



Edito par René Crusem, Tony Monfret et Helle Pedersen.

La Newsletter RESIF fait peau neuve et se présente sous un nouveau format comme l'été qui s'installe avec son lot de soleil et de vacances pour la grande majorité d'entre vous.

Les Rencontres Scientifique et Technique RESIF auront lieu cette année à Yenne, en Savoie, du 14 au 16 octobre 2013. Une centaine de participants sont attendus pour prendre connaissance et échanger leurs résultats scientifiques et leurs développements/veilles technologiques dans les domaines de la sismologie, la géodésie et la gravimétrie. Ces rencontres seront l'occasion de mieux faire connaître et de découvrir pour certains le travail effectué ou à réaliser par la grande majorité des acteurs du projet RESIF. Nous comptons sur ces trois journées pour amorcer de véritables échanges entre participants, et initier des synergies nouvelles entre les disciplines géophysiques représentées, dans un but de générer des projets inter disciplinaires. Les modalités d'inscription sont indiquées en page 8.

Dans ce numéro, vous trouverez un article sur l'état d'avancement du volet « Construction Large Bande RESIF » et des retombées scientifiques attendues (pages 2-4), ainsi qu'un aperçu sur le fonctionnement

du réseau GPS permanent français (RENAG) et ses collaborations nationales et internationales (pages 5-7).

Toute l'équipe de rédaction vous souhaite un joyeux été et vous donne rendez-vous à Yenne pour ceux qui y seront et pour tous les autres, dans la prochaine Newsletter RESIF du mois d'octobre 2013.

ACTUALITÉS

Octobre : - colloque RESIF, Yenne

Juillet : - réunion Comité Directeur RESIF

Juin : - réunions RESIF-SI et RESIF-CLB

Mai : - assemblée générale RENAG

Avril : - ouverture FDSN web services

- 1ère réunion Conseil Scientifique

- réunion scientifique et technique GMOB

Mars : - évaluation EPOS

- réunion Comité Directeur

PORTRAIT (P. 8)

Stéphane Mazzotti, responsable scientifique du Parc GPS Mobile

RESIF-CONSTRUCTION LARGE-BANDE

Par Jérôme Vergne et Olivier Charade

Motivations

L'observation des phénomènes sismologiques est au cœur de l'Infrastructure de Recherche RESIF. Historiquement, les équipes françaises ont souvent joué un rôle important dans le développement de réseaux sismologiques permanents. Le réseau international GEOSCOPE a, par exemple, été parmi les premiers à installer systématiquement des sismomètres à large bande passant sur chaque site instrumenté. Grâce à cette technologie, il est devenu possible, avec un unique instrument, d'enregistrer les phénomènes sismologiques dans une bande étendue de fréquences (du milli à la dizaine de Hertz) et pour une large gamme d'amplitude permettant d'étudier aussi bien le bruit sismique que les grands séismes.

Ce type de capteur est rapidement devenu la norme pour la majorité des réseaux vélocimétriques nationaux. Plusieurs pays européens (Suisse, Italie, Allemagne, ...) ont depuis longtemps fait le choix de cette technologie et ont, en parallèle, fortement densifiés leur réseau. L'émergence du numérique a permis de partager plus facilement les données de ces stations, aboutissant à la création d'un réseau virtuel large-bande d'échelle européenne (VEBSN)¹. En France métropolitaine, l'installation de stations large-bande permanentes est longtemps restée marginale. Ce retard a engendré une lacune dans le VEBSN, empêchant d'utiliser ce réseau européen de manière optimale. Suite à ce constat, l'INSU a créé en 2007 un service d'observation dédié au développement d'un réseau sismologique large-bande permanent en métropole, dénommé RLBP². Grâce à l'implication des équipes de huit OSU et du CEA-LDG, 42 stations de ce type sont aujourd'hui opérationnelles (contre 15 en 2007). Elles sont cependant encore très inégalement réparties (Figure 1) et relativement hétérogènes en terme d'instrumentation et de qualité du signal.

Dans le cadre de RESIF, il est prévu de densifier et d'homogénéiser ce réseau pour aboutir, d'ici 2020, à une véritable antenne sismologique composée de ~200 stations réparties sur tout le territoire (Figure 1). Cet objectif ambitieux permettra à la communauté scientifique de bénéficier d'un instrument de premier plan, équivalent à ceux déployés dans quelques zones sismiquement très actives de la planète (Californie, Japon, ...), mais relativement unique à l'échelle d'un pays dont la sismicité est qualifiée de faible à modérée.

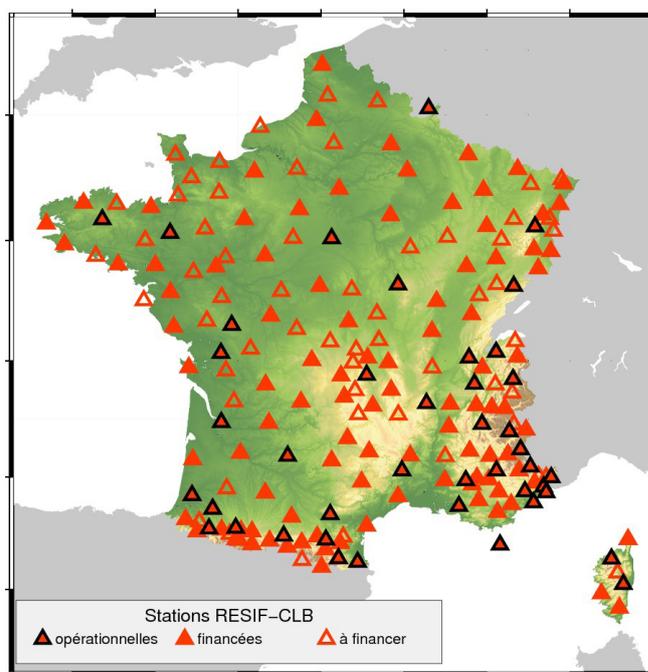


Figure 1 : localisation des stations large-bande permanentes actuelles et prévues dans le cadre du projet RESIF-CLB. Les triangles pleins indiquent les stations pour lesquelles le financement a déjà été obtenu.

Cette inflation du nombre de stations n'est pas une lubie de quelques sismologues envieux des moyens disponibles ailleurs. Elle est cruciale pour répondre à de nombreuses questions fondamentales concernant la structure interne et la dynamique de la Terre, en particulier sous la France, et pour la compréhension des séismes. En effet, plusieurs avancées récentes en sismologie ont été rendues possibles grâce à l'utilisation de réseaux très denses. C'est par exemple le cas des méthodes d'imagerie tomographiques basées sur la corrélation de bruit sismique dont la résolution ne dépend que de la densité et de la répartition des stations utilisées. Ces approches rendent possible l'imagerie de zones peu ou pas sismiques et permettent, en sus, l'étude des variations temporelles des propriétés du milieu. Les réseaux denses ont également permis de récemment mettre en évidence de nouveaux types de signaux sismiques, comme les trémors non volcaniques associés aux séismes lents, qui remettent en cause notre vision des séismes et des lois d'échelles associées.

A l'échelle de la France métropolitaine, le futur résea

large-bande permanent permettra d'imager les structures crustales et lithosphériques de manière complète et détaillée (Figure 2). Couplées aux autres approches géologiques et géophysiques, ces images permettront de mieux comprendre l'origine, la dynamique et les interactions des différentes provinces tectoniques particulièrement variées qui ont façonnées notre territoire (orogène varisque, rifting cénozoïque du Fossé Rhénan et de la Bresse, volcanisme du Massif Central, collision continentale dans les Alpes et les Pyrénées, ...). Pour préciser ces images à des échelles plus régionales, ce réseau permanent fournira la référence nécessaire lors du déploiement de réseaux temporaires plus denses³.

La France métropolitaine est également caractérisée par une sismicité très variée et finalement encore mal comprise. Les stations du RLBP remplaceront et/ou densifieront les stations courte-période du RéNaSS⁴, pour la plupart en fin de vie. Ainsi, nous disposerons d'une vision beaucoup plus complète et homogène de la sismicité métropolitaine. En abaissant la magnitude de complétude à moins de 2 sur l'ensemble du territoire et en améliorant significativement les localisations, il sera possible de bien mieux caractériser les failles actives et d'améliorer ainsi notre estimation de l'aléa sismique. En outre, l'utilisation de capteurs large-bande permettra d'étudier le mécanisme de tout séisme potentiellement ressenti, information indispensable à la mise en œuvre de shakemaps. D'autre part, l'accessibilité en temps réel des données du RLBP autorisera leur intégration dans les systèmes d'alerte aux séismes ou aux tsunamis

en Europe.

Enfin, la topologie du réseau permettra l'application des techniques d'analyse d'antenne, qui constituent une nouvelle manière d'aborder les signaux sismologiques. Ces approches sont particulièrement adaptées pour étudier de petites structures de la Terre profonde comme les diffracteurs dans le manteau inférieur ou la couche D", ainsi que pour caractériser la rupture et la dynamique des grands tremblements de terre.

Mise en œuvre

La réalisation de cette antenne large-bande fait l'objet d'un volet de RESIF baptisé RESIF-CLB (Construction Large-Bande). La maîtrise d'œuvre est confiée à la Division Technique de l'INSU et l'installation des stations sera effectuée par huit OSU (EOST-Strasbourg, OSUG-Grenoble, OCA-Nice, OREME-Montpellier, OMP-Toulouse, OPGC-Clermont-Ferrand, OSUNA-Nantes, IPGP-Paris) ainsi que le CEA. Chacun de ces partenaires sera également responsable du fonctionnement et de la maintenance d'un ensemble de stations, une fois celles-ci livrées par le projet. Nous bénéficions également d'un soutien en personnel de l'Observatoire de Haute Provence (OHP).

Grâce aux financements d'ores et déjà obtenus dans le cadre de RESIF, en premier lieu desquels l'EquipEx RESIF-CORE (5 M€ dédiés au projet RESIF-CLB), ainsi que ceux mis à disposition par les partenaires, nous disposons

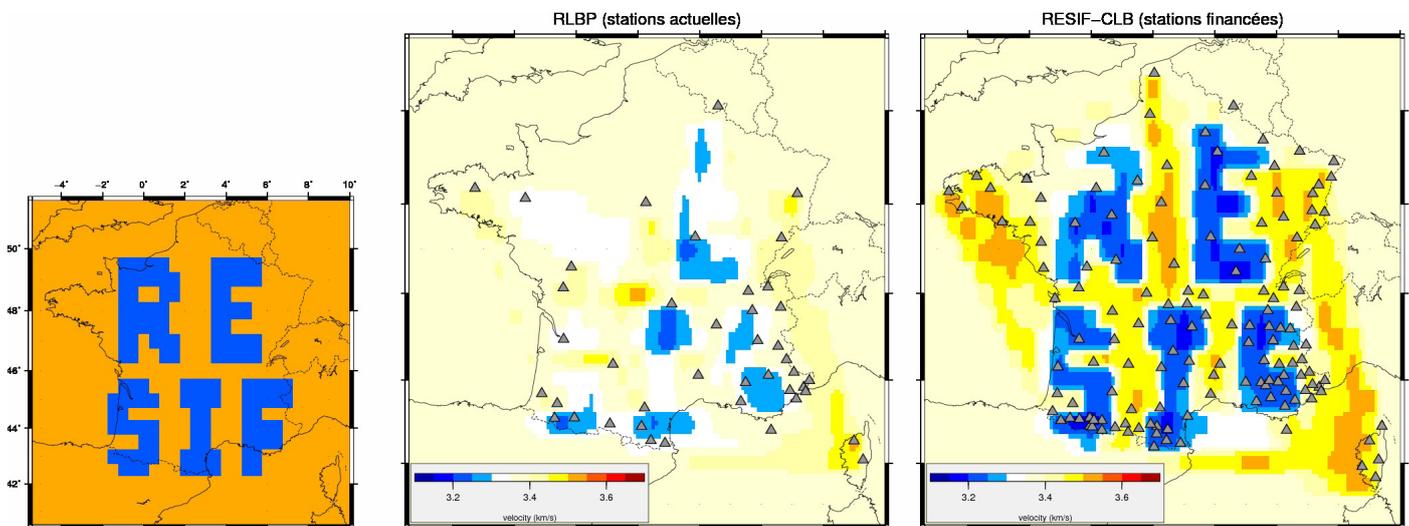


Figure 2 : test de résolution d'une tomographie basée sur la corrélation de bruit sismique à environ 70km de profondeur : motif recherché (gauche) ; résultat à partir de la géométrie actuelle du RLBP (milieu) ; résultat à partir de la géométrie envisagée dans le cadre de RESIF-CLB, en ne tenant compte que des stations pour lesquelles un financement est déjà acquis (droite).

aujourd'hui des moyens financiers pour installer une centaine de nouvelles stations d'ici fin 2018. Des financements supplémentaires restent à trouver pour finaliser l'objectif de 200 stations. La mise à niveau des stations large-bande existantes ainsi que les coûts de fonctionnements du réseau seront essentiellement financés via le soutien du CNRS/INSU aux Services Nationaux d'Observation.

Le projet RESIF-CLB a été mis en place en 2010. Il est aujourd'hui en fin de phase de définition préliminaire et le passage en phase de réalisation, correspondant à l'installation effective des nouvelles stations, est prévu à partir de mi 2014. Un comité de revue indépendant est consulté à chaque étape majeure du projet. Le choix d'une organisation en « mode projet » est apparu nécessaire pour garantir sa faisabilité. La principale difficulté réside dans notre capacité à installer massivement de nouvelles stations, puis de garantir leur fonctionnement, sans évolution significative du personnel permanent dédié à ces tâches. A ce propos, l'implication des participants au projet et en particulier le personnel technique est jusqu'à présent remarquable et nous permet d'envisager relativement sereinement les phases suivantes.

Un des maîtres mots de ce projet est l'homogénéité. En effet, pour garantir aux utilisateurs un réseau performant et adapté aux objectifs, ainsi que pour maintenir une charge financière et humaine gérable, il est nécessaire d'harmoniser au maximum les stations qui seront bâties. Cela concerne d'une part l'instrumentation qui sera déployée à chaque station mais également les infrastructures d'accueil des appareils, les modalités de transmissions de données ou le niveau de bruit sismique. L'objectif n'est pas que chaque station soit purement identique mais que le réseau final forme un tout cohérent. En cela, la phase préparatoire actuelle est cruciale. Aujourd'hui nos activités se concentrent principalement sur deux aspects :

- La recherche et le test des sites des futures stations : Chaque partenaire est en charge de trouver, dans sa région d'action, les meilleurs sites potentiels qui répondent à un ensemble de contraintes techniques imposées par le projet. En outre, chaque site envisagé fait systématiquement l'objet de mesures de bruit sismique pour appréhender sa qualité une fois construit. La décision de retenir un site est prise après concertation de l'ensemble des partenaires.
- La réalisation de prototypes : Il s'agit notamment de définir une infrastructure d'accueil type permettant d'envisager une réalisation « en série » des stations qui ne pourront pas être installées dans des abris naturels (grottes, tunnels, ...). Plusieurs types de puits sismiques ont été

bâties sur une zone de test située au nord de Chartres (Figure 3). Nous recherchons la structure qui permet de minimiser le niveau de bruit sismique tout en assurant une bonne protection et accessibilité des instruments installés. D'autre part, nous testons la mise en œuvre d'armoires de supervision basées sur des automates programmables industriels et différents capteurs d'état, qui permettent de suivre le fonctionnement des nombreux équipements installés sur chaque site. Ce système permet également d'intervenir à distance sur ces équipements, manuellement ou automatiquement, évitant ainsi au personnel une partie des déplacements sur place. Un tel prototype, construit à l'OHP, est actuellement en test à une station large-bande située dans le Jura (CHMF).



Figure 3 : installation de l'un des prototypes de puits sismique sur le site de Clévilliers (Eure et Loir) en novembre 2012. Source : RESIF.

Enfin, nous portons une attention particulière au fait qu'une partie des futures stations du projet RESIF-CLB puissent héberger d'autres types d'instruments géophysiques : accéléromètre, GPS, capteurs infrasons, mesures environnementales, etc. pour répondre au besoin émergeant des chercheurs de disposer de sites multi-paramètres permettant une approche intégrée de la mesure des déformations.

- (1) Virtual European Broadband Seismology Network
- (2) Réseau Large Bande Permanent
- (3) Voir par exemple le projet, en cours, Pyrope d'imagerie de la zone pyrénéenne ou le futur projet AlpArray dans les Alpes
- (4) Réseau National de Surveillance Sismique

Contacts :
 Jérôme Vergne, jerome.vergne@east.u-strasbg.fr
 Olivier Charade, charade@dt.insu.cnrs.fr

RENAG : LE RÉSEAU NATIONAL GPS

Par Andrea Walpersdorf et Jean-Mathieu Nocquet

Introduction

RENAG est le réseau national GPS permanent des laboratoires français à vocation scientifique. Il est une composante de RESIF, ainsi que du Service d'Observation de l'INSU «Géodésie-Gravimétrie». Les stations du réseau RENAG enregistrent en continu les signaux provenant des satellites GPS, permettant non seulement de quantifier les déformations tectoniques, mais aussi de mesurer certains paramètres environnementaux, de mesurer les variations du niveau des mers dans un repère global et de sonder l'atmosphère.

La structuration du réseau

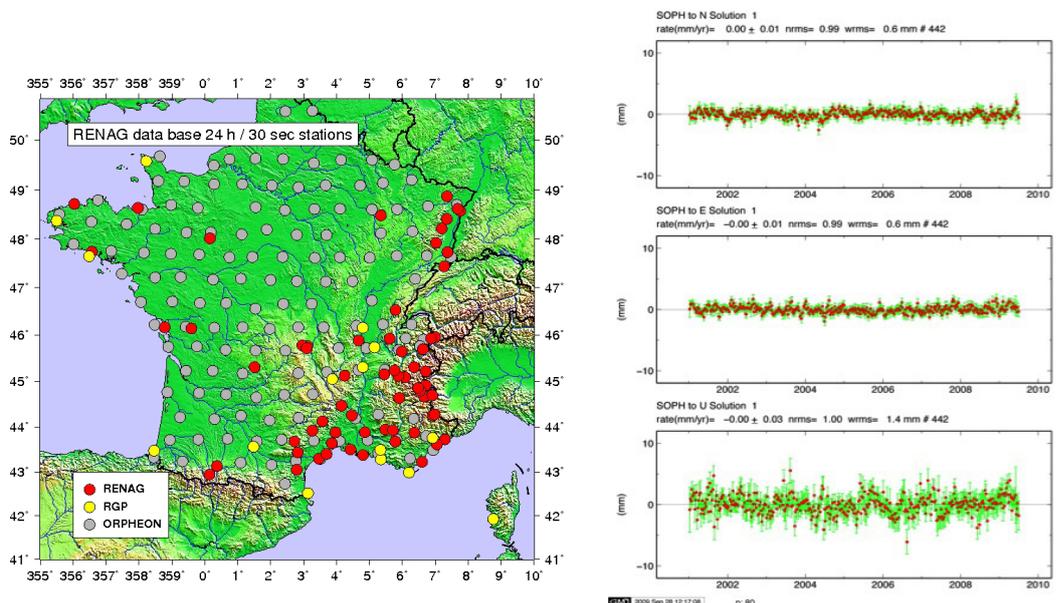
RENAG repose sur la contribution volontaire d'une vingtaine de laboratoires français, ainsi que des contributions de l'Institut de Radio-Protection et Sécurité Nucléaire (IRSN), ainsi que du CEA et du CNES. Il implique une trentaine de chercheurs et ingénieurs.

- Le réseau d'observation
Les laboratoires et instituts du RENAG sont en charge de l'installation et de la maintenance des stations.

Aujourd'hui, environ 65 stations sont directement gérées par les laboratoires du RENAG (Figure 1). Ces stations échantillonnent les zones tectoniquement actives du territoire métropolitain : les Alpes, le fossé rhénan, et dans une moindre mesure, les Pyrénées. En dehors de ces zones, certaines stations sont co-localisées avec des marégraphes et participent au Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales (SONEL, <http://www.sonel.fr>). Enfin, d'autres stations permettent d'étudier la déformation du sol liée aux effets hydrologiques. Les stations du réseau enregistrent les observations avec un pas d'échantillonnage de 30s et transmettent leurs données quotidiennement. Certaines stations, bénéficiant d'une bonne transmission, enregistrent avec une fréquence de 1Hz et transmettent leurs données sous forme de fichiers horaires.

- Les partenariats
Aujourd'hui, les besoins croissants de positionnement précis en temps réel ont favorisé le développement de nombreux réseaux GPS permanents, dont les données sont potentiellement intéressantes pour les applications scientifiques. Le Réseau GPS Permanent (RGP, <http://rgp.ign.fr>) géré par l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), comporte 352 stations, fédérant plusieurs réseaux GPS de sociétés et

Figure 1 : cartes des stations GPS permanentes disponibles sur la base de données RENAG (<ftp://renag.unice.fr>). Série temporelle résiduelle (pente et termes saisonniers retirés) de la station SOPH (Sophia-Antipolis).



privées, des services topographiques des collectivités territoriales et d'autres partenaires institutionnels. Le CNRS et l'IGN sont partenaires, et dans ce cadre, échangent données et expertise. Par ailleurs, le CNRS-INSU a signé un partenariat avec la société privée Geodata. Le centre de données RENAG archive et diffuse avec un délai de 2 semaines les données d'environ 160 stations issues du réseau ORPHEON (<http://reseau-orpheon.fr>) (Figure 1).

- La base de données et le traitement régulier des données

Le centre de données RENAG géré à l'Observatoire de la Côte d'Azur/Géoazur (OCA) assure les fonctions de supervision du flux de données, de contrôle qualité, de suivi des méta-données, de diffusion et d'archivage. L'ensemble des données représente un volume d'environ 3 To sur l'année 2012. Les données du RENAG sont analysées en routine pour produire les séries temporelles de positions (Figure 1).

Les applications scientifiques

A l'origine dédié à l'étude de la déformation tectonique dans les Alpes occidentales, le réseau RENAG s'est ensuite étendu à d'autres applications (Figure 2). De par la pérennité de ses stations, le RENAG est essentiel pour fournir des mesures troposphériques permettant de contraindre des modèles météorologiques et climatologiques. Ainsi, les mesures issues des stations RENAG contribuent à des projets comme l'ACI CYPRIM (<http://www.cnrn.meteo.fr/cyprim>), le service d'observation INSU OHM-CV (<http://www.ohmcv.fr>) et le projet Méditerranéen HyMeX (<http://www.hymex.org>). Des observations longues sont également nécessaires pour une mesure précise du mouvement vertical à proximité des marégraphes, afin de pouvoir distinguer entre les faibles tendances d'une montée du niveau des mers et d'une déformation crustale verticale (<http://www.sonel.fr>). Les effets hydrologiques affectent la plupart des stations et limitent ainsi la précision de la mesure du signal tectonique. Pour mieux comprendre ces mécanismes, des sites multi-instrumentaux sont nécessaires et soutenus par le RENAG.

Mesurer la faible déformation tectonique en France

Aujourd'hui, le premier ordre de la cinématique de la frontière de plaque séparant l'Afrique (plaque Nubie) de l'Europe (plaque Eurasie) est bien connu. A la longitude de la France, nous savons que la Nubie converge à environ 4-5 mm/an vers l'Europe et que la quasi-totalité de cette convergence est accommodée en Afrique du Nord. Nous savons aussi que le domaine Adriatique, entre la chaîne des Apennins en Italie, les Dinarides et les Alpes centrales est en rotation anti-horaire. Les vitesses horizontales attendues en France, imposées par les conditions cinématiques aux limites sont extrêmement faibles et ne dépassent pas 0.5 mm/an. Dans ce contexte, un objectif essentiel est d'assurer la continuité des observations sur de longues périodes pour être capable de mesurer des vitesses au niveau du dixième de millimètre par an. Récemment, les calculs du RENAG ont pourtant montré un résultat étonnant dans les Alpes. Alors que les vitesses horizontales sont négligeables, les Alpes se soulèvent avec des vitesses de surrection atteignant 2 mm/an (Figure 2). Si ce résultat est encore à affiner, il ouvre de nouvelles perspectives de compréhension de la dynamique actuelle de la chaîne alpine, des interactions entre la déformation active et les processus de surface (érosion, réponse aux déglaciations) et les processus profonds (interactions croûte-manteau). Ce résultat permet aussi d'explorer de nouvelles pistes pour mieux appréhender l'origine de la sismicité modérée de cette région.

La modernisation du RENAG

Ces prochaines années, RENAG sera amené à moderniser son infrastructure. La disponibilité de nouveaux signaux GPS, le développement de nouveaux systèmes de positionnement satellitaires (Global Navigation Satellite System, GNSS) comme Galileo nécessitent d'anticiper ces évolutions avec la rénovation du réseau de capteurs. Le passage systématique à un pas d'échantillonnage à plus haute fréquence ($\geq 1\text{Hz}$) et des flux de transmission plus rapides pourront permettre l'émergence de nouvelles utilisations. L'Equipex RESIF-CORE (voir la lettre d'information RESIF N°2) contribuera à hauteur de 260 k€ pour permettre cette évolution. Enfin, dans le cadre du projet European Plate Observing System (<http://www.epos-eu.org>), une intégration de l'ensemble des réseaux GNSS à l'échelle Européenne est en cours. RENAG y contribuera activement.

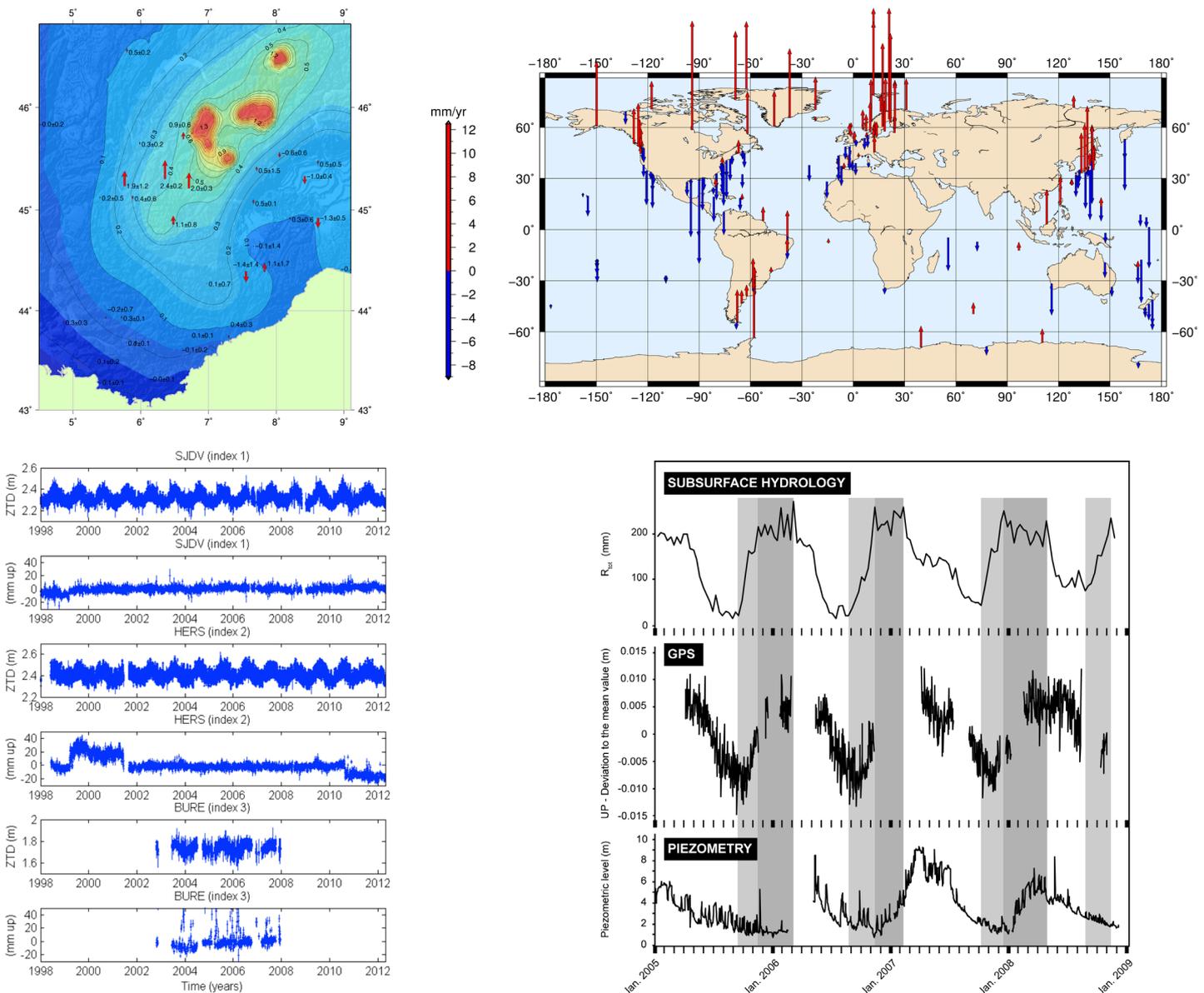


Figure 2 : applications scientifiques des données RENAG. Haut-gauche : vitesses verticales mesurées dans les Alpes occidentales (Nocquet et al., 2011) ; haut-droite : vitesses verticales globales aux sites colocalisés GPS/marégraphes (Santamaria-Gomez et al., 2012) ; bas-gauche : séries temporelles de retards zénithaux troposphériques pour la climatologie (Sguerso et al., 2013) ; bas-droite : étude des effets de l'hydrologie de sub-surface sur la déformation (Biessy et al., 2011).

Contacts :

Andrea Walpersdorf, andrea.walpersdorf@ujf-grenoble.fr

Jean-Mathieu Nocquet, nocquet@geoazur.unice.fr

Références

Biessy, G., F. Moreau, O. Dauteuil, and O. Bour (2011), Surface deformation of an intraplate area from GPS time series, *Journal of Geodynamics*, Volume 52, Issue 1, July 2011, Pages 24-33, doi:10.1016/j.jog.2010.11.005.

Nocquet, J.-M., A. Walpersdorf, F. Jouanne, F. Masson, J. Chéry, P. Vernant and the RENAG team (2011), Slow Deformation in the Western Alps from a Decade of Continuous GPS Measurements, EGU General Assembly, Vienna, 2011, and 3rd int. colloquium on Galileo Sciences, ESA, Copenhagen, 2011.

Santamaria-Gomez A., M.-N. Bouin, G. Wöppelmann (2012), Improved GPS data analysis strategy for tide gauge benchmark monitoring, doi:10.1007/978-3-642-20338-1_2.

Sguerso, D., L. Labbouz, A. Walpersdorf (2013), 14 Years of GPS Tropospheric Delays in the French-Italian Border Region: A Data Base for Meteorological and Climatological Analyses, *Applied Geomatics*, special issue "The Role of Geomatics in Hydrogeological Risk", submitted.

Portrait

Stéphane Mazzotti est responsable scientifique du Parc GPS Mobile depuis 2012. Il a fait ses études à l'Université Paris-Sud Orsay et à l'École Normale Supérieure, Paris, dans le cadre du Magistère des Sciences de la Terre et d'un doctorat en géodynamique. Après plus de 10 ans comme chercheur scientifique à la Commission Géologique du Canada et professeur associé à l'Université de Victoria, il est depuis septembre 2011 professeur de géodésie et géophysique à Géosciences Montpellier (Université Montpellier 2). Sa recherche est principalement axée sur les développements et applications de la géodésie (GPS) à la géodynamique des orogènes et des domaines intraplaques.



Rencontres scientifiques RESIF du 14-16 octobre 2013, Yenne

Ces rencontres ont pour but de susciter des interactions mais aussi de nouvelles actions autour du projet RESIF. Elles seront l'occasion de présenter le bilan des activités scientifiques et techniques de RESIF, ainsi que les projets en cours et planifiés dans les domaines de la sismologie, de la géodésie et de la gravimétrie. Ces activités incluent l'observation permanente sur le territoire français mais aussi les travaux effectués par les équipes françaises à l'étranger. Les discussions seront structurées autour de grands thèmes, notamment :

- Structure de la Terre
- Déformation et séismes
- Fluides et ressources naturelles
- Traitement de données et problème inverse
- R&D en instrumentation géophysique
- Gestion et distribution des données

Ces journées ont également un caractère prospectif et permettront d'échanger et de réfléchir sur de nouvelles méthodes et approches qui permettraient de progresser sur les thèmes cités. Elles sont ouvertes à toute personne intéressée par les données RESIF, en particulier les étudiants en thèse, les ingénieurs et techniciens, les chercheurs de la communauté concernée.

L'inscription pour participer aux rencontres est obligatoire et se fait en ligne (<https://enquete.cnrs-dir.fr/index.php?sid=84826&newtest=Y&lang=fr>) dans la limite des places disponibles.

Équipe de rédaction : Pascale DAYNES (ISTERRE), Lydie GUILLEROT (CNRS-INSU), Tony MONFRET, membre du Bureau de RESIF, Helle PEDERSEN, Directrice de RESIF et René CRUSEM, Président du Comité Directeur de RESIF.

Adresse courriel : comm@resif.fr

Inscription à la Newsletter RESIF : <http://www.resif.fr/newsletter.php>