

Pôle Grenoblois Risques Naturels

Conseil général de l'Isère



Suivi temporel du mouvement de Séchilienne par polarisation spontanée

*programme de recherche 2007 financé par le Conseil Général de l'Isère
Gières, Novembre 2008 – RP. A/805*

Ombeline MERIC



ADRGT

2, rue de la Condamine – B.P. 17
38610 GIERES

☎ 04.76.44.17.55 📠 04.76.44.20.18

SOMMAIRE

1 -	RESUME	1
2 -	CONTEXTE GENERAL DANS LEQUEL S'INSCRIT LE PROJET.....	2
2.1.	<i>Description du site</i>	2
2.2.	<i>Contexte de la dynamique récente du mouvement.....</i>	3
3 -	LE RESEAU DE POLARISATION SPONTANE (PS)	4
3.1.	<i>Aspects théoriques sur la PS.....</i>	4
3.2.	<i>Mise en place du réseau PS</i>	4
3.3.	<i>Implantation des électrodes</i>	5
3.4.	<i>Moyens mis en œuvre pour la remise en état du réseau de PS</i>	6
3.5.	<i>Collaborations</i>	7
3.5.1.	<i>Avec le LGIT.....</i>	7
3.5.2.	<i>Avec le service des routes du CG38.....</i>	7
4 -	PRESENTATION DES RESULTATS ET PREMIERES INTERPRETATIONS.	8
4.1.	<i>Résultat du suivi temporel du programme de recherche de 2004.</i>	8
4.2.	<i>Résultat du suivi temporel du programme de recherche de 2007.</i>	9
4.2.1.	<i>Présentation des données brutes</i>	9
4.2.2.	<i>Influence du champ magnétique terrestre</i>	10
4.2.3.	<i>Influence de l'électrode de référence</i>	10
4.2.4.	<i>Etude des gradients de potentiel spontané au niveau de la galerie.....</i>	12
4.2.5.	<i>Comparaison des mesures de PS et de déplacement</i>	14
5 -	CONCLUSIONS	18
6 -	BIBLIOGRAPHIE	20
7 -	ANNEXES	21

1 - RESUME

Le but du projet était d'effectuer un suivi temporel du mouvement de Séchilienne, actuellement très actif, par un réseau de mesure de la polarisation spontanée. L'objectif de ce travail était de vérifier si les variations de la polarisation spontanée, qu'on peut relier aux variations hydrogéologiques au sein du massif rocheux, étaient corrélées aux variations dans les mouvements.

Le travail présenté ici a consisté à instrumenter le site et analyser les signaux obtenus pour tenter de mettre en évidence les corrélations ci-dessus.

Plusieurs anomalies ont été repérées sur les mesures de PS et nous les avons comparées avec les mesures de déplacements. Il en résulte que les accélérations du mouvement semblent bien s'accompagner d'anomalie positive de PS. Les circulations de fluide paraissent spatialement variables : concentrées et lentes au niveau des zones mylonitisées et rapides et importantes dans les secteurs très fracturés.

Par ailleurs, l'étude des variations de potentiel spontanée au cours du temps a permis de mettre en évidence les variations d'intensité et des chemins d'écoulement au sein du massif selon les différentes périodes observées.

2 - CONTEXTE GENERAL DANS LEQUEL S'INSCRIT LE PROJET

2.1. Description du site

Le site des « ruines » de Séchilienne est situé dans les Alpes du Dauphiné, à 15 Km au Sud-est de Grenoble, en aval du village de Séchilienne. Il affecte le flanc sud du Mont Sec (altitude 1048 m), et menace de constituer un barrage naturel de la vallée de la Romanche. Les instabilités de la pente sont liées à 2 types de mécanismes, des chutes de blocs d'une part, et un affaissement de la partie supérieure du Mont Sec d'autre part.

Ce mouvement de terrain, qui constitue un risque majeur pour l'agglomération Grenobloise en raison des risques secondaires qu'il pourrait engendrer (barrage naturel de la Romanche, puis surverse et risque d'inondation), est suivi temporellement depuis 1985 et a déjà fait l'objet de nombreuses publications qui rendent compte des travaux de terrain aux niveaux géologique, structural et hydrologique, de travaux numériques et liés à la métrologie mise en oeuvre (on peut citer Vengeon, 1998 ; Pothérat et al., 2001 ; Evrard et al., 1990 ; Giraud et al., 1990 ; Duranthon et al., 2003 ; Antoine et al., 1994).

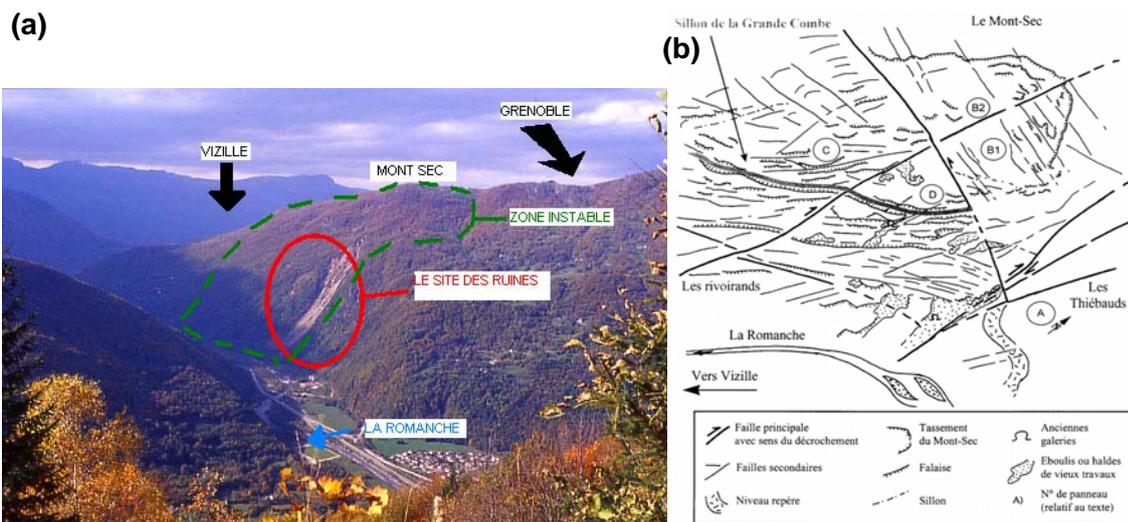


Figure 1 : Site de Séchilienne. (a) Photographie de la zone en mouvement. (b) Esquisse structurale de la zone en mouvement (Pothérat et Alfonsi, 2001).

L'ensemble de ces travaux (qui ne seront pas repris dans ce rapport scientifique) a amené à penser que le mouvement de Séchilienne était contrôlé par les principales discontinuités découpant le massif, qu'il incluait des basculements ou glissements locaux pouvant évoluer à travers des dommages progressifs vers un éboulement important de caractéristiques inconnues. Celui-ci pourrait être limité à l'Est au niveau du village des Thiébaults par le couloir des Ruines, et au Nord par l'escarpement du Mont Sec. Il faut noter qu'il existe des risques couplés à ce mouvement gravitaire. En effet, une avalanche rocheuse de 2 à 3 hm³ pourrait générer un effet secondaire d'inondation par suite du barrage de la vallée de la Romanche. De plus, en raison de l'existence de la faille active de Belledonne aux alentours de la zone étudiée (Thouvenot et al., 2003), un séisme d'intensité moyenne pourrait déclencher cette avalanche rocheuse.

2.2. Contexte de la dynamique récente du mouvement

Aux Ruines de Séchilienne le risque principal à court terme est représenté par la « zone frontale » qui s'étend sur 220 m de large et 150 m de hauteur environ (entre les cotes 670 et 820 m). Elle représente un volume de 3 millions de m³.

Les mesures de déplacements dans cette zone ont montré une augmentation des vitesses annuelles mais surtout une réponse plus importante aux précipitations à partir de 2004. Il est vraisemblable que la plus grande probabilité d'événement corresponde à des éboulements partiels, plus qu'à un éboulement global, sans qu'il soit possible de préciser de délais.

Plusieurs éboulements clairement identifiés ont eu lieu :

- Le 5 octobre 2005, un éboulement de quelques centaines de m³ ayant emporté le témoin 632.

- Le 23 novembre 2006, un éboulement estimé à 30 000 m³ ayant emporté le témoin 805.

- Le 22 juillet 2008, un éboulement estimé à plusieurs centaines de m³ ayant emporté le témoin 631.

3 - LE RESEAU DE POLARISATION SPONTANE (PS)

Ce chapitre rappelle les aspects théoriques et la mise en place du réseau déjà énoncé dans le rapport de synthèse intitulé *Mesures de l'évolution de caractéristiques géophysiques du mouvement de terrain des Ruines de Séchillienne. Comparaison avec mesures de déplacements et données météorologiques* (Programme 2004 du Pôle Grenoblois d'Etudes et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels).

3.1. Aspects théoriques sur la PS

L'origine des phénomènes de potentiel spontané peut s'avérer multiple (électrocinétique, électrochimique, piézoélectrique, oxydoréduction), ce qui rend son interprétation dans les milieux complexes difficile. La polarisation spontanée rend compte de l'ensemble des phénomènes générant une circulation de courant d'origine naturelle et qui génère en retour un champ électrique, accessible à la mesure par différence de potentiel.

Le phénomène électrocinétique est le processus physique qui génère un courant électrique dans un milieu poreux (ou fracturé) sous l'action d'une circulation de fluide. Son origine microscopique prend sa source au niveau de la présence d'une double couche électrique au contact grain/fluide, qui lorsqu'elle est mise en mouvement par une circulation de fluide, génère des déplacements de charges électriques. Au niveau macroscopique, les courants d'électrofiltration génèrent un champ électrique dont le rayonnement est caractéristique de la forme et de l'intensité de la circulation de fluides, mais également de propriétés du milieu poreux tels que la conductivité électrique.

En ce qui concerne les mouvements de terrain, des reconnaissances PS peu nombreuses ont été menées avec succès (Bogoslovsky et Ogilvy, 1977 ; Bruno et Marillier, 2000 ; Giano et al., 2000) mais connaissent un intérêt croissant depuis quelques années.

Avant d'implanter le réseau, nous avons réalisé un suivi temporel transverse au glissement de Séchillienne (Méric et al., 2005) en répétant les mesures tous les 3 mois. Celui-ci montrait une stabilité remarquable dans la partie peu active du glissement, et des instabilités assez prononcées dans la zone active. La forme générale de la courbe (anomalie positive assez forte) et sa stabilité dans le temps pouvait s'expliquer soit par une origine électrocinétique, marquée alors par une zone d'écoulement profonde, étendue dans l'espace, parallèle à la surface et stable dans le temps (l'échantillonnage temporel ne permettant pas l'accès aux circulations de fluide transitoires) soit par une origine électrochimique due à la présence de minerais (zinc) dans les veines de quartz.

3.2. Mise en place du réseau PS

Le dispositif mis en place sur le site en 2004 était composé de :

- 24 électrodes Pb/PbCl₂ impolarisables PMS9000 (Petiau, 2000)
- d'une centrale d'acquisition Campbell CR10X

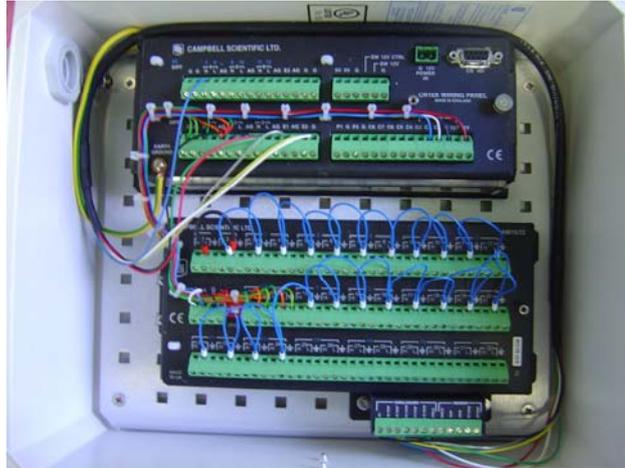


Figure 2 : Centrale d'acquisition Campbell CR10X + multiplexeur

- de deux pluviomètres placés à la sortie de la galerie de reconnaissance et dans la galerie au niveau de la sortie d'un écoulement quasiment permanent
- D'une sonde de conductivité CS547 qui mesure la conductivité de l'eau percolant dans la galerie de reconnaissance
- Environ 2 kilomètres de câbles résistant à la traction de diamètre 0.6 mm²
- Des gaines de protection pour les câbles.

Les connexions électroniques ont été protégées par des boîtiers étanches.

Afin que les électrodes bénéficient d'un bon couplage avec le terrain, elles ont été enterrées à 1m de profondeur dans un trou rempli d'argile salée (figure 3). Pour éviter que cette argile soit trop rapidement lessivée, une géomembrane recouvre l'emplacement.

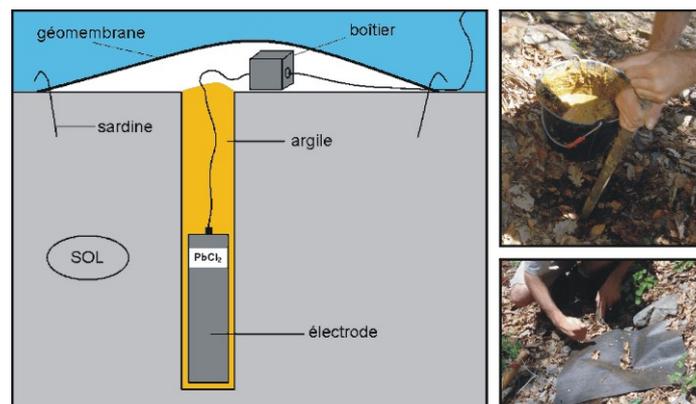


Figure 3 : Schéma d'implantation des électrodes.

3.3. Implantation des électrodes

En 2004, le choix de l'emplacement des électrodes PS a été effectué, d'une part en considérant un profil PS déjà réalisé, et d'autre part en utilisant la galerie de reconnaissance, en espérant pouvoir suivre des anomalies transitoires PS depuis la surface jusqu'en profondeur. La mesure PS (différence de potentiel) nécessite l'utilisation d'une électrode de

référence, stable dans le temps, autour de laquelle aucune perturbation électromagnétique d'origine anthropique ou naturelle ne puisse se manifester. Dans notre cas, nous avons préféré installer deux électrodes de référence dans la zone peu ou pas active du mouvement pour plus de sécurité (notées Ref et 1 sur la figure 4).

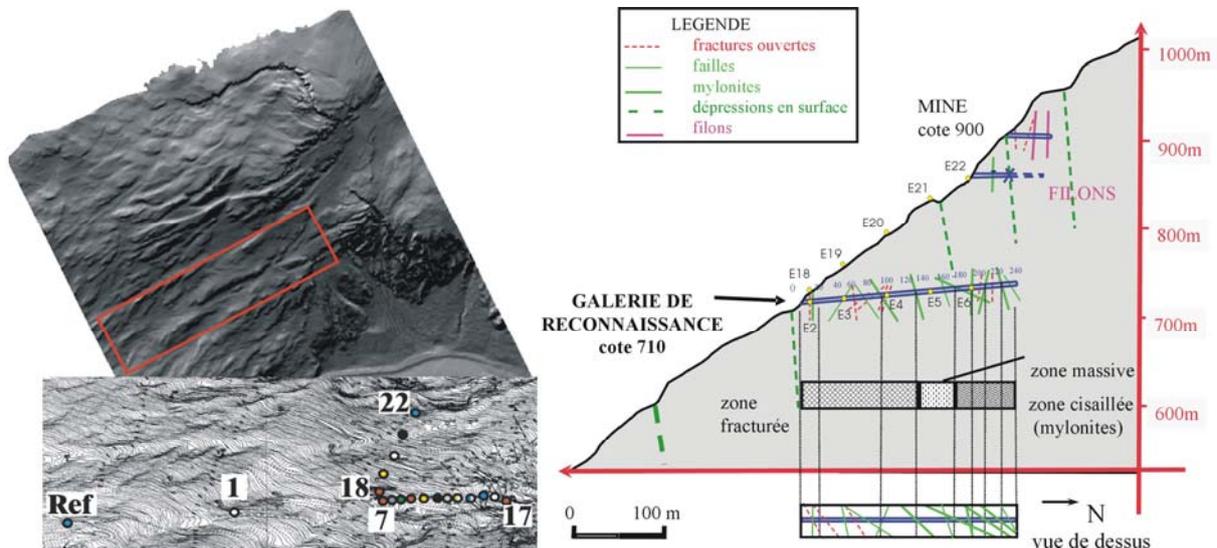


Figure 4 : Plan de positionnement des électrodes

En plus des électrodes de référence, le dispositif comporte 5 électrodes placées dans la galerie de reconnaissance à 40 m d'intervalle, 12 électrodes espacées de 25 m déployées dans la zone active (électrodes 7 à 17), et 5 électrodes placées en surface au dessus des électrodes de la galerie, (électrodes 18 à 22). Voir également la fig. 4 agrandie en annexe.

L'objectif de la présente étude était de remettre en fonctionnement le réseau de PS qui avait été interrompu par :

- L'achèvement de la thèse d'Ombeline MERIC qui a entraîné l'absence de personnel permanent pour suivre ces mesures, et effectuer une analyse des données adaptée ;
- L'arrachement d'un certain nombre d'électrodes, du pluviomètre et du conductivimètre avaient été arrachés lors de travaux d'entretien de la galerie 710 en novembre 2006.

3.4. Moyens mis en œuvre pour la remise en état du réseau de PS

Les opérations ont consisté à :

- remettre en état les installations endommagées lors des travaux d'entretien de la galerie en novembre 2006 et de les améliorer pour éviter certains inconvénients apparus lors de la période de mesures 2005 – 2006.
- transférer les données au LGIT et à l'A.D.R.G.T. par modem GSM, pour les examiner et les exploiter régulièrement.

Moyens mis en œuvre :

- achat de 500 m de câble blindé et mise en place entre l'électrode de référence (hors mouvement) et la centrale
- achat de 5 électrodes de PS et mise en place dans la galerie
- remise en place de la sonde de conductivité et des pluviomètres
- achat d'un module GSM
- achat d'un multiplexeur

Le réseau de PS a été remis en marche le 19 juillet 2007

Le 25 septembre 2007, les électrodes E7 à E14 ont été retirées en prévision des travaux entrepris pour la réalisation d'une piste menant de l'entrée de la galerie vers la zone très active. Elles ont été réimplantées au même endroit le 5 décembre 2007 et rebranchées à la centrale le 14 décembre 2007.

3.5. Collaborations

3.5.1. Avec le LGIT

- 1) Yves Orenge, ingénieur de recherche du LGIT, a participé à la remise en place du réseau
- 2) Laura Sanchez, stagiaire du LGIT, a consacré une partie de son stage M2R (financé par crédits propres LGIT) à regarder les données PS et leur corrélation avec les données indépendantes.
- 3) Les données PS (du 19/07/2007 au 25/03/2008) ont été mise en accès sur le site d'OMIV (Observatoire National) au fur et à mesure: <http://www-lgit.obs.ujf-grenoble.fr/observations/omiv/SECHILIENNE/PS/ps.html>
- 4) Stéphane Garambois, maître de conférence du LGIT, a apporté son expérience dans l'interprétation des mesures de PS et dans leur signification.

3.5.2. Avec le service des routes du CG38

Nous remercions le service des routes du CG38, destinataire du rapport final, pour le financement accordé à ce projet.

4 - PRESENTATION DES RESULTATS ET PREMIERES INTERPRETATIONS

4.1. Résultat du suivi temporel du programme de recherche de 2004.

La figure 5 présente une comparaison entre a) les mesures filtrées de l'électrode E15, b) les déplacements mesurés à moins de 16 m de l'électrode et c) la pluviométrie entre le 1er septembre 2005 et le 26 août 2006. Les capteurs de déplacement situés dans la zone frontale, montrent une vitesse de déplacement stable entre le 01 septembre 2005 et le 06 mars 2006. A la suite, on observe une accélération du mouvement simultanément sur la plupart des capteurs de cette zone entre le 13 mars et le 29 avril 2006 (figure 5b). Suite à cette période d'accélération les mouvements retrouvent en 3.5 mois une vitesse de déplacement semblable à celle enregistrée entre septembre 2005 et février 2006.

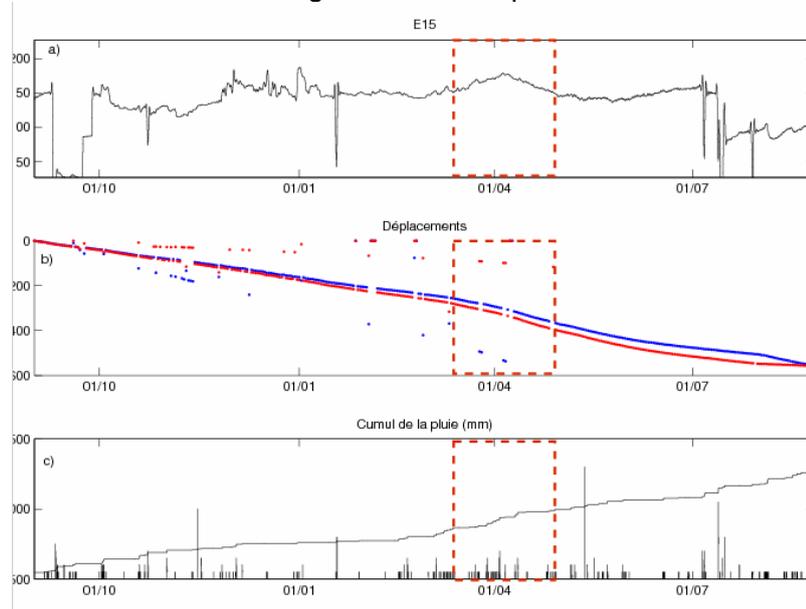


Figure 5 : a) Données filtrées des mesures de PS en mV de l'électrode E15, située dans la zone active. b) Déplacements cumulés des capteurs 1010 (points bleus) et 1102 (points rouges), situés 16 m de part et d'autre de E15. c) Pluviométrie et cumul de la pluie (mm).

La figure 5c montre que la pluviométrie est faible entre le 1er novembre 2005 et le 1er mars 2006 (100 mm en 4 mois), comparativement à la période du 1er mars 2006 au 28 avril 2006 (200 mm en 2 mois). Notons l'occurrence des précipitations de 70 mm entre le 1er mars et le 13 mars 2006.

Les mesures de PS présentent une valeur moyenne de -100 mV sur la période étudiée. Une augmentation du potentiel spontané est observée sur tous les enregistrements entre le 13 mars et le 5 avril 2006. Les mesures retrouvent la valeur moyenne aux alentours du 29 avril. L'augmentation des précipitations est très probablement la cause de l'accélération des mouvements enregistrés entre le 13 mars et le 29 avril 2006. Ces mesures montrent une bonne corrélation entre une augmentation basse fréquence de la PS enregistrée sur tout le réseau, un accroissement des précipitations et l'accélération du mouvement. Le suivi temporel effectué sur la période 2007 2008 était nécessaire pour confirmer cette observation.

4.2. Résultat du suivi temporel du programme de recherche de 2007.

4.2.1. Présentation des données brutes

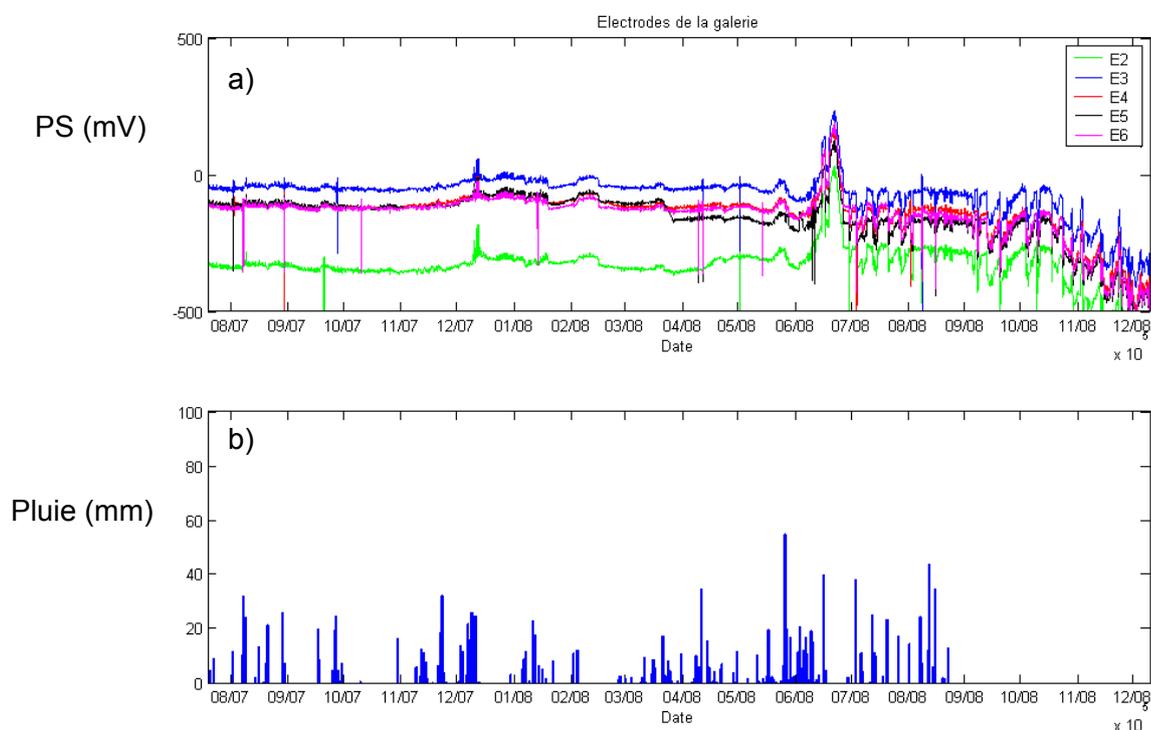


Figure 6 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f = 1/1$ jour) de PS (mV) mesurées sur les électrodes placées dans la galerie de reconnaissance (E2 à E6). b) Pluviométrie

La figure 6 (agrandie en annexe) présente les mesures filtrées (filtre passe bas $f = 1/(1 \text{ jour})$) de PS acquises dans la galerie de reconnaissance ainsi que la pluviométrie mesurée devant l'entrée de la galerie de reconnaissance. Toutes nos mesures ont pour référence l'électrode Ref, située en dehors du mouvement. Le pluviomètre a commencé à fonctionner de manière fiable le 1 mars 2008.

Le suivi temporel entre juillet 2007 et septembre 2008 montre une stabilité temporelle des mesures de PS au niveau de la galerie de reconnaissance. Toutefois, une anomalie de 200 mV est remarquable durant le mois de juin 2008.

La figure 7 (agrandie en annexe) présente les mesures de PS filtrées (filtre passe bas $f = 1/(1 \text{ jour})$) effectuées au dessus de la galerie de reconnaissance (E18 à E22). Comme les potentiels dans la galerie, ces mesures sont relativement stables dans le temps. On remarque toutefois une forte anomalie de 200 mV durant le mois de juin 2008.

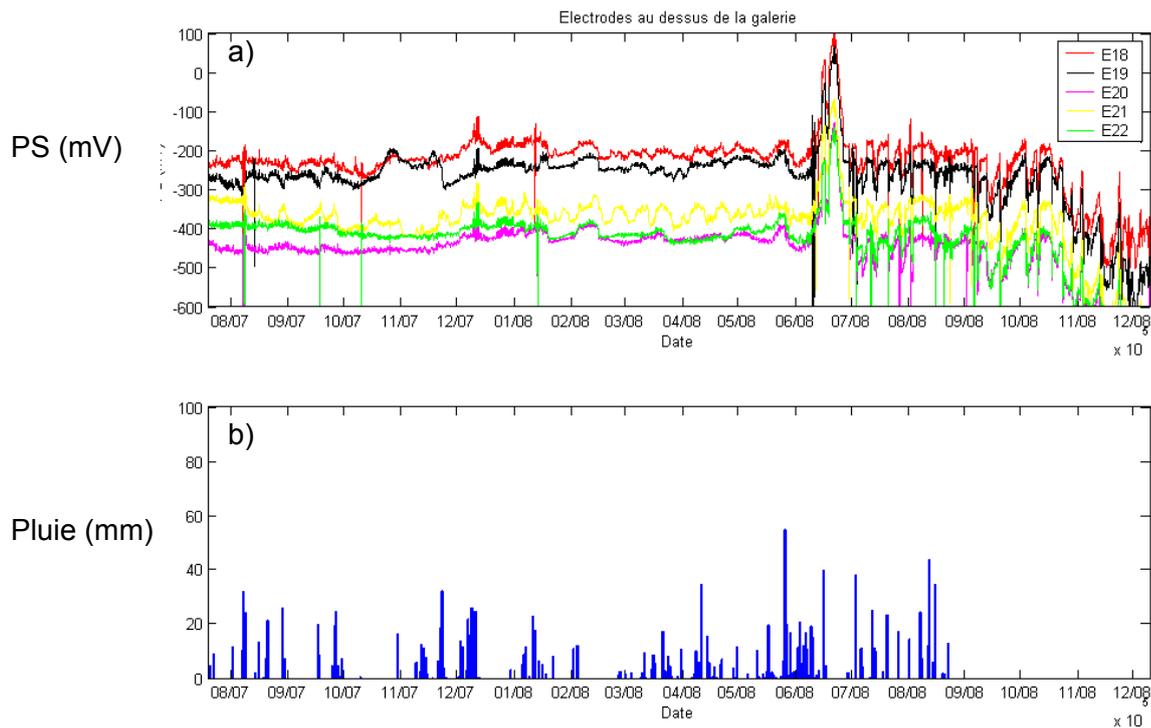


Figure 7 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f= 1/1$ jour) de PS (mV) mesurées sur les électrodes placées au dessus de la galerie de reconnaissance (E18 à E22). b) Pluviométrie

La figure 8 (agrandie en annexe) montre les potentiels spontanés mesurés sur les électrodes placées dans la zone très active (E7 à E17). Ces mesures présentent une tendance générale stable. Cependant on note comme sur les mesures en galerie de la présence d'une anomalie de 200 mV durant le mois de juin 2008.

4.2.2. Influence du champ magnétique terrestre

Afin de déterminer l'origine de la forte anomalie mesurée au mois de juin 2008 (200 mV mesurée sur toutes les électrodes du réseau) nous avons comparé les mesures de PS de l'électrode 18 (placée au dessus de la galerie) et du champ magnétique terrestre mesuré à Chambon la Forêt (BCMT, IPGP, INTERMAGNET). Sur la figure 9 (agrandie en annexe), on n'observe pas d'anomalie dans le champ magnétique terrestre courant juin 2008. On peut donc supposer que cette anomalie n'est pas générée par une modification du champ magnétique (exemple orage magnétique).

4.2.3. Influence de l'électrode de référence

Cette forte anomalie se retrouvant sur toutes les électrodes nous avons voulu vérifier qu'elle ne provenait pas d'une modification de l'environnement de l'électrode de référence. Ainsi la figure 10 (agrandie en annexe) présente les mesures filtrées de E15 (en a) et E2 (en b) ainsi que la différence E15-E2. Cette différence permet de s'affranchir des variations liées à l'électrode de référence. On observe que sur la figure 10 c, il n'y a plus d'anomalie en juin 2008. On en déduit que cette anomalie peut trouver son origine dans la modification de l'environnement de l'électrode de référence (circulation de fluide, modification de l'humidité de l'argile salée entourant l'électrode, ...)

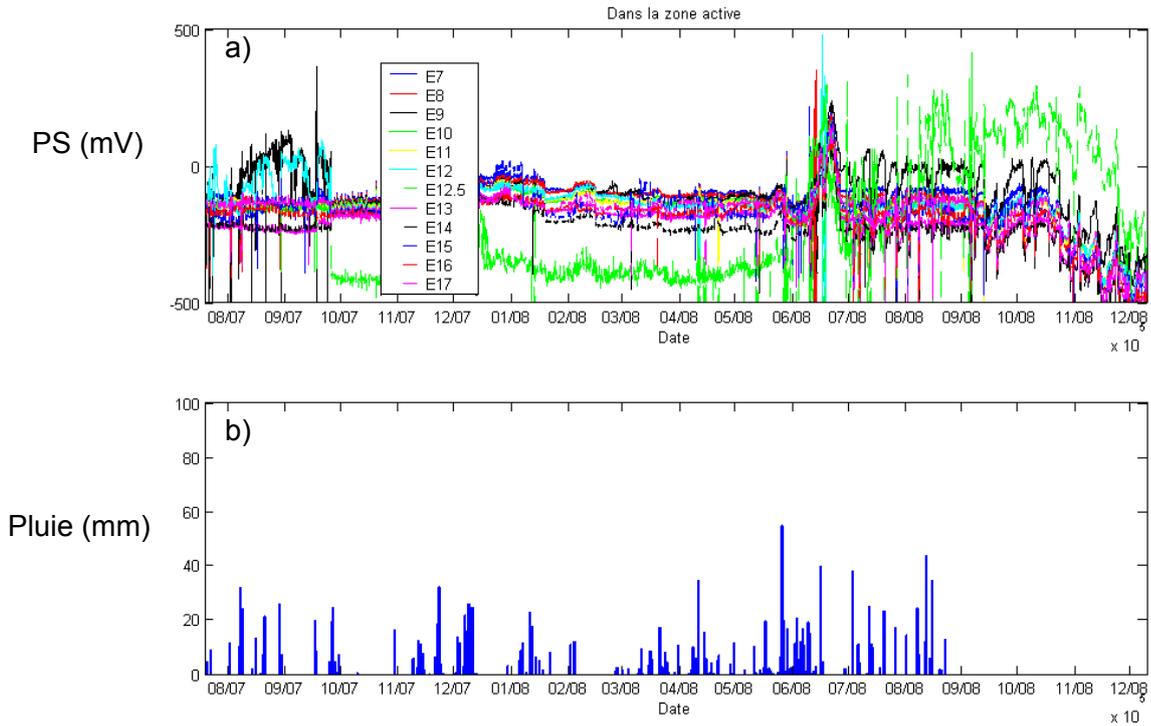


Figure 8 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1\text{jour}$) de PS (mV) mesurées sur les électrodes placées dans la zone active (E7 à E17). b) Pluviométrie

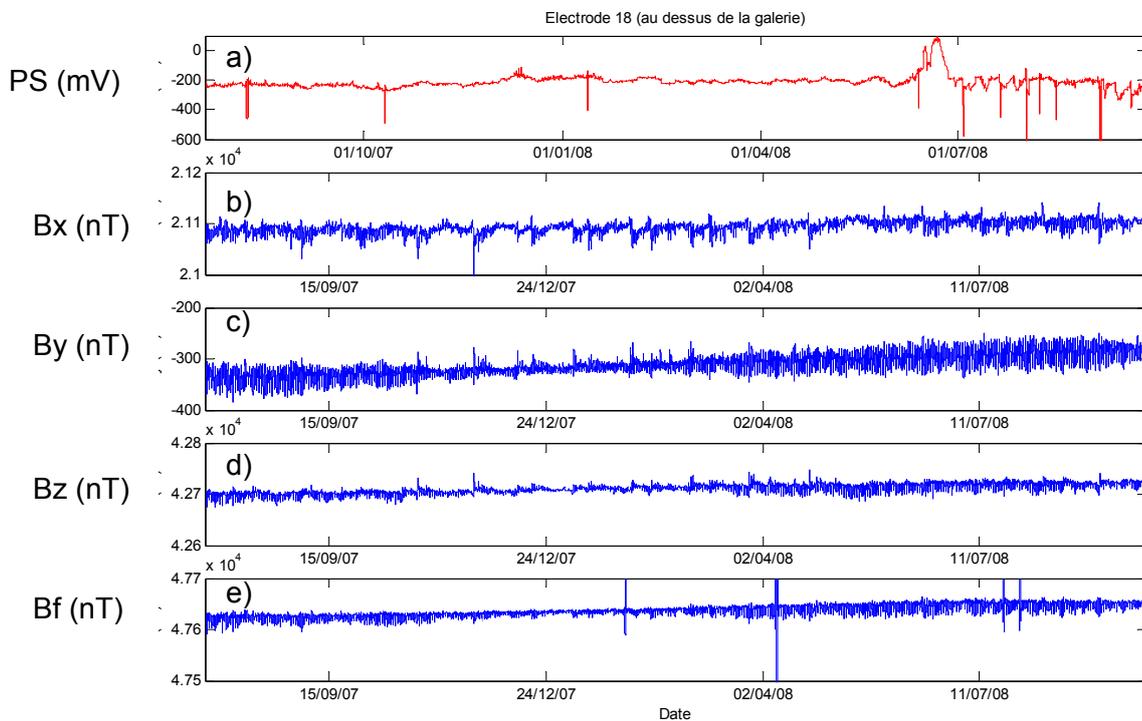


Figure 9 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1\text{jour}$) de PS (mV) mesurées en E18. b), c), d) et e) mesure du champ magnétique terrestre à Chambon la Forêt (FRANCE) respectivement en x, y, z, et f.

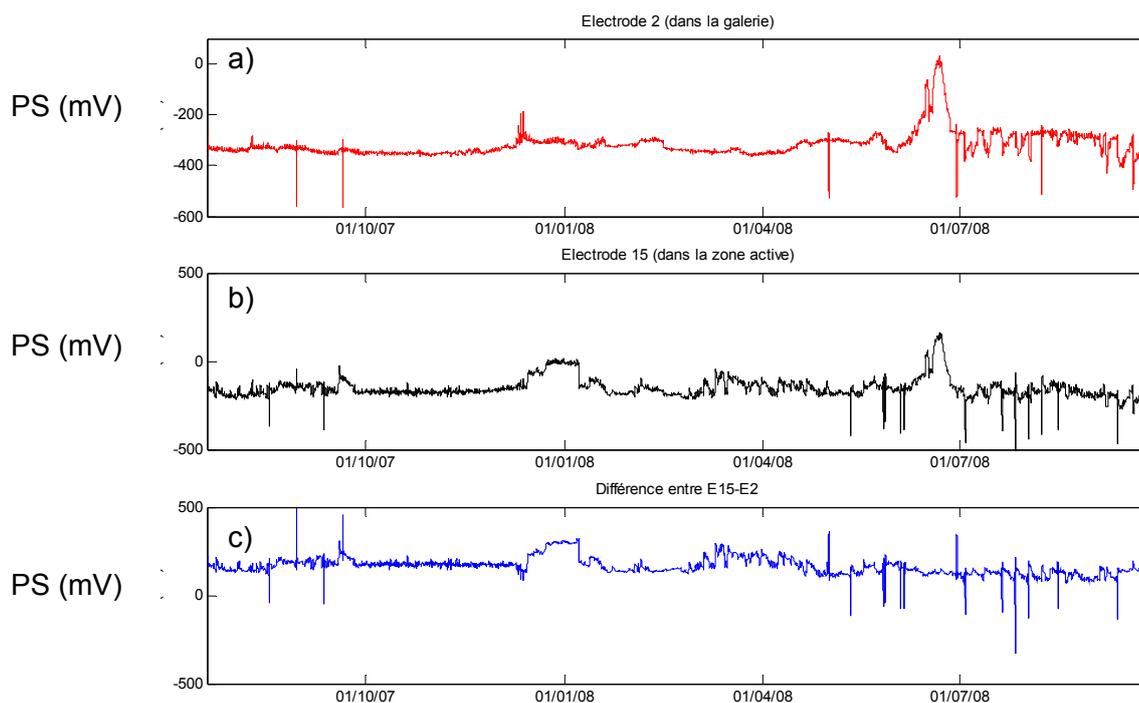


Figure 10 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/\text{jour}$) de PS (mV) mesurées en E2. b) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/\text{jour}$) de PS (mV) mesurées en E15. c) différence entre es valeurs filtrées de E15-E2.

4.2.4. Etude des gradients de potentiel spontané au niveau de la galerie

L'examen du comportement des électrodes situées au niveau de la galerie de reconnaissance (E2 à E6 et E18 à E22) met en évidence des variations de PS de quelques dizaines de mV. Notamment on remarque que les potentiels des électrodes E4, E5 et E6 sont très proches depuis le début de mesures (juin 2007) jusqu'en mars 2008. En mars 2008 le potentiel mesuré en E5 chute de plusieurs dizaines de mV et devient ainsi plus faible que les potentiels mesurés en E4 et E6. Ce comportement a pour effet de modifier les gradients de potentiel spontané au sein du massif ce qui pourrait traduire une modification des intensités et des sens d'écoulements au niveau de E5.

De même on remarque que les potentiels des électrodes placées au dessus de la galerie varient de quelques dizaines de mV. Notamment durant l'été 2007 la différence de potentiel entre E20 (en moyenne -450 mV) et E22 (en moyenne -400 mV) est d'environ 50 mV. Or dès le début de l'année 2008 les potentiels de ces 2 électrodes ont tendance à se superposer. Ce comportement semble traduire une diminution de l'intensité des écoulements entre E22 et E20.

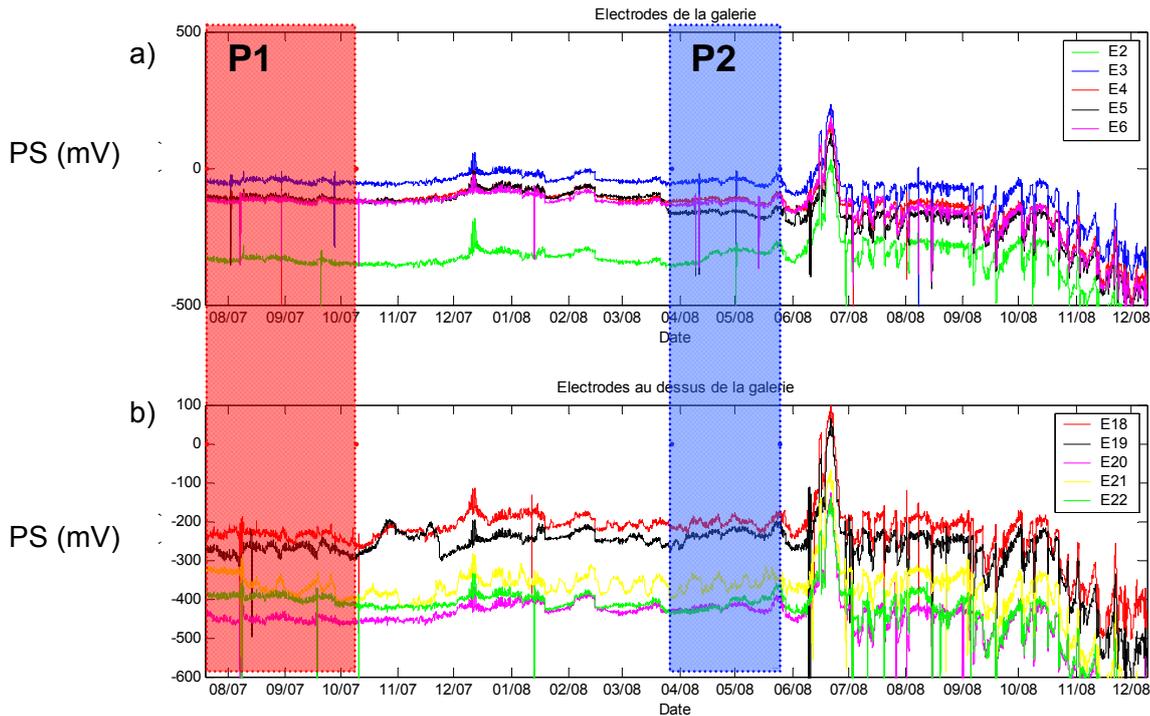


Figure 11 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1\text{jour}$) de PS (mV) mesurées dans la galerie. b) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1\text{jour}$) de PS (mV) mesurées au dessus de la galerie.

Afin de visualiser ces variations d'écoulements au sein du massif, nous avons sélectionné deux périodes P1 et P2 qui rendent compte de ces différents comportements : P1 s'étend du 20 juin 2007 au 9 octobre 2007 et P2 du 27 mars 2008 au 25 mai 2008 (figure 11, agrandie en annexe). Ces deux périodes encadrent la phase d'accélération de décembre 2007 qui peut générer des modifications permanentes ou non dans les chemins d'écoulement. P1 et P2 ont été choisies de manière à couvrir des périodes où les potentiels sont relativement stables mais où les courbes de PS présentent des comportements différents. Par exemple, en P1 on remarque que le potentiel de E5 est plus élevé que E4 et E6 alors qu'il est plus faible en P2. On constate aussi que le potentiel de E20 est beaucoup plus faible en P1 qu'en P2 où il devient très proche de E22. Ces variations de potentiel peuvent être la traduction de changement de circulation au sein du massif, c'est pourquoi nous avons représenté sur la figure 12a (agrandie en annexe) les mesures de PS réalisées au niveau des électrodes situées dans la galerie (E2 à E6) et au dessus de la galerie (E18 à E22) et moyennées entre le 20/07/07 et le 9/10/07 (P1). La position de chaque électrode est représentée par un cercle dont la couleur est représentative de la valeur moyenne de PS. Les valeurs de la polarisation spontanée sont interpolées entre les divers points de mesures. Les gradients de PS sont matérialisés par des flèches qui indiquent leur sens et leur intensité. La figure 12b présente les mesures de PS moyennées entre le 27/03/08 et le 25/05/08 (P2). La figure 12c représente la différence de potentiel entre la période P2 et P1.

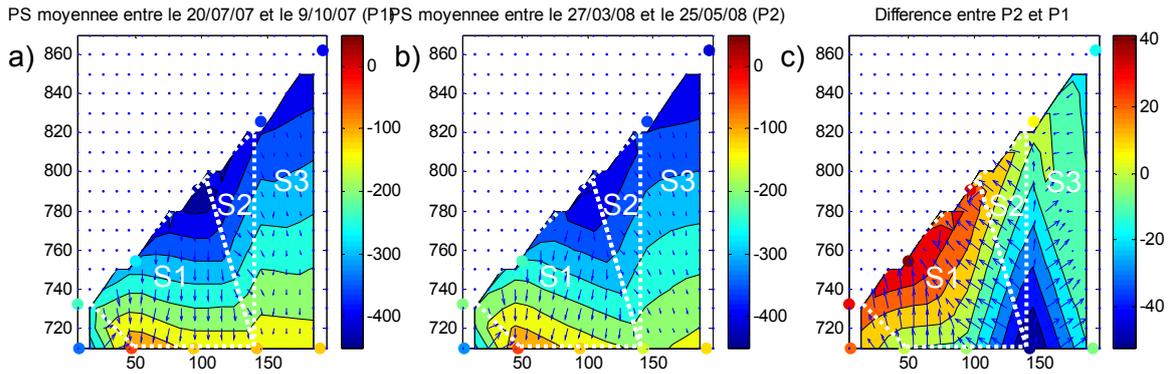


Figure 12 : a) mesures de PS moyennées entre le 20/07/07 et le 9/10/07 (P1) des électrodes situées dans la galerie (E2 à E6) et au dessus de la galerie (E18 à E22). b) mesures de PS moyennées entre le 27/03/08 et le 25/05/08 (P2). c) Différence entre la période P2 et P1.

Globalement, les gradients de PS ne sont pas très différents entre P1 et P2 car l'on distingue pour les 2 périodes et comme lors de la campagne de mesure de 2004 trois secteurs. Le premier secteur (S1), délimité par les électrodes E3, E5, E20 et E18, présente des gradients verticaux forts. Le deuxième secteur (S2), délimité par les électrodes E5, E21 et E20, montre des gradients latéraux orientés vers le centre du massif, le dernier secteur (S3), délimité par les électrodes E6, E22 et E21, révèle des gradients de faible intensité.

Cependant la différence entre P2 et P1 montre que ces gradients ont évolué dans le temps. Notamment on remarque que les gradients dans le premier et le deuxième secteur sont plus importants pendant la période P1 que pendant la période P2 (les flèches sont dirigées vers le haut, sur la fig. 12c).

Dans la galerie les électrodes qui subissent les plus grandes variations sont E2 et E5 (respectivement environ +20 mV et -40 mV), alors qu'en surface les électrodes dont le potentiel est le plus variable sont E18 à E20 (+30 à +40 mV environ). Quand aux électrodes E3, E4 et E21, elles subissent une variation inférieure à +/- 10 mV.

Le cumul de pluie tombée durant la période P1 est de 330 mm alors que durant la période P2 il n'est que de 170 mm. Cette différence peut expliquer les variations de gradients observées.

Ce dispositif de mesure semble donc mettre en évidence les variations d'intensité et des chemins d'écoulement au sein du massif selon les différentes périodes observées.

4.2.5. Comparaison des mesures de PS et de déplacement

A ce jour nous n'avons pas obtenu l'autorisation de publier les résultats des mesures de mouvements pour toute la période étudiée. Les tendances générales du mouvement durant cette période présentent une accélération générale à partir de début décembre 2007 et une autre au 1 juin 2008. Ce second épisode d'accélération pourrait être lié aux fortes précipitations qui ont eu lieu entre la dernière semaine de mai 2008 et le 17 juin 2008. Une forte accélération du mouvement se produit le 21 juillet 2008. Cette accélération brutale entraîne l'éboulement du 22/07/2008 emportant la cible 631 située dans la zone frontale. Puis les vitesses de mouvements retournent à la normale.

La figure 13a (agrandie en annexe) présente le déplacement mesuré sur une cible (1010) localisée entre les électrodes E14 et E15 du réseau de PS. Les accélérations mesurées dans ce secteur sont plus marquées qu'au niveau de la galerie de reconnaissance, c'est pourquoi nous avons choisi de représenter les mesures de déplacement de cette cible. En b, les courbes représentent les vitesses de déplacement en mm/jour mesurées sur cette même cible. La courbe rouge représente les vitesses brutes mesurées, la courbe bleue représente les vitesses filtrées avec un filtre passe bas $f = 1/1\text{jour}$. En c nous avons représenté les mesures de PS sur l'électrode 4 (en rouge) et 5 (en bleu) décalées de +150 mV pour

visualiser avec la même échelle de valeurs la pluviométrie (mm en noir). Les mesures des électrodes situées dans le même secteur (E14 et E15) ne sont malheureusement pas disponibles sur cette période (voir § 3.4).

On remarque sur les mesures de déplacement qu'une accélération du mouvement se produit à partir du 21/11/2007. Les mouvements mesurés sur cette cible évoluent d'une vitesse moyenne de 1.3 mm/jour à 3.7 mm/jour en 4 jours puis se stabilisent avec une vitesse moyenne de 1.5 mm/jour le 30/03/2008.

Deux événements pluvieux pourraient être à l'origine du début de l'accélération :

- Une pluie de 43.1 mm tombée entre le 9/11/07 et le 15/11/07
- Une pluie de 61.8 mm entre le 21/11/07 et le 24/11/07 dont 32 mm le 23/11/07

Le maximum de vitesse qui se produit du 6/12/07 au 02/01/08 ($v > 3$ mm/jour) semble corrélé avec une pluie de 138.4 mm tombée entre le 3/12/07 et le 11/12/07.

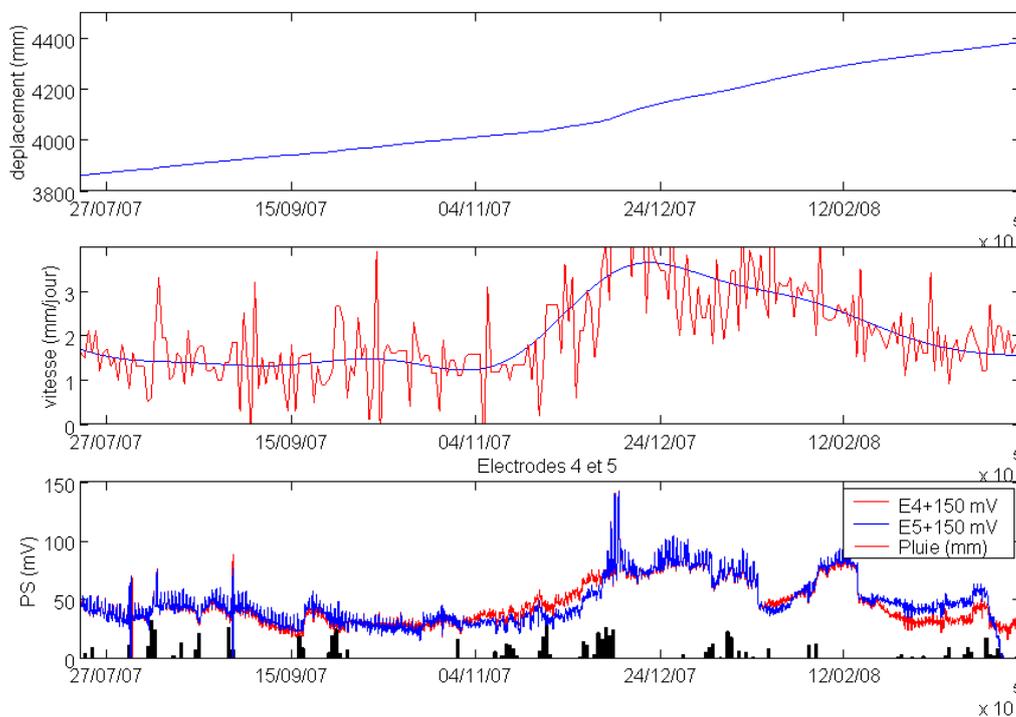


Figure 13 : a) déplacement mesuré sur une cible (1010) localisée entre les électrodes E14 et E15 du réseau de PS. b) rouge : vitesses brutes mesurées en mm/jour, bleue : vitesses filtrées avec un filtre passe bas $f=1/1$ jour. c) mesures de PS sur l'électrode 4 (en rouge) et 5 (en bleu) décallées de +150 mV pour visualiser en superposition la pluviométrie (mm en noir).

L'étude des courbes de polarisation spontanée montre une anomalie positive de PS d'amplitude variable selon les électrodes (24 à 44 mV) entre le 12/11/07 et le 28/02/08. Comme le montre la figure 13c, la date du début de l'anomalie varie selon les électrodes. Le tableau suivant récapitule les amplitudes et les dates de début d'anomalie mesurées sur les électrodes situées au niveau de la galerie de reconnaissance.

Electrodes	E2	E3	E4	E5	E6	E18	E19	E20	E21	E22
Date de début d'anomalie	24/11 2007	17/11 2007	12/11 2007	28/11 2007	22/11 2007	23/11 2007	?	15/11 2007	?	28/11 2007
Amplitude (mV)	41	34	37	41	30	44		37		24

Tableau 1: Date de début d'anomalie et amplitude en mV de l'anomalie positive détectée entre le 12/11/2007 et le 28/02/2008

Sur cet événement on distingue trois types de comportement :

- Les électrodes (E3 E4 E20) dont l'anomalie débute quelques jours après la pluie mais avant le début de l'accélération et dont l'amplitude est moyenne (34 à 37 mV)
- Les électrodes (E2 E5 E18) dont la réaction est plus tardive et débute après le début de l'accélération et dont l'amplitude est forte (> 41 mV)
- Les électrodes (E6 E22) qui réagissent tardivement et dont l'amplitude est faible (< 30 mV)

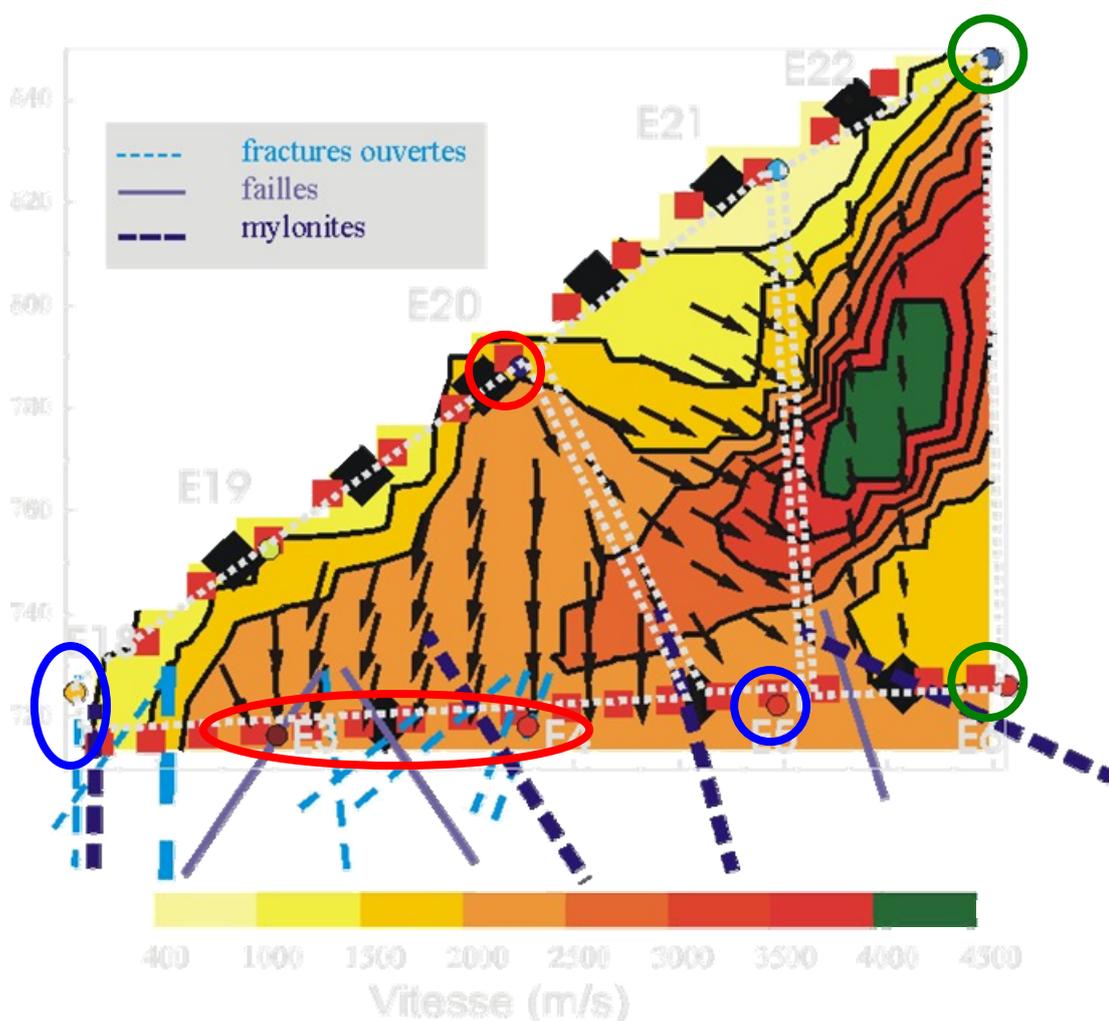


Figure 14 : Localisation des électrodes au niveau de la galerie de reconnaissance avec les résultats de la tomographie de sismique, le relevé de fracturation de Vengeon (1998) et les

On remarque que la famille d'électrodes dont l'amplitude est moyenne et qui réagit avant le début de l'accélération (E3 E4 et E20) est localisée dans une zone très fracturée selon la tomographie sismique et le relevé de Vengeon (figure 14). Dans ce secteur les gradients de PS sont verticaux ce qui suggère que les mouvements de fluides sont verticaux.

Les fluctuations précoces de PS mesurées sur ces 3 électrodes peuvent par conséquent être liées aux variations plus rapides des circulations d'eau que dans les autres secteurs car la fracturation est plus importante.

L'électrode E5 qui appartient à la famille d'électrodes qui a réagi tardivement après le début de l'accélération mais avec une amplitude importante, est localisée à proximité de zone mylonitisée.

Les circulations dans ce secteur sont probablement ralenties par la présence de ces zones mylonitisées mais aussi plus concentrées ce qui pourrait expliquer le comportement de la PS au niveau de E5.

Les électrodes E22 et E6 appartiennent à la famille d'électrode qui a réagit tardivement et avec une faible amplitude. Elles sont localisées dans un secteur où la fracturation et les circulations sont faibles. Ce contexte peu favorable à une circulation rapide des eaux de pluie peut être à l'origine des amplitudes faibles et de la réaction tardive mesurées.

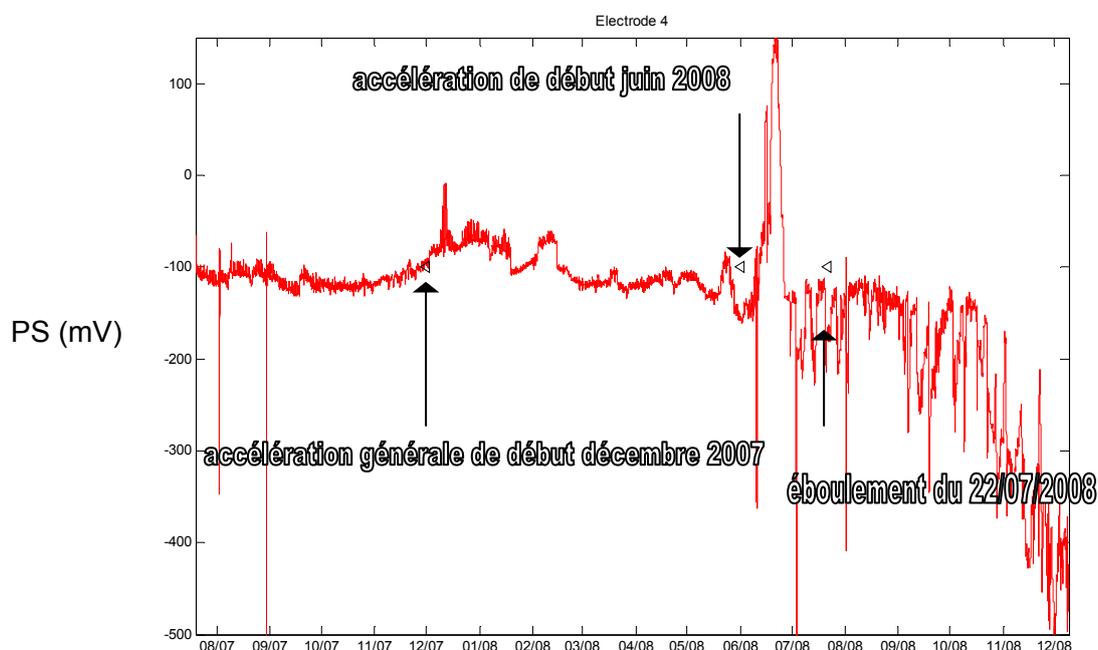


Figure 15 : Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1$ jour) de PS (mV) mesurées en E20.

D'après la figure 15 (agrandie en annexe) l'accélération de début juin 2008 semble aussi corrélée à la forte anomalie positive de PS de 320 mV qui débute le 4 juin 2008 et prend fin le 5 juillet 2008. Cependant cette anomalie, identique sur chaque électrode, pourrait être liée soit à une modification des sources de potentiels au niveau de l'électrode de référence soit à une modification générale sur tout le réseau.

L'éboulement du 22/07/2008 s'est produit alors que les mesures de potentiels spontanés sont très perturbées. Il est difficile de conclure que l'éboulement lui-même est marqué par une anomalie de PS.

5 - CONCLUSIONS

L'objectif de ce travail était de remettre en route le réseau de PS mis en place en 2005 sur le mouvement de Séchilienne afin de compléter les premières observations faites dans le cadre de la thèse d'Ombeline MERIC en 2005-2006. Ce suivi temporel de 2 ans visait à confirmer en particulier que lors des accélérations saisonnières en hiver-printemps la PS présente toujours une anomalie positive de plusieurs dizaines de millivolts. D'autre part, le suivi temporel effectué sur plusieurs profils de plus de 250 m de long, apporte une information très complémentaire aux sondages prochainement réalisés.

Ce suivi temporel a rencontré plusieurs problèmes qui limitent les interprétations possibles des mesures. En effet la partie de réseau proche de la zone la plus active (E7 à E17) a dû être déconnectée pendant plusieurs semaines entre le 25/09/07 et le 14/12/07 pour la réalisation de la prolongation de la piste d'accès à la galerie. Or durant le mois de décembre on a une accélération importante du mouvement dont l'effet sur la PS n'a pas pu être mesuré sur les électrodes les plus proches de la zone active.

Les données de mesures de déplacements fournies par le CETE de Lyon s'arrêtent au mois de mars 2008. La période de recouvrement entre les mesures de PS commencée en juin 2007 et la fin des mesures de déplacement en mars 2008 implique qu'il n'y a que 10 mois de comparaison possible. Durant cette période une seule accélération s'est produite.

Les données ont été filtrées pour éliminer le bruit dont la période est inférieure à la journée. Ce bruit est consécutif à l'éloignement de l'électrode de référence pour la placer hors du mouvement.

Plusieurs anomalies ont été repérées sur les mesures de PS. Afin de vérifier que les variations du champ magnétique n'étaient pas à l'origine de ces anomalies, nous avons comparé nos mesures avec celles du champ magnétique terrestre mesuré à Chambon la Forêt (France). On en a conclu que les anomalies de PS ne sont pas liées aux variations du champ magnétique terrestre.

L'étude des variations de potentiel spontanée au cours du temps a permis de mettre en évidence des variations d'intensité et des chemins d'écoulement au sein du massif selon les différentes périodes observées.

Enfin nous avons comparé nos mesures de PS avec les mesures de déplacement pour repérer les anomalies de PS liées à des accélérations du mouvement.

Les accélérations semblent bien s'accompagner d'anomalies positives de PS. Ces anomalies pourraient être liées à des variations d'écoulement au sein du massif ou/et de la hauteur de la nappe. Selon les secteurs envisagés, la réaction de la PS est variable en amplitude et en délais. Ces variations semblent liées aux différents degrés de fracturation du rocher : dans un milieu très fracturé la réponse de PS est rapide et d'amplitude forte, dans un milieu peu fracturé la réponse est tardive et de plus faible amplitude et dans un milieu mylonitisé la réponse est forte mais tardive. On vérifie ainsi que les circulations de fluide sont spatialement variables : concentrées et lentes au niveau des zones mylonitisées et rapides et importantes dans les secteurs très fracturés.

Ce travail apporte une confirmation de la présence d'une anomalie positive de plusieurs dizaine de mV lors de l'accélération du mouvement. Inversement il semble qu'il puisse y avoir de telles anomalies sans accélération notable.

Globalement, on observe une grande complexité des signaux car ils présentent une réponse variable en amplitude et en temps à deux périodes d'accélération (décembre 2007 et juin 2008) à moins que l'anomalie de juin 2008 ne soit liée à une modification de l'environnement de l'électrode de référence.

Néanmoins ce travail est important car il apporte presque 2 ans de données de suivi temporel de PS en milieu rocheux fracturé pour la communauté scientifique, par leur mise à disposition par l'observatoire des glissements de terrain (OMIV).

Les perspectives de ce travail sont multiples. Il faut poursuivre l'entretien du réseau pour continuer le suivi temporel de la PS. En effet, les phénomènes régissant les polarisations spontanées sont complexes et le milieu étudié, le mouvement de Séchilienne, ne l'est pas moins. Presque 2 ans de mesures ne sont pas suffisants pour interpréter les variations temporelles de PS car les sources sont multiples.

Les sondages qui doivent être réalisés à l'été 2009, complétés de mesures piézométriques apporteront des informations importantes pour tendre vers une interprétation quantitative de nos données. En effet si une nappe d'eau est observée dans les forages programmés nous pourrions calculer les coefficient de couplage électrocinétique in situ, ce qui pourra permettre d'extrapoler la hauteur de nappe et ces variations à tout le réseau.

Dans le cadre de ce projet nous n'avons pas eu le temps de développer comme prévu un modèle numérique de réponse électrocinétique car il subsiste encore trop d'inconnues sur la géométrie des écoulements et le coefficient de couplage électrocinétique. Ce travail sera à effectuer lorsque les sondages seront réalisés.

L'ADRGT se tient à votre disposition pour tout renseignement complémentaire relative à cette étude.

Rapport établi par :	vérifié par :	validé par :
O. MERIC		P. DESVARREUX

6 - BIBLIOGRAPHIE

- Antoine, P., Giraud, A., Evrard, H., and Rochet, L. 1994. A Huge Slope Movement at Séchilienne, Isère, France. *Landslide news*, **8**: 15-18.
- Bogoslovsky, V.A., and Ogilvy, A.A. 1977. Geophysical methods for the investigation of landslides. *Geophysics*, **42**: 562-571.
- Bruno, F., and Marillier, F. 2000. Test of high-resolution seismic reflection and other geophysical techniques on the Boup landslide in the Swiss Alps. *Surveys in Geophysics*, **21**: 333-348.
- Duranthon, J.P., Effendiantz, L., Memier, M., and Previtali, I. 2003. Apport des méthodes topographiques et topométriques au suivi du versant rocheux instable des ruines de Séchilienne. *Revue XYZ*, **94**: 31-38.
- Evrard, H., Gouin, T., Benoit, A., and J.P., D. 1990. Séchilienne, Risques majeurs d'éboulements en masse, Point sur la surveillance du site. *Bulletin de liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées*, **165**: 7-16.
- Giano, S.I., Lapenna, V., Piscitelli, S., and Schiattarella, M. 2000. Electrical imaging and self-potential surveys to study the geological setting of the quaternary slope deposits in the Agri high valley (Southern Italy). *Annali di Geofisica*, **43**: 409-419.
- Giraud, A., Rochet, L., and Antoine, P. 1990. Processes of slope failure en crystallophyllian formations. *Engineering Geology*, **29**: 241-253.
- Meric, O., Garambois, S., Jongmans, D., Wathelet, M., Chatelain, J.L., and Vengeon, J.M. 2005. Application of geophysical methods for the investigation of the large gravitational mass movement of Séchilienne, France. *Canadian Geotechnical Journal*, **42**: 1105-1115.
- Pettiau, G. 2000. Second Generation of Lead-lead Chloride Electrodes for Geophysical Applications. *Pure and Applied Geophysics*, **157**: 357-382.
- Potherat, P., and Alfonsi, P. 2001. Les mouvements de versant de Séchilienne (Isère) Prise en compte de l'héritage structural pour leur simulation numérique. *Revue française de géotechnique*, **95/96**: 117-130.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Jenatton, L., and Gamond, J.F. 2003. The Belledonne Border Fault: identification of an active seismic strike-slip fault in the western Alps. *Geophys. J. Int.*, **155**: 174-192.
- Vengeon, J. 1998. Deformation et rupture des versants en terrain métamorphique anisotrope apport à l'étude des Ruines de Séchilienne, Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble.

7 - ANNEXES

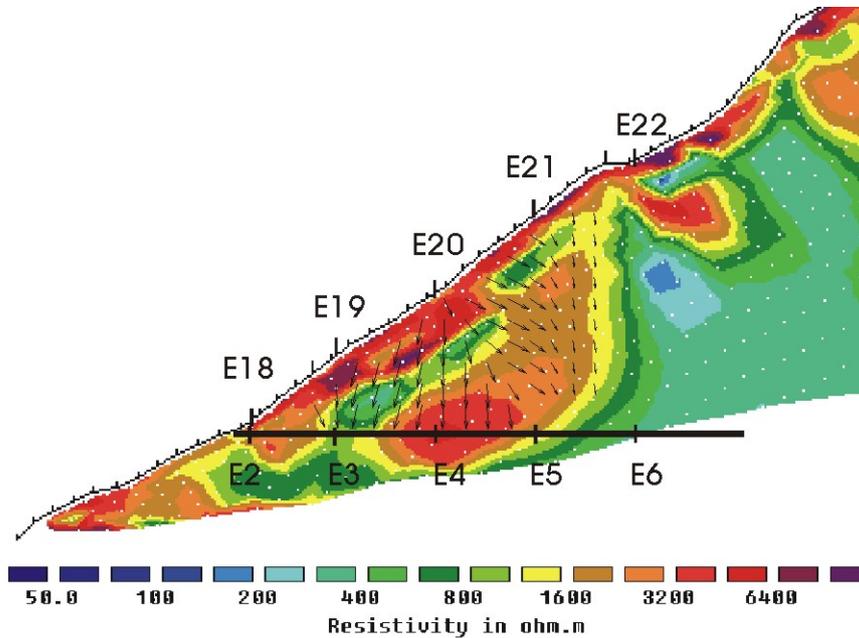


Figure A1 : Superposition entre la tomographie électrique réalisée pour le Service de Prévention des Risques de la DDE 38 et les gradients de PS.

La figure A1 présente une superposition entre une tomographie électrique réalisée par la SAGE pour le compte du Service de Prévention des Risques de la DDE 38 et les gradients de PS. Cette tomographie électrique met en évidence des contrastes de résistivité importants que la galerie permet de calibrer. Le CETE de Lyon interprète cette tomographie de la manière suivante : la première partie de la galerie (zone à fractures ouvertes, à dominante gréseuse) est caractérisée par de fortes valeurs de résistivité (supérieures à 1000 $\Omega.m$). Au-delà de ce tronçon, les résistivités diminuent régulièrement dans une zone de schistes noirs peu fracturés avec venues d'eau jusqu'à atteindre moins de 150 $\Omega.m$ dans la zone mylonitisée en fond de galerie. Les anomalies très conductrices pourraient être liées à la présence de zones broyées ou mylonitisées humides le long des grandes failles recoupant le massif.

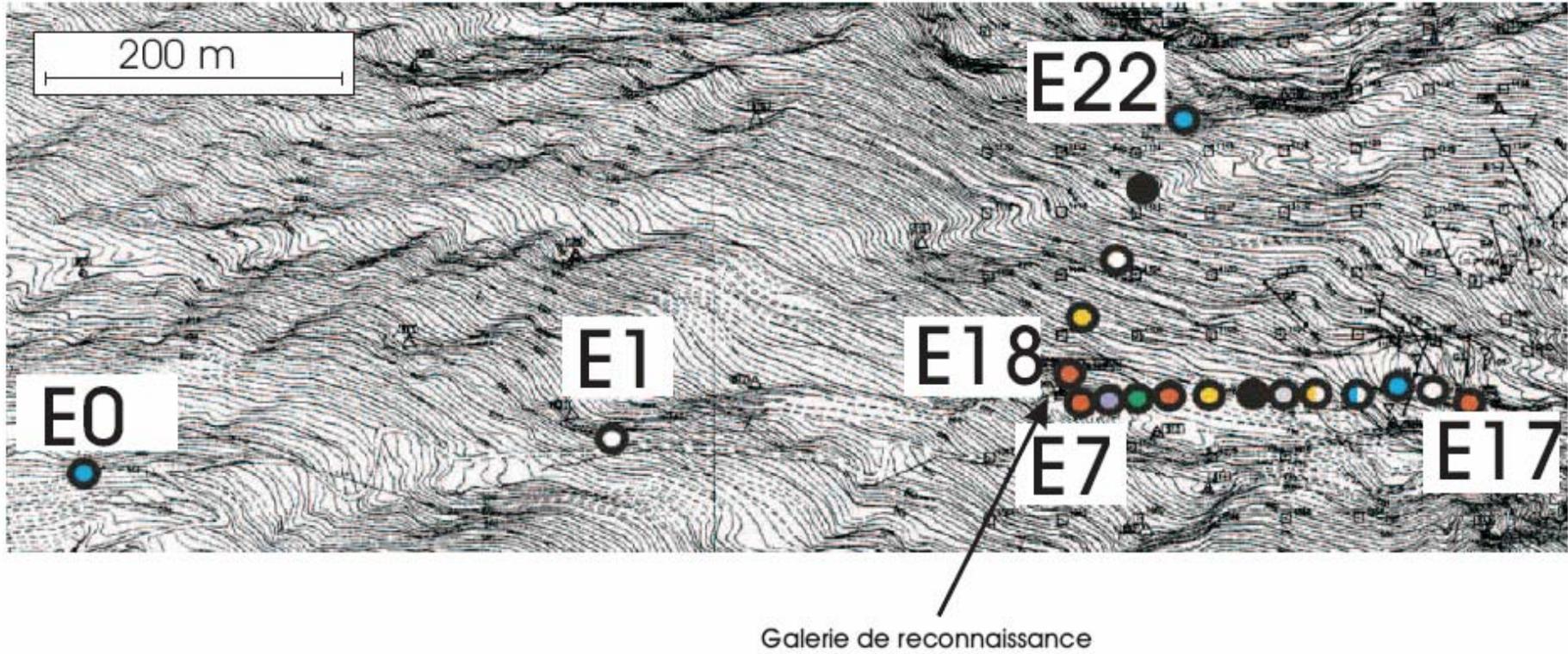


Figure 4 b : Plan de positionnement des électrodes

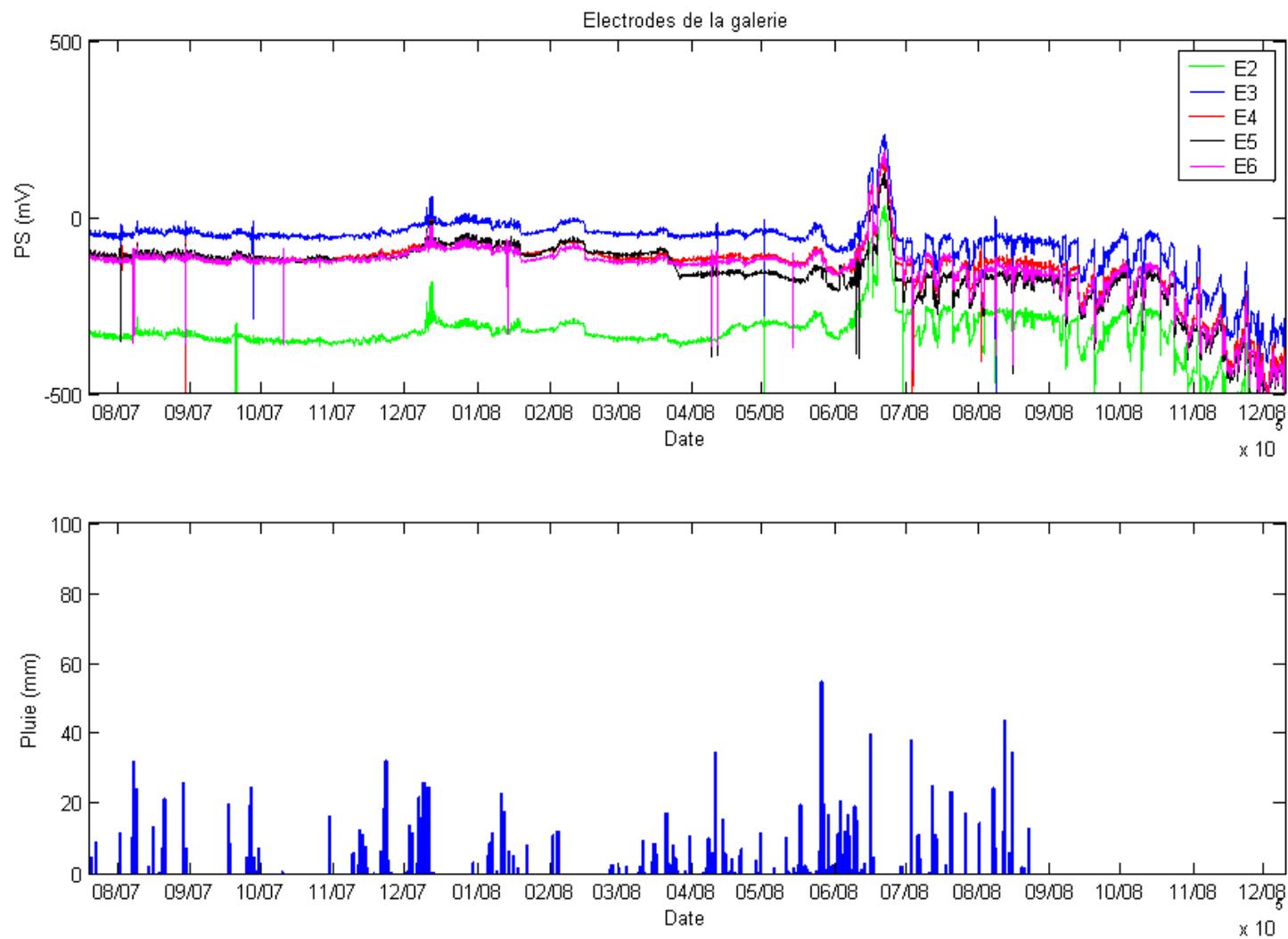


Figure 6 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f= 1/1$ jour) de PS (mV) mesurées sur les électrodes placées dans la galerie de reconnaissance (E2 à E6). b) Pluviométrie

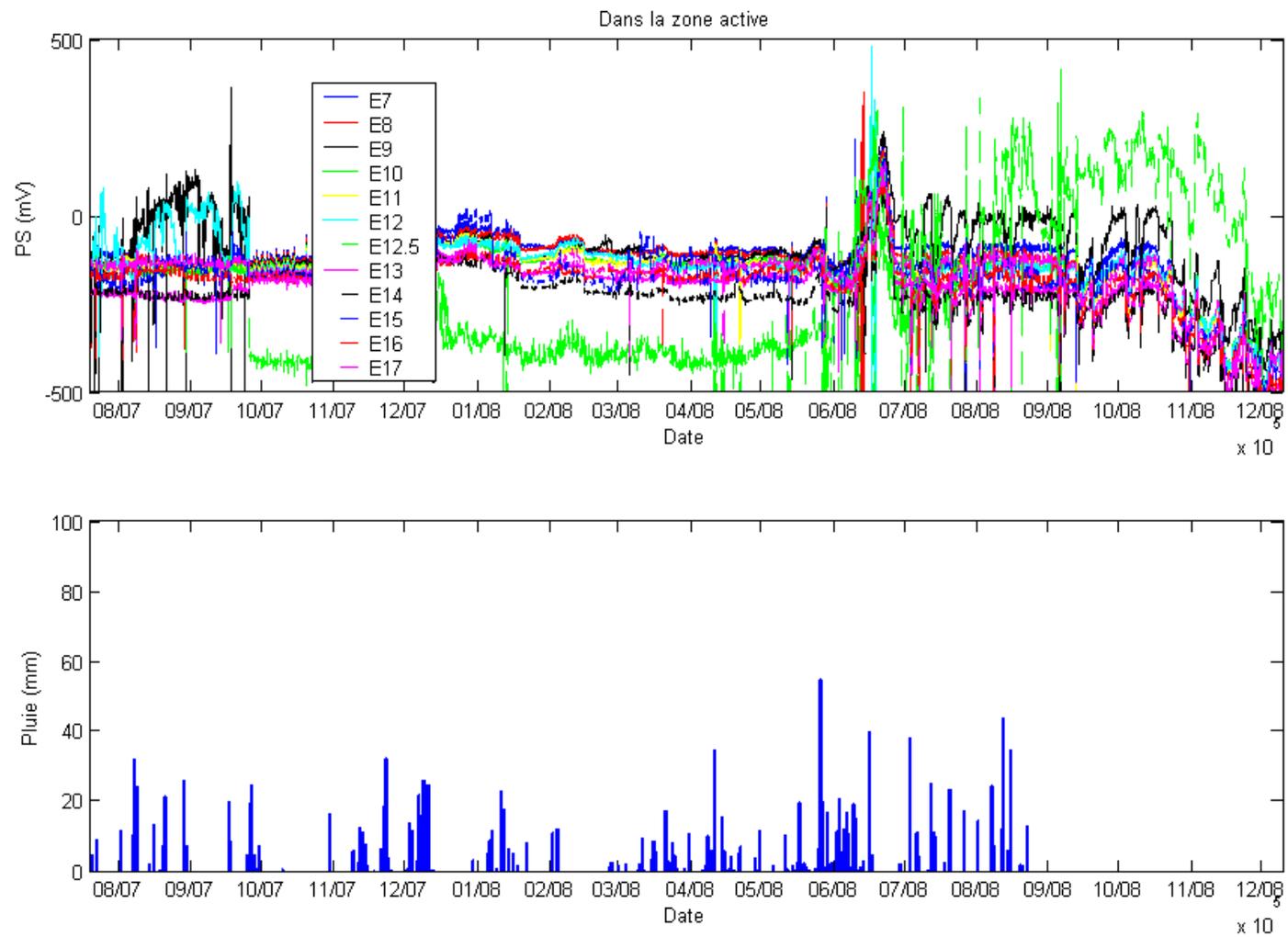


Figure 8 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f= 1/1\text{jour}$) de PS (mV) mesurées sur les électrodes placées dans la zone active (E7 à E17). b) Pluviométrie

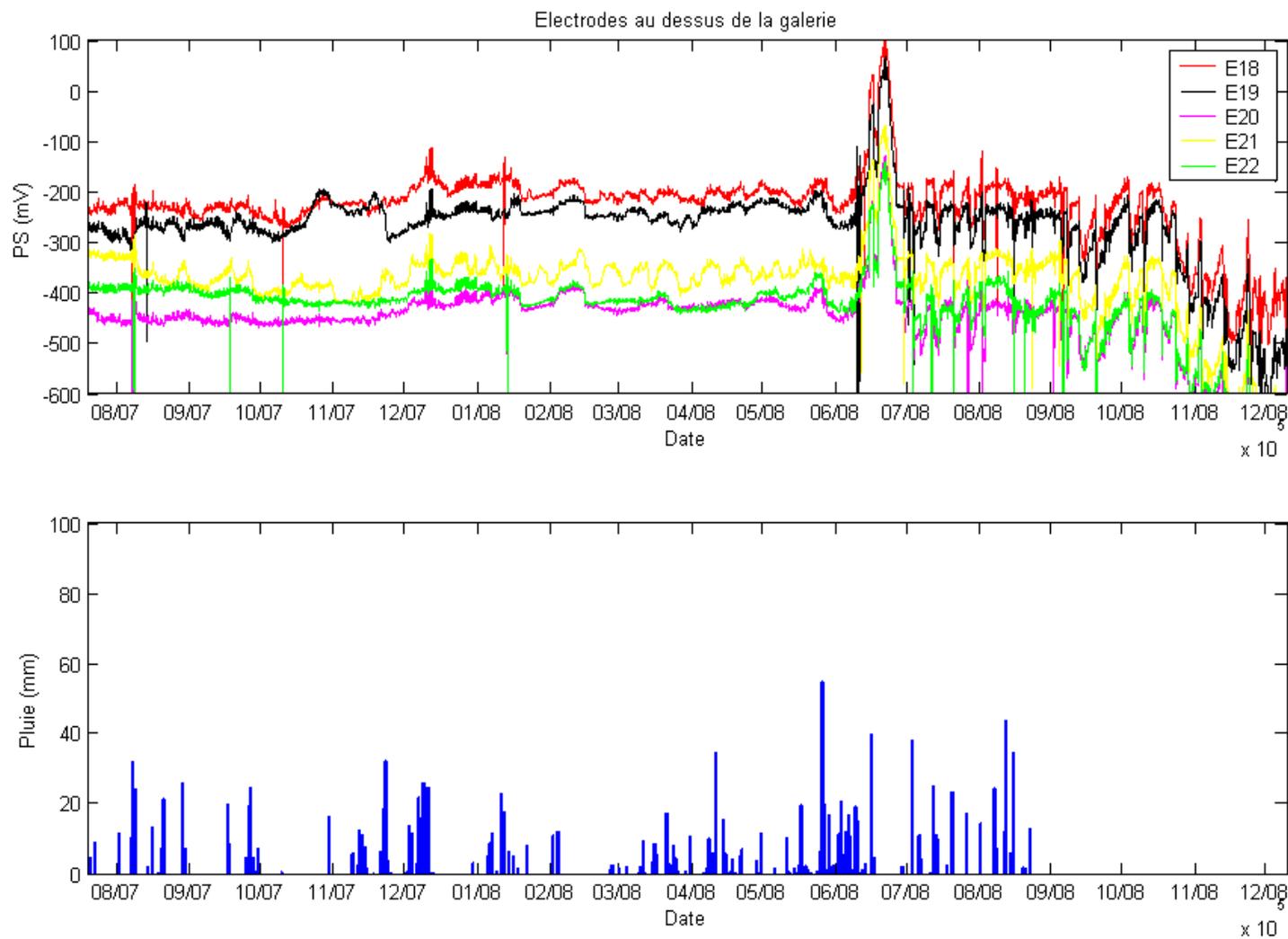


Figure 7 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f= 1/1$ jour) de PS (mV) mesurées sur les électrodes placées au dessus de la galerie de reconnaissance (E18 à E22). b) Pluviométrie

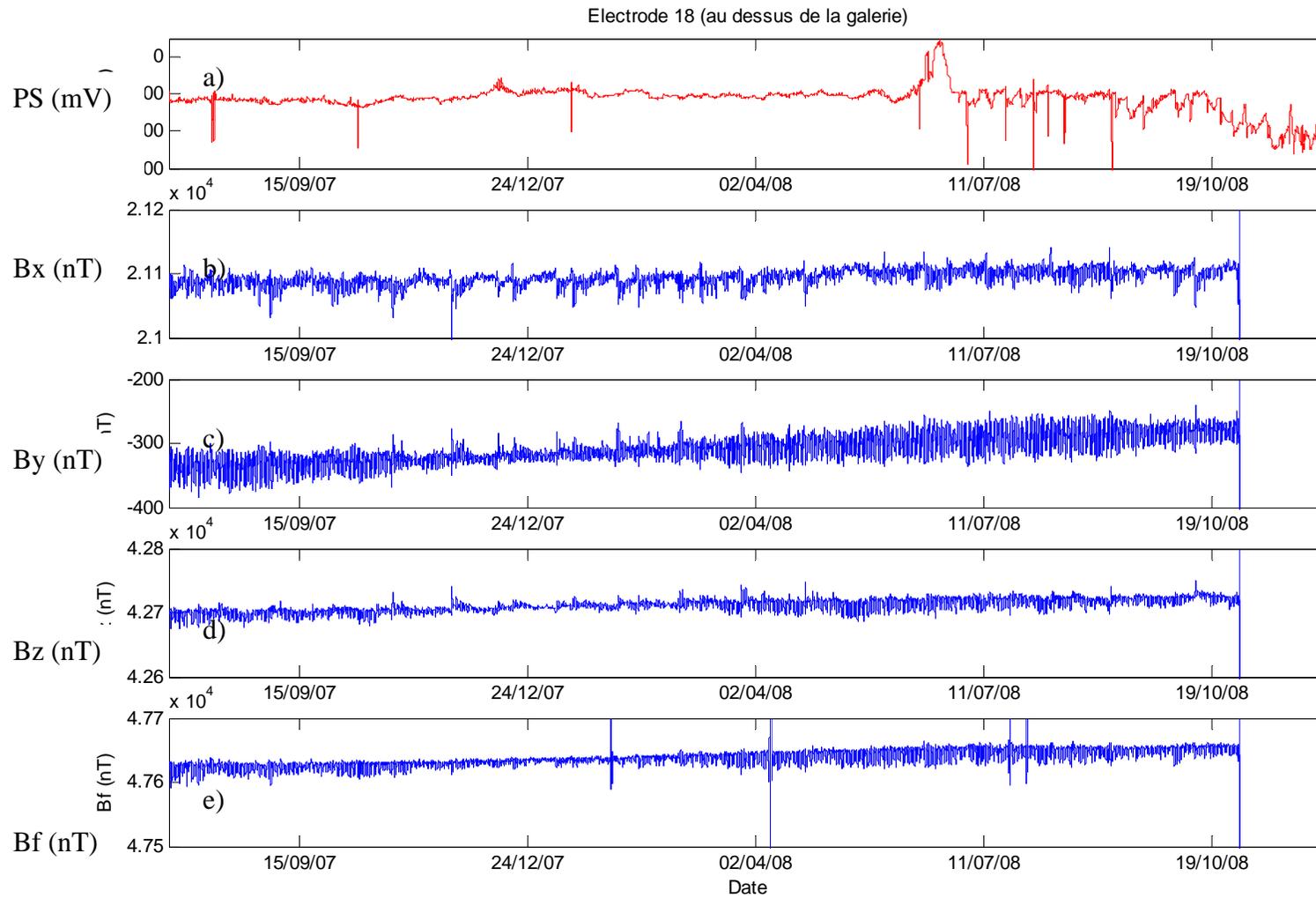


Figure 9 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/\text{jour}$) de PS (mV) mesurées en E18. b), c), d) et e) mesure du champ magnétique terrestre à Chambon la Forêt (FRANCE) respectivement en x, y, z, et f.

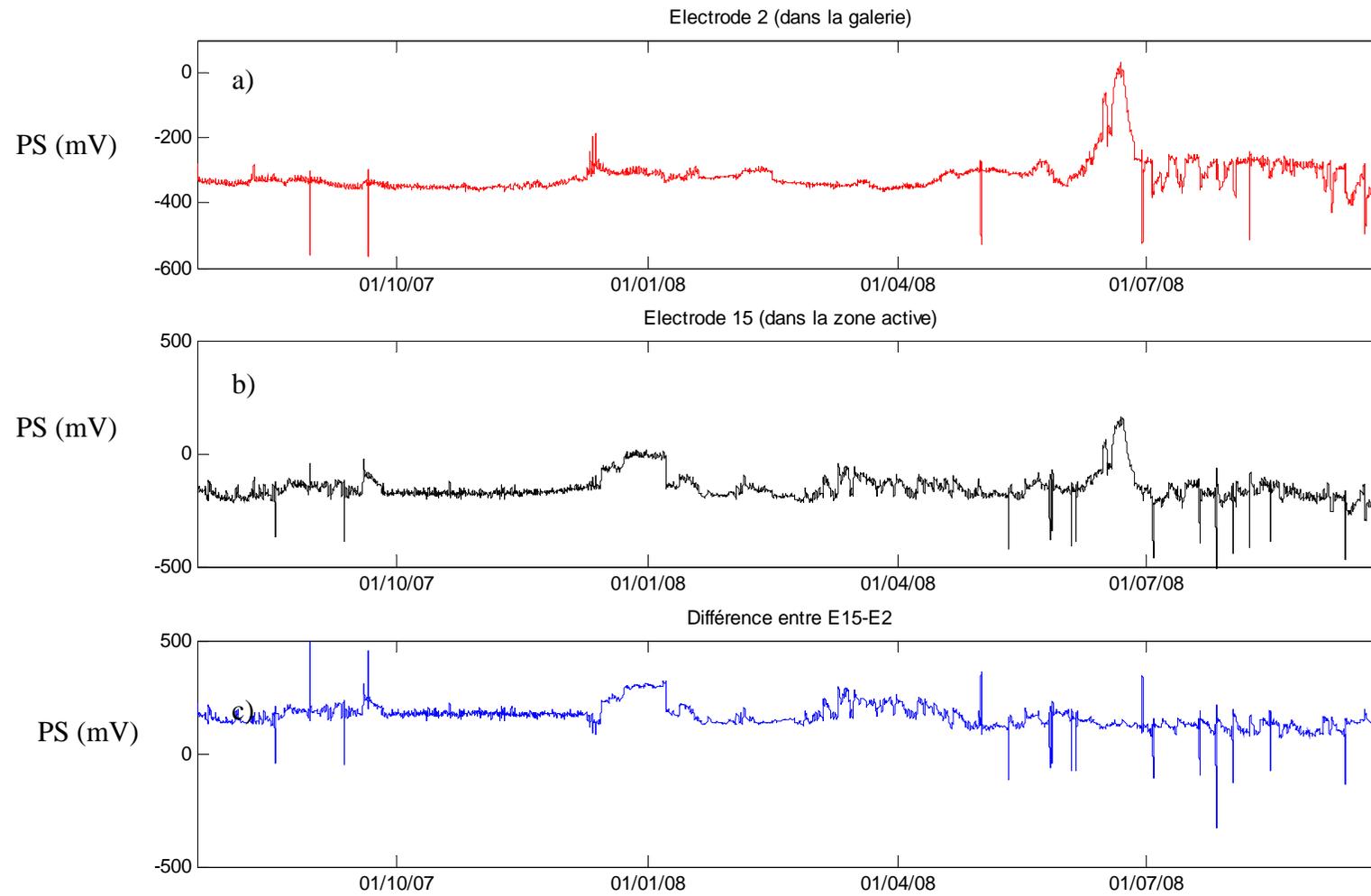


Figure 10 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1\text{jour}$) de PS (mV) mesurées en E2. b) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1\text{jour}$) de PS (mV) mesurées en E15. c) différence entre es valeurs filtrées de E15-E2.

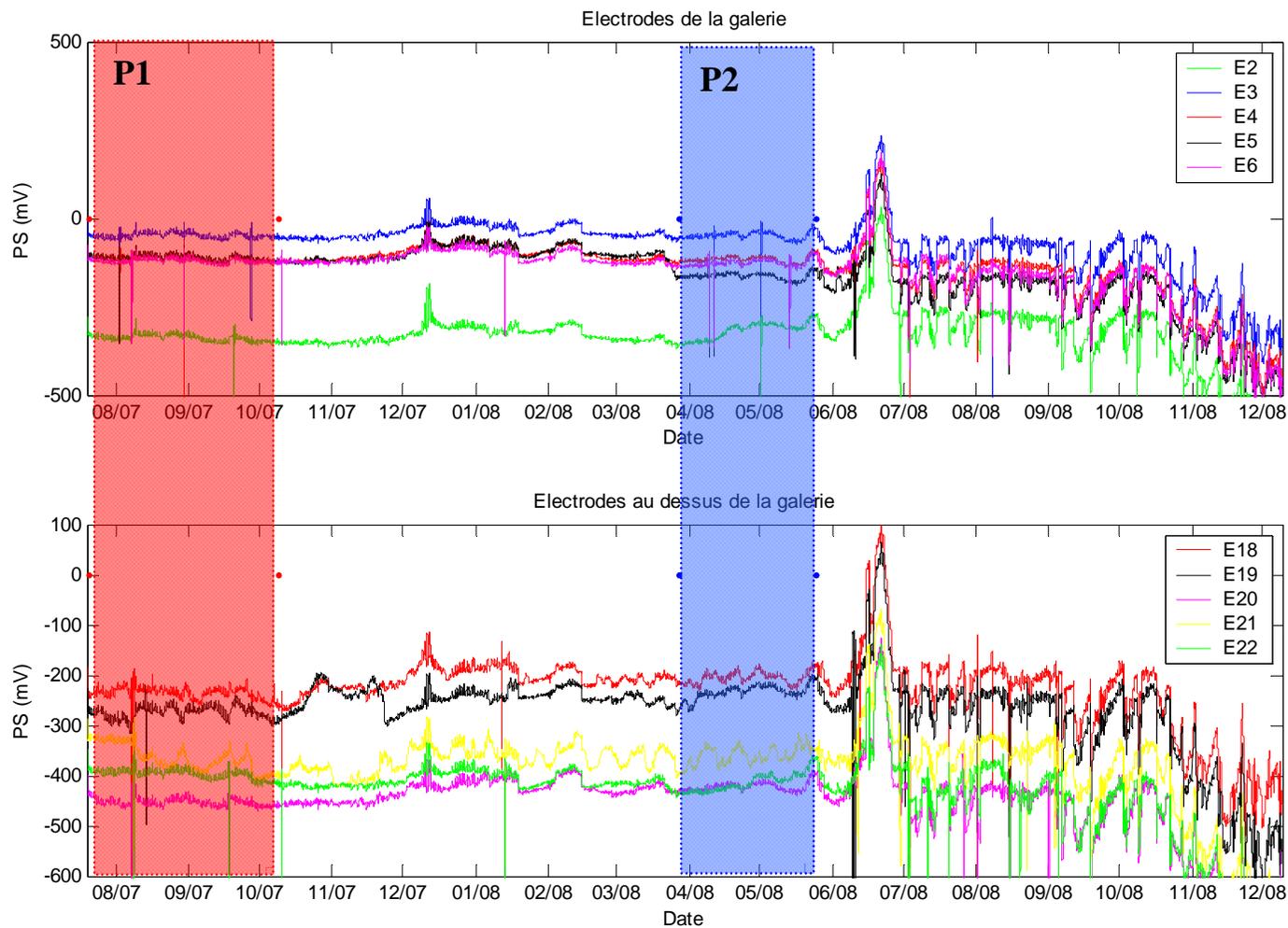


Figure 11 : a) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1$ jour) de PS (mV) mesurées dans la galerie. b) Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1$ jour) de PS (mV) mesurées au dessus de la galerie.

PS moyennée entre le 20/07/07 et le 9/10/07 (P1) PS moyennée entre le 27/03/08 et le 25/05/08 (P2)

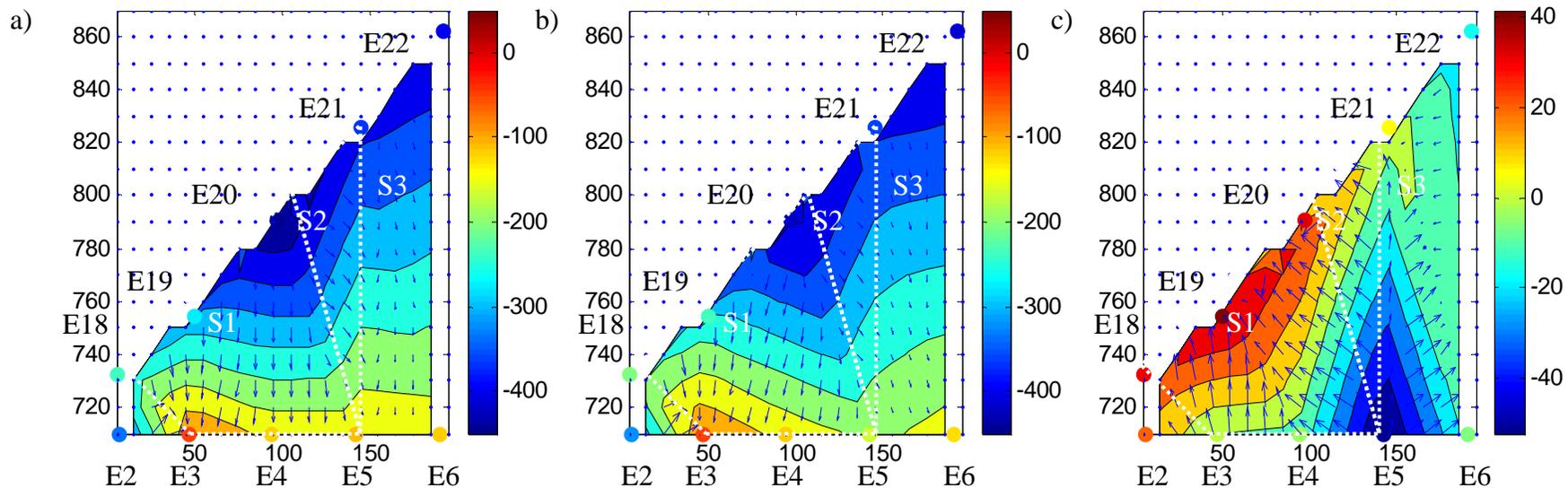


Figure 12 : a) mesures de PS moyennées entre le 20/07/07 et le 9/10/07 (P1) des électrodes situées dans la galerie (E2 à E6) et au dessus de la galerie (E18 à E22). b) mesures de PS moyennées entre le 27/03/08 et le 25/05/08 (P2). c) Différence entre la période P2 et P1.

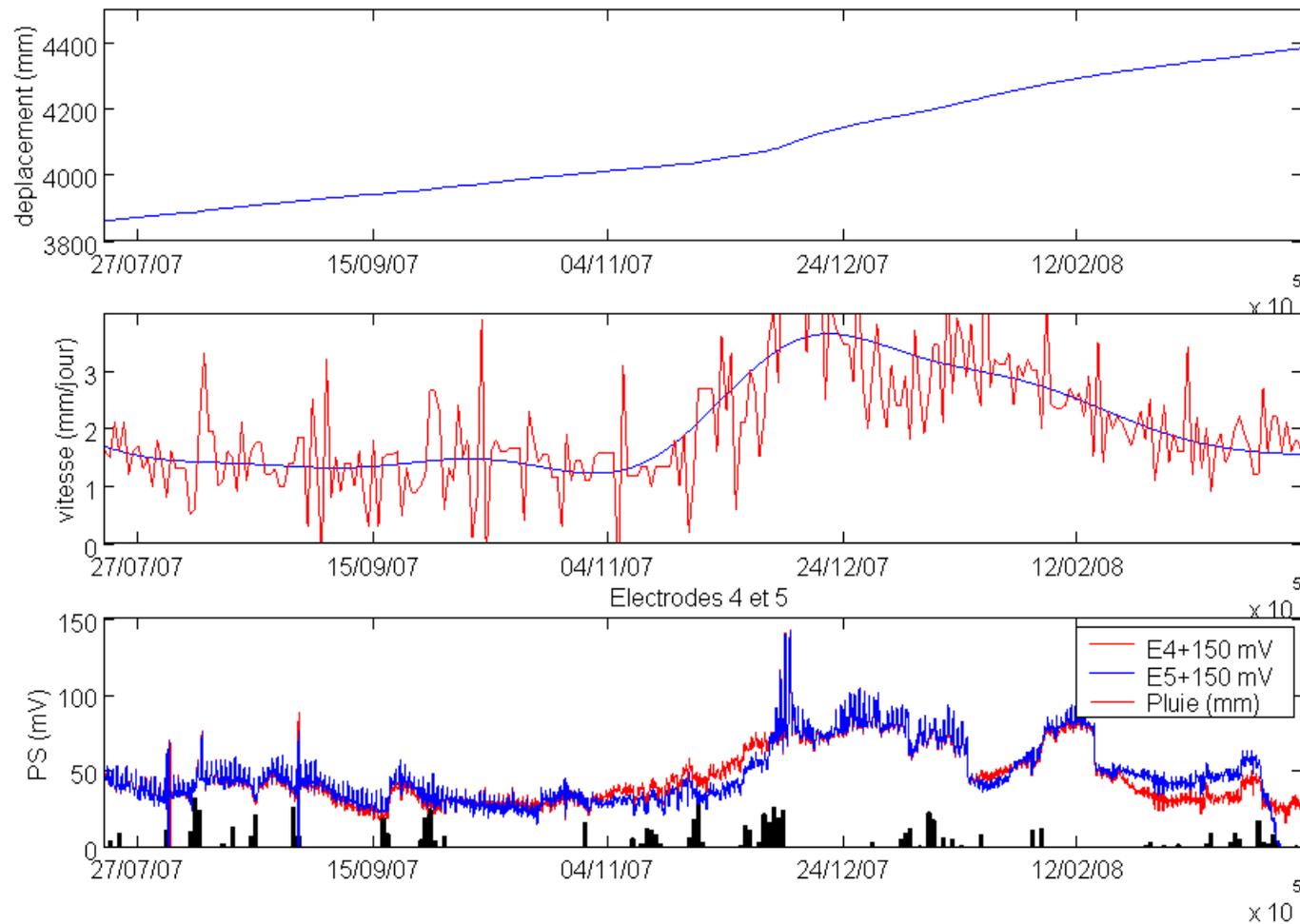


Figure 13 : a) déplacement mesuré sur une cible (1010) localisée entre les électrodes E14 et E15 du réseau de PS. b) rouge : vitesses brutes mesurées en mm/jour, bleu : vitesses filtrées avec un filtre passe bas $f = 1/\text{jour}$. c) mesures de PS sur l'électrode 4 (en rouge) et 5 (en bleu) décalées de +150 mV pour visualiser en superposition la pluviométrie (mm en noir).

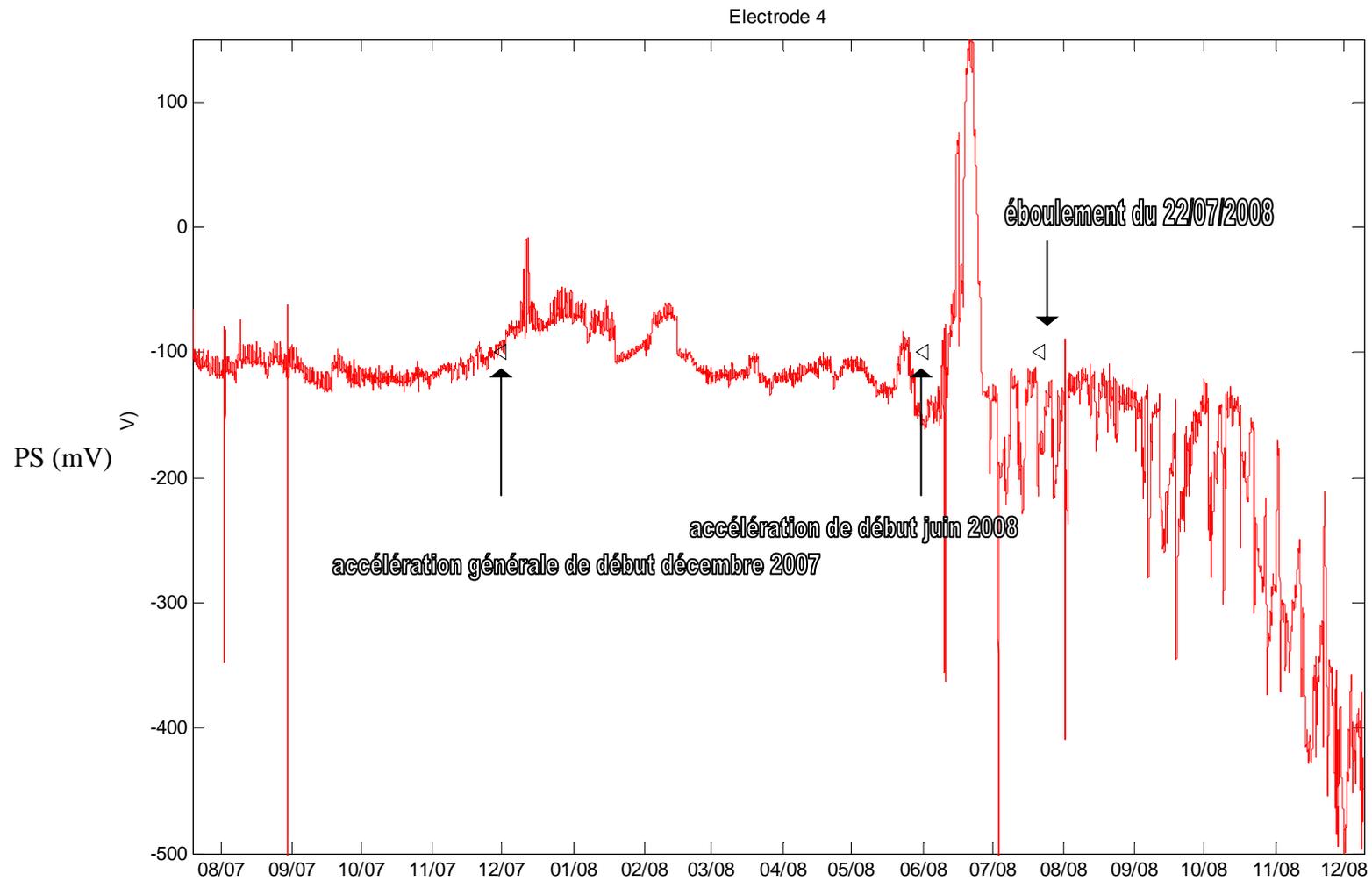


Figure 15 : Valeurs filtrées (filtre passe bas $f=1/1$ jour) de PS (mV) mesurées en E20.