



RAPPORT D'AVANCEMENT 2012 SOERE

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

Éléments descriptifs du Système d'Observation

Intitulé 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 : hplus.ore.fr

Coordonnées des responsables scientifiques et techniques

Nom du Responsable :

Philippe Davy, directeur de recherche CNRS, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, bâtiment 14 bis, campus de Beaulieu, 35042 Rennes, 0223236565, philippe.davy@univ-rennes1.fr

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, HydrASA, UMR 6532, *Géosciences* Montpellier, UMR 5243, EMMAH, UMR 114, *Geosciences Azur*, UMR 6526, BRGM, Hydrogeology group CSIC – Université Polytechnique de Catalogne (Espagne), Forschungszentrum Jülich (Allemagne)
- **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)

Établissement(s) ou Organisme(s) de rattachement :

- CNRS / INSU
- BRGM
- Université de Rennes I, Université de Poitiers, Université de Montpellier II, Université d'Avignon
- Université Polytechnique de Catalogne (Espagne)
- NGRI (Inde)
- CSIC (Espagne)
- Forschungszentrum Jülich (Allemagne)

Rappel du cadre d'activité, de la structure du système en réseau, des observatoires élémentaires

Le SOERE *H+* international, créé en 2012, regroupe le SO *H+* (Ploemeur, Poitiers, Majorque, Lazrac), ainsi que 4 sites pilotés par des partenaires français (LSBB, Hyderabad) et européens (Llobregat, Krauthausen). La mission première de *H+* est de maintenir et de coordonner un réseau de sites expérimentaux capables de fournir des données pertinentes – y inclus des chroniques ou expériences long terme – pour la caractérisation, la quantification et la modélisation des transferts d'eau, d'éléments et d'énergie dans les aquifères souterrains. Des objectifs scientifiques spécifiques et complémentaires sont définis en fonction des sites instrumentés. *H+* a pour vocation de créer un lien pérenne entre les équipes de recherche intéressées par les aspects théoriques, numériques ou expérimentaux des transferts en milieu hétérogène. *H+* a aussi pour mission d'établir un partenariat entre la recherche fondamentale, la formation et les acteurs opérationnels.

I : Rapport scientifique sur les études passées et en cours

1) Préambule

Après sa labellisation en 2011, le SOERE *H+* international a été doté d'un budget en mars 2012. L'année 2012 a été dédiée à l'intégration des nouveaux sites pilotés par les partenaires français et aux discussions avec les partenaires internationaux pour de la mise en place de nouvelles collaborations. Ces dernières seront initiées en 2013, les financements en infrastructure et équipement des sites de Krauthausen et Llobregat étant assurés par les tutelles et institutions des pays correspondants. Ce rapport détaille en particulier les informations concernant l'intégration des deux nouveaux sites du SOERE *H+* international pilotés par les partenaires français: le LSBB et Hyderabad.

1) Avancées scientifiques

Le réseau SOERE *H+* international est le fruit d'une réflexion menée depuis plusieurs années pour faire évoluer le réseau *H+* France au niveau des sites, des équipes participantes et des collaborations internationales. La création d'un réseau international de sites hydrogéologiques est aussi motivée par la demande de plusieurs équipes étrangères de participer à ce réseau unique en Europe. Le SOERE *H+* international représente un cadre opératoire pour cette évolution du réseau qui puisse:

- garantir la pérennité des infrastructures avec le respect des objectifs scientifiques définis,
- assurer la collecte et la sauvegarde des données,
- favoriser (encore plus) l'utilisation des données et des infrastructures par des projets de recherche internationaux,
- profiter des compétences et de la dynamique développées au sein d'*H+* autour de l'instrumentation et de la modélisation *sensu lato*.

Des objectifs scientifiques spécifiques et complémentaires sont définis en fonction des sites instrumentés : l'impact de l'exploitation sur le cycle de l'eau (Ploemeur et Hyderabad), le couplage entre la matrice poreuse et les structures fortement localisées (fractures ou karsts) (S.E.H. Poitiers), le cycle de l'eau sur de grands systèmes karstiques (Durzon), le monitoring des intrusions d'eau salée (Majorque), les écoulements dans la zone non saturée (LSBB), le développement des méthodes d'imageries géophysiques (Krauthausen), la technologie de barrière hydraulique contre les intrusions d'eau saline (Llobregat) . L'annexe 1 synthétise les activités scientifiques sur les nouveaux sites intégrés au SOERE *H+* international. Les activités menées sur les sites du SO *H+* sont synthétisée dans le rapport transmis à l'INSU en Octobre 2012 (annexe 6).

Les collaborations ont débuté dès 2011 entre les équipes du SO *H+* France et les nouvelles équipes du SOERE. Un inclinomètre a été installé par Géosciences Montpellier pour mesurer les déformations sur le LSBB. Ce type d'instrument, permettant de mesurer des déformations très faibles liées au cycle hydrologique, est déjà installé sur les sites de Ploemeur et du Larzac. Le LSBB présente des conditions de bas bruit particulièrement intéressantes pour améliorer la précision de cet outil. Par ailleurs, une thèse en cotutelle entre Géosciences Rennes et le BRGM a débuté en 2011 sur la caractérisation des propriétés hydrauliques et de transport de l'un des deux sites d'Hyderabad. L'étudiant en thèse, Nicolas Guiheneuf partage son temps entre le site d'Hyderabad et Géosciences Rennes. Plusieurs visites des équipes de Géosciences Rennes et Géosciences Montpellier ont eu lieu à Hyderabad pour faire des mesures spécifiques, installer des instruments et mettre en place des expérimentations adaptées.

Après une première réunion qui a rassemblé à Paris le 21 mars 2012 les partenaires de *H+* France et les partenaires français pilotant les nouveaux sites (LSBB, Hyderabad), une seconde réunion s'est déroulée à Rennes les 17-18 Octobre 2012 réunissant l'ensemble des partenaires, y compris les partenaires étrangers (Jülich et Barcelone). A cette occasion des discussions ont eu lieu sur les collaborations possibles sur les sites pilotés par les partenariats internationaux. La première réunion *H+* de l'année 2013, qui se déroulera à Jülich, sera destinée à lancer les collaborations sur le site de Krauthausen. La deuxième réunion de l'année 2013 aura lieu à Barcelone.

- **Exploitation et mise à disposition des données**

Les paramètres mesurés sur les nouveaux sites du SOERE sont indiqués dans l'annexe 1 et la liste des équipes exploitant ces données est donnée en annexe 4. Les informations correspondantes pour les sites du SO *H+* sont données dans la fiche synthétique en annexe 6. Un effort important a été fourni en 2012 pour l'intégration des sites de Hyderabad et du LSBB dans la base de données *H+* (figure 1). Les fournisseurs de données ont été formés à la base *H+* et les premières données ont été insérées. Des adaptations sont en cours pour faire évoluer la base de données afin qu'elle puisse accueillir des nouveaux types de données mesurées sur les nouveaux sites. Une réunion de travail sur la base de données *H+* aura lieu début 2013 pour finaliser ces adaptations.

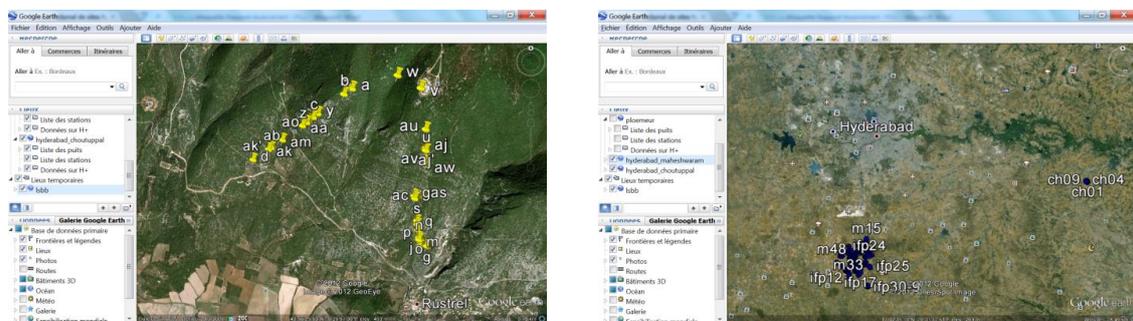


Fig. 1: intégration des sites du LSBB et Hyderabad dans l'interface google earth de la base de données H+. A gauche : stations de mesure des écoulements dans la galerie du LSBB, à droite : forage instrumentés sur le site de Hyderabad (les données sont accessibles sur le site internet hplus.ore.fr).

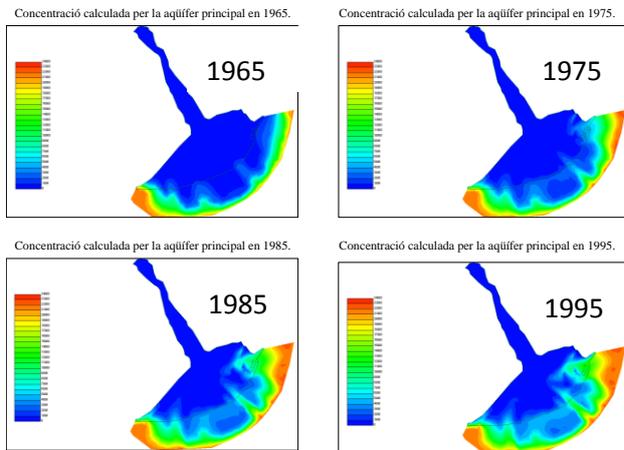
Le couplage mesures/théories/modèles est une mission fondamentale du SOERE *H+*. Le réseau a pour vocation de créer un lien pérenne entre les équipes de recherche intéressées par les aspects théoriques, numériques ou expérimentaux des transferts en milieu hétérogène. Cette démarche, menée depuis longtemps sur les sites du SO *H+*, est également mise en œuvre sur les nouveaux sites du SOERE *H+* international. La liste des équipes utilisant les données du réseau de *H+* France est donnée dans la fiche synthétique en annexe 6. Nous complétons ici cette liste pour les deux nouveaux sites pilotés par des équipes françaises dans les SOERE *H+* (annexe 2).

- **Positionnement actuel du SOERE par rapport à l'objectif d'observation à long terme.**

L'observation sur une longue durée, typiquement supérieure à 10 ans, est motivée par le besoin de connaître les principaux processus qui contrôlent l'évolution autant physique que chimique des aquifères. Nos suspicions des constantes d'évolution relativement longues ; les séries temporelles qui ont démarré en 2002 sur le SO H+ France ont conforté cette intuition. Les principaux objectifs pour ce suivi long terme sont :

Analyser la réponse des aquifères aux sollicitations physiques.

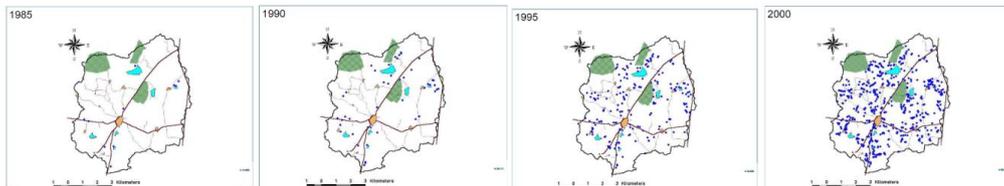
Sur le site du Llobregat, la qualité chimique de l'eau est en évolution après 50 ans d'exploitation. La figure ci-dessous montre la progression de l'intrusion d'eau saline due à la surexploitation de l'aquifère. La barrière hydraulique mise en place à pour but de faire reculer cette intrusion.



Concentration en chlorure de 1965 à 1995 interpolées pour l'aquifère du Llobregat. La couleur orange représente de fortes concentration en sel.

Quantifier l'impact des forçages évolutifs liés au changement de l'occupation des sols ou au changement climatique.

L'exemple du site d'Hyderabad montre des changements drastiques de gestion de l'eau sur les 25 dernières années. Sur le bassin versant de Maheshwaram, le nombre de forage est passé de 2 à 929 en 15 ans. Depuis l'inauguration de l'aéroport international proche, l'occupation du territoire est en train d'évoluer d'un mode rural vers un mode périurbain. Cet observatoire permet de caractériser l'impact des changements d'occupation sur les ressources en eau souterraine. Le changement d'occupation du sol sera suivi par l'acquisition d'imagerie satellitaire haute résolution et l'impact en termes de prélèvements d'eau souterraine sera établi par la réalisation d'une campagne de mesure sur terrain. Depuis 2002, des campagnes d'échantillonnage des eaux souterraines sont organisées régulièrement dans l'optique de caractériser la variabilité spatiale de la composition chimique et isotopique de la nappe et son évolution à l'échelle saisonnière et pluriannuelle.



Localisation des forages sur le bassin versant de Maheshwaram. En 15 ans, le nombre de forage est passé de 2 à 929.

Obtenir des mesures représentatives de la variabilité climatique naturelle pour quantifier les flux et le transport des éléments dans le cycle hydrologique.

L'obtention de mesures dans des conditions climatiques différentes et représentatives de la variabilité naturelle nécessite une durée d'observation longue. A titre d'exemple, les mesures gravimétriques effectuées sur le site du Durzon permettent de caractériser la recharge effective du système sur de longues périodes. Ce site présente une augmentation pluriannuelle qui n'est pas visible sur les autres sites. La continuation de ces mesures et les bilans hydriques long terme (10 ans) sur cette portion du Larzac permettront de déterminer si nous assistons véritablement à une recharge de l'aquifère.

Ces observations long-terme sont complétées par des mesures ponctuelles visant à caractériser les propriétés constantes du site, ainsi que des campagnes expérimentales visant à la fois à comprendre l'organisation spatiale des processus physico-chimiques, et à en tirer une paramétrisation des modèles. Un des objectifs du SOERE *H+* est de développer cette démarche "expérimentale de terrain" – au-delà de l'exemple classique de l'essai de puits – pour réussir la démarche couplée données / modélisation.

• Système d'information environnementale

Au delà de l'intégration des données des différents sites du réseau dans la base de données *H+*, nous avons récemment initié une réflexion visant à aller vers l'interopérabilité de la base *H+* avec les autres bases environnementales. Un groupe de travail a été mis en place dans le cadre du "Service de Gestion des Données Numériques" de l'Observatoire de Rennes depuis 2010 regroupant 7 ingénieurs et techniciens pour faire évoluer les métadonnées *H+* vers les normes ISO 19115 (directive européenne inspire 2007) et les intégrer dans un géo-portail. Des discussions sont en cours avec le BRGM, l'INRA et le réseau des bassins versant en vue d'utiliser et de développer, si possible, des outils communs.

• Démarche qualité

L'évolution du service d'observation vers la démarche qualité a été initiée en 2009 avec la mise en place d'un groupe de travail spécifique composé d'ingénieur des différentes équipes *H+*. L'objectif principal est d'assurer la pérennité, la fiabilité et la valorisation des mesures physiques, chimiques acquis sur le terrain :

- Fiabilité des résultats de mesure en disposant d'équipements de mesure sous contrôle métrologique (chaîne de raccordement aux étalons nationaux) ;
- Traçabilité de la mesure et des travaux de recherche par une identification des conditions de mesure (humaine, matériel, environnementale...) et archivage des données – en particulier, archiver le contexte (environnemental, humain, matériel, méthodologique) des mesures effectuées – ;
- Garantir que les mesures effectuées à X mois ou années d'intervalle demeurent comparables ;
- Valorisation de la mesure en termes de qualité de la mesure (estimation de l'incertitude).

3) Ouverture et Insertion du Système d'observation dans le dispositif national

Le SOERE *H+* *international* représente une évolution du SO *H+* sur plusieurs points:

- l'implication du BRGM, acteur scientifique incontournable en France dans le domaine de l'hydrogéologie, comme tutelle du Service d'Observation,
- *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 un laboratoire indien,

- La création du SOERE *H+ international* qui regroupe *H+ France* et plusieurs sites et équipes européens. *H+ international* aura une gouvernance spécifique qui regroupera l'ensemble des équipes impliquées. *H+ international* est aussi impliqué dans le projet de création du réseau mondial de laboratoires souterrains via le LSBB.

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 critique suffisante pour devenir une infrastructure européenne. Un réseau d'observatoires similaire a été mis en place aux états 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 une opération de lobbying auprès de la commission européenne.

Au niveau national, deux évolutions notables ont été initiées en 2012 :

- 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 (Réseau des Bassins Versants) et *H+*.
- Le développement des échanges entre le réseau *H+* et RBV. Cette convergence résulte de la prise de conscience de la nécessité de quantifier les échanges entre les composantes souterraine et superficielles des écoulements pour estimer les flux d'eau et d'éléments chimiques dans le cycle hydrologique. Ce rapprochement s'est concrétisé par l'organisation d'une réunion commune des deux réseaux à l'occasion du lancement de l'Equipex CRITEX.

4) Production scientifique et autres productions en lien avec le SOERE

La liste des publications ayant utilisé les données du SOERE *H+ international* (2011-2012) est donnée en annexe 5. Le réseau *H+* a généré également de nombreux autres projets plus théoriques, en lien avec l'objectif d'amélioration des méthodes de modélisation d'*H+*.

5) Gouvernance

L'organigramme des équipes du SO *H+ France* est donné dans le document de suivi des services d'observation de l'INSU 2012 (annexe 6). Les organigrammes des nouveaux sites du SOERE *H+ international* pilotés par les équipes françaises sont donnés en annexe 4.

La gouvernance du SOERE *H+ international*, donnée en annexe 3, est calquée sur celle de *H+ France*. 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 du responsable, du responsable-adjoint, des responsables de sites. Elle a la responsabilité de l'animation du réseau; elle veille à la réalisation des objectifs du service d'observation. Elle met en place les moyens pour le fonctionnement des sites et la constitution de la base de données (y inclus les développements nécessaires). Elle a un rôle incitateur auprès des équipes de recherche pour réaliser les développements instrumentaux nécessaires afin d'améliorer les mesures géophysiques et géochimiques. Enfin elle a la responsabilité de développer des partenariats scientifiques ou institutionnels avec toutes les équipes susceptibles d'apporter une contribution scientifique en termes de mesures ou de modélisation.

Pour toutes les décisions importantes (choix budgétaires, propositions d'évolution du fonctionnement, prospective), la direction est assistée par un conseil scientifique composé de chercheurs et techniciens ayant des responsabilités au sein de *H+* et de personnalités scientifiques du domaine de l'hydrogéologie. La gestion effective de l'observatoire se fait lors des conseils qui ont

lieu pendant les rencontres de *H+*. La fréquence est environ biannuelle (4 réunions ont eu lieu en 2011-2012). Les discussions "administratives" portent sur le budget, le fonctionnement et la prospective. Les décisions sont prises collégalement par les coordinateurs et les responsables de site. L'observatoire est doté depuis 2008, d'un conseil scientifique international, dont le rôle est d'évaluer de manière indépendante le fonctionnement et les résultats de l'observatoire, et de faire des propositions pour le futur.

- **Stratégie de communication**

Plusieurs actions ont été menées en 2011 et 2012 pour développer la visibilité nationale et internationale du SOERE *H+*. Les activités de recherche menées sur les sites *H+* sont bien sur présentées chaque année dans les conférences internationales telle que l'EGU à Vienne et l'AGU à San Francisco. De plus *H+* a co-organisé à Rennes la conférence internationale G-DAT en Octobre 2012 sur la datation des eaux souterraines (<http://osur.univ-rennes1.fr/GDAT2012/page.php?14>). Cette conférence, qui a réuni environ 60 personnes provenant du monde entier, a contribué à la visibilité internationale du réseau *H+*. Enfin, la description des nouveaux sites du réseau *H+* international a été intégrée au site internet *H+* (hplus.ore.fr). Les contenus du site internet en français et en anglais ont été homogénéisés.

II Evolution du projet

Depuis son lancement, le déroulement du projet suit la proposition faite dans le projet soumis à l'appel d'offre SOERE 2011. La première année a été dédiée à l'intégration des nouveaux sites pilotés par les partenaires français et aux discussions avec les partenaires internationaux pour de nouvelles collaborations. Ces dernières seront initiées lors de l'année 2013.

L'extension du réseau *H+* doit se faire évidemment dans le respect des règles édictées et avec un niveau d'exigence élevé sur la qualité scientifique, seul gage pour faire de *H+* une structure de recherche en pointe au niveau international sur les thématiques traitées. Une telle évolution n'a de sens que si elle s'accompagne de moyens permettant de réaliser ces missions nouvelles. Le financement du SOERE *H+ international* en 2012 a permis de lancer l'extension du réseau aux deux sites pilotés par des partenaires français (BRGM et université d'Avignon), ainsi que de développer les échanges avec les deux sites pilotés par des équipes étrangères. Nous souhaitons que réseau international soit pérennisé au delà de l'année 2013.

A l'instar des expériences internationales réalisées à Cape Cod (Massachusetts), Mirror Lake (New Hampshire) ou Riffle site (Colorado), la construction d'une infrastructure internationale de référence, comprenant des sites d'observation et des sites expérimentaux, nécessite un financement récurrent sur le long terme. En particulier, le développement des sites hydrogéologiques, impliquant de nombreux forages et la mise en place d'instrumentation de suivi, implique des investissements initiaux très importants. Les financements récurrents apportés sur le long terme par *H+*, bien que ne couvrant pas le coût global des sites, sont essentiels pour garantir leur pérennité et leur valorisation. La mise en place d'une base de données "vivante" est l'un des éléments essentiels pour une connaissance cumulative des sites.

III : Moyens affectés

1) Rapport financier de l'année 2010 et/ou 2011.

Le SOERE H+ ayant été labellisé en 2011, il n'y a pas eu de financement en 2010 et 2011 dans ce cadre. Une première dotation de 71,5k€ a été notifiée en mars 2012 par l'alliance AllEnvi. La répartition de ce budget est donnée dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 1: BUDGET EXECUTE 2012 = SOERE H+ ET SO H+ (k€)

Origine des crédits	Ressources	Animation	Base de données	Missions inter-sites	Montpellier (Larzac et Majorque)	Poitiers (SEH)	Rennes (Ploemeur)	Avignon (LSBB)	BRGM (Hyderabad)
INSU (SOERE)	71,5		6,5	5	12	12	12	12	12
INSU (SO)	45	10	15		10	5	5	0	0

Ce budget a été dédié :

- au fonctionnement et à l'instrumentation des sites,
- au développement des échanges inter-sites pour favoriser les nouvelles collaborations,
- au développement de la base de données pour intégrer les nouveaux sites.

Afin de favoriser le développement des nouveaux sites, l'essentiel des dépenses liées à l'animation (rencontres H+) et à la base de données (recrutement d'un CDD) a été pris en charge par les crédits SO. Pour information, le budget exécuté 2011 du SO H+ France, incluant les différentes sources de financement, est détaillé dans la fiche synthétique du SO H+ (annexe 6).

2) Projection sur l'année à venir.

L'estimation du budget global de fonctionnement du SOERE H+ pour l'année 2013 est donné 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. Le budget correspondant aux équipements en commun de l'équipex CRITEX est indiqué dans une colonne à part entière.

TABLEAU 2: ESTIMATION DU BUDGET GLOBAL DU SOERE POUR L'ANNEE 2013

Budget annuel	Animation du réseau	Base de données	Ploemeur (Rennes)	SEH (Poitiers)	Durzon (Montpellier)	Majorque (Montpellier)	LSBB (Avignon)	Hyderabad (BRGM)	Equipements communs (CRITEX)	Total
Missions	20	10	15	5	5	4	5	5		59
Fonctionnement		10	15	14	6	4	8	5		62
Personnel temporaire		35	20	8	18	18	27	50	12	176
Equipement			15	23	6	4	15	10	258	331
TOTAL	20	45	65	50	35	30	55	70	270	640

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

- **L'animation du réseau**, en particulier, l'association des sites pilotés par les partenaires européens nécessitera des missions supplémentaires afin de développer les échanges entre scientifiques. Les financements en infrastructure et équipement des sites de Krauthausen et Llobregat sont assurés par les tutelles et institutions des pays correspondants. Il est néanmoins indispensable de favoriser les échanges entre sites afin de créer une réelle synergie entre tous les membres du réseau.
- **L'intégration et la mise à disposition des données dans la base de données H+**. Le recrutement d'un ingénieur CDD en 2012 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 terme 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.

- **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. L'année 2013 sera consacrée à l'acquisition et à la mise en œuvre des premiers instruments. Cela implique un investissement important des porteurs de tâches qui sont parfois déjà fortement impliqués dans H+. Il sera donc nécessaire d'accompagner cette implication par des moyens supplémentaires en terme de missions, fonctionnement et personnel temporaire.
- **Le fonctionnement des nouveaux sites pilotés par les partenaires français,** pour financer l'extension du réseau national. Les devis donnés en annexe 7 correspondent des équipements qui seront mis en place sur les sites en 2013. Ces équipements sont indispensables au fonctionnement des sites (par exemple dans le cadre de la jouvence des capteurs de suivi) et complémentaires par rapport aux nouveaux instruments déployés dans le cadre de CRITEX.

Le plan de financement ci-dessous 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'equipex CRITEX. La contribution demandée au programme SOERE est de **150 k€/an**.

TABLEAU 3: PLAN DE FINANCEMENT POUR L'ANNEE 2013

Budget annuel	Total (k€)
Missions	59
Fonctionnement	62
Personnel temporaire	176
Équipement	331
TOTAL	640
INSU SO	45
Universités, OSU, BRGM Programmes (UE, ANR, INSU, région)	90
Equipex CRITEX	270
SOERE	150

3) Ressources humaines

La liste des personnes affectées au Service d'Observation H+ est donnée en annexe 6.

Le total des chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs et techniciens *directement impliqués* dans les tâches du Service d'Observation H+ (hors personnel administratif et chercheurs sur projet) est de ~20 ETP, soit

- 11 ETP pour 36 (enseignants-)chercheurs directement impliqués,
- 8.2 ETP pour 22 ingénieurs et techniciens,

La communauté scientifique qui utilise les données issues des sites est beaucoup plus large (70 – 100 chercheurs) si l'on considère l'ensemble des projets en lien avec H+.

Le déficit actuel est surtout sur le support technique pour lequel les 8.2 ETP ingénieurs et techniciens ne suffisent pas à assurer le suivi instrumental des 6 sites pilotés par les équipes françaises, et les

développements techniques. Actuellement, les équipes travaillent avec du personnel temporaire et une forte implication des (enseignants-chercheurs) dans les tâches techniques ; mais cette situation n'est pas satisfaisante et un recrutement de 1 à 2 ETP supplémentaires par site est envisagé dans les 5 prochaines années dans différents domaines :

- le développement, le déploiement et la maintenance de capteurs environnementaux (géochimie, géophysique, microbiologie),
- le développement et le suivi métrologique, et l'évolution vers une démarche qualité,
- le soutien technique à l'organisation d'expériences innovantes
- le suivi géochimique,
- l'imagerie géophysique 3D,
- les bases de données et les systèmes d'informations environnementales.

Par ailleurs, un seul personnel CNAP (Tanguy Le Borgne) est actuellement affecté au service d'observation, pour la coordination générale. Les sites de l'observatoire sont gérés en, majorité par des personnels de l'université (enseignants-chercheurs), ce qui leur impose d'assurer à la fois des activités de recherche, d'enseignement et des tâches d'observation. Afin de soulager les responsables de site et pour développer des tâches d'observation spécifiques, nous anticipons des besoins en personnel CNAP pour les années à venir, dans les domaines de la géochimie, l'hydro-géophysique et l'hydrogéologie.

IV Annexes

ANNEXE 1: CARACTERISTIQUES DES NOUVEAUX SITES DU RESEAU H+ INTERNATIONAL

Field site	LSBB (France)	Hyderabad (Inde)	Krauthausen (Deutschland)	Llobregat hydraulic barrier (España)
Scientists in charge	C. Danquigny (Avignon)	J.C. Maréchal (Montpellier)	H. Vereecken (Jülich)	J. Carrera (Barcelona)
MAIN SCIENTIFIC TOPICS	LARGE SCALE TUNNEL FACILITIES 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) Ground instrumentation : GPS, tiltmeter, sismometer, ..	Choutuppal (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	Direct access inside the Unsaturated Zone. Detailed characterization of structure, fluxes and chemistry in the unsaturated zone. Spatial and Temporal long term monitoring of fluxes and chemistry	Long term evolution of piezometry and chemistry in response to overexploitation, climatic and anthropogenic changes Long term collaboration with National Geophysical Research Institute	Heterogeneous sedimentary deposits Very dense network of piezometers in the near surface (easy to access) Large database of hydrogeophysical data (including tracer tests),	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	Bimensuel hydrodynamic and hydrochemical data. Petrophysical characterisation , Different scales THMBC dynamic coupling.	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.	Hydrogeophysical measurement techniques for improved characterization of the subsurface environment and flow and transport processes Development and validation of flow and transport models in heterogeneous media	Test and validation of the hydraulic barrier technology against sea water intrusion

ANNEXE 2 : LISTE DES EQUIPES UTILISANT LES DONNEES DES NOUVEAUX SITES DU SOERE H+ INTERNATIONAL

- Liste des équipes utilisant les données des sites d'Hyderabad

LABORATOIRE/ORGANISME	PROJET DE RECHERCHE	PERIODE D'UTILISATION
BRGM	CEFIRES/ Projets européens 7PCRD (SARASWATI, SAPH PANI,) ANR MOHINI, Asia Pro ECO Sustwater	1999 - présent
NGRI (National Geophysical Institute)	Projets européens 7PCRD (SARASWATI,	1999 - présent

	SAPH PANI,) ANR MOHINI, Asia Pro ECO SUstwater	
Geosciences Montpellier	ANR MOHINI	2008-2011
UMR 6118 Géosciences Rennes	Thèse transport en milieu fracturé ANR MOHINI	2008 - présent
Charles University de Prague	Projet européen Asia-Pro-Eco Sustwater	2006-2009
International Water Management Institute	Projet européen Asia-Pro-Eco Sustwater	2006-2009
Université de Neuchâtel	Stages Master	2002-présent
Ecole des Mines de Paris	CEFIPRA	1999-2003
Sisyph UMR 7619	CEFIPRA	1999-2003

- Liste des équipes utilisant les données du site du LSBB

LABORATOIRE/ORGANISME	PROJET DE RECHERCHE	PERIODE D'UTILISATION
UMR EMMAH	Thèse d'Aurore Barbel-Périneau Hydrodynamique des écoulements non saturés	2009-2013
UMR EMMAH	Thèse de Simon Carrière Caractérisation hydrogéophysique ERT- radar	2010-2013
Geosciences Montpellier	hydrogéodésie	2011-

ANNEXE 3: GOUVERNANCE DU SOERE H+ INTERNATIONAL

- **Responsable du SOERE**

- Directeur: Philippe Davy, directeur de recherche CNRS, directeur de l'OSUR
- Directeur-adjoint en charge de la coordination scientifique et technique : Tanguy Le Borgne, Physicien adjoint CNAP

- **Responsables de site**

- Olivier Bour, maître de conférences à l'université de Rennes I, responsable du site de Ploemeur
- Gilles Porel, maître de conférences à l'université de Poitiers, responsable du S.E.H. Poitiers
- Stéphanie Gautier, maître de conférence à l'université de Montpellier 2, responsable du site de Majorque
- Jean Chery, directeur de recherche CNRS, responsable du site du Durzon
- Charles Danquigny, maître de conférence à l'université d'Avignon, responsable du site du LSBB
- Jean-Christophe Maréchal, chercheur BRGM, responsable du site d'Hyderabad
- Harry Vereecken, directeur de recherche Forschungszentrum Jülich (Allemagne), responsable du site de Krauthausen
- Jesus Carrera, directeur de recherche CSIC Barcelona (Espagne), responsable du site de Llobregad

- **Conseil de H+**

Le conseil prépare les décisions budgétaires, fait des propositions d'évolution de fonctionnement, et discute la prospective. Il est composé des chercheurs et techniciens ayant des responsabilités au sein d' H+ et de 4 conseillers scientifiques: Philippe Pézard, directeur de recherche CNRS, Luc Aquilina, professeur à l'université de Rennes 1, Fred Delay, professeur à l'université de Poitiers, Philippe Ackerer, directeur de Recherche CNRS.

ANNEXE 4: ORGANIGRAMME DES NOUVEAUX SITES DU SOERE H+ INTERNATIONAL

- Site d'hyderabad

	NOM	STATUT	AFFECTATION (UMR, UMS...)	RESPONSABILITE	%
Chercheurs	Alexandre Boisson	Ch.	BRGM	Hydrogéologie	100%
	Shakeel Ahmed	Ch.	NGRI	Hydrogéologie, géostatistique	50%
	Subash Chandra	Ch.	NGRI	Géophysique	50%
	Jean-Christophe Maréchal	Ch.	BRGM	Responsable de site Hydrogéologie et modélisation	20%
	Hélène Pauwels	Ch.	BRGM	Géochimie	20%
	Jérôme Perrin	Ch.	BRGM	Hydrogéologie	10%
	Benoît Dewandel	Ch.	BRGM	Essais hydrauliques	10%
	Philippe Negrel	Ch.	BRGM	Géochimie isotopique	10%
Personnel technique	Mohamed Wajiddudin	Technicien	NGRI	Hydrogéologie	100%
Post-doctorants, CDDs, doctorants	Nicolas Guihéneuf	Doctorant (2011-2013)	Université de Rennes 1	Hydrogéologie	100%
	David Villesseche	Ing.	BRGM	Ingénieur Vie	100%

- Site du LSBB

	NOM	STATUT	AFFECTATION (UMR, UMS...)	RESPONSABILITE	%
Chercheurs	Charles Danquigny	MC	UAPV	Responsable de site	40%
	Konstantinos Chalikakis	MC	UAPV	Géophysique	30%
	Christophe Emblanch	MC	UAPV	Hydrochimie	20%
	Naomi Mazzilli	MC	UAPV	Hydrogéologie	20%
	Elisabeth Pozzo di Borgo	MC	UAPV	Magnétométrie	25%
	Stéphane Gaffet	CR	CNRS	Géophysique	10%
	Roger Bayer	Pr	UM2	Géophysique	10%
	Cédric Champollion	MC	UM2	Géophysique	10%
	Jean Chéry	DR	CNRS	Responsable de site	10%
	Yves Guglielmi	Pr	UP	Géologie	5%
	Juliette Lamarche	MC	UP	Géologie	5%
	François Fournier	MC	UP	Géologie	5%
Post-doctorants, CDDs, doctorants	Simon Carrière	doctorant	Simon Carrière		100%
	Aurore Barbel – Périneau	doctorante	UAPV		100%

ANNEXE 5: LISTE DES PUBLICATIONS AYANT UTILISE LES DONNEES DU SOERE H+ (2011-2012)

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.

Leray S., de Dreuzy J.-R., Aquilina L., Vergnaud-Ayraud V., Labasque T., Bour O. and Le Borgne T., Temporal evolution of age data under transient pumping conditions, *soumis à Journal of Hydrology, accepted with minor revisions*

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, *accepted 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.

LSBB

- T. Blondel, C. Emblanch, C. Batiot-Guilhe, Y. Dudal, Y. Travi, D. Boyer (2012). Punctual and continuous estimation of transit time from dissolved organic matter fluorescence properties in karst aquifers, application to groundwaters of 'Fontaine de Vaucluse' experimental basin (SE France). *Environmental Earth Sciences*. Vol. 65 – 8. pp. 2299-2309. DOI: 10.1007/s12665-012-1562-x
- A. Perineau, C. Emblanch, C. Danquigny, D. Boyer, J. Poupenev (2011). Hydrodynamic organisation of the flows in the unsaturated zone of the Fontaine de Vaucluse karst system. First results. *EDP Sciences*. DOI <http://dx.doi.org/10.1051/idust/201101001>.
- A. Barbel, C. Danquigny, C. Emblanch (soumis). Hydrodynamic processes in the unsaturated zone of karst system under highly variable climatic conditions, deduced from hydrodynamical measurements. *Journal of Hydrology*.
- S. Carrière, K. Chalikakis, G. Sénéchal, C. Danquigny, Ch. Emblanch (soumis). Coupling Electrical Resistivity Tomography and Ground Penetrating Radar to study geological structuring of karst Unsaturated Zone. *Journal of Applied Geophysics*.

– Hyderabad

- Dewandel B., J.C. Maréchal, O. Bour, B. Ladouche, S. Ahmed, S. Chandra, and H. Pauwels., 2012 Upscaling and regionalizing hydraulic conductivity and efficient porosity at watershed scale in crystalline aquifers, *J. of Hydrol.*, V 416-417, 24 83-97
- Dewandel B., Lachassagne P., Zaidi F.K., Chandra S. (2011) Hydrodynamic role of geological discontinuities in hard rock aquifers: example of quartz reef in granitic terrain. *J. of Hydrology Online* doi:10.1016/j.jhydrol.2011.05.050
- Khan, H.H., A. Khan, S. Ahmed, J. Perrin (2011) GIS based Impact Assessment of Land Use changes on Groundwater Quality: study from a rapidly urbanizing region of South India, *J. Environmental Earth Sciences*, 63:1289-1302
- Negrel, Ph., Pauwels, H., Dewandel, B., Gandolfi, JM, C. Mascré and Ahmed S. (2011) Understanding Groundwater systems and their functioning through the study of stable water isotopes in hard rock aquifer (Maheshwaram watershed, India), *J. of Hydrology*, 397:55-70.
- Perrin, J., Mascré C. and Ahmed, S. (2011), Solute recycling: An emerging threat to groundwater resource to southern India? *J. of Hydrology*, Vol. 398(1-2):144-154.
- Chandra, S., Ahmed, S., Rangarajan, R. (2011) Lithologically Constrained Rainfall (LCR) method for estimating spatio-temporal recharge distribution in crystalline rocks, *J. of Hydrology*, 402 (2011):250–260.

– Ploemeur

- Jiménez-Martínez J, Longuevergne L., Le Borgne T., Davy P., Russian A., Bour O. (submitted), A frequency domain analysis to characterize heterogeneity and recharge mechanisms in fractured crystalline-rock aquifers, soumis à *Water Resour Res.*
- Leray S., de Dreuz J.-R., Bour O., Bresciani, E. (submitted), Contribution of sub-horizontal and gently dipping fractured zones to groundwater resources soumis à *Journal Of Hydrology*
- Boisson A, de Anna P, Bour O, Le Borgne T, Labasque T, and Aquilina L(submitted), Reactive push-pull tests to quantify nitrate consumption, nitrous oxide and nitrite production during denitrification, soumis à *J. of Contaminant Hydrology*.
- Dewandel, B., B. Aunay, J.C. Maréchal, C. Roques, O. Bour, B. Mougin and T. Le Borgne (submitted), Effect of anisotropy in hydraulic conductivity and partial penetration on pumping tests in compartmented media, soumis à *Journal of Hydrology*.
- Dorn, C., N. Linde, T., Le Borgne, O. Bour and M. Klepikova (2012), 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 Dreuz J.-R. Bour O., Labasque T. and Aquilina L. (2012), 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. (2012), 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
- Dorn, C., N. Linde, J. Doetsch, T., Le Borgne and O. Bour (2012), 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
- Klepikova, M., T. Le Borgne, O. Bour and P. Davy (2011), A methodology for using borehole temperature-depth profiles under ambient, single and cross-borehole pumping conditions to estimate fracture hydraulic properties, *Journal of Hydrology* 407, pp 145–152. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.07.018, 2011
- Dorn C., Linde N., Le Borgne T., O. Bour and L. Baron (2011) Single-hole GPR reflection imaging of solute transport in a granitic aquifer *Geophys. Res. Lett.* Vol.38, L08401, doi: 10.1029/2011GL047152, 2011
- Biessy, G., F. Moreau, O. Dauteuil, O. Bour (2011)- Surface deformation of an intraplate area from GPS time series. *Journal of Geodynamics*, 52, 24-33 doi: 10.1016/j.jog.2010.11.005, 2011
- Boisson, A. (2011) Etude multi-échelles des réactions de dénitrification dans les aquifères hétérogènes : Approches expérimentales de l'influence des écoulements sur la réactivité biogéochimique. Thèse de Doctorat. Université de Rennes 1, 2008-2011.
- Poitiers
- Bodin J., Ackerer P., Boisson A., Bourbiaux B., Bruel D., de Dreuz 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.
- Chatelier M., Ruelleu S., Bour O., Porel G., Delay F. (2011), Combined fluid temperature and flow logging for the characterization of hydraulic structure in a fractured karst aquifer, *J. of Hydrology*, Volume 400, Issues 3-4, Pages 377-386, doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.01.051, 2011

Delay F., Ackerer P., Guadagnini A. (2011) Theoretical analysis and field evidence of reciprocity gaps during interference pumping tests, *Adv. Water Resour.*, 34 (5), pp. 592-606.

– Larzac

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

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

Valois R., 2011. Caractérisation structurale de morphologies karstiques superficielles et suivi temporel de l'infiltration à l'aide des méthodes électriques et sismiques. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, 238 p.

Naomi Mazzilli, 2011. Sensibilité et incertitude de modélisation sur les bassins versants à forte composante karstique. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier 2, 2008-2011.

– Majorque

Hébert V., P. Gouze, P. O. Mangane, and P. Pezard (submitted), Quantification of petrophysical properties in carbonate systems by 3D X-ray tomography, *Journal of Sedimentary Research*

Hébert V., P. Pezard, J. Lofi, and P. Gouze (submitted), Characterization of heterogeneous carbonate structure from the Lluçmajor platform (Mallorca Island), *Journal of Sedimentary Research*.

Garing C., Luquot L., Pezard P., Gouze P. (submitted), Electrical and flow properties of highly heterogeneous carbonate rocks, *AAPG*.

Garing C., Luquot L., Pezard P., Gouze P. (submitted), Geochemical investigations of the saltwater intrusion into the coastal carbonate aquifer of Mallorca (Spain), *Applied Geochemistry*

Vanessa HEBERT. Analyse multi-échelle de la structure d'un réservoir carbonaté littoral : exemple de la plate-forme de Lluçmajor (Majorque, Espagne). Thèse de Doctorat. Université de Montpellier 2, pp. 302 (2011).

Charlotte GARING. Caractérisation géophysique et géochimique des interactions fluide-roche à l'interface eau douce-eau salée : cas des carbonates récifaux de Majorque. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier 2, pp. 223 (2011).

Muhammad TOQEER. Caractérisation de réservoirs carbonatés par sismique réflexion 3D haute résolution. Thèse de doctorat, Université de Pau. (avril 2012).

ANNEXE 6: FICHE DE SYNTHÈSE 2012 DU SO H+

voir fichier joint

ANNEXE 7: DEVIS DES INVESTISSEMENTS ET EQUIPEMENTS PREVUS DANS LE PLAN DE FINANCEMENT 2013

voir fichiers joints

Ces devis correspondent à des équipements qui seront mis en place sur les sites en 2013 (hors équipements CRITEX). Cette liste d'équipements inclut des capteurs de pression, des pompes, des ordinateurs de terrain, des sondes de forage (diagraphies, caméra, sondes multi-paramètres).