

Accord Cadre ZABR- Agence de l'Eau

Fiche résumé

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) Phase 5 (2012-2014). ACTION 9

Personne responsable : Didier Graillot – Département Géosciences et Environnement, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 158 cours Fauriel, 42023 Saint-Étienne Cedex 2.
E-mail : graillot@emse.fr ; Téléphone : 04-77-42-01-30 ; Fax : 04-77-42-66-33

Correspondant Agence de l'eau RMC : Laurent Cadilhac

Equipes de recherche « ZABR » concernées :

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

- Département Géosciences et Environnement de l'ENSM-SE (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne)

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

- UMR 5023 Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés (LEHNA)

* Equipe Ecologie, Evolution, Ecosystèmes Souterrains (E3S) de l'Université Lyon I :

Pourcentage de contribution : 25%

* Equipe Ecologie des Communautés Végétales

Domaine : Ecologie et Hydrobiologie – Pourcentage de contribution : 25%

* Equipe IPE Impacts des polluants sur les Ecosystèmes, contribution pour les méthodes géophysiques.

Autres partenaires :

- Université Jean Monnet, faculté des sciences, LMV/TLCNRS UMR 6524 (10% géochimie, isotopes)

- UMR 5600 – ENS pour la partie thermie infrarouge

- 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 ressources (D. Graillot, C. Piscart)

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 ».

Site de rattachement ZABR :

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

- Rhone
- Zones humides du Rhône

Finalités et attendus opérationnels :

(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 un guide méthodologique 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 finaliser 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, cet outil 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.

Sur le plan scientifique, l'enjeu consiste à disposer d'un outil de synthèse permettant de confronter sur les sites d'étude du programme différentes métriques hydrologique, biologique, géochimique en matière d'échanges nappe / Rhône. La comparaison de ces différentes métriques doit aboutir soit à la validation qualitative des échanges permettant un calcul quantifié des débits correspondant soit à une recherche d'informations et de mesures complémentaires en cas de non cohérence entre les différentes métriques.

- 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.

Objectifs et méthodologie:

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.

La méthodologie élaborée lors des phases 1, 2 et 3 et 4 a été testée et ajustée sur plusieurs secteurs tests et ses conditions d'application sur d'autres secteurs seront déterminées dans cette dernière phase 5.

L'objectif final est d'aboutir à l'édition d'un guide méthodologique pour l'évaluation des échanges nappes/Rhône en zone alluviale à destination des gestionnaires.

A. Rappel des résultats obtenus au cours des phases précédentes (1 à 4) :

Rappel des résultats de la phase 1 (mars 2006 – mars 2007) :

- synthèse bibliographique interdisciplinaire en matière d'échanges nappes/rivière
- recensement des données existantes ont abouti :
- sectorisations du fleuve Rhône
- hypothèses d'échanges nappes/Rhône
- schématisation des configurations hydrogéologiques d'échanges sur le Haut-Rhône
- visualisation sous SIG et à la construction de la base de données SIG
- choix d'un secteur test, la chute de Brégnier-Cordon.

Rappel des résultats de la phase 2 (mars 2007 – mars 2008) :

- validation du secteur témoin présélectionné (Brégnier-Cordon) dans la phase 1
- schématisation des configurations hydrogéologique sur le Rhône-Moyen et le Bas-Rhône et à la collecte de données complémentaires ;
- développement d'une méthode d'analyse spatiale sous SIG de caractérisation des échanges ;
- initiation du tableau d'interprétation des résultats par métriques et de la codification des métriques ;
- analyse des résultats inter-sites et à une sectorisation fonctionnelle quantifiée sur Brégnier-Cordon.
- estimation des débits de nappe sur le secteur de Péage-de-Roussillon ;
- identification des données biologiques
- proposition d'un site aval (Donzère-Mondragon) en fonction des données disponibles (hydraulique, biologique, isotopique)
- 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.
- quantification des apports souterrains sur le secteur de Brégnier-Cordon : environ 340 l/s pour 7,5km avec les premiers croisements de résultats hydrauliques et biologiques globalement en accord sur les zones où la comparaison est possible
- organisation de deux comités pléniers de restitution

Rappel des résultats de la phase 3 (mars 2008 – décembre 2009) :

- * Acquisition de nouvelles données :
 - hydrauliques, piézométriques ;
 - biologiques (invertébrés souterrains et macrophytes) ;
 - isotopiques et physico-chimiques.
- * Développement méthodologique :
 - choix du secteur témoin aval validé (Donzère-Mondragon).
 - études complémentaires engagées sur le secteur de Brégnier-Cordon, notamment avec la métrique isotopique
 - analyse corrélative inter-sites avec lien statistique entre les différentes métriques (hydraulique, biologique, géochimique)
 - typologies des échanges selon les différentes métriques et sectorisation fonctionnelle quantifiée
 - organisation d'un comité plénier pour clôturer la phase 3 et initier la phase 4.

Résultats de la phase 4 (janvier 2010 – décembre 2012)

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

Confluence Ardèche/Rhône

- Exploitation de l'étude piézométrique réalisée durant la phase 3

- Caractérisation hydro_SIG des échanges
- Prélèvement d'invertébrés en fonction des résultats hydro
- Prélèvement macrophytes en fonction des lînes échantillonnables
- Finalisation et exploitation du diagnostic isotopique initié en phase 3 par le laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon

2. Echanges en régime transitoire

Le secteur le plus adapté pour étudier l'influence des régimes transitoires saisonniers sur les échanges nappes/fleuve était celui de Donzère-Mondragon.

- a. Eléments méthodologiques
- b. Traitement en régime transitoire à partir des données piézométriques différentes sur un même site (hautes eaux et basses eaux)
- c. Comparaison avec les résultats de modèles existants
- d. Campagnes de mesures complémentaires et équipement de piézomètres en sondes de niveau à enregistrement continu

3. Résultats obtenus dans le cadre de la thèse d'Eric Lalot

Comme prévu, L'EMSE a initié sur cette thématique un sujet de thèse d'octobre 2010 à décembre 2013 intitulé : Approche spatio-temporelle pour la modélisation et la caractérisation des échanges hydrauliques entre aquifères alluviaux et rivières – Application au Rhône. Il s'agit au travers de différents types d'outils - modèles déterministes, modèles boîte noire et analyse multi-variée spatiale – d'analyser leurs complémentarités dans la compréhension des échanges nappe-rivière en régime transitoire et de proposer une exploitation opérationnelle des résultats obtenus.

L'un des résultats intéressants obtenus à l'issue de la première année et utile dans le cadre du guide méthodologique consiste à pouvoir reconstituer des chroniques de données hydrologiques (niveaux d'eau en rivière, niveaux piézométriques en nappe) lorsqu'elles sont incomplètes ou insuffisantes pour calculer les débits d'échange. Cette reconstitution se fait par analyse corrélatoire à l'aide de modèles autorégressifs en prenant en compte la valeur des hauteurs d'eau en nappe ou en rivière en dehors des périodes pour lesquelles on ne dispose pas de données. Ces tests ont porté sur la zone de Péage de Roussillon sur laquelle 6 enregistreurs en continu ont été installés en plus des données mises à disposition par les autres partenaires en particulier le Smirclaid et la CNR. Une analyse en composantes principales spatialisée des signaux de nappe a été réalisée à partir des données reconstituées et complétées et met en évidence les zones de la nappe influencées par le RCC et celles qui sont influencées davantage par les pompages. Ce site relativement anthropisé (pompages pour l'AEP, l'irrigation et l'approvisionnement en eau industrielle) fait l'objet d'un projet de restauration de lînes conduit par la réserve de l'Ile de la Platière ; une vingtaine de profils en travers des lînes le long du RCC a été réalisée pour prendre en compte leur rôle dans les mécanismes d'échanges. Il s'agit d'une allocation doctorale financée par l'EMSE. Le rapport d'avancement du travail de thèse a été communiqué à l'agence de l'eau.

4. Mise en place d'une Database commune cohérente avec la nomenclature de Database existantes et ébauche du guide méthodologique pour l'évaluation des échanges nappe/rivières appliquée aux zones alluviales du Rhône

Les données de chaque équipe de recherche ont été introduites dans une base de données spatio-temporelle à caractère général (format Excel) qui trouvera sa place dans le guide méthodologique. L'intégration des connaissances acquises en matière d'évaluation des échanges nappe/rivières dans un outil d'aide à la décision a fait l'objet au cours de cette phase 4 d'une réflexion approfondie. Il s'agit de constituer un guide méthodologique aidant l'utilisateur à cheminer progressivement dans les étapes de l'évaluation en fonction de son profil et du contexte qui correspond à sa demande en s'appuyant sur des exemples (sites qui ont été étudiés dans la cadre du programme dans les phases précédentes). La technique choisie est celle de la théorie des graphes qui permet de représenter de façon très structurée les différentes étapes de l'évaluation (nœuds du graphe), le parcours dans le graphe dépendant du contexte (besoin d'une évaluation qualitative ou quantitative des échanges, données disponibles, objectifs, moyens).

Une première version du guide méthodologique sera contenue dans le rapport de la phase 4

5. Gouvernance/ animation et valorisation résultats

Cette activité a fait l'objet de comités techniques, d'interventions et de communications sur le projet et de réunions avec les gestionnaires impliqués dans la problématique des échanges nappe/rivière dans le cadre de projets de gestion de la ressource (AEP, restauration de lônes,...).

5.1. Comités techniques

- 27 et 28/4/2011: terrain avec L. Cadilhac
- 15/9/2011: avancement du projet et présentation de la thèse E. Lalot, avec L. Cadilhac
- 30/9/2011: méthodologie d'élaboration du guide pour l'évaluation des échanges
- 21/2/2012: suite élaboration du guide + préparation phase 5 avec L. Cadilhac

Au total 4 comités techniques dont 3 avec l'agence (les CR: 5 fichiers pdf ont été transmis à L. Cadilhac et la ZABR le 25/1/2012 téléchargeables)

5.2. Interventions sur le projet (valorisation)

- séminaire eau/territoire/société 19/8/2011
- présentation du projet à l'OHM 6/9/2011
- séminaire Hydro Agence RMC 22/9/2011
- séminaire inter-ZA Rennes 6/10/2011
- présentation du projet au colloque E3D à Agadir (Maroc) en mars 2012
- communication au congrès international de l'EGU à Vienne en Autriche en avril 2012

Au total 6 interventions/présentations

- communications au colloque IS River en juin 2012

5.3. Réunions avec les partenaires et gestionnaires impliqués dans le projet

- SMIRCLAID 19/1/2011 et 15/2/2012
- CNR janvier et mars 2011
- Syndicats des eaux (SIGEARP, ...) printemps 2011
- OSIRIS mai 2011
- Réserve de la Platière 3 et 24 octobre 2011
- présentation du projet au Smirclaid le 9 mai 2012

au total: 8 réunions

Sur le plan de la valorisation scientifique, une publication sur le sujet synthétisant la méthodologie d'évaluation des échanges nappe/rivières appliquée au Rhône et les résultats obtenus est en cours de soumission dans une revue de rang A comme Journal of Hydrology ou Water resources management.

B. Principales tâches à effectuer pour la phase 5 (janvier 2013 – décembre 2014) :

Trois étapes principales composent cette phase 5 :

- a) Approfondissement méthodologique
- b) Instrumentation complémentaire
- c) Constitution du guide méthodologique final

- a) Approfondissement méthodologique : transposabilité de la méthodologie d'évaluation des échanges

Il s'agit d'établir le caractère générique de la méthodologie d'évaluation des échanges nappe-fleuve. Pour cela il est nécessaire de choisir un site hors alluvions du Rhône pour tester les méthodes mises au point. La basse vallée du Doubs semble présenter pas mal d'avantages à plusieurs niveaux : contextes hydrologique, hydrogéologique et morphologique bien différenciés, possibilité d'individualiser d'un côté le Doubs de l'autre la Loue. La Saône peut également se prêter à l'application de la méthodologie. Toutes les opérations nécessaires à l'obtention et au traitement des données liées aux différentes métriques seront donc à réaliser dans cette tâche.

- b) Instrumentation complémentaire

Des compléments en matière de mesures piézométriques sur des sites déjà investigués sont nécessaires afin de mieux maîtriser les incertitudes de mesures et leur impact dans l'évaluation des

échanges. Ces mesures seront utiles pour établir l'efficacité des méthodes de réconciliation de données de hauteurs d'eau en nappe ou en rivière mises en œuvre dans la thèse d'E. Lalot. En effet, il est important de pouvoir utiliser les données existantes pour évaluer les échanges nappe/Rhône même si celles-ci ne sont pas tout à fait complètes ou présentent quelques incohérences (défaut capteurs, problème de nivellement, données manquantes).

En termes d'instrumentation complémentaire, le recours aux techniques d'imagerie IRT pour évaluer à large échelle les apports d'eau phréatique au Rhône peut s'avérer tout à fait pertinent en permettant de localiser de manière précise les zones d'émergence de nappe. Une application est prévue sur les sites de Péage de Roussillon et de Donzère-Mondragon (cf. fiche ZABR 2012 intitulée : Imagerie infrarouge thermique aéroportée et modélisation hydrogéologique pour identifier et comprendre les zones d'échanges entre la nappe et le fleuve et l'échauffement thermique estivale en lien avec le débit réservé. Etude-pilote appliquée aux RCC de péage de Roussillon et de Donzère Mondragon).

Il s'agit d'une métrique complémentaire à celles développées et utilisées dans les phases précédentes qui présente un intérêt majeur pour la détection qualitative des échanges nappe/Rhône. Dans les zones alluvionnaires, les zones d'apport d'eau de nappe peuvent être ponctuelles ou linéaires et la propagation de l'anomalie thermique pourra être calculée sous la forme d'une distance à partir de laquelle le cours d'eau retrouve une température homogène. Cette distance pourra être spatialement corrélée à la nature (ponctuelle ou linéaire) de l'apport et à son intensité. Il s'agit d'un élément de cohérence supplémentaire par rapport aux débits d'échange calculés par méthode géomatique sur les linéaires de berges correspondant.

c) Constitution du guide méthodologique final

La phase 5 est surtout une phase de valorisation des résultats acquis lors des 4 phases précédentes et du travail de thèse initié en 2010. L'outil opérationnel d'aide à la décision est finalisé sous forme de guide méthodologique dont le mode d'élaboration a été choisi en phase 4 sous forme d'arbre de décision ou de graphe de cheminement dans lequel l'utilisateur du guide procède aux différentes étapes de l'évaluation selon le contexte lié à son cas d'étude (données existantes, outils mobilisés et mobilisables, enjeux, moyens pour procéder à des acquisitions de données nouvelles hydrauliques, géochimiques et/ou biologiques). Les conditions de transférabilité et de généralisation de l'outil seront établies en intégrant :

- les problèmes posés par les informations manquantes ;
- les conditions d'utilisation du guide;
- l'application à d'autres sites que ceux étudiés dans le cadre du programme.

Cette 3^e tâche (c) comporte :

- la réalisation finale du guide méthodologique et son édition
- le test du guide méthodologique auprès d'un panel d'utilisateurs identifiés avec l'agence de l'eau
- les modifications et ajustements nécessaires suite au test
- la mise en place d'un protocole de maintenance du guide pour qu'il puisse être opérationnel le plus longtemps possible.

Rappels

Tout projet ZABR doit répondre à 3 critères : être pluridisciplinaire, entrer dans les problématiques scientifiques de la ZABR, impliquer au moins 2 organismes membres du GIS ZABR et s'appliquer sur un site de la ZABR. Tous les renseignements sont disponibles sur le site internet de la ZABR. <http://www.zabr.org>

Modalités d'intervention de l'Agence de l'Eau :

Règle générale : une subvention de 50% d'un budget prévisionnel HT

Montant global alloué par l'Agence de l'Eau sur l'accord cadre AE ZABR : 250 k€