certaine période.

## BIBLIOGRAPHIE

ANONYME, 2003. 3237 OT, Carte de Randonnée, Glandasse, Col de la Croix-Haute, PNR du Vercors. 1/25000, projection conique conforme Lambert, IGN, Paris.

ANONYME, 2003. 3337 OT, Carte de Randonnée, Dévoluy, Obiou, Pic de Bure. 1/25000, projection conique conforme Lambert, IGN, Paris.

ANONYME, 2003. 3336 OT, Carte de Randonnée, La Mure Valbonnais. 1/25000, projection conique conforme Lambert, IGN, Paris.

ANONYME, 2005. Description « mouvements de terrain dans les sols argileux du Trièves », Mouvargi [en ligne]. Accès base documentaire (restreint) enviroalp. Disponible à l'adresse web: <http://enviroalp.obs.ujf-grenoble.fr/test/index.php?option=content&task=view&id=88>

DARNET M., 2003. Caractérisation et suivi de circulations de fluides par la mesure de Potentiels Spontanés (PS). Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Strasbourg, 205p.

DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L. and IBSEN M.L., 1996. Landslide recognition. Identification, movement and causes. Wiley, Chichester, 251p.

FLAGEOLLET J.C., 1989. Les mouvements de terrain et leur prévention. Masson, Paris, 224p.

FLAGEOLLET J.C., MAQUAIRE O., MARTIN B., and WEBER D., 1998. Landslides and climatic conditions in the Barcelonnette and Vars basins (Southern French Alps, France). CEREG, Strasbourg, pp1-8.

LAPENNA V., LORENZO P., PERRONE A., and PISCITELLI S., 2002. High-resolution geoelectrical tomographies in the study of Giarrossa landslide (southern Italy). Istituto di Metodologie Avanzate di Analisi Ambientale, CNR, Tito, pp259-267.

Mc GUIRE B., MASON I., and KILBURN C., 2002. Natural Hazards and Environmental Change. Arnold, London, 187p.

MALET J.P., 2003. Les 'glissements de type écoulement' dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Strasbourg, 364p.

MAQUAIRE O., 2004. Programme National-ACI-FNS-Aléas et changements globaux. Demande de financement.

SAILHAC P. and MATTHEY P.D., 2006. Potentiel Spontané et suivi d'écoulement en zones vadose et saturée. IPGS, 23p.

SCHUSTER R.L. And KRIZEK R.J., 1978. Landslides, analysis and control. Special report 176, Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington DC, 234p.

TATARD L., 2006. Caractérisation et suivi du glissement de terrain de Saint Guillaume (Isère) par méthodes géophysiques. Rapport de stage M2R STUE, Grenoble, 37p.







## Table des annexes

Annexe 1: Classification des glissements de terrain	2
Annexe 2: Types de glissements étudiés	3
Annexe 3: Comparaison entre le taux de précipitations et le nombre de glissements de terrain dans le bassin de Barcelonnette	4
Annexe 4: Photographies des signes de glissements dans le Trièves	5
Annexe 5: Exemple de schéma et notations pour référencement des dalles de Photo Explorer	8
Annexe 6: Extrait de la base de données recensant les mouvements de terrain dans le Trièves	9
Annexe 7: Données climatiques des différentes stations du Trièves	10
Annexe 8: Caractérisation des flux par mesure de PS	15
Annexe 9: Tableaux des dates effectives d'enregistrement des réseaux PS	16
Annexe 10: Elaboration des équations de changement de référence	17
Annexe 11: Moyenne glissante MATLAB	19
Annexe 12: Scripts de traitement des données PS	30
Annexe 13: Visualisation de l'effet de bord	45
Annexe 14: Courbes de PS en fonction du temps, par mois	46
Annexe 15: Gradient total: script et figures	54
Annexe 16: Gradient partiel: script et figures	61
Annexe 17: Script MATLAB pour traitement des données de juillet 2006	62
Annexe 18: Script MATLAB: colorplot3	70
Annexe 19: Vérification graphique de l'absence de dérive et d'un écart type acceptable des données PS	71
Annexe 20: Représentation graphique de l'ordre d'aquisition des données	72

-

- **Annexe 1: Classification des glissements de terrain**

# *Landslide classification*

APPENDIX 1.1 Classification of landslides suggested by Varnes (1978)

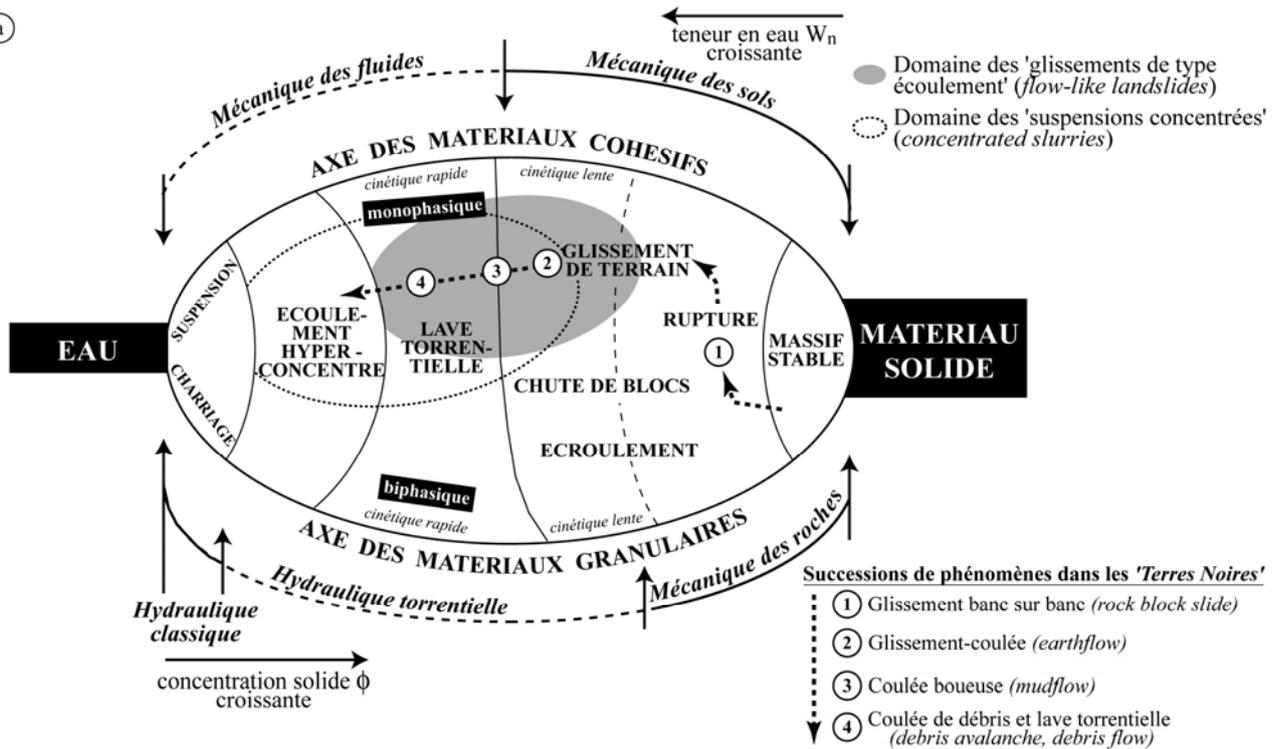
Type of movement		Type of material			
		Bedrock		Engineering soils	
				Predominantly coarse	Predominantly fine
Falls			Rockfall	Debris fall	Earth fall
Topples			Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slides	rotational	few units	Rock slump	Debris slump	Earth slump
	translational	many units	Rock block slide	Debris block slide	Earth block slide
Lateral spreads			Rock slide	Debris slide	Earth slide
			Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flows			Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
Complex			Combination of two or more principal types of movement		

## **Annexe 2: Types de glissements étudiés**

### **Diagramme conceptuel des phénomènes hydro-gravitaires**

Les **glissements de type écoulement** suivent les étapes de la zone grisée:

(a)



Glissement rotationnel:

Slide (rotational)

45

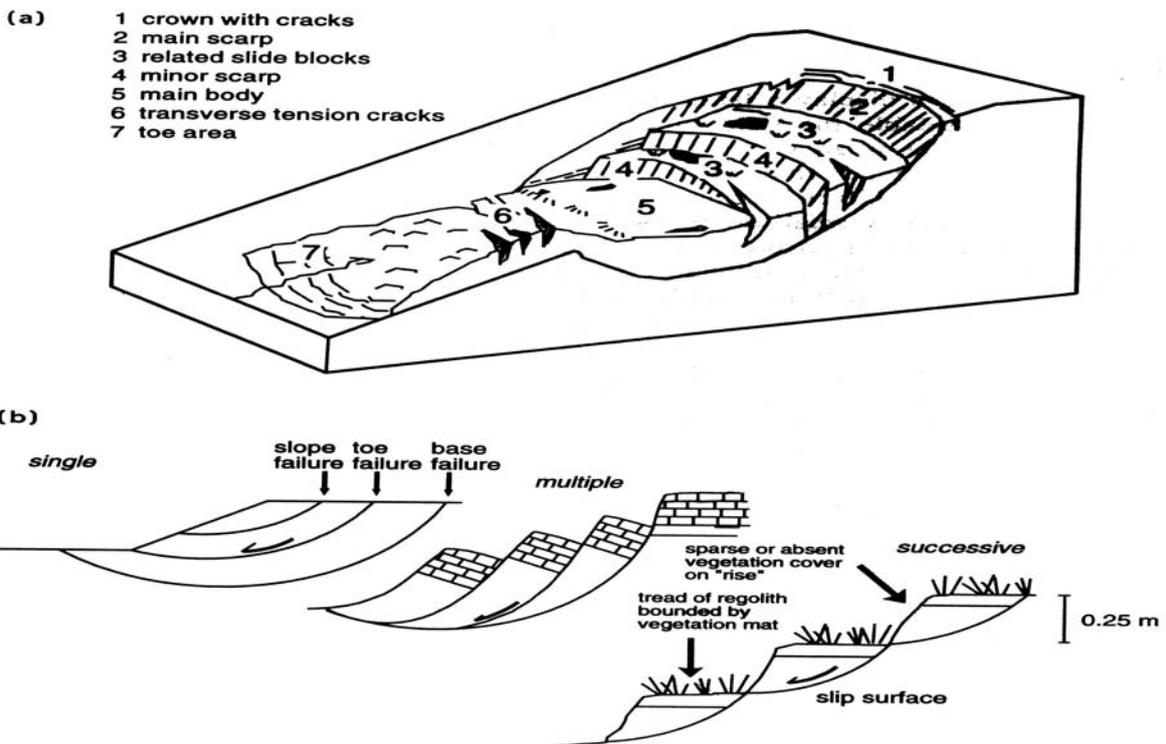


FIGURE 4.2 (a) Typical block diagram of a rotational slide. The important morphological features are marked (after Varnes, 1978). (b) Single, multiple (from Hutchinson, 1988, reproduced by permission of A.A. Balkema) and successive landslides (from Clawes and Comfort, 1982, reproduced by permission of Addison Wesley Longman Ltd)

### Annexe 3: Comparaison entre le taux de précipitations et le nombre de

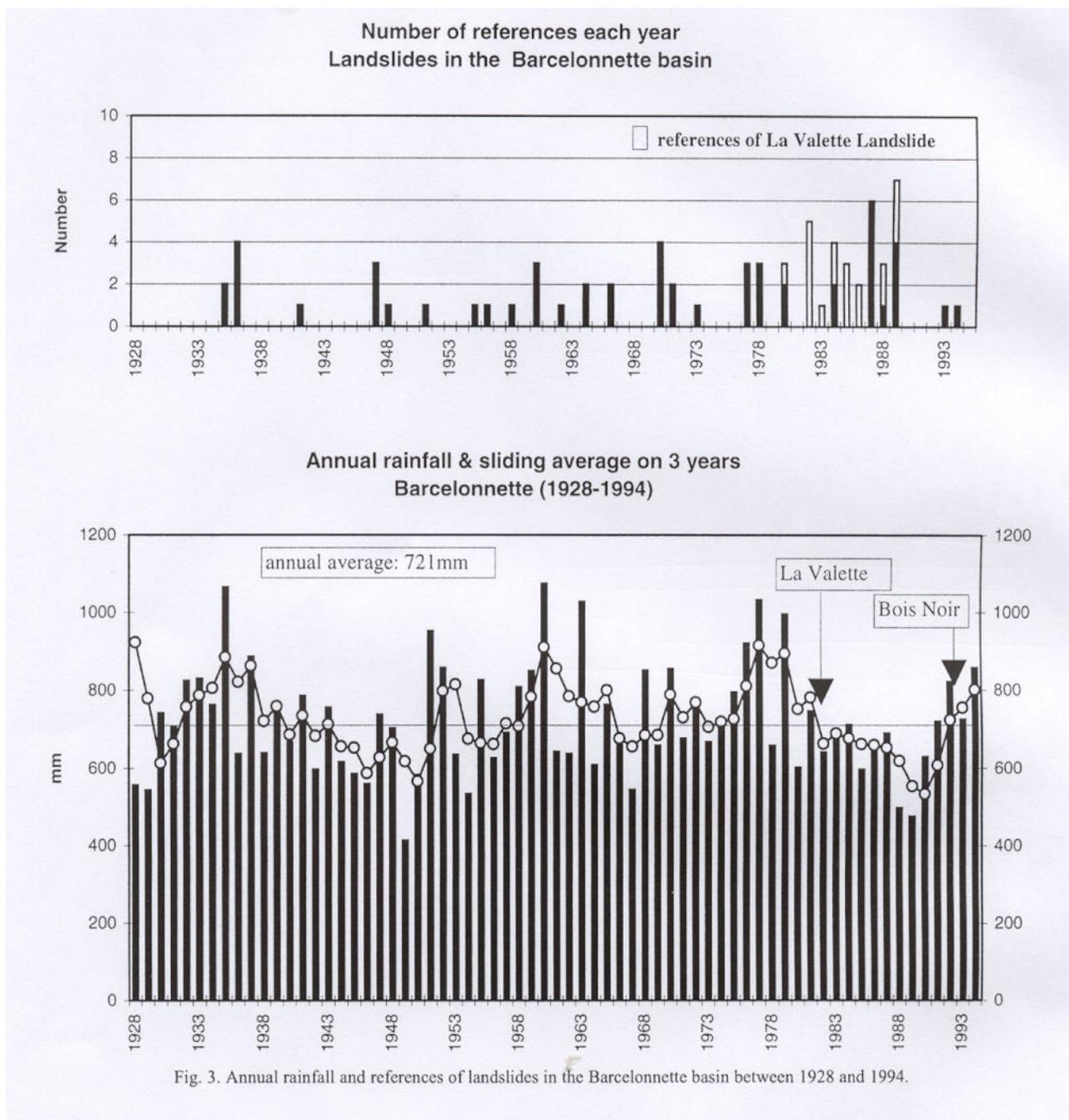


Fig. 3. Annual rainfall and references of landslides in the Barcelonnette basin between 1928 and 1994.

### glissements de terrain dans le bassin de Barcelonnette

- **Annexe 4: Photographies des signes de glissements dans le Trièves**



Escarpe

Illustration 16A Lantoum Lavaze



Lézardes

Illustration 15 Saint Martin de Clolles



Bourelats

Illustration 11 Saint Martin de Clolles (bourelats)



Illustration 12D526 Clolles Mass



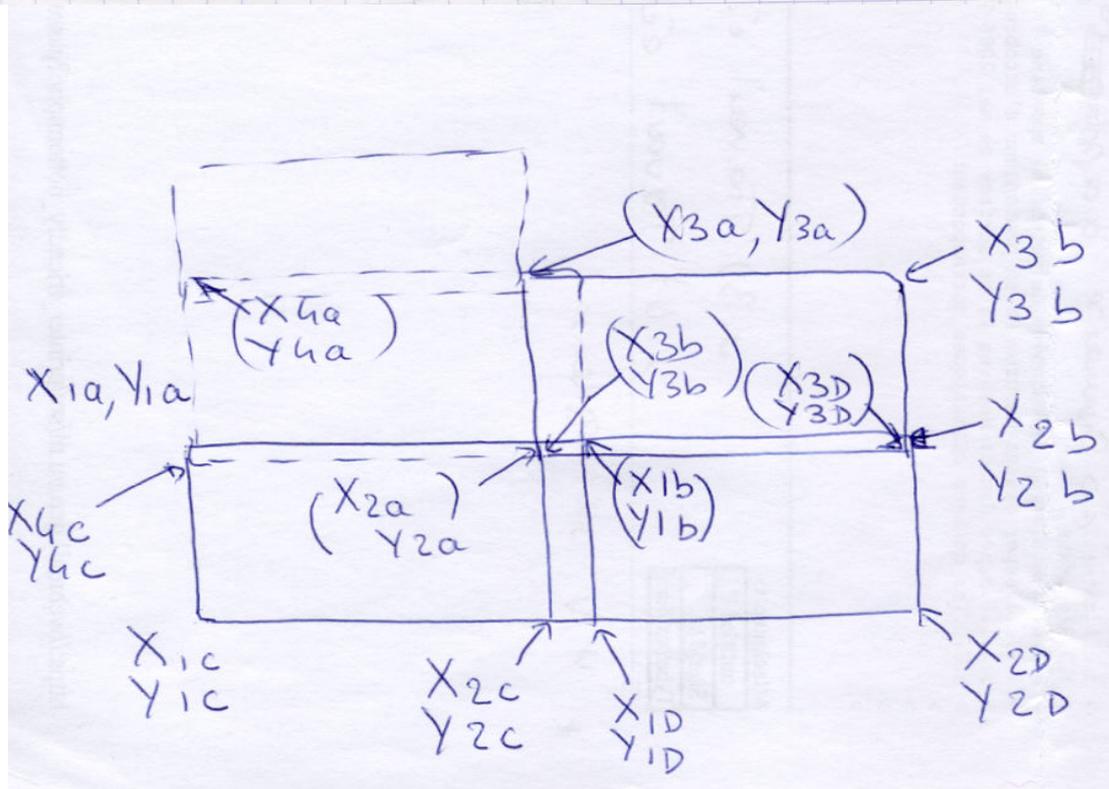
Illustration 12D526 Clolles Mass



*Illustration 47 Garage Moss*



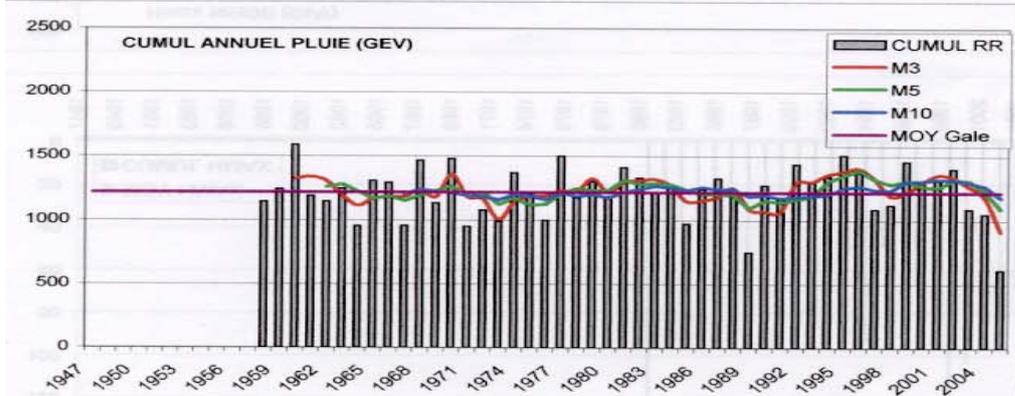
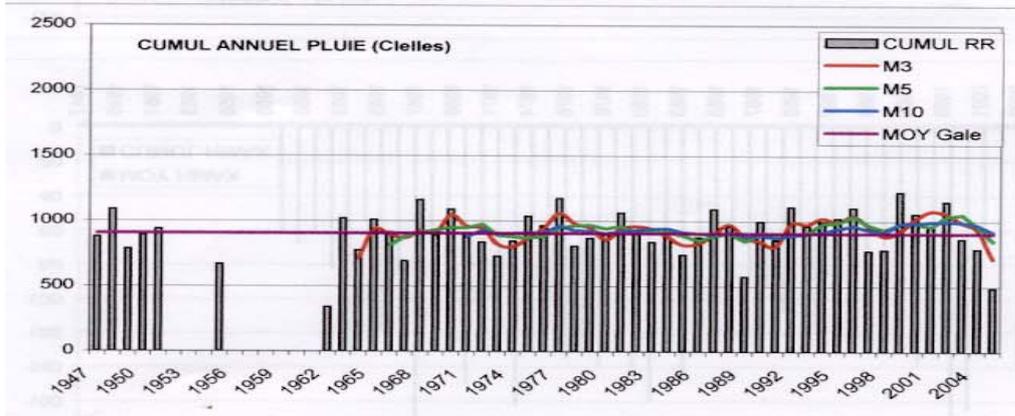
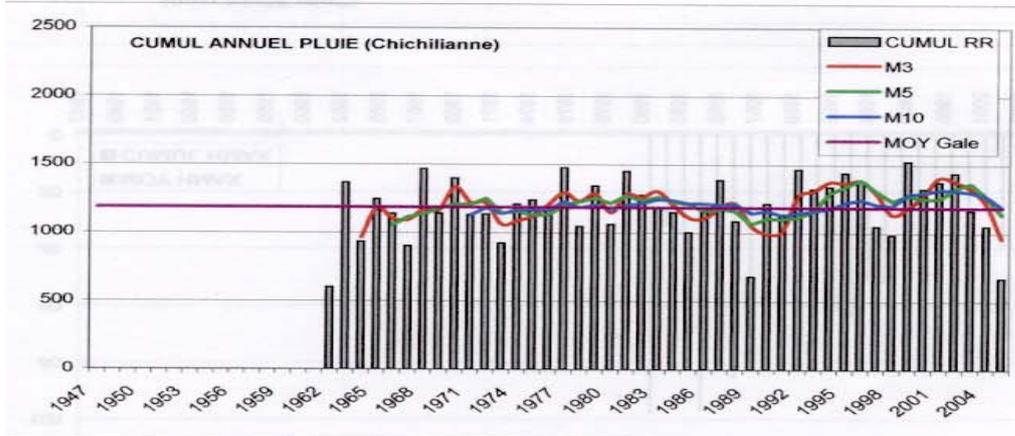
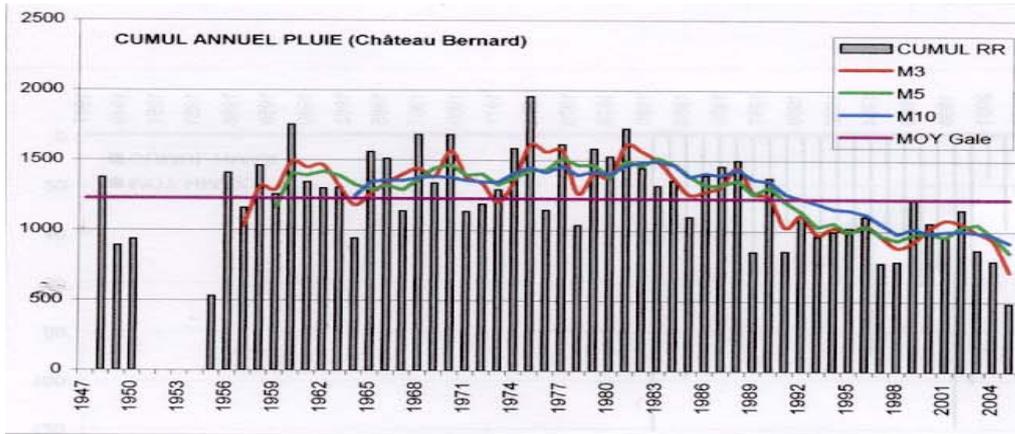
③	$X_{3a}$ 863 451	$X_{3b}$ 864 423
	$Y_{3a}$ 1990 351	$Y_{3b}$ 1990 351
	$X_{3c}$ 863 451	$X_{3d}$ 864 423
	$Y_{3c}$ 1989 780	$Y_{3d}$ 1989 780
④	$X_{4a}$ 864 411	$X_{4b}$ 865 383
	$Y_{4a}$ 1989 800	$Y_{4b}$ 1989 800
	$X_{4c}$ 864 411	$X_{4d}$ 865 383
	$Y_{4c}$ 1989 230	$Y_{4d}$ 1989 230
⑤	$X_{5a}$ 865 371	$X_{5b}$ 866 345
	$Y_{5a}$ 1989 800	$Y_{5b}$ 1989 800
	$X_{5c}$ 865 371	$X_{5d}$ 866 345
	$Y_{5c}$ 1989 230	$Y_{5d}$ 1989 230

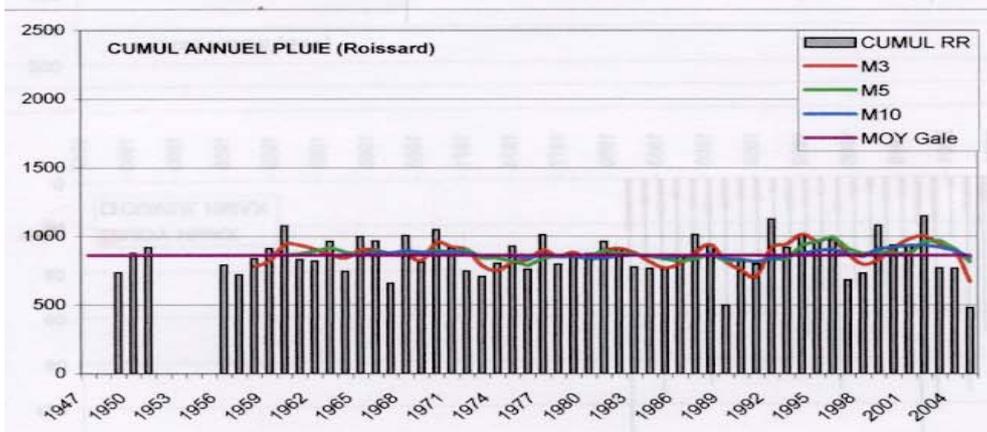
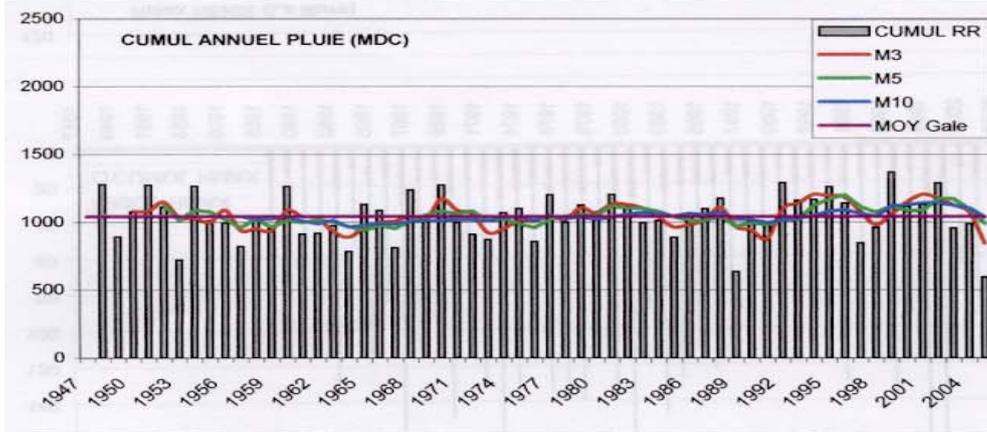
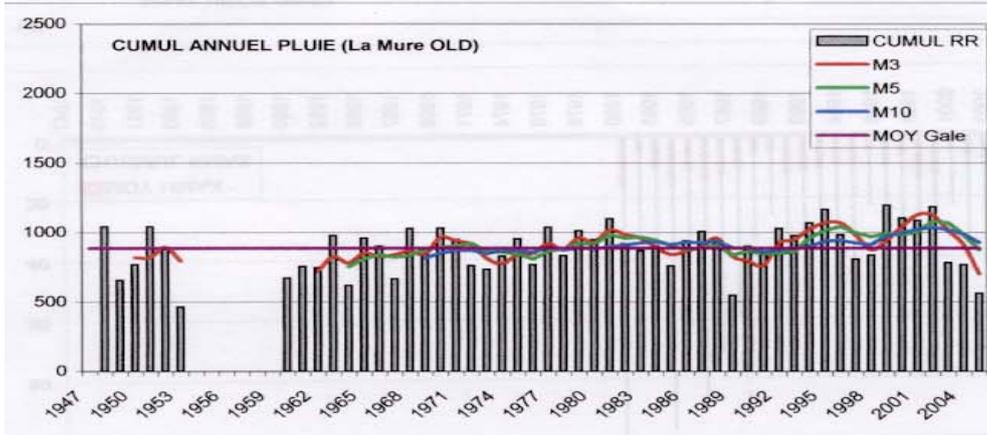
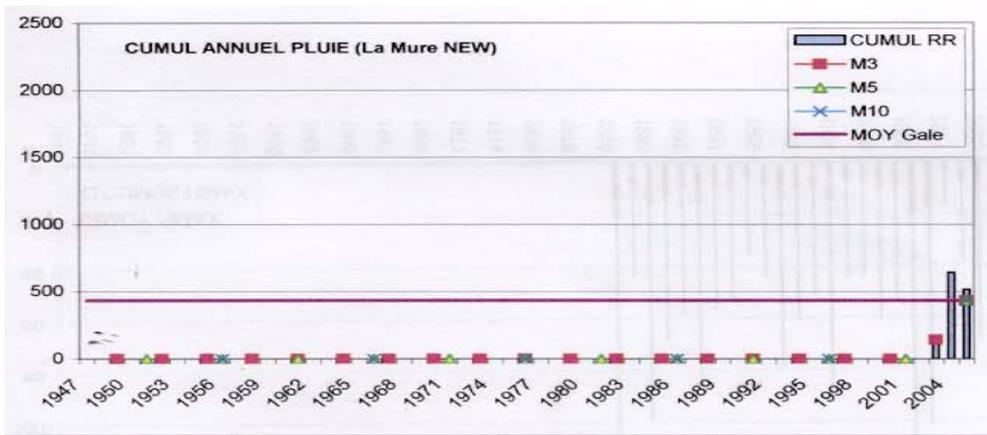


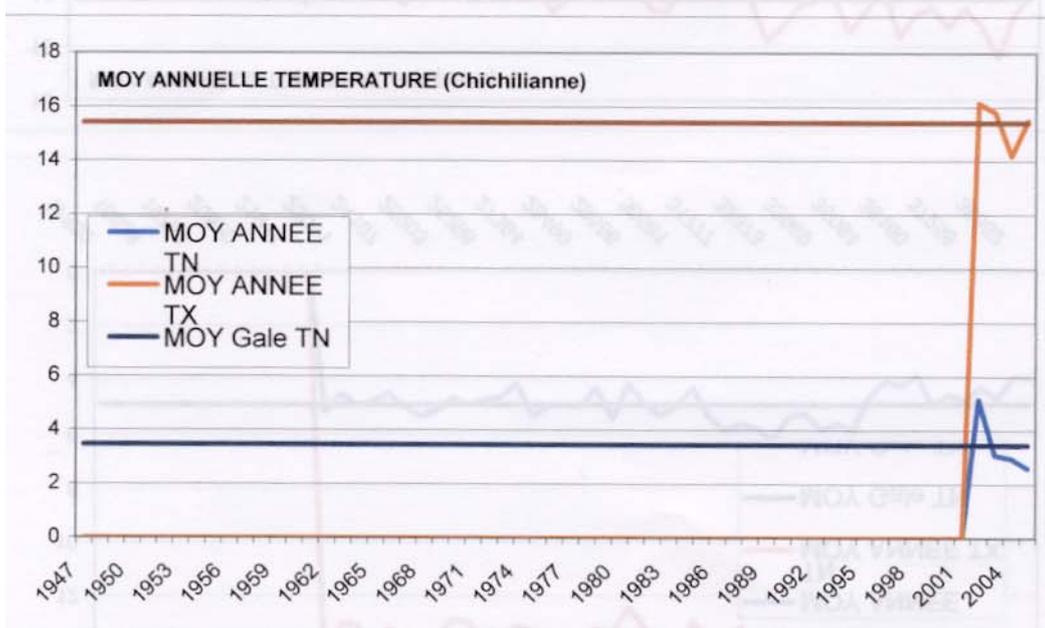
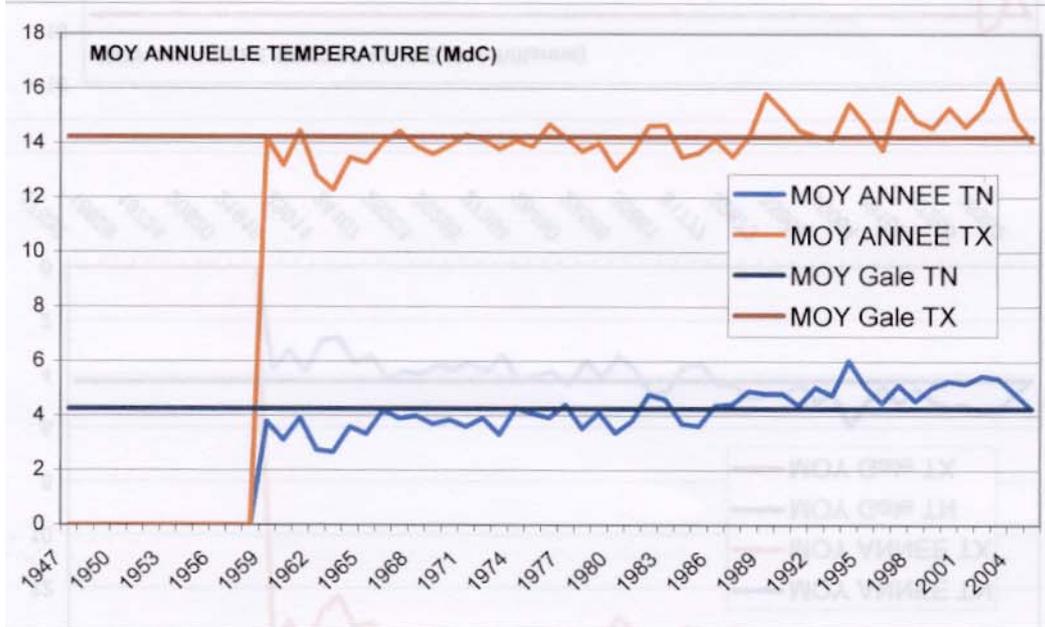
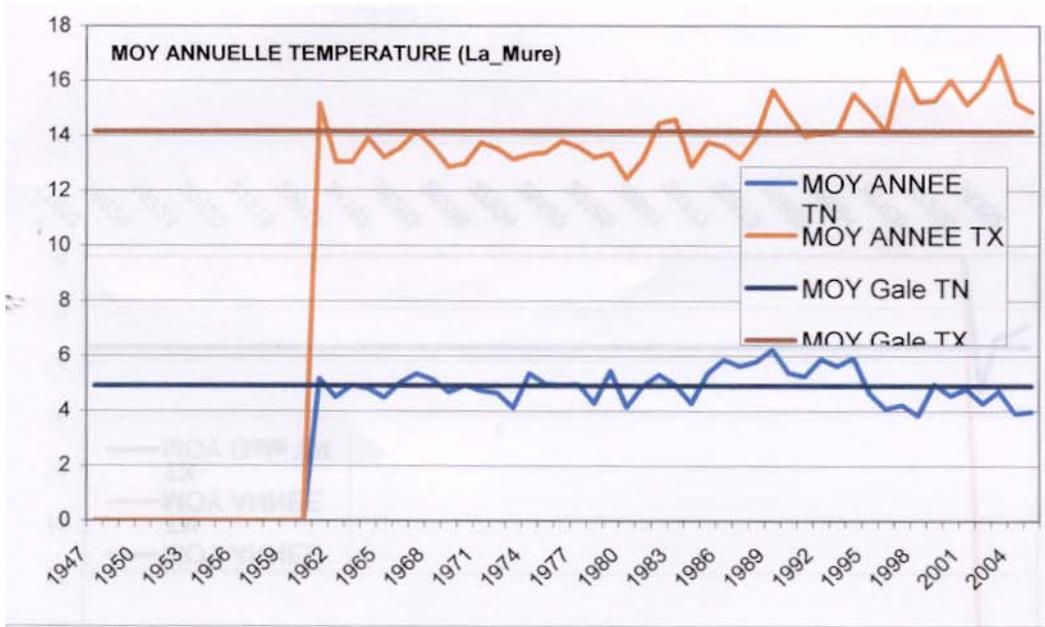
- **Annexe 6: Extrait de la base de données recensant les mouvements de terrain dans le Trièves**

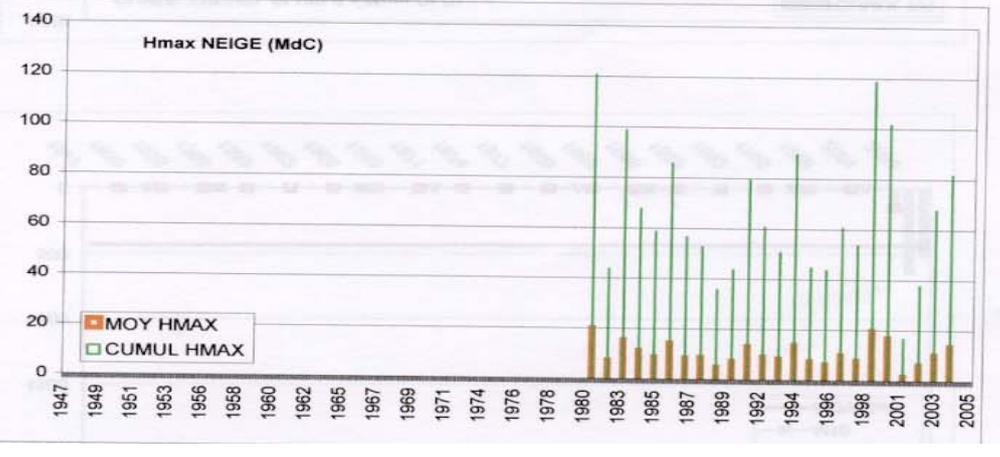
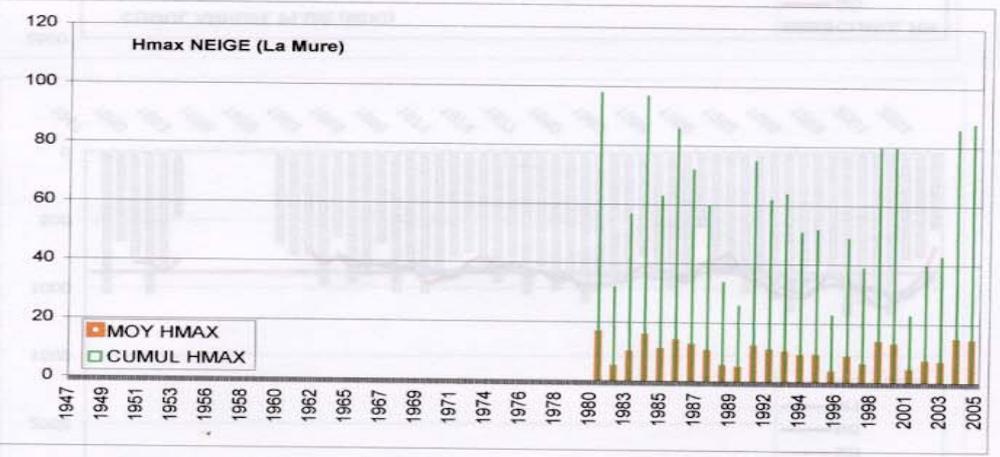
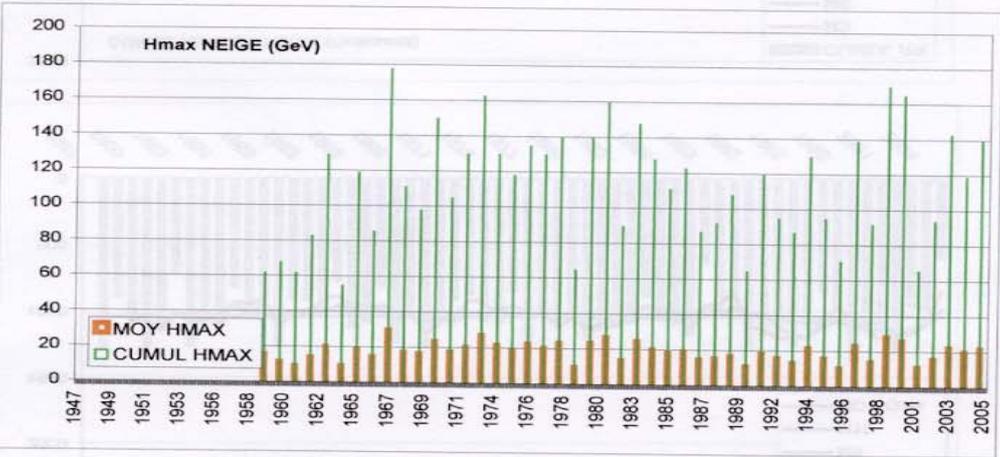
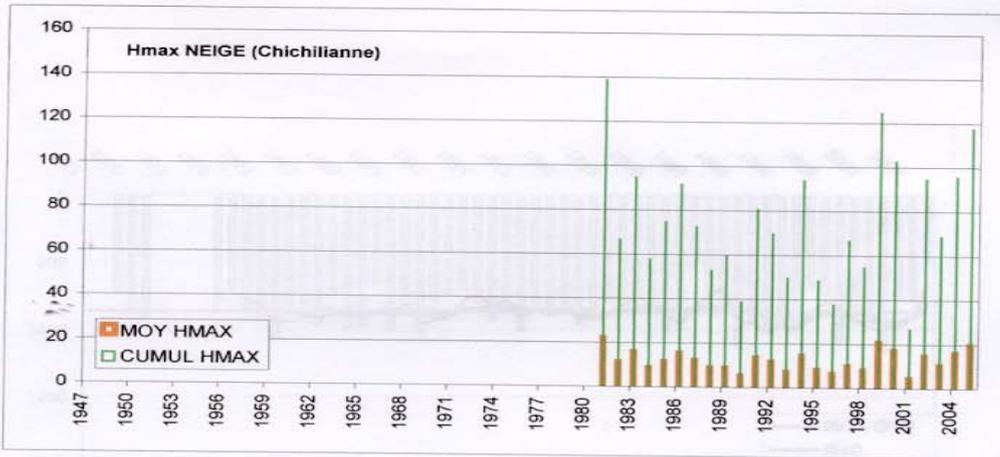
Commune	Code BDMvt	Type	Date de début	Degré de précision	Lieu-dit	X m	Y m	Sources de d
AVIGNONET	38023-00340	Glissement	31/05/1986 Mois	-	FERME DE MOLINIÈRE	864199.99	2000399.96	FAURIEL
AVIGNONET	38023-00341	Glissement	21/06/1983 Saison	-	HAMEAU DU MAS, PARCELLE 507	864199.99	2000399.96	FAURIEL
AVIGNONET	38023-00342	Chute de blocs / Eboulement	30/11/1916 Mois	-		864199.99	2000399.96	HUMBERT
CHICHILLANNE	38103-00501	Glissement	30/04/1981 Mois	-	LES VERDURES	855800.02	1984199.96	RTM
CHOLONGE	38106-00505	Coulée	01/02/1990 Mois	-	BOIS DU CHAMP DU FAU	87950.01	2007470.04	Enquete BRC
CLELLES	38113-00529	Chute de blocs / Eboulement	01/04/1918 Jour	-	BOIS DE TRIEVES, C.G.C N07	859800.01	1986099.98	FAURIEL
CLELLES	38113-00530	Chute de blocs / Eboulement	31/10/1918 Mois	-	ROUTE-DE CLELLES A CLELLES	859800.01	1986099.98	HUMBERT
CLELLES	38113-00532	Glissement	-	-	CD526, PK 1,600 à 5,700	862375.01	1986124.96	ADRGT, GIE
CLELLES	38113-00533	Glissement	01/02/1990 Mois	-	CHAFFAUD	859099.95	1986800.05	LEBEAU
CLELLES	38113-00534	Glissement	01/02/1990 Mois	-	BOULAND	859099.95	1987050.05	LEBEAU
CLELLES	38113-00535	Glissement	01/02/1990 Mois	-	LONGEFONT	861700.04	1984599.94	LEBEAU
CLELLES	38113-00536	Glissement	01/02/1990 Mois	-	AVIANNE N526	863299.99	1986300.03	LEBEAU
CLELLES	38113-00537	Glissement	01/02/1990 Mois	-	LA GERLE	860499.96	1987750.00	LEBEAU
CLELLES	38113-00538	Erosion de berges	01/02/1990 Mois	-	JEUVENE	858600.05	1985300.01	LEBEAU
CORDEAC	38125-00555	Glissement	30/11/1935 Mois	-	HAMEAU DE MALVEZIN, CHEMIN V.O.	877000.04	1986999.98	FAURIEL
CORNILLON-EN-TRIEVES	38127-00561	Glissement	-	-		-	-	Communicate
CORNILLON-EN-TRIEVES	38127-00562	Chute de blocs / Eboulement	17/04/1937 Jour	-	LE CHATEAU	866500.00	1987299.95	FAURIEL
CORPS	38128-00563	Glissement	06/10/1960 Jour	-	RN85, COMBE DE BOUSTIGUE	885500.03	1986200.01	FAURIEL
CORPS	38128-00564	Chute de blocs / Eboulement	30/11/1918 Mois	-	PONT DE LA SEZZIA	885500.03	1986200.01	FAURIEL
CORPS	38128-00565	Glissement	30/11/1916 Mois	-	COTE NORD DU DRAC	885500.03	1986200.01	CADIOT
CORPS	38128-00566	Glissement	30/11/1971 Mois	-	RN85, LES TOUCHES AU N-O DE CORPS	885500.03	1986200.01	HUMBERT
CORPS	38128-00567	Glissement	30/11/1979 Année	-	VERSANT DU TORRENT DE LA SEZZIA	886349.96	1986725.00	HUMBERT
CORPS	38128-00568	Glissement	20/03/1990 Saison	-	CD212C	886349.96	1986725.00	SAGE, GIERE
CORPS	38128-00569	Glissement	01/02/1990 Mois	-	N85	885299.98	1986929.98	LEBEAU
CORPS	38128-00570	Glissement	01/02/1990 Mois	-	CORPS	885599.94	1986499.97	LEBEAU
CORPS	38128-00571	Erosion de berges	01/02/1990 Mois	-	RUISSEAU DE SALETTE	-	-	LEBEAU
LES COTES-DE-CORPS	38132-00577	Chute de blocs / Eboulement	-	-		883300.04	1987700.05	Communicator
LES COTES-DE-CORPS	38132-00579	Glissement	30/11/1916 Siècle	-		-	-	CADIOT
ENTRAIGUES	38154-00619	Coulée	-	-		-	-	
ENTRAIGUES	38154-00625	Efondrement	-	-		-	-	BOULAIS
ENTRAIGUES	38154-00632	Efondrement	-	-	LE FOND DE LA CUVE	-	-	BOULAIS
ENTRAIGUES	38154-00633	Chute de blocs / Eboulement	23/10/1928 Jour	-		-	-	Communication
ENTRAIGUES	38269-00910	Glissement	15/12/1930 Jour	-	RIOU TROUBLE	864749.96	1975500.03	BOULAIS
LALLEY	38204-00726	Glissement	30/04/1983 Mois	-	RN75, PK 153 200	-	-	HUMBERT
LAVARS	38208-00736	Chute de blocs / Eboulement	15/02/1955 Jour	-	DERIVATION DU RUISSEAU DU VERDET	863500.04	1988699.96	HUMBERT
LAVARS	38208-00737	Glissement	30/11/1971 Mois	-	CD34, PROXIMITE PONT DE BRION	-	-	ADRGT, GIERE
LAVARS	38208-00738	Glissement	-	-	CD 34A	864950.01	1990150.04	ADRGT, GIERE
LAVARS	38208-00739	Glissement	-	-	CD34E, PK 0.9 à 1.5	-	-	ADRGT, GIERE
LAVARS	38208-00740	Glissement	-	-	LE VILLARNET	-	-	ADRGT, GIERE
LE GUIA	38187-00711	Glissement	-	-	CD8, PK 5.895	859559.97	2005924.97	ADRGT, GIERE

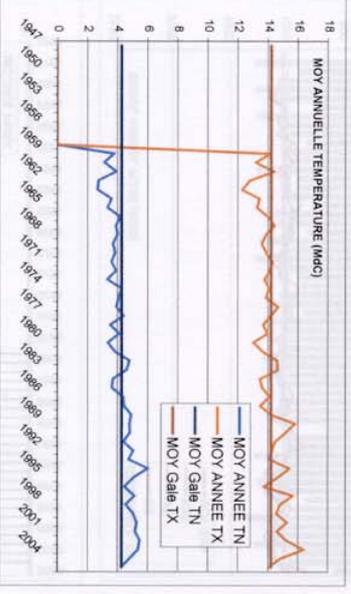
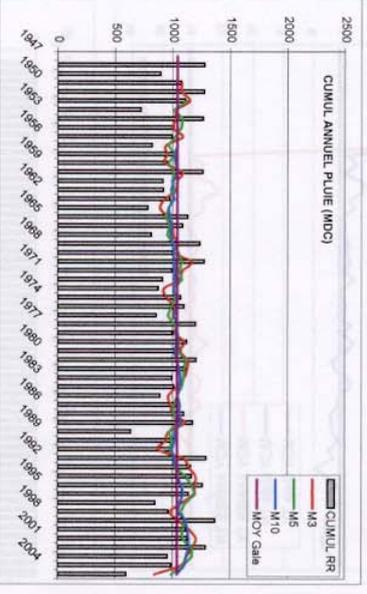
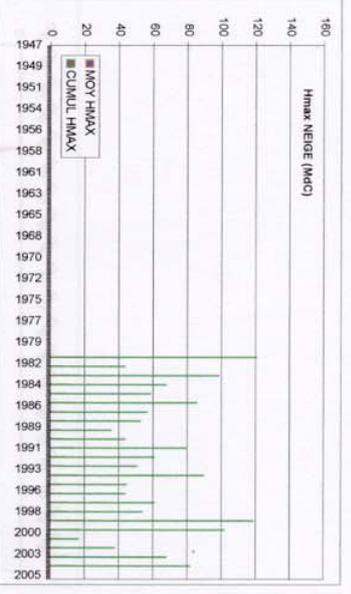
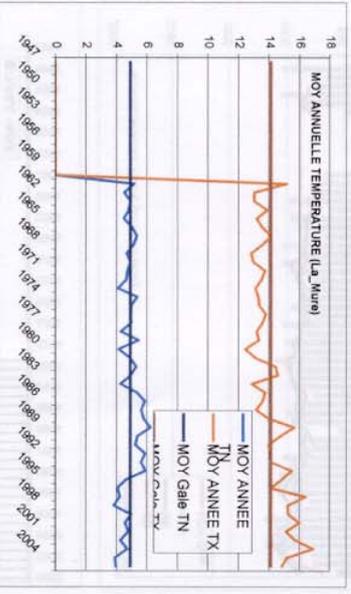
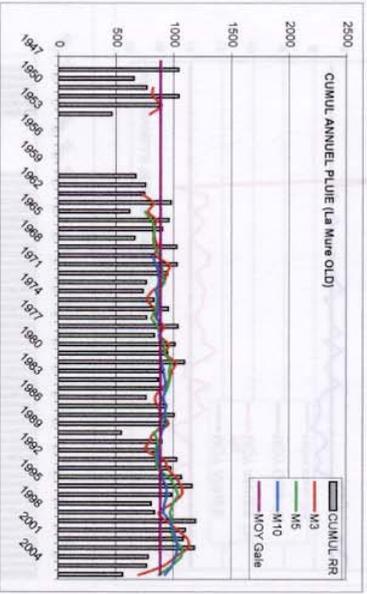
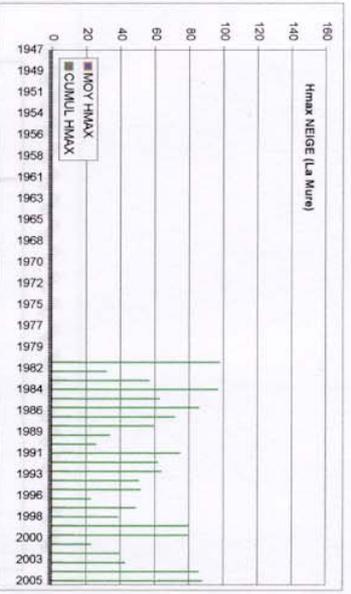
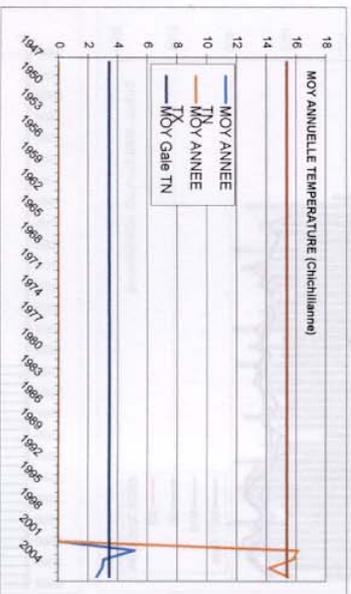
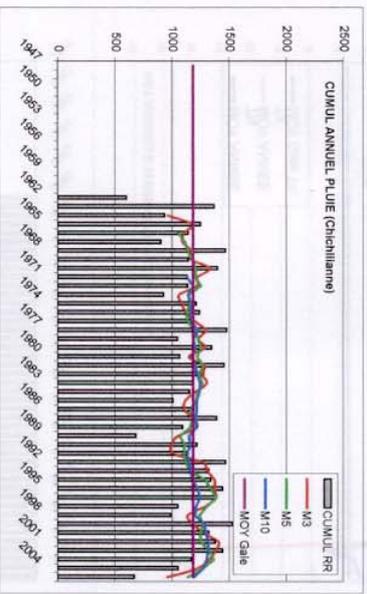
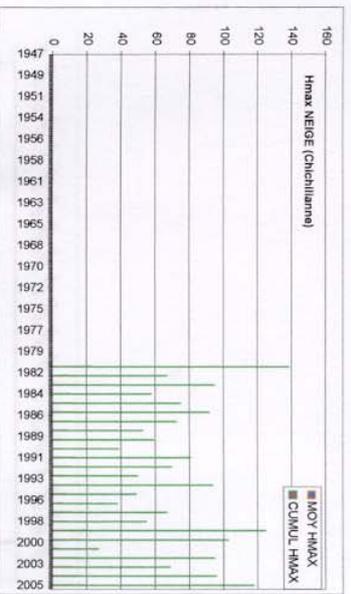
## Annexe 7: Données climatiques des différentes stations du Trièves











## Annexe 8: Caractérisation des flux par mesure de PS

Il existe un couplage électrocinétique entre la courant électrique et le courant hydraulique.

D'après la loi de Darcy:

$$V(\text{Darcy}) = -k/\mu * \delta P/z$$

Avec:  $V(\text{Darcy})$  = Vitesse d'écoulement,

$k$ : perméabilité

$\mu$ : Viscosité

$\delta P$ : variation de pression du fluide

$z$ : profondeur

A ce  $\delta P$  s'associe  $\delta V$ , différence de potentiel électrique, telle que:

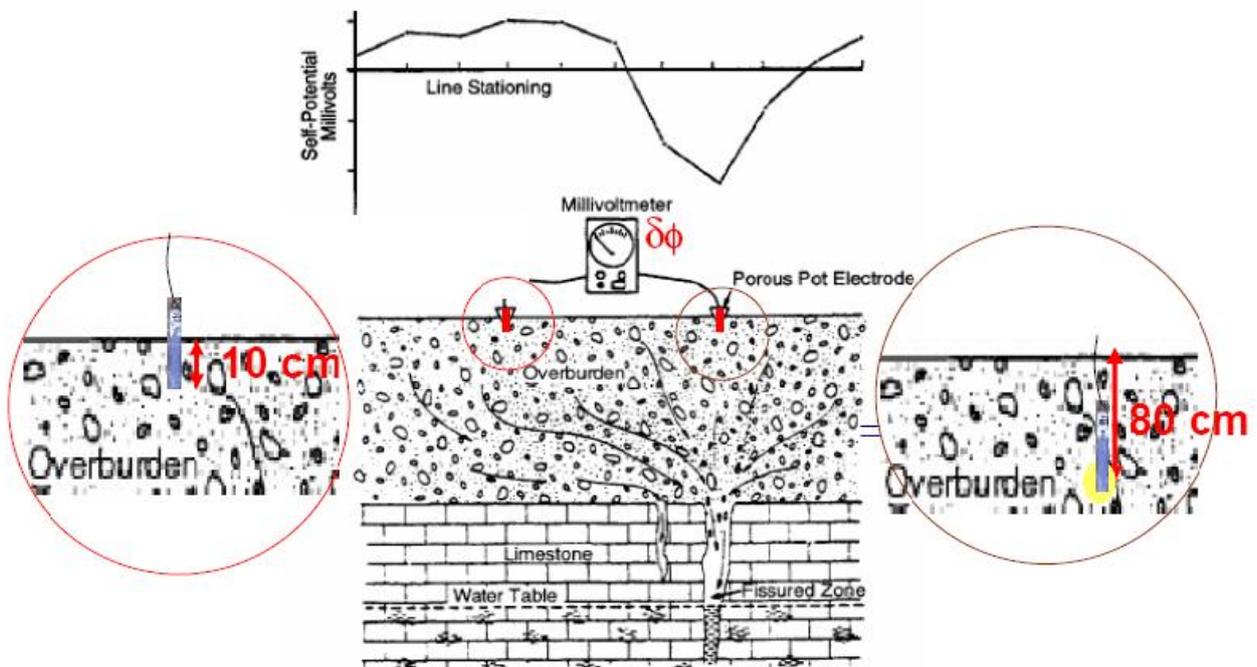
$$\delta P = C * \delta V \text{ ===== ELECTROCOUPLAGE}$$

Avec:  $C$ : coefficient de couplage (inversement proportionnel à la conductivité).

Cette relation n'est valable que si la différence de potentiel est bien mesurée au milieu des sources d'écoulement.

*Note:*  $C$  varie en fonction du temps et du milieu. On le choisit différemment en fonction du moment et de l'endroit où l'on travaille.

Il existe ensuite plusieurs outils d'analyse visant à reconstruire la géométrie d'une circulation hydrique à partir des mesures PS: surface SPS, méthode de Fournier, tomographie de probabilité d'occurrence des charges, méthodes électrographiques, analyse par ondelettes, déconvolution de l'équation d'Euler. Ils donnent



(Fig. from Ogilvy and Bogoslovsky, 1979)

des résultats variables et s'adaptent souvent à un environnement bien spécifique.

## Annexe 9: Tableaux des dates effectives d'enregistrement des réseaux PS

### OCTOBRE 2005

<i>profil</i>	<i>Date début enr</i>	<i>Date fin enr</i>
A (mauvais format dates)	21/10/05 14H24	01/11/05 00H00
C	20/10/05 12H33	01/11/05 00H00

### NOVEMBRE 2005

<i>profil</i>	<i>Date début enr</i>	<i>Date fin enr</i>
A	01/11/05 00H01	01/12/05 00H00
C	01/11/05 00H01	09/11/2005 12H46

### DECEMBRE 2005

<i>profil</i>	<i>Date début enr</i>	<i>Date fin enr</i>
A	01/12/05 00H00	01/01/06 00H00
C	10/12/05 10H09	01/01/06 00H00

### JANVIER 2006

<i>profil</i>	<i>Date début enr</i>	<i>Date fin enr</i>
A	01/01/06 00H01	01/02/06 00H00
C	01/01/06 00H01	01/02/06 00H00

### FEVRIER 2006

<i>profil</i>	<i>Date début enr</i>	<i>Date fin enr</i>
A	01/02/06 00H01	01/03/06 00H00
C	01/02/06 00H01	01/03/06 00H00

### MARS 2006

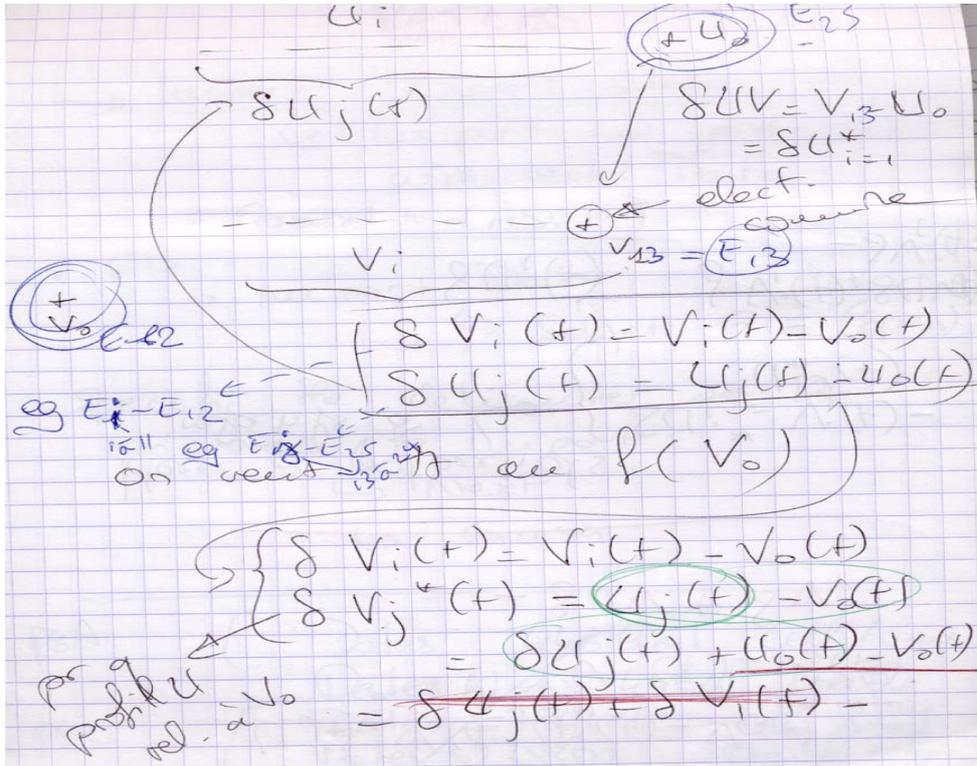
<i>profil</i>	<i>Date début enr</i>	<i>Date fin enr</i>
A	01/03/06 00H01	01/04/06 00H00
C	01/03/06 00H01	01/04/06 00H00

### AVRIL 2006

<i>profil</i>	<i>Date début enr</i>	<i>Date fin enr</i>
A	01/04/06 00H01	01/05/06 00H00
C	01/04/06 00H01	01/05/06 00H00

### MAI 2006

profil	Date début enr	Date fin enr
A	01/05/06 00H01	01/06/06 00H00
C	01/05/06 00H01	01/06/06 00H00



**Annexe 10: Elaboration des équations de changement de référence**

**Script:**

%Définition des matrices:

```
EA_E12=[E1E12 E2E12 E3E12 E4E12 E5E12 E6E12 E7E12 E8E12 E9E12 E10E12 E11E12 zeros(size(E1E12))
E13AE12];
```

```
EC_E25=[E13E25 E14E25 E15E25 E16E25 E17E25 E18E25 E19E25 E20E25 E21E25 E22E25 E23E25 E24E25
zeros(size(E14E25))];
```

%nettoyage des données

```
[i0 j0] = find(abs(EA_E12) > 200) %Enlève les valeurs aberrantes du premier profil
```

```
EA_E12(i0,j0)=NaN;
```

```
[i0 j0] = find(abs(EC_E25) > 200) %enlève les valeurs aberrantes du deuxième profil
```

```
EC_E25(ij0)=NaN;
```

% format des matrices (selon le type de données choisir le bon

```

% formattage!!!)

% NOVEMBRE 2005 A>C (fin de C manquant)
% DeltaRef25_12= E13AE12(1:length(E13E25)) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne E13E12 pris
de la ligne 1 à la longueur de E13E25 (plus court ici) auquel on retrnche/add la diff entre les 2 ref.
%
% EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que
ECE25, il faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.
%
% EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) [ EC_E12 ; NaN*ones(size(EA_E12,1)-
size(EC_E12,1),size(EC_E25,2)) ] ]; %EACE12 est l'association des vecteurs EAE12 et ECE12 auxquels on
ajoute la aprtie inférieure de la matrice, non définie pour C (NaN) mais définie pour A.

% OCTOBRE & DECEMBRE 2005 A>C (début C manquant)
iLim=size(EA_E12,1)-size(EC_E25,1)
DeltaRef25_12= E13AE12(iLim:length(E13AE12)-1) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne
E13AE12 pris de la ligne x (où démarre E13E25) à la longueur de E13AE12 (plus court ici) auquel on
retrnche/add la diff entre les 2 ref.

EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que ECE25, il
faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.

EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) [ NaN*ones(size(EA_E12,1)-size(EC_E12,1),size(EC_E25,2));
EC_E12 ] ]; %EACE12 est l'association des vecteurs EAE12 et ECE12 auxquels on ajoute la aprtie inférieure de
la matrice, non définie pour C (NaN) mais définie pour A.

```

-

-

## - **Annexe 11: Moyenne glissante MATLAB**

### **Version1 (Pierre-Daniel Matthey)**

```
function [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( L, Y, Pas, Coul, DelOld )
```

```
%Syntaxe:
```

```
% [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( L, Y, Pas, Coul, DelOld );
```

```
%
```

```
% "MG" retourne dans Ymg la "moyenne glissante" de Y effectuée à l'aide
```

```
% d'une fenetre rectangulaire de largeur L, centrée sur l'abscisse "glissante".
```

```
%
```

```
% Si la largeur de fenetre L n'est pas précisée en argument, elle vaut 11 par
```

```
% défaut. Pour une question de symétrie, il vaut mieux choisir L impair.
```

```
% Pour limiter les effets de bords, c'est à dire pour que la moyenne ne tende pas
```

```
% vers zero aux extrémités, la valeur de Ymg est calculée sur une demi fenetre
```

```
% au début et à la fin de la courbe (==> constante sur une longueur de L/2 ).
```

```
% Si L < length(Y), Ymg = Y.
```

```
%
```

```
% "Pas" permet de modifier le pas de glissement de la fenetre. Par défaut le pas
```

```
% est de une unité (==> glissement avec la plus haute résolution possible).
```

```
% Un pas de L/2 par exemple permet un glissement plus rapide (traitement plus rapide),
```

```
% mais le chevauchement de 2 fenetres successive n'est plus que de 50% ==> perte de
```

```
% résolution.
```

```
%
```

```
% Si Y n'est pas précisé, MG cherche à trouver une "ligne" (ou courbe) sur la figure
```

```
% courante. Par défaut, MG prend la "dernière" courbe (dernier handle) des axes
```

```
% courants, qui correspond en fait à la première courbe tracée (originale).
```

```
% Mais si Y introduit est un scalaire, il doit correspondre à l'indice de la courbe
```

```
% à traiter (ordre chronologique inv. des courbes créées dans les axes courants).
```

```
% Ymg est alors tracée sur les memes axes, son nouvel handle étant retourné
```

```
% dans hNewL.
```

```
% Le handle de la courbe originale est stocké dans hOldL et peut ainsi facilement
```

```
% etre détruit via un delete(hOldL) (==> effacement de la courbe).
```

```
% hOldLs est un tableau contenant les handles de toutes les anciennes courbes.
```

```

%
% "Coul" permet de préciser la couleur de la courbe moyennée à tracer, par
% défaut Coul = 'r' (rouge). Si Coul n'est pas un string, doit être un code
% RGB (vecteur de 3 valeurs normalisées entr 0 et 1)
%
% DelOld permet d'indiquer si on souhaite détruire les courbes précédentes ou non:
% DelOld = 0 ==> Toutes les courbes sont conservées
% DelOld = 1 ==> La courbe précédente est détruite (sauf si originale): défaut
% DelOld = 2 ==> Les courbes précédentes sont détruites hormis l'originale
% DelOld = -1 ==> La courbe originale seule est détruite (si elle était la 1ère!)
% DelOld = -2 ==> Toutes les courbes précédentes sont détruites.
%
% Les valeurs originales de Y sont recopiées dans Yorg, ainsi que les valeurs
% originales de l'axe des abscisses dans Xorg, le cas échéant (c'est à dire toutes
% les valeurs, même non affichées, si hors de la partie zoomée par exemple).
%
% Exemples:
%   Ymg = MG( 1000 );
%   [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs] = MG( 240, [], [], 'c', 2 );
%   [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs] = MG( 240, [], [120], 'g', 0 );
%
% Auteur: Pierre-D.MATTHEY - Dernière modification le 20/06/2006

%if nargin<1
  %error("'MoyGliss" nécessite au moins 1 argument')
  %return
%end

%Initialisation des arguments de sortie:
hOldL = [];
hNewL = [];

if ~exist('L') | isempty(L)
  L = 16 %Largeur de fenetre par default
end
if ~exist('Pas') | isempty(Pas)
  Pas = 1; %Pas de glissement (1 par défaut)
end
if ~exist('Y') | isempty(Y) | (length(Y)==1) %prend les données de la figure courante...

```

```

if isempty(findobj(0,'Type','Axes'))
    error("'MG" nécessite au moins 1 argument, ou des Axes ouverts')
    return
else
    hOldLs = findobj(gca,'Type','Line');
    IndL = [];
    if exist('Y') & ~isempty(Y) %alors length(Y)==1 ...
        IndL = Y; %... donné en argument
    else
        IndL = length(hOldLs);
    end
    if isempty(hOldLs) | (IndL > length(hOldLs))
        error('Courbe inexistante dans les axes courants!')
        return
    else
        hOldL = hOldLs(IndL);
        disp(sprintf('Courbe trouvée sur axes courants: h=%d',hOldL))
    end
end
XLims = XLim;
Xorg = get(hOldL,'XData');
%if iscell(Xorg)
% Xorg = Xorg{IndL,:}; %au cas ou il y a plusieurs courbes tracées...
%end
Yorg = get(hOldL,'YData');
Inds = find( (Xorg >= XLims(1)) & (Xorg <= XLims(2)) );
X = Xorg(Inds);
Y = Yorg(Inds);
else %Y existe...
    Yorg = Y;
    X = 1:length(Y);
    Xorg = X;
end
if ~exist('Coul') | isempty(Coul)
    Coul = 'r'; %Couleur rouge par défaut
end
if ~exist('DelOld') | isempty(DelOld)
    DelOld = 1; %Par défaut, la courbe précédente est détruite si n'est pas originale
end

```

```

disp(sprintf('Largeur de fenetre: %d, Pas=%d, longueur de l"échantillon: %d',L,Pas,length(Y)))

if L>length(Y)
    Ymg = Y;
    disp('fonction identité...')
else
    DL = floor(L/2); %demi-largeur de la fenetre

    IndNb1 = find(~isnan(Y(1:DL)));
    if isempty(IndNb1)
        Ymg(1:DL) = NaN;
    else
        Ymg(1:DL) = mean(Y(IndNb1)); %moyenne des DL premières valeurs non NaN
    end

    IndX = [DL+1:Pas:length(X)-DL]; %Indices pour lesquels la moyenne sera calculée

    hwb = waitbar(DL/length(Y),'Calcul de la moyenne glissante en cours...');
    tic
    for k = IndX
        %Ymg(k) = sum(Y(k-DL:k+DL))/L; %ou...

        %Ymge(k) = mean(Y( k-DL:k+DL )); %calcul moyenne glissante...
        %(NB: toutes les valeurs pour k!=IndX sont nulles!)

        Yaux = Y( k-DL:k+DL ); %Vecteur de la "tranche" à traiter...
        IndNb = find(~isnan(Yaux));
        if isempty(IndNb)
            Ymge(k) = NaN;
        else
            Ymge(k) = mean(Yaux(IndNb)); %calcul moyenne glissante en ignorant les NaN...
        end
        hwb = waitbar(k/(length(X)-DL)); %remttre "hwb=" pour que close OK dans DataLoggFig!...
    end
    t=toc;
    disp(sprintf('Temps de calcul de la "MG": %.3d secondes',t))
    close(hwb)
    tic

    k1 = IndX(1); %=DL+1

```

```

LastNaN = isnan(Ymg(DL)); %Initialisation: moyenne de la derniere "tranche"...
for k = IndX %"vraies" valeurs...
    k2 = k;
    if isnan(Ymge(k))
        if LastNaN
            Ymg(k1:k2) = NaN; %vecteur ligne...
        elseif length(intersect(k1:k2-1,IndX)) < 2 %un seul élément dans l'intervalle...
            Ymg(k) = Ymge(k);
        else %interpoler depuis le dernier NaN (ou depuis le début...)
            if isnan(Ymg(k1-1))
                Ymg(k1:k2-1) = NaN; %ou à k1+Pas?...
                k1 = k2;
            end
            %          Ymg(k1:k2-Pas) = interp1(X(intersect(k1:k2-Pas,IndX)),Ymge(intersect(k1:k2-Pas,IndX)),X(k1:k2-
            Pas),'spline');
            %          Ymg(k2-Pas+1:k2) = NaN;
            Ymg(k1:k2-Pas) = interp1(X(intersect(k1:k2-Pas,IndX)),Ymge(intersect(k1:k2-Pas,IndX)),X(k1:k2-
            Pas),'spline');
            Ymg(k2-Pas+1:k2) = NaN; % modif -Pas en +Pas pour interpol bords
        end
        LastNaN = 1;
        k1 = k2+1;
    else %Ymge(k) n'est pas un NaN
        if k==IndX(end) %derniere tranche...
            if isnan(Ymg(k1-1))
                Ymg(k1:k2) = NaN;
                %k1 = k1+Pas+1;
            end
            if (length(intersect(k1:k2-1,IndX)) < 2) %NB: on a encore k2=k ...
                Ymg(k) = Ymge(k); %pas d'interpolation car un seul élément!
            else
                % SI MATRICES TAILLE DIFF AVEC NAN (eg: NOV 2005)
                Ymg(k1:k2-Pas) = interp1(X(intersect(k1:k2-Pas,IndX)),Ymge(intersect(k1:k2-Pas,IndX)),X(k1:k2-
                Pas),'spline');
                % SI MATRICES MEME TAILLE SANS NAN POUR BONNE INTERPOL FIN (eg:
                % JAN 2006)
                %          Ymg(k1:k2+Pas) =
                interp1(X(intersect(k1:k2+Pas,IndX)),Ymge(intersect(k1:k2+Pas,IndX)),X(k1:k2+Pas),'spline');
                %%%%%%%%%Ymg(k2-Pas+1:k2) = NaN;
            end
        end
    end
end

```

```

    LastNaN = 0;
end %if isnan
end %for k=IndX

%%%%Ymg = interp1(X(IndX),Ymge(IndX),X,'linear'); %OK mais il y a mieux!:
%Ymg = interp1(X(IndX),Ymge(IndX),X,'spline');
%%%%Ymg = interp1q(X(IndX),Ymge(IndX),X); %ne fonctionne pas bien?...
t=toc;
%disp(sprintf('Temps de calcul de l"interpolation: %.3d secondes',t))
    %moins de 0.5s pour length(X)=70000... ==> négligeable

%Dernière "tranche": moyenne simple sur les DL derniers échantillons:
IndNb2 = find(~isnan( Y(length(X)-DL+1:length(X)) )); %length(Y) ou length(X)...
if isempty(IndNb2)
    Ymg( length(X)-DL+1:length(X) ) = NaN;
else
    Ymg( length(X)-DL+1:length(X) ) = mean(Y(IndNb2)); %moyenne des DL dernières valeurs non NaN
end

%Ymg(length(X)-DL+1:length(X)) = mean(Y(length(X)-DL+1:length(X)));

if ~isempty(hOldL) %Courbe à tracer...
    %set(hOldL,'YData',Ymg)
    hold on
    if isstr(Coul)
        hNewL = plot(X,Ymg,Coul);
    else %code RGB
        hNewL = plot(X,Ymg);
        set(hNewL,'color',Coul)
    end
    switch DelOld
    case 1
        if length(hOldLs)>1
            delete(hOldLs(1))
        end
    case 2
        if length(hOldLs)>1
            delete(hOldLs(1:end-1))
        end
    case -1

```

```

    if length(hOldLs)==1
        delete(hOldLs)
    else
        delete(hOldLs(end))
    end
case -2
    delete(hOldLs)
otherwise
end %switch
end
end

```

## Version2 (Pascal Sailhac)

```

function [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MGPS( L, Y, Pas, Coul, DelOld )
%Syntaxe:
% [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MGPS( L, Y, Pas, Coul, DelOld );
%
% "MGPS" retourne dans Ymg la "moyenne glissante" de Y effectuée à l'aide
% d'une fenetre rectangulaire de largeur L, centrée sur l'abscisse "glissante".
%
% Si la largeur de fenetre L n'est pas précisée en argument, elle vaut 11 par
% défaut. Pour une question de symétrie, il vaut mieux choisir L impair.
% Pour limiter les effets de bords, c'est à dire pour que la moyenne ne tende pas
% vers zero aux extrémités, la valeur de Ymg est calculée sur une demi fenetre
% au début et à la fin de la courbe (==> constante sur une longueur de L/2 ).
% Si L < length(Y), Ymg = Y.
%
% "Pas" permet de modifier le pas de glissement de la fenetre. Par défaut le pas
% est de une unité (==> glissement avec la plus haute résolution possible).
% Un pas de L/2 par exemple permet un glissement plus rapide (traitement plus rapide),
% mais le chevauchement de 2 fenetres successive n'est plus que de 50% ==> perte de
% résolution.
%
% Si Y n'est pas précisé, MG cherche à trouver une "ligne" (ou courbe) sur la figure
% courante. Par défaut, MG prend la "dernière" courbe (dernier handle) des axes
% courants, qui correspond en fait à la première courbe tracée (originale).
% Mais si Y introduit est un scalaire, il doit correspondre à l'indice de la courbe
% à traiter (ordre chronologique inv. des courbes créées dans les axes courants).
% Ymg est alors tracée sur les memes axes, son nouvel handle étant retourné
% dans hNewL.

```

```

% Le handle de la courbe originale est stocké dans hOldL et peut ainsi facilement
% etre détruit via un delete(hOldL) (==> effacement de la courbe).
% hOldLs est un tableau contenant les handles de toutes les anciennes courbes.
%
% "Coul" permet de préciser la couleur de la courbe moyennée à tracer, par
% défaut Coul = 'r' (rouge). Si Coul n'est pas un string, doit etre un code
% RGB (vecteur de 3 valeurs normalisées entr 0 et 1)
%
% DelOld permet d'indiquer si on souhaite détruire les courbes précédentes ou non:
% DelOld = 0 ==> Toutes les courbes sont conservées
% DelOld = 1 ==> La courbe précédente est détruite (sauf si originale): défaut
% DelOld = 2 ==> Les courbes précédentes sont détruites hormis l'originale
% DelOld = -1 ==> La courbe originale seule est détruite (si elle était la 1ère!)
% DelOld = -2 ==> Toutes les courbes précédentes sont détruites.
%
% Les valeurs originales de Y sont recopiées dans Yorg, ainsi que les valeurs
% originales de l'axe des abcisses dans Xorg, le cas échéant (c'est à dire toutes
% les valeurs, meme non affichées, si hors de la partie zoomée par exemple).
%
% Exemples:
%   Ymg = MG( 1000 );
%   [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs] = MG( 240, [], [], 'c', 2 );
%   [Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs] = MG( 240, [], [120], 'g', 0 );
%
% Auteurs: Pierre-D.MATTHEY (MG.m)- Dernière modification le 20/06/2006
%   Pascal Sailhac (MGPS.m)- Dernière modification le 22/06/2006

if nargin<1
    error("'MoyGliss" nécessite au moins 1 argument')
    return
end

%Initialisation des arguments de sortie:
hOldL = [];
hNewL = [];

if ~exist('L') | isempty(L)
    L = 16 %Largeur de fenetre par defaut
end
80

```

```

if ~exist('Pas') | isempty(Pas)
    Pas = 1; %Pas de glissement (1 par défaut)
end
if ~exist('Y') | isempty(Y) | (length(Y)==1) %prend les données de la figure courante...
    if isempty(findobj(0,'Type','Axes'))
        error("'MG" nécessite au moins 1 argument, ou des Axes ouverts')
        return
    else
        hOldLs = findobj(gca,'Type','Line');
        IndL = [];
        if exist('Y') & ~isempty(Y) %alors length(Y)==1 ...
            IndL = Y; %... donné en argument
        else
            IndL = length(hOldLs);
        end
        if isempty(hOldLs) | (IndL > length(hOldLs))
            error('Courbe inexistante dans les axes courants!')
            return
        else
            hOldL = hOldLs(IndL);
            disp(sprintf(' Courbe trouvée sur axes courants: h=%d',hOldL))
        end
    end
end
XLims = XLim;
Xorg = get(hOldL,'XData');
%if iscell(Xorg)
% Xorg = Xorg{IndL,:}; %au cas ou il y a plusieurs courbes tracées...
%end
Yorg = get(hOldL,'YData');
Inds = find( (Xorg >= XLims(1)) & (Xorg <= XLims(2)) );
X = Xorg(Inds);
Y = Yorg(Inds);
else %Y existe...
    Yorg = Y;
    X = 1:length(Y);
    Xorg = X;
end
if ~exist('Coul') | isempty(Coul)
    Coul = 'r'; %Couleur rouge par défaut
end

```

```

if ~exist('DelOld') | isempty(DelOld)
    DelOld = 1; %Par défaut, la courbe précédente est détruite si n'est pas originale
end

disp(sprintf(' Largeur de fenetre: %d, Pas=%d, longueur de l"échantillon: %d',L,Pas,length(Y)))

if L>length(Y)
    Ymg = Y;
    disp(' fonction identité...')
else
    DL = floor(L/2); %demi-largeur de la fenetre
    kk=0;          %indice de comptage des fenetres glissantes (y-compris les bordures)

%%Calcul des moyennes glissantes
tic

%Première "tranche": moyenne simple sur les DL premiers échantillons
IndNb1 = find(~isnan(Y(1:DL)));
if ~isempty(IndNb1)
    kk=kk+1;
    Ymge(kk) = mean(Y(IndNb1)); %moyenne des DL premières valeurs non NaN
    Xmge(kk) = mean(X(IndNb1)); %date de la moyenne glissante ignorant les NaN...
end

%"tranches" intermédiaires de longueur 2DL
IndX = [DL+1:Pas:length(X)-DL]; %Indices pour lesquels la moyenne sera calculée
hwb = waitbar(DL/length(Y),'Calcul de la moyenne glissante en cours...');
for k = IndX
    Yaux = Y( k-DL:k+DL );          %Vecteur de la "tranche" à traiter...
    IndNb = find(~isnan(Yaux));
    if ~isempty(IndNb),            %seulement pour les fenetres n'ayant pas que des NaN...
        kk=kk+1;
        Ymge(kk) = mean(Yaux(IndNb)); %calcul de la moyenne glissante en ignorant les NaN...
        Xmge(kk) = mean(X(k-DL-1+IndNb)); %date de la moyenne glissante ignorant les NaN...
    end
    hwb = waitbar(k/(length(X)-DL)); %remetre "hwb=" pour que close OK dans DataLoggFig!...
end
close(hwb)

```

```

%Dernière "tranche": moyenne simple sur les DL derniers échantillons:
IndNb2 = find(~isnan( Y(length(X)-DL+1:length(X)) )); %length(Y) ou length(X)...
if ~isempty(IndNb2)
    kk=kk+1;
    Ymge(kk) = mean(Y(length(X)-DL+IndNb2)); %moyenne des DL dernières valeurs non NaN
    Xmge(kk) = mean(X(length(X)-DL+IndNb2)); %date de la moyenne glissante ignorant les NaN...
end

```

```

t=toc;
disp(sprintf(' Temps de calcul de la "MG" : %.3d secondes',t))
disp(sprintf(' Nombre de fenetres n"ayant pas que des NaN : %d',kk))

```

```

%%Interpolation entre moyennes glissantes

```

```

tic

```

```

Ymg = interp1(Xmge,Ymge,X,'spline'); %interpolation tout le temps

```

```

IndNan = find(isnan(Y)); Ymg(IndNan)=NaN; %masquage des dates sans données

```

```

t=toc;

```

```

disp(sprintf(' Temps de calcul de l"interpolation : %.3d secondes',t))

```

```

if ~isempty(hOldL) %Courbe à tracer...

```

```

    %set(hOldL,'YData',Ymg)

```

```

    hold on

```

```

    if isstr(Coul)

```

```

        hNewL = plot(X,Ymg,Coul);

```

```

    else %code RGB

```

```

        hNewL = plot(X,Ymg);

```

```

        set(hNewL,'color',Coul)

```

```

    end

```

```

    switch DelOld

```

```

        case 1

```

```

            if length(hOldLs)>1

```

```

                delete(hOldLs(1))

```

```

            end

```

```

        case 2

```

```

            if length(hOldLs)>1

```

```

                delete(hOldLs(1:end-1))

```

```

            end

```

```

        case -1

```

```

            if length(hOldLs)==1

```

```

                delete(hOldLs)

```





```

% % else : garde les NaN
% end
% end

%Conversion en données relatives

EA_E12=[E1E12 E2E12 E3E12 E4E12 E5E12 E6E12 E7E12 E8E12 E9E12 E10E12 E11E12 zeros(size(E1E12))
E13AE12];
EC_E25=[E13E25 E14E25 E15E25 E16E25 E17E25 E18E25 E19E25 E20E25 E21E25 E22E25 E23E25 E24E25
zeros(size(E14E25))];

%nettoyage des données

[i0 j0] = find(abs(EA_E12) > 200) %Enlève les valeurs aberrantes du premier profil (>200 car électrode calibrée à
200mV)
EA_E12(i0,j0)=NaN;

figure
plot(DatesN,EA_E12)
grid on
hold on
legend(gca,{'E1','E2','E3','E4','E5','E6','E7','E8', 'E9', 'E10', 'E11', 'E12', 'E13'})
PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
title(sprintf('PS profil A/E12 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
ylabel('[mV]')
set(gca,'YLim',[-100 100])
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
Ticks = get(gca,'XTick');
sTicks = [];
for Ind = 1:length(Ticks)
    if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
    else
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
    end
end
end
%set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
set(gca,'xTickLabel', sTicks)

```

```

%if0
%set(gca,'YLim',[0 0.7])

OldAxis = Axis;
pause

[i0 j0] = find(abs(EC_E25) > 200) %enlève les valeurs aberrantes du deuxième profil
EC_E25(i0,j0)=NaN;

figure
plot(DatesN,EC_E25)
grid on
hold on
legend(gca,{'E13','E14','E15','E16','E17','E18','E19','E20', 'E21', 'E22', 'E23', 'E24', 'E25'})
PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
title(sprintf('PS profil C/E25 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
ylabel('[mV]')
set(gca,'YLim',[-500 500])
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
Ticks = get(gca,'XTick');
sTicks = [];
for Ind = 1:length(Ticks)
    if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
    else
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
    end
end
end
%set(gca,'XTickLabel', datestr(Ticks,19))
set(gca,'XTickLabel', sTicks)

%if0
%set(gca,'YLim',[0 0.7])

OldAxis = Axis;
pause

```

DeltaRef25\_12= E13AE12(1:length(E13E25)) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne E13E12 pris de la ligne 1 à la longueur de E13E25 (plus court ici) auquel on retrnche/add la diff entre les 2 ref.

EC\_E12 = EC\_E25 - repmat(DeltaRef25\_12,[1,size(EC\_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que ECE25, il faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.

```
figure
plot(DatesN,EC_E12) %fig2
grid on
hold on
legend(gca,{'E13','E14','E15','E16','E17','E18','E19','E20', 'E21', 'E22', 'E23', 'E24', 'E25'})
PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
title(sprintf('PS profil C/E12 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
ylabel('[mV]')
set(gca,'YLim',[-500 500])
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
Ticks = get(gca,'XTick');
sTicks = [];
for Ind = 1:length(Ticks)
    if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
    else
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
    end
end
end
%set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
set(gca,'xTickLabel', sTicks)

%if0
%set(gca,'YLim',[0 0.7])

OldAxis = Axis;
pause

EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) EC_E12];
```

```
%Moyenne glissante
```

```
LFen = 1440; %1 jour
```

```
Pas = 720;
```

```
for j=1:size(EAC_E12,2)
```

```
    mg=MG(LFen,EAC_E12(:,j), Pas);
```

```
    Emg(:,j)=mg';
```

```
end
```

```
% [E25E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,24) , Pas);
```

```
% [E24E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,23) , Pas);
```

```
% [E23E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,22), Pas);
```

```
% [E22E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,21), Pas);
```

```
% [E21E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,20), Pas);
```

```
% [E20E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,19), Pas);
```

```
% [E19E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,18), Pas);
```

```
% [E18E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,17), Pas);
```

```
% [E17E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,16), Pas);
```

```
% [E16E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,15), Pas);
```

```
% [E15E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,14), Pas);
```

```
% [E14E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,13), Pas);
```

```
% [E13E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,12), Pas);
```

```
% [E11E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,11), Pas);
```

```
% [E10E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,10), Pas);
```

```
% [E9E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,9), Pas);
```

```
% [E8E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,8), Pas);
```

```
% [E7E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,7), Pas);
```

```
% [E6E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,6), Pas);
```

```
% [E5E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,5), Pas);
```

```
% [E4E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,4), Pas);
```

```
% [E3E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,3), Pas);
```

```
% [E2E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,2), Pas);
```

```
% [E1E12mg] = MG( LFen, EAC_E12(:,1), Pas);
```

```
%
```

```
% Emg=[E1E12mg' E2E12mg' E3E12mg' E4E12mg' E5E12mg' E6E12mg' E7E12mg' E8E12mg' E9E12mg'  
E10E12mg' E11E12mg' E13E12mg' E14E12mg' E15E12mg' E16E12mg' E17E12mg' E18E12mg' E19E12mg'  
E20E12mg' E21E12mg' E22E12mg' E23E12mg' E24E12mg' E25E12mg'];
```

```
figure
```

```

%subplot(2,1,1)
plot(DatesN,Emg)
%plot(E1,DatesN)
grid on
hold on
%legend(gca,{'E1','E2','E3','E4','E5','E6','E7','E8','E9','E10','E11','E13'})
%legend(gca,{'E11','E10','E8','E7','E6','E3','E2','E1'})
legend(gca,{'E1E12' 'E2E12' 'E3E12' 'E4E12' 'E5E12' 'E6E12' 'E7E12' 'E8E12' 'E9E12' 'E10E12' 'E11E12'
'E13E12' 'E14E12' 'E15E12' 'E16E12' 'E17E12' 'E18E12' 'E19E12' 'E20E12' 'E21E12' 'E22E12' 'E23E12' 'E24E12'
'E25E12'})

%[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, Y, 720, Coul, DelOld );
%[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, E1, 720, 'r', 1 );
%[E1mg] = MG( 1440, E1, 720);
%plot(DatesN,E1mg,'r')
%[E1mg] = MG( 10080, E1, 5040);
%plot(DatesN,E1mg,'g')

%title(sprintf('PS profil A (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
%%%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
title(sprintf('PS profil AetC/E12 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
ylabel('[mV]')
set(gca,'YLim',[-500 500])
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
Ticks = get(gca,'XTick');
sTicks = [];
for Ind = 1:length(Ticks)
    if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
    else
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
    end
end
end
%set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
set(gca,'xTickLabel', sTicks)

%if0
%set(gca,'YLim',[0 0.7])

```





```

%
% CAS où format dates= DMY HH:MM
% for k=1:length(Dates)
%   dstr=char(Dates(k));
%   if length(dstr)==16,
%
%   DatesN(k)=datenum(str2num(dstr(1:2)),str2num(dstr(4:5)),str2num(dstr(7:10)),str2num(dstr(12:13)),str2num(dstr
(15:16)),0);
%   % else : garde les NaN
%   end
% end

%Définition des matrices:

%EiE12=[E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8 E9 E10 E11 zeros(size(E1)) E13E12];
%EiE25=[E13E25 E14 E15 E16 E17 E18 E19 E20 E21 E22 E23 E24 zeros(size(E14))];
EA_E12=[E1E12 E2E12 E3E12 E4E12 E5E12 E6E12 E7E12 E8E12 E9E12 E10E12 E11E12 zeros(size(E1E12))
E13AE12];
EC_E25=[E13E25 E14E25 E15E25 E16E25 E17E25 E18E25 E19E25 E20E25 E21E25 E22E25 E23E25 E24E25
zeros(size(E14E25))];

%nettoyage des données

[i0 j0] = find(abs(EA_E12) > 200) %Enlève les valeurs aberrantes du premier profil
EA_E12(i0,j0)=NaN;

% figure
% plot(DatesN,EA_E12)
% grid on
% hold on
% legend(gca,{'E1','E2','E3','E4','E5','E6','E7','E8', 'E9', 'E10', 'E11', 'E12', 'E13'})
% PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
% %%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
% title(sprintf('PS profil A/E12 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
% ylabel('[mV]')
% set(gca,'YLim',[-100 100])
% set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
% PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
% Ticks = get(gca,'XTick');
% sTicks = [];
% for Ind = 1:length(Ticks)

```

```

% if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
%   sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
% else
%   sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
% end
% end
% %set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
% set(gca,'xTickLabel', sTicks)

%if0
%set(gca,'YLim',[0 0.7])

% OldAxis = Axis;
% pause

                [i0 j0] = find(abs(EC_E25) > 200) %enlève les valeurs aberrantes du deuxième profil
                EC_E25(i0,j0)=NaN;

% figure A FAIRE A PART (LireDatPSC): les dates ne correspondent pas, problème
de
                % dimensions de matrices
%                figure
%                plot(DatesN,EC_E25)
%                grid on
%                hold on
%                legend(gca,{'E13','E14','E15','E16','E17','E18','E19','E20', 'E21', 'E22', 'E23', 'E24',
'E25'})
%                PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
%                %%%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
%                title(sprintf('PS profil C/E25 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
%                ylabel('[mV]')
%                set(gca,'YLim',[-100 100])
%                set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
%                PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les
bonnes abscisses
%                Ticks = get(gca,'XTick');
%                sTicks = [];
%                for Ind = 1:length(Ticks)
%                if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
%                sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
%                else

```

```

%           sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
%
%           end
%
%           end
%           %set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
%           set(gca,'xTickLabel', sTicks)
%
%
%           %if0
%           %set(gca,'YLim',[0 0.7])
%
%           OldAxis = Axis;
%           pause

% format des matrices (selon le type de données choisir le bon
% formattage!!!)

% NOVEMBRE 2005 A>C (fin de C manquant)
% DeltaRef25_12= E13AE12(1:length(E13E25)) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne E13E12 pris
de la ligne 1 à la longueur de E13E25 (plus court ici) auquel on retrnche/add la diff entre les 2 ref.
%
% EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que
ECE25, il faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.
%
% EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) [ EC_E12 ; NaN*ones(size(EA_E12,1)-
size(EC_E12,1),size(EC_E25,2)) ] ]; %EACE12 est l'association des vecteurs EAE12 et ECE12 auxquels on
ajoute la aptie inférieure de la matrice, non définie pour C (NaN) mais définie pour A.

% OCTOBRE & DECEMBRE 2005 A>C (début C manquant)
iLim=size(EA_E12,1)-size(EC_E25,1)
DeltaRef25_12= E13AE12(iLim:length(E13AE12)-1) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne
E13AE12 pris de la ligne x (où démarre E13E25) à la longueur de E13AE12 (plus court ici) auquel on
retrnche/add la diff entre les 2 ref.

EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que ECE25, il
faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.

EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) [ NaN*ones(size(EA_E12,1)-size(EC_E12,1),size(EC_E25,2));
EC_E12 ] ]; %EACE12 est l'association des vecteurs EAE12 et ECE12 auxquels on ajoute la aptie inférieure de
la matrice, non définie pour C (NaN) mais définie pour A.

```

figure

```

plot(DatesN, [ NaN*ones(size(EA_E12,1)-size(EC_E12,1),size(EC_E25,2)); EC_E12 ])
grid on
hold on
legend(gca,{'E13','E14','E15','E16','E17','E18','E19','E20', 'E21', 'E22', 'E23', 'E24', 'E25'})
PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
title(sprintf('PS profil C/E12 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
ylabel('[mV]')
set(gca,'YLim',[-500 500])
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
Ticks = get(gca,'XTick');
sTicks = [];
for Ind = 1:length(Ticks)
    if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
    else
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
    end
end
%set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
set(gca,'xTickLabel', sTicks)

%if0
set(gca,'YLim',[0 0.7])

OldAxis = Axis;

%Moyenne glissante

LFen = 1440; %1 jour
Pas = 720;
for j=1:size(EAC_E12,2)
    mg=MGPS(LFen,EAC_E12(:,j), Pas);
    Emg(:,j)=mg';
end

% [E24E12mg] = MG( LFen, E24E12, Pas); %autre manière de faire MG, "à la

```

```

% main".....
% [E23E12mg] = MG( LFen, E23E12, Pas);
% [E22E12mg] = MG( LFen, E22E12, Pas);
% [E21E12mg] = MG( LFen, E21E12, Pas);
% [E20E12mg] = MG( LFen, E20E12, Pas);
% [E19E12mg] = MG( LFen, E19E12, Pas);
% [E18E12mg] = MG( LFen, E18E12, Pas);
% [E17E12mg] = MG( LFen, E17E12, Pas);
% [E16E12mg] = MG( LFen, E16E12, Pas);
% [E15E12mg] = MG( LFen, E15E12, Pas);
% [E14E12mg] = MG( LFen, E14E12, Pas);
% [E13E12mg] = MG( LFen, E13E12, Pas);
% [E11E12mg] = MG( LFen, E11E12, Pas);
% [E10E12mg] = MG( LFen, E10E12, Pas);
% [E9E12mg] = MG( LFen, E9E12, Pas);
% [E8E12mg] = MG( LFen, E8E12, Pas);
% [E7E12mg] = MG( LFen, E7E12, Pas);
% [E6E12mg] = MG( LFen, E6E12, Pas);
% [E5E12mg] = MG( LFen, E5E12, Pas);
% [E4E12mg] = MG( LFen, E4E12, Pas);
% [E3E12mg] = MG( LFen, E3E12, Pas);
% [E2E12mg] = MG( LFen, E2E12, Pas);
% [E1E12mg] = MG( LFen, E1E12, Pas);
%
% Emg=[E1E12mg' E2E12mg' E3E12mg' E4E12mg' E5E12mg' E6E12mg' E7E12mg' E8E12mg' E9E12mg'
E10E12mg' E11E12mg' E13E12mg' E14E12mg' E15E12mg' E16E12mg' E17E12mg' E18E12mg' E19E12mg'
E20E12mg' E21E12mg' E22E12mg' E23E12mg' E24E12mg'];

```

figure

```

%subplot(2,1,1)
plot(DatesN,Emg)
%plot(E1,DatesN)
grid on
hold on
%legend(gca,{'E1','E2','E3','E4','E5','E6','E7','E8','E9','E10','E11','E13'})
%legend(gca,{'E11','E10','E8','E7','E6','E3','E2','E1'})
legend(gca,{'E1E12' 'E2E12' 'E3E12' 'E4E12' 'E5E12' 'E6E12' 'E7E12' 'E8E12' 'E9E12' 'E10E12' 'E11E12'
'E13E12' 'E14E12' 'E15E12' 'E16E12' 'E17E12' 'E18E12' 'E19E12' 'E20E12' 'E21E12' 'E22E12' 'E23E12'
'E24E12'})

%[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, Y, 720, Coul, DelOld );

```

```

%[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, E1, 720, 'r', 1 );
%[E1mg] = MG( 1440, E1, 720);
%plot(DatesN,E1mg,'r')
%[E1mg] = MG( 10080, E1, 5040);
%plot(DatesN,E1mg,'g')

%title(sprintf('PS profil A (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
%%%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
title(sprintf('PS profil AetC/E12 (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
ylabel('[mV]')
set(gca,'YLim',[-25 25])
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
Ticks = get(gca,'XTick');
sTicks = [];
for Ind = 1:length(Ticks)
    if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
    else
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
    end
end
%set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
set(gca,'xTickLabel', sTicks)

%if0
%set(gca,'YLim',[0 0.7])

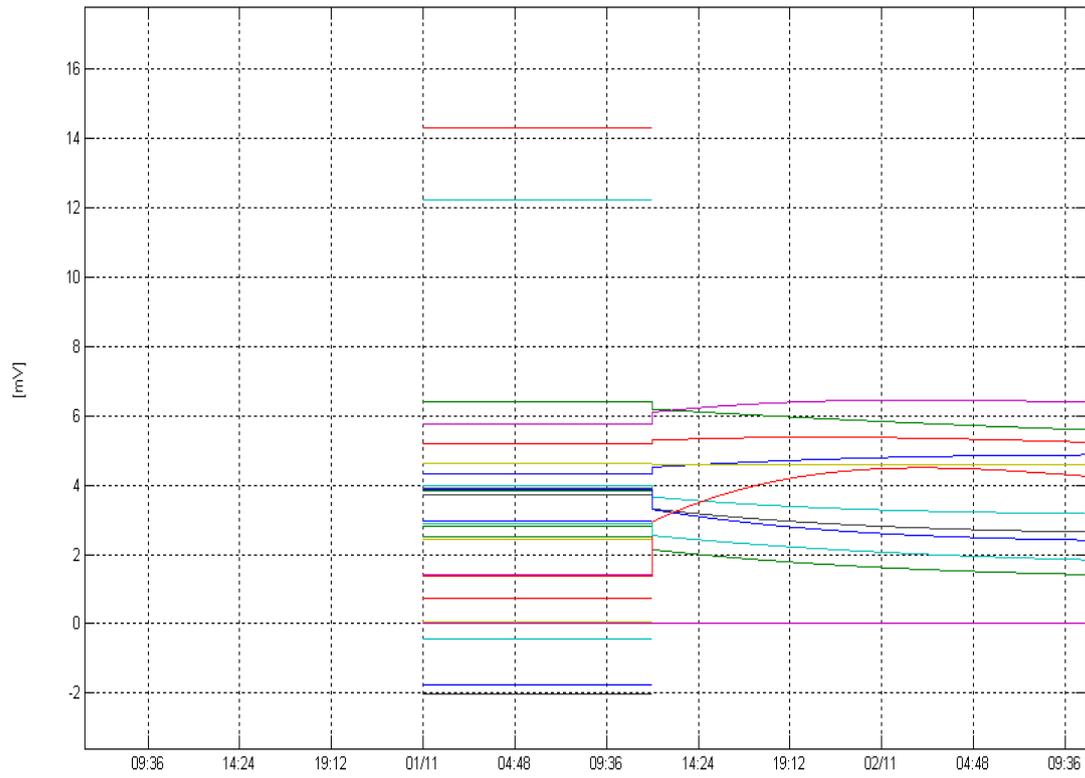
OldAxis = Axis;

%open PS1_1.fig
%open PS1_2.fig
%open T1_1.fig
%open T1_2.fig

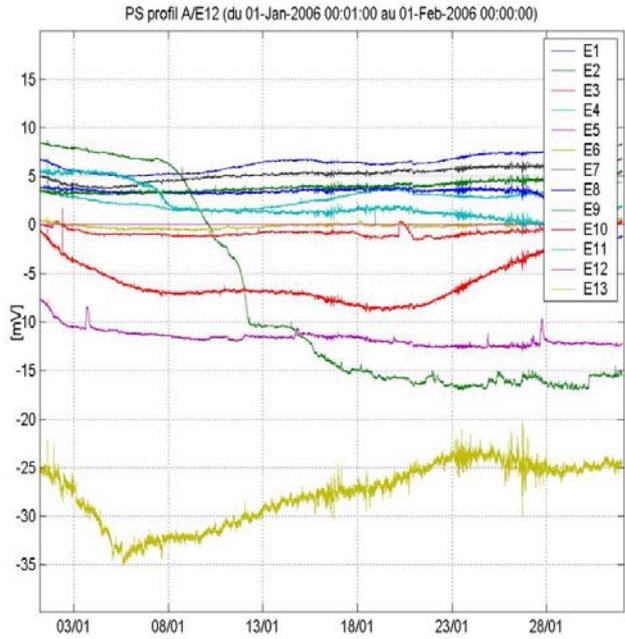
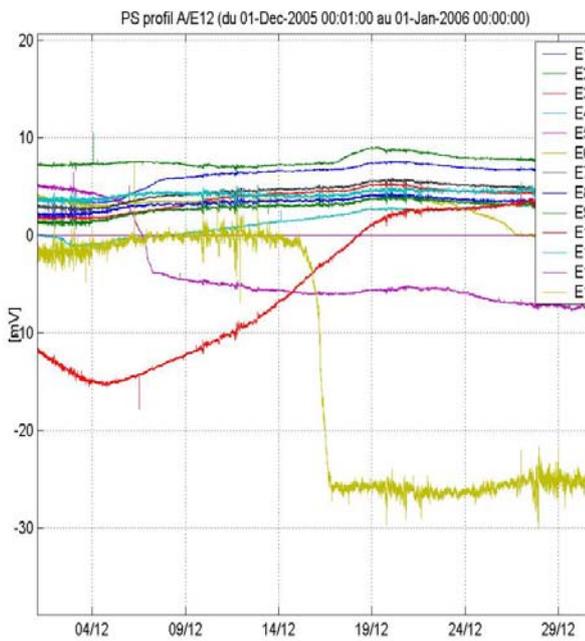
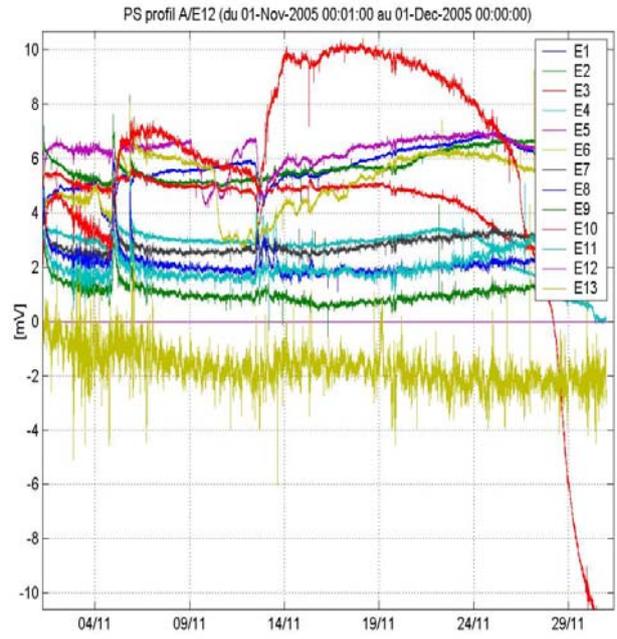
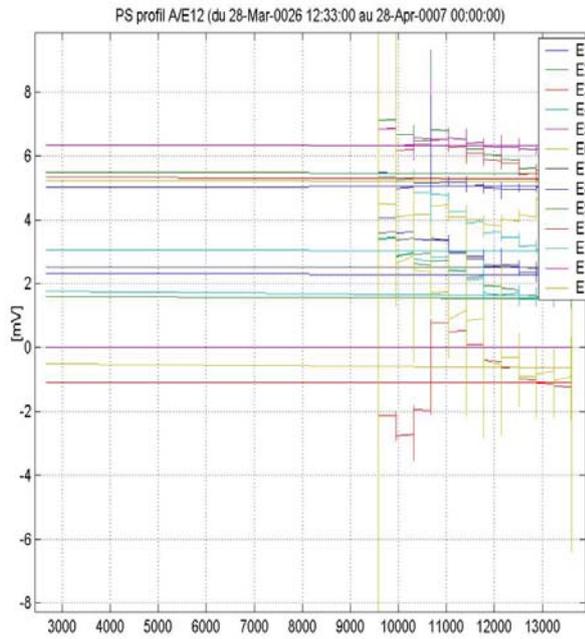
```

- **Annexe 13: Visualisation de l'effet de bord**

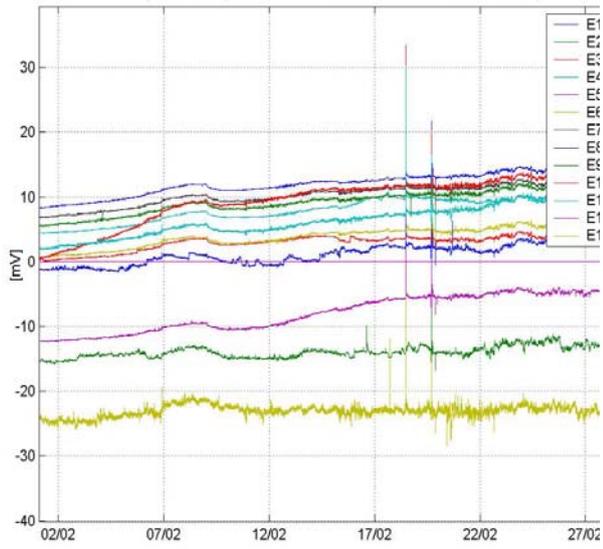
PS profil AetC/E12 (du 01-Nov-2005 00:01:00 au 01-Dec-2005 00:00:00)



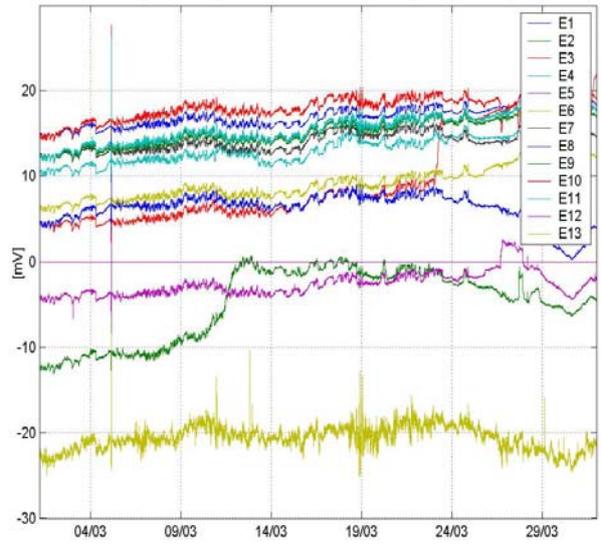
- **Annexe 14: Courbes de PS en fonction du temps, par mois**  
**Sans moyenne glissante: A par rapport à E12**



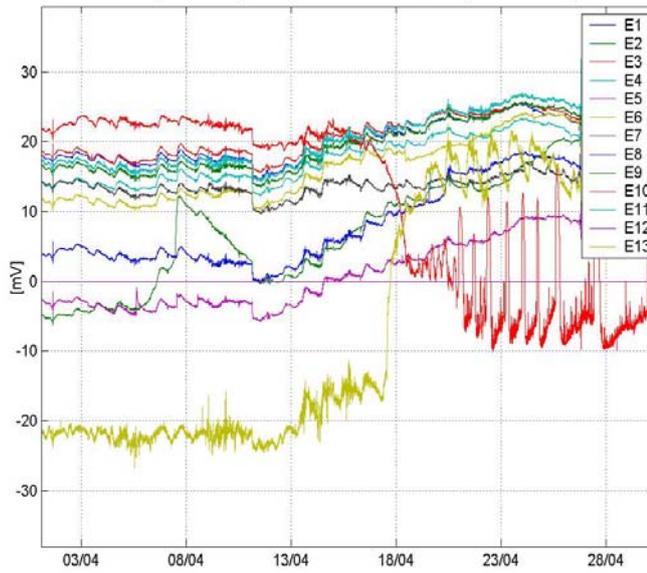
PS profil A/E12 (du 01-Feb-2006 00:01:00 au 01-Mar-2006 00:00:00)



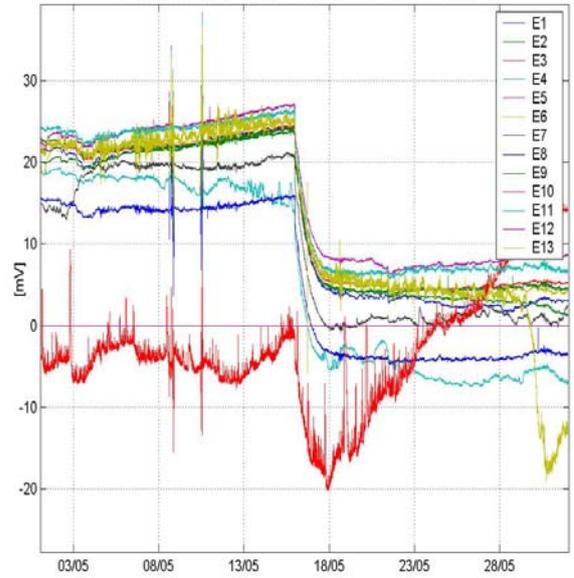
PS profil A/E12 (du 01-Mar-2006 00:01:00 au 01-Apr-2006 00:00:00)



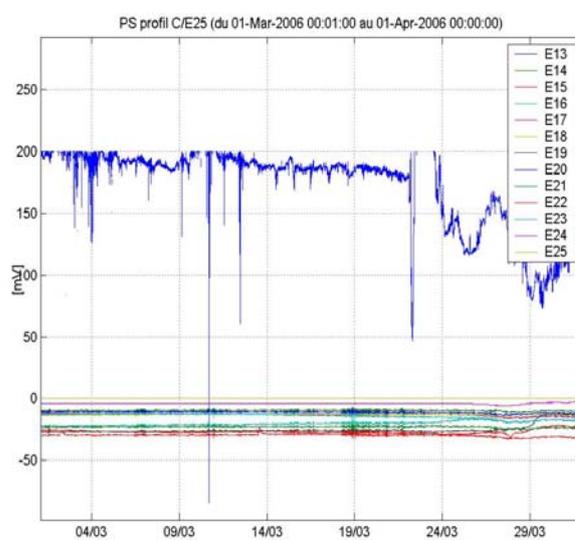
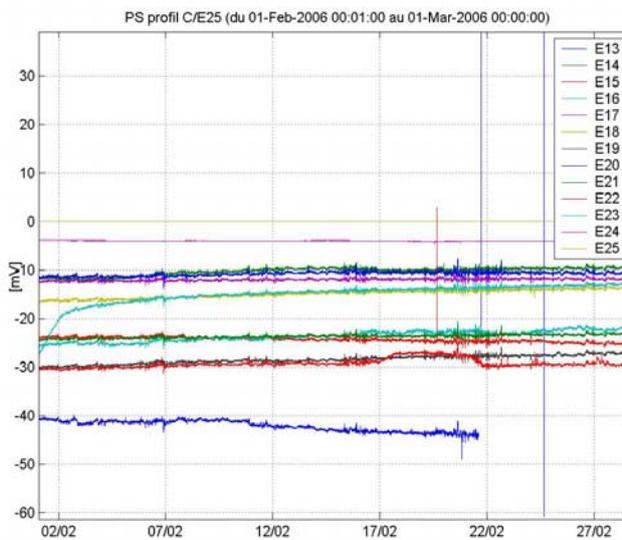
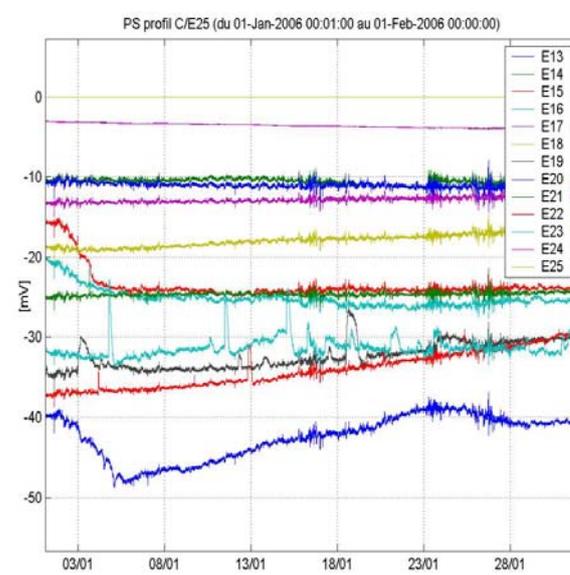
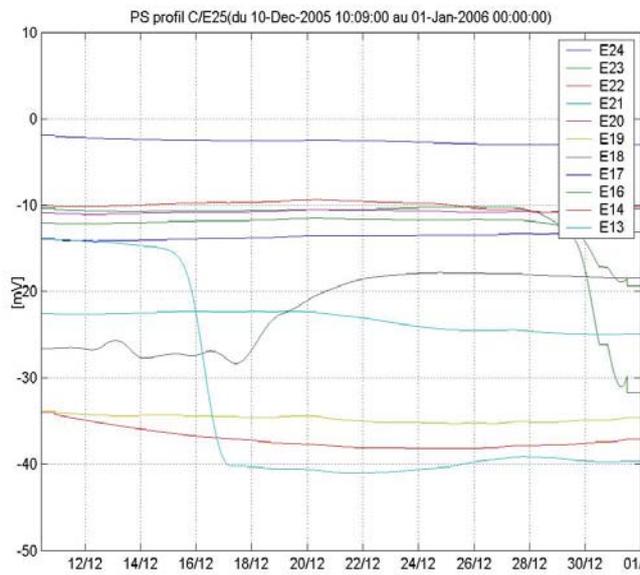
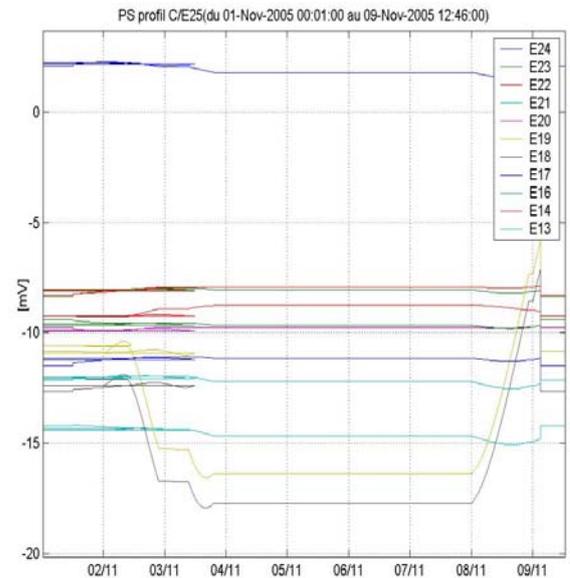
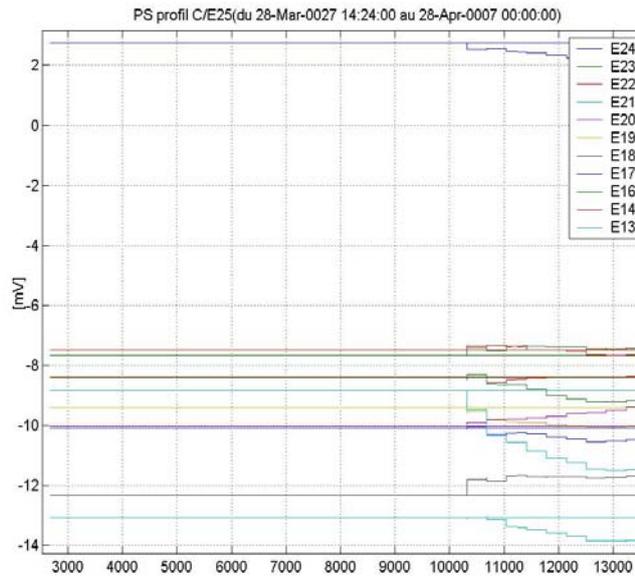
PS profil A/E12 (du 01-Apr-2006 00:01:00 au 01-May-2006 00:00:00)

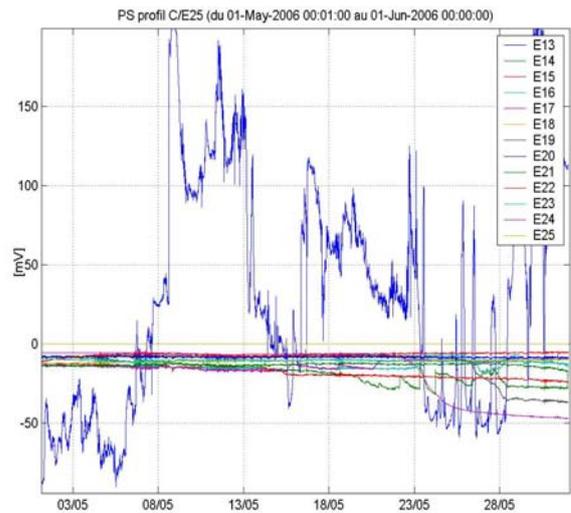
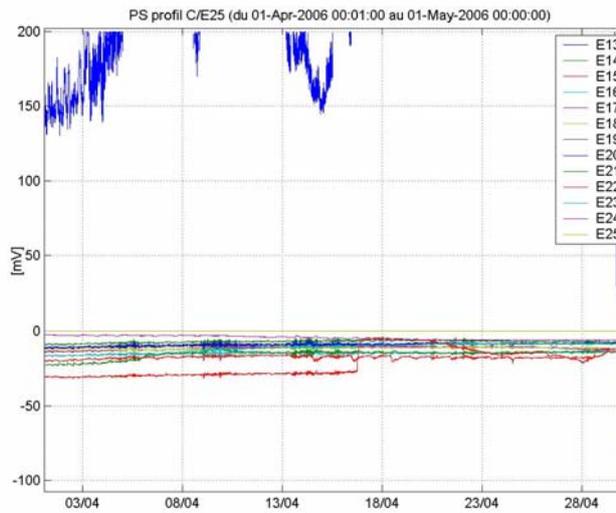


PS profil A/E12 (du 01-May-2006 00:01:00 au 01-Jun-2006 00:00:00)

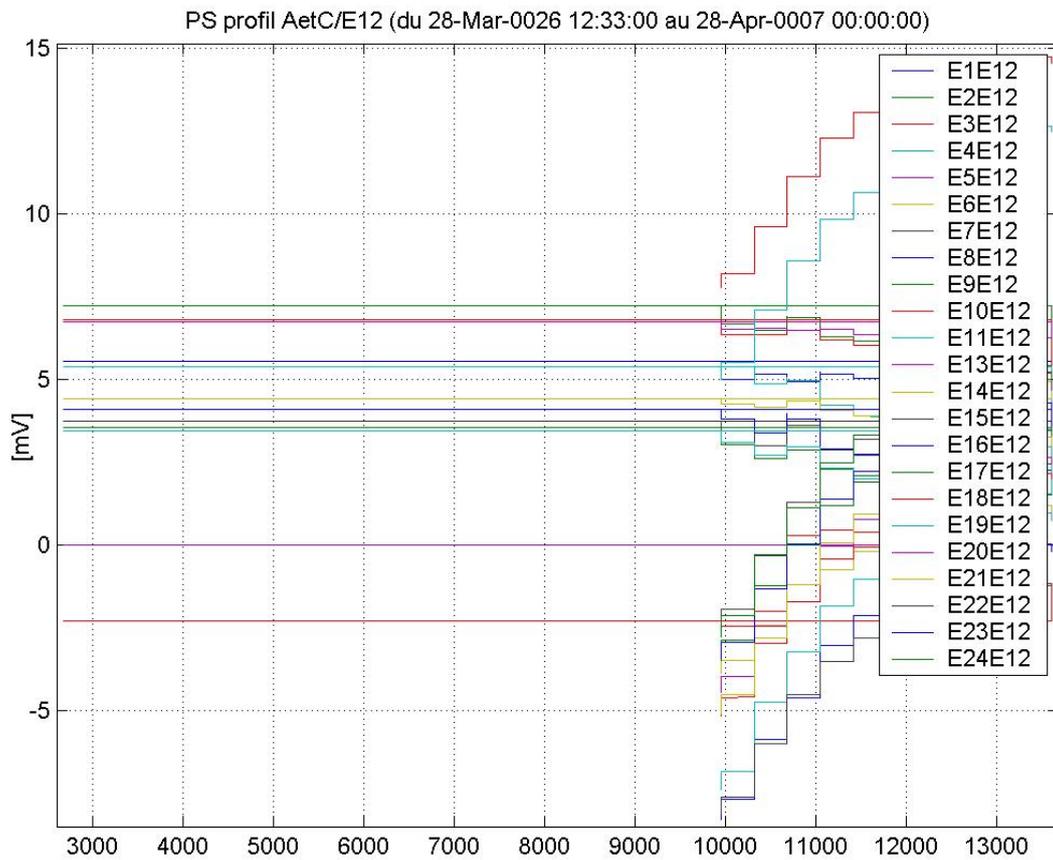


**Sans moyenne glissante: C par rapport à E25**



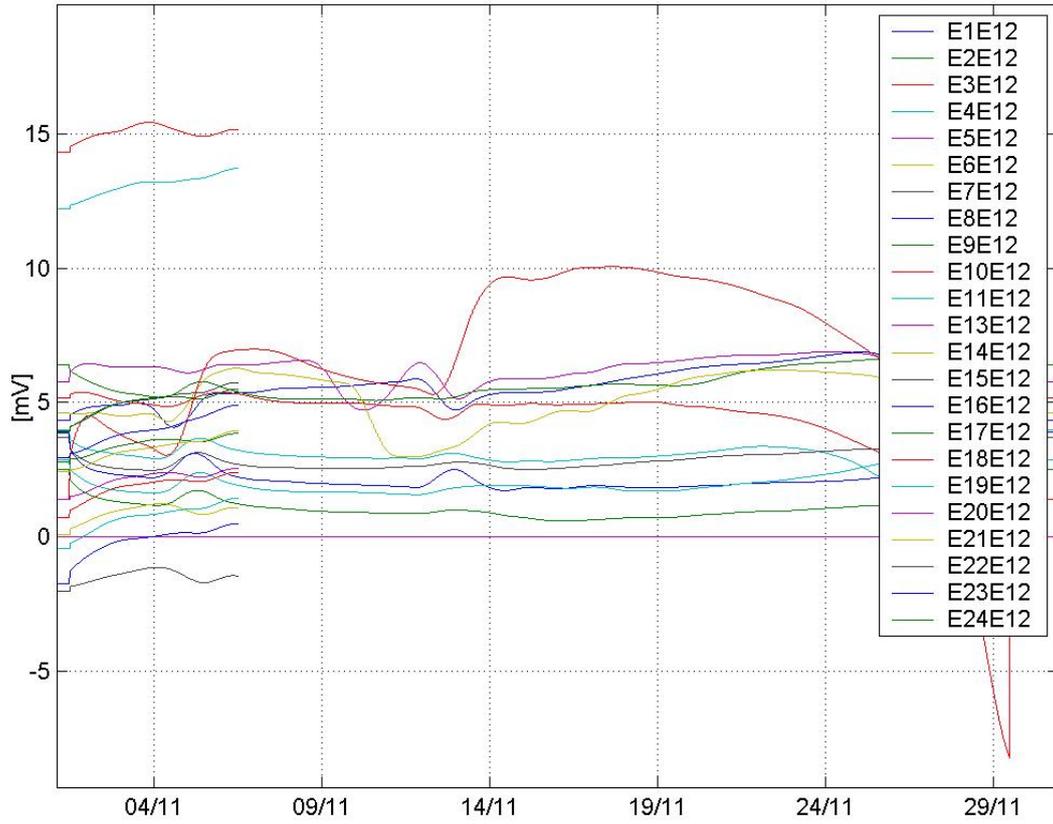


**Avec moyenne glissante: A et C par rapport à E12**

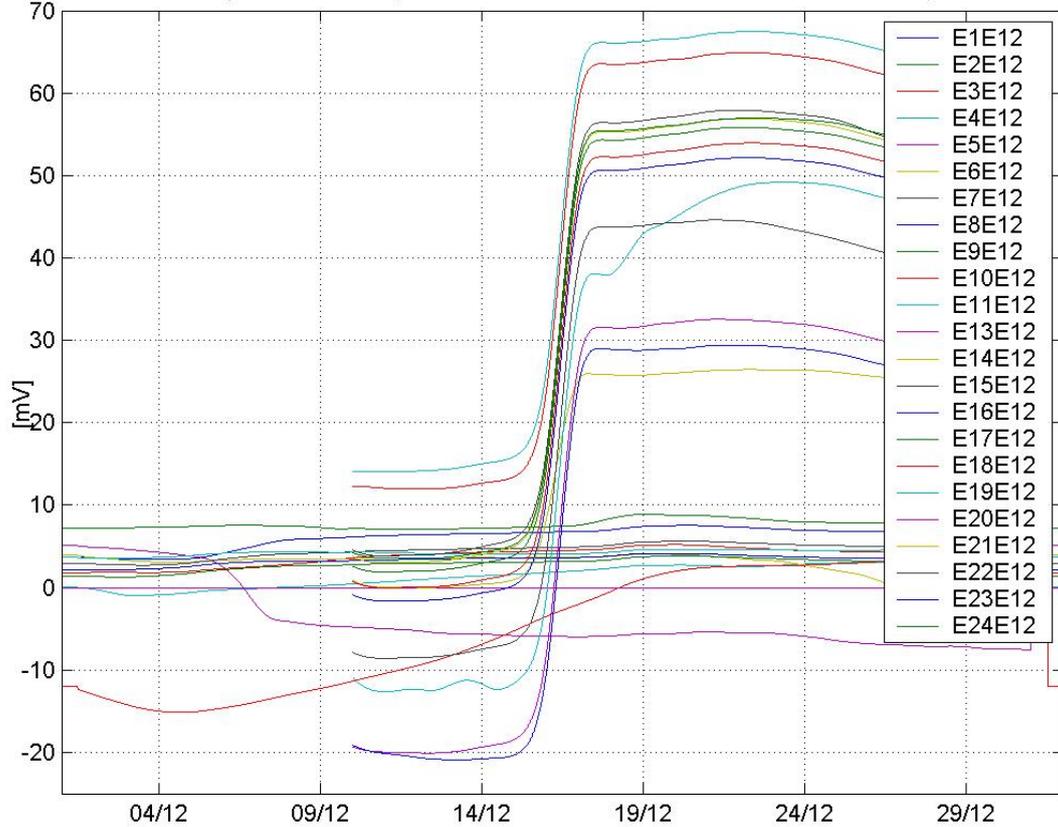




PS profil AetC/E12 (du 01-Nov-2005 00:01:00 au 01-Dec-2005 00:00:00)

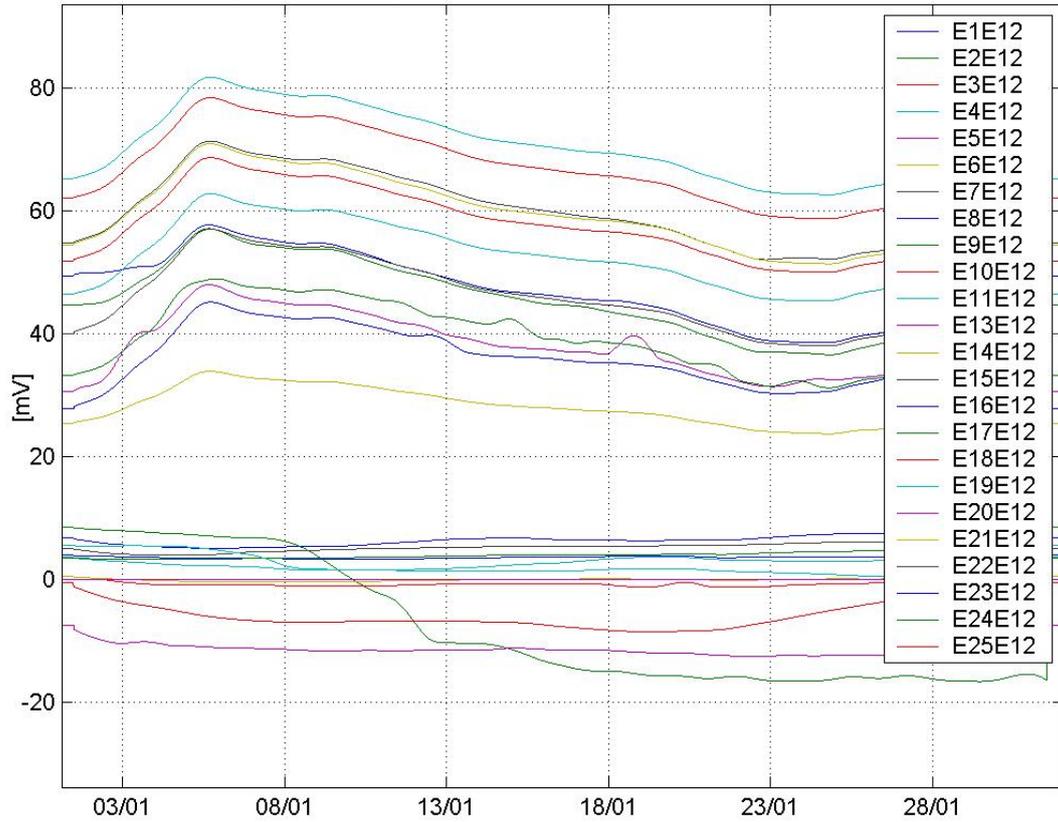


PS profil AetC/E12 (du 01-Dec-2005 00:01:00 au 01-Jan-2006 00:00:00)

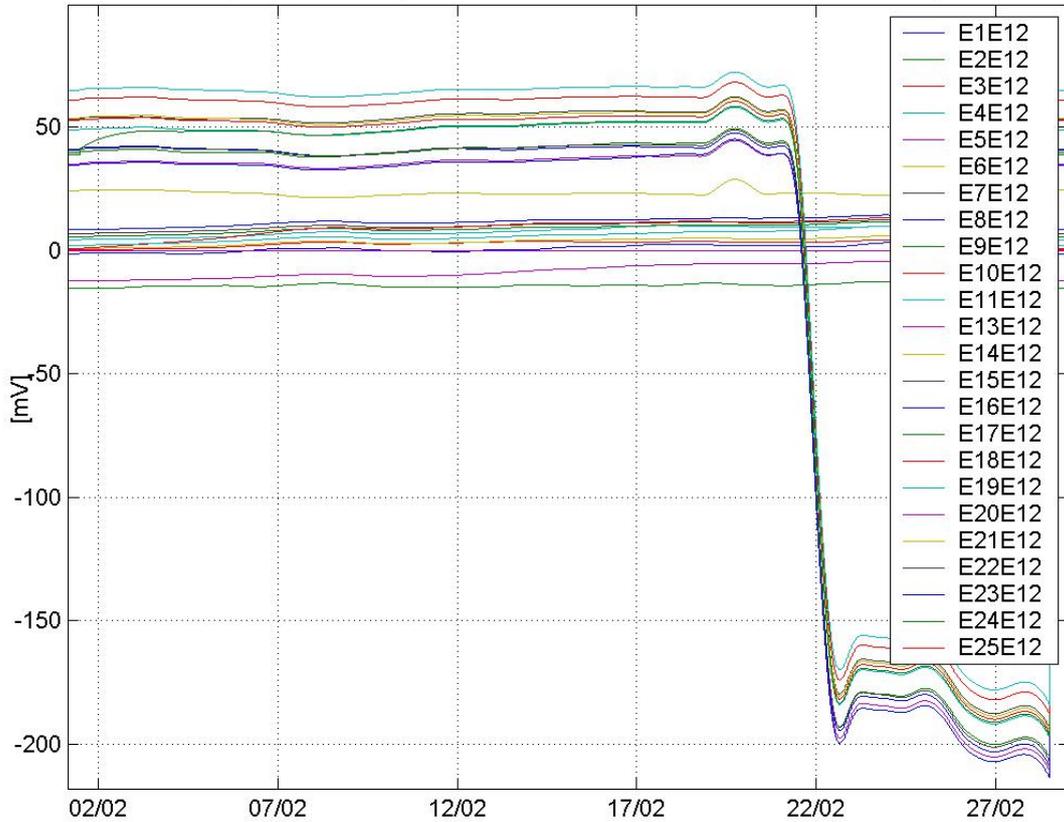




PS profil AetC/E12 (du 01-Jan-2006 00:01:00 au 01-Feb-2006 00:00:00)

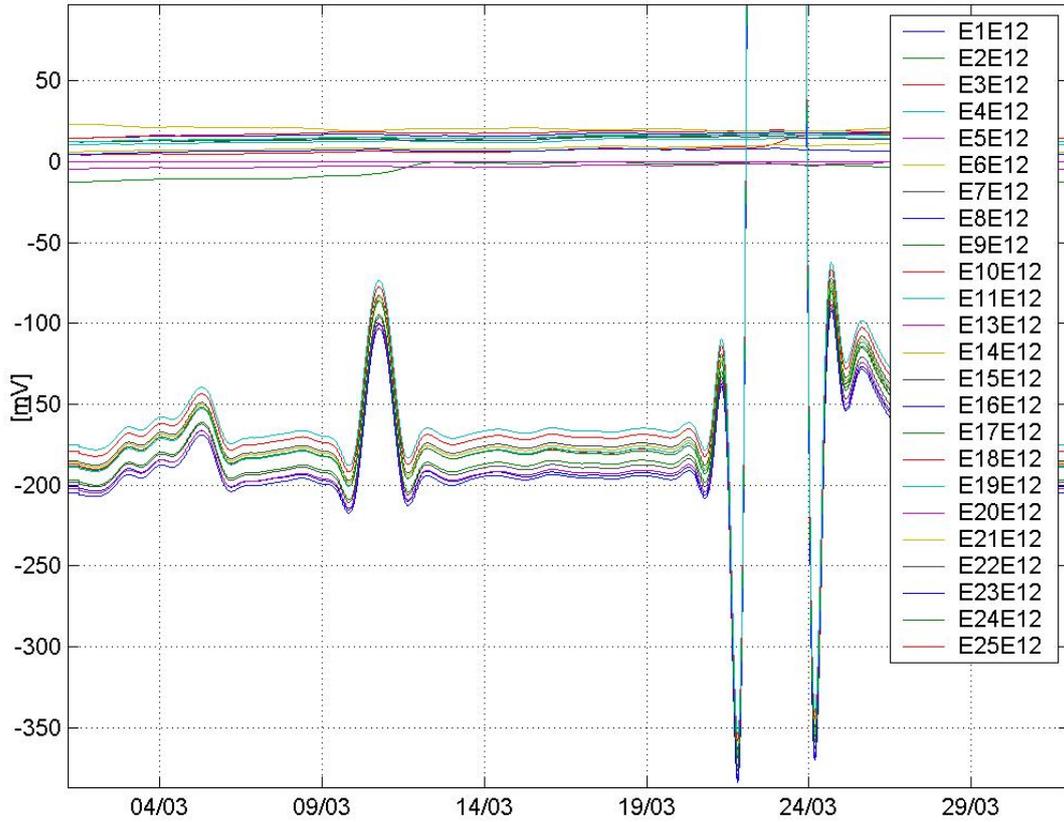


PS profil AetC/E12 (du 01-Feb-2006 00:01:00 au 01-Mar-2006 00:00:00)

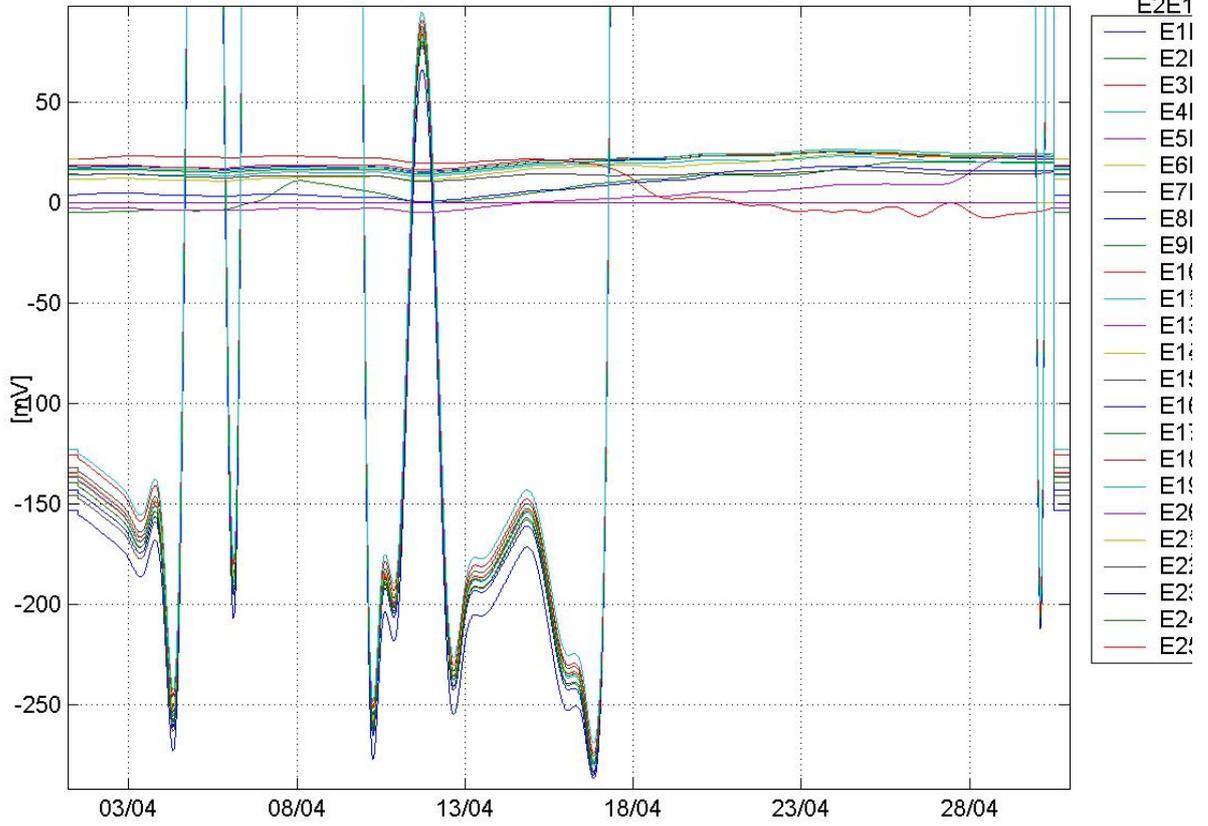




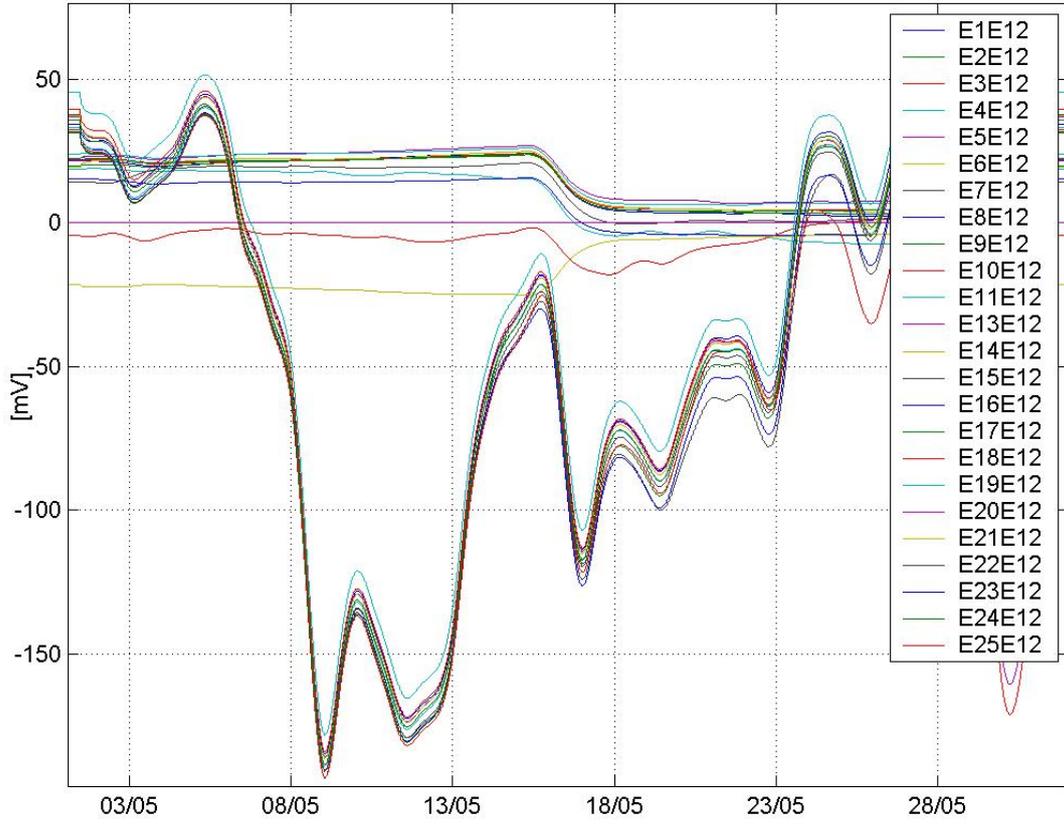
PS profil AetC/E12 (du 01-Mar-2006 00:01:00 au 01-Apr-2006 00:00:00)



PS profil AetC/E12 (du 01-Apr-2006 00:01:00 au 01-May-2006 00:00:00)



PS profil AetC/E12 (du 01-May-2006 00:01:00 au 01-Jun-2006 00:00:00)





```

%PlageX = ['12-jan-2006';'15-jan-2006'];
%PlageX = ['13-jan-2006 00:00';'13-jan-2006 23:59'];
NbLigEntete = 1; %Nombre de lignes d'entete à ignorer

%RempExpr( NomFich, '\t', ';' )
%RempExpr( NomFich, '"', " " )

[An,JJ,MM,Dates,E1E12,E2E12,E3E12,E4E12,E5E12,E6E12,E7E12,E8E12,E9E12,E10E12,E11E12,E13AE12]
= ...
    textread( NomFich, '%d %d %f %s %f %f',...
        'delimiter',';', 'headerlines',NbLigEntete,'emptyvalue',NaN);

%format dates

DatesN=NaN*ones(size(E1E12));
E13E12=NaN*ones(size(E1E12));E14E12=NaN*ones(size(E1E12));E15E12=NaN*ones(size(E1E12));E16E12=
NaN*ones(size(E1E12));
E17E12=NaN*ones(size(E1E12));E18E12=NaN*ones(size(E1E12));E19E12=NaN*ones(size(E1E12));E20E12=
NaN*ones(size(E1E12));
E21E12=NaN*ones(size(E1E12));E22E12=NaN*ones(size(E1E12));E23E12=NaN*ones(size(E1E12));E24E12=
NaN*ones(size(E1E12));
%CAS où format dates= YMD HH:MM = TS SAUF OCTOBRE 2005
% for k=1:length(Dates)
%   dstr=char(Dates(k));
%   if length(dstr)==16,
%
%   DatesN(k)=datenum(str2num(dstr(1:4)),str2num(dstr(6:7)),str2num(dstr(9:10)),str2num(dstr(12:13)),str2num(dstr
(15:16)),0);
%   % else : garde les NaN
%   end
% end

% CAS où format dates= DMY HH:MM = OCTOBRE 2005
for k=1:length(Dates)
    dstr=char(Dates(k));
    if length(dstr)==16,

DatesN(k)=datenum(str2num(dstr(1:2)),str2num(dstr(4:5)),str2num(dstr(7:10)),str2num(dstr(12:13)),str2num(dstr
(15:16)),0);
        % else : garde les NaN
    end
end

```

end

end

%Conversion en données relatives

```
EA_E12=[E1E12 E2E12 E3E12 E4E12 E5E12 E6E12 E7E12 E8E12 E9E12 E10E12 E11E12 zeros(size(E1E12))  
E13AE12];
```

```
EC_E25=[E13E25 E14E25 E15E25 E16E25 E17E25 E18E25 E19E25 E20E25 E21E25 E22E25 E23E25 E24E25  
zeros(size(E14E25))];
```

%nettoyage des données

```
[i0 j0] = find(abs(EA_E12) > 200) %Enlève les valeurs aberrantes du premier profil (>200 car électrode calibrée à  
200mV)
```

```
EA_E12(i0,j0)=NaN;
```

```
[i0 j0] = find(abs(EC_E25) > 200) %enlève les valeurs aberrantes du deuxième profil
```

```
EC_E25(i0,j0)=NaN;
```

%Conversion en données relatives

% NOVEMBRE 2005 A>C (fin de C manquant)

```
% DeltaRef25_12= E13AE12(1:length(E13E25)) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne E13E12 pris  
de la ligne 1 à la longueur de E13E25 (plus court ici) auquel on retrnche/add la diff entre les 2 ref.
```

%

```
% EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que  
ECE25, il faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.
```

%

```
% EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) [ EC_E12 ; NaN*ones(size(EA_E12,1)-  
size(EC_E12,1),size(EC_E25,2)) ] ]; %EACE12 est l'association des vecteurs EAE12 et ECE12 auxquels on  
ajoute la aptrie inférieure de la matrice, non définie pour C (NaN) mais définie pour A.
```

% OCTOBRE & DECEMBRE 2005 A>C (début C manquant)

```
iLim=size(EA_E12,1)-size(EC_E25,1)
```

```
DeltaRef25_12= E13AE12(iLim:length(E13AE12)-1) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne  
E13AE12 pris de la ligne x (où démarre E13E25) à la longueur de E13AE12 (plus court ici) auquel on  
retrnche/add la diff entre les 2 ref.
```

```
EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que ECE25, il  
faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.
```

```
EAC_E12 = [EA_E12(:,1:size(EA_E12,2)-1) [ NaN*ones(size(EA_E12,1)-size(EC_E12,1),size(EC_E25,2));
EC_E12 ] ]; %EACE12 est l'association des vecteurs EAE12 et ECE12 auxquels on ajoute la partie inférieure de
la matrice, non définie pour C (NaN) mais définie pour A.
```

```
% JANVIER -> MAI 2006 A=C
```

```
% DeltaRef25_12= E13AE12(1:length(E13E25)) + E13E25; %Vecteur DeltaRef= Vecteur colonne E13E12 pris
de la ligne 1 à la longueur de E13E25 (plus court ici) auquel on retrnche/add la diff entre les 2 ref.
```

```
%
```

```
% EC_E12 = EC_E25 - repmat(DeltaRef25_12,[1,size(EC_E25,2)]); % DeltaRef n'a pas la meme dim que
ECE25, il faut donc le répéter autant de fois que de colonnes dans ECE25 avec la fonction repmat.
```

```
%
```

### %Calcul du gradient

```
TGradA_C=EA_E12-[ EC_E12; NaN*ones(size(EA_E12,1)-size(EC_E12,1),size(EC_E25,2)) ];%quand les deux
profils sont bien connectés
```

```
LFen = 1440; %1 jour
```

```
Pas = 720;
```

```
for j=1:size(TGradA_C,2)
```

```
    mg=MG(LFen,TGradA_C(:,j), Pas);
```

```
    Emg(:,j)=mg';
```

```
end
```

```
figure
```

```
plot(DatesN,Emg)
```

```
grid on
```

```
hold on
```

```
%legend(gca,{'E1','E2','E3','E4','E5','E6','E7','E8','E9','E10','E11','E13'})
```

```
%legend(gca,{'E11','E10','E8','E7','E6','E3','E2','E1'})
```

```
%legend(gca,{'E1E12' 'E2E12' 'E3E12' 'E4E12' 'E5E12' 'E6E12' 'E7E12' 'E8E12' 'E9E12' 'E10E12' 'E11E12'
'E13E12' 'E14E12' 'E15E12' 'E16E12' 'E17E12' 'E18E12' 'E19E12' 'E20E12' 'E21E12' 'E22E12' 'E23E12' 'E24E12'
'E25E12'})
```

```
%[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, Y, 720, Coul, DelOld );
```

```
%[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, E1, 720, 'r', 1 );
```

```
%[E1mg] = MG( 1440, E1, 720);
```

```
%plot(DatesN,E1mg,'r')
```

```
%[E1mg] = MG( 10080, E1, 5040);
```

```
%plot(DatesN,E1mg,'g')
```

```
%title(sprintf('PS profil A (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
```

```
PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
```

```

%%%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
title(sprintf('PS total gradient A_C (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
ylabel('[mV]')
set(gca,'YLim',[-150 50])
set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
Ticks = get(gca,'XTick');
sTicks = [];
for Ind = 1:length(Ticks)
    if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
    else
        sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
    end
end
%set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
set(gca,'xTickLabel', sTicks)

%if0
%set(gca,'YLim',[0 0.7])

OldAxis = Axis;

%open PS1_1.fig
%open PS1_2.fig
%open T1_1.fig
%open T1_2.fig

% PGradA_C=EA_E12-repmat(E13AE12,[1,size(EA_E12,2)]);%quand le profil C se déconnecte de E13

% LFen = 1440; %1 jour
% Pas = 720;
% for j=1:size(PGradA_C,2)
%     mg=MG(LFen,PGradA_C(:,j), Pas);
%     Emg(:,j)=mg';
% end
%
% figure

```

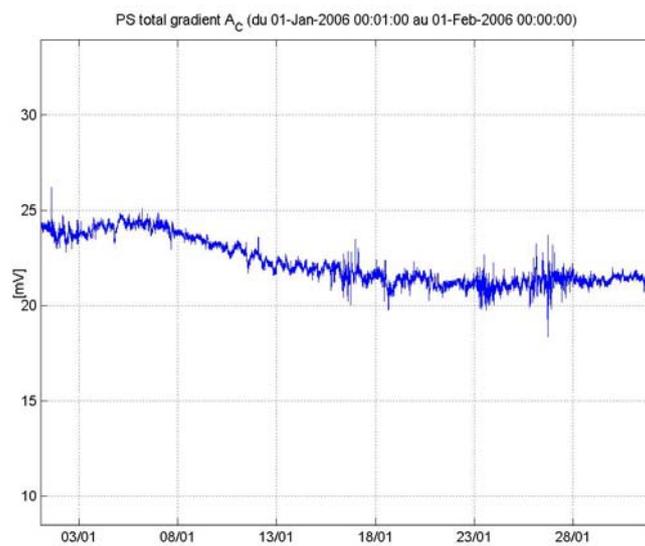
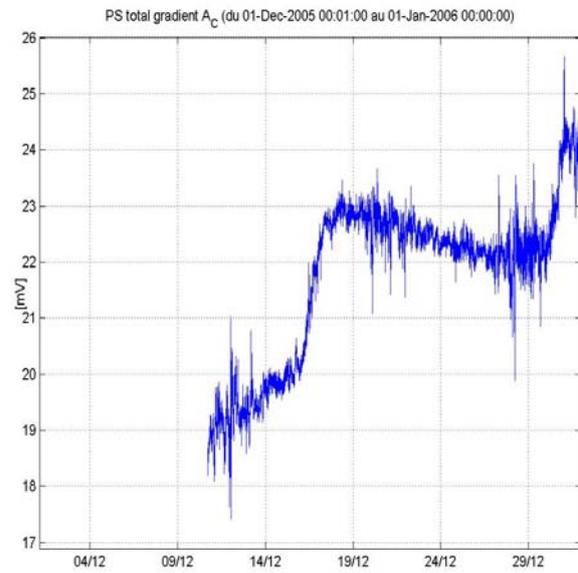
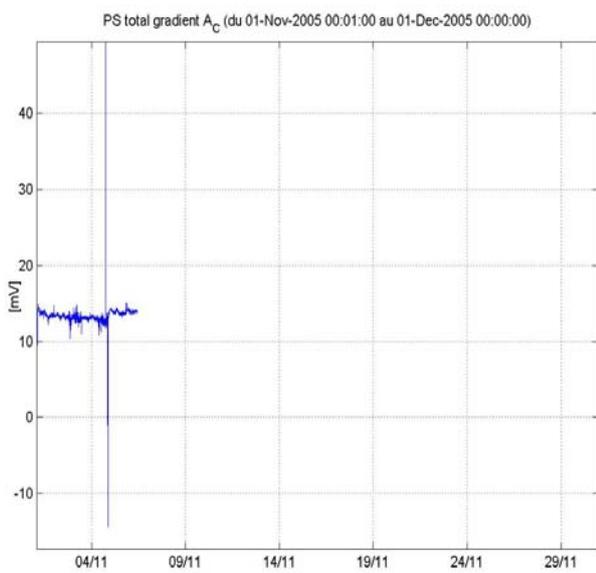
```

% plot(DatesN,Emg)
% grid on
% hold on
% %legend(gca,{'E1','E2','E3','E4','E5','E6','E7','E8','E9','E10','E11','E13'})
% %legend(gca,{'E11','E10','E8','E7','E6','E3','E2','E1'})
% legend(gca,{'E1E13' 'E2E13' 'E3E13' 'E4E13' 'E5E13' 'E6E13' 'E7E13' 'E8E13' 'E9E13' 'E10E13' 'E11E13'
'E12E13'})
%
% %[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, Y, 720, Coul, DelOld );
% %[Ymg, hOldL, hNewL, hOldLs, Yorg, Xorg] = MG( 1440, E1, 720, 'r', 1 );
% %[E1mg] = MG( 1440, E1, 720);
% %plot(DatesN,E1mg,'r')
% %[E1mg] = MG( 10080, E1, 5040);
% %plot(DatesN,E1mg,'g')
%
% %title(sprintf('PS profil A (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
% PlageX = [datestr(DatesN(1),0);datestr(DatesN(end),0)];
% %%%%PlageX = [Dates(1);Dates(end)]; %format "31"
% title(sprintf('PS partiel gradient A_C (du %s au %s)',PlageX(1,:),PlageX(2,:)))
% ylabel('[mV]')
% set(gca,'YLim',[-100 100])
% set(gca,'XLim',datenum(PlageX))
% PlageX=xlim; %pour pouvoir en cas de zoom, faire un copier-coller et avoir les bonnes abscisses
% Ticks = get(gca,'XTick');
% sTicks = [];
% for Ind = 1:length(Ticks)
% if (round(Ticks(Ind))==Ticks(Ind)) %0h00
% sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),19)]; %19: JJ/MM
% else
% sTicks = [sTicks; datestr(Ticks(Ind),15)]; %15: HH:MN
% end
% end
% %set(gca,'xTickLabel', datestr(Ticks,19))
% set(gca,'xTickLabel', sTicks)
%
% %if0
% %set(gca,'YLim',[0 0.7])
%
% OldAxis = Axis;
%

```

% %open PS1\_1.fig  
% %open PS1\_2.fig  
% %open T1\_1.fig  
% %open T1\_2.fig  
%  
%

## Figures

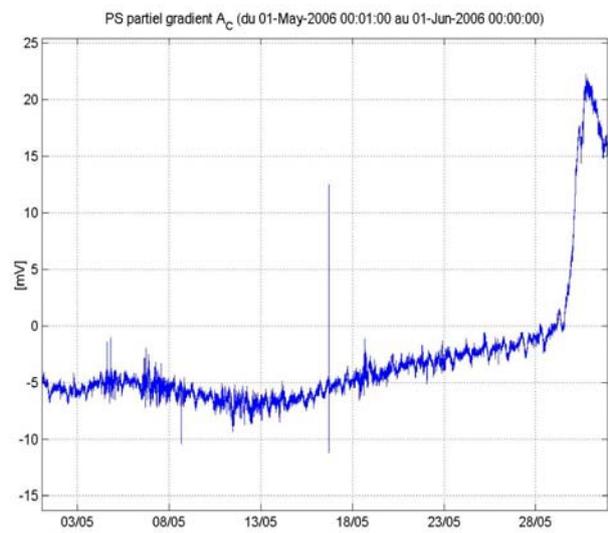
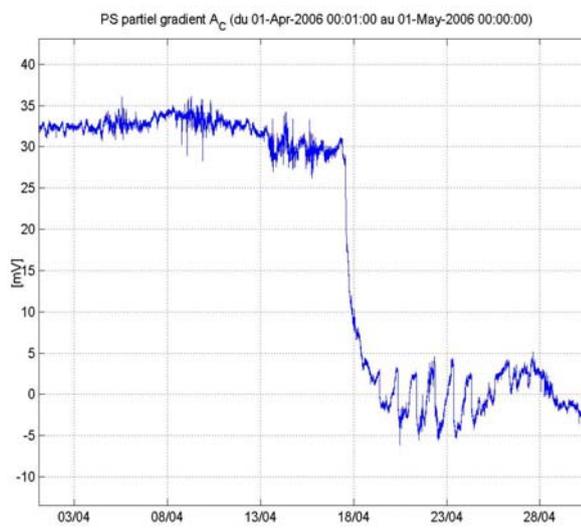
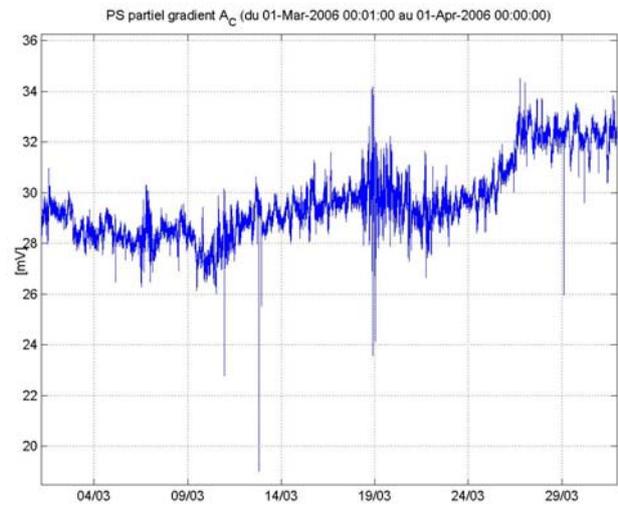
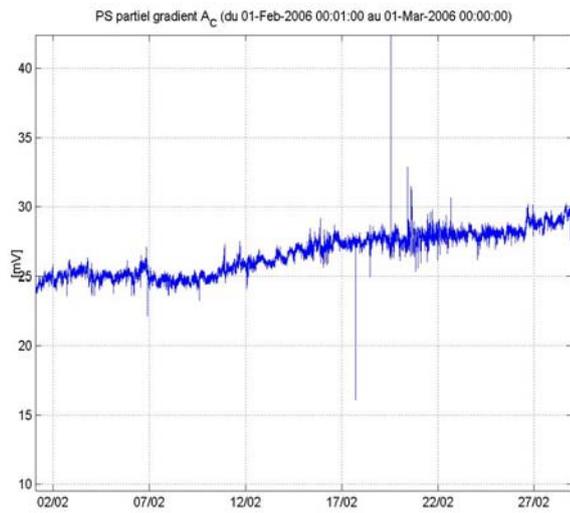


- **Annexe 16: Gradient partiel: script et figures**

**Script (seule la partie différente de celle du gradient total)**

```
PGradA_C=mean(EA_E12-repmat(E13AE12,[1,size(EA_E12,2)]),2);%quand le profil C se déconnecte de E13
```

**Figures**



- **Annexe 17: Script MATLAB pour traitement des données de juillet 2006**

%Lecture des données brutes: 19 JUIL

```
clear all
close all
```

```
rep=pwd; rep=[rep '\'];
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%lecture des données brutes: 19 JUILLET
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
NomFich1 = [rep 'Barcelo19Juil2006_Gs.txt'];
```

```
NbLigEntete = 4; %Nombre de lignes d'entete à ignorer
```

```
NomFich2 = [rep 'Barcelo19Juil2006_PS.txt'];
```

```
NbLigEntete2 = 4; %Nombre de lignes d'entete à ignorer
```

```
[Dates1,enr1,GPGGA,GPGGAX,LAT,N,LONG,E,PGPS1,PGPS2,PGPS3,ALT,M,PGPS4,M2,blank,PGPS5] = ...
```

```
textread( NomFich1, '%s %f %s %f %f %s %f %s %f %f %f %f %s %f %s %f %s',...
```

```
'delimiter',';', 'headerlines',NbLigEntete,'emptyvalue',NaN);
```

```
[Dates2,enr2,PS19] = ...
```

```
textread( NomFich2, '%s %f %f',...
```

```
'delimiter',';', 'headerlines',NbLigEntete2,'emptyvalue',NaN);
```

```
%position et PS du 19 JUIL
```

```
Posit19= [LAT LONG ALT];
```

```
indice1=enr1(1:3:length(enr1))/3;
```

```
for i=1:length(Posit19)/3 %fichier final moy = 1/3 longueur fichier PS19
```

```
MeanPosit19(i,1:3)=mean(Posit19(3*i-2:3*i,:));
```

```
end
```

```
    % pour orienter profil, mais ne marche pas ... MeanPosit19f=rot90(fliplr(MeanPosit19),2);
```

```
    %simple rotation du graph 3D suffit
```

```
for i=1:length(PS19)/60
```

```
    MeanPS19(i)=mean(PS19(60*i-58:60*i)); %2 sec ignorées sur les 60 au début du fichier
```

```
    StdPS19(i)=std(PS19(60*i-58:60*i));
```

```
SlopPS19(i)=diff(interp1(2:60,PS19(60*i-58:60*i),[2 60]));
end
```

```
% Mise a l'écart des "mauvais" enregistrements du 19 juillet
```

```
% StdPS19=[StdPS19(1:26) StdPS19(28:53) StdPS19(55:65) StdPS19(67:length(StdPS19)-2)
StdPS19(length(StdPS19))];
```

```
% MeanPS19=[MeanPS19(1:26) MeanPS19(28:53) MeanPS19(55:65) MeanPS19(67:length(MeanPS19)-2)
MeanPS19(length(MeanPS19))];
```

```
% SlopPS19=[SlopPS19(1:26) SlopPS19(28:53) SlopPS19(55:65) SlopPS19(67:length(SlopPS19)-2)
SlopPS19(length(SlopPS19))];
```

```
% MeanPosit19=[MeanPosit19(1:26,:); MeanPosit19(28:53,:); MeanPosit19(55:65,:);
MeanPosit19(67:length(MeanPosit19)-2,:);MeanPosit19(length(MeanPosit19),:);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%lecture des données brutes: 20 JUILLET
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
NomFich3 = [rep 'Barcelo20Juil2006_Gs.txt'];
```

```
NbLigEntete = 4; %Nbre de lignes d'entete à ignorer
```

```
NomFich4 = [rep 'Barcelo20Juil2006_PS.txt'];
```

```
NbLigEntete2 = 4; %Nbre de lignes d'entete à ignorer
```

```
[Dates3,enr3,GPGGA3,GPGGAx3,LAT3,N3,LONG3,E3,PGPS13,PGPS23,PGPS33,ALT3,M3,PGPS43,M23,blank3,PGPS53] = ...
```

```
textread( NomFich3, '%s %f %s %f %f %s %f %s %f %f %f %f %s %f %s %f %s',...
```

```
'delimiter',';', 'headerlines',NbLigEntete,'emptyvalue',NaN);
```

```
[Dates4,enr4,PS20] = ...
```

```
textread( NomFich4, '%s %f %f',...
```

```
'delimiter',';', 'headerlines',NbLigEntete2,'emptyvalue',NaN);
```

```
%position et PS moy du 20 JUIL
```

```
Posit20= [LAT3 LONG3 ALT3];
```

```

indice3=enr3(1:3:length(enr3))/3;

for i=1:length(Posit20)/3
    MeanPosit20(i,1:3)=mean(Posit20(3*i-2:3*i,:));
end

for i=1:length(PS20)/60
    MeanPS20(i)=mean(PS20(60*i-58:60*i));
    StdPS20(i)=std(PS20(60*i-58:60*i));
    SlopPS20(i)=diff(interp1(2:60,PS20(60*i-58:60*i),[2 60]));
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Posit=[MeanPosit19;MeanPosit20];
MeanPS=[MeanPS19 MeanPS20]';
StdPS=[StdPS19 StdPS20]';
SlopPS=[SlopPS19 SlopPS20]';
indice=[indice1;indice3];

% Mise a l'écart des "mauvais" enregistrements : std>0.15mV ou |slope|>0.15mV/min
Mauvais=find(StdPS>0.15 | abs(SlopPS)>0.15); %Mauvais=indice de MeanPS et de Posit où l'écart type est trop
gd, où la dérive est certaine
Posit(Mauvais,:)=[]; MeanPS(Mauvais)=[]; %[]=remplacé par rien
StdPS(Mauvais)=[]; SlopPS(Mauvais)=[];
indice(Mauvais,:)=[];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%pour visualiser les données PS

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Posit0=4420;
Posity0=640;

V=MeanPS;minV=min(V); maxV=max(V);
pal=jet;
ncoul=length(pal);
n=1+floor((V-minV)*(ncoul-1)/(maxV-minV));

```

```
Z=Posit(:,3);
colorplot3(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0,Z,n,ncoul,pal)
grid on
h=colorbar;
set(h,'YTickLabel', num2str((10:10:60)*(maxV-minV)/ncoul+minV,'%1f'))
view(0,-90)
title('Mean SP over 1 min (in mV)')
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

%pour repérer la chronologie

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
figure
V=indice'; minV=min(V); maxV=max(V);
pal=jet;
ncoul=length(pal);
n=1+floor((V-minV)*(ncoul-1)/(maxV-minV));
Z=Posit(:,3);
colorplot3(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0,Z,n,ncoul,pal)
grid on
h=colorbar;
set(h,'YTickLabel', num2str((10:10:60)*(maxV-minV)/ncoul+minV,'%0f'))
view(0,-90)
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

%pour afficher les "erreurs"...

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
figure
V=StdPS; minV=0; maxV=0.19;
pal=jet;
ncoul=length(pal);
n=1+floor((V-minV)*(ncoul-1)/(maxV-minV));
Z=Posit(:,3);
colorplot3(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0,Z,n,ncoul,pal)
```

```

grid on
h=colorbar;
set(h,'YTickLabel', num2str((10:10:60)*(maxV-minV)/ncoul+minV, '%.2f'))
view(0,-90)
title('Standard deviation over 1 min (in mV)')

```

```

figure
V=SlopPS; minV=-0.35; maxV=0.29;
pal=jet;
ncoul=length(pal);
n=1+floor((V-minV)*(ncoul-1)/(maxV-minV));
Z=Posit(:,3);
colorplot3(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0,Z,n,ncoul,pal)

```

```

grid on
h=colorbar;
set(h,'YTickLabel', num2str((10:10:60)*(maxV-minV)/ncoul+minV, '%.2f'))
view(0,-90)
title('Drift over 1 min (in mV)')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%pour afficher une carte

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

step=0.005;
x=0.78:step:0.88;
y=0.59:step:0.68;
[X,Y]=meshgrid(x,y);
%Zmap=griddata(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0,Z,X,Y);
PSmap=griddata(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0,MeanPS,X,Y,'v4');
Khull=convhull(Posit(:,1)-Positx0,Posit(:,2)-Posity0);
[Xout,Yout]=find(PSmap>max(MeanPS)+1 | PSmap<min(MeanPS)-1);
for k=1:length(Xout),
    PSmap(Xout(k),Yout(k))=NaN;
end

```

```

figure
surf(X,Y,zeros(size(X)),PSmap); caxis([min(MeanPS) max(MeanPS)])

```

```

colormap(jet)
grid on
h=colorbar;
set(gca,'YDir','reverse');
axis([0.78 0.88 0.59 0.68])
hold on, plot3(Posit(Khull,1)-Positx0,Posit(Khull,2)-Posity0,ones(length(Khull),1),'k')
title('Interpolated SP map (in mV)')

```

```

[PSx,PSy]=gradient(PSmap,step);
figure
%surf(X,Y,zeros(size(X)),sqrt(PSx.^2+PSy.^2))
surf(X,Y,zeros(size(X)),PSmap); caxis([min(MeanPS) max(MeanPS)])
colormap(jet)
hold on, quiver(X,Y,PSx,PSy,2,'k'), hold off
grid on
%caxis([min(MeanPS) max(MeanPS)])
h=colorbar;
set(gca,'YDir','reverse');
axis([0.78 0.88 0.59 0.68])
hold on, plot3(Posit(Khull,1)-Positx0,Posit(Khull,2)-Posity0,ones(length(Khull),1),'k')
title('Gradient of SP map (in mV/°)')
view(2)

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

%Comparaison avec les électrodes enfouies

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

NomFich           =           'C:\Projet           Stage\info\SSauze_MATLAB\S-
Sauze_monitoring\BarceloGeoboxJuillet2006\A4110511.txt';

```

DejaDates = 0; %Dates déjà traduites ==> seulement les charger via un LOAD

```
NomFDates='Dates0610';
```

```
NomFDates2='Dates0610_2';
```

PlageX = []; %Par défaut vide ==> toutes les valeurs affichées

```
%PlageX = ['12-jan-2006','15-jan-2006'];
```

```
%PlageX = ['13-jan-2006 00:00','13-jan-2006 23:59'];
```

NbLigEntete = 1; %Nbre de lignes d'entete à ignorer



```
X=X([1:11,13],:);
Y=Y([1:11,13],:);
Z=Z([1:11,13],:);
```

```
X=X*100;
Y=Y*100;
```

```
CompPS=[Mean1501 MeanPS19];
Posit1501=[X Y Z];
PositComp=[Posit1501;MeanPosit19];
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%Visualiser PS Comp f(position)
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
figure
```

```
V=CompPS';minV=min(V); maxV=max(V);
```

```
pal=jet;
```

```
ncoul=length(pal);
```

```
n=1+floor((V-minV)*(ncoul-1)/(maxV-minV));
```

```
colorplot3(PositComp(:,1),PositComp(:,2),PositComp(:,3),n,ncoul,pal) % paramètres de colorplot3=vecteurs
colonne
```

```
grid on
```

```
h=colorbar;
```

```
set(h,'YTickLabel', num2str((10:10:60)*(maxV-minV)/ncoul+minV,'%1f'))
```

```
view(90,90)
```

```
title('Comparaison PS NOV05 et JUIL06 (in mV)')
```

## - **Annexe 18: Script MATLAB: colorplot3**

```
function colorplot3 = colorplot3(x,y,z,n,ncoul,pal)

%function colorplot3(x,y,z,n,ncoul,pal).
%Plots in 3d using the nth color amongst ncoul and colormap pal.
%
%Example: display vector V at location X,Y,Z, using colormap jet
% pal=jet; ncoul=length(pal); n=1+floor((V-min(V))*(ncoul-1)/(max(V)-min(V)));
% colorplot3(X,Y,Z,n,ncoul,pal)
% h=colorbar;
% set(h,'YTickLabel', num2str((10:10:60)*(max(V)-min(V))/ncoul+min(V),'%.1f'))

ncol=length(pal);
coul=(1:ncoul);
coul(:)=round(ncol*coul/ncoul);

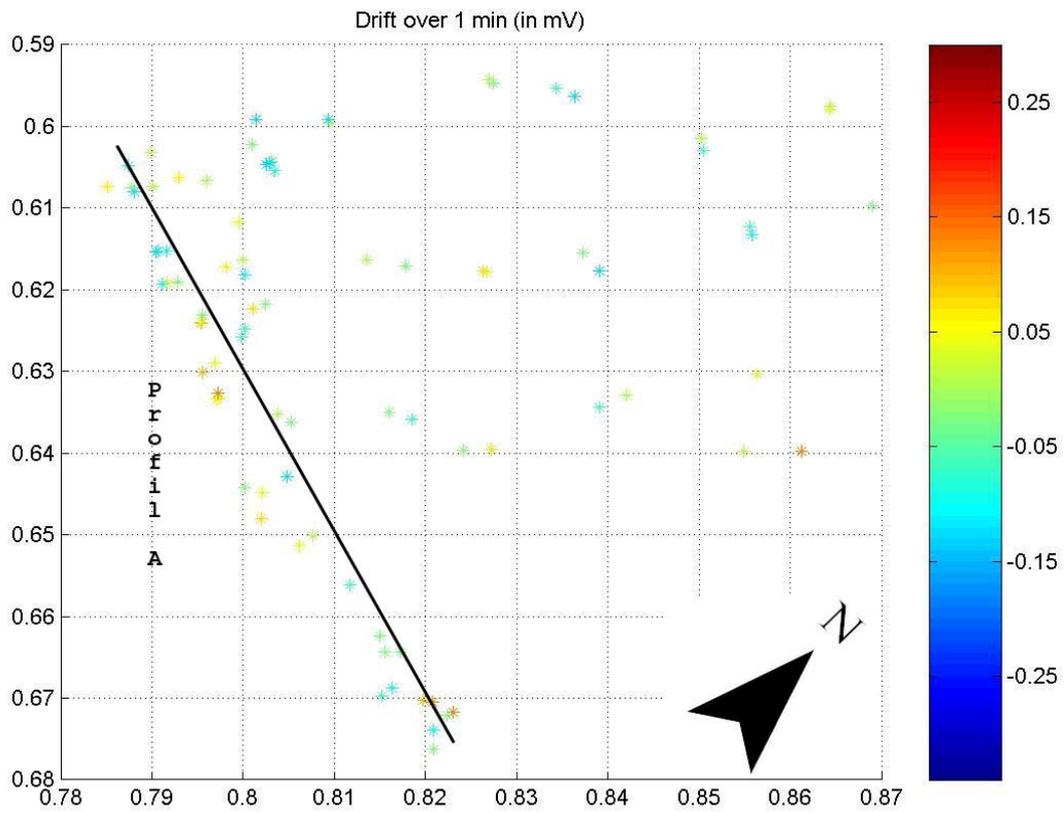
gtncoul=find(n>ncoul);
if length(gtncoul)>0
    n(gtncoul)=ncol;
end

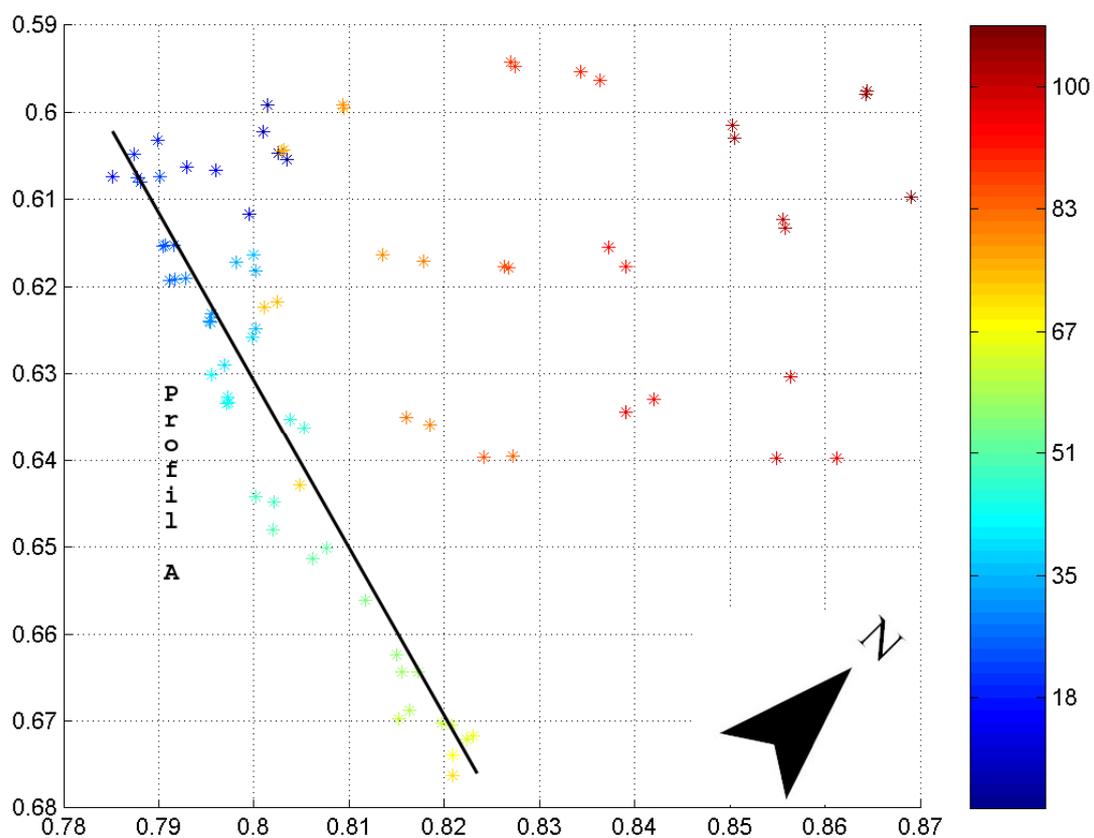
ltncoul=find(n<1);
if length(ltncoul)>0
    n(ltncoul)=1;
end

hold on
for k=1:length(x),
    h=plot3(x(k),y(k),z(k),'*');
    set(h,'Color',pal(coul(n(k)),:));
end
```

- **Annexe 19: Vérification graphique de l'absence de dérive et d'un écart type acceptable des données PS**

**JANVIER 2006 / JUILLET 2006**





## Annexe 20: Représentation graphique de l'ordre d'acquisition des données

Les points bleus correspondent aux indices les moins élevés, ils correspondent donc aux premières mesures (19 juillet). En arrivant dans le jaune, on est à la fin du profil A (dernières mesures du 19 juillet). Puis les mesures orangées à rouges prennent le relais (20 juillet, en descendant la coulée).

