



Editorial

Bonjour,

Bienvenue sur la newsletter 2016 de CRITEX

La newsletter CRITEX grossit d'années en années, signe du dynamisme du projet !

Vous trouverez dans ces quelques pages l'actualité 2016 du projet mais aussi celle des sciences de la Zone Critique. A ne pas manquer non plus, des interviews de Jean Francois Soussana de l'INRA et d'Alexandra Arènes, une architecte passionnée par la zone critique.

Que retenir de 2016 pour le projet CRITEX ?

- Charlotte le Traon a été embauchée sur des crédits attribués à la gouvernance (WP0) pour finaliser la page web de CRITEX. Grâce à Charlotte et vos contribution, la page web est bien avancée et peut être consultée sans retenue à <https://www.critex.fr/>.

- Nous avons finalement, grâce à la compréhension de l'ANR, obtenu une prolongation de la tranche T1, dont l'échéance est désormais fin Juillet 2017. Cette extension nous rend plus confortable dans l'achat des différents équipements. La tranche T2 de dépense en fonctionnement prendra le relais des financements jusqu'à l'échéance du projet.

Elle permettra un fonctionnement que nous espérons le plus pluridisciplinaire possible dans l'esprit "zone critique". Le Parc instrumental CRITEX doit nous permettre de comprendre les interactions à l'intérieur de la zone critique, au delà des divisions disciplinaires traditionnelles.

- Le meeting de lancement de l'infrastructure de recherche OZCAR qui élargit le périmètre d'action de l'équipex CRITEX, par l'arrivée de nouvelles communautés scientifiques d'étude de la zone critique (glaciers, neiges, permafrost, tourbières, observations par télédétection). C'est désormais par la canal OZCAR que passent les financements annuels des SOERE et de fait, CRITEX est donc devenu le levier instrumental de l'infrastructure de recherche OZCAR (voir encadré).

- Coté européen, les choses ne sont pas en reste. Si la proposition d'ESFRI eLTER à laquelle la France était associée, n'a pas été inscrite dans la feuille de route européenne en 2016, le consortium s'est vu attribué un financement destiné à préparer l'entrée prochaine du projet d'ESFRI eLTER dans la feuille de route 2017 (voir encadré).

Nous vous souhaitons une belle année CRITEX 2017, dont l'évaluation mi-parcours par un jury international en Juin 2017 se soldera, nous l'espérons, par un succès. Nous aurons besoin de tous !



En vous souhaitant
une excellente lecture,

Jérôme Gaillardet
Laurent Longuevergne
Charlotte Le Traon



LA LETTRE DE CRITEX

Newsletter #4, Mars 2017

CRITEX is a 10-year program involving a large number of teams, some of them in charge of an equipment and some others in charge of one of the elementary national critical zone observatories of RBV (réseau des bassins versants) or H+ (réseau hydrogéologique). The key point in the success of CRITEX will be the ability of all groups to work together for a better understanding of the Critical Zone of the Earth and share common innovative equipments through innovative research projects.



OZCAR : Observatoires de la Zone Critique : Applications et Recherche. OZCAR regroupe les systèmes d'observation financés par Allenvi que sont RBV, H+, CryObsClim, l'Observatoire Perenne de l'Environnement de l'Andra, le réseau national SNO Tourbières, le SNO Observatoire Spatial Régional et le réseau national des piézomètres du BRGM (ADES). OZCAR est une IR commune à plusieurs instituts de recherche et de nombreuses universités : CNRS, INRA, IRSTEA, IRD, BRGM, ONEMA, ANDRA, et MétéoFrance.

La mission de l'IR OZCAR est de favoriser la recherche intégrée des surfaces continentales et d'être le miroir national (et international, au travers des collaborations internationales de nos divers organismes), de l'initiative internationale Zone Critique. Avec le réseau des Zones Ateliers il représentera la structure miroir du projet d'ESFRI eLTER.



eLTER est un projet destiné à doter l'Europe d'une infrastructure permettant une approche holistique de l'observation de l'environnement, à la fois géo, bio et sociocentré, destiné notamment à comprendre, prévoir et modérer l'impact du changement global sur les territoires. A la suite du dépôt d'un projet d'ESFRI par l'Allemagne en mars 2015, eLTER a été déclaré "emerging ESFRI RI", marquant le fort intérêt de la Commission Européenne, sans pour autant être admis dans la feuille de route européenne des ESFRI à ce stade. Un financement d'un an a été attribué au projet "Advance_eLTER - Advancing the European Long-Term Ecosystem, Critical Zone and Socio-Ecological Research Infrastructure towards ESFRI" pour préparer le dépôt d'un second projet d'ESFRI pour 2018. Le projet Advance_eLTER est prévu de janvier à décembre 2017. Il associe 28 partenaires pour 15 pays. Le point de contact français est le CNRS avec un groupe de travail INSU/INEE. Nicolas Arnaud, DAS INSU-SIC, est chargé de la rédaction d'un des WP. Il appartient au core group chargé de l'écriture de ce projet et y porte la position française. Le kickoff meeting a eu lieu à Leipzig les 1 et 2 février 2017. Les coordinateurs du projet sont Michael Mirtl, Herbert Haubold & Ingolf Kühn.



L'équipe de direction CRITEX comprend Jérôme Gaillardet, coordinateur, Laurent Longuevergne, co-coordonateur, le comité de direction constitué de Christian Valentin, Anne Probst, Gaëlle Tallec, Jérôme Molénat, Philippe Davy et Tanguy Leborgne.

Contact : gaillardet@ipgp.fr, laurent.longuevergne@univ-rennes1.fr

La gestion du projet CRITEX est effectuée par le bureau des contrats de l'IPGP : Magdalena Niska (bureau-des-contrats@ipgp.fr).



Quand les architectes s'intéressent à la zone critique



Alexandra Arènes est architecte du paysage. Elle répond aux questions de J. Gaillardet :

JG : Alexandra Arènes, pourriez vous nous dire en quoi les observatoires de la zone critique intéressent une architecte ?

AA : Je suis architecte spécialisée dans les projets de paysage et d'urbanisme, donc plutôt ce qui concerne le dehors, l'environnement au sens large. Mon travail consiste à élaborer des stratégies de prospectives territoriales pour les collectivités, à différentes échelles et dans différents paysages, urbains et naturels, en France, et un peu à l'étranger.

Il y a plusieurs enjeux qui se croisent entre les questions d'aménagements et les observatoires de la zone critique. D'abord cela concerne toutes deux les questions d'habitabilité de cette fine pellicule que tous les vivants se partagent. Toutes deux

sont en prise avec des questions écologiques et politiques, qui concernent la répartition des territoires, et la visibilité des phénomènes naturels. Enfin, il ne s'agit plus de regarder un territoire de façon uniquement horizontale, plate, mais dans toutes ses dimensions, et ses strates, un volume spatial infiniment dense et complexe (le contraire de l'idée d'espace vide) de la canopée aux sous sol, ce qui constitue un enjeu de représentation spatiale considérable (ce qui peut donc intéresser les architectes). Je suis allée voir le River Lab de l'Orgeval et quelques équipements de cet observatoire, c'est une autre façon d'appréhender un paysage, de voir des choses invisibles qui affectent la gestion des territoires. Un parcours des observatoires pourrait même être imaginé pour donner au public l'accès à ces instruments et ces connaissances. J'aime beaucoup l'idée d'un paysage laboratoire, c'est un sujet sur lequel j'ai commencé à travailler pour une mission de reconversion de sites industriels dans la vallée de la chimie à Lyon, et que je retrouve dans les observatoires de la zone critique.

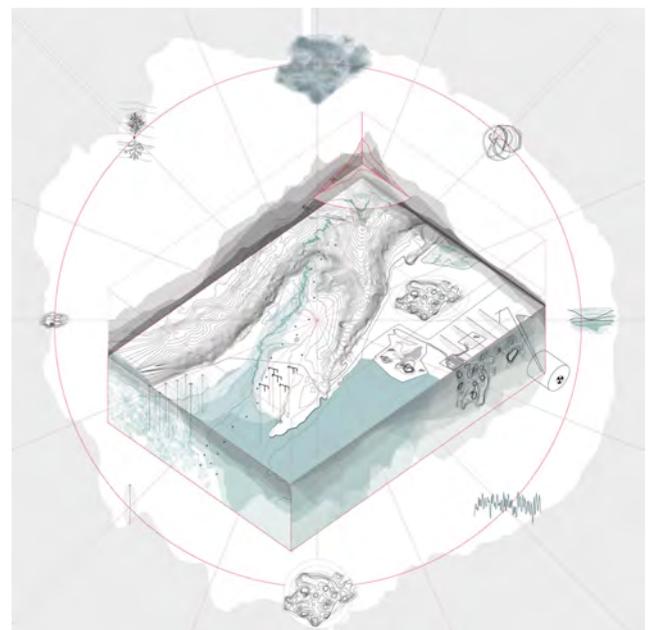
JG : Vous travaillez avec Bruno Latour à une représentation des zones critiques. Qu'entendez vous par "représentation" et comment travaillez vous ?

AA : Après avoir suivi la formation des arts politiques de SciencesPo avec Bruno Latour, je me suis dirigée vers un travail de recherche mélangeant des disciplines comme la géographie - cartographie, la philosophie de la nature, et la géopolitique, par des moyens graphiques de visualisation, de représentation, pour imaginer un renouvellement de nos cosmogrammes (c'est à dire de notre capacité à élaborer un monde commun). Donc il s'agit aussi de représentations politiques: comment concerner les gens, faire émerger des issues, des enjeux pour se saisir politiquement de ces questions qui concernent notre avenir, et celui de toutes les autres espèces, sur cette Terre ?

Pour cela nous avons monté un groupe/programme de recherche autour de ce que l'on a appelé la gaia-graphie : la représentation non pas du globe mais de la zone critique, la pellicule vivante, en nous fondant sur une hypothèse, Gaïa, ainsi que sur les relevés de terrain des "critical zonists" pour essayer de faire émerger cette vision commune de la Terre. Nous en sommes au début, mais il y a déjà eu une opération concrète : nous avons proposé une conférence spectacle, INSIDE, au théâtre des amandiers, performé par Bruno Latour et mise en scène par Frédérique Ait Touati, scénographe, chercheuse au CNRS et nouvelle directrice de Speap. Ce premier acte consistait à casser l'image du globe, qui ne nous permettrait pas de nous saisir des questions écologiques (trop vaste, trop loin), pour nous faire entrer (d'où le titre : INSIDE) dans cette fameuse pellicule fragile et complexe, car vivante, et dont nous avons peu d'images sur lesquelles nous accrocher. L'expérimentation au théâtre a été de proposer au public une diversité de « tableaux » : des cartes dynamiques, des schémas process, ainsi qu'un travail de l'espace scénique, du son et des lumières pour tester de nouveaux formats pour se repérer.

J.G. Qu'attendez vous des scientifiques de CRITEX ?

AA : La gaia-graphy cherche à donner une représentation des territoires comme ils le sont réellement, c'est à dire superposés, multidimensionnels, fluctuants, débordant des limites qu'on leur assigne, etc. : tels qu'on peut les voir en les observant à travers les capteurs de vos disciplines. Donc je serais très heureuse de pouvoir discuter avec les scientifiques de CRITEX autour de leur perception de la transformation des territoires et de la Terre grâce à l'instrumentation de la zone critique et aux données accumulées. J'aimerais par exemple leur demander de me décrire comment prendraient formes, dans le paysage, les phénomènes qu'ils étudient si on les voyait à l'œil nu, ou si on les ressentait directement par nos propres sens.



Jean François Soussana répond à nos questions



Jérôme Gaillardet et Laurent Longuevergne ont partagé une rencontre avec Jean François Soussana, ancien directeur scientifique environnement de l'INRA, maintenant vice-président en charge de l'international, et Chantal Gascuel, adjointe scientifique à la direction scientifique environnement de l'INRA.

JG : CRITEX fait partie des equipex dont l'INRA est partenaire dans lequel il apporte grâce à ses ORE Agrhys et Omère une expertise sur les agrosystèmes. Comment voyez-vous l'avenir de la recherche environnementale dans le domaine des bassins versants agricoles en France, particulièrement sous ses aspects instrumentaux ?

Les bassins versants agricoles sont le siège d'interventions spécifiques liées à la gestion des parcelles (travail du sol, pâturage, épandages, etc.). Les instruments doivent nous faire mieux comprendre les interactions et rétroactions entre milieux et agroécosystèmes, les impacts sur les sols et les eaux. Les enjeux sont : la mesure des flux vers l'eau et l'air,

le suivi des stockages internes au bassin versant, conditions pour comprendre les cycles biogéochimiques dans des paysages dont une des fonctions est la production de biomasse ; la mesure haute fréquence spatiale et temporelle pour analyser des phénomènes rapides, liés par exemple au climat comme les crues, les sécheresses, qui peuvent prendre le pas sur des phénomènes lents ; le déploiement d'approches multi-paramètres, en particulier sur les contaminants (pesticides) ; la télédétection comme moyen de transposer la connaissance de sites très instrumentés à des sites de gestion, voire de grandes régions sur des questions telles que celles du stock de carbone des sols, la gestion de l'eau.

JG : Le France, au travers de ses divers organismes de recherches est très riche en infrastructures de recherche dédiées à la surveillance et la recherche de la zone critique (bassins versants, sols, eaux profondes, glaciers) y compris dans la zone tropicale. Quel est votre sentiment sur ce paysage très divers et parfois un peu confus ?

Un travail inter-organismes important de structuration des infrastructures de recherche a été fait ces dernières années. Donc nous avançons ! Le continuum de l'eau s'est bien structuré autour d'OZCAR. Il reste sans doute à faire un travail sur les sols qui n'ont pas la même visibilité du point de vue de l'observation environnementale, même s'ils font partie d'ANAEE, d'OZCAR. Par ailleurs certains thèmes sont encore orphelins, par exemple l'écotoxicologie qui doit s'appuyer sur les infrastructures actuelles et les compléter. Un projet inter-organismes RECOTOX va dans ce sens en fédérant les données et les observations de plusieurs bassins versants. L'articulation avec la feuille de route européenne est importante en soit, et parce qu'elle doit permettre une plus grande diversité de conditions agro-pédo-climatiques. Mais la diversité française est déjà importante et la structuration en cours doit permettre plus encore d'exploiter la diversité des sites d'observations.

LL : La zone critique se structure nationalement avec la mise en place de l'infrastructure de recherche OZCAR, miroir partiel d'une infrastructure européenne eLTER en gestation. L'INRA a beaucoup investi de ressources depuis des dizaines d'années dans ANAEE une infrastructure proche. Comment voyez-vous l'articulation entre ces efforts collectifs ?

ANAEE vise des approches d'expérimentation, en lien notamment avec le changement climatique, sur des écotrons, des mésocosmes et des sites in natura. OZCAR est centré sur l'observation du paysage à l'hydrosystème. On pourrait aussi parler des zones ateliers ou d'ICOS sur la partie atmosphérique du cycle du carbone et les flux de gaz à effet de serre, où l'INRA est aussi très engagé. Les scientifiques ont ainsi une large offre de service, pouvant cibler l'une ou l'autre, ou plusieurs infrastructures en complémentarité. Au-delà de l'articulation en termes d'échelles, d'approches, de compartiments de l'environnement, les plateformes de modélisation doivent traverser ces infrastructures, simulant le fonctionnement d'écosystèmes, dont les agroécosystèmes. Cette transversalité est facilitée lorsqu'une même région héberge plusieurs infrastructures complémentaires.

JG : On sent chez les citoyens un désir de revenir au territoire comme entité d'action et de décision. Pensez-vous qu'il s'agit là d'un bon signe pour la recherche environnementale et à la sensibilité écologique de nos décideurs ?

C'est un bon signe, mais c'est surtout une nécessité que de revenir au territoire. C'est prendre en compte la diversité des milieux, des écosystèmes, le fait que ce sont les acteurs, les filières économiques qui les façonnent et participent à un certain pilotage de leurs évolutions. L'agroécologie vise à mieux utiliser les régulations naturelles au sein d'agroécosystèmes, et se décline au niveau du paysage et du territoire. Les observatoires sont des lieux d'acquisition de connaissances qui doivent servir de référentiels à ces évolutions différenciées des territoires.



CRITEX : temps forts 2016



Le meeting de lancement de l'infrastructure de recherche OZCAR a eu lieu à l'Institut de Physique du Globe de Paris les 6 et 7 février 2017. Environ 70 participants se sont réunis pour assister à des présentations de chacun des SOERE ou des SNO constituant l'IR OZCAR: RBV (G. Nord), H+ (O. Bour), CryObsClim (D. Six), SNO Tourbières (F. Laggoun), SNO Observatoire Spatial Régional (T. Tallec et V. Simonneaux), ADES (N. Dorflinger) et Observatoire Perenne de l'Environnement (C. Galy). Ont également donné lieu à des présentations le programme CRITEX (L. Longuevergne) et le pôle de données THEIA (S. Galle). N. Arnaud a présenté la structuration européenne en construction.

En plus de ces interventions, plusieurs ateliers ont permis à cette assemblée de discuter autour de thèmes transverses : questions et verrous scientifiques, interface modèles-données, bases de données-métadonnées, instrumentation et expérimentation et structuration future d'OZCAR. Pour chaque atelier, les animateurs et rapporteurs ont conduit des discussions stimulantes qui ont clairement montré un enthousiasme partagé de se lancer dans l'aventure OZCAR. Au delà des différences de culture scientifique et de pratiques, apparaît clairement la volonté de mettre en place une plateforme commune permettant de résoudre des questions scientifiques qui ne peuvent pas l'être sinon, et de faciliter les collaborations sur l'observation et la modélisation de la zone critique. Les comptes rendus de ces ateliers serviront de base pour l'écriture d'un "position paper" pour OZCAR qui sera publié.

En plus de ces interventions, plusieurs ateliers ont permis à cette assemblée de discuter autour de thèmes transverses : questions et verrous scientifiques, interface modèles-données, bases de données-métadonnées, instrumentation et expérimentation et structuration future d'OZCAR. Pour chaque atelier, les animateurs et rapporteurs ont conduit des discussions stimulantes qui ont clairement montré un enthousiasme partagé de se lancer dans l'aventure OZCAR. Au delà des différences de culture scientifique et de pratiques, apparaît clairement la volonté de mettre en place une plateforme commune permettant de résoudre des questions scientifiques qui ne peuvent pas l'être sinon, et de faciliter les collaborations sur l'observation et la modélisation de la zone critique. Les comptes rendus de ces ateliers serviront de base pour l'écriture d'un "position paper" pour OZCAR qui sera publié.



Kick off meeting d'OZCAR, 6-7 février 2017, IPGP, Paris. Au premier rang de droite à gauche Isabelle Braud (IRSTEA-), Fatim Hnakard (INSU) et J. Gaillardet (IPGP), cellule de coordination d'OZCAR.

Bilan de la zone critique à l'AGU.

L'AGU de San Francisco était sous le signe de la zone critique, avec en particulier une "union session" dédiée à la zone critique, un "all-hands" meeting et un workshop le dimanche précédent l'AGU sur l'organisation internationale. Plusieurs collègues ont représenté CRITEX, H+ et RBV dans ces différentes rencontres. Notre collègue André Revil a été élu fellow de l'American Geophysical Union (AGU). Cette distinction représente ainsi une reconnaissance scientifique importante pour ce géophysicien spécialiste des milieux poreux et des méthodes d'imagerie, qui se voit récompenser pour ses travaux récents dans les domaines de l'hydrogéophysique et de la biogéophysique.

Journées Future Earth, 2016

Le bureau français de Future Earth a organisé 2 jours de rencontres internationales à Paris les 30 novembre et 1 décembre 2016. Christian Valentin a montré en quoi le concept de zone critique permet d'aborder le nexus « food, water and energy » : les temps de résidence des nitrates dans les sols cultivés tempérés, la salinisation des eaux et des sols par excès de pompage dans les nappes en zones semi-arides, et la dégradation de l'ensemble de la zone critique sous l'effet de l'utilisation des tourbières tropicales pour la production d'huile de palme à des fins énergétiques. Le terme **nexus**, synonyme de centre de réseau (ou 'hub') est de plus en plus utilisé (ANR, H2020, Future Earth, ODD, ...) pour souligner l'impérieuse nécessité d'approches intersectorielles et interdisciplinaires

Présentation du projet ANR HydroSlide "Observations hydro-géophysiques haute-fréquences pour la connaissance des mécanismes de glissements de terrain"

L'objectif du projet HydroSlide, financé pour 4 ans dans le cadre des Appels d'Offre Bilatéraux France-Autriche de l'ANR et du FWF autrichien est de proposer de meilleures observations et une quantification des stocks d'eau et des flux dans les glissements de terrain argileux par l'analyse temporelle de mesures hydro-géophysiques.

En pratique, le projet doit permettre (1) d'aboutir à un prototype de mesure time-lapse continu de résistivité et de chargeabilité (GEOMON-IP) du milieu, (2) de proposer une méthode de traitement et d'interprétation des mesures IP et CS-AMT dans le contexte du suivi en continu de glissements de terrain, (3) de corréler les variations des propriétés électriques des milieux aux variations des fluides et aux déformations des versants, (4) et de proposer une modélisation multi-physique des écoulements d'eau contrainte par les mesures hydro-géophysiques (boucles d'assimilation).

Le projet associe cinq partenaires (Institut de Physique du Globe de Strasbourg et Géosciences Montpellier en France, le Service Géologique Autrichien et le Département de Géophysique de l'Université de Vienne en Autriche, et la Section Ressources en eau de l'Université Technologique de Delft aux Pays-Bas) et permet le financement de 3 thèses de doctorat et d'un post-doc. Les recherches seront réalisées sur trois sites d'étude (La Valette et Lodève en France, Pechgraben en Autriche).

Projets ERANET

L'observatoire d'OMERE est impliqué dans deux projets de type ERANET faisant intervenir les 2 bassins versants (France et Tunisie) d'OMERE :

i) Le projet "MASCC [2016-2019] : **Mediterranean Agricultural Soils Conservation under global Change**" financé par l'AO ARIMNET2 vise à identifier des stratégies durables de conservation des sols agricoles adaptées aux différents agro-écosystèmes du pourtour (occidental) de la Méditerranée. Ce projet, coordonné par D. Raclot (LISAH), s'appuie sur des équipes et des bassins densément instrumentés dans 6 pays du pourtour méditerranéen (Espagne, France, Italie, Maroc, Portugal et Tunisie), dont les bassins français et tunisien de l'observatoire OMERE. Plus d'info sur <http://mascc-project.org/>

ii) Le projet "ASSESS [2017-2020] : **impActs and feedbackS between climate and Soil affected by EroSion: cost in terms of carbon Storage in Mediterranean regions**" financé par l'AO ERANETMED vise à mieux comprendre l'impact de l'érosion du sol sur le bilan de carbone dans les paysages agricoles méditerranéens. Le consortium regroupe des équipes françaises (LSCE, ECOSYS, ECOPUB, LISAH), tunisiennes (INRGREF/INRAT) et algériennes (université de Khemis Miliana). Ce projet, coordonné par B. Guenet (LSCE), s'appuie sur des équipes et des bassins densément instrumentés dans 6 pays du pourtour méditerranéen, dont les bassins français et tunisien de l'observatoire OMERE.



CRITEX : évènements à venir



Le **meeting annuel de l'Equipex CRITEX 2017**, aura lieu au centre de l'Escandille (www.escandille.com), situé à moins d'une heure de la gare de Grenoble au sein du massif du Vercors les 11 et 12 mai 2017.

Evènement important, après les Journées de Rennes en 2016, les Journées CRITEX 2017 permettront de faire le point sur les sites instrumentés et de consolider les liens entre les développeurs et spécialistes des outils de la Zone Critique d'une part et les observatoires d'autre part. Elles sont organisées par la direction de CRITEX et l'IGE à Grenoble (et Autrans). Nous mettrons l'accent cette année sur les premières observations récoltées avec les instruments hautes fréquences, leurs potentiels, ainsi que sur les réalisations ou les travaux en cours utilisant le parc CRITEX.

Les Grands Témoins suivant nous feront l'honneur de leur présence : Harry Verrecken, Forschungszentrum Jülich, responsable du réseau TERENO, Louis Derry, Cornell University, responsable du programme CZO des USA, ainsi que Thierry Lebel de la direction de l'IRD.

Le 10 mai aura lieu sur la campus de Grenoble une présentation du matériel CRITEX des équipes de l'IGE.

C'est un **meeting ouvert à tous** à condition de s'inscrire avant le 2 avril. Les personnes ayant bénéficié de financement CRITEX sont tenus faire une communication.

<https://framaforms.org/inscription-journees-critex-2017-ige-1483375059>



La **Goldschmidt** conference, réunion annuelle des géochimistes et biogéochimistes a lieu à Paris du 13 au 18 août

2017. La zone critique y sera à l'honneur, représentée dans plusieurs sessions. <https://goldschmidt.info/2017/>. **Date limite de dépôt des résumés : 1^{er} avril 2017.**



Le meeting **BIOGEOMON** (international symposium on ecosystem behavior) aura lieu en République Tchèque du 20 au 24 août 2017. Il se focalise sur le fonctionnement biogéochimique des écosystèmes et la stoechiométrie des processus biogéochimiques à l'échelle des bassins versants. <http://www.biogeomon.cz/>.

Date limite de dépôt des résumés : 10 mars 2017.



Le troisième meeting AGU-SEG sur l'**hydrogéophysique de la zone critique** aura lieu sur le campus de Stanford, Californie, cet été du 24 au 27 juillet. Il réunit les communautés de la géophysique qui imagent la zone critique.

<http://workshops.agu.org/hydrogeophysics/>. **Date limite de dépôt des résumés le 26 février.**



Le 11^{ème} meeting international "**Geochemistry of the Earth's surface**" aura lieu en Chine, à Guiyang, du 11 au 16 juin 2017. Le symposium se propose de couvrir les avancées récentes sur les sciences du système Terre and

la perspective d'un développement durable. <http://www.datas-online.net/ges2017/>. **Date limite de dépôt des résumés le 28 février.**



Joint Meeting international ILTER (international LTER) : 2-4 octobre 2017

Cette année, c'est la France qui héberge le meeting annuel international du réseau Long-Term-Ecological-Research network. La réunion aura lieu au Westhotel de Nantes. Il est co-organisé par les Zones Ateliers et OZCAR.

Cette réunion permettra de rencontrer les collègues internationaux engagés dans le développement de l'infrastructure européenne eLTER. Le programme prévoit en particulier une conférence de Bruno Latour, où il exposera sa conception des relations homme-nature dans le "nouveau régime climatique". Nous espérons une participation large à ce meeting qui va marquer une pierre importante dans la co-construction d'un miroir national au projet d'ESFRI eLTER.

Le comité scientifique réunit Vincent Bretagnolle, Marie Noëlle Pons, Hervé Fritz, Paul Blois et Jérôme Gaillardet.

Page web : <https://rza.sciencesconf.org/>

Date limite d'inscription : 21 juillet 2017.

La **Darcy Lecture** (sponsorisée par la NGWA) est cette année donnée par Kamini Singha, professeur du Department of Geology and Geological Engineering et co-directrice du « Hydrologic Science and Engineering Program » à la Colorado School of Mines. Sa tournée sera marquée par deux dates en France, le 1er juin 2017 à Rennes et le 2 juin 2017 à l'université Pierre et Marie Curie (heures et lieux exacts à venir). Kamini Singha exposera ses réflexions sur le rôle de l'eau dans la Zone Critique et comment l'hydrogéophysique propose des outils pertinents pour l'étude des processus contrôlant sa circulation et sa « disponibilité » en subsurface.

Contacts : damien.jougnot@upmc.fr, ludovic.bodet@upmc.fr, laurent.longuevergne@univ-rennes1.fr



Quand la zone critique fait parler d'elle



Publié conjointement dans le journal Libération et la Revue du CNRS, un article par J. Gaillardet et N. Arnaud sur la zone critique et ses enjeux scientifiques.

http://www.liberation.fr/debats/2016/06/30/une-zone-si-critique_1463172

"Rien de tel que la scène pour tenter une expérience de pensée : se tenir non pas sur le Globe, mais dans cette «zone critique» dont parlent les scientifiques". (Bruno Latour).

Au Théâtre Nanterre Amandiers, le 18 novembre 2016 : **INSIDE**, une conférence spectacle de Bruno Latour et Frédérique Aït-Touati. Mise en scène : Frédérique Aït-Touati. Avec Bruno Latour. Images et vidéos Alexandra Arènes, Axelle Grégoire, Sonia Lévy. Lumières Rémi Godfroy. Son Eric Broitmann, avec le soutien de l'IRCAM.



Du coté des réseaux...

En 2016, les **journées du Réseau RBV** ont eu lieu à Irstea Lyon-Villeurbanne.

Les grands témoins, Jean Braun (GFZ-Potsdam) et Agnès Ducharne (UMR METHYS/IPSL) ont présenté respectivement leurs travaux sur « Les modèles géomorphologiques de la Zone Critique » et « La modélisation de la Zone Critique dans les modèles de climat ».

Les premiers résultats obtenus par les projets financés par l'appel d'offre interne RBV ont été présentés sous forme orale ou poster. Cette restitution a permis de constater l'importance de cet appel d'offre et la naissance de projets transverses utilisant les observatoires du réseau BBV pour mener à bien des recherches qui ne seraient pas possibles sinon. Dans le cadre du rapprochement de RBV avec les zones ateliers, Jérôme le Coz (Irstea-Lyon) y a brillamment présenté l'Observatoire des Sédiments du Rhône, rattaché à la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). Des collaborations entre RBV et l'OSR existent déjà (par ex. via Hybam) et pourraient se développer encore. Un dîner convivial a réuni l'ensemble des participants dans une grande brasserie lyonnaise. Nous remercions les équipes de l'IRSTEA Lyon et Isabelle Braud tout particulièrement pour l'organisation de ces journées.

Durant ces journées, une visite a aussi été organisée pour visiter les équipements du bassin de l'Yzeron, en périphérie Lyonnaise, récemment intégré au réseau. Une réunion du comité de pilotage du réseau RBV a également eu lieu où les aspects européens ont été particulièrement abordés. Les présentations et compte rendu sont disponibles sur le site collaboratif du réseau RBV : <http://portailrbv.sedoo.fr/>.

Le bassin versant de l'Yzeron est l'un des sites de l'OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine), lui-même site atelier de la ZABR. Il subit depuis le XXème siècle l'influence du développement de la ville de Lyon. Cela se traduit par une augmentation de l'imperméabilisation dans son aval urbain mais aussi à partir des villages satellites, ainsi qu'une déprise agricole au profit des forêts dans sa partie amont. Sur le bassin, la gestion des eaux pluviales est le plus souvent réalisée à partir de réseaux unitaires, collectant les eaux usées et les eaux de pluie. En cas de surcharge des réseaux, le surplus est déversé dans les cours d'eau via des déversoirs d'orage (DO).

Les problématiques rencontrées portent sur l'impact de l'urbanisation sur le régime hydrologique, les inondations dans la partie aval urbaine du bassin (ville d'Oullins), l'impact des rejets urbains par les déversoirs d'orage sur la morphologie des cours d'eau, souvent intermittents (incisions, ensablement), la qualité de l'eau (bactéries pathogènes notamment), et la qualité écologique des petits cours d'eau périurbains, en lien avec leur rôle récréatif grandissant.

Initialement centré sur le petit sous-bassin de la Chaudanne à Grézieu-la-Varenne, le dispositif expérimental a été étendu à partir de 2007 à l'ensemble du bassin versant (150 km²). Les observations sur le bassin versant permettent d'alimenter les thématiques scientifiques suivantes :

- Améliorer la connaissance de la pluie dans cette zone périurbaine
- Améliorer la compréhension du cycle de l'eau en zone périurbaine, notamment au travers d'un modèle intégré prenant en compte le réseau d'assainissement
- Évaluer l'impact écologique et biologique des aménagements en zone périurbaine

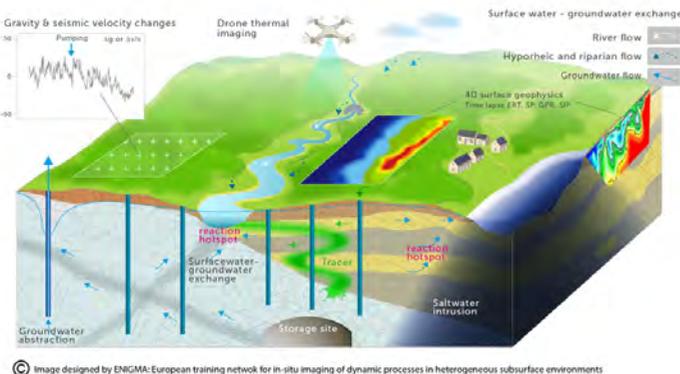


Journées du réseau RBV à Lyon (IRSTEA). Présentation des deux grands témoins (Agnès Ducharne, UPMC, à gauche et Jean Braun, GHZ Potsdam, à droite). Visite de terrain sur le bassin urbain instrumenté de l'Yzeron (présentation par Flora Branger, au centre). Col de Luère, 20/9/2016.

Le réseau H+ des sites hydrogéologiques

Durant l'année 2016 le service d'observation H+ a joué un rôle important dans la structuration internationale en créant le consortium international ENIGMA (European training Network for In situ imaGing of dynaMic processes in heterogeneous subsurfAce environments) lauréat de l'appel d'offre H2020 « Innovative Training Network ». Ce projet Marie Curie ITN financera 15 thèses de doctorat basées sur les sites H+ et leur équivalents européens, ainsi que 5 workshops et 1 école d'été durant les 4 prochaines années (2017-2020). Il s'agit d'un succès important au regard de la très grande compétitivité de cet appel d'offre. ENIGMA est en effet le seul projet retenu parmi les 30 projets ITN déposés cette année par le CNRS en tant que coordinateur, toutes thématiques confondues.

En 2016, les actions des équipes H+ dans le cadre du projet CRITEX ont été les suivantes : traçages gaz (WP 7.3 et 8.1) sur les sites d'Agryhs (RBV), Ploemeur (H+) et Pleine Fougères (ZA Armorique), traçages sur le site de



Ploemeur avec suivi radar (WP 7.3), mesures spatialement distribuées de température par fibre optique (WP3) sur les sites d'Orgeval (RBV), Agryhs (RBV) et Ploemeur (H+), tomographie hydraulique par sollicitations périodiques (WP 7.1 et 7.2) sur le site de Ploemeur, imagerie hydrogéophysique par tomographie de résistivité électrique (WP 6.3), sismique proche surface Vp/Vs (WP 6.1) et résonance magnétique des protons (W6.2) sur le site du LSBB, et rapprochement des activités gravimétriques et inclinométriques dans le LSBB dans le cadre des Equipexs MIGA et CRITEX. H+ a par ailleurs poursuivi ses actions d'animation, incluant l'organisation d'un workshop prospectif sur l'imagerie hydrogéophysique en collaboration avec le laboratoire METIS (Paris, 29-30 juin 2016), l'organisation de plusieurs sessions à la conférence de l'IAH (Montpellier, 26-29 septembre 2016) sur l'Hydrogéophysique, l'Hydrogéodésie ou encore les mesures distribuées de température par fibre optique, et l'organisation d'un workshop hydrogéologique à Hyderabad (1-3 décembre 2016).

Un projet associant RESIF et CRITEX...

Circulation de fluides ou endommagement long-terme des fractures, quels mécanismes dominent le comportement des mouvements rocheux de grande ampleur ?

par Catherine Bertrand (Chronoenvironnement) et Jean Philippe Malet (EOST)

Les mouvements de terrain réagissent de différentes manières aux interactions eaux-roches et aux forçages météo-hydrologiques en fonction des lithologies affectées et des structures internes (fracturation, hétérogénéités) du versant. Voilà un autre champ d'application et de développements méthodologiques pour la communauté de la zone critique.

Au printemps 2016, une campagne d'instrumentation de grande ampleur a été menée sur le versant instable de Séchilienne (vallée de la Romanche) pour quantifier les interactions entre précipitations, écoulements de fluides en fractures et déstabilisation court et long-terme du massif rocheux. L'instrumentation multi-technique a été effectuée sur 6 semaines avec des acquisitions à haute fréquence dans le but de documenter et quantifier le rôle des fluides sur la déformation du versant lors du passage des ondes de pluie. Ainsi, les variations de stocks d'eau et les transferts de fluide ont été étudiées par l'analyse de la variation spatiale et temporelle de la résistivité électrique du sous-sol (tomographie de résistivité électrique time-lapse sur quatre profils) et des suivis hydro-chimiques (conductivité électrique, température, débit, ions majeurs et isotopes du strontium). Les déformations du versant ont été quantifiées à plusieurs échelles par l'analyse de séries temporelles d'interférogrammes terrestres (GB-InSAR) acquis toutes les 10 min et par scanner laser terrestre en mode continu.

Cette campagne a mobilisé plusieurs équipes CRITEX (Laboratoire Chrono-Environnement / LCE, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre - Strasbourg / EOST, Laboratoire des Transferts en Hydrologie et Environnement / LTHE) ainsi que l'Institut des Sciences de la Terre de l'Université de Lausanne et la Société IRIS-Instruments, et a bénéficié du support technique du CEREMA / Lyon.

L'ensemble des données acquises ont été prises en main par Pierre Nevers qui débute sa thèse de doctorat au Laboratoire Chrono-Environnement, en collaboration avec l'Institut de Physique du Globe de Paris et l'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg. L'objectif est de proposer un modèle d'interprétation des liens entre écoulement des fluides, chimie des fluides, déformation et endommagement du versant instable. Ces travaux sont également accompagnés par le Service National d'Observation OMIV qui instrumente quatre sites de glissements de terrain représentatifs des mécanismes observés dans les Alpes françaises (roche dure / roche peu consolidée, mouvement lent / rapide). Sur chacun des sites, l'OMIV fournit en continu des enregistrements en libre accès de la cinématique des glissements de terrain, la réponse sismique, et, depuis peu, les caractéristiques hydro-géochimiques des fluides circulant dans le massif.

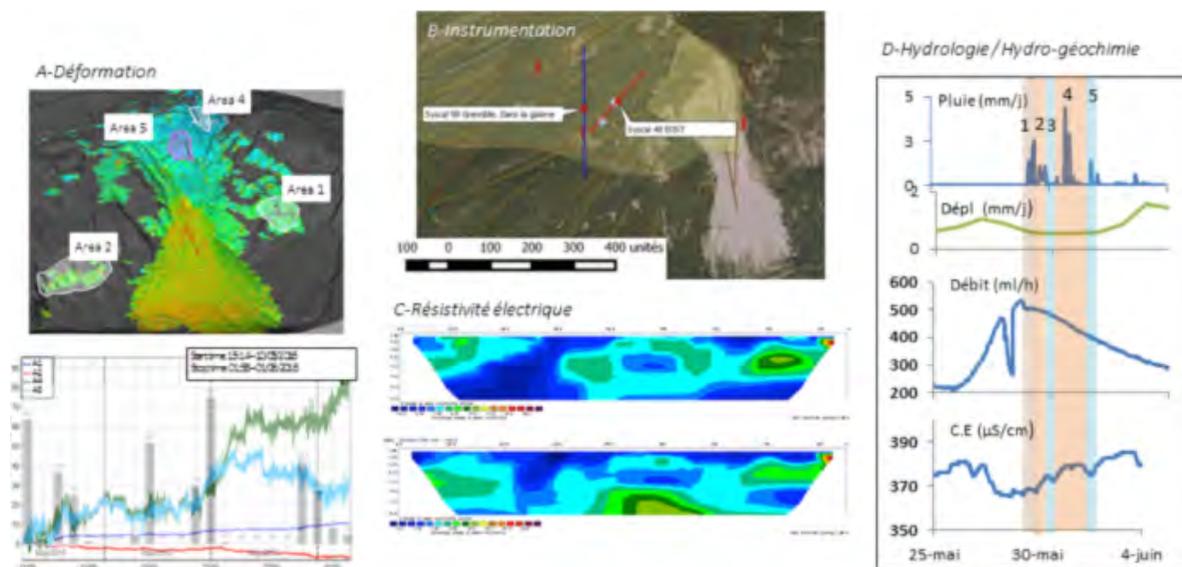


Figure : Monitoring haute fréquence de l'hydrologie et de la déformation du versant instable de Séchilienne (Isère)
 A- Identification spatiale et temporelle de plusieurs comportements cinématiques au sein de l'instabilité

B- Localisation de deux des quatre profils de résistivité électrique.

C- Identification du signal de circulation de fluide dans une fracture avec un transit rapide : 4h après le début du premier événement pluvieux (premier profil) ; 3h après le début du deuxième événement pluvieux

D- Identification du

fonctionnement hétérogène du système de drainage (volume perméable/volume peu perméable) avec un transit rapide (1-temps de réaction de l'aquifère 20H ; 2- effet piston qui chasse d'une eau plus minéralisée ; 3- arrivée de l'eau d'infiltration (dilution) ; 4- effet piston chasse d'une eau plus minéralisée due à une mobilisation d'un volume d'eau différent ou plus important ; 5- arrivée de l'eau d'infiltration du deuxième événement pluvieux (dilution)

QU'EST CE QUE CRITEX ?

CRITEX est l'un des 36 projets EQUIPEX sélectionnés en deuxième vague du PIA. Il est, avec CLIMCORE et RESIF, un des projets nationaux dont le CNRS-INSU a la gestion (<https://www.critex.fr/>).

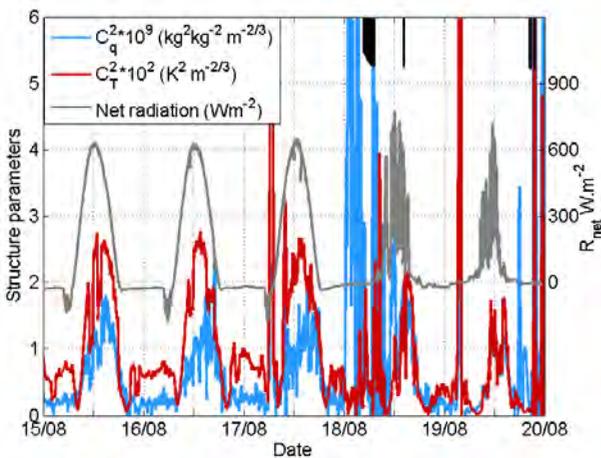
Il est co-porté par les réseaux RBV et H+, tous deux dispositifs de recherche et d'expérimentation en environnement (SOERE) labélisé par l'Alliance ALLENI. CRITEX a reçu 5 M€ en tranche 1 (équipement) et 2 M€ en tranche 2 (fonctionnement). Le projet a démarré le 01/09/2012 pour une durée de 88 mois. Parmi les dates importantes, notons le kickoff meeting à Paris, les 28 et 29 octobre 2012, la signature de la convention par le CNRS le 27 février 2013, la signature de la convention attributive d'aide n°ANR-11-EQPX-0011 entre l'ANR et la Délégation Régionale du CNRS (DR3) le 28 mars 2013. La réception des fonds par le CNRS a eut lieu le 15 avril 2013 et les crédits de l'année 1, tranche 1, ont été mis en place le 22 mai 2013. L'ANR verse l'argent à la DR3, qui le dirige à son tour vers les différentes délégations régionales impliquées dans le projet ou les organismes de recherche autre que le CNRS. Ceci se fait en fonction du calendrier et de l'échéancier signé par le Premier Ministre. Pour les organismes, des conventions de reversement ont été signées en 2013 (BRGM, INPT, IRSTEA). L'accord de consortium liant tous les partenaires de CRITEX et précisant leurs apports en terme de connaissances propres a été signé le 28 juillet 2014. La fin de la Tranche 1 sera effective au 30 juillet 2017 (service fait). La dernière réunion plénière des participants de CRITEX (leaders de WP et équipes scientifiques des observatoires RBV et H+) a eu lieu à Rennes les 21 et 22 janvier 2016, à Rennes. La prochaine aura lieu à Grenoble en mai 2017.

Toutes les publications CRITEX doivent comporter les remerciements suivants : "This work has been supported by research grants from the ANR project CRITEX ANR-11-EQPX-0011".

MESURE DE LA HAUTE FREQUENCE DANS LA ZONE CRITIQUE

WP1.1. Scintillométrie micro-onde (J. M. Cohard, Héléne Barral, LTHE).

Le scintillomètre micro-onde installé sur le bassin de l'Orgeval est opérationnel et acquiert des données au kHz en continu depuis le 11/03/2016 sur la



dynamique des échanges entre surface et atmosphère. Les procédures d'inversion permettant le passage de la donnée brute (variance du signal reçu) aux paramètres physiques de structure pour l'indice de réfraction de l'air C_n^2 , de la température CT^2 , et de l'humidité spécifique Cq^2 sont en phase de finalisation (figure). La conversion en donnée hydrologique d'intérêt (ETR) est également en cours. Du 15 au 17 août 2016 les journées étaient bien ensoleillées sur l'Orgeval (courbe du rayonnement net). Le signal CT^2 après mise à l'échelle, a une dynamique plus grande que le signal de Cq^2 . La pluie du 18 août (~6mm) vient perturber l'inversion, puis les jours suivants Cq^2 et CT^2 ont une dynamique similaire. La baisse de l'énergie disponible entraîne une baisse de la convection et de l'activité turbulente observée par les scintillomètres. Sur la Fig. ci-contre : paramètres de structure pour la température (rouge) et l'humidité spécifique (bleu) pour un période de 5 jours au mois d'Août 2016. Les 2 séries ont été mises à l'échelle pour pouvoir être comparées. Elles sont superposées au rayonnement net (gris) et aux précipitations (noir).

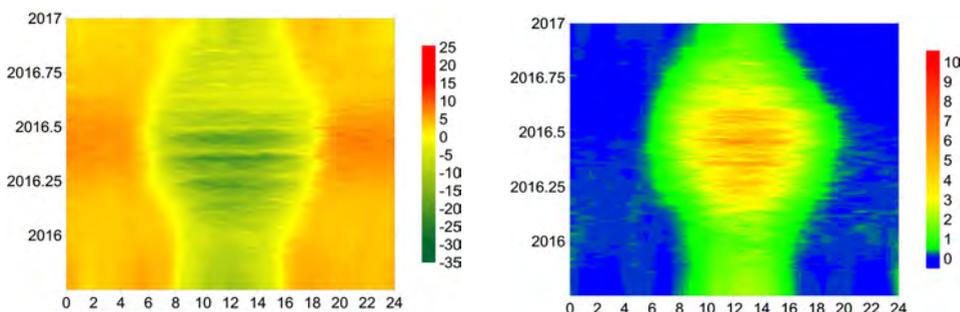
WP1.2. Flux surface-atmosphère par covariances turbulentes et par scintillométrie infrarouge (B. Cappelaere, F. Arpin-Pont, J. P. Chazarin, J. Demarty de l'UMR HSM, L. Prévot de l'UMR LISAH de l'INRA et J. M. Cohard de l'UMR LTHE).

Equipes observatoires :

AGRHYSS (UMR SAS) : C. Flechard, O. Fovet, Y. Hamon, M. Fauchoux; ORACLE (IRSTEA Antony) : G. Tallec, P. Ansart, A. Guérin.

Les dispositifs de mesure des flux d'échange (H_2O , CO_2 , énergie) entre la surface et l'atmosphère ayant pour l'essentiel été déployés au cours des années précédentes (cf. La lettre de CRITEX NL#3, mars 2016), l'année 2016 a été celle des premières mesures en continu sur les sites de l'Orgeval (ORACLE) et de Naizin (AGRHYSS). Sur l'Orgeval, un scintillomètre infrarouge de longue portée (~5km) est associé à une station de covariances turbulentes installée sur une parcelle agricole (culture de maïs en 2016) et à une station de bilan radiatif complémentaire échantillonnant une autre culture. Le scintillomètre IR est également couplé au scintillomètre micro-onde prototype mis en place dans le cadre du WP 1.1. Sur le site de Naizin, une station de covariances turbulentes équipe une parcelle de prairie permanente. Le dispositif de l'Orgeval a connu plusieurs incidents matériels (capteurs, alimentation électrique), qui ont nécessité des retours en usine et engendré des interruptions de fonctionnement. Sur le site de Naizin, l'acquisition des données est quasi complète depuis l'installation à l'automne 2015. Les procédures d'estimation des flux à partir des données brutes ont été développées, et les observations réalisées in situ ont ainsi pu être traitées jusqu'à la production des chroniques de flux d'énergie et de matières (H_2O et CO_2).

La figure ci-dessous fournit les « empreintes digitales » temporelles des flux de gaz carbonique (gauche) et d'eau (droite) sur la prairie de Naizin, représentant l'évolution saisonnière (axe vertical, de l'automne 2015 à la fin 2016) du cycle journalier (axe horizontal) de ces flux. On notera en particulier les lignes horizontales, mettant en évidence des pâturages périodiques, notamment au printemps et en début d'été, ainsi qu'une période sèche survenue en fin d'été (chute de la photosynthèse et de l'évapotranspiration), mis en évidence également par la chronique d'indice de végétation (non représentée).



"Empreintes digitales" temporelles des flux de gaz carbonique (en $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ droite) et de vapeur d'eau (à gauche en $mmol m^{-2} s^{-1}$)

La formation de l'équipe de l'observatoire ORACLE a été poursuivie et étendue à de nouvelles personnes en charge du dispositif du WP, ainsi qu'aux outils de traitement des données, permettant aujourd'hui une plus grande autonomie de l'équipe locale dans l'exploitation de ce dispositif.

WP2.1. Hydrogravimétrie, le poids de l'eau (J. Hinderer, EOST).

Les 3 gravimètres supraconducteurs de type iGrav ont été livrés à l'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg en juillet 2016. Avec l'aide d'un IE contractuel (Nolwenn Portier) en instrumentation géophysique financé par CRITEX, ces 3 instruments ont pu être installés pour une période de test en parallèle avec deux gravimètres supraconducteurs de type Observatoire déjà en fonctionnement sur place. Cette intercomparaison de 5 gravimètres au même endroit et sur la même période va fournir un jeu de données unique de grande importance d'un point de vue métrologique. La validation de la qualité des mesures est maintenant terminée et les instruments sont par conséquent disponibles pour rejoindre les sites retenus par CRITEX. Un premier gravimètre sera mis en place dès ce printemps sur le site du Bassin Versant du Strengbach de l'OHGE dans les Vosges. Un second sera installé au LSBB (laboratoire souterrain à bas bruit) de Rustrel près d'Avignon dans le cadre d'un projet commun entre les Equipex CRITEX et MIGA (Antenne gravitationnelle basée sur l'interférométrie atomique). Cet instrument localisé sur la partie sommitale du LSBB environ 400 m au-dessus de l'instrument iOSG de MIGA permettra de mieux contraindre l'infiltration de l'eau dans le massif karstique de Fontaine du Vaucluse en couplant des observations souterraines et de surface.



Gravimètre supraconducteur iGrav (pendant un remplissage d'hélium liquide à gauche et installé sur un pilier à l'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg).

Hinderer, J., Hector, B., Mémin, A., & Calvo, M., 2016. Hybrid Gravimetry as a Tool to Monitor Surface and Underground Mass Changes, *International Association of Geodesy Symposia*, DOI 10.1007/1345_2016_253, © Springer International Publishing Switzerland

Hinderer, J., Hector, B., Séguis, L., Calvo, M., Boy, J.-P., Masson, F., Urbain, A., Ferhat, G., Bernard, J.-D., Littel, F., Viville, D., & Pierret, M.-C., 2016. Water storage changes in hard-rock basement areas using hybrid gravimetry; Results from tropical and temperate settings, 43rd IAH Congress, *Groundwater and society: 60 years of IAH*, Montpellier, September 2016.

Genthon, P., Hinderer, J., Mouhouyoudine, A., Hector, B., Ferhat, G., Yameogo, S., 2016. Basement aquifer tests monitored by gravimetry : a sensitivity study, 43rd IAH Congress, *Groundwater and society: 60 years of IAH*, Montpellier, September 2016.

WP2.2. Hydrogéodésie : l'inclinométrie comme outil de caractérisation trans-échelles des réservoirs fracturés (J. Schuite, Q. Courtois, L. Guillaumot, L. Longuevergne, O. Bour, Géosciences Rennes).

En hydrogéodésie, l'année 2016 a été marquée par un effort de synthèse, d'interprétation et de valorisation de l'ensemble des mesures de déformations de la surface recueillies sur le site de Ploemeur (H+). Les données sont issues soit d'observations continues depuis 2006 avec des stations inclinométriques longue-base et GNSS, soit de campagnes expérimentales ponctuelles d'hydromécanique (inclinomètres courte-base et cartographie des déplacements verticaux du sol par nivellement optique). L'intérêt principal de ce jeu de donnée est qu'il couvre une large gamme d'investigation spatiale et temporelle des phénomènes mécaniques et hydrogéologiques associés aux réservoirs fracturés.

A l'échelle de 1 à ~10 m, les inclinomètres courte-base (ou pendulaires) ont été déployés dans le cadre d'un développement expérimental et méthodologique visant à étudier le comportement mécanique de fractures naturelles (Figure), avec une vision intégrative de leur réponse face à une perturbation hydraulique de faible amplitude. Cet aspect est intimement lié aux travaux du WP7.2 ; ainsi le lecteur est renvoyé au paragraphe afférent.

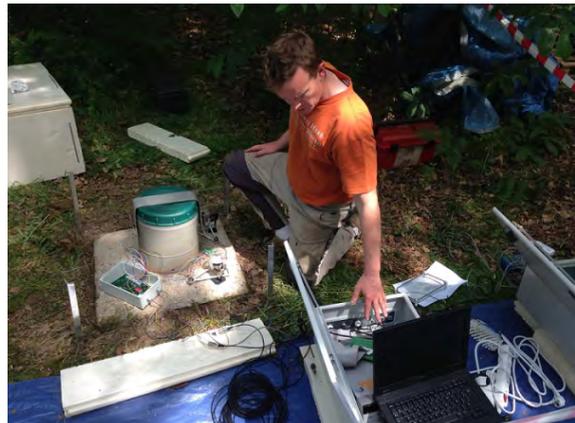
A l'échelle hectométrique, les précédents travaux démontrent l'intérêt des méthodes géodésiques de surface (inclinomètres et nivellement) pour imager les structures hydrauliquement actives de l'écoulement comme les failles sub-verticales (Schuite et al. 2015). Depuis, nous avons révélé à l'aide d'un modèle numérique 3D que les inclinomètres de surface sont particulièrement sensibles aux contrastes de propriétés mécaniques et hydrodynamiques entre la faille et la matrice environnante. Plus surprenant, nous avons remarqué que l'évolution temporelle du rapport entre l'inclinaison et la charge piézométrique lors d'un test hydraulique de plusieurs heures permet de distinguer clairement les écoulements dans la faille de la diffusion dans la matrice... Ces résultats, consignés dans un article soumis à *Water Resources Research* (Schuite et al. soumis), inscrivent définitivement les inclinomètres au rang des outils performants pour la caractérisation hydrogéologiques des milieux fracturés.

A l'échelle du réservoir fracturé dans son ensemble (~ km), les séries clinométriques pluriannuelles sont bien corrélées avec les variations piézométriques saisonnières quasi-périodiques, à ceci près qu'elles sont en avance de phase d'environ 1 mois. Ces observations montrent encore qu'à cette échelle, les inclinomètres sont sensibles aux flux, ce qui présente un intérêt majeur pour les problématiques associées à la recharge. Nous avons donc réfléchi à l'interprétation de ces signaux long-terme, notamment à travers le stage M2 de Quentin Courtois. Les résultats sont très probants puisqu'un modèle hydromécanique semi-analytique a priori très simple permet non seulement de reproduire les amplitudes inclinométriques et piézométriques, mais aussi le déphasage. Les inclinomètres sont également sensibles aux modalités de la recharge (ponctuelle versus diffuse). De plus, la comparaison avec les données GNSS disponibles a permis d'élaborer un modèle conceptuel du fonctionnement saisonnier du réservoir dans sa globalité et des écoulements profonds associés.

L'ensemble de ces travaux sont consignés dans la thèse de Jonathan Schuite (financée à 50% par CRITEX, 50% par Région Bretagne) soutenue le 2 décembre 2016.

Schuite, J., L. Longuevergne, O. Bour, F. Boudin, S. Durand, and N. Lavenant (2015), Inferring field-scale properties of a fractured aquifer from ground surface deformation during a well test, *Geophysical Research Letter*, 42, 10,696–10,703, doi:10.1002/2015GL066387

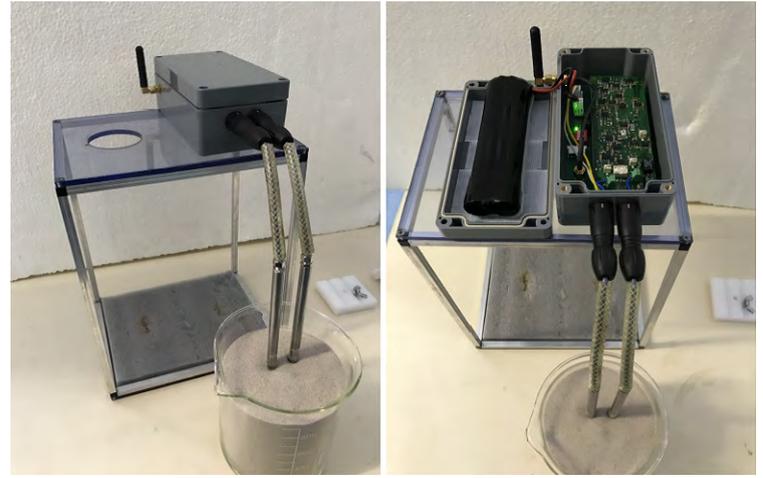
Schuite, J., L. Longuevergne, O. Bour, T. J. Burbey, F. Boudin, N. Lavenant, and P. Davy (soumis), Understanding the hydromechanical behavior of a fault zone from transient surface tilt and fluid pressure observations at hourly time scales, *Water Resources Research*.



Mise en place d'une expérience hydromécanique avec perturbation hydraulique périodique de fractures profondes et suivi des déformations en surface avec des inclinomètres pendulaires (entre tête de forage et pied de géophysicien). Crédit: J. Schuite.

WP2.3. Sonde d'humidité, salinité et température HYMENET (X. Chavanne et J. P. Frangi, IPGP-Université Paris Diderot).

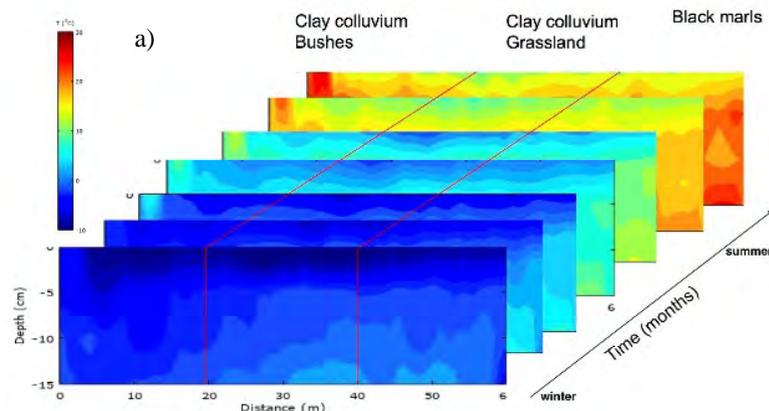
Les développements se poursuivent afin de corriger, ou au moins limiter, tout biais possible dans les mesures : meilleurs contacts électriques pour les électrodes, réduction de la sensibilité à la température des circuits électroniques (de 1000 ppm/°C à 200 ppm/°C). Le dernier projet mené dans le cadre de la tranche 1 du programme Critex est la réalisation d'un prototype de sonde simplifiée, adapté pour des études en bassin versant (et d'autres applications moins fondamentales). Il bénéficie des retours d'expérience des sondes actuelles. Le principe de mesure reste le même mais la géométrie est modifiée. Il s'agit aussi d'une sonde à 1 voie mais ses électrodes peuvent être placées à différentes profondeurs, jusqu'à 70 cm (pour l'instant), grâce à des prolongateurs. Le dispositif est soigné de manière à réduire toute perturbation des écoulements : déport horizontal depuis le boîtier, prolongateur vertical de même diamètre que les électrodes. Le circuit de contrôle et de communication est le même que pour les précédentes sondes de manière à conserver une bonne résolution à une fréquence d'acquisition modulable, tout en fonctionnant en réseau sans fil. L'autonomie prévue est de plus de 4 mois à raison d'un point toutes les 15 min.



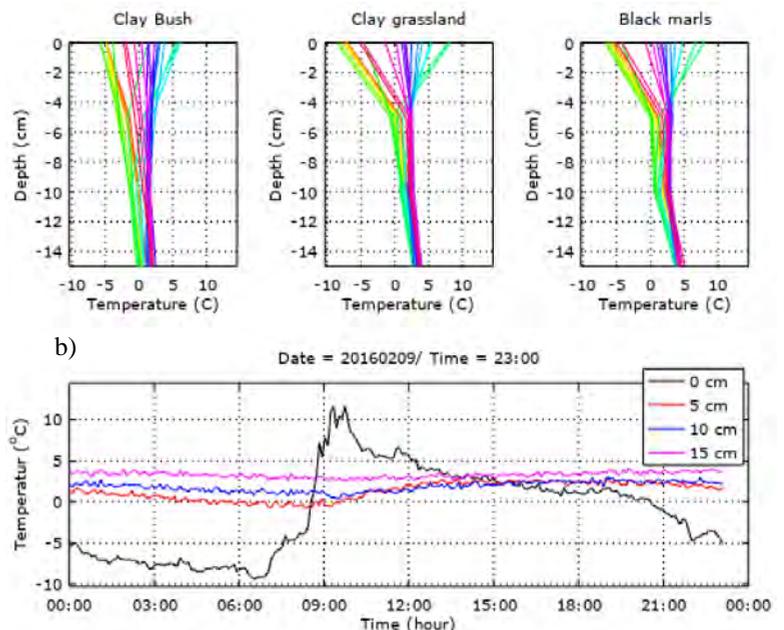
Sonde d'humidité simplifiée pour Critex. Boîtier étanche - avec circuits et batterie intégrés -,prolongateurs et électrodes (dans sable). Crédit Oleg Antipov.

WP3. Mesures à haute fréquence de la température de la ZC. (J. P. Malet, EOIST)

Depuis Décembre 2015, un observatoire permanent des flux d'eau et d'énergie par mesures actives et passives des températures du sol par fibre optique a été mis en place sur un versant de colluvions marneux de l'Observatoire Draix-Bléone. La mesure distribuée des gradients de température dans le proche sous-sol (jusqu'à -20 cm) permet de quantifier la réponse hydrologique du versant (stock, flux) aux forçages hydroclimatiques. Le système de mesure est opérationnel avec un taux d'observation proche de 97% assuré par une télémétrie efficace. Depuis juin 2016, Kusnadi Susanto, doctorant à l'EOIST, travaille sur l'interprétation de ces données en collaboration avec l'Université Technologique de Delft (Pays-Bas). Les premiers résultats indiquent une réponse différenciée des trois types de faciès de sols traversés (texture, végétation) au rayonnement naturel et aux pluies. Le doctorant développe actuellement des boucles d'assimilation de données hydriques à partir du modèle HYDRUS pour estimer les variations spatiales de teneurs en eau. Une campagne temporaire de mesures de résistivités time-lapse sera menée au printemps 2017 pour contraindre les interprétations. Ces travaux seront présentés au workshop EAGE/DD EAGE/DGG 'Fibre Optics Technology in Geophysics' puis à l'EGU 2017. Un site d'observation long-terme similaire sera déployé en 2017 sur le site de Lodève pour quantifier les variations de teneur en eau en surface autour de quelques puits de forage et interpréter des mesures de résistivités complexes (IP) dans le cadre du projet ANR HydroSlide et de la thèse de Myriam Lajaunie qui débute en Janvier 2017.



Variation spatio-temporelle de la température du sol sur un versant de colluvions marneux du site de Draix-Bléone. (a) Moyenne des températures mensuelles à 12.00 UTC de janvier à juillet 2016. (b) Exemple de profils verticaux de température pour une période de 24 h (9 Février 2016) pour les trois unités de sol étudiées.



WP3. Mesures à haute fréquence de la température de la ZC : (N. Simon, O. Bour et N. Lavenant, Géosciences Rennes).

Équipe des Observatoires : Kerrien-Kerbernez : M. Fauchoux, O. Fovet et Z. Thomas; Orgeval, A. Rivière, A. Berrhouma et N. Flipo
A Géosciences Rennes, l'objectif en 2016 a été de développer au mieux les instruments de mesures distribuées de la température par fibre optique afin de caractériser et quantifier les échanges nappe-rivière en lien avec la dynamique du cycle hydrologique. Tout d'abord, l'installation de la fibre optique sur du long terme sur le site de Kerrien (ORE AgrHys, réseau RBV) a permis de mettre en évidence un changement de comportement dans le fonctionnement du bassin versant. Ainsi, l'augmentation des précipitations et des niveaux piézométriques début janvier 2016 se traduit par une augmentation des flux souterrains d'apport au cours d'eau. Ce changement est bien marqué par l'apparition de zones d'anomalies thermiques dans les sédiments, reflets de l'exfiltration d'eau souterraine. Les données acquises ont également permis de développer et tester différentes méthodes de traitement des données. Le câble de fibre optique installé depuis décembre 2015 a été retiré en juillet 2016, après 6 mois d'acquisition. La localisation de ces anomalies thermiques a également permis de tester une nouvelle méthode instrumentale pour quantifier les échanges nappe-rivière. L'innovation consiste à utiliser une méthode dite active, complémentaire à la méthode passive de simple mesure de température par fibre optique. Elle repose sur l'injection d'un courant électrique dans l'armature en acier de la fibre qui va entraîner une augmentation de la température de la fibre, dépendante de la puissance électrique du courant injecté, des propriétés thermiques du milieu mais aussi de la vitesse d'écoulement du fluide qui va ainsi dissiper une partie de la chaleur.

WP3. Mesures à haute fréquence de la température (suite)

Les essais ont été très concluants et ont permis de mesurer des vitesses d'écoulements estimées allant de 8.10^{-7} à 6.10^{-5} m/s, ce qui correspond tout à fait à la gamme de vitesses attendue dans les sédiments du cours d'eau. Ces travaux prometteurs sont en cours de valorisation et doivent être poursuivis au cours de l'année 2017 pour développer cette méthodologie.



Unité de mesure DTS installée sur le site de Kerrien pour un suivi long-terme (7 mois) de la température et installation du câble de fibre optique le long du cours d'eau du bassin des Avenelles.

Un câble de fibre optique de près de 1500 m a également été installé en octobre 2016 sur une rivière du bassin des Avenelles (Bassin de l'Orgeval, RBV) en collaboration avec l'équipe des MINES Paris-Tech. L'objectif est de suivre sur du long-terme l'évolution de la température le long du fond du cours d'eau. Ces données, couplées aux dispositifs MOLONARI (MONitoring Local des échanges NAppe-Rivière), doivent permettre de dresser un bilan thermique dans la zone hyporhéique et de caractériser au mieux le fonctionnement hydrologique et les échanges nappe-rivière à différentes échelles le long du bassin versant.

Enfin, dans le cadre du LIA France-Québec RESO « REssources et SOciétés », des mesures distribuées de température par fibre optique ont été réalisées au Québec, en collaboration avec l'INRS (Canada). L'équipe de l'INRS a développé un câble chauffant permettant de déterminer la conductivité thermique du sous-sol par TRT (thermal recovery tests). La fibre optique a permis d'obtenir une mesure distribuée de la température dans des forages thermiques et ainsi de valider la méthodologie et notamment l'utilisation de ce câble chauffant pour des applications géothermiques.

WP4.1. Plateforme de suivi hydro-sédimentaire (Y. Michielin, G. Nord, M. Estèves, IGE): RIPLE

Durant l'année 2016, les travaux ont connu une avancée déterminante grâce au recrutement de Yoann Michielin, IE CNRS. L'architecture de la plateforme RIPLE (River Platform for Monitoring Erosion) a été finalisée dans le but de permettre un suivi continu et à haute fréquence (~ 10 min) des flux d'eau et de sédiments (fins et grossiers) dans les rivières de montagne. Les objectifs scientifiques visés sont de : (i) contribuer à l'établissement de bilans de masse pour les flux particuliers (fins et grossiers); (ii) s'intéresser aux propriétés physiques des sédiments fins (taille, forme, composition) pour fournir des informations sur leur origine spatiale, les conditions d'érosion, de transport et de sédimentation dans la rivière et leur potentiel à fixer d'autres substances (nutriments, métaux, micro-organismes...). Pour la conception de la plateforme, la priorité a été donnée aux instruments non intrusifs en raison de leur robustesse. Le prototype de base de la plateforme (Figure a) intègre les instruments suivants pilotés par un unique système d'acquisition (Figure b) : radars pour la mesure du niveau et de la vitesse de surface de l'eau, turbidimètres, sonde de conductivité, hydrophone (Geay, 2013), caméras, préleveurs automatiques d'échantillon d'eau et écho-sondeur. D'autres instruments sont progressivement intégrés, tels que le SCAF (Wendling et al., 2015), un profileur Doppler acoustique et un spectrophotomètre. Une télécommunication sans fil a été mise en place pour permettre des interactions à distance avec la plateforme et la transmission des données. La plateforme RIPLE a été conçue pour faciliter son utilisation et sa maintenance. Une interface utilisateur permet la surveillance des données et la configuration à distance et l'envoi d'alertes (SMS, courrier) selon des conditions programmées. La flexibilité d'installation in situ et l'autonomie énergétique permettent de déplacer facilement la plateforme d'un site à l'autre. Un résumé étendu (Michielin et al., 2017a) décrivant la plateforme a été accepté pour la conférence « Hydrométrie 2017 Mesures et incertitudes ». En septembre 2016, la plateforme a été installée au niveau d'un pont de la rivière Romanche à Bourg d'Oisans (45.1159 ° N, 6.0135 ° E) pour une période d'essai d'environ un an (Figures a et b). Ce site a été choisi en raison de sa proximité de Grenoble et de son intérêt scientifique : rivière de montagne avec transport par charriage et matière en suspension, sources diversifiées des sédiments, site isolé, présence d'une station hydrométrique EDF avec une courbe de tarage disponible. Quelques crues ont été observées durant l'automne 2016 (Figure c). L'exploitation des premiers résultats portant sur les mesures de vitesse de surface, l'estimation des débits, les mesures de turbidité et la

détection des périodes de charriage fera l'objet d'une communication à la conférence EGU 2017 (Michielin et al., 2017b).

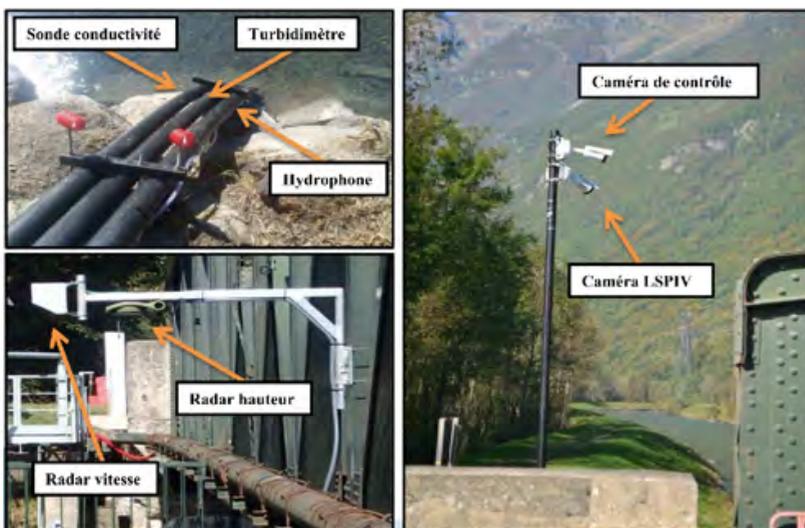


Figure a: Instruments déployés dans le prototype de base de la plateforme RIPLE

WP 4.1 (suite). Le contrat de Yoann Michielin vient d'être prolongé jusqu'au 31/05/2017, ce qui va permettre de finaliser le développement de la plateforme et de son interface logicielle, conforter l'archivage des données, rédiger une documentation complète pour assurer la transmission des connaissances au service technique de l'IGE et rédiger un article scientifique pour valoriser le travail effectué. Une première mission de 3 jours (octobre 2016) en collaboration avec J.M. Martinez (Figure d) a permis une première caractérisation des propriétés optiques de l'eau de l'Isère et de la Romanche à l'aide de radiomètres et de spectrophotomètres. Une autre campagne de quelques mois est prévue au printemps 2017 pour réaliser un suivi plus long afin d'acquérir des données dans des conditions variées de concentration et de composition des matières en suspension.

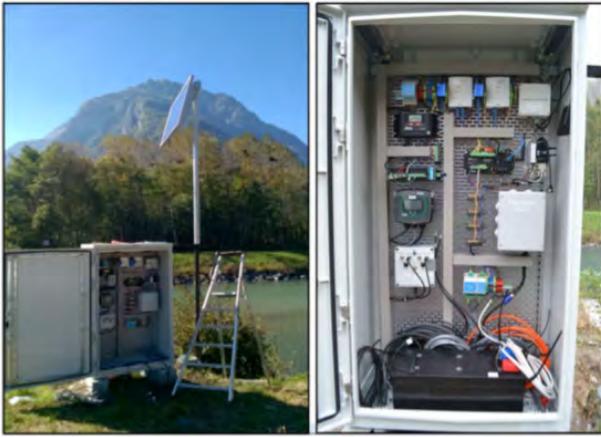


Fig. b : Panneau solaire et armoire contenant l'électronique et la batterie



Fig. c : Photo prise par la caméra de contrôle sur le site de la Romanche le 14/10/2016 à 14:07:35



Fig. d : Mesures des propriétés optiques de l'eau à l'aide de radiomètres

Références :

- Geay T. (2013) *Mesure acoustique du transport de sédiments par charriage dans les rivières*. Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes, 163 p.
- Y. Michielin, G. Nord, M. Esteves, C. Aubert, P. Belleudy, J. Bois, C. Coulaud, T. Geay, N. Gratiot, C. Legout, B. Mercier and J. Némery, 2017a. *Développement d'une plateforme de suivi hydrosédimentaire*. Hydrométrie2017 : mesures et incertitudes, Lyon, 14-15 mars 2017.
- Y. Michielin, G. Nord, M. Esteves, T. Geay, A. Hauet, 2017b. *River Platform for Monitoring Erosion (RIPL) in mountainous rivers*, submitted to HS9.1/GM4.9/SSS12.22, EGU General Assembly 2017
- Wendling V., Gratiot N., Legout, C., Droppo I. G., Coulaud, C., Mercier B. (2015). - Using an optical settling column to assess suspension characteristics within the free, flocculation, and hindered settling regimes. *Journal of Soils and Sediments* 15, pp 1991-2003.

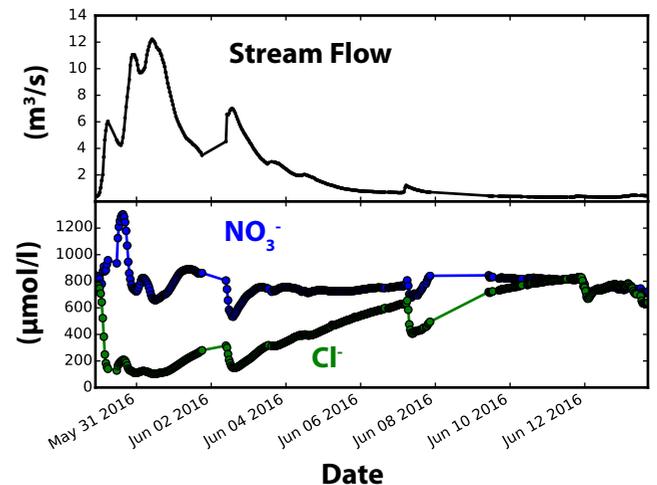
WP4.2. La Maison Chimique ou River Lab (Paul Flourey, Gaëlle Tallec, Arnaud Blanchouin, Patrick Ansard, IRSTEA Antony et Jérôme Gaillardet, IPGP).

Le prototype de « chemical house », auquel il faut désormais préférer le terme de « River Lab », installé à la station des Avenelles sur l'observatoire ORACLE (resp. IRSTEA) a continué en 2016 l'acquisition des données de composition chimique en éléments majeurs à raison d'une analyse toutes les 40 minutes. Quelques pannes se sont produites qui nous ont amenées à modifier le système de prélèvement en rivière. Les crues exceptionnelles du printemps 2016 se sont traduites par des débits très élevés (voir images ci contre), dépassant les 10 m³/s et ont été enregistrées par le River Lab de l'Orgeval. Au passage d'une perturbation, on peut voir (image), une chute des concentrations en pratiquement tous les éléments, ressemblant à une « dilution » par de l'eau de pluie nouvellement apportée. L'examen des relations C-Q (Concentrations-Débit) montre qu'il ne s'agit pas d'une dilution (c'est-à-dire de relations en 1/Q) car la concentration ne chute pas autant que le débit. Ce phénomène d'atténuation, appelé « chémostasie » par les hydrogéochimistes prouve que divers stocks d'eau sont sollicités pendant la crue.

Le River Lab permet l'acquisition de bases de données uniques qui, lorsqu'elles sont observées finement montrent en fait des relations d'hystérésis entre concentration et débit. Leur analyse attentive va nous permettre de rentrer dans les coulisses de l'orchestre potamochimique.

Nous avons accueilli dans l'équipe de maintenance du River Lab, Laure Cordier, AI en analyse chimique à l'IPGP dont la mission sera de s'occuper de la maintenance chimique du River Lab en complément de Patrick Ansard.

En 2016, par ailleurs, nous avons réalisé l'achat de deux autres River Lab sur la tranche T1. Un appel d'offre compétitif a été mis en place avec l'aide de la Délégation CNRS Paris Villejuif et la compétence de M. Christophe Mariaud. L'entreprise Endress+Hauser a seule répondu à l'appel d'offre et nous avons signé l'engagement le 12/12/2016. Les deux nouvelles installations seront déployées sur le bassin du Strengbach (contact M. C. Pierret) et sur le bassin de Naizin (contact O/ Fovet) au premier semestre 2017. Cette opération n'a été possible que grâce à un co-financement de l'INSU (division SIC) et le professionnalisme de Patrick Régnier, responsable du Développement Solution Endress+Hauser.



WP4.3. Développement de capteurs innovants (P. Behra, B. Dubeuil, LCA-INPS, F. Prévot, IPGP, DT INSU).

Dans le cadre du projet CRITEX, le LCA dispose depuis septembre 2016 de plusieurs instruments de mesures et de réalisation dédiés au développement de capteurs chimiques (Figure 1).

- un microspectroscope Raman (LabRAM HR évolution (Horiba Jobin Yvon SAS), associé à un microscope confocal, BX41) pour la caractérisation des matériaux et l'étude des mécanismes d'interactions moléculaires ;

- un système à résonance de plasmon de surface (MP-SPR Navi 200 OTSO, BioNavis), équipé de deux canaux optiques et de deux lasers (670 et 785 nm), pour l'étude des interactions entre un ligand et une couche réceptrice adsorbée sur une surface métallique par mesure de l'indice de réfraction au voisinage de l'interface ;

- une microbalance à cristal de quartz avec mesure de dissipation

(QCM-D E1, QSense) pour la mesure de l'adsorption de très faibles masses ($m a s s e s$ (quelques ng/cm^2) et l'étude des interactions moléculaires, basée sur une variation de la fréquence d'un cristal de quartz ;

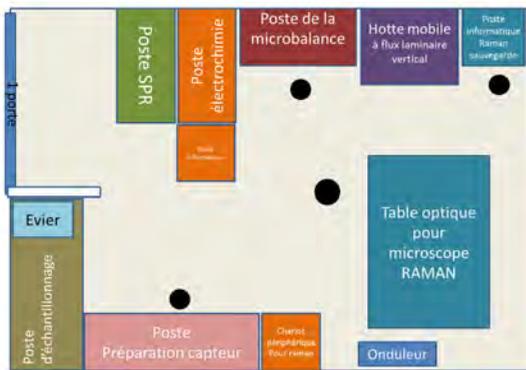
- un potentiostat à bas-courant (SP 200, Bio-Logic) pour le

développement de capteurs, basés sur des méthodes de détection électrochimique (E) ;

- un système de dépôt par centrifugation permettant de réaliser des films minces (couches sensibles) pour les capteurs.

Ces technologies ouvrent un large éventail de méthodes de détection (spectroscopique, indice de réfraction, massique, électrochimique) et offrent : (i) des performances optimales en termes de sensibilité (composés en traces de quelques pg/L au ng/L) et de fiabilité (reproductibilité, précision, justesse des mesures) ; et (ii) la possibilité de coupler les équipements (Figure 3 : E-SPR, E-QCM/D, E-Raman, E-QCM/D-Raman) afin d'améliorer les propriétés des capteurs et des méthodes de détection développées en termes de sélectivité.

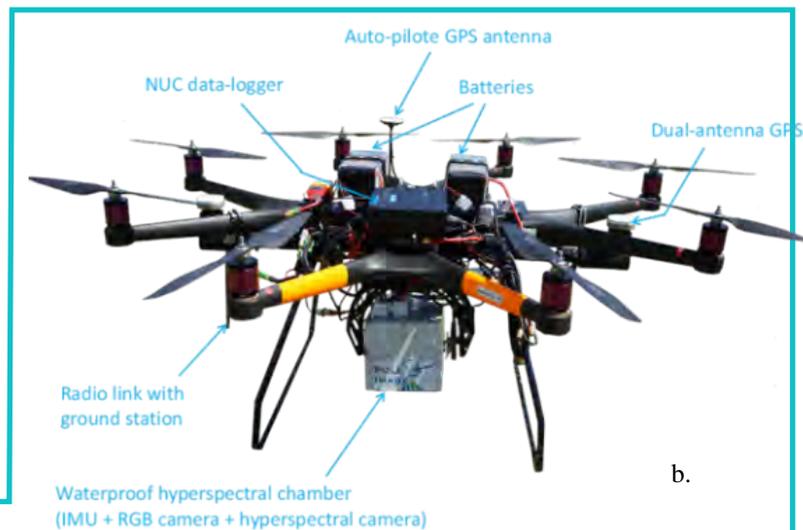
Deux thèses sont en cours portant sur le développement de nouveaux capteurs : (i) développement d'une méthodologie pour la détection et l'analyse quantitative in situ de la spéciation du bore à faible concentration dans les solutions aqueuses (doctorant : Alan Castillo-Villa ; financement : Contact, Mexique) ; et (ii) conception d'un capteur générique dynamique pour l'analyse in situ de pesticides dans les eaux naturelles (doctorant : Huy Minh Do ; financement : USTH, VIED, Vietnam).



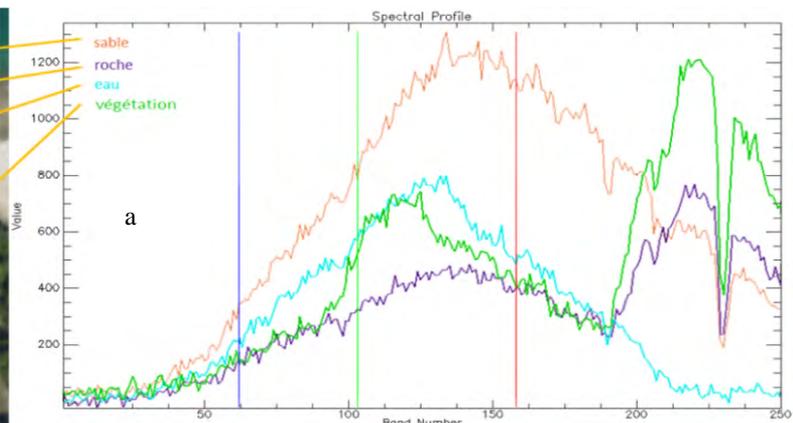
WP5. IDEVA: Drone Hyperspectral : premières acquisitions et premiers traitements (C. Delacourt, J. Ammann, M. Jaud & N. Le Dantec, LDO Brest, P. Allemand & P. Grandjean LGL Lyon).

Un drone équipé d'une caméra hyperspectrale sensible dans le visible et le très proche infrarouge est développé dans le cadre de Critex par les laboratoires « Géosciences Océans » (UBO, IUEM, CNRS - Brest) et « Laboratoire de Géologie de Lyon » (Univ. Lyon 1, OSU de Lyon, CNRS). L'objectif de ce drone est de compléter l'offre nationale et internationale d'imagerie satellitaire hyperspectrale pour des problématiques environnementales concernant les rivières, le littoral, la végétation. L'appareil entre maintenant dans sa phase opérationnelle et les premiers tests ont été effectués avec succès. Une première acquisition a été réalisée autour de l'étang de Pye au Nord de l'agglomération lyonnaise (Fig. a). Avant le vol, deux types de cibles sont placées au sol. Leur position est mesurée au centimètre près par DGPS. Le premier type de cibles permet le calcul de la géométrie des images. Le second type est une cible aux propriétés spectrales parfaitement définies et qui permet de calibrer les données hyperspectrales obtenues par la caméra.

La figure b montre une série de spectres de réflexion acquis sur la zone d'étude : sur des zones végétalisées, l'étang de Pye, du sable et des enrochements (Fig. 1b). Sur le spectre de l'eau acquis au-dessus de l'étang, on note une forte absorption en-deçà de 400 nm (bande 33) et au-delà de 730 nm (bande 211). Le spectre de la végétation, présentant une importante augmentation de la réflectance vers 690 nm (bande 190) ainsi qu'une bosse entre 520 et 600 nm, est caractéristique d'une végétation saine. Ces premières acquisitions et traitements montrent que le protocole expérimental est opérationnel à la fois au niveau du drone et de l'acquisition de données. Il reste à optimiser la gestion des données de positionnement et d'altitude et leur interfacement avec les données d'imagerie. Dans cette optique, le drone a été équipé de nouveaux capteurs d'imagerie (caméra RGB) et de positionnement (antenne GPS duale, récepteur radio pour GPS RTK) afin d'améliorer la précision des données de position et d'altitude permettant la reconstruction de l'image hyperspectrale générée par le capteur de type "pushbroom".



b.



a

CRITEX : LES EQUIPEMENTS DESTINÉS AUX CAMPAGNES D'INVESTIGATION DE LA ZONE CRITIQUE ?

WP6.1. Imagerie sismique (L. Bodet, UPMC).

– La sismique CRITEX **s'exporte** ! Sylvain PASQUET, dont la thèse et l'ATER UPMC (2011-2015) ont contribué au développement de notre approche sur les sites du PIREN-Seine (Orgeval) et d'H+ (Ploemeur), a déployé la méthode dans le parc national de Yellowstone avec l'Université du Wyoming (où il est Post-Doc actuellement). Grâce aux rapports VP/VS, Sylvain et ses collègues ont pu clairement imager des échappements de gaz en subsurface (à voir dans *Geophysical Research Letters*, de décembre 2016).

– La sismique CRITEX **expérimente** ! Nous avons récemment montré, en laboratoire, qu'une répétition de mesures sismiques en ondes P et de surface devrait permettre de suivre les variations de teneurs en eaux de la zone non saturée. *Vadose Zone Journal* en a fait un « Research Highlights », en septembre 2016.

– La sismique CRITEX devient « **time-lapse** » ! Marine DANGEARD, en thèse UPMC (2015-2018), a validé ces résultats expérimentaux sur des données acquises en hautes eaux et basses eaux à Ploemeur. Les mesures de différences de temps d'arrivée des ondes P et de vitesses de phase des ondes de surface sont en cours de corrélation avec les mesures et estimations de saturation sur ce site (ses premiers résultats ont été présentés à l'IAH et l'EAGE en septembre). A partir de février 2017, la méthode va être déployée à intervalles de temps plus réguliers, sur l'Orgeval (station avale), pour extrapoler des mesures locales de propriétés hydrodynamiques au voisinage du cours d'eau.

– La sismique CRITEX **se mouille** ! En octobre 2016, nous avons eu la chance de vivre un bon événement pluvieux sur le site RBV du bassin versant de la Sapine, en Lozère, grâce à Marie KUESSNER et Julien BOUCHEZ rencontrés lors du meeting CRITEX de Rennes en janvier 2016. Des mesures sismiques ont pu être effectuées avant et pendant l'épisode, en parallèle aux prélèvements d'eaux (merci à OHMCV et au Parc des Cévennes). A suivre !

– La sismique CRITEX **écoute** ! Un co-financement avec l'UMR METIS a permis l'acquisition de géophones multi-composantes et large bande pour enregistrer le bruit sismique sur les hydrosystèmes (travaux qui seront développés dans l'ITN ENIGMA qui a démarré en janvier 2017). Premiers tests à Ploemeur et Guidel à venir dans le cadre d'un projet avec l'Université de Nantes et le CNAM, en parallèle à la sismique time-lapse active...

– La sismique CRITEX **communiqu**e ! Rendez-vous notamment à Viennes/EGU en avril pour une présentation synthétique de notre approche, ses applications et perspectives.

WP6.2. RMP (A. Legchenko, LTHE et J. F. Girard, EOST).

Le développement de la suite logicielle SAMOVAR pour le traitement du signal et l'inversion des données RMP que nous avons effectué dans le cadre du projet CRITEX a permis d'améliorer la performance de la méthode RMP dans différents contextes géologiques, et notamment en Afrique où les variations significatives du champ géomagnétique perturbe l'inversion (Legchenko et al., 2016). Ce travail a été effectué en collaboration entre l'IRD (UGA, IGE, Grenoble), l'EOST (Strasbourg) et l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.

La version améliorée de SAMOVAR a été utilisée au Bénin dans le cadre du projet de recherche de l'IRD et avec un soutien de l'Union Africaine et de l'Union Européenne.

Le logiciel amélioré, désormais opérationnel, a également permis de reprendre l'interprétation des données obtenues en 2012 dans le cadre du projet ANR Hydrokarst G2 (<http://www.gm.univ-montp2.fr/spip.php?article1295>). Cette étude menée sur le plateau karstique de Larzac (sud de la France) apporte une contribution méthodologique à l'utilisation de la méthode RMP. Elle contribue à la compréhension des processus de stockage de l'eau dans la zone non saturée karstique qui a un impact non-négligeable sur le fonctionnement global du karst (Mazzilli et al., 2016).

Enfin, une campagne de terrain sur le BV du Strengbach (Vosges, Alsace) a été réalisée en avril 2016 en collaboration entre l'IRD (UGA, IGE, Grenoble), l'Université de Strasbourg, IPGS et le Leibniz Institute for Applied Geophysics - LIAG (Hanovre). Ce travail mené à cheval entre CRITEX et ANR HYDROCRIZSTO a permis d'évaluer la performance de la méthode de diagraphie NMR appliquée à l'étude de variabilité de la teneur en eau dans le granite fracturé, à l'échelle du bassin versant (Girard et al., 2017). Les résultats permettent d'envisager une stratégie d'application de cette méthode en complément à la méthode RMP dans le programme de recherche mené par l'observatoire OHGE (Strasbourg).

Legchenko A., J.M. Vouillamoz, F.M.A. Lawson, C. Alle, M. Descloitres and M. Boucher, 2016, Interpretation of magnetic resonance measurements in the varying Earth's magnetic field, Geophysics, 81(4), WB23-WB31, doi: 10.1190/GEO2015-0474.1.

Mazzilli N., M. Boucher, K. Chalikakis, A. Legchenko, H. Jourde and C. Champollion, 2016, Contribution of Magnetic Resonance Soundings for characterizing water storage in the unsaturated zone of karst aquifers, Geophysics, 81(4), WB49-WB61, doi:10.1190/GEO2015-0411.1.

Girard J-F., Duglosch R., Legtchenko A., Pierret M-C., Dumont M., Boucher M., Viville D., Müller-Petke M., Jodry C., 2017, Applicability of the Magnetic resonance in fractured granite aquifer: surface and borehole measurements in the Strengbach catchment, France, 79th EAGE conference, 12-15 June 2017 Paris.

WP 6.4 Polarisation provoquée (C. Camerlynck, N. Florsch, UPMC)

Le WP 6.4 vise à caractériser les phénomènes de polarisation provoquée dans les domaines temporels et spectraux à l'échelle du terrain et permettre d'approcher les paramètres hydrologiques tels la perméabilité ou la conductivité hydraulique, ou la polarisation d'origine électrochimique largement influencée par la chimie de l'eau porale.

Le projet EC2CO « Hydropolaris », accepté en 2016, vise à valider in-situ la relation conductivité complexe/perméabilité et donc à réaliser l'up-scaling entre les mesures de laboratoires et les acquisitions de terrain. S'appuyant sur du matériel Critex, des premières mesures ont ainsi été réalisées dans la plaine d'Alsace à l'automne 2016 sur des terrains perméables saturés bien caractérisés et doivent se poursuivre en 2017.

Dans le cadre de l'AAP SOERE-RBV, une campagne de terrain a été menée sur le BV de Houay Pano (Laos) du 24/10 au 4/11/2016 afin de corréler les variations physico-chimiques de la rivière avec un proxy géophysique de la zone hyporhéique (figure page suivante)



Quand la géochimie rencontre la géophysique sur le bassin de la Sapine au Mont Lozère (RBV). Crédit. D. Frings.

WP 6.4 Polarisation provoquée, suite

Des mesures de conductivité complexe dans le domaine spectral, ont été acquises avec un protocole de monitoring haute-fréquence par l'acquisition automatique d'un sondage électrique toutes les 30 minutes (Jougnot et al. 2017). Une autre campagne doit être réalisée sur le BV de l'Orgeval à la fin de cet hiver, au voisinage du « River Lab » et donc bénéficiant de l'ensemble des données physico-chimiques haute-fréquence acquises.

En parallèle, une réflexion est en cours sur la finalisation de de la tranche 1 quant à l'acquisition d'ici à l'été 2017 d'un équipement de mesure de conductivité spectrale optimal. Des tests seront également menés ce printemps sur l'adaptation du système Phoenix acquis dans dans le cadre du WP 6.5, aux mesures de conductivité complexe.

Jougnot, D., C. Camerlynck, H. Robain, G. Tallec, O. Ribolzi, J. Gaillardet, 2017. *Spectral Induced Polarization of the groundwater physico-chemical daily variations for the stream-groundwater interactions*, EGU General Assembly, Paris, 23-28 avril 2017, Vienna



WP 6.5. Electromagnétisme magnétotellurique aux fréquences audio à source contrôlée (CSAMT - P. Sailhac, GEOPS et IPGS)

L'analyse d'une première campagne de mesures CSAMT réalisées à l'aide de l'émetteur T3 (de marque Phoenix, acquise par CRITEX) sur le site du Bassin Versant du Strengbach (OHGE) a permis d'étudier le diagramme de rayonnement et la sensibilité des récepteurs (Ternisien, 2016). En parallèle, l'analyse de données AMT acquises sur le même site nous a permis de développer des algorithmes de traitement utiles à l'interprétation dans le domaine des fréquences de la "dead-band" correspondant aux profondeurs entre 40 et 100m, intéressants l'étude d'éventuel chemins préférentiels de circulation et la répartition des stocks d'eau en contexte montagneux. L'imagerie AMT permettra de construire un modèle qu'on pourra comparer à ceux issus de l'interprétation par source contrôlée.

Nous en sommes qu'aux début du projet (voir Gance et al., soumission début 2017) ; une thèse qui vient de démarrer début 2017 permettra de développer des outils d'interprétation par CSAMT applicables aux bassins versants en contexte montagneux (Myriam Lajaunie, dir. P. Sailhac, J.P. Mallet).

Enfin, nous préparons également en 2017 un nouveau test de l'émetteur T3 qui, en plus d'une source pour le groupe de travail WP6.5 en CSAMT, pourrait être utilisée également comme source de polarisation provoquée par le groupe de travail 6.4 en SIP (avec Christian Camerlynck).

Ternisien Z., 2016, *Hydrogeophysical study of the Stengbach catchment basin with electromagnetic measurements*, EOST Project Report, 2016, 39p.

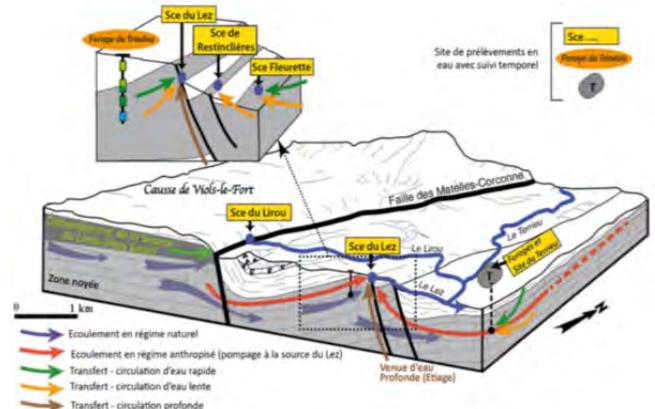
Sailhac, P., J. Gance, H. Larnier, D. Viville, J.-P. Malet, *Travaux en cours sur l'imagerie électromagnétique du bassin versant du Strengbach : développements en AMT et CSAMT*. 25ième RST, 24-28 oct. 2016, Caen.

Lajaunie, M., P. Sailhac, J.-P. Malet, H. Larnier, J. Gance, S. Gautier, M.-C. Pierret, 2017, *Multi-frequency electrical and electromagnetic measurements for imaging water flows: application to catchment and landslide hydrology*. *Geophysical Research Abst.* 19, EGU2017-12385, 23-28 April 2017, Vienna.

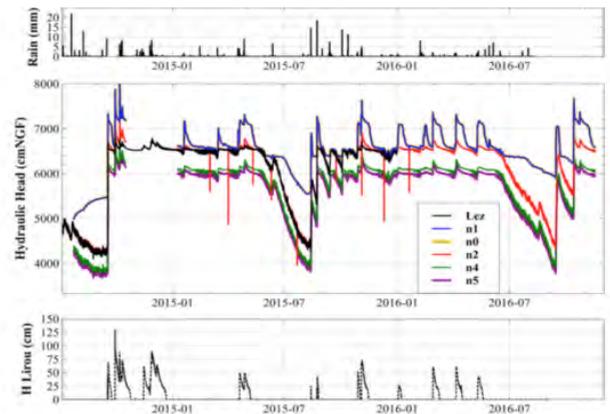
WP7.1. Monitoring profond des circulations souterraines dans le karst (H. Jourde, J.L. Seidel, HSM).

Sur l'observatoire Multi Echelle de la Dynamique des Crues et de l'hydrodynamique Souterraine dans le karst (Observatoire MEDY-CYSS, SNO KARST), le forage CRITEX de 335 m (Fig.), stratégiquement situé à 700 m de la source du Lez et à 150 m de la rivière intermittente du Lirou a permis de suivre en continu, depuis Juillet 2014, la pression et la température au niveau de 5 intervalles isolés par des obturateurs et équipés pour le prélèvement ponctuel d'eau souterraine.

Les résultats (Fig. ci-dessous) montrent une recharge non négligeable et de fortes interactions avec les eaux de surface dans le compartiment sup. (niveaux n0 et n1 confondus et n2), considéré comme aquitard. Le suivi en continu révèle une réponse hydrodynamique rapide et synchrone avec la source du Lez, mais également une très forte stabilité hydrochimique, liée à l'absence de circulations majeures dans le compartiment inf. de l'aquifère (Berriasien-Kimméridgien) très karstifié (niveaux n4 et n5). Le gradient de charge entre ces compartiments inf. et l'exutoire de la source du Lez, indique également que les eaux souterraines localisées dans ces compartiments profonds ne semblent pas directement drainées par l'exutoire principal du système et que des circulations plus profondes vers d'autres exutoires, encore méconnus, existent probablement. Ce suivi hydrodynamique, montre aussi le comportement fortement capacitif des compartiments profonds, un résultat majeur en vue d'une possible augmentation des prélèvements pour satisfaire la demande en eau croissante. Ces résultats mettent en évidence la complexité et l'hétérogénéité des circulations dans ce type d'aquifère karstique méditerranéen, mais également les fortes interactions avec les eaux de surface, en particulier lors d'événements extrêmes.



Circulations souterraines et superficielles au sein de l'hydrosystème karstique du Lez et localisation du forage CRITEX du Triadou.

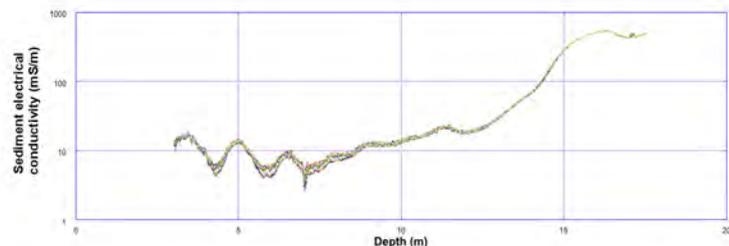


Hauteur d'eau dans la rivière intermittente du Lirou, précipitations, et suivi piézométrique à la source du Lez ainsi que sur les cinq niveaux du forage CRITEX du Triadou

WP7.1. (suite) Monitoring géophysique en forage des circulations souterraines (P. Pezard, G. Henry, Géosciences Montpellier).

Dans l'attente de la réalisation du nouveau puits permettant d'installer conjointement les dispositifs de monitoring en forage de température et de résistivité au Strengbach (Alsace), notre activité s'est focalisée en 2016 sur le site côtier d'Argentona (Catalogne). Nous y avons notamment réalisé des mesures de résistivité à haute fréquence temporelle (de l'ordre du mHz dans le temps) afin d'étudier notamment l'impact des conditions aux limites de l'aquifère et préparer l'installation du double dispositif de monitoring en forage. Fin juillet 2016, des mesures par induction de résistivité électrique ont été réalisées toutes les 20 minutes pendant 27 heures dans un puits permettant ainsi d'étudier l'impact sur la salinité de l'aquifère côtier pendant 2 cycles de marée.

WP7.1. (suite) A cette échelle temporelle, les changements temporels de conductivité électrique du milieu mesurés ne peuvent être dus qu'à des variations temporelles de salinité et/ou de température du fluide poral dans les sables alors que les changements sont très faibles dans les argiles, comme par exemple à 5 m de profondeur (Figure). Ce test montre que le monitoring géophysique permanent en forage permettra en 2017 d'identifier l'origine des variations de fluide poral entre température et charge ionique. Le dispositif global de monitoring en forage a été déployé avec succès début janvier 2017. Il fournira donc sur plusieurs mois en 2017 et plusieurs fois par jour des informations sur les variations de fluide poral dans l'aquifère.



(WP 7.1) 100 mesures de conductivité électrique enregistrées dans le forage Arg2Y les 30 et 31 juillet 2016 à l'aide d'une sonde GeoVista EM51. Dans la partie supérieure de l'aquifère, on observe dans les sables (pour les valeurs les moins conductrices de la section) des changements temporels de conductivité électrique du milieu. L'intrusion d'eau de mer à la base de l'aquifère apparaît à partir de 12 m de profondeur environ.

WP7.2. Treuil numérique pour tomographie hydraulique périodique (N. Lavenant, O. Bour, J. Schuite, L. Longuevergne, Géosciences Rennes)

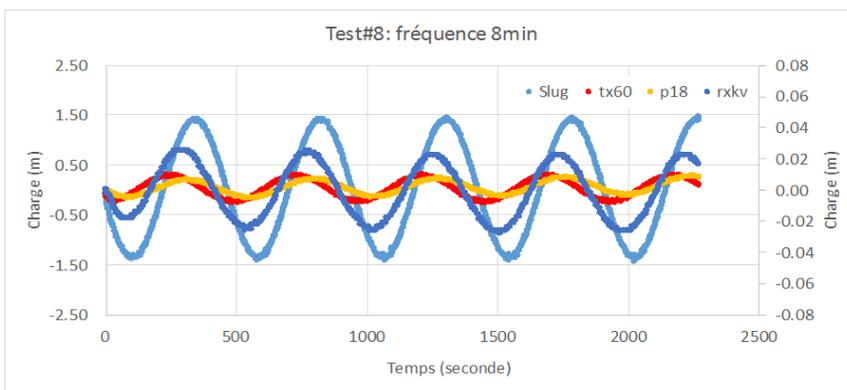
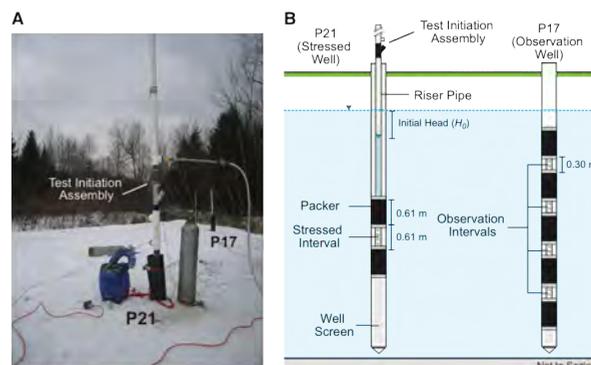
La tomographie hydraulique est une technique en forage couramment utilisée pour déterminer les propriétés hydrauliques et est en plein essor pour son potentiel de caractérisation détaillée des aquifères. Les pompages à débit constant et les chocs hydrauliques sont des méthodes courantes, mais affectées par des biais d'interprétation. Cette nouvelle approche implique l'utilisation de variations oscillatoires de niveau d'eau à différentes fréquences dans le puits source. L'un des avantages de ce dispositif est de faire évoluer l'échelle spatiale de sensibilité avec la fréquence des variations de pression. Un tel système de perturbation hydraulique périodique a été utilisé pour étudier le comportement hydromécanique de fractures naturelles (site de Ploemeur) en collaboration avec M. Becker (California University, Long Beach). En effet, les variations de pression induisent des changements d'ouverture des fractures, et cette déformation se répercute jusqu'à la surface où sont positionnés des inclinomètres pendulaires. Ces derniers ressentent donc indirectement l'effet mécanique des oscillations en pression. Grâce à la nature fréquentielle du signal et à l'aide d'un traitement approprié, des amplitudes d'inclinaison, pourtant faibles, ont pu être décelées et interprétées en terme de propriété et comportement mécanique des fractures. Cette nouvelle approche expérimentale est le fruit d'un développement transversal entre les WP 2.2 et 7.2, et est en cours de valorisation à travers une publication soumise à J. of Geophysical Research (Schuite et al. soumis). D'autres travaux sont en cours pour interpréter les données de tomographie hydraulique acquises sur le site de Kerrien-Kerbernez (AgrHys). Dans le même temps, un nouvel outil a été développé à Géosciences Rennes basé sur un treuil mécanique à commande numérique qui induit des variations oscillatoires de niveau d'eau (fig.). Ce prototype permet de réaliser des sollicitations hydrauliques sinusoïdales précises à différentes fréquences et amplitudes. Une interface développée sous Labview permet de piloter le treuil et visualiser le signal périodique en temps réel.

Des tests préliminaires avec cet équipement ont été effectués dans un milieu granulaire fortement hétérogène et anisotrope sur le site de Saint Lambert au Canada (dans le cadre du LIA France-Québec RESO « Ressources et Sociétés » et en collaboration avec D. Paradis et R. Lefebvre).

Les essais à différentes fréquences ont montré un signal de bonne qualité avec cet outil (figures 2 et 3). Après ces travaux préliminaires, des collaborations sont prévues avec l'INRS Québec pour développer les méthodes de tomographie hydraulique et améliorer la caractérisation des propriétés hydrauliques du milieu. D'autres applications sont également prévues sur différents sites au sein du SOERE H+.

Schuite J, L. Longuevergne, O. Bour, N. Guihéneuf, M. W. Becker, M. Cole, T. J. Burbey, N. Lavenant and F. Boudin, Combining periodic hydraulic tests and surface tilt measurements to explore in situ fracture hydromechanics, soumis à J. of Geophys. Res.

Schéma du dispositif de tomographie hydraulique sur le site de Saint-Lambert (Paradis et al., J. of Hydrol. 2016)



Réponses en pression sur le forage d'observation pendant les expériences de tomographie hydraulique sur le site de St Lambert

WP7.3. Tracer tests (T. Le Borgne, T. Labasque, O. Brochet, L. Aquilina, Géosciences Rennes).

L'objectif du WP 7.3 est de développer de nouveaux moyens expérimentaux pour caractériser les processus de transport réactif in situ. Ceci inclut la conception d'un laboratoire mobile pour mesurer les concentrations de traceurs et produits de réaction, d'un système de packer pour le contrôle de l'injection et de traceurs innovants pour la caractérisation des processus microbiens impliqués dans les réactions biogéochimiques. Après l'aménagement du camion 4x4 de l'OSUR en 2014 et 2015, l'année 2016 a été marquée d'une part par l'achat des analyseurs en flux continu de silicates, phosphates, fer, ammonium, nitrates et nitrites dissous dans les eaux et d'autre part par la mise au point d'un traceur réactif innovant pour quantifier l'activité microbologique in situ.

Le dispositif d'analyse en flux continu (figure 1) une fois validé sera installé dans le laboratoire mobile CRITEX (figure 2) afin de compléter les dispositifs dédiés aux gaz dissous notamment (WP 8.1). Cet analyseur mesurera les nitrates, nitrites, phosphates, silicates, fer et ammonium à une cadence de 40 mesures par heure.

Le traceur innovant développé dans le Work Package se base sur la Fluorescéine Diacétate (FDA). Cette molécule devient fluorescente quand elle est dégradée par les micro-organismes. Le produit de dégradation résultant peut être suivi à haute fréquence par un fluorimètre. Une première phase de caractérisation en laboratoire a permis de caractériser la cinétique de dégradation de la FDA mesurée par l'apparition de la fluorescéine. Le traceur innovant a été ensuite testé au cours d'expériences de traçage dans le cadre du stage de master 2 de Dorian Putigny. Les résultats obtenus nous ont permis de quantifier une activité microbienne au sein de l'aquifère investigué.

WP7.3. (suite)

Campagnes de terrain réalisées à l'aide du camion mobile CRITEX :

- Février 2016 : campagne de mesures hydrochimiques sur le site de Ploemeur (H+)
- Juin 2016 : Traçage réactifs et conservatifs sur le site de Naizin (RBV)
- Novembre 2016 : suivi hydrochimique en rivière (ZA Pleines-Fougères)
- Novembre 2016 : suivi hydrochimique et Profils gazeux en forage sur le site de ploemeur (H+)
- Décembre 2016 : traçage conservatif et réactif en forage sur le site de Ploemeur (H+).



Photo des analyseurs flux continu acquis sur le WP 7.3 CRITEX (en haut), Laboratoire mobile Critex en station de mesure sur le terrain (à droite)

WP8.1. Mesure in situ et en continu des gaz dissous : Labasque Thierry, Eliot Chatton, Luc Aquilina, Guillou Aurélie

1- Les activités du WP 8.1 se déroulent conjointement avec la thèse d'Eliot Chatton. Un spectromètre de masse de terrain (MIMS) a été installé dans le « camion laboratoire ». Il permet de mesurer en continu l'ensemble des gaz dissous dans l'eau et ainsi retracer l'âge de l'eau lors de la recharge (gaz nobles, Hélium) et quantifier les processus de réactivité biogéochimique (O₂, N₂, H₂, CO₂, CH₄). Ce spectromètre de masse, connecté à une pompe permet la mesure simultanée, in situ de l'ensemble des gaz dissous toutes les 10s. Les applications sont multiples, en rivière, mais également en forage où l'outil permet de réaliser des profils en descendant la pompe à une vitesse de 10 cm par seconde. Les mesures effectuées dans les forages le site H+ de Ploemeur montrent que le forage intercepte des eaux différentes s'écoulant dans les différentes fractures (Figure a). Les eaux plus anciennes remontent à la surface et se mélangent aux eaux récentes grâce au pompage municipal de la ville de Ploemeur.

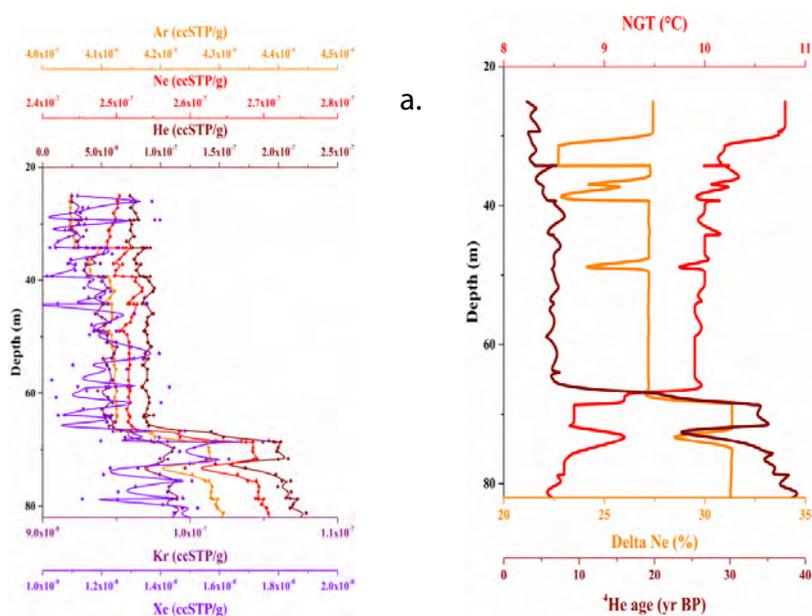


Figure a : Concentration en gaz dissous mesurés dans le forage F28 à Ploemeur en gaz nobles (gauche) et leur interprétation en termes de température de recharge (NGT), d'excès d'air et d'âge Helium (droite). L'eau a une origine plus ancienne au-delà de 60m, sa température de recharge est également plus froide de 2°C (8.5 °C au lieu de 10.5°C en surface)

Eliot Chatton, Thierry Labasque, Jérôme de La Bernardie, Nicolas Guihéneuf, Olivier Bour, and Luc Aquilina, Field Continuous Measurement of Dissolved Gases with a CF-MIMS: Applications to the Physics and Biogeochemistry of Groundwater Flow, 2016 ES&T

2- Une expérience de traçage réactif a été effectuée entre 2 forages sur le site de l'ORE AgrHys à Naizin (ANR Stock en Socle). Des Nitrates ont été injectés dans le premier, les mesures de concentration en Nitrates et des différents produits de la dénitrification (N₂, N₂O) ont été mesurés dans le second pendant plus de 4 jours. Cette expérience permet de caractériser la réactivité biogéochimique, la cinétique des réactions et la physique des écoulements (Figure b).

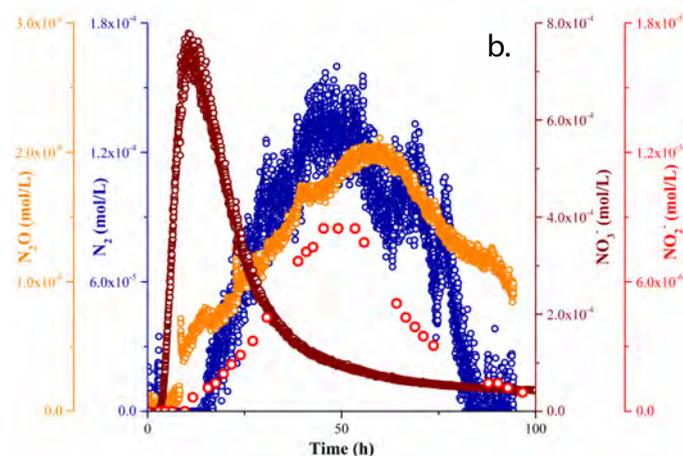


Figure b : Courbes de restitution de l'essai de traçage entre puits des mesures de sels dissous (NO₃- et NO₂-) et gaz dissous (N₂O, N₂ ici) par le MIMS en forage lors d'un traçage, pendant 100 heures.

WP8.2. Mesure in situ et en continu des isotopes de l'eau : le CRDS Picarro L2130i (Mathieu Sebilo, UPMC).

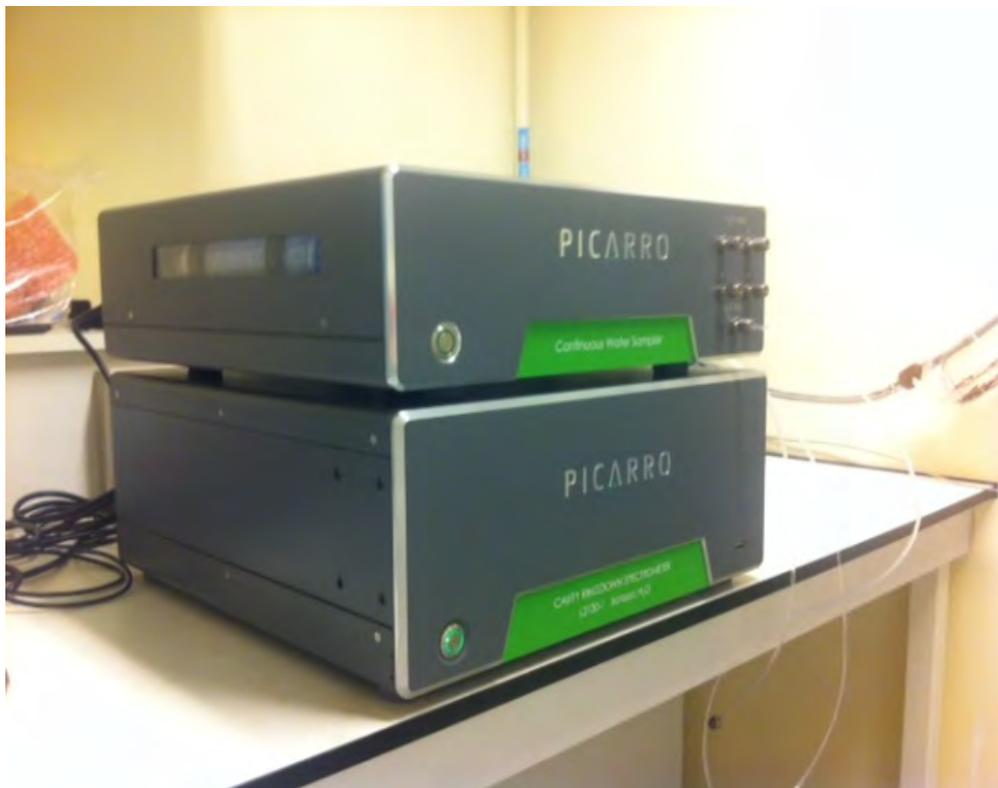
Le CRDS est enfin arrivé. Il permet la mesure simultanée de la composition isotopique de l'eau (^2H et ^{18}O) et permet de tracer l'origine de la molécules d'eau dans la zone critique.

L'analyse peut être réalisée avec deux dispositifs différents:

- . En mode injection (laboratoire); L'échantillon liquide est injecté dans un vaporisateur puis dans un module de combustion, ce qui élimine les interférences dues à la matière organique dissoute. La durée de la mesure est de 8 minutes par échantillon (10 injections/mesures par échantillon). Mesure en temps réel; L'échantillon pré-filtré ($0,2\ \mu\text{m}$) est analysé à haute fréquence (toutes les 10s), permettant des mesures en temps réel lors des périodes d'inondations.

Des tests de comparaisons entre CRDS et IRMS sont en cours pour tester la pertinence de l'utilisation du module de combustion.

Le CRDS est destiné à être installé sur les sites hydrogéologiques intéressés. Une formation technique est requise en laboratoire avant l'installation sur le terrain. Il est transportable sur le terrain.



WP8.3. Traceurs isotopiques intégratifs (B. Chague, P. Négrel, F. Gal, BRGM)

Dans le cadre du projet CRITEX, un système de prélèvement permettant d'utiliser des échantillonneurs passifs intégratifs en forage a été mis au point. Dans le cadre de l'analyse d'eaux souterraines, notamment celles situées dans la zone critique (0-100 m de profondeur), ce système permet de créer un flux d'eau dans un support à échantillonneurs passifs de type Diffusive Gradient in Thin film (DGT) et ainsi de pré-concentrer les espèces chimiques sur une période donnée, ceci afin de faciliter les mesures des concentrations en éléments traces et la détermination de rapports isotopiques. Le Diffusive Gradient in Thin film (DGT) permet de piéger les éléments traces métalliques (ETM) sur une résine chélatante par diffusion à travers une membrane puis un gel. Ce type de dispositif étant généralement utilisé dans les eaux de surface ayant un débit élevé, l'objectif est de créer un débit d'eau suffisant à la surface de l'échantillonneur afin d'optimiser le piégeage d'éléments. La dimension du dispositif permet une utilisation en forage de diamètre supérieur à 2 pouces.

Différentes options et géométries ont été modélisées par simulation des écoulements (système avec une agitation d'eau alimenté par un moteur et une hélice, pompage...). Le modèle économique du dispositif repose sur un assemblage d'équipements disponibles commercialement, l'innovation reposant sur le support, conçu de A à Z et faisant l'objet d'un dépôt de brevet. Le dispositif vise donc à recréer des conditions d'agitation de l'eau suffisantes pour éviter la création d'une couche limite de diffusion (Diffusive Boundary Layer : DBL) à la surface du DGT. Cette DBL limite en effet les capacités de pré-concentration des DGT. Les simulations ont permis d'optimiser la position du DGT et la vitesse du fluide (flux imposé en entrée par une petite pompe à débit variable) afin d'obtenir le maximum de débit à sa surface et éviter la création de la DBL. Des conditions équivalentes à celles d'une circulation en eau de surface faiblement agitée sont ainsi recrées.

Les premiers essais ont été réalisés dans une colonne simulant un forage, incluant pompe, porte-DGT et débitmètre à bille. Des tests fonctionnels initiaux ont été réalisés avec de l'eau du robinet afin d'observer le flux d'eau dans le dispositif et de déterminer les caractéristiques techniques du système (courant, tension, débit,...) et de réaliser des blancs pour s'assurer de la non-contamination du dispositif.

Nous avons ensuite réalisé 6 jours d'immersion du système sur un piézomètre du site BRGM avec en parallèle des prélèvements quotidiens par méthode de pompage classique et analyses des échantillons d'eau et des DGT pour avoir une base de comparaison. Enfin, nous avons réalisé des tests sur des forages du bassin expérimental du Coët Dan (Naizin, Morbihan) avec en premier résultats des spectres sur des éléments chimiques dont on peut faire des mesures isotopiques en comparant la masse accumulée dans les DGT par rapport à la concentration de l'eau. La conclusion est que la détermination isotopique est envisageable pour U, Sr, Nd, Ni (...) avec une exception pour Cu et Zn pour le moment. Les aspects de contamination probable des DGT et/ou via le terrain doivent être plus étudiés afin de cibler ou pas des analyses isotopiques sur ces 2 éléments.



Pour la rédaction de la prochaine Lettre de CRITEX, merci de signaler à l'équipe de direction tout évènement en lien avec CRITEX ou meeting auquel vous auriez participé en y parlant du projet.