



## Editorial

Bonjour

Bienvenue sur la newsletter 2015 de CRITEX.

Comme en témoignent ces quelques pages, CRITEX prend de l'ampleur. A quelques mois de la fin des dépenses de la tranche d'Investissement, les différents instruments sont quasiment tous acquis, opérationnels ou en phase de test sur le terrain. Les premiers résultats de notre programme ont été publiés dans des revues internationales et notre présence dans les meetings internationaux ne fait que croître. En 2016, la RST dédie une session spéciale aux Infrastructures de Recherche nationale qu'il faudra investir. De belles collaborations ont démarré et l'effet levier de CRITEX fonctionne comme nous l'avions prévu. Le meeting de Rennes en janvier dernier fut un grand moment de rencontres et d'échanges. Il a montré la motivation et l'existence d'une réelle communauté de "critical-zonists" prêts à s'échanger des instruments sur nos sites observatoires pour mieux comprendre ce fin vernis sur lequel les humains vivent et dont il faut se préoccuper.

Au delà, 2015 a porté l'infrastructure nationale de recherche OZCAR sur les fonds baptismaux. C'est une reconnaissance importante pour nos communautés et qui va permettre d'envisager l'après CRITEX (voir l'interview de Nicolas Arnaud dans cette lettre).

Enfin, plus important, 2015 fût une année riche d'évènements montrant l'importance de mieux connaître, étudier et modéliser la Zone Critique. La COP 21 bien-sûr, dont on voit bien de plus en plus qu'elle se préoccupe des territoires et de leur trajectoire dans l'Anthropocène. La conférence sur l'Anthropocène organisée par Philippe Descola au Collège de France en novembre 2015 a fait la part belle aux observatoires de la zone critique, par l'exposé de clôture enthousiasmant de Bruno Latour (voir son interview dans cette lettre) sur nos observatoires.

Oui, notre science, la façon de la faire, cette nouvelle représentation intégrée d'objets locaux mais que nous devons composer,

devient et deviendra de plus en plus importante pour inventer le futur. Plus que jamais nous devons oeuvrer pour le développement de capteurs innovants et croiser les disciplines. C'est la mission de CRITEX. Ce sera celle d'OZCAR. En vous souhaitant une agréable lecture,



Jérôme Gaillardet  
Coordinateur CRITEX



# LA LETTRE DE CRITEX

Newsletter #3, Mars 2016

**CRITEX is a 10-year program involving a large number of teams, some in charge of an equipment and some others in charge of one of the elementary observatories of RBV (réseau des bassins versants) or H+ (réseau hydrogéologique) networks of Allenvi. 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.**

Le CD-TGIR a approuvé en décembre 2015, la demande de création d'une Infrastructure Nationale de recherche (c'est-à-dire multi-organismes) sur la science de la Zone Critique. Cette IR inscrite sur la Feuille de Route Nationale des Infrastructures portera le nom d'OZCAR pour Observatoire de la Zone Critique : Applications et Recherche. A ce jour, OZCAR fédère un certain nombre d'observatoires volontaires pour s'engager dans l'aventure. Il s'agit des SOERE RBV, H+, GLACIOCLIM (CRYOBS-CLIM) et OPE, des SNO Tourbières (réseau national des tourbières) et OSR (observatoires spatial régional) et du réseau des piézomètres du BRGM. OZCAR est partagée entre le CNRS, l'IRSTEA, l'INRA, le BRGM, l'ONEMA, l'ANDRA, MétéoFrance et l'IRD.

La mission de l'IR OZCAR est la mise en synergie des observatoires de la zone critique dans le but de délivrer à la communauté scientifique et aux porteurs d'enjeux des données fiabilisées et interopérables concernant le fonctionnement des hydrosystèmes, des sols, des écosystèmes et de la basse atmosphère. De plus OZCAR favorisera les échanges météorologiques et la confrontation des modèles dans le monitoring et la compréhension d'objets environnementaux complexes, et offrira des plateformes instrumentées et validées permettant aux divers opérateurs de mener des campagnes d'expérimentation ou de mesures. OZCAR permettra le développement d'approches transférables vers les opérateurs de systèmes opérationnels et vers les décideurs en charge des choix stratégiques de gestion des sols, des ressources naturelles et de l'eau. Enfin, OZCAR structurera la communauté la plus directement en prise avec le devenir des territoires et des ressources soumis au changement global de façon de plus en plus prégnante. OZCAR donnera la visibilité internationale légitime à la richesse de nos observatoires de la Zone Critique, et sera, avec les Zones Ateliers et ANAEE un des miroirs européens du projet d'ESFRI eLTER.

<http://www.insu.cnrs.fr/node/5680>



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](mailto:gaillardet@ipgp.fr), [laurent.longuevergne@univ-rennes1.fr](mailto: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](mailto:bureau-des-contrats@ipgp.fr)).



## Bruno Latour nous parle de CRITEX



**Bruno Latour est professeur à Science Po Paris. Lauréat du prix Holberg, il est philosophe des sciences, sociologue et anthropologue. Il répond aux questions de J. Gaillardet :**

JG : Bruno Latour, pourriez vous expliquer comment vous en êtes venu à vous intéresser, à vous passionner même, pour cette notion géologique de « zone critique » ?

BL : Je travaille depuis quarante ans sur la pratique scientifique, le rôle des instruments, la politique de la science et le lien entre laboratoire et terrain. Depuis une vingtaine d'années, je travaille sur l'écologie politique et précisément sur Gaia, un terme que personne ne comprend vraiment. Or, dès que j'ai commencé à suivre les groupes fédérés par le terme de Zone Critique, j'y ai vu une prise enfin empirique sur ce qu'on pourrait appeler la "Politique de la Terre à l'époque de l'Anthropo-

cène", titre du projet que j'anime et grâce auquel j'ai rencontré les "critical zonists". J'y ai ensuite trouvé un accueil très généreux et, en plus, il s'agit d'un composé de sciences étonnamment diverses et avec des échelles de temps qui vont du million d'années à la micro-seconde. L'action humaine est partout visible sur les terrains mais encore mal prise en compte, donc je peux être utile aussi, on ne sait jamais. De toutes façons, comment n'aurais-je pas été passionné par un domaine qui s'appelle Zone Critique. Pour un philosophe, avouez-le, la tentation est trop grande...

JG : Ou en êtes vous de votre tour du monde des « Zones Critiques »

BL : Je ne conçois la recherche que sur le terrain. Donc j'essaie de faire le tour des observatoires d'abord en France puis aux États Unis pour le moment sur la côte Ouest et un peu l'Est, mais l'an prochain dans le Middle West et en Asie ensuite. L'idée est de suivre les problèmes liés à la mise en réseau des observations, le standardisation des protocoles, l'échange des données, les financements conjoints, l'interdisciplinarité et ses difficultés. Et bien sûr, comment les observatoires s'insèrent, qu'ils le veuillent ou non dans la politique, par exemple la pénurie d'eau en Californie pour l'observatoire de la South Sierra ou la destruction durable des sols pour l'observatoire de Calhoun en Caroline du Sud. Or on ne peut voir ce genre de choses qu'en allant sur place et en passant un peu de temps avec les praticiens.

JG : En quoi la science de la zone critique et les réseaux de zones critiques (au sens des observatoires) changent-ils notre perception géopolitique de l'environnement ?

BL : L'équipement et les instruments calibrés et standardisés sont les seuls moyens de se rendre sensibles aux transformations dont nous sommes en partie les acteurs. C'est évidemment une banalité sauf que, si l'on compare nos capteurs concernant les sols et les bassins versants aux capteurs concernant notre santé ou notre bien être, on est effrayé par notre ignorance. Les boucles de rétroaction nécessaires à la politique de la nature dépendent donc crucialement de l'équipement des Zones Critiques. Équiper une Zone Critique, c'est aussitôt se rendre sensible à la spécificité des situations et chercher à les rendre comparables. On revient donc à des traditions scientifiques proches de l'histoire naturelle, une sensibilité à la complexité des lieux qui modifient très profondément la façon dont les sciences rentrent dans le monde et deviennent compréhensibles aux citoyens. Si l'on imagine une politique écologique, il faudra des capteurs très nombreux et très fins pour commencer à faire plus que tâtonner dans le noir.

J.G. Dans votre dernier livre « Face à Gaia » (2015, éditions La Découverte) vous revisitez les relations traditionnelles entre « l'homme » et la « nature » que vous remplacez par le concept de Gaia. En quoi l'instrumentation de la zone critique par les scientifiques aide t-elle à comprendre Gaia ?

BL : Personne ne comprend vraiment Gaia, au sens de Lovelock, parce qu'on en fait aussitôt soit une sorte de divinité new age, soit un système total, un thermostat géant. Or, la théorie Gaia c'est aussi celle de Lynn Margulis sur l'entre croisement et l'entre possession des êtres animés les uns par les autres. Et, en tous cas dans la zone critique elle même, disons 3 km au dessus du plancher des vaches et 3 km en dessous, toute la physico chimie dépend de la multiplicité des vivants en interaction. Aucune des dichotomies classiques, vivant versus inerte, chimie versus biochimie, géologie versus biologie, et surtout humain versus monde matériel, ne permettent de capter les situations actuelles. C'est cela que visait Lovelock et Margulis au fond. Le cycle de l'azote se fait autant dans les usines qu'en dehors d'elle. Donc des points très abstraits de la théorie Gaia deviennent beaucoup plus accessibles quand on parle de la zone critique. On se débarrasse enfin de la planète bleue... Vue de l'extérieur comme une totalité ou un "vaisseau spatial" métaphore technique qui ne rend en rien compte de la complexité de la zone critique.

JG : Qu'avez vous envie de dire aux « critical zonists » de CRITEX ?

BL : Que je suis très heureux de pouvoir les suivre dans les années qui viennent ! Que je viendrai sûrement les embêter en leur posant des questions idiotes. Et que leur travail peut potentiellement modifier assez profondément les liens entre les sciences dures et "souples".

## Nicolas Arnaud nous parle d'OZCAR

Laurent Longuevergne interroge Nicolas Arnaud, Directeur Adjoint de l'INSU, sur l'infrastructure de recherche OZCAR.

**LL :** OZCAR est une des infrastructures nationale en support des recherches en environnement, quels sont les équivalents d'OZCAR dans des domaines proches ?

**NA :** Dans le périmètre immédiat des préoccupations de OZCAR on peut citer l'infrastructure ANAEE qui étudie les agro-écosystèmes d'un point de vue essentiellement expérimental et bien sûr le réseau national des Zones Ateliers avec lequel les équipes des observatoires constitutifs de OZCAR travaillent déjà souvent. On peut également citer un peu plus loin, ICOS, qui se concentre sur les flux de CO<sub>2</sub> continentaux.



**LL :** Qu'elle est l'originalité d'OZCAR?

**NA :** OZCAR permet la reconnaissance de nos réseaux d'observatoires de la zone critique comme grand infrastructure nationale ce qui est une belle réussite collective et la reconnaissance de l'observation comme pierre angulaire de la recherche. OZCAR a l'originalité de se concentrer sur tous les hydrosystèmes continentaux, avec une grande diversité d'approches notamment géochimiques et géophysiques complémentaires.

**LL :** Comment voyez vous le lien entre OZCAR et CRITEX ?

Pour moi CRITEX est le bras armé instrumental de OZCAR. De plus CRITEX a commencé la structuration d'une communauté de recherche que OZCAR doit continuer à former. Enfin j'espère que l'infrastructure pourra, d'une façon ou d'une autre, prendre le relai de l'EquipEx à sa disparation en stimulant les financements nécessaires des institutions françaises et européennes.

**LL :** OZCAR a-t-il un modèle économique. Est ce que la création d'une IR s'accompagne de ressources supplémentaires en provenance des organismes ou du Ministère ?

Elle s'accompagne d'une sanctuarisation des moyens donnés aux SOERE constitutifs de l'IR, à conditions que ceux-ci y soient gérés d'une façon collective. C'est aussi la condition nécessaire à l'obtention de futurs financements dédiés à l'observation si le gouvernement français flèche de tels moyens à l'avenir.

**LL :** Quelles sont les constantes de temps du montage de cette nouvelle IR

L'année 2015 a été largement dédiée au dépôt du dossier de reconnaissance par le MESR, via un long processus d'évaluation par le comité directeur des TGIR. L'année 2016 sera consacrée à la mise en place, avec la constitution dans un premier temps de la gouvernance partagée entre les organismes et les universités partenaires, puis rapidement des propositions d'actions concrètes par le comité de pilotage grâce à un budget dédié par l'INSU au démarrage de l'infrastructure. J'espère que OZCAR va devenir rapidement un élément tangible d'appui aux communautés dans leur recherche.

**LL :** Que répondez vous aux critiques qui voient en OZCAR une "couche de plus"?

Que OZCAR matérialise l'existence d'une communauté structurée de chercheurs et d'observateurs autour de la zone critique, en sanctuarisant pour la première fois des fonds dédiés. C'est aussi une nécessité pour amener nos observatoires au niveau européen où d'autres fonds existent. Enfin, les IR ont vocation à assimiler progressivement les SOERE : in fine on fait donc disparaître une couche !

**LL :** OZCAR répond en partie à la nécessité des observatoires des surfaces terrestres d'être plus visibles au niveau européen, y a-t-il un équivalent européen d'OZCAR?

Il y a un effort mondial et européen d'organisation des observatoires de la zone critique. C'est notamment le but de la proposition d'ESFRI eLTER portée par nos voisins Allemands notamment. Faute de structuration suffisante de ses observatoires la France est pour l'instant absente de cette proposition, alors même que son expérience, notamment à travers les efforts de l'INSU du CNRS depuis des années via la labélisation des Services nationaux d'Observation. Mais heureusement nous sommes maintenant organisés pour prendre part pleinement à cette aventure européenne !

## Tanguy Le Borgne, lauréat du projet ERC ReactiveFronts: Mixing interfaces as reactive hotspots of porous media flows

Le projet ReactiveFronts (PI Tanguy Le Borgne, Géosciences Rennes - OSUR), sélectionné pour un financement ERC consolidator, a démarré en Octobre 2015. Le projet vise à caractériser et à modéliser la dynamique des interfaces de mélange et leur rôle en tant que «hotspots» pour la réactivité des milieux naturels. Ceci concerne par exemple le mélange des eaux récemment infiltrées, riches en oxygène, et des eaux résidentes dans les sols et les roches, naturellement riches en éléments dissous, ou encore le mélange des eaux souterraines et des eaux de rivières dans la zone hyporhéique. Les fronts de mélange représentent ainsi potentiellement des éléments clés du cycle de l'eau car ils créent des conditions particulièrement favorables pour le déclenchement de réactions biochimiques (réactions d'oxydo-réduction, développement de biofilms, dissolution, précipitation...). L'équipe assemblée autour du projet ReactiveFronts étudiera les couplages entre dynamique des fluides, processus de mélange et cinétiques biochimiques, pour valider de nouvelles hypothèses théoriques impliquant une forte dépendance des cinétiques réactives vis à vis des conditions hydrodynamiques. Le projet s'appuiera pour cela sur de nouvelles techniques d'imagerie micro et millifluidiques pour caractériser les mécanismes à micro-échelle et sur les moyens expérimentaux du projet CRITEX pour explorer ces processus sur le terrain en couplant les approches géochimiques et hydrogéophysiques. Ces travaux seront développés par une équipe interdisciplinaire regroupant hydrogéologues, géophysiciens, physiciens, géochimistes et microbiologistes, en collaboration avec des partenaires internationaux (CSIC Barcelone, RMIT Melbourne, Stanford). Plusieurs bourses de thèse et de postdoctorat sont actuellement ouvertes dans le cadre de projet (contact [tanguy.Le-Borgne@univ-rennes1.fr](mailto:tanguy.Le-Borgne@univ-rennes1.fr))



## Thierry Lebel, nouveau responsable de la MPI2 à l'IRD répond à nos questions...

JG : Thierry Lebel vous êtes en charge de la Mission pour la Promotion de l'Interdisciplinarité et l'Intersectorialité (MI2) à l'IRD. Pourriez-vous nous dire en quoi consiste votre mission ?

L'interdisciplinarité est au cœur des nouvelles problématiques scientifiques qui émergent en lien avec les changements globaux. La COP21 s'est achevée sur un incontestable succès de diplomatie internationale mais peu de scientifiques impliqués dans cet exercice pensent que l'on pourra réellement tenir l'objectif du +1,5°. On doit donc s'attendre à un réchauffement significatif de la Planète (+2° à +4 °C ?) qui va venir se superposer à la très forte pression exercée sur les Milieux par une population qui pourrait approcher 10 milliards d'habitants, rendant certaines régions semi-arides virtuellement inhabitables. Les sociétés de la zone intertropicale sont particulièrement vulnérables à tels bouleversements environnementaux à la fois du fait de la fragilité du milieu physique et de leur pauvreté. La MI2 se fixe donc pour objectif de promouvoir les recherches aux interfaces entre sciences physiques, sciences du vivant et sciences sociales, susceptibles de faire progresser notre compréhension de la vulnérabilité des populations de la zone intertropicale à des changements globaux dont elles ne sont qu'en partie responsables.



JG : Quelles sont les actions de recherche et de collaboration mise en place par l'IRD sur la Zone Critique. L'observation long-terme de l'environnement est-elle une mission réaffirmée de l'IRD ?

Oui il s'agit d'une mission fondamentale pour l'IRD, dont les observatoires les plus anciens (AMMA-CATCH, Glacioclim et Hybam) documentent depuis près de 25 ans l'évolution du climat et des hydrosystèmes en zone intertropicale, mettant à la disposition de la communauté internationale des séries de données hydrométéorologiques uniques par la finesse de leur résolution spatio-temporelle, leur continuité et leur

qualité. Ce suivi de long terme fournit une base solide pour caractériser les effets des changements globaux sur les régions intertropicales.

JG : Comment l'apparition d'OZCAR dans le paysage des infrastructures nationales de recherche risque t-il de modifier la politique de l'IRD vis-à-vis de ses observatoires

L'IRD s'inscrit résolument dans la politique nationale de rationalisation de nos dispositifs d'observation, pour autant que les spécificités de nos infrastructures déployées en région intertropicale soient reconnues, que ce soit au plan de leurs objectifs propres ou de leurs contraintes opérationnelles. OZCAR permet de fédérer nos grands observatoires de la Zone Critique Continentale en Afrique tropicale (AMMA-CATCH et BVET), Amérique du Sud (Glacioclim et Hybam) et Asie (MSEC), en liaison avec les observatoires métropolitains, ce qui est une très bonne chose. Cela impliquera de concentrer nos moyens sur ces observatoires. Un effort particulier devra par ailleurs être entrepris pour fédérer les dispositifs d'observation sur le pourtour méditerranéen, afin qu'ils s'insèrent au mieux dans la programmation des grands chantiers tels que Mistral ou pour alimenter les réseaux d'expertise, tels que MED-ECC.

JG : Comment l'institut pour lequel vous travaillez envisage t-il de renforcer l'interaction entre les sciences biologiques et les sciences de la Terre sur l'étude de la ZC ?

Il existe une conscience partagée de ces deux communautés qu'elles doivent mieux travailler ensemble pour traiter des défis que posent l'évolution de la qualité des milieux, mais, à l'IRD comme au CNRS, la construction institutionnelle ne favorise pas les convergences. OZCAR, qui est inscrit dans la feuille de route des infrastructures nationales, pourrait aider à remédier à cette situation. Pour accompagner ce mouvement, nous envisageons de mettre en place des financements incitatifs.



## ANR Hydrocrizsto, HYDRO-Geochemical behavior of CRITICAL Zone at STrengbach Observatory (PI : Marie Claire Pierret, LHyges, Strasbourg).

Le projet Hydrocrizsto vise à combiner des outils géophysiques, hydrologiques et géochimiques pour mieux comprendre et modéliser le passé, le présent et le futur du fonctionnement des bassins versants (<http://hydrocrizsto.unistra.fr/>)

La méthodologie proposée est basée sur :

- un couplage et une combinaison d'outils et d'approches géophysiques, géochimiques et de modélisation pour parvenir à des modèles physiques, hydrologiques et géochimiques rendant compte du transport d'eau et de soluté ;
- une application et une calibration de cette démarche sur le Bassin versant du Strengbach, un environnement granitique et forestier de 80 ha situé dans le massif vosgien. Ce bassin est le site de l'Observatoire hydro-géochimique de l'environnement (OHGE), observatoire de l'EOST où sont suivis en continu des paramètres météorologiques, hydrologiques et géochimiques depuis 1986, ce qui en fait un des sites granitiques équipés les plus anciens dans le monde.

Le projet a obtenu 600 000 euros de l'ANR pour une durée de 4 ans. Il associe le LHyGES (Marie Claire Pierret), l'IPGS (Pascal Sailhac), le BRGM (Philippe Négrel) et l'INRA Champenoux (Arnaud Legout). Il associe en outre le GET, le LTHE, le laboratoire de géosciences Montpellier, l'ONF, le Cabinet Sol Conseil et le jardin des Sciences de Strasbourg et l'Université d'Exeter,

Le kick off meeting a eu lieu le 8 décembre 2015 à l'Institut de Géologie de la Rue Blessig à Strasbourg (voir photo).



La prochaine **réunion annuelle des Sciences de la Terre** françaises aura lieu à Caen du 24 au 28 octobre 2016:

<http://rst2016-caen.sciencesconf.org/>.

Une session (12.2) est dédiée au "fonctionnement de la Zone Critique au travers des infrastructures nationales de recherche en environnement". Nous invitons les membres de CRITEX et des réseaux d'OZ-CAR à venir présenter leurs travaux dans ce moment important de réunion de toute la communauté nationale des sciences de la Terre.



## Annnonce du Colloque GEOFCAN 2016

Le BRGM organise le 10e colloque GEOFCAN (Approche GÉophysique et structurale de l'organisation spatiale et du Fonctionnement des Couvertures pédologiques Anthropisées et Naturelles), les 8 et 9 novembre 2016 à Orléans.

GEOFCAN est un réseau de laboratoires de différents instituts de recherche liés par un protocole d'accord. Le réseau est composé par l'UPMC, l'UPSUD, l'IRD, l'INRA, le BRGM et l'IRSTEA. Son objectif est de rassembler des compétences techniques et des connaissances pratiques et théoriques dans le domaine de la géophysique de subsurface appliquée aux formations superficielles. Tous les deux ans, ce groupe organise un colloque francophone sur ce thème.

<http://www.brgm.fr/evenement/geofcan-2016>

Contact: **Roger Guérin** ([roger.guerin@upmc.fr](mailto:roger.guerin@upmc.fr))

## Annnonce du colloque IAH 2016.

The 43rd IAH (International Association of Hydrogeologists) congress will be held in Montpellier, France between 25 to 29th September 2016. (<http://www.60iah2016.org/en/programme/main-topics-and-provisional-sessions>). A "Hydrogeophysics" session (Topic 8, session 7) is included in the program (full session description below). This is an excellent opportunity to interact with a broad range of hydrogeologists and to highlight the value of geophysical methods to hydrogeology across multiple scales and application areas.

The deadline for the short abstract submission is March the 31th (on-line submission, about 300 words). (<http://www.60iah2016.org/en/abstract-submission-guideline>). We strongly encourage you to consider submitting an abstract to this session.

Contact: **R. Guerin, L. Slater and K. Chalikakis**

## Prochaine Formation interne CRITEX

Un stage de formation ouvert à tous d'initiation à la pratique de la prospection géophysique est organisé par P. Saihlac (EOST, Strasbourg), M. Décloitres (LTHE Grenoble), R. Clément (IRSTEA Antony) et C. Camerlynck (METIS, Paris). Les thèmes enseignés sont l'électromagnétisme, la résistivité, la polarisation provoquée.

**Quand** : du 3 au 7 octobre 2016

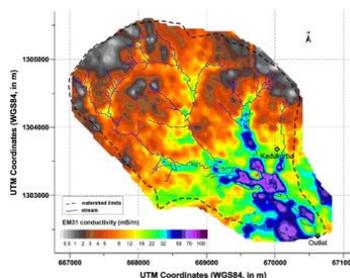
**Où** : EOST, Strasbourg

**Méthodes** = FEM-TDEM-CSAMT-PP

**Pour qui** : Critical zonistes non spécialistes disposés à mettre en oeuvre ces techniques.

**Effectifs** : 10-15 personnes (premiers inscrits, premiers servis)

**Contact** : Pascal Sailhac, EOST, ([pascal.sailhac@unistra.fr](mailto:pascal.sailhac@unistra.fr))



Le projet européen **eLTER** soumis dans le cadre de l'appel d'offre H2020 sur les infrastructures a été accepté la commission européenne. Il s'agit de faire naître une « saring community » dans laquelle coexiste les infrastructures de type LTER, LTSER (représentées en France par les Zone Ateliers) et les observatoires de la Zone Critique (dont H+ et RBV en France). Le projet a débuté le 1er juin 2015 et se terminera le 1er juin 2019. Le kick-off meeting a eu lieu en Crète en Juin 2015 (voir photo). Il est doté de 5 millions d'euros et est coordonné par Michael Mirlt et Herbert Haubold de l'agence Environmental Agency Austria (Umweltbundesamt GmbH). Il est constitué de 11 partenaires dans le core team : EAA, (Autriche), SYKE (Finlande), CNRS, FZJ (Juelich), UFZ (Helmholtz), TUC (Crete), CNR (Italie), Mi-PAN-ERC (Pologne), UNS (Serbie), SLU (Suède), NERC (UK). Les but principal de eLTER est de développer un réseau européen de recherche et d'observation long-terme de sites LTER, LTSER et CZO dans toute l'Europe et ce afin de fournir une base scientifique en direction des décideurs. Il affiche 4 buts stratégiques.

- Sécuriser l'existant et le mettre en lien avec les grands défis scientifiques et sociétaux.

- Inventer une infrastructure de haute performance constituée d'IR sur les écosystèmes et les socio-écosystèmes complémentaires et interopérables.

- Développer des « IT services » (information technology) pour la mise à disposition des données.

- Encourager la pertinence sociale, l'utilité et l'exploitation multiple des données, services, informations.

Le projet prévoit du « transnational access » et du « virtual access » aux données.

Pour plus de détail sur le programme eLTER, consultez

<http://www.lter-europe.net/elter/>

A terme, le projet eLTER devrait conduire à un projet d'ESFRI à inscrire dans la feuille de route européenne des ESFRI.



Kick off meeting 22-25 juin 2015, Chania, Crète, Grèce.

La **Darcy Lecture** (sponsorisée par la NGWA) est cette année donnée par le **professeur Ty Ferré**, du Department of Hydrology and Water Resources à l'Université d'Arizona. Sa tournée en France sera marquée le 30 juin 2014 par un séminaire à l'UMPC, à 14h (lieu exact à venir).

Il passera également par Rennes, Bordeaux, Montpellier et Orléans. Ty Ferré est hydrogéophysicien. Il exposera ses réflexions sur le design de réseaux de monitoring hydrogéologiques et sur la façon dont les modèles hydrogéologiques viennent en support de la décision politique.

Contacts : [damien.jougnot@upmc.fr](mailto:damien.jougnot@upmc.fr), [ludovic.bodet@upmc.fr](mailto:ludovic.bodet@upmc.fr)



## Bilan Colloque Fibres Optiques, 2015.

Un workshop sur les mesures distribuées par fibre optique a été organisé du 6 au 8 Octobre 2015 à Poitiers. Il a réuni une trentaine de participants de toute la France durant 3 jours. L'essentiel du workshop a été consacré aux mesures distribuées de température pour présenter les aspects théoriques, de nombreuses applications ainsi que plusieurs ateliers pratiques sur le site observatoire de Poitiers.

## Du côté des réseaux...

En 2015, les SOERE RBV et H+ ont été évalués et resoumis pour une nouvelle labellisation par l'Alliance Allenvi. Nos deux réseaux ont été bien évalués et ont été reconduits sur la base d'un nouveau projet (RBV2 et H+) pour les 4 années à venir.

Le nouveau RBV reprend dans ses grandes lignes le projet développé dans les quatre dernières années. Deux bassins versants ont été admis dans le RBV, tous deux sous la tutelle IRSTEA : le bassin versant agricole et forestier méditerranéen du **Réal Collobrier** en Provence et le bassin versant urbain et péri-urbain de **l'Yseron** en région lyonnaise (tous les deux pilotés par IRSTEA). RBV2 a pour but de travailler son interaction avec le réseau des Zones Ateliers (**RZA**) ou **ANAE** ainsi que **Sciences Po** Paris. La possibilité de construction d'un observatoire sur l'île de la Réunion semble se concrétiser. En accord avec les recommandations d'Allenvi, RBV s'activera à consolider sa structuration et en particulier l'acquisition systématique des 21 paramètres communs sur lequel le réseau s'est accordé et à fournir des livrables concrets dans le contrat à venir. L'appel d'offre interne est maintenu et les liens avec le réseau des CZO américains renforcés. Allenvi recommande qu'une partie du budget soit destinée à des actions communes avec H+ ou OZCAR. Du côté de sa gouvernance, RBV se dotera d'un conseil scientifique en partie partagée avec celui de H+. Un ingénieur-projet à mi-temps est recruté pour travailler sur l'animation du réseau (Fatim Hankard).

Dans le cadre de sa nouvelle labellisation, le SOERE H+ poursuivra les initiatives développées durant la première période du SOERE en suivant les recommandations du comité Allenvi sur quatre actions principales. La première action vise à faciliter l'accès aux données archivées dans la base H+ qui sont de natures très diverses du point de vue des paramètres mesurés (hydrologie, géophysique, biochimie) et des modes d'acquisition (suivis passifs et sous sollicitation, points de mesure et profils en forage, imagerie hydro-géophysique 2D, 3D et 4D, campagnes expérimentales multi-instrumentales). Une ingénieure d'étude est recrutée pour poursuivre le développement de formats adaptés à l'évolution rapide des instruments de mesures et d'interfaces conviviales entre la base de



Visite du réseau RBV sur le bassin de l'Orgeval à l'occasion des journées du réseau (septembre 2015) avec en particulier la visite de l'exploitation de M. Gobard.

données et les utilisateurs. La seconde action concerne la consolidation du réseau existant avec l'intégration de deux sites au réseau. Le **Laboratoire Souterrain de Rustrel (LSBB)** dispose d'une instrumentation multi-physique unique pour le suivi in situ des écoulements en conditions non saturées. Le site indien de **Hyderabad** est un observatoire instrumenté et suivi par le BRGM pour étudier l'impact des changements profonds des modes de gestion de l'eau dans une région critique. La troisième action a pour objectif de développer les échanges avec le réseau RBV, initiés dans le cadre de CRITEX, pour mettre en place de nouvelles stratégies d'observation des transferts à l'interface entre les eaux souterraines et les bassins versants, ce qui représente un enjeu majeur pour l'étude de la zone critique. Enfin, la quatrième action vise à renforcer les échanges entre H+ et les principales équipes européennes développant des moyens d'observation in situ en hydrogéologie. Huit partenaires européens, en Allemagne, Espagne, Belgique, Danemark et Suisse, ont ainsi souhaité être associés au SOERE H+ pour créer de nouvelles dynamiques de collaborations scientifiques internationales qui sont essentielles pour la valorisation des infrastructures d'observation in situ.

## Le meeting CRITEX 2016 de Rennes...

Les 21 et 22 janvier 2016, s'est tenu sur le campus de Beaulieu à Rennes une réunion plénière de CRITEX. Environ 100 participants (porteurs de WP, responsables de site, invités et membres extérieurs, représentant de l'ANR) se sont retrouvés deux jours durant pour faire le point, essentiellement sous forme de posters, sur l'état d'avancement du programme et pour réfléchir à la meilleure approche pour étudier la zone critique de nos observatoires en utilisant les instruments de CRITEX sur des questions communes et tester des hypothèses. Le meeting était précédé la veille d'un atelier de démonstration d'instruments, organisé par quelques responsables de WP. Le meeting a réservé une large part à la discussion, sous la forme de séances posters, d'une séance de "speed dating" pour se faire se rencontrer développeurs d'instruments et observatoires de terrain et de séances de travail en petits groupes sur quelques grandes questions de recherche liées à la zone critique et son instrumentation. Les présentations orales ont donné la parole aux personnels embauchés par CRITEX et doctorants et à quatre "Grands témoins" qui nous font l'honneur de leur présence : **Philippe Ciais**, du LSCE a parlé des modèles climatiques et du rôle des surfaces continentales; **Laurent Pfister** nous a montré des exemples d'applications de techniques innovantes en géophysique, hydrologie et biologie pour l'étude des bassins versants; **André Revil**, ISTERre Chambéry, sur des développements récents en hydrogéophysique et biogéophysique de la zone critique et enfin **Bertrand Fritz**, EOST, Strasbourg, sur la longue histoire de l'observatoire "sentinelle" du Strengbach. Les résultats des groupes de réflexion seront édités sous peu.



## 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 novembre 2016 (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.

Toutes les publications CRITEX doivent porter 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, Hélène Barral, LTHE).

Le scintillomètre CRITEX micro-onde à 94 GHz est opérationnel et a été déployé sur l'observatoire de l'Orgeval dans la Brie en Novembre 2015. Le prototype a passé l'hiver en extérieur sans montrer de dis-fonctionnement. Des problèmes subsistent sur l'acquisition des données à 1kHz. Cela a été, a priori fixé récemment. Le déploiement de cet instrument est associé aux instruments du WP1.2, indispensables pour son évaluation (voir paragraphe suivant).



### WP1.2. Flux et scintillométrie IR (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 :

AGRHYS (UMR SAS) : C. Flechard, O. Fovet, Y. Hamon, M. Faucheux, L. Ruiz

ORACLE (IRSTEA Antony) : G. Tallec, P. Ansart, A. Guérin, A. Blanchouin, S. Aggrey



L'année 2015 a été celle du grand démarrage des opérations sur le terrain. Pour mémoire, la conception des dispositifs, la définition des matériels, et la réalisation d'une grande partie des achats avaient été effectués lors des années précédentes (voir newsletters CRITEX 1 et 2).

Sur le bassin de l'Orgeval (observatoire ORACLE), les systèmes d'eddy-covariance et de scintillométrie ont été déployés en février 2015, par un travail de deux semaines sur le terrain. Une station complémentaire de météorologie a été déployée au mois de juin.

Pour le bassin du Naizin (observatoire AGRHYS), les achats des matériels pour la station d'eddy covariance, ainsi que les travaux d'alimentation électrique en 220V du site, ont été réalisés au premier semestre. Les instruments ont été déployés à l'automne, et mis en service en novembre. Ainsi, fin 2015, les dispositifs étaient déployés et opérationnels sur les deux observatoires :

- ORACLE : Scintillomètres infra-rouge et micro-onde colocalisées (portée : 5 km), Tour à flux (Eddy-covariance), Station météo.
- AGRHYS : Tour à flux (Eddy-covariance).



Orgeval : Récepteurs des scintillomètres infrarouge et micro-onde (gauche) et station d'Eddy-covariance (à droite)

Parallèlement à la mise en exploitation des dispositifs matériels, un important travail a été effectué sur l'élaboration des procédures complexes de traitement des données brutes acquises, nécessaires à la production des estimations de flux par les deux types de techniques.

Grâce aux avancées ainsi réalisées sur les plans matériel et logiciel, les premières chroniques de flux estimés ont pu être produites et analysées sur les deux observatoires. Les premiers résultats obtenus montrent un haut niveau de cohérence, et sont donc tout à fait encourageants pour la suite.

Une formation aux méthodes utilisées, aux instruments déployés, à la réalisation des mesures, et à la gestion des données et métadonnées, a été réalisée à Montpellier (29 septembre- 1er octobre 2015) à l'intention des membres de l'équipe de l'observatoire ORACLE en charge des dispositifs sur le terrain. Cette session de travail a également permis de mettre au point le protocole opératoire précis pour le bon fonctionnement et la maintenance des systèmes sur ce bassin. Ce protocole a fait la preuve de son efficacité par la détection rapide des pannes et l'optimisation des alimentations électriques (solaire et hybride) des stations.

Une thèse a d'autre part démarré à l'automne 2015 (Seid Aggrey, Dir.: L. Oudin, G. Tallec, V. Andreassian), portant sur l'évaluation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant, et s'appuyant largement sur le WP1.2.

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

La livraison sur le site de l'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg des 3 gravimètres supraconducteurs de type iGrav du projet CRITEX est imminente (avril 2016). Ces instruments seront installés pour une période de test de quelques semaines en parallèle avec deux gravimètres supraconducteurs d'Observatoire déjà en fonctionnement. Après validation de la qualité des mesures, un premier gravimètre sera mis en place sur le site du Bassin Versant du Strengbach de l'OHGE dans les Vosges et les deux autres seront installés 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). Le développement de cette instrumentation novatrice pour suivre la zone critique nécessite un investissement humain important et nous venons de recruter sur fonds CRITEX un IE en instrumentation géophysique (Nolwenn Portier) en soutien instrumental et logistique.

Le gravimètre de terrain Scintrex CG5 de CRITEX est quant à lui utilisé depuis son arrivée en 2015 sur le Bassin Versant du Strengbach (photographie) pour des mesures de micro-gravimétrie faites sur un réseau de piézomètres afin d'étudier, à un rythme mensuel, les relations entre variations de niveaux d'eau et gravité. Ces relations permettront de mieux comprendre l'influence de la topographie d'un bassin de montagne sur la répartition des stocks d'eau.



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

Le principe de mesure d'humidité et de salinité des sols (ou tout milieu poreux) en un point par pont d'admittance, ainsi que celui de réseaux de sondes in situ entièrement autonomes sont acquis. Les sondes mesurent également la température à même niveau de sol que pour l'humidité.

La fréquence d'acquisition peut être aussi élevée qu'un point toutes les 2 minutes (voire un point toutes les 10 secondes en n'utilisant qu'une sonde et sur une période limitée) pendant une année et plus. Avec la même géométrie bi-cylindrique ont été développées des sondes multivoies mais également des sondes monovoie. Un de ces dernier type est effectué en partenariat avec la Société d'Accélération de Transfert Technologique SATT IdF-Innov pour des aspects de valorisation de la sonde. Elle est optimisée en coût tout en conservant une précision satisfaisante.

Des tests sur terrain sont effectués, en particulier avec deux sondes - une de chaque type - installées depuis octobre 2015 sur un bassin versant de l'observatoire de Draix-Bléone en Alpes-de-Haute-Provence géré par l'IRSTEA de Grenoble en collaboration avec l'EOST de IPGS à Strasbourg et avec l'EMMAH de l'université d'Avignon (Figure). Ces tests permettent de mettre en évidence les défauts de jeunesse à corriger (mauvais contacts électrique, erreurs de logiciel...) et les améliorations à apporter (autonomie énergie, choix des thermomètres...).



Sonde multivoie HYMENET installée sur l'observatoire de DRAIX-BLEONE.

**WP2.2. Hydrogéodésie : les déformations liées à l'eau (J. Schuïte, J. Assemat et L. Longuevergne, Géosciences Rennes).**

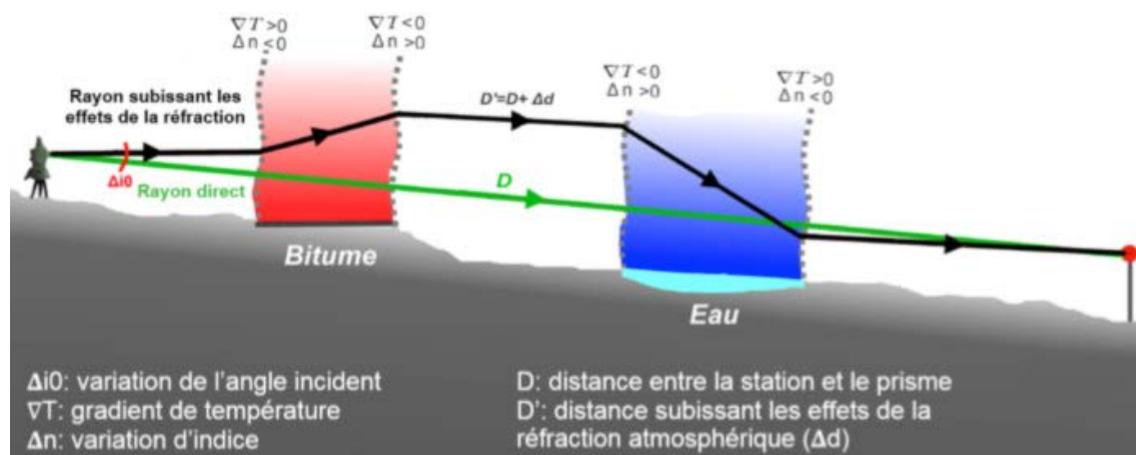
L'objectif du WP 2.2 est de qualifier les mesures de déformation comme outils pour l'hydrologie. Elles permettent d'imager les variations de pression – moteur des écoulements – dans un réservoir, et offrent une observation spatialisée pour mieux contraindre les processus internes de redistribution d'eau dans les systèmes hydrologiques.

Le développement de ces méthodes nécessite des instruments précis, une mise en œuvre maîtrisée, des méthodologies robustes pour extraire le signal d'intérêt et des outils d'interprétation. Cette année a été marquée par des travaux sur l'amélioration du rapport signal sur bruit, notamment en modélisant l'impact des effets atmosphériques dans les méthodes optiques (M2 Julien Assemat), et par le développement d'outils d'interprétation des données (thèse Jonathan Schuïte).

Si en laboratoire, les instruments de positionnement sont précis à quelques dixièmes de millimètre, sur le terrain, les variations d'état de l'atmosphère affectent la répétabilité des mesures d'un facteur 10 ! En effet, les variations latérales et temporelles de température dévient les rayons lumineux et rallongent le trajet. Une large marge de progression est possible en modélisant la réfraction des rais en fonction des variations de température. Les premiers résultats indiquent que cette approche permet d'expliquer la moitié de la variabilité mesurée.

Nous avons également travaillé sur les outils d'interprétation des déformations spatio-temporelle, qui ont été appliqués à l'analyse d'un essai de pompage. La pression se propage préférentiellement dans les zones les plus perméables, où elle se concentre et induit des déformations importantes mesurables en surface (figure) atteignant 3 mm d'amplitude. Les mesures déformation de surface nous ont permis d'imager l'orientation d'une fracture conductrice majeure. Un modèle simple a également permis d'estimer les paramètres de stockage et la profondeur de la racine de la fracture (~100 m) cohérent avec les valeurs connues, et ce, avec un pompage d'une durée limitée à quelques dizaines d'heures. Ces travaux ont été publiés dans « Geophysical Research Letters »

Schuïte, 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, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 10,696–10,703, doi:10.1002/2015GL066387.



Réfraction d'un rai lumineux en fonction des gradients de température de l'air, lors d'une mesure de positionnement par station totale. Comme les mirages, les instabilités atmosphériques modifient la distance et la position réelles des objets distants.

**WP3. Mesures à haute fréquence de la température de la ZC. (J. P. Malet, EOST, O. Bour et T. Le Borgne, Géosciences Rennes).**

En 2015, une installation permanente de suivi à haute fréquence spatiale et temporelle des flux d'eau et d'énergie par mesures actives et passives des températures du sol par fibre optique a été mise en place sur l'Observatoire Draix-Bléone. Le site atelier est un interfluve de colluvions et de marnes noires représentative des versants montagnards du sud-est des Alpes. La mesure distribuée des gradients de température dans le proche sous-sol (-5, -10, -15, -20 cm) doit, à terme, permettre de quantifier la réponse hydrologique du versant (stock, flux) aux forçages hydro-climatiques pour plusieurs échelles temporelles (événement pluvieux, saison) et pour trois types de faciès de sols (texture, végétation). Un réseau dense de mesure des teneurs en eau par méthodes réflectométrique et capacitive complètent le dispositif. Les températures sont mesurées en combinant approche passive (gradient thermique naturel) et active (principe du fil chauffant). Une stratégie d'analyse des observations fondée sur l'assimilation de données sera mise en place en 2016 dans le cadre d'une thèse en co-tutelle entre l'Université de Strasbourg / EOST et l'Université Technologique de Delft (Pays-Bas).

Un site d'observation long-terme similaire sera déployé en 2016 sur le bassin-versant du Strengbach pour quantifier les variations de teneur en eau en surface autour de quelques puits de forage, et des comparaisons météorologiques seront effectuées avec l'équipement disponible à Géosciences Montpellier dans le cadre de l'ANR HyDroCrisTo.

A Géosciences Rennes, l'ensemble des achats d'équipements a été effectué et les instruments sont en cours d'utilisation. Une troisième unité de mesure distribuée de température par fibre optique (FO-DTS) a même été acquise fin 2015 sur des crédits H+.

Ces équipements ont tout d'abord servi en mai et octobre 2015 à l'imagerie des écoulements sur le site expérimental hydrogéologique de Poitiers (SNO H+). L'objectif des expérimentations était de tester la capacité d'utiliser la température comme un marqueur des écoulements dans un aquifère karstique. Pour cela, la plupart des expériences a consisté à réaliser des expériences de pompage de quelques heures avec un suivi de la température sur plusieurs forages d'observation. Les résultats ont montré tout l'intérêt d'un suivi spatio-temporel fin pour imager la dynamique des écoulements dans les aquifères karstiques. Avec un suivi temporel de 30 secondes, il est même possible de suivre les fronts d'écoulements liés aux pompages et d'en déduire les vitesses d'écoulements. Dans certains cas où la température ne montrait pas de variations temporelles, il est aussi possible d'utiliser des méthodes alternatives pour imager les flux, basées par exemple sur l'utilisation d'une résistance thermique en forage ou d'un câble chauffé. Ces méthodes, mises au point au préalable sur l'observatoire de Ploemeur (Read et al., 2014 ; Read et al., 2015) donnent également de très bons résultats sur le site de Poitiers.

Conjointement aux expérimentations, nous en avons profité pour organiser un workshop sur les mesures distribuées par fibre optique du 6 au 8 Octobre 2015. L'essentiel du workshop a été consacré aux mesures distribuées de température pour présenter les aspects théoriques, de nombreuses applications ainsi que plusieurs ateliers pratiques sur le site observatoire de Poitiers. Un autre objectif, en lien avec le WP 6.1, a été de tester l'intérêt des mesures acoustiques pour imager les propriétés du milieu ou pour caractériser certains processus dynamiques. Pour cela des mesures acoustiques ont été enregistrées et sont actuellement traitées et analysées pour être comparées à des mesures sismiques (WP 6.1) plus classiques.

Enfin, Un câble de fibre optique d'un kilomètre de long a été installé en décembre 2015 sur le petit cours d'eau qui traverse le site de Kerrien (ORE AgrHys, réseau RBV). L'objectif est d'enregistrer au pas de temps de 10 minutes les variations de température durant les 6 prochains mois afin de détecter les arrivées d'eau souterraines et d'imager si possible la dynamique des écoulements en lien avec les flux géochimiques. Les données enregistrées au cours des deux premiers mois sont en cours d'analyse mais semblent prometteuses. Des discussions sont en cours actuellement pour instrumenter d'autres sites dans les mois qui viennent.

Read, T., O. Bour, J. S. Selker, V. F. Bense, T. Le Borgne, R. Hochreutener, and N. Lavenant (2014), Active-Distributed Temperature Sensing to continuously quantify vertical flow in boreholes, *Water Resour. Res.*, 50, doi:10.1002/2014WR015273.

Read T, Bense VF, Bour O, Le Borgne T, Lavenant N, Hochreutener R, Selker JS (2015) Thermal-plume fibre optic tracking (T-POT) test for flow velocity measurement in groundwater boreholes. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems Discussions* 4, 197–202, doi:10.5194/gi-4-197-2015



Colloque Fibres Optiques du 6-7-8 octobre 2015

**WP4.1. Plateforme de suivi hydro-sédimentaire (G. Nord, M. Estèves, LTHE): RIPLE**

Yoann Michielin, IE CNRS, a été recruté le 01/01/2016 dans le cadre du projet CRITEX. Il a pris la suite de Jérôme Bois qui a été recruté dans l'industrie en février 2015. Durant l'année 2015, le projet de développement de plateforme de suivi hydrosédimentaire a été affiné et précisé afin d'optimiser le travail de Yoann pendant l'année 2016. Notre ambition est d'optimiser l'intégration de l'existant en s'appuyant sur une longue expérience de mesure des flux sédimentaires en rivière sur les sites de Draix-Bléone, OHMCV, MSEC et aussi dans la ZABR. Le projet vise la mesure à haute fréquence des débits liquide et solide (charriage et suspension), ainsi que des caractéristiques des matières en suspension (distribution en taille des particules, vitesse de chute des particules) et potentiellement d'autres variables sur la qualité de l'eau (couleur, concentration en nutriments). Le projet vise préférentiellement les rivières de montagne drainant des bassins versants de 10 à 1000 km<sup>2</sup>, avec de fortes concentrations de matière en suspension (maxima compris entre 10 et 300 g/l) et des écoulements intermittents s'étalant sur une gamme de débit de plusieurs ordres de grandeur. Le choix a été fait d'intégrer dans la plateforme des instruments ayant un niveau de développement permettant de les assembler facilement (radar hauteur d'eau et vitesse, turbidimètre, échantillonneur automatique, caméra de contrôle et caméra LSPIV) et d'inclure des instruments récemment développés au sein des équipes du RBV (SCAF, hydrophone et éventuellement spectrophotomètre et radiomètre). La priorité est donnée aux instruments non-intrusifs du fait de leur robustesse dans ce type de milieu à fort potentiel destructeur. Deux instruments (hydrophone, turbidimètre) ont été achetés durant l'automne 2015. Une nouvelle station d'acquisition (Campbell CR6), une sonde de conductivité et une caméra numérique sont sur le point d'être commandées. Yoann a suivi une formation de programmation au langage de Campbell Scientific en janvier 2016. Le travail de Yoann consiste actuellement à définir l'architecture technique de cette plateforme et à réaliser un prototype qui respecte le cahier des charges que nous avons fixé intégrant les éléments suivants : possibilité de configurer à distance pour une implantation en milieu isolé (absence de réseau électrique et réseau filaire de communication), gestion de l'interaction entre les différents capteurs, gestion à distance et en temps réel des capteurs, envoi d'alarmes SMS et e-mails, télétransmission des données et archivage des données).

## WP4.2. La symphonie potamochimique de la Brie : la Maison Chimique (Paul Floury, Gaëlle Tallec, Arnaud Blanchouin, Patrick Ansard, IRSTEA Antony et Jérôme Gaillardet, IPGP).

La Chemical House installée aux Avenelles (ORE Oracle) a officiellement démarré en Juin 2015 et a été baptisée du nom évocateur de SEQUANA. Elle a demandé un effort logistique particulièrement important de Patrick Ansard et Arnaud Blanchouin de l'IRSTEA et a associé les deux entreprises Thermo Fisher Scientific et Endress-Hausser. Elle mesure depuis, à la cadence d'une analyse toute les 40 minutes, les concentrations en éléments majeurs (Na, Ca, K, Mg, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>) et en quelques éléments en traces (Li, Sr). Le système, unique au monde, véritable laboratoire sur le terrain, a connu quelques interruptions et quelques pannes mais globalement SEQUANA a permis et permet à Paul Floury d'acquérir un enregistrement continu des pulsations chimiques du bassin versant de l'Orgeval dans le cadre de sa thèse en co-direction IPGP-IRSTEA. La précision des analyses s'est avérée meilleure que celle généralement atteinte dans les conditions de laboratoire. Evènement exceptionnel, la canicule de l'été 2015 a permis de mesurer des variations de très haute fréquence de la chimie du ruisseau et ceci sans l'occurrence d'une seule pluie pendant plusieurs mois. Ces variations très fines et inattendues sont encore à ce jour inexplicables. La plupart des évènements extrêmes de l'automne et de l'hiver 2016 ont été capturés. SEQUANA a fait l'objet d'une présentation remarquée à l'AGU 2015 de San Fransisco ainsi qu'au colloque CRITEX de Rennes. Elle

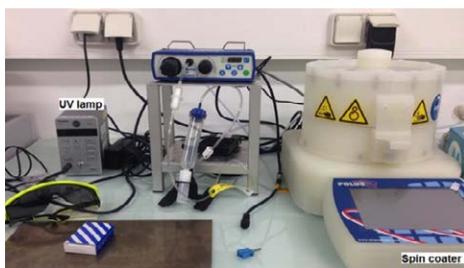


Le réseau RBV, 3 septembre 2015, à l'écoute de la symphonie potamochimique (et pastorale) de l'Orgeval

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

Le spectromètre Raman, LabRAM HR évolution (Horiba Jobin Yvon SAS), associé à un microscope confocal, BX41, installé en 2014, a été testé (Figure ci-dessous). Pour rappel, les accessoires complémentaires permettent l'étude des effets de paramètres comme la température, l'humidité, la pression sur les milieux étudiés (solide, liquide, vivant...), pour des échelles micro- comme macro-scopiques. Des analyses par spectroscopie Raman exaltée de surface (SERS) à l'aide de substrats actifs (nanoparticules) développés en interne ou en collaboration pourront être réalisées. Les premiers essais ont permis d'obtenir des spectres à partir d'échantillons provenant d'extraits organiques ou inorganiques du milieu naturel ainsi que matériaux utilisés dans le développement des capteurs. Associé à différents laboratoires toulousains (Legos, LCC, EcoLab), l'ISA-Lyon ainsi qu'à des laboratoires vietnamiens (USTH et HCMv), les travaux en cours portent sur l'analyse de nitrates à l'aide de nanoparticules d'argent sur support d'or ou de pesticides grâce à des films de polymères à empreinte moléculaire. Par ailleurs, une thèse de doctorat (Alan Castillo Villa) a commencé sur le développement d'une méthodologie pour détecter et analyser in situ la spéciation du bore à faible concentration dans les solutions aqueuses avec le soutien de Conacyt. L'achat de trois équipements est en cours pour développer la technologie capteur basée sur des principes de détections à microbalance à cristal de quartz avec dissipation (QCM/D), à résonance de plasmon de surface (SPR) et par électrochimie (E). Les performances optimales en termes de sensibilité (concentrations de quelques

pg/L à ng/L) et de fiabilité sont recherchées. Ainsi, les systèmes choisis devront pouvoir être couplés entre eux afin d'améliorer les propriétés des capteurs et de caractériser les interfaces et les interactions à la fois in situ lors d'observations in vitro et in vivo.



Système de dépôt par centrifugation (SPS) avec injection et lampe UV pour activation de la polymérisation

a également fait l'objet de la visite annuelle du Réseau des Bassins Versants (RBV). Elle est visitable en contactant Paul Floury (floury@ipgp.fr) et toute collaboration impliquant SEQUANA est bienvenue. SEQUANA a ouvert la voie à une nouvelle façon de comprendre et d'utiliser la chimie des rivières en s'ouvrant à des temporalités typiques de celles du monde vivant. Dans le cadre de WP, deux achats reprenant les avancées de SEQUANA sont en préparation pour les bassins versants du Strengbach et de Naizin. La livraison des deux autres maisons chimiques (AISACIA et BRITANIA) est prévue pour l'automne 2016.

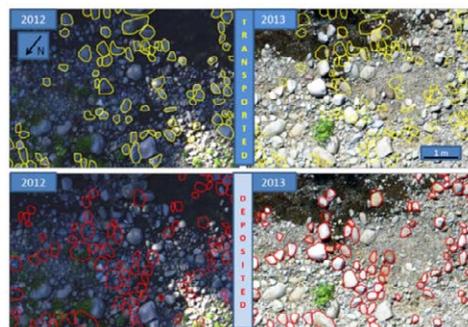
## WP5. IDEVA: la révolution des drônes (C. Delacourt, J. Ammann, M. Jaud & N. Le Dantec, LDO Brest, P. Allemand & P. Grandjean LGL Lyon).

Le drone HyperSpectral (multi rotors électrique octocoptère) acquiert des images hyperspectrales.

Il est équipée d'une camera VNIR 400nm – 1000nm type pushbroom, une centrale inertielle 0.05° de résolution avec GPS intégré, une camera RGB. Le système est désormais intégré dans un boîtier étanche permettant le survol de zones humides et maritimes (lagons, rivières). Il a une autonomie de 10 minutes avec la charge hyper spectrale. Trois jeux de batterie disponibles permettent de couvrir un site de 10 hectares environ en 3 vols distincts. Le drone est conforme à la réglementation DGAC pour des scénarios en vol à vue conforme à la législation de type S1 et S2.

Le système a été testé et validé sur différents sites (champ agricole d'orge, terre mise à nu et en culture, forêt, plage de sable et son estran). Un logiciel de mise en forme des données (correction géométrique) permet de générer des cubes et des spectres hyperspectraux exploitables.

Le transfert par la « charge de fond » est le mécanisme dominant d'exportation des sédiments dans les rivières de Guadeloupe. La charge de fond et ses relations avec le flux d'eau sont bien définies en laboratoire où des équations de transport peuvent être établies. Sur le terrain, il est important de connaître le flux d'eau minimum à partir duquel la rivière transporte des galets et les relations entre la quantité d'eau et le flux sédimentaire. Dans le cadre de l'Observatoire de l'Eau et de l'Erosion aux Antilles (ObsERA), nous avons utilisés des images très haute résolution acquises par un drone une fois par an. Depuis 2007 et une fois par an, nous observons 4 sites de la rivière de Vieux Habitant en Guadeloupe. Des images à résolution centimétrique sont acquises par un drone hexacoptère puis utilisées pour calculer des Modèles Numériques de Terrain et des Orthoimages géoréférencés. Les galets apparus ou



disparus entre deux acquisitions sont cartographiés et leur surface et volume sont estimés par les techniques d'analyses d'image et de SIG. Une relation linéaire entre les flux d'eau maximum et le volume de galets déposés permet d'estimer le débit seuil à partir duquel la rivière transporte des sédiments et la durée annuelle effective du transport (P. Allemand, P. Grandjean, E. Lajeunesse)

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

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

La première phase du WP6.1 (2012-2015) a consisté à mettre au point et valider une méthodologie optimale pour l'estimation simultanée des vitesses des ondes de compression (VP) et de cisaillement (VS) de la zone critique. Nos travaux ont montré qu'une évaluation 1D et/ou 2D du rapport VP/VS permet de détecter la zone saturée, même en présence de fortes hétérogénéités en subsurface. Les études en cours cherchent à appliquer cette approche à la zone non-saturée (cf. newsletter #2). 2015 fut également une année de valorisation de ces travaux avec 2 publications et 3 communications en conférences internationales. Il s'agit maintenant de mettre en œuvre la méthode dans le cadre d'un « suivi hautes eaux-basses eaux » sur les sites de l'Orgeval (avec l'appui du PIREN-Seine) et de Ploemeur et Guidel (dans le cadre d'H+), afin de proposer la sismique CRITEX comme véritable outil d'interpolation spatiale et temporelle des mesures hydro(géo)logiques. Nous avons obtenu en juillet 2015 le financement par l'UPMC d'un contrat doctoral sur ce sujet qui est traité depuis octobre 2015 par Marine DANGEARD. Par ailleurs, le suivi en « time-lapse » pose la question de l'optimisation et de la reproductibilité du déploiement de l'instrumentation sur les sites. Nous avons, en partenariat avec l'entreprise SILIXA, procédé à des tests préliminaires de l'utilisation de la fibre optique comme alternative, dans le cadre du workshop « Fiber Optic Distributed Sensing » qui a eu lieu à Poitiers en octobre 2015. Enfin, comme cela a été évoqué lors du meeting CRITEX de Rennes en Janvier 2016, la sismique CRITEX qui est désormais opérationnelle et validée en « one-shot », est prête à partir vers d'autres hydrosystèmes !

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

Une nouvelle sonde RMP en forage a été testée en France et au Bénin. Au Bénin les tests de l'appareillage RMP ont été effectués sur les sites expérimentaux de SO AMMA-CATCH et du projet GRIBA (<http://projet-griba.com/>).

Un prototype de l'appareil RMP pour l'étude de zone non saturée a été testé en France et sur des échantillons de différentes roches. On a confirmé la faisabilité de ces mesures mais toute la méthodologie d'application et d'interprétation reste à développer. Nos résultats ont été valorisés par 3 articles (1 publié et deux acceptés).

Une nouvelle approche de filtrage utilisant un dispositif multi-capteurs a été développée et appliquée dans diverses conditions de bruits anthropiques et naturels. Les résultats sont très probants sur les bruits anthropiques et les développements se poursuivent pour améliorer l'efficacité sur les bruits transitoires naturels.

Une campagne de terrain sur le BV du Strengbach (Vosges, Alsace) avec la finalité hydrogéologique est en préparations (pour fin avril) en collaboration entre LTHE, Université de Strasbourg, IPGS et Leibniz Institute for Applied Geophysics - LIAG (Hanovre). Ce travail sera mené à cheval entre CRITEX et ANR HYDROCRIZSTO.

### WP6.3. Tomographie de résistivité (ERT) et cartographie électromagnétique (M. Décloitres, LTHE et R. Clément, M. Dorel, IRSTEA).

Un « Syscal Pro » 72 électrodes et un conductivimètre « CMD Explorer », (voir news letter Critex N°2) sont à la disposition de la communauté Critex pour être mis en œuvre sur différents terrains de Zone Critique (nous contacter pour détails svp). En 2015, deux opérations impliquant le Syscal Pro ont été réalisées (ou encore en cours).

**Le suivi journalier des processus d'infiltration profonde sur parcelle agricole drainée avec le Syscal Pro CRITEX.** (R. Clément, M. Dorel et H. Hénine, IRSTEA).

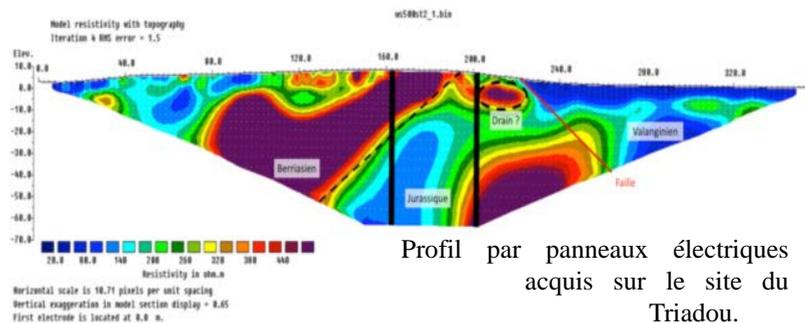
L'équipe MP2 (Mesure physique pour les milieux poreux) d'IRSTEA Antony en collaboration avec l'équipe ARTEMIS (Atténuation, Remédiation, Transferts Et Modélisation des HYdroSYstèmes) a entrepris le suivi journalier des processus d'infiltration profonde sur parcelle agricole avec le syscal pro.

Le résistivimètre a été installé en septembre 2015 à la station de Boissy le Châtel piloté par l'équipe ORACLE (G. Tallec), pour réaliser un suivi journalier des variations spatiales de la résistivité électrique dans le but de mieux comprendre les processus intervenant dans les infiltrations profondes sur les parcelles agricoles artificiellement drainées. Les données collectées serviront à mieux comprendre les processus de transferts superficiels de la Zone Critique et seront exploitées dans une future thèse qui démarrera en septembre 2016 (co-dirigée par Hocine HENINE, Rémi Clément et Julien Tournebize).

**La caractérisation de la géométrie d'une zone de faille impliquée dans les transferts à différentes échelles de temps (CRITEX).** (Hervé Jourde et Pascal Brunet, Hydrosiences Montpellier HSM).

Un forage profond dans le karst Nord Montpelliérain (Observatoire MEDYCYSS - SNO KARST - SOERE RBV) a été équipé afin de suivre en continu et à différentes profondeurs, la pression ainsi que l'évolution physico-chimique et hydrochimique des eaux souterraines dans les différents compartiments du karst. L'objectif de ce monitoring (cf WP7.1) est d'appréhender la contribution des différents compartiments de l'hydrosystème depuis les zones de recharge jusqu'aux exutoires principaux pour des temps courts (échelle de la crue) et des temps longs (plusieurs cycles hydrologiques). Les panneaux de résistivité (Figure ci-dessous), transverses à une faille importante pour la karstification ont permis d'identifier en profondeur : (i) la structure et l'angle du plan de faille, (ii) l'ampleur du décalage entre les compartiments et (iii) la présence de conduits karstiques.

Cette information géophysique combinée à une cartographie géologique classique a permis de proposer un modèle conceptuel d'écoulement associé à une localisation préférentielle de la karstification au niveau de l'interface entre couches.



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

Une mise en œuvre de l'injecteur de puissance VIP 5000 a été réalisée sur le site de la ZA Pleine Fougères dans une manip de caractérisation de la polarisation dans le domaine temporel afin de préciser la position des interfaces schiste-granite en vue de localiser les écoulements souterrains. L'information sur la polarisation des milieux naturels nécessite l'enregistrement continu des signaux correspondant aux courants injectés et aux potentiels mesurés afin d'assurer la déconvolution complète de la chaîne de mesure et de traitement. Le traitement est actuellement en cours. Un projet a été soumis et retenu à EC2CO pour la caractérisation géophysique de la perméabilité à l'échelle du terrain et ainsi établir expérimentalement et in-situ un lien entre mesurables géophysiques et paramètres hydriques. Cette approche pour le moment validée en laboratoire, permettra de fournir à la communauté des hydrologues et des géophysiciens une méthode rapide et directe d'accéder à la perméabilité des sols et des formations, dans un premier temps en contexte tabulaire saturé. Le projet s'appuiera sur l'équipement Critex d'ores et déjà acquis. La suite de l'acquisition de l'équipement prévue est en cours. La polarisation provoquée dans le domaine spectral pourrait s'appuyer en partie sur la versatilité de l'équipement acquis dans le cadre du WP 6.5 ; des essais de faisabilité seront réalisés durant le printemps 2016 avant une prise de décision quant aux équipements complémentaires restant à acquérir dans le cadre de ce WP.

## WP 6.5 Controlled source audio-magneto telluric (CSAMT), P. Saihac (EOST).

La livraison du système de mesure CSAMT de Phoenix (émetteur T3 avec récepteur synchronisé V8) a eu lieu en janvier 2015. Nous avons profité du printemps pour réaliser une première campagne de mesures avec ce nouvel équipement sur le site du Bassin Versant du Strengbach de l'OHGE, déjà étudié en 2014 dans le cadre de CRITEX par ERT d'une part et AMT sans source d'autre part (voir Gance et al., publication en cours de rédaction). Les premières mesures CSAMT sont en cours d'analyse et validation pour clarifier le diagramme de rayonnement et préciser l'apport de mesures avec source relativement à des mesures passives utilisant l'activité magnétotellurique naturelle aux fréquences audio. Ceci concerne en particulier les fréquences proches du kHz, connues pour la faiblesse de l'activité naturelle ("AMT dead-band"), et qui au Strengbach correspondent aux profondeurs de l'ordre de 40-100 mètres dont l'étude est importante pour comprendre les circulations et la répartition des stocks d'eau en contexte montagneux.

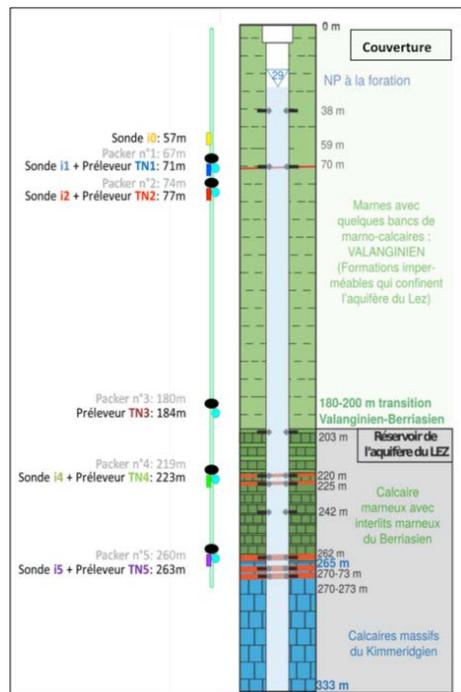


Équipement CSAMT avec émetteur et récepteur synchronisé au GPS : à gauche émetteur T3 en fonctionnement près de l'exutoire du bassin versant du Strengbach (juin 2015)

## WP7.1. Forages et monitoring hydrogéophysique en puits (H. Jourde, HSM; P. Pézard, Géosciences Montpellier).

### Monitoring profond des circulations souterraines dans le karst.

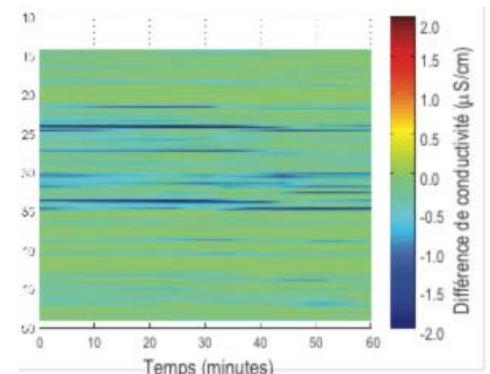
Le forage CRITEX du Triadou (333m) est localisé à 500 m en amont de la source karstique du Lez et à proximité de la rivière temporaire du Lirou. Le suivi (P et T) en continu des 5 niveaux équipés (i0 à i5) ainsi que les prélèvements mensuels d'échantillons d'eau (TN1 à TN5) ont été réalisés sur plus d'une année. Les résultats obtenus montrent la complexité de la réponse hydrodynamique et hydrochimique de l'aquifère karstique au cours du cycle hydrologique. La couverture valanginienne (niveaux i0 à i2) présente une forte connectivité hydraulique avec le compartiment aquifère en hautes eaux et de fortes interactions/échanges avec les eaux de surface (Lirou). La réponse hydrodynamique de l'aquifère (i4 et i5) montre l'interception par le forage de la zone de circulation/drainage préférentiel (interface Berriasien/Kimmeridgien) et un comportement similaire à celui observé à l'exutoire du système karstique (source du Lez). La composition hydrochimique des eaux au sein des deux compartiments reste néanmoins stable et peu influencée par les conditions hydrodynamiques. Les niveaux TN4 et TN5, qui recoupent l'aquifère principal, présentent une réponse hydrochimique différente de celle mesurée à la source du Lez, traduisant ainsi une compartimentation complexe de l'aquifère.



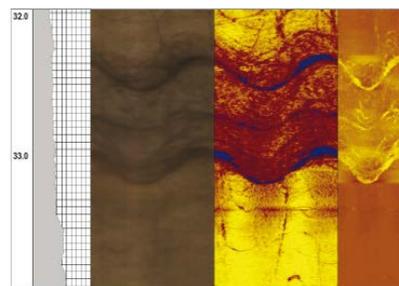
### Monitoring géophysique des circulations souterraines dans les formations cristallines.

Afin d'optimiser le dispositif de monitoring géophysique en forage qui sera installé au Strengbach (Alsace) en 2016, une nouvelle approche par diagraphies répétées de résistivité électrique a été testée lors d'une campagne de terrain réalisée en juin 2015. Une sonde de type latéolog fonctionnant sur le même principe que la sonde SMD ("Subsurface Monitoring Device") de monitoring électrique en forage acquise dans le cadre de CRITEX, a été déployée à très haute fréquence temporelle (de l'ordre du mHz, soit environ toutes les 15 minutes) dans un puits (F5) profond de 50 m. La précision et la répétabilité des sondes de résistivité met en évidence sur cette courte échelle de temps des variations de résistivité  $\leq 10\%$  en face de certaines des fractures identifiées à l'aide d'images acoustiques de paroi. Dans la plus grande partie du puits, les variations temporelles sont inférieures à 1%, ce qui permet d'évaluer la précision du dispositif expérimental dans un tel milieu où la résistivité varie de 500 à 10000  $\Omega \cdot m$ .

A cette échelle de temps, ces variations ne peuvent être expliquées que par de petits changements de conductivité électrique du fluide poral venant d'un léger changement de température ou de charge ionique du fluide, une variation de 2% correspond à un écart de température de l'ordre de 1°C du fluide poral dans ces formations cristallines. Ces variations peuvent s'expliquer par le drainage de l'aquifère lors des mesures de juin dernier, suite aux pluies des jours précédents. Cette stratégie, connue sous le nom de "Time Lapse Logging" (TLL) et généralement déployée en forage à bien plus basse fréquence (sur plusieurs mois ou de plusieurs années) pour le suivi de l'exploitation d'un réservoir, ou encore à fréquence comparable à ce test dans le cadre d'expériences de modification de la température par chauffage, ou encore d'injection d'un traceur. Cette nouvelle approche se distingue par l'observation haute-fréquence passive de l'aquifère. Ce test montre que le monitoring géophysique permanent en forage en 2016 permettra d'identifier l'origine des variations de fluide poral entre température et charge ionique.



Localisation des zones d'écoulement préférentiel dans le puits F5 (de 21 à 35 m de profondeur) le 16 juin 2015 (Strengbach, Alsace).



Identification à l'aide d'images acoustiques de paroi de deux fractures ouvertes dans le puits F5 (Strengbach, Alsace).



**WP7.2. Mesures des flux et tomographie hydraulique (O. Bour, Géosciences Rennes H. Pauwels, BRGM).**



Expérimentation sur le site de Kerrien (ORE AgrHys, réseau RBV)

L'objectif des travaux menés au cours de l'année 2015 a été de développer des méthodes de tomographie hydraulique originales basées sur une sollicitation périodique du milieu. Le principe consiste simplement à faire varier la charge de manière périodique dans un forage et de suivre en parallèle les variations de charge dans d'autres forages ou d'autres sections de puits. Un signal périodique est très facile à détecter dans les données, même bruitées. Ces méthodes sont particulièrement adaptées dans les milieux peu perméables ou pour des milieux contaminés où il est difficile de réaliser des pompages de longue durée. Enfin, travailler à différentes fréquences permet d'investiguer différentes échelles du milieu.

Une première application de cette méthode a été réalisée en juin 2015 sur le site de Ploemeur (SNO H+) en collaboration avec M. Becker (California State Univ., USA) pour imager les propriétés d'un milieu fracturé profond (de 20 à 100 m de profondeur). Un signal périodique a été ainsi imposé successivement à plusieurs fractures isolées par un double obturateur, avec un suivi des variations de charge réalisé sur différents niveaux dans un puits voisin (voir figure). Les données recueillies devraient permettre d'imager la distribution des propriétés hydrauliques du milieu. Une deuxième application

de cette méthode a été réalisée sur le site de Kerrien (ORE AgrHys, réseau RBV) où les dispositifs de forage en flûte de pan à faible profondeur (de 5 à 20 mètres) sont idéaux pour tester la capacité de ces méthodes à imager l'hétérogénéité des milieux cristallins altérés. Les données sont également en cours de traitement et d'inversion. L'objectif est de tester l'intérêt de ces méthodes par rapport aux autres méthodes plus conventionnelles de tests hydrauliques. Un objectif des travaux futurs sera également de développer des mesures conjointes avec d'autres WP traitant des milieux souterrains pour étudier les processus couplés (WP6 géophysique ou WP2.2 sur la déformation).

En parallèle, les travaux sur la mesure des flux en forage par méthode de dilution, menés en collaboration avec l'Université de Liège sur le site de Ploemeur (SNO H+), ont été publiés (Jamin et al., 2015). L'objectif, essentiellement méthodologique, était de comparer différentes méthodes de mesures des flux en forage. Ces méthodes sont très importantes pour contraindre les flux naturels locaux ou pour mieux contrôler l'injection au puits lors d'expériences de traçage de solutés.

Jamin P., Goderniaux, O. Bour, T. Le Borgne, A. Englert, L. Longuevergne, and S. Brouyère (2015), Contribution of the Finite Volume Point Dilution Method for measurement of groundwater fluxes in a fractured aquifer, *Journal of Contaminant Hydrology* 182, 244–255.

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

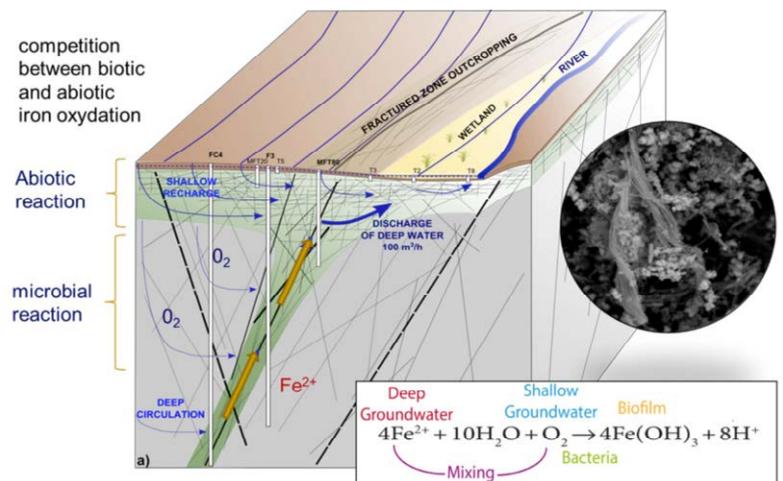
L'objectif du WP 7.3 est de développer un laboratoire mobile permettant de mesurer les concentrations de traceurs et produits de réaction lors d'expériences in situ visant à caractériser la réactivité de la zone critique dans différentes conditions d'écoulement. Après l'aménagement du camion 4x4 de l'OSUR en 2014, l'année 2015 a été marquée par les premières campagnes impliquant directement le laboratoire mobile. Ces campagnes expérimentales avaient deux objectifs principaux :

1. Tester les nouvelles techniques de traçage au gaz dissous développées dans le cadre WP 8.1 dans le cadre de la thèse de Eliot Chatton
2. Comprendre les conditions de développement d'un bloom de biofilm observé dans un forage sur le site de Ploemeur au travers d'une caractérisation pluridisciplinaire (mesures de flux, analyses chimiques et microbiologiques sous packers à différentes profondeurs) dans le cadre de la thèse de Olivier Bochet (co-financement ADEME-CRITEX)

Pour l'objectif 1, le laboratoire mobile a permis de mettre en œuvre le spectromètre de masse MIMS sur le terrain dans de bonnes conditions, en assurant un flux continu d'eau provenant du forage pour analyse dans le camion (voir WP 8.1). Concernant l'objectif 2, une campagne a eu lieu au printemps 2015 sur le site de Ploemeur au cours de laquelle le forage PZ26 (profondeur 130 m) a été équipé d'un système de packer permettant de prélever l'eau dans les différentes fractures (Figures 2). L'eau prélevée a été analysée dans le laboratoire mobile pour mesurer les paramètres physico-chimiques et les gaz dissous. Des échantillons ont été prélevés régulièrement pour effectuer des analyses microbiologiques à différentes profondeurs (séquençage génétique). Les résultats, actuellement en cours d'analyses, suggèrent que le bloom de biofilm observé se localise dans un gradient de mélange entre des eaux profondes riches en fer et des eaux plus récentes, contenant de l'oxygène et du carbone organique en faibles concentrations. Cette campagne devrait permettre pour la première fois de documenter conjointement la distribution des flux d'eau, des concentrations en éléments chimiques et la diversité des espèces bactériennes dans une interface de mélange (Figure 1).

Ces résultats ont été présentés à l'AGU 2015 à San Francisco. Ils seront également présentés lors de la conférence biofilm 7 à Porto en 2016. Un article est en cours de rédaction (Bochet et al., in prep.).

WP 7.3 Figure 1: Schéma d'interprétation pour expliquer le bloom de biofilm observé sur le forage PZ26 du site de Ploemeur (adapté de Roques et al., 2014). L'eau profonde, riche en fer dissous, remonte par une zone fracturée qui alimente la rivière. Des fractures secondaires apportent de faibles concentrations en oxygène et carbone organique induisant une oxydation microbienne par des bactérie de type gallionela formant le biofilm observé.



WP 7.3 Figure 2: installation du packer sur le forage PZ26 (H+ Ploemeur) et le "chemical truck" de CRITEX

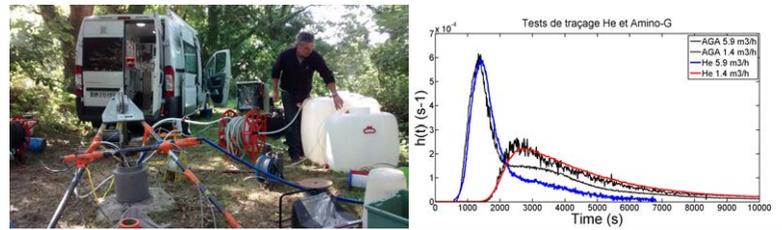


NB : le ciel bleu de Ploemeur est réalisé sans trucage

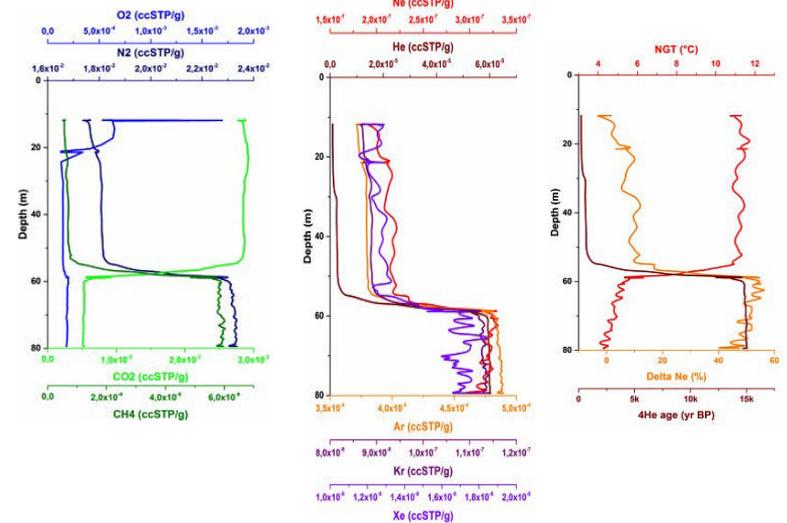
## WP8.1. Techniques de traçage par les gaz : origine et temps de résidence de l'eau. (T. labasque, E. Chatton, L. Aquilina, Géosc. Rennes)

Eliot Chatton, doctorant Critex, a débuté sa thèse en octobre 2014. Après six mois de tests et de mise au point du spectromètre de masse (MIMS), les premières expérimentations de « monitoring » de gaz dissous sur le terrain ont pu débuter dès le printemps 2015. Une première expérience de traçage gazeux à l'hélium a été réalisée sur le site H+ de Ploemeur, afin de caractériser les propriétés hydrauliques de fractures dans un forage. Ce premier test a permis de valider le fonctionnement du MIMS dans le laboratoire mobile CRITEX sur le terrain pendant plusieurs jours. La figure 1 présente le dispositif d'injection et de mesure sur le terrain et la courbe de restitution acquise par le MIMS sur 3 heures de mesures. Une seconde expérience de traçage entre puits a ensuite été réalisée sur le site de l'Université de Rennes pendant 20 heures. Ces données sont en cours d'exploitation par Eliot Chatton. Des informations sur la diffusion des gaz devraient enrichir la connaissance des propriétés hydrauliques déjà acquises sur ces sites. Enfin, une utilisation du MIMS pour caractériser les arrivées d'eau en forage (0-100m) a été tentée et réussie sur un site de production d'eau près de Rennes, où une eau à recharge « post-glaciaire » avait déjà été caractérisée par de la datation  $^{14}\text{C}$ . La figure 2 présente le profil de gaz dissous mesurés et son interprétation en termes de température de recharge, d'excès d'air et d'âge  $^4\text{He}$ . La température calculée par un modèle inverse est de  $4^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  et l'âge  $^4\text{He}$  de 15 000 ans. Des expériences identiques ont été réalisées sur le site H+ de Ploemeur, afin de caractériser le pôle d'eaux anciennes du site et des mélanges présents. Des expériences de caractérisation d'échanges nappe-rivière à l'aide des traceurs gazeux en temps réels seront réalisés en 2016 et viendront compléter le panel d'utilisation du MIMS pour le monitoring des gaz dissous. Enfin, des cinétiques de réaction biogéochimiques seront monitorées en laboratoire à l'aide du MIMS, pour étudier le développement de biofilms bactériens (Thèse O. Bochet). Ces résultats seront présentés à l'EGU 2016, la Goldschmidt 2016 et à la RST 2016. Un article est en cours de rédaction.

WP 8.1, Figure 1: Expérimentation de traçages gazeux en forage avec le laboratoire mobile Critex, dans lequel le MIMS est installé, sur le site H+ de Ploemeur



WP 8.1, Figure 2: profils de concentrations en gaz dissous acquis à l'aide du MIMS sur le terrain, dans un forage de 100m. Le diagramme de droite représente l'interprétation en température de recharge et excès d'air des ces eaux. Ces mesures valident l'hypothèse de recharge « post-glaciaire » de ces eaux profondes par l'estimation de l'âge  $^4\text{He}$ .



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

L'arrivée de Bryan CHAGUE en janvier 2015 sur le poste de CDD CRITEX au BRGM a permis de débuter le WP8.3. Ce WP vise le développement et le déploiement d'un système de prélèvement passif intégratif en forage, système devant permettre d'avoir accès à des mesures isotopiques dans les eaux souterraines en intégrant temporellement le signal. Nous avons développé un prototype permettant de créer un flux d'eau dans un support à échantillonneurs passifs de type Diffusive Gradient in Thin film (DGT). Ce système est constitué d'une pompe avec variateur et de son alimentation électrique, ainsi que d'un support à DGT. Le DGT accumule les éléments traces métalliques sur une résine après qu'ils aient diffusé dans un gel spécifique. Plusieurs simulations numériques en dynamique des fluides nous ont permis d'optimiser le flux dans le support afin de limiter les effets de couche limite de diffusion et ainsi pré-concentrer ces éléments selon des cinétiques proches de celles établies en rivière – les DGT ont initialement été développés pour ces milieux agités. Nous avons ensuite conçu et fait fabriquer le porte-DGT.

Nous avons réalisé les premiers essais en laboratoire afin de déterminer les caractéristiques physiques et chimiques du système telles que débit, consommation d'énergie, contaminations éventuelles (photo 1). Puis nous avons réalisé des expérimentations sur un des piézomètres situés sur le site du BRGM afin d'être à proximité du laboratoire. Les résultats sont en cours de traitement afin de prendre en compte les blancs de l'appareillage et d'aboutir à une validation du système (photos 2).

Par la suite nous allons réaliser des expérimentations sur des sites des réseaux H+/RBV afin de mettre le système en conditions réelles d'opération et de mener des premières investigations complètes, incluant les mesures isotopiques d'éléments chimiques dans la zone critique. En parallèle, nous allons travailler sur une transposition du système pour l'adapter à un échantillonneur passif intégratif de type Polar Organic Chemical Integrative Sampler (POCIS), afin de permettre l'analyse d'un cortège de molécules organiques avec la même philosophie (concentrations des molécules et mesures isotopiques).

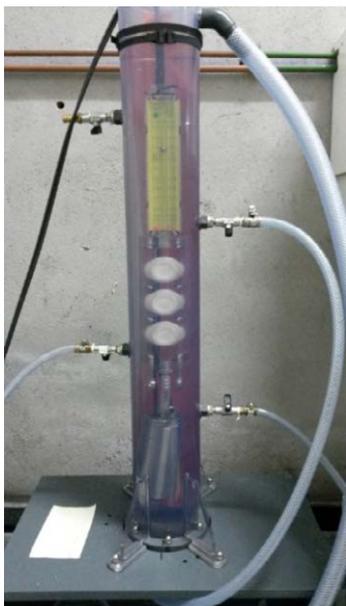


Photo 1



Photos 2



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