

## Fiche résumé 2010 Accord Cadre ZABR- Agence de l'Eau

### Titre du projet :

Évaluation des échanges nappes/rivière et de la part des apports souterrains dans l'alimentation des eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, zones humides). Influence des contacts entre masses d'eau d'origines différentes et des régimes transitoires. **Phase 4 (2010-2011).**

Personne responsable : **Didier Graillot** – Centre SITE, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 158 cours Fauriel, 42023 Saint-Étienne Cedex 2.  
E-mail : [graillot@emse.fr](mailto:graillot@emse.fr) ; Téléphone : 04-77-42-01-30 ; Fax : 04-77-42-66-33

### Equipes de recherche « ZABR » concernées :

*(Préciser le domaine et le pourcentage respectif de leur contribution)*

- Centre SITE (Sciences, Informations et Technologies pour l'Environnement) de l'ENSM-SE (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne)

Domaine : Hydrogéologie et hydraulique – Pourcentage de contribution : 40%

- UMR 5023 EHF (Ecologie des Hydrosystèmes Fluviaux) de l'Université Lyon I :

\* Equipe Hydrobiologie et Ecologie Souterraines

Domaine : Ecologie et Hydrobiologie – Pourcentage de contribution : 30%

\* Equipe Ecologie des Communautés Végétales

Domaine : Ecologie et Hydrobiologie – Pourcentage de contribution : 30%

### Autres partenaires :

*(Préciser leur degré d'implication et leur accord)*

- Recherche :

\* Laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Avignon (UAPV) : chimie isotopique, convention PACA pour le secteur de Donzère-Mondragon (à renouveler pour le secteur d'Orange/Avignon)

\* ENTPE Lyon : méthodes géophysiques (radar), pas d'accord écrit, participation ponctuelle

\* UMR CNRS Paléoenvironnement et paléosciences : analyses isotopiques

- Institutionnel :

\* CNR : convention pour la mise à disposition de données

### Thème de rattachement ZABR :

*(Un échange ou une information du responsable du thème est souhaité)*

Changements climatiques et ressource (D. Graillot, impliqué dans l'action 1, et E. Leblois)

Des liens secondaires pourraient être envisagés avec les thèmes :

- Flux polluants, écotoxicologie, écosystèmes (Y. Perrodin) / influence des échanges nappes/Rhône sur les pollutions

- Observation sociale du fleuve et gouvernance (A. Vincent) / perception des pollutions

### Thème de rattachement Agence de l'Eau :

Ce projet de recherche est en lien avec l'axe thématique 1 « risques environnementaux et vulnérabilité des milieux » du nouvel accord cadre. Ce thème souligne notamment les besoins en connaissance au niveau des zones d'interface (échanges eaux souterraines/eaux superficielles) en résonance avec l'orientation fondamentale du SDAGE OF 7 « équilibre quantitatif : évolution quantitative des ressources superficielles et souterraines ». Une telle problématique est aussi formulée

en termes des besoins et attentes du Plan Rhône volet 3 « qualité des eaux, ressources et biodiversité : compréhension des échanges entre fleuve et aquifères ». La compréhension des échanges nappes/Rhône répond bien à ce besoin de connaissance des interfaces qui a été souligné au cours de la réunion Agence de l'Eau/ZABR dédiée au développement du Plan Rhône le 19 Mai 2009. De plus, ce projet de recherche aborde les questions concernant « les changements globaux » et « la prospective changement climatique » en s'intéressant surtout à l'influence des régimes transitoires au pas de temps saisonniers sur les échanges nappes/fleuve.

#### Site de rattachement ZABR :

*(Un échange ou une information du responsable de site est souhaité)*

- Axe « Corridor » Rhône (P. Marmonier impliqué dans l'action, B. Montuelle)
- Zones humides du Rhône (G. Bornette, impliquée dans l'action 1)

#### Finalités et attendus opérationnels (1/2p) :

*(Ceux ci seront de deux ordres, scientifiques et opérationnels)*

*Indiquer quelle partie de programme pourrait faire l'objet de publications scientifiques*

Il s'agit de développer d'un d'outil de caractérisation et d'évaluation des échanges entre le Rhône et ses aquifères superficiels dans une optique de gestion opérationnelle de la ressource en eau et de préservation de la biodiversité.

##### *- Finalités scientifiques :*

Il s'agit de proposer un outil interdisciplinaire pour l'identification et l'évaluation, tant qualitative que quantitative (caractérisation), des échanges entre le fleuve Rhône et ses aquifères superficiels du lac Léman à la mer Méditerranée en tenant compte du caractère anthropisé du fleuve. Un tel outil contribuera à la préservation des nappes phréatiques, patrimoine souterrain et invisible, et plus généralement à la préservation de la ressource en eau et de la biodiversité sur le bassin du Rhône. Dans un objectif de gestion coordonnée de la ressource en eau tant superficielle que souterraine, et plus généralement de préservation de la ressource en eau et de la biodiversité sur le corridor alluvionnaire du Rhône, le programme permettra :

- d'estimer la contribution des eaux souterraines au débit du Rhône et identifier leur origine ;
- d'identifier à l'échelle du corridor alluvionnaire, les portions de nappe les plus directement sous influence du fleuve et les plus vulnérables à une pollution du Rhône ;
- d'identifier les milieux superficiels et humides sous dépendance majoritaire d'apports souterrains.

##### *- Finalités opérationnelles :*

Les résultats obtenus fourniront des éléments d'informations appréciables pour la préservation des enjeux alimentation en eau pour usages anthropiques (ex : AEP, dimensionnement des captages, réalimentation de nappe...) et alimentation des milieux aquatiques superficiels par les eaux souterraines (ex : maintien de débit et tamponnage thermique des eaux de surface, limitation de l'assèchement estival, maintien de milieux oligotrophes...) en vue de la prévention des conflits d'usage. Les éléments acquis apporteront également des indications utiles pour la poursuite de programmes de restauration des milieux aquatiques.

Une publication portant sur les aspects méthodologiques et les premiers résultats sur Brégnier-Cordon est en cours de rédaction (Revue visée : Water research).

#### Objectifs et méthodologie (1p) :

Ce programme de recherche a pour objectif de caractériser les échanges hydrauliques existants entre :

- 1) le Rhône, ses annexes fluviales, les milieux aquatiques non fluviaux ;
- 2) les nappes alluviales et les autres aquifères en connexion, et de développer les méthodologies, voire les outils, permettant de caractériser ces échanges.

L'outil, élaboré lors des phases 1, 2 et 3, sera testé et ajusté, lors de cette phase 4, sur de nouveaux secteurs tests, pour au final être généralisé avant d'étudier les modalités de transfert de la méthodologie dans une phase ultérieure. L'intégration des informations identifiées au géorépertoire ZABR indiquera les zones à fortes relations et à forts enjeux pour mieux cerner les ressources stratégiques et vulnérables le long du Rhône.

Le programme a originellement été planifié sur plusieurs années et découpé en 5 phases. La phase 1 et la phase 2 ont déjà fait l'objet d'un précédent rapport et d'une fiche de restitution. La phase 3 est en cours.

#### **A. Rappel des tâches effectuées lors des phases (1, 2 et 3) précédentes :**

**Phase 1 (mars 2006 – mars 2007) :** une synthèse bibliographique interdisciplinaire en matière d'échanges nappes/rivière et un recensement des données existantes ont abouti :

- à plusieurs sectorisations du fleuve Rhône en fonction des données existantes et à des hypothèses concernant l'identification des échanges nappes/Rhône;
- à la schématisation des configurations hydrogéologiques dans lesquelles se déroulent ces échanges sur le Haut-Rhône ;
- à une visualisation des informations obtenues avec un SIG et à la construction de la base de données SIG ;
- au choix d'un secteur test, **la chute de Brégnier-Cordon.**

**Phase 2 (mars 2007 – mars 2008) :** le choix du secteur témoin présélectionné (Brégnier-Cordon) dans la phase 1 a été validé. Ce secteur, qui avait été proposé du fait de son caractère relativement peu anthropisé pour l'étude des mécanismes d'échange sur le Rhône-Amont, s'est avéré en réalité plus complexe. Cette phase 2 a conduit :

- à la schématisation des configurations hydrogéologique sur le Rhône-Moyen et le Bas-Rhône et à la collecte de données complémentaires ;
- au développement d'une méthode d'analyse spatiale sous SIG de caractérisation des échanges ;
- à l'initiation du tableau d'interprétation des résultats par métriques et de la codification des métriques ;
- à l'analyse des résultats inter-sites et à une sectorisation fonctionnelle quantifiée sur Brégnier-Cordon.

La phase 2 comprend également :

- l'estimation des débits de nappe sur le secteur de Péage-de-Roussillon ;
- l'identification des données biologiques mobilisables et l'évaluation quantitative et qualitative des données à collecter ;
- l'identification des données isotopiques existantes ;
- la proposition d'un site aval (**Donzère-Mondragon**) en fonction des données disponibles (hydraulique, biologique, isotopique)

La phase 2 comporte aussi une réflexion sur l'analyse des échanges en régime transitoire dans un contexte de changement climatique et une analyse bibliographique internationale sur la modélisation des échanges nappes/rivière.

Du point de vue hydrogéologique, sur le secteur de Brégnier-Cordon, les sites étudiés montrent des apports souterrains, relativement limités vers le Rhône et les contre-canaux, là où ils existent. Ces apports représentent un total d'environ 340 l/s pour 7,5km. En terme d'usage, ceci signifie que les aquifères étudiés ne représentent pas une réserve stratégique en eau souterraine pouvant faire l'objet de captages supplémentaires. Le travail portant sur les métriques biologiques aboutit à une sectorisation de la plaine en termes d'influence phréatique, qui est mis en correspondance avec les résultats fournis par l'étude hydrogéologique, et qui démontre la grande sensibilité des métriques biologiques à l'origine et l'importance relative des apports phréatiques.

Les premiers résultats attachés à la chute de Brégnier-Cordon montrent tout l'intérêt de l'approche interdisciplinaire. Il apparaît que :

- les premiers croisements de résultats hydrauliques et biologiques sont globalement en accord sur les zones où la comparaison est possible ;
- les données de végétation et d'invertébrés apportent des informations sur l'origine et l'importance relative des alimentations phréatiques et sur l'eutrophisation du Rhône et des milieux aquatiques alluviaux.

Bien sûr ce type de synthèse est à pondérer en fonction de la densité des données disponibles dans chacun des domaines.

Pour ces deux premières phases, les rapports et les fiches de restitution ont été finalisés. De plus, deux comités pléniers de restitution ont été organisés.

**Phase 3 en cours (mars 2008 – décembre 2009) :** le choix du secteur témoin aval a été validé (Donzère-Mondragon). De plus des études complémentaires sont engagées sur le secteur de Brégnier-Cordon, notamment avec la métrique isotopique. Sur Donzère-Mondragon, l'étude des échanges est effectuée selon 2 niveaux à partir des méthodes mises au point lors des phases précédentes: 1) une analyse corrélative inter-sites d'échantillonnage qui cherchera le lien statistique entre les différentes métriques (hydraulique, biologique, géochimique) ; 2) une recherche de la cohérence entre les typologies de secteurs fonctionnels mises en place dans les différentes métriques. Cette étude a conduit à acquérir de nouvelles données :

- hydrauliques, piézométriques ;
- biologiques (invertébrés souterrains et macrophytes) ;
- isotopiques et physico-chimiques.

Comme dans la phase 2, le tableau des métriques sera renseigné, les résultats issus des différentes métriques analysés et couplés pour aboutir à une sectorisation fonctionnelle quantifiée. De plus, l'analyse intégrée de manière globale les résultats de Donzère-Mondragon, de Brégnier-Cordon et de Péage-de-Roussillon. Il conviendra alors de mener une réflexion sur la méthodologie, non seulement sur les secteurs ou sites où l'on dispose de toutes les métriques, mais aussi sur les secteurs ou sites où certaines sont manquantes. Cette démarche conduira à l'élaboration d'une première ébauche de l'outil d'analyse.

Comme lors des deux premières phases, un comité plénier sera organisé lorsque le rapport sera rédigé pour clôturer la phase 3 et initier la phase 4.

## **B. Les principales tâches à effectuer lors de la phase 4 (janvier 2010 – décembre 2011) sont les suivantes :**

### **1. Etude synchrone multi-échelle et multi-métrique des échanges nappes/Rhône et entre masses d'eau souterraines différentes**

#### *a. Confluence Ardèche/Rhône*

- i. Exploitation de l'étude piézométrique réalisée durant la phase 3
- ii. Caractérisation hydro\_SIG des échanges
- iii. Prélèvement d'invertébrés en fonction des résultats hydro
- iv. Prélèvement macrophytes en fonction des lômes échantillonnables
- v. Finalisation et exploitation du diagnostic isotopique initié en phase 3 par le laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon

#### *b. Terrasses d'Orange/Avignon*

- i. Visite de terrain, bibliographie, recueil des données et modèles existant
- ii. Campagne de relevés piézométriques si l'existant est insuffisant
- iii. Caractérisation hydro\_SIG des échanges
- iv. Prélèvement invertébrés en fonction des résultats hydro
- v. Prélèvement macrophytes en fonction des lômes échantillonnables
- vi. Diagnostic isotopique (laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon, financements complémentaires à prévoir)

L'enjeu de cette tâche est organisationnel. Il va s'agir de coordonner dans le temps et spatialement les campagnes de terrains des laboratoires de recherche impliqués afin de procéder de façon synchronisée à une analyse pertinente des échanges sur des masses d'eaux différentes.

### **2. Echanges en régime transitoire**

#### *a. Eléments méthodologiques*

*b. Recherche d'un site pertinent où l'alternance dans le temps du sens des échanges nappes/fleuve est avérée (Jons, Plaine de Peraut, Brégnier-Cordon...)*

#### *c. Visite de terrain, bibliographie, recueil des données et modèles existants*

- d. Recherche de piézomètres*
- e. Campagne de mesure, équipement (suivi continu)*
- f. Premières mesures et ajustements méthodologiques*

L'enjeu de cette tâche est technique et méthodologique. Il va s'agir de sélectionner et d'équiper le secteur le plus adapté sur le cours du Rhône pour étudier l'influence des régimes transitoires saisonniers sur les échanges nappes/fleuve.

### **3. Mise en place d'une Database commune cohérente avec la nomenclature de Database existantes** (ex : code BSS)

L'enjeu de cette tâche va consister à harmoniser les données de chaque équipe de recherche afin de construire une base de données non seulement spatiale mais aussi temporelle. Son organisation devra permettre une valorisation efficace des résultats. Son extension à l'ensemble du cours du Rhône nécessitera un financement complémentaire par le Plan Rhône.

### **4. Valorisation résultats**

- a. Identification des contextes hydrauliques sur lesquels les métriques sont pertinentes (seules ou combinées) : protocole méthodologique d'évaluation des échanges*
- b. Vers une sortie opérationnelle d'aide à la décision (outil)*

A plus court terme, les résultats acquis lors des phases 1 et 2 et ceux à venir, concernant la phase 3 ont été, ou seront, valorisés de différentes façons :

- Rapports phases 1 et 2 ; fiches de restitution phases 1 et 2 accessibles en ligne sur le site de la ZABR ; Comités pléniers phases 1 et 2 pour lesquels des participants nombreux et variés ont été invités (BRGM, CNR, EDF, SMIRCLAID, SEGAPAL, SHR, BURGEAP, AE-RMC, ZABR, Plan Rhône, DDAF, MISE, DIREN, CEMAGREF, Université Lyon 1, ENSM-SE, CEREGE, ENTPE, Universités d'Avignon, de Besançon, de Montpellier et de Savoie, Régions RA et PACA...). Le triptyque rapport, fiche de restitution et comité pléniers sera reconduit pour les phases 3 et 4.
- Communications à des colloques (voir détail en annexe 1) : MODFLOW (Golden, Colorado, USA, 2008), IIT-GEM (Delhi, Inde, 2008), GFHN (Avignon, 2008), ESRI (Versailles, 2008), ESC IV (Lans en Vercors, 2008)
- Publications en revues (voir détail en annexe 1) : Géomatique expert (2008). Une publication commune concernant la présentation de la méthodologie interdisciplinaire est en cours de rédaction (Water research).

L'enjeu de cette tâche est le développement de la sortie opérationnelle du projet de recherche.

### **5. Thèse EMSE (octobre 2010 – décembre 2013) : modélisation multi métrique et emboîtement des échanges nappe / rivières avec application sur le Rhône**

(1 descriptif du sujet de thèse à finaliser est proposé en annexe 2 à la fiche)

### **C. Anticipation sur les tâches à effectuer en phase 5 (2012-2014)**

La phase 5 devra être une phase de valorisation des résultats acquis lors des 4 phases précédentes et du travail de thèse. L'outil opérationnel d'aide à la décision sera finalisé. De plus, sa mise en œuvre devra tenir compte de la réflexion engagée en phase 4 sur les conditions de transférabilité de l'outil intégrant :

- les problèmes posés par les informations manquantes ;
- les conditions d'utilisation ;
- les solutions exportables à d'autres cours d'eau.

## **ANNEXE 1 : Communications et publications**

### *Publications*

*GRAILLOT D., PARAN F., BORNETTE G., MARMONNIER P., PISCARD C. & CADILHAC L. (en cours de rédaction) Coupling groundwater modeling with biology to identify strategic water resources (revue visée : Water Research)*

PARAN F., DECHOMETS R. & GRAILLOT D., *Identification et quantification des échanges nappes/rivière par analyse spatiale. Géomatique expert, 2008 (64), pp. 73-79.*

### *Communications*

PARAN F., DECHOMETS R. & GRAILLOT D., *Les relations usages des sols/ressources en eaux souterraines envisagées selon une double perspective dans le cas d'échanges nappes/rivière - Application au fleuve Rhône. In Actes des 33e journées scientifique du GFHN « Impact de l'usage du sol sur les ressources en eau souterraines », organisées l'EmmaH et le GFHN, Université d'Avignon, Novembre, 2008, 6p.*

PARAN F., DECHOMETS R. & GRAILLOT D., *Identification et quantification des échanges nappes/rivière par analyse spatiale, Contexte de données fragmentées et hétérogènes, application au fleuve Rhône – zones alluviales. In. Actes de la conférence francophone ESRI « SIG 2008 », organisée par ESRI, Versailles, Octobre, 2008, 9p. (CD-ROM) + Poster dans le Recueil de cartes ESRI 2008, volume 5 coédité avec HP France et l'IGN*

GRAILLOT D., PARAN F., MIMOUN D., BORNETTE G., GIBERT J.& CADILHAC L., *Spatial Analysis to Model Interactions between Surface and Groundwater and to identify strategic water resources. IIT-GEM applied research seminar in engineering & technology 24th-26th September 2008 IIT Delhi.*

GIBERT J. & MARMONIER P., (2008) *Research from Subterranean Ecology and Hydrobiology research group at University Lyon1. IV European Speleological Congress, Lans-en-Vercors FRANCE, 23-30 August 2008.*

GRAILLOT D., PARAN F., MIMOUN D., BORNETTE G., GIBERT J. & CADILHAC L., *Coupling groundwater modeling with biology to identify strategic water resources. In. Proceedings of the conference "ModFlow and More: Ground Water and Public Policy", organisée par Colorado School of Mines, Golden, USA, May 2008, pp209-213.*

## ANNEXE 2 : Sujet de thèse

### Intitulé du sujet de thèse : Modélisation emboîtée multi-échelle et validation multi métrique des échanges nappes rivière – Application au Rhône

Laboratoire d'accueil	SITE (Sciences Information et technologie pour l'Environnement)
Directeur de thèse	Direction : Didier Graillot ENSM-SE Co-direction : Djamel Mimoun CR, ENSM-SE, Centre SITE
Laboratoire de rattachement	Centre SITE ENSM-SE
Autres membres de l'encadrement	F. Paran, Y. Travy, L. Simon, P. Marmonier, G. Bornette, L. Cadilhac
Nomenclature ministérielle	DS3 ( <a href="http://dr.education.fr/SIREDO/DS_RSD_SD">http://dr.education.fr/SIREDO/DS_RSD_SD</a> )

#### A1. Présentation du sujet et objectifs

Actuellement une réflexion doit être engagée sur la façon de modéliser des systèmes aquifères alluviaux superficiels à grande échelle connectés à un système hydrographique principal et secondaire. Lorsque sur ce type d'aquifères, des modélisations partielles existent déjà : doit-on utiliser les modèles existants et trouver le moyen de les lier entre eux, ou au contraire doit-on mettre en œuvre une modélisation à échelle plus globale voire simplifiée validée par des modélisations plus fines sur des secteurs clefs ? L'objet de la thèse s'intéresse à la seconde solution pour laquelle on peut envisager 2 possibilités.

La première possibilité consiste à utiliser une fonction SIG d'analyse spatiale à grande échelle permettant de calculer automatiquement les gradients hydrauliques de nappes correspondant aux différentes configurations d'échange. Mais cette première solution n'est pas conçue pour une compréhension plus fine des écoulements. Elle est fondée sur une analyse géométrique des niveaux piézométriques.

La seconde correspond à une technique de modélisation à grande échelle fondée sur une méthode par éléments analytiques permettant de définir les conditions limites géométriques et hydrauliques sans discrétiser en mailles fines l'ensemble de la zone. Cette méthode est fondée sur la théorie du potentiel complexe et le principe de superposition des écoulements. Les valeurs de potentiel calculées seront comparées aux résultats obtenus par modélisation locale (éléments finis ou différences finies) compte-tenu des paramètres de calage et des données introduites dans les modèles au moment de leur élaboration ou de leur dernière utilisation. Cette stratégie calée à l'échelle locale pour certains tronçons à déterminer (accessibilité des données de l'hydrosystème) sera comparée au calcul de gradients. Les métriques biologiques (invertébrés souterrains et macrophytes) seront utilisées, là où elles existent, en tant que critère de validation supplémentaire et en particulier en cas de divergence des résultats.

L'analyse de la cohérence entre les résultats du modèle global et ceux des modèles locaux, fera l'objet d'une validation complémentaire à partir des données géochimiques et isotopiques ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ , traceurs de solutés ou radioactifs) le long du réseau hydrographique et dans les systèmes aquifères. Il s'agira de valider à partir des résultats des modèles et des indicateurs isotopiques les mécanismes d'échange entre les nappes et le fleuve (débits contributifs, vitesses d'écoulement, gradients, temps de séjours, localisation des zones de recharge). Une réflexion sur la notion de régime transitoire des échanges nappes/ rivières sera à développer en cours de thèse.

#### A2. Profil du candidat

- Titulaire d'un Master recherche en Sciences de l'environnement : Mécanique des fluides et Mathématiques appliquées, modélisation des écoulements souterrains (méthodes numériques discrètes, méthodes analytiques), Hydrogéologie et géochimie

- Inscription : à l'ENSM-SE dans le cadre de l'Ecole Doctorale de Saint-Etienne

- Financement : coût 120 k€ sur 3ans. **En cas d'accord de l'Ecole doctorale de Saint-Etienne**, le financement de la thèse est assuré par l'ENSM-SE pour trois (3) ans.