



BILAN GLOBAL & PERSPECTIVES 2013-2014

SOERE

Systèmes d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement

Éléments descriptifs du Système d'Observation

1. INTITULE DE LA PLATE-FORME ET SITE INTERNET

Nom du `SOERE : SOERE *H+ international*, réseau international de sites hydrogéologiques, pour la mesure et la modélisation du transfert et de la réactivité des eaux dans les aquifères hétérogènes.

Site internet : <http://hplus.ore.fr/> (nouveau site en construction: <http://hplus.ore.fr/joomla>)

2. COORDONNEES DES RESPONSABLES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Philippe Davy, directeur de recherche CNRS, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, campus de Beaulieu, 35042 Rennes, 0223236565, philippe.davy@univ-rennes1.fr

Tanguy Le Borgne, physicien adjoint CNAP, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, campus de Beaulieu, 35042 Rennes, 0223236702, tanguy.le-borgne@univ-rennes1.fr

3. STRUCTURES DE RATTACHEMENT

Laboratoire porteur : Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes (OSUR), UMS 3343 CNRS

Laboratoires impliqués :

- **UMR :** Géosciences Rennes (UMR 6118 CNRS), IC2MP (UMR 7285), Géosciences Montpellier (UMR 5243), EMMAH (UMR INRA-UAPV 114), Geosciences Azur (UMR 6526), BRGM, LSBB (UMS 3538 INSU/UAPV/UNS)
- **Observatoires :** Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes (OSUR), Observatoire de Recherche Méditerranéen en Environnement de Montpellier (OREME), Observatoire de la Côte d'Azur (OCA)

4. ÉTABLISSEMENT(S) OU ORGANISME(S) DE RATTACHEMENT :

- **Organismes :** CNRS / INSU, BRGM, INRA, Université Rennes I, Université de Poitiers, Université de Montpellier II, Université d'Avignon, Université de Nice
- **Partenaires institutionnels :** NGRI (Inde), CSIC (Espagne), Forschungszentrum Jülich (Allemagne)

5. RAPPEL DU CADRE D'ACTIVITE, DE LA STRUCTURE DU SYSTEME EN RESEAU, DES OBSERVATOIRES ELEMENTAIRES

Le SOERE *H+ international*, créé en 2012, est un réseau international de sites hydrogéologiques, qui regroupe le SO *H+* (Ploemeur, Poitiers, Majorque, Larzac), ainsi que 4 sites pilotés par des partenaires français (LSBB, Hyderabad) et européens (Llobregat, Krauthausen). Après sa labellisation en 2011, le SOERE *H+ international* a été doté d'un budget en Mars 2012, renouvelé en Décembre 2012. Les financements en infrastructure et équipement des sites de Krauthausen et Llobregat sont assurés par les institutions des pays correspondants.

6. ELEMENTS QUANTITATIFS : NOMBRE D'UNITES DE RECHERCHE CONCERNEES ET COMMUNAUTE SCIENTIFIQUE UTILISATRICE

Le SOERE *H+* regroupe 5 équipes de recherche en France et 2 équipes de recherche en Europe. La communauté scientifique utilisant les données est beaucoup plus large, et inclus les équipes suivantes :

En France : UPMC Paris, UBO Brest, Université de Nantes, Lhyges Strasbourg, LSCE Paris, Sisyphé Paris, IFP Paris, UPPA Pau, CEREGE Aix, LTHE Grenoble, CEFE Montpellier, Ecole des Mines de Paris.

A l'étranger : Université de Lausanne (Suisse), MIT (USA), Université d'East Anglia (UK), Oregon State University (USA), Université de Liège (Belgique), Université de Bochum (Allemagne), Politecnico di Milano (Italie), European Center for Geodynamics and Seismology (Luxembourg), Virginia Tech (USA), Université de Neuchâtel (Suisse), International Water Management Institute, Charles University of Prague (République Tchèque).

I Principaux faits marquants du SOERE

1) Scientifique : 1 ou 2 faits marquants

- **Grandes avancées scientifiques**

La mesure de la distribution des flux et du transport réactif : La caractérisation de l'hétérogénéité des écoulements et son impact sur le transport des éléments est au cœur du questionnement scientifique des sites du réseau H+. En complément des nouvelles méthodes de mesure de flux par fibre optique (Fig. 1, Read et al., 2013), des campagnes d'essais de traçage conservatifs et réactifs ont été menées en 2012 et 2013 (Dorn et al., 2012, Boisson et al., 2013, Delay et al., 2013). Les données obtenues apportent des informations critiques sur les transferts dans ces milieux très hétérogènes et permettent d'apporter de nouvelles contraintes sur les modèles de transport dans la zone critique (sol/zone non saturée/aquifère).

L'intégration des données hydro-géophysiques dans les modèles : Les données de sites H+ sont utilisées pour tester des modèles à différentes échelles par des équipes dépassant largement le cadre d'H+. Des avancées significatives ont été obtenues pour intégrer des données de différentes natures dans les modèles de transfert prenant en compte l'hétérogénéité du milieu (Bodin et al., 2012, Mazzilli et al., 2012, Dewandel et al., 2012, Klepikova et al., 2013, Dorn et al., 2013, Jimenez et al., 2013).

- **Publications emblématiques**

La liste des publications du SOERE pour la période 2012-2013 est donnée en annexe 1. On peut citer deux publications particulièrement emblématiques :

Benchmark hydrodynamique sur le site de Poitiers (Bodin et al., J. of Hydrol. 2012) : En exploitant la base de données hydrogéologique H+, le projet INSU MACH a permis de fédérer la plupart des équipes de recherches impliquées à l'échelle nationale dans la modélisation des réservoirs hydrogéologique (Géosciences Rennes, Sisyphe, LCD, LSCE LHyGeS Montpellier, Ecoles des Mines de Paris, Hydras Poitiers). L'exercice de modélisation consistait à prédire la réponse de la nappe lors de deux expériences hydrauliques en dipôle. Après retour des prédictions numériques fournies par chaque équipe, les expériences réelles sur le site ont été réalisées. Un tel benchmark de modélisation hydrogéologique en milieu calcaire est une première à l'échelle internationale.

Mesure spatialement distribuée de la température et des vitesses d'écoulement en forage par fibre optique (Read et al., Geophys. Res. Lett., 2013) : Depuis 2006, la fibre optique est apparue comme une innovation technologique majeure en hydrologie pour suivre les variations de températures et les flux d'eau. Pour tester son potentiel en hydrogéologie, des expériences innovantes ont été réalisées en 2012 et 2013 en collaboration avec les universités d'Oregon State University (John Selker, USA) et celle d'Eastanglia (T. Read et V. Bense, UK). Ces travaux ont montré tout l'intérêt de la fibre optique pour caractériser les écoulements et le transport thermiques en milieu hétérogène (Fig. 1, Read et al., 2013) et permettent d'envisager de nombreuses applications innovantes.

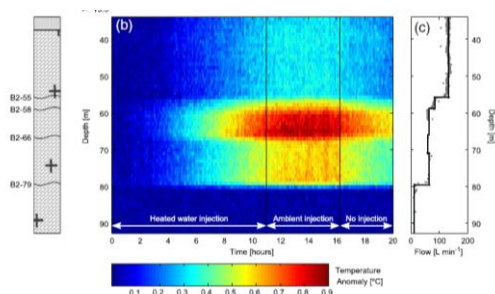


Fig. 1 : Profils de température mesurés par fibre optique en forage à différents temps dans le cadre d'une expérience de traçage thermique sur le site de Ploemeur (Read et al. 2013). La fibre optique permet de détecter l'arrivée du traceur.

2) Technique : 1 ou 2 faits marquants

- **Nouveaux équipements ou services originaux mis à disposition :**

La mise à disposition des équipements (sondes de forage, fibres optiques, instrumentation géophysique, mesures géochimiques) a beaucoup évolué notamment dans le cadre de l'équipex CRITEX (voir annexe 2).

- **Evolution majeure dans les données acquises ou dans les systèmes d'information :**

Une évolution notable dans les données acquises est le développement des méthodes hydrogéophysiques. Les mesures effectuées en 2012-2013 sur les sites du SOERE H+ couvrent une large gamme des méthodes géophysiques, incluant des campagnes géophysiques (sismique, électrique, géophysique de forage, résonance magnétique des protons, ground penetrating radar), des mesures hydrogéodésiques (inclinomètres longue base,

inclinomètres de forage, GPS différentiel), ainsi que des mesures gravimétriques (absolue et relative). L'ensemble de ces mesures constituent une base de données unique pour progresser vers l'application sur le terrain des concepts de caractérisation hydro-géophysique.

3) Structuration :

L'activité du SOERE depuis sa création a été dédiée au fonctionnement des sites pilotés par les partenaires français, au renforcement de l'équipement des sites en lien avec le projet CRITEX, et aux discussions scientifiques avec les partenaires internationaux.

- **Contribution marquante du SOERE dans la structuration nationale**

Au niveau national, le SOERE H+ international représente une évolution du SO H+ sur deux plans : *l'implication du BRGM*, acteur scientifique incontournable en France dans le domaine de l'hydrogéologie, comme tutelle du Service d'Observation ; et *l'élargissement du réseau à deux nouveaux sites* : le Laboratoire Souterrain de Rustrel (LSBB) qui représente une infrastructure exceptionnelle pour le suivi *in situ* des écoulements en conditions non saturées, et le site indien de Hyderabad suivi conjointement par le BRGM et le NGRI.

- **Démarche majeure engagée pour l'ouverture, la mutualisation, la fédération avec d'autres SOERE**

Le développement des échanges entre les SOERE H+ et RBV (Réseau des Bassins Versants) a été engagé dès la création du SOERE H+ car il présente un intérêt majeur pour :

- Traiter les questions scientifiques à l'interface entre les composantes souterraines et superficielles des écoulements qui s'avèrent cruciales pour estimer les flux d'eau et d'éléments chimiques dans le cycle hydrologique.
- Mutualiser les investissements en équipement, en particulier à travers l'équipex CRITEX, afin de doter les services des meilleurs instruments d'observation.
- Structurer la communauté de recherche scientifique sur la zone critique afin de pouvoir peser dans la structuration européenne.

Ce rapprochement s'est concrétisé par l'organisation d'une réunion commune des deux réseaux à l'occasion du lancement de l'Equipex CRITEX.

L'ouverture internationale du réseau a été particulièrement développée dans le cadre du SOERE. Deux rencontres H+ ont été organisées durant la période 2012-2013, réunissant l'ensemble des partenaires, y compris les partenaires étrangers (Jülich et Barcelone). H+ a co-organisé à Rennes la conférence internationale G-DAT en Octobre 2012 sur la datation des eaux souterraines. Cette conférence, qui a réuni environ 60 personnes provenant du monde entier, a contribué à la visibilité internationale du réseau H+. Enfin, la rencontre du SOERE H+ en 2013 a été organisée chez nos partenaires de Jülich (Allemagne). L'objectif de la rencontre était de rassembler les chercheurs européens développant des sites de recherche en hydrogéologie. En plus des partenaires du SOEREE, la réunion a réuni des participants de l'UFZ (Allemagne), l'université de Tübingen (Allemagne), l'université de Bochum (Allemagne), l'université de Liège (Belgique), l'université de Mons (Belgique), l'université de Copenhague (Danemark), le centre Bioforsk (Norvège) et l'université de Neuchâtel (Suisse). Cette réunion a donné lieu à des présentations scientifiques prospectives sur les champs de recherche abordés sur les sites, ainsi qu'à des discussions sur les opportunités de création d'un réseau européen.

II Perspectives et Evolution du projet

- **Projet scientifique et technique**

Outre la poursuite du suivi hydrologique, géochimique et géophysique des sites, pour assurer la continuité des chroniques long termes, un certain nombre d'opérations sont prévues en 2014, avec quatre objectifs principaux :

Le développement et la validation des méthodes d'imagerie hydro-géophysique : L'ambition est d'obtenir à la fois des images hautes résolution de l'hétérogénéité du milieu et des estimations à grande échelle des paramètres hydrologiques effectifs. Si certaines techniques sont arrivées à maturité, la plupart des méthodes doivent encore être testées sur le terrain et adaptées pour les milieux hétérogènes. Cette activité, appelée à se développer fortement dans les prochaines années dans le cadre de l'équipex CRITEX, inclura en particulier l'utilisation de méthodes hydro-géodésiques pour caractériser les structures actives à partir de l'analyse de la réponse aux variations hydrauliques (sites de Ploemeur, Larzac et LSBB), l'inversion de campagnes géophysiques

répétées dans le temps pour estimer les variations de teneur en eau (LSBB, Larzac, Ploemeur), et l'utilisation du bruit sismique pour caractériser les écoulements karstiques (site du Larzac, Fig. 2).

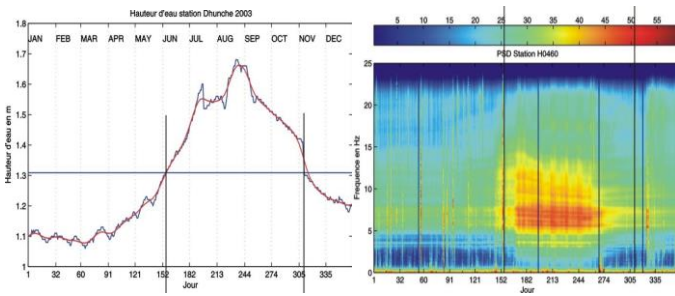


Fig. 2 : A gauche, hauteur d'eau. En bas, évolution du bruit sismique (PSD) au cours du temps. Une claire corrélation entre le niveau de bruit dans la bande 5-10 Hz et la hauteur d'eau est visible du jour 152 au jour 274 (Burtin et al. 2011, J. of Hydrol.)

La mesure des flux, des transferts et des temps de résidence : Concernant la mesure des temps de transfert, les campagnes de traçage, initiées en 2012, seront poursuivies en 2014 pour compléter la base de données H+ sur la distribution des temps de transfert dans les milieux souterrains (Choutuppal, Poitiers, Ploemeur). Par ailleurs, l'instrumentation de la zone non saturée, qui est un élément clé pour quantifier les flux aux interfaces eaux de surface – eau souterraine, est appelée à se renforcer avec les collaborations entre les SOERE H+ et RBV. Outre les suivis hydrogéophysiques répétés dans le temps (LSBB, Larzac, Ploemeur), de nouveaux instruments seront installés, incluant des tensiomètres et TDR (Fig. 3, Choutuppal, Ploemeur), des capteurs de température, ainsi que l'installation de fibres optiques permettant potentiellement de mesurer la distribution spatiale de la teneur en eau et des flux (Fig. 3). L'utilisation de la température comme traceur des flux est une méthode particulièrement prometteuse pour obtenir une caractérisation des flux à haute résolution spatiale. Après les premières mesures obtenues en 2012 et 2013, cette technique toute récente sera appliquée aux autres sites dans le cadre de l'équipex CRITEX.

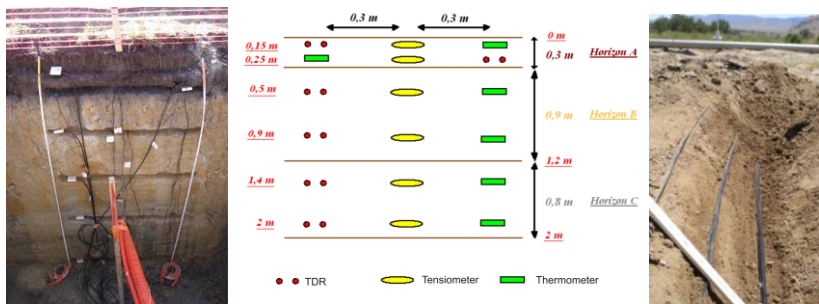


Fig. 3 : Instrumentation de la zone non saturée sur le site de Ploemeur incluant TDR, tensiomètres et capteurs de température. La photo de droite illustre l'installation de fibre optique dans le sol afin de suivre la distribution spatiale de la teneur en eau via la mesure de température (from Amherst, University of Massachusetts).

La confrontation des modèles aux données et le problème inverse en hydrogéologie: L'essentiel des travaux dans ce domaine se focaliseront en 2014 sur l'utilisation conjointe d'une diversité de données (en particulier les données hydrogéophysiques issues des nouvelles méthodes d'imagerie) pour conditionner et mieux contraindre les simulations numériques (Fig. 4). L'objectif en particulier est d'étudier l'intérêt de combiner des méthodes hydrologiques (mesures de débit, tests de traçages, datation) et des méthodes géophysiques (GPR, sismique, électrique, hydrogéodésie...).

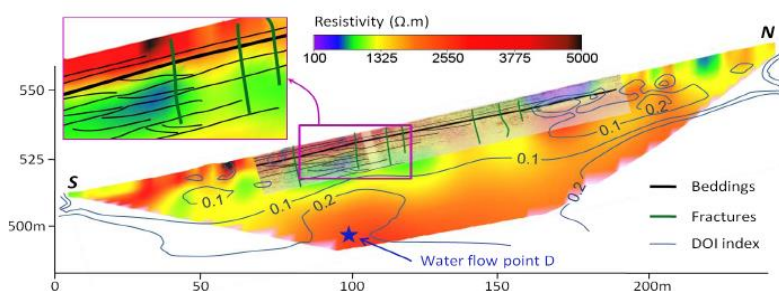


Figure 4.a : section géophysique sur le site du LSBB : Interprétation croisée des données géoradar (GPR) et de tomographie électrique (ERT) . Sections de mesures LSBB01, section GPR (GPRC1-LS01) et ERT (ERTC7-256-LS01).(Carriere. et al. Journal of Applied Geophysics - 2013)

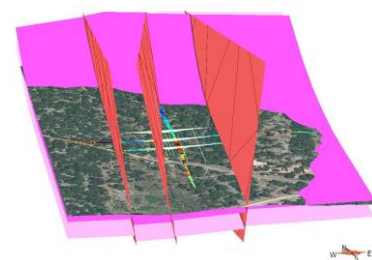


Fig. 4b Vue 3D du géomodel du site expérimentale de la sortie de secours du LSBB. les discontinuités géologique verticales -en rouge- et horizontales -en violet et rose- ont été caractérisées par méthodes géophysique. (Ollivier, C. Rapport de master 2, UMR EMMAH, 2013)

La caractérisation des transformations biogéochimiques et du cycle des éléments : Avec les progrès effectués dans le domaine de l'imagerie, de la mesure des flux et des temps de transfert, la caractérisation des propriétés de transport réactif devient abordable sur les sites H+ et constitue un enjeu important pour la prospective du réseau (Boisson et al., 2013, Delay et al., 2013, Garing et al., 2013). La contribution des eaux souterraines dans les

cycles biogéochimiques a été relativement peu documentée jusqu'à présent, ce qui pourrait expliquer les difficultés récurrentes rencontrées pour effectuer des bilans géochimiques du cycle hydrologique. *Cette question rejoint l'une des questions centrales du réseau RBV et sera traitée de manière coordonnée.* Les opérations lancées depuis 2012 seront poursuivies en 2014. Ces dernières incluent l'étude des interactions eau-roche (Poitiers, LSBB), du rôle des microorganismes dans le transport réactif (dénitrification, Ploemeur, Poitiers), du rôle des processus de mélange sur les réactions biogéochimiques (en particulier à l'interface eau douce - eau salée voir Fig. 5, site de Majorque), et de l'impact des structures de recharge sur les propriétés chimiques, notamment leur impact sur les concentrations en fluor créant un risque sanitaire majeur (site de Maheshwaram).

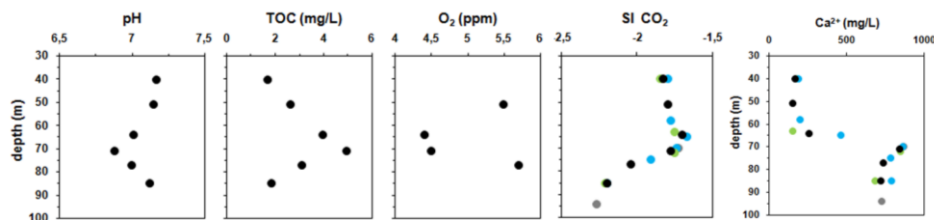


Fig. 5 : profils géochimiques mesurés sur le site de Majorque à l'interface entre eau douce et eau salée (la transition se fait environ à 70 m de profondeur (Garing et al., 2013))

- **Paramètres et données**

L'évolution des paramètres et données mesurées prévues en 2014 est donnée en annexe 2.

- **Systèmes d'information**

Concernant la *mise à disposition des données*, le SOERE a permis de réaliser des progrès importants, avec l'intégration des nouveaux sites du réseau et la mise à niveau de l'ensemble des sites. Ceci a été possible grâce au recrutement de CDDs, cofinancés par le SOERE H+ et les équipes pilotant les sites. Le taux d'alimentation de la base de données est désormais satisfaisant, avec cependant encore quelques disparités entre site. Cet effort sera poursuivi en 2014. Le programme SOERE a permis de développer significativement l'accessibilité à la base de données par la création d'une nouvelle interface google earth. L'un des points que nous souhaitons développer est l'intégration des données 3D de type géomodeler (voir Fig. 4b). La possibilité de visualiser des données de différentes natures en trois dimensions est un élément fondamental pour la définition des modèles hydrogéologiques. Dans le cadre du SOERE, cette évolution se fera en collaboration avec le BRGM, qui est à la pointe dans ce domaine. Par ailleurs, le site web du réseau a été entièrement rénové en 2013 et sera opérationnel en 2014 (voir la nouvelle version en test : <http://hplus.ore.fr/joomla>).

- **Ouverture à d'autres communautés scientifiques**

Des convergences claires entre les SOERE H+ et RBV apparaissent sur des thématiques scientifiques (échange eaux de surface – eaux souterraines, transport réactif et processus biogéochimiques) ou des développements technologiques (fibre optique pour la mesure spatialement distribuée de la température et des flux, méthodes d'imagerie hydrogéophysiques). Le développement des échanges entre les réseaux H+ et RBV se concrétisera dans les prochaines années par des réunions conjointes (comme celle organisée fin 2012) et l'équipement des sites avec la dernière génération d'instruments hydro-géophysiques et de suivi chimique dans le cadre de l'équipex CRITEX, piloté conjointement par les réseaux RBV et H+.

- **Insertion dans les dispositifs nationaux, européens et internationaux**

L'agrégation d'équipes européennes dans le réseau H+ international, ainsi que le renforcement des liens avec le réseau des bassins versants, préfigurent la création d'un réseau européen de sites de recherche sur les eaux souterraines et les bassins versants, ayant une taille suffisante pour devenir une infrastructure européenne. Un réseau d'observatoires similaire a été mis en place aux Etats Unis depuis 2007 (<http://www.criticalzone.org/>). Pour que ce projet puisse émerger en Europe dans le cadre du nouveau programme cadre pour la recherche et l'innovation, "horizon 2020", il faut que dès maintenant le CNRS et ses partenaires s'engagent dans des négociations avec les partenaires européens et la commission européenne.

- **Gouvernance**

La gouvernance du SOERE H+ international est décrite dans les rapports d'avancement. Les équipes internationales (Barcelone et Jülich) participent au réseau mais ne reçoivent pas de financement de la part du SOERE sauf pour des échanges de chercheurs dans le cadre des projets ou expériences développés sur les sites. La direction est composée de l'équipe de direction (Philippe Davy, Tanguy Le Borgne) et des responsables de sites.

II : Moyens affectés : Projection sur l'année à venir.

Présentation des moyens demandés et disponibles

L'estimation du budget global de fonctionnement du SOERE H+ pour l'année 2014 est donnée dans le tableau ci-dessous. Ce budget prend en compte les différents cofinancements, avec en particulier le financement des thèses associées à l'étude des sites. Les financements en infrastructure et équipement des sites de Krauthausen et Llobregat sont assurés par les tutelles et institutions des pays correspondants. Le budget correspondant aux équipements en commun de l'équipex CRITEX est indiqué dans une colonne à part entière.

Budget annuel	Animation du réseau	Base de données	Ploemeur (Rennes)	SEH (Poitiers)	Larzac (Montpellier)	Majorque (Montpellier)	LSBB (Avignon)	Hyderabad (BRGM)	Equipements communs (CRITEX)	Total
Missions	41	10	10	2,5	5	7,5	3	25	18	83
Fonctionnement		10	12	6,5	5	9,5	15	43		101
Personnel permanent détaché	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	90		90
Personnel temporaire (dont thèses)		15	46	5	33	4	57	32	40	232
Équipement			37	30	12			35	330	444
TOTAL	20	35	105	44	55	21	75	225	370	950

Tableau 1: Budget global 2014

⁽¹⁾Le coût du personnel permanent (coût complet) n'est comptabilisé que pour le BRGM.

Le budget global du SOERE est en augmentation par rapport à 2013. Ceci provient i) des investissements CRITEX qui seront effectués principalement en 2014, ii) de la prise en compte du personnel permanent détaché pour le BRGM et iii) de l'augmentation du nombre d'étudiants en thèse.

Le plan de financement 2014 ci-contre (tableau 2) a été établi à partir du budget détaillé et des contributions des différents partenaires: l'INSU, les universités et les OSU qui contribuent au fonctionnement de leurs services d'observation, et les moyens obtenus sur des projets de recherche, ainsi que par l'équipex CRITEX. La contribution demandée au programme SOERE est de **150 k€/an** ce qui est équivalent au budget 2013. Un échéancier des investissements, missions, animations et moyens RH imputés au SOERE est donné dans le tableau 3. Les devis correspondant sont donnés en annexe 3.

Budget annuel	Total (k€)
Missions	83
Fonctionnement	191
Personnel temporaire	232
Équipement	444
TOTAL	950
INSU SO	45
Universités, OSU, BRGM	280
Programmes (UE, ANR, INSU, ADEME, région)	105
Equipex CRITEX	370
SOERE	150

Tableau 2: Plan de financement pour l'année 2014

Le budget demandé dans le cadre du programme SOERE 2014 est axé sur plusieurs points:

Le fonctionnement et le suivi des sites, qui est la mission fondamentale du SOERE, nécessite des missions régulières sur site et la maintenance des instruments. Aux cours des dernières années, les suivis hydrologiques, géophysiques et géochimiques ont pu être assurés dans de bonnes conditions, quasiment sans perte de données.

L'instrumentation des sites et l'accompagnement du lancement de l'équipex CRITEX. A terme, cet equipex mettra à disposition du réseau H+ un parc d'instrument de dernière génération, pour le suivi long terme et pour la mise en place d'expérimentations regroupant un grand nombre d'instruments complémentaires. Après le lancement de l'équipex en 2013, l'installation des nouveaux équipements va monter en puissance en 2014.

L'animation du réseau. La rencontre H+, effectuée à Jülich en Juin 2013, a rassemblé l'essentiel des chercheurs européens développant des sites hydrogéologiques. Ce type de réunion participe grandement à la visibilité internationale de réseau H+ et permet de positionner H+ dans la construction des réseaux européens. Une nouvelle rencontre européenne est prévue en 2014 chez nos partenaires de Barcelone.

L'intégration et la mise à disposition des données dans la base de données H+. Le recrutement d'un ingénieur CDD en 2012 et 2013 pour la coordination de l'intégration des nouveaux sites dans 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. 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.

	Objet	Période(s) prévue(s)	Montant estimé (k€)	Montant estimé (k €)
Missions	Réunion générale du réseau	Juin	15	40
	Collaborations scientifiques (hyderabad, Poitiers)	Mars-septembre	5	
	Expérimentations (Ploemeur, Hyderabad, Majorque, Larzac)	Février-septembre	20	
Fonctionnement	Analyses chimiques (Poitiers, hyderabad, Majorque, LSBB)	Février - septembre	15	19
	Informatique, Logiciels	Février - juin	4	
Equipement	Fluorimètre de terrain	Février - mars	14.5	48.5
	Pompe de prélèvement	Février - mars	7	
	Sondes diagraphies + treuil	Mars - juin	15	
	Instrumentation zone non saturée	Mars - juin	4	
	Maintenance matériel gravimétrie	Mars - juin	4	
	Ordinateur de terrain	Mars	4	
Personnel temporaire	Indemnisation stages	Janvier - juin	7.5	42.5
	CDDs Base de données et soutien technique aux sites (LSBB)	Janvier - septembre	35	
TOTAL			150	

Tableau 3 : Echancier des investissements, missions, animations et moyens RH

III Annexes

Annexe 1: Liste des publications H+ 2012-2013

- soumises

- Klepikova, M. V., T. Le Borgne, O. Bour, K. Gallagher, R. Hochreutener and N. Lavenant, Passive temperature tomography experiments in fractured media, soumis à *Journal of hydrology*.
- Leray, S., Dreuzy, J.-R. d., Aquilina, L., Vergnaud, V., Labasque, T., Bour, O., and Le Borgne, T. (2013), Temporal evolution of age data under transient pumping conditions, *Journal of Hydrology*.

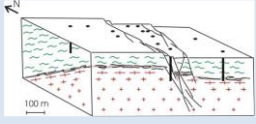


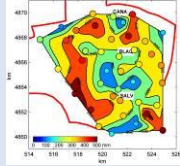
- 2013





- Carrière S., Chalikakis K., Sénéchal G., Danquigny C., Emblanch C., 2013. Combining Electrical Resistivity Tomography and Ground Penetrating Radar to study geological structuring of karst Unsaturated Zone. *Journal of Applied Geophysics*, 94, p. 31-41, doi : 10.1016/j.jappgeo.2013.03.014.
- Klepikova M. V., Le Borgne T., Bour O., and J.-R. de Dreuzy, Inverse modelling of flow tomography experiments in fractured media, *Water Resour Research*, sous presse.
- Dorn C., Linde N., Le Borgne T., Bour O. and J.-R. de Dreuzy, Conditioning of stochastic 3-D connected fracture networks to hydrological and geophysical data, *Advances in Water Resources*, sous presse.
- Jiménez-Martínez J, Longuevergne L., Le Borgne T., Davy P., Russian A., Bour O., Temporal and spatial scaling of hydraulic response to recharge in fractured aquifers: Insights from a frequency domain analysis, *Water Resour. Res.*, 49, doi:10.1002/wrcr.20260.
- Read T., Bour O., Bense V., Le Borgne T., Goderniaux P., Klepikova, M.V., Hochreutener R., Lavenant N., and Boschero V., Characterizing groundwater flow and heat transport in fractured rock using Fibre-Optic Distributed Temperature Sensing, *Geophysical Research Letters*, vol. 40, 1–5, doi:10.1002/grl.50397, 2013
- Boisson A, de Anna P, Bour O, Le Borgne T, Labasque T, and Aquilina L, Reactive push-pull tests to quantify nitrate consumption, nitrous oxide and nitrite production during denitrification, *J. of Contaminant Hydrology*. Volume 148, pp 1-11, 2013.
- Leray S., de Dreuzy J.-R., Bour O., Bresciani, E., Numerical modeling of the productivity of vertical to shallowly dipping fractured zones in crystalline rocks, *Journal Of Hydrology*. Volume 481, pp 64–75, 2013.
- Delay F., Porel G., Chatelier M., 2013, A dual flowing continuum approach to model denitrification experiments in porous media colonized by biofilms, *J. Contam. Hydrol.*, 150, pp. 12-24.
- Garing C., Luquot L., Pezard P.A. and Gouze P. (2013a) Electrical and flow properties of highly heterogeneous carbonate rocks, *AAPG bulletin* (in press) DOI:10.1306/05221312134
- Garing C., Luquot L., Pezard P.A. and Gouze P. (2013b). Geochemical investigations of saltwater intrusion into the coastal carbonate aquifer of Mallorca, Spain, *Applied Geochemistry* (in press).
- Hébert V. Gouze P., Mangane P.O., Pezard P., (2013), Quantification of carbonates petrophysical properties using 3D X-ray tomography, *Journal of Sedimentary Research* (in press).

- 2012

- Dorn, C., N. Linde, T., Le Borgne, O. Bour and M. Klepikova, Inferring transport characteristics in a fractured rock aquifer by combining single-hole GPR reflection monitoring and tracer test data, accepté à *Water Resources Research*.
- Leray S., de Dreuzy J.-R. Bour O., Labasque T. and Aquilina L., Contribution of age data to the characterization of complex aquifers, *Journal of Hydrology*, Volumes 464–465, 25 September 2012, Pages 54-68
- Aquilina L., Vergnaud-Ayraud V., Labasque T., Bour O., Molénat J., Ruiz L., de Montety V., De Ridder J., Roques C., and Longuevergne L., Nitrate dynamics in agricultural catchments deduced from groundwater dating and long-term nitrate monitoring in surface- and groundwaters, *Science of The Total Environment*, Volumes 435–436, 1 October 2012, Pages 167-178
- Dewandel B, J.C. Maréchal, O. Bour, B. Ladouche, S. Ahmed, S. Chandra, and H. Pauwels., Upscaling and regionalizing hydraulic conductivity and efficient porosity at watershed scale in crystalline aquifers, *J. of Hydrol.*, V 416-417, 24 January 2012, Pages 83-97
- Dorn, C., N. Linde, J. Doetsch, T., Le Borgne and O. Bour, Fracture imaging within a granitic rock aquifer using multiple-offset single-hole and cross-hole GPR reflection data, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 78, March 2012, Pages 123-132
- N. Mazzilli, H. Jourde, T. Jacob, V. Guinot, N. Le Moigne, M. Boucher, K. Chalikakis, H. Guyard and A. Legtchenko, 2012 : On the inclusion of ground-based gravity measurements to the calibration process of a global rainfall-discharge reservoir model: case of the Durzon karst system (Larzac, southern France) *Environmental Earth Sciences*, DOI: 10.1007/s12665-012-1856
- S. Deville, T. Jacob, J. Chéry, C. Champollion, 2012 : On the impact of topography and building mask on time varying gravity due to local hydrology, *Geophysical Journal International*, in press
- Bodin J., Ackerer P., Boisson A., Bourbiaux B., Bruel D., de Dreuzy J.-R., Delay F., Porel G., Pourpak H., 2012, Predictive modelling of hydraulic head responses to dipole flow experiments in a fractured/karstified limestone aquifer: Insights from a comparison of five modelling approaches to real-field experiments, *J. Hydrol.*, 454 (1-2), pp. 82-100.

Annexe 2 : Evolution des paramètres et données mesurées sur les sites

Field site	Ploemeur (France)	S.E.H. Poitiers (France)	Campos, Mallorca (España)	Durzon, Larzac (France)
Scientists in charge	O.r Bour (Rennes)	G. Porel (Poitiers)	S. Gautier (Montpellier)	J. Chery (Montpellier)
MAIN SCIENTIFIC TOPICS	MONITORING OF A PUMPED FRACTURED AQUIFER	ADAPTED SETUP FOR EXPERIMENTS AND MODELLING	STUDY OF FRESH WATER-SALINE WATER INTERFACE	CAPACITIVE BEHAVIOR OF A KARSTIC AQUIFER
Aquifer type	fractured, weathered crystalline rocks 	Fractured, karstified limestone aquifer 	karstic reefal carbonates 	karstic carbonates 
Characteristics	10 km ² , 60 wells (30-150 m depth), cored boreholes. GPS, tiltmeters, sismometer ..	40000 m ² , 32 wells (125 m depth), 2 vertical cored boreholes, 2 oblique cored boreholes.	10 000 m ² , 18 piezometers (100 m depth for 13 of them, one 250 m deep)	100 km ² , tiltmeters, flowmeters, gravimeters, infiltration
Specific interest	<ul style="list-style-type: none"> Strong signal and fast flow due to groundwater abstraction Long term evolution, after twenty years of pumping the system has not reached equilibrium 	<ul style="list-style-type: none"> Dense and regular borehole grid, test and validate groundwater flow and transport models, Biochemical reactivity with in-situ experiments 	<ul style="list-style-type: none"> Hydro-geophysical monitoring of saline intrusion in coastal aquifers. µm to 100 m scale characterization 	<ul style="list-style-type: none"> Hydrogeodetic instrumentation geophysical imagery of structures and water content
Monitoring, experimentation and modeling				
Monitoring	Hydrology : piezometric levels, flow rate, climatic variables Chemistry : major ions and traces, CFC ages, isotopes, Radon Geophysics :GPS, tiltmeter, seismic,	Hydrology : piezometric levels, groundwater temperature, climatic variables	Hydrology : piezometric levels (Hydreka, WestBay) Chemistry : major ions with WestBay multi-packer Geophysics : resistivity with permanent array	Hydrology : Pluviometry, Spring discharge Flowmeter and infiltration as a function of depth, EVT Geodesy : long base tiltmetry, SG gravimetry
Experimentation	Pumping and flowmeter tests, ground surface deformation response to pumping tests, reactive tracer tests, time lapse geophysical imagery	Borehole flowmeter tests, imagery, and geophysics, Monopole and dipole pumping tests, Single- and cross-borehole slug tests, 3D seismic imaging, Tracer tests.	Pumping tests Tracer tests in push-pull mode with CoFIS sonde	MRS, electric imagery, Absolute gravity, relative gravity network, surface to depth gravity
Modeling	3D aquifer flow and transport model, effective model for pressure diffusion, inverse modeling of radar data	Benchmark of flow and transport models (2D/3D, EPM/DFN, forward/inverse) against experimental field data.		Inverse modeling of gravity time series using local reservoir models of the vadose zone
Deliverables, and associated tasks	<ul style="list-style-type: none"> Test of new methods for characterizing the flow heterogeneity Hydrogeodetic methods Modeling approaches for fractured media Chemical reactivity in relation to pumping Distribution of residence and transfer times Aquifer vulnerability to climatic and anthropic changes 	<ul style="list-style-type: none"> Development of new experimental and theoretical approaches for the characterization of multi-porosity aquifers, Hydraulic and geometric characterization of high-permeability flow paths, Test of new tracing techniques, Coupled inverse modelling using flow, tracer and seismic data. 	<ul style="list-style-type: none"> Test of new methods for characterizing the flow heterogeneity. Development of hydrogeophysical methods for permanent, on-line salt-water intrusion monitoring. Detailed structural description from µm to 100 m scale. 	<ul style="list-style-type: none"> time gravity series associated to capacitive function of the aquifer vertical and horizontal quantification storage variation hydromechanical behavior associated to water storage in the vadose zone aquifer storage variation over decadal periods
Evolution and new activities (2012-2014)	<ul style="list-style-type: none"> Fiber Optic Distributed Temperature Sensor experiments (borehole-flow measurements and unsaturated zone or river-groundwater interactions). Field-Scale Experimentations in hydrogeodesy to develop new methodologies for the characterization of active structures in the subsurface Analysis of flow and temperature data in the unsaturated zone to monitor flow and to calibrate the response of tiltmeters to hydrological variations. 	<ul style="list-style-type: none"> Continuation of borehole flow logging and inter-borehole tracer-tests, Research project on the origin and hydrochemical reactivity of Selenium in groundwater (borehole sampling and analysis of black clays) Monte-Carlo simulations of synthetic karst networks conditioned by geophysical (seismic) data 	<ul style="list-style-type: none"> Repairs and updates of the geophysical monitoring arrays. New semi-continuous downhole temperature monitoring from Bragg sensors along an optical fiber 	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance of iGrav supraconducting gravimeterfor: monitoring and modeling of water storage in the karst area Test of water flow monitoring and karst imaging with seismic noise correlation

Field site	LSBB (France)	Hyderabad (Inde)	Krauthausen (Deutschland)	Llobregat (España)
Scientists in charge	C. Danquigny (Avignon)	J.C. Maréchal (Montpellier)	H. Vereecken (Jülich)	J. Carrera (Barcelona)
MAIN SCIENTIFIC TOPICS	LARGE SCALE TUNNEL WITHIN THE UNSATURATED ZONE	TROPICAL FRACTURED AQUIFER UNDER OVEREXPLOITATION	HYDROGEOPHYSICAL EXPERIMENTAL SITE	MONITORING OF A SEA WATER INTRUSION BARRIER
Aquifer type	Fractured, karstic carbonates 	Fractured, weathered crystalline rocks 	Alluvial terrace 	Alluvial delta deposits 
Characteristics	12 000m ² , 60 flow points (30-500 m depth), GPS, tiltmeter, sismometer, ..	Choutuppall (430000 m ² , 19 piezometers), Maheshwaram (55 km ² , 250 piezometers)	1500 m ² , 80 piezo (10 m depth)	10 km ² , 30 wells (30-100 m depth)
Specific interest	<ul style="list-style-type: none"> • Direct access inside the Unsaturated Zone. • Detailed characterization of structure, fluxes and chemistry in the unsaturated zone. • Long terms monitoring of fluxes and chemistry 	<ul style="list-style-type: none"> • Long term evolution of piezometry and chemistry in response to overexploitation, climatic and anthropogenic changes • Long term collaboration with NGRI 	<ul style="list-style-type: none"> • Heterogeneous sedimentary deposits • Very dense network of piezometers in the near surface (easy to access) • Large database of hydrogeophysical data 	<ul style="list-style-type: none"> • One of the first project of its kind to be undertaken in Europe • Well known geology • Long term, well monitored injection of water. • Sea-water intrusion
Monitoring, experimentation and modeling				
Monitoring	Hydrology : rainfall, flow rates, physical parameters Hydrochemistry : major ions ; Total Organic carbon, isotopes Geophysics : seismic, electric, electromagnetic, gravimetry, and magnetometry	Hydrology : piezometric levels, pumping flow rate, climatic variables Chemistry : major ions and traces, isotopes Geophysics : electrical resistivity tomography Landuse change	Hydrology : Piezometric levels (automatic pressure sensors + manual)	Hydrology : Piezometric levels Hydrochemistry : major ions and emerging contaminants, Ph, conductivity, redox potential, temperature
Experimentation	System dynamics under constraint Geophysical imagery methodological and instrumental development	pumping tests, flowmeter tests, tracer tests, time lapse geophysical imagery, artificial recharge, monitoring of recharge	Long term tracer tests, hydrogeophysical imaging of tracer tests (electrical resistivity, GPR), direct flow measurements, cone penetration tests	The injection acts as a long term tracer test both in terms of quality and temperature.
Modeling	3D to 4D karst aquifer model development	2D regional groundwater flow modeling 1D geochemical modeling of water-rock interactions	Stochastic analysis of flow and transport, Inverse modeling of Electrical Resistivity Tomography	Available well calibrated aquifer model for flow, transport and saline intrusion
Deliverables, date and associated tasks	<ul style="list-style-type: none"> • Bimensuel hydrodynamic and hydrochemical data. • Petrophysical characterisation • Different scales THMBC dynamic coupling. 	<ul style="list-style-type: none"> • Heterogeneity of weathering profile at catchment scale • Relationships between hydrodynamic characteristics and transport parameters • Origin and fate of geogenic contaminants, • Water quality vulnerability to anthropic and climate change. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogeophysical measurement techniques for characterization of the subsurface environment and flow and transport processes • Development and validation of flow and transport models in heterogeneous media 	<ul style="list-style-type: none"> • Test and validation of the hydraulic barrier technology against sea water intrusion
Evolution and new activities (2012-2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Geophysical monitoring of water infiltration in karst media during rainy event • Multiple geophysical methods coupling to develop a 3D hydrogeological model 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact of managed aquifer recharge structure on water quality • Spatial distribution of water stored in MAR • Vertical structure of flow path in fractured media • Transport characterization in vadoze zone 	<ul style="list-style-type: none"> • A number of new activities are developed and funded by the European partners • A European project is planned to be submitted in 2014 for linking teams developing hydrogeological sites in Europe. 	<ul style="list-style-type: none"> • A number of new activities are developed and funded by the European partners • A European project is planned to be submitted in 2014 for linking teams developing hydrogeological sites in Europe.

Annexe 3 : Devis des investissements et équipements prévus dans le plan de financement 2014

Nous indiquons ici les investissements prévus en 2014n financés ou co-financés par le SOERE. Les instruments CRITEX ne sont pas mentionnés ici car ils seront entièrement financés par CRITEX.

- Devis_1 : Fluorimètre de terrain => 14 k€
- Devis_2 : Treuil modèle 212, Sonde Caliper et Sonde de verticalité avec magnétomètre => 15 k€
- Devis_3 : Instrumentation diagraphie en forage (sonde televiwer, logiciel, station d'acquisition) => 37 k€
- Devis_4 : Tensiomètres => 2000 \$
- Devis_5 : Maintenance gravimètre => 3.8 k€
- Devis_6 : caméra de forage => 11000 \$
- Devis_7 : Pompe de prélèvement MP1 => 7 k€
- Devis_8 : Ordinateurs de terrain Dell => 4 k€
- Devis_9 : Sonde EM31 => 30 k€
- Devis_10 : Images satellite pour interférométrie radar (INSAR) => 17,8 k€