



# RAPPORT ANNUEL SCIENTIFIQUE D'ACTIVITE 2016 SOERE Systèmes d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement

## I Principales activités de SOERE au cours de l'année 2016

### *Structuration nationale et internationale*

Durant l'année 2016 le SOERE H+ a joué un rôle majeur dans la structuration nationale et internationale par sa participation à la création de l'infrastructure de recherche OZCAR (Observatoires de la zone critique : applications et recherches) et d'autre part par la coordination du 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 » qui 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. Ce succès montre le dynamisme de cette thématique de recherche et l'effet structurant des réseaux développés dans le cadre du programme SOERE. Ceci représente une excellente opportunité pour développer les activités de recherche et les collaborations internationales dans le réseau H+.

### *Animations*

Durant cette période le SOERE H+ a 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), 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, participation active aux conférences à l'Eurokarst (Neuchâtel, 5-7 septembre 2016), organisation d'une réunion du réseau à Montpellier (14-15 Novembre 2016), organisation d'un workshop hydrogéologique à Hyderabad (1-3 décembre 2016). Deux soutenances de thèses, basées sur le site du Larzac et de Ploemeur, ont eu lieu en 2016 (Benjamin Fores, Montpellier, 24/11/2016 et Jonathan Schuite, Rennes, 02/12/2016).

### *Actions CRITEX*

Le SOERE H+ est très fortement impliqué dans l'équipex CRITEX. En 2016, les actions du SOERE dans ce projet ont été les suivantes : traçages gaz (WP 7.3 et 8.1) sur les sites d'Agrhys (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), Agrhys (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  $V_p/V_s$  (WP 6.1) et résonance magnétique des protons (W6.2) sur le site du LSBB, et rapprochement des activités gravimétriques et inclinométrie dans le LSBB dans le cadre des Equipex MIGA et CRITEX.

### *Lancement de nouveaux projets scientifiques*

Deux nouvelles thèses de doctorat ont débuté sur les sites du réseau H+ en 2016 : la thèse de Madeleine Nicolas (Hyderabad), en collaboration entre le BRGM et Géosciences Rennes, qui porte sur le rôle de l'hétérogénéité dans les processus de recharge du socle cristallin en contexte semi-aride, avec en particulier un suivi d'un épisode de mousson exceptionnel sur le site de Choutuppal. La thèse de Luca Guillaumot qui porte sur la déstabilisation des systèmes hydrologiques soumis aux forçages anthropiques et climatiques, et qui comprend notamment la modélisation en transitoire des chroniques piézométriques du site de Ploemeur pour étudier l'impact du pompage et de la recharge sur l'évolution du système hydrologique.

Un projet d'envergure a par ailleurs été lancé sur le site du LSBB en collaboration avec TOTAL: depuis la surface du LSBB, deux nouvelles plateformes de forages (Buissonnière et Gavotte) ont été

développées. Les deux sites sont équipés d'un triplet de forages (en forme de triangle) espacés de 18m. Sur le site de Buissonnière (au droit du LSBB) les forages atteignent 50m de profondeur recoupent la zone non saturée et un point d'écoulement dans la galerie du LSBB. Sur le site de Gavotte un forage de 400m atteint la zone saturée et les deux autres ont une profondeur de 100m.

## II Activité spécifique du SOERE en 2016 incluant la prise en compte des recommandations du groupe Infrastructure de ALLENI

Nous rappelons brièvement les recommandations reçues lors de la nouvelle labellisation du SOERE et lors de la contractualisation à 4 ans et détaillons comment elles ont été prises en compte.

*Recommandations reçues lors de la nouvelle labellisation du SOERE H+ :*

- *Développer une base de données plus générique* : Conformément aux recommandations, le SOERE H+ a travaillé au développement d'une base de données plus générique. Outre l'insertion de nombreuses données pendant la dernière année (150 millions de données pour l'ensemble des sites), l'objectif a été d'introduire un plus large éventail de données. En particulier, le sous-thème Fibre Optique (mesures distribuées de température) est actuellement en cours de test avec un modèle générique de données afin d'insérer des données issues des mesures faites sur les sites de Poitiers et de Ploemeur. Par ailleurs, une réflexion est en cours sur la création d'un modèle générique de stockage de données hydrogéophysiques de différents types (tomographie de résistivité électrique, polarisation provoquée, GPR, électromagnétisme ...). L'objectif est de tester et de valider ce modèle au cours de l'année qui vient. Ainsi, un travail important est en cours pour faire évoluer la base de données H+ pour à la fois intégrer des données de plus en plus diverses et complexes et permettre un accès rapide aux données (CDD Marie-Françoise Gerard). Afin de simplifier l'accès aux données principales des sites, une base de requêtes prédéfinies a été mise en place (voir par exemple : <http://hplus.ore.fr/ploemeur/donnees-poitiers>).
- *Eviter la dispersion géographique en restant sur les sites existants* : bien que le réseau H+ reste focalisé en priorité sur les sites existants, nous recevons des sollicitations de sites expérimentaux en France et dans le monde, souhaitant être associés à notre réseau. Tout en évitant une dispersion géographique, il nous paraît important que H+ reste ouvert aux évolutions et nouvelles interactions scientifiques. Ainsi deux sites pilotés par des partenaires français ont formulé leur souhait de rejoindre le réseau H+ depuis plusieurs années. En premier lieu, le site d'Auverwatch (Allier) piloté par les Universités de Besançon (H. Celles-Jeanton) et de Clermont-Ferrand souhaitait nous rejoindre afin de pérenniser les suivis originaux qui sont réalisés sur le site (produits pharmaceutiques et contaminants émergents) et développer des collaborations avec les équipes d'H+. Il s'agit d'un aquifère alluvial qui est très complémentaire aux sites déjà présents au sein d'H+, qui est également très bien équipé et instrumenté et qui bénéficie d'un très fort soutien de l'exploitant. En raison des forts enjeux sociétaux, de l'instrumentation et des équipements disponibles ainsi que de la complémentarité du milieu étudié, il est apparu naturel à l'ensemble des partenaires du SOERE d'émettre un avis favorable à l'intégration du site d'Auverwatch au sein d'H+. Il faudra valider cette intégration par le conseil scientifique d'H+. En revanche, nous avons émis un avis réservé face à une autre candidature qui nous est apparue intéressante, mais dont les questions scientifiques et objectifs restent encore à approfondir pour intégrer le réseau. Enfin, nous avons souhaité proposer à l'équipe METIS d'être associée au SOERE H+ afin de renforcer le réseau avec des équipes très bien reconnues dans le domaine de l'hydrogéophysique et avec lesquelles les collaborations étaient déjà effectives, notamment à travers l'Equipex CRITEX. Ce renfort ne s'accompagne pas d'un ajout de site, mais simplement d'un ajout de personnels qui souhaitent s'investir sur les sites du réseau H+. Ces différentes actions devraient conduire à un renforcement significatif du réseau H+.

- *H+ bénéficie d'un savoir-faire unique sur les approches géophysiques et la modélisation, simulation des flux en sub-surface. Il doit rester concentré sur la caractérisation subsurface, la modélisation des flux de surface doit être traitée en articulation avec RBV pour éviter une dispersion* : Les thématiques principales du réseau H+ restent concentrées sur les flux de sub-surface. L'une des questions majeures porte toujours sur la caractérisation et la prise en compte des hétérogénéités sur les processus d'écoulement et de transport dans les milieux souterrains. Une partie de l'activité des partenaires d'H+ portent également sur le rôle des interfaces, que ce soit pour caractériser les processus de recharge, comme sur les sites du Larzac ou du LSBB, ou bien pour étudier les échanges nappes-rivière, comme sur le site d'Auverwatch (Allier), de Kerrien-Kerbernez (RBV) ou de l'Orgeval (RBV). Toutefois, ces travaux sont menés soit pour caractériser les flux de sub-surface, soit en parfaite articulation avec RBV, pour caractériser les échanges de la sub-surface vers la surface.

*Proposition des termes de contractualisation à 4 ans SOERE H+ :*

- *Renouveler le conseil scientifique (éventuellement avec un membre commun de celui de RBV) et le faire se réunir annuellement. Proposer qu'un membre du GT infra soit invité au CS* : Une proposition de comité scientifique doit être faite très prochainement afin d'organiser une réunion du CS et une évaluation des sites en juin 2017, lors de la réunion de printemps, prévue à Avignon.
- *Soumettre l'extension du SOERE en termes de sites ou de questions à l'avis du CS, de l'ensemble des tutelles* : A cette occasion, il est prévu de faire évaluer les différents sites et leur prospective par le CS d'H+ qui se prononcera également sur l'intégration de nouveaux sites, comme le site d'Auverwatch.
- *Faire l'état régulier des liens H+/RBV sur les liens eau de surface/eau souterraine* : Comme indiqué dans les parties précédentes, il y a de nombreux liens H+/RBV qui se développent, notamment à travers CRITEX ou pour développer et tester de nouvelles méthodes d'instrumentation sur les sites RBV. Actuellement, les équipes de GR, GM, et Metis (Paris) sont fortement impliquées dans diverses collaborations au Strengbach, à l'Orgeval, ou sur les sites de Naizin et Kerrien-Kerbernez. Par exemple, des collaborations ont été développées avec quelques sites RBV pour étudier les échanges nappe-rivière à l'aide des méthodes distribuées de température par fibre optique. En particulier, un suivi passif a été installé sur le Site de Kerrien-Kerbernez de début décembre 2015 à fin juin 2016. Cela a permis de détecter certaines venues d'eau et de mettre en évidence des variations des flux d'eau en relation avec la dynamique hydrologique. Pour quantifier les flux, une méthode a également été développée et testée pour la première fois sur le site de Kerrien-Kerbernez. Les premiers résultats sont très prometteurs et laissent espérer qu'il soit possible dans un proche avenir de caractériser l'hétérogénéité des échanges nappe-rivière ou des flux hyporhéiques. Les collaborations avec RBV se poursuivent, notamment sur le site de l'Orgeval, où a été installé un suivi passif de température sur plus d'1 km de cours d'eau depuis Octobre 2016.

### III L'avancée ou les résultats des actions innovantes

Dans les paragraphes qui suivent, nous fournissons quelques exemples ou éléments de prospective pour décrire les principales avancées ou résultats obtenus ou attendus. Il ne s'agit pas de faire une liste exhaustive des résultats, mais simplement de citer quelques exemples.

#### *Méthodes innovantes*

**Utilisation du bruit sismique pour l'imagerie des transferts dans la zone non saturée** : L'objectif du projet, suite aux premiers résultats de la thèse de Benjamin Fores, est d'utiliser le bruit sismologique ambiant pour le suivi des variations et de la dynamique des masses d'eau souterraines dans la zone non-saturée du karst. Ce projet est mené en collaborations avec Isterre, l'université de Franche-Comté, HSM et GM. Pendant l'été 2016, un réseau d'une quinzaine de sismomètres (prêt Sismob INSU) a été mis en place pour un an. Les résultats devraient porter sur la variabilité de dynamique du

stock d'eau souterrain et la meilleure caractérisation des ondes utilisées (surface et volume). Un projet région va être déposé pour mettre en place un réseau de sismomètres à plus long terme.

**Développement d'un treuil pour les tests hydrauliques sinusoïdaux (WP 7.2 CRITEX) :** un système de slug oscillant pour effectuer des tests hydrauliques sinusoïdaux a été développé en collaboration avec l'université de Long Beach (USA). Si ces méthodes sont rarement appliquées, elles ont toutefois plusieurs avantages : (1) décomposer les rayons d'influence en faisant varier la période d'oscillation (2) ne pas générer d'écoulement à large échelle, le volume d'eau étant constant, afin d'appliquer la méthode dans des conditions particulières (intrusion eaux salines, déchets) et (3) améliorer le rapport signal sur l'instrumentation de suivi. L'outil a été mis en œuvre à Ploemeur, mais également au Québec en collaboration avec l'INRS. Un article sur la mise en œuvre du treuil avec un suivi inclinométrique est en court de rédaction.

**Développement des mesures de gaz dissous en continu (WP 8.1 CRITEX):** la volonté d'amener le laboratoire sur le terrain se traduit par le développement d'outils de suivi des gaz dissous en continu. Cet équipement particulièrement innovant permet de réaliser des traçages en continu ou des diagraphies (temps, profondeur). Ces outils doivent permettre de mieux comprendre les mélanges, caractériser la distribution ou l'évolution des temps de résidence et détecter les nouveaux traceurs permettant d'identifier l'origine des sources.

**La caractérisation des chemins préférentiels de recharge** d'un aquifère typique de socle altéré en zone semi-aride d'Inde du Sud a été effectuée autour d'une structure de recharge artificielle d'aquifère. Malgré un grand nombre de structures de recharge artificielle dans la région, les mécanismes d'écoulement à leur proximité restent peu connus. Le processus de recharge apparaît comme une combinaison de déplacement advectif diffus des écoulements et de chemins d'écoulements préférentiels. La percolation verticale directe semble très limitée, en opposition au modèle conceptuel généralement admis où l'écoulement vertical à travers la saprolite est considéré comme le processus principal de recharge. Le schéma complexe des écoulements de recharge présenté dans le modèle conceptuel traduit des impacts variés sur la qualité des eaux souterraines et leur disponibilité aussi bien dans l'espace que dans le temps, ayant des conséquences importantes pour la gestion de l'eau, l'évolution de la qualité de l'eau et la surveillance des structures de recharge artificielle, le tout pouvant engendrer des coûts socio-économiques importants sur le long terme (Alazard et al. 2015). Ces travaux seront poursuivis et affinés au cours de la thèse de M. Nicolas qui profite actuellement de conditions de recharge exceptionnelle caractérisé par des événements de mousson remarquables.

### *Modélisation*

**La méthode des statistiques multipoints** a été utilisée pour la première fois pour modéliser l'hydrodynamique des aquifères karstiques sur le site de Poitiers (Le Coz et al. In press). Pour cela, le plan topographique d'un réseau spéléologique situé à quelques km de distance du SEH, et se développant dans les mêmes unités lithostratigraphiques, a été utilisé comme image d'entraînement pour les simulations multipoints réalisées avec le logiciel IMPALA développé par l'équipe du CHYN (Neuchâtel, Suisse). La densité spatiale moyenne de conduits karstiques dans les images simulée a été ajustée afin d'être en cohérence avec les caractéristiques du SEH. La simulation numérique d'essais de pompage dans les milieux obtenus a permis de reproduire l'ensemble des réponses « types » identifiées sur les données de rabattement du SEH. D'autre part, il a été mis en évidence que les différents types de réponses observées sont essentiellement liées aux variations locales de densité de conduits karstiques à proximité des différents forages. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives dans le couplage entre les méthodes statistiques multipoints et les algorithmes d'inversion de modèles hydrogéologiques. Par ailleurs, les données du SEH ont également été utilisées par plusieurs équipes internationales (Sanchez-Vila et al., WRR, 2016 ; Marioni et al., 2016).

**Modélisation des processus transitoires :** La réponse équivalente d'un système hydrologique est la superposition d'un ensemble de processus transitoires dans un milieu complexe, qui dépend nécessairement de la trajectoire passée du réservoir et des conditions limites. Les 25 ans de données acquises sur le site de Ploemeur, superposition des cycles saisonniers, de l'impact de la variabilité

climatique et des variations de débit de pompage, permettent largement d'aborder ces questions, et notamment les relations entre la surface et la profondeur. Un effort de modélisation particulier est donc mis en œuvre pour exploiter l'ensemble des données acquises dans le cadre de la thèse de Luca Guillaumot.

### *Quelques éléments de prospective*

A partir de 2017, des efforts conséquents seront déployés **pour préparer et mettre en œuvre une expérience structurante de grande ampleur** : la mise en pompage d'un aquifère fracturé en 2018, actuellement en fonctionnement naturel (site de Guidel, commune voisine à Ploemeur). Cette modification de grande ampleur modifiera totalement le fonctionnement hydrologique du système (captage des eaux de surface, assèchement partiel d'une zone humide, mélanges d'eaux, augmentation de la réactivité) et la dynamique de la biodiversité (captage des eaux profondes anoxiques riches de fer, augmentation du stress hydrique). La convergence vers un nouvel équilibre permettra d'étudier la diversité des temps de réponse, les points de basculement, la résilience et l'adaptabilité des hydro-écosystèmes aux changements, et de mettre en évidence les interactions étroites entre les systèmes de surface et profonds, biotiques et abiotiques. Le projet envisagé est résolument transdisciplinaire et s'appuie sur les compétences et ressources disponibles à l'OSUR (géophysique, géochimie, l'hydrologie et écologie) ou au sein du réseau H+.

Enfin, de nombreuses **collaborations entre les équipes H+** sont en cours, comme la modélisation du signal inclinométrique sur le site LSBB (Avignon, Montpellier, Rennes), l'interprétation et la valorisation en cours des expériences de suivi des écoulements par fibre optique sur le site de Poitiers (collaborations Poitiers-Rennes). L'année qui vient de s'écouler a permis également le développement **de nouvelles collaborations internationales** avec les équipes d'H+ (Matt Becker, California State University, Long Beach ; Daniel Paradis, René Lefebvre, Jasmin Raymond, INRS ETE ; Fred Nguyen, Liège ; Philippe Renard au CHYN, Suisse etc...). Ces collaborations devraient être renforcées dans les années à venir, notamment avec le lancement en janvier 2017 du projet d'ITN ENIGMA, qui devrait amener de nouvelles compétences au sein du réseau et contribuer fortement à son animation à travers les nombreux workshops, réunions et écoles d'été prévues. Cette évolution devrait structurer et renforcer fortement le réseau pour les années à venir.

Cette structuration solide, avec des collaborations nationales et internationales bien établies, place le réseau H+ dans une bonne dynamique pour **évoluer et développer de nouveaux projets au sein de l'infrastructure OZCAR**.



## Annexe au rapport annuel d'activité 2016 SOERE Systèmes d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement

### I Cadre budgétaire

#### Bilan 2016

Le budget du SOERE H+ international et du SNO H+ pour l'année 2016 est donné dans le tableau ci-dessous. Ce bilan ne prend pas en compte les différents co-financements obtenus au travers des projets développés sur les sites (le budget global annuel d'H+ est d'environ 900k€ en prenant en compte ces différents co-financement).

Recettes			
2015	Origine des crédits	Affectation	Total recettes (€)
	INSU (SOERE)	Suivi, instrumentation et maintenance	50 000
		crédit incitatif sur projet	25 000
	INSU (service d'observation)	soutien de base	39 000

Dépenses réalisées (€)									
Total (€)	Meetings et gestion	B & D	Larzac	Majorque	Poitiers	Rennes	LSBB	Hyderabad	Projet interdisciplinaire Guidel
50 000		23 000	3 000		5 000	5 000	7 000	7 000	
25 000			4 000		2 000	3 000	4 000	4 000	8 000
39 000	12 000	10 000	5 000		5 000	7 000	0	0	

Les principales actions entreprises grâce au financement du SOERE ont été les suivantes :

- **Base de données** : CDD de Marie-Françoise Gerard qui fait un important travail avec Annick Battais pour aider les responsables de sites à archiver les données, faire évoluer la base de données et inscrire les sites dans la base internationale DEIMS.
- **Site du Larzac** : différents projets scientifiques impliquant un nombre croissant d'équipes extérieures ont été mis en œuvre pour la caractérisation de la distribution spatiale et temporelle du stockage. Lancement de nouvelles collaborations nationales et internationales pour développer des méthodes d'imagerie innovantes basées sur l'utilisation du bruit sismique
- **Site de Majorque** : le site est en période de transition avant le lancement de nouveaux projets en collaboration avec le BRGM
- **Site de Poitiers** : poursuite des activités expérimentales (tests de traçage et tests hydrauliques) et instrumentation de la zone non saturée. Développement d'une nouvelle collaboration avec Neuchâtel pour la modélisation géostatistique du site
- **Site de Ploemeur** : campagnes expérimentales impliquant différents partenaires internationaux: tests de traçages, hydromécanique, imagerie hydrogéophysique
- **Site du LSBB** : programmes d'actions pour la caractérisation et le monitoring des flux par imagerie ERT, sismique et RMP en collaboration avec les partenaires CRITEX.
- **Site d'Hyderabad** : nouvelle thèse (M. Nicolas) débutée en 2015 pour la caractérisation de la recharge et les processus de transport dans la zone non saturée. Suivi d'un évènement de mousson exceptionnel
- **Projet interdisciplinaire de Guidel (site de Ploemeur)** : Mise en place d'une instrumentation multi-capteurs pour le suivi de l'impact hydro-écologique de la mise en route d'une

prochaine exploitation (assèchement de la zone humique, évolution de la qualité des eaux, modifications des échanges nappe-rivière, déformation de la surface...).

### *Prospective 2017*

La contribution demandée au programme SOERE est de **75 k€/an (50k€ pour l'animation, le suivi, et l'instrumentation et 25k€ en crédits incitatifs)** ce qui est équivalent au budget 2016. Le budget demandé dans le cadre du programme SOERE 2017 est axé sur plusieurs points:

**Le fonctionnement, le suivi et l'instrumentation des sites**, qui est la mission fondamentale du SOERE, nécessite des missions régulières sur site et la maintenance des instruments. Au cours des dernières années, les suivis hydrologiques, géophysiques et géochimiques ont pu être assurés dans de bonnes conditions, sans perte de données. L'instrumentation des sites monte actuellement en puissance dans le cadre de l'équipex CRITEX et la mise en place de nouveaux instruments.

**L'intégration et la mise à disposition des données dans la base de données H+**: le recrutement d'un ingénieur CDD pour la coordination de la base de données a permis une réelle efficacité dans cette démarche. Nous souhaitons poursuivre ce contrat pour mettre à niveau l'ensemble des sites en termes de mise à disposition des données, ainsi que pour mettre en place les formats adaptés aux nouvelles données. L'objectif pour l'année prochaine est aussi de développer des moyens d'accès en temps réel à certaines données (pression, température par fibre optique, déformation, ...) Des réunions seront organisées périodiquement pour réunir les fournisseurs de données de l'ensemble des sites afin d'harmoniser les protocoles d'archivage des données.

**L'animation du réseau** : Les rencontres H+ représentent un élément structurant fondamental au niveau national et international. La communauté participant à ces réunions dépasse largement le cadre d'H+. Des workshops sur des thématiques émergentes sont régulièrement organisés par H+ à l'échelle nationale et internationale. Ceci est essentiel pour poursuivre la dynamique existant autour d'H+, qui a conduit notamment au succès de l'ITN ENIGMA.

**Le développement d'actions scientifiques structurantes, interdisciplinaires, inter-sites et inter-SOERE et dans le cadre des crédits incitatifs du SOERE** : les crédits incitatifs permettent de lancer des projets scientifiques émergents générant de nouvelles collaborations scientifiques avec des partenaires extérieurs au SOERE. Ils représentent ainsi un élément très important pour le dynamisme scientifique du réseau. Les crédits incitatifs 2016 ont ainsi permis de démarrer des projets qui ont pris de l'ampleur, tels que la mise en place d'une instrumentation interdisciplinaire pour le suivi de l'impact de la mise en route d'un nouveau pompage sur le site de Guidel/Ploemeur (projet en cours rédaction pour une demande de financement auprès de l'agence de l'eau en 2017) ou l'imagerie par bruit sismique de la dynamique de la recharge dans la zone non saturée sur le site de Larzac (demande de financement en cours auprès de la région). De nouvelles actions de type incitatives seront lancées en 2017 pour développer de nouvelles méthodes d'imagerie hydrogéophysique (RMN sur les sites du LSBB, Ploemeur et Larzac, collaboration internationale avec l'université de Liège pour l'imagerie de la recharge sur le site d'hyderabad) et pour renforcer les collaborations entre H+ et RBV notamment pour la caractérisation et la modélisation des interactions nappes-rivière.

## **II Publications 2015-2016**

### **2016**

Alazard, M., Boisson, A., Pettenati M., Picot-Colbeaux, G., Perrin, J., Dewandel, B., Maréchal J.C., Ahmed, S., Kloppmann, W. (2016) Flow structure in crystalline aquifer investigated through borehole logging: Implications for Managed aquifer recharge. *Hydrogeology journal*, 24, 35-37

Bassil, J., Naveau, A., Fontaine, C., Grasset, L., Bodin, J., Porel, G., Razack, M., Kazpard, V., Popescu, S.-M. (2016) Investigation of the nature and origin of the geological matrices rich in selenium within the Hydrogeological Experimental Site of Poitiers, France. *CR Geosci.*, in press, doi: 10.1016/j.crte.2016.08.004.

Carrière et al., (2016) *Using resistivity or logarithm of resistivity to calculate Depth of Investigation index to assess reliability of Electrical Resistivity Tomography. Geophysics. acceptée - en révision*

Carrière et al., (2016): The role of porous matrix in water flow regulation within karst unsaturated zone: an integrated hydrogeophysical approach. *Hydrogeology Journal*, 2016.

- Guiheneuf N., O. Bour, A. Boisson, T. Le Borgne, M. W. Becker, B. Nigon, M. Wajiduddin, S. Ahmed and J.C. Maréchal, Multi-scales tracer experiments in weathered fractured crystalline rock: insights on flow channeling and non-Fickian transport mechanisms, submitted to *Journal of Contaminant Hydrology*.
- Klepikova, M. V., Le Borgne, T., Bour, O., Dentz, M., Hochreutener, R., & Lavenant, N. (2016). Heat as a tracer for understanding transport processes in fractured media: Theory and field assessment from multiscale thermal push-pull tracer tests. *Water Resources Research*, 52(7), 5442-5457
- Le Coz, M., Bodin, J., Renard, P. (2016) On the use of multiple-point statistics to improve groundwater flow modeling in karst aquifers: A case study from the Hydrogeological Experimental Site of Poitiers, France. *J. Hydrol.*, accepted for publication.
- Liu, M.M., Chen, Y.F., Hong, J.M., Zhou, C.B. (2016): A generalized non-Darcian radial flow model for constant rate test, *Water Resources Research*, in press
- Mari J.L. and Porel G. (2016). Contribution of seismic and acoustic methods to the characterization of karstic formations. IFP Energies Nouvelles ebook: JL Mari, Signal Processing, 2015, DOI : 10.2516/ifpen/2011002
- Marinoni, M ; Delay, F; Ackerer, P; Riva, M; Guadagnini, A (2016), Identification of groundwater flow parameters using reciprocal data from hydraulic interference tests, *JOURNAL OF HYDROLOGY*, 539, 88-101, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.05.019
- Mazzilli et al., (2016): Contribution of magnetic resonance soundings for characterizing water storage in the unsaturated zone of karst aquifers. *Geophysics*, 81
- Read T., V.F. Bense, O. Bour, T. Le Borgne, T. Coleman, S. Krause, A. Chalari, M. Mondanos, F. Ciocca and J.S. Selker (2016), Distributed Temperature Sensing as a down-hole tool in hydrogeology, *Water Resources Research*, in press
- Roques, C., O. Bour, L. Aquilina and B. Dewandel (2016), High-Yielding Aquifers in Crystalline Basement : Insights about the Role of fault zones, *Hydrogeology Journal* 24(8), 2157-2170.
- Sanchez-Vila, X; Ackerer, P; Delay, F; Guadagnini, A, (2016), Characterization of reciprocity gaps from interference tests in fractured media through a dual porosity model, *WATER RESOURCES RESEARCH*, 52 (3), 1696-1704, DOI: 10.1002/2015WR018171
- Shakas, A., N. Linde, L. Baron, O. Bochet, O. Bour, and T. Le Borgne (2016), Hydrogeophysical characterization of transport processes in fractured rock by combining pushpull and single-hole ground penetrating radar experiments, *Water Resour. Res.*, 52, doi:10.1002/2015WR017837
- ## 2015
- Boisson, A., Alazard, M., Picot-Colbeaux, G., Pettenati, M., Perrin, J., Chandra, S., Dewandel, B., Ahmed, S., Maréchal, J.C and Kloppmann, W. Percolation tanks as Managed Aquifer Recharge structures in crystalline aquifers – An example from the Maheshwaram watershed. *SaphPani Handbook – Chapter 7*
- Boisson A., N. Guihénéuf, J. Perrin, O. Bour, B. Dewandel, A. Dausse, M. Viossanges, S. Ahmed and J.C. Maréchal (2015), Estimation of the vertical evolution of hydrodynamic parameters in weathered and fractured crystalline rock aquifers: insights from a detailed study on an instrumented site, *Hydrogeology Journal*, 23, 757-773
- Boisson, A., Marechal, J.C., Perrin, J., Dewandel, B. and Ahmed, S. (2015) Impact of vertical geological structure and water table depletion on Indian crystalline aquifers, *Engineering Geology for Society and Territory*, Vol 3:583-587.
- Greco P., Mari, J.-L., Porel, G. (2015) Characterization of a Heterogeneous Aquifer: The Poitiers Hydrogeological Experimental Site, France, *Engineering Geology for Society and Territory*, Vol. 3, Springer International Publishing Switzerland, doi: 10.1007/978-3-319-09054-2\_118, pp 589-593
- Boisson, A., Guiheneuf, N., J. Perrin, O. Bour, B. Dewandel, A. Dausse, M. Viossanges, S. Ahmed and J.C. Marechal (2015), Determining the vertical evolution of hydrodynamic parameters in weathered and fractured South Indian crystalline-rock aquifers: insights from a study on an instrumented site, *Hydrogeology Journal*, DOI 10.1007/s10040-014-1226-x.
- Kang P., T. Le Borgne, M. Dentz, O. Bour, and R. Juanes, Impact of Flow Correlation and Heterogeneity on Transport in Fractured Rocks: Field Evidence and Theoretical Model, *Water Resour. Res.* 51(2), 940-959, 2015
- Jamin P., 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.
- Maamar, S. B., Aquilina, L., Quaiser, A., Pauwels, H., Michon-Coudouel, S., Vergnaud-Ayraud, V., ... & Dufresne, A. (2015). Groundwater Isolation Governs Chemistry and Microbial Community Structure along Hydrologic Flowpaths. *Frontiers in microbiology*, 6
- Marçais, J., J.-R. de Dreuzy, T.R. Ginn, P. Rousseau-Gueutin, S. Leray, Inferring transit time distributions from atmospheric tracer data: Assessment of the predictive capacities of Lumped Parameter Models on a 3D crystalline aquifer model *Journal of Hydrology*, Volume 525, June 2015, Pages 619-631
- Pasquet, S., Bodet, L., Longuevergne, L., Dhemaied, A., Camerlynck, C., Rejiba, F., Guérin, R. (2015) : 2D characterization of near-surface Vp/Vs : surface-wave dispersion inversion versus refraction tomography, *Near Surface Geophysics*, 13, 315-331
- Pauwels H., Négrel P., Dewandel B., Perrin J., Mascré C., Roy S. and Ahmed S. (2015) Hydrochemical Borehole Loggings For Characterizing Fluoride Contamination In A Heterogenous Aquifer (Maheshwaram, India), *Jour. of Hydrol.* 525, 302-312
- 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.
- Schuite, J., Longuevergne, L., Bour, O., Boudin F., Durand, S., Lavenant, N. (2015) : Inferring field-scale properties of a fractured aquifer from ground surface deformation during a well test, *Geophys.Res. Letters*, doi: 10.1002/2015GL066387
- Shorieh A., Porel G. and Razack M. (2015). Assessment of Groundwater Quality in the Dogger Aquifer of Poitiers, Poitou-Charentes Region, France. *Journal of Water Resource and Protection* Vol.7 No.3.
- Torrese P., Colantonio F., Greco P., Mari J.L., Porel P., Rainone M.L. and Signanini P (2015).3D porosity block of a fractured-karst aquifer: comparison between the porosity model achieved by 3D seismic and ERT imaging in the experimental site of Poitiers (France). 28th Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2015 - (SAGEEP 2015) - Austin, Texas, USA. ISBN: 978-1-5108-0248-3, pp 561-568