

APPEL D'OFFRE IFR ILEE 2008

Type de demande:	Soutien de programme	
Titre du projet:	Interactions entre aquifères fissurés et alluviaux en zones cristallines semi-arides et évolution de la pression anthropique	
Nom du porteur :	Christian LEDUC, UMR G-EAU	
Unités ILEE participantes :	UMR G-EAU :	C. LEDUC, J.Y. JAMIN, R. DUCROT, S. MARLET
	UMR HSM (+ GREAT-ICE) :	J.D. TAUPIN, J.L. SEIDEL
	UMR TETIS :	P. KOSUTH
Partenaires brésiliens :	UFC (Universidade Federal do Ceará, Ecole doctorale de Ressources en eau) : H. FRISCHKORN FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) : E.S.P.R. MARTINS, G. MOBUS, J. BURTE	

1. Argumentaire scientifique

Dans les zones cristallines semi-arides, les petits aquifères alluviaux sont des ressources hydrogéologiques limitées mais importantes pour les populations rurales grâce à leur disponibilité en saison sèche, à leur dispersion géographique et à la présence de terres alluviales fertiles propices à l'irrigation. Pourtant, les études portant sur la dynamique et les modes d'exploitation durable des petites nappes en zones semi-arides sont peu nombreuses. Plusieurs auteurs se sont cependant intéressés à la dynamique hydrologique des aquifères en régions semi-arides (par exemple **Mebarki & Thomas, 1988; Leduc et al., 1997; Ruud et al., 2004; Marechal et al., 2006; Sharda et al., 2006**). Dans les régions semi-arides où affleure le socle cristallin, la ressource en eau dépend surtout de son altération et de sa fracturation puisque la porosité primaire des roches mères est quasi-nulle. Du fait de l'aridité, l'eau est souvent très minéralisée et la salinité des eaux des aquifères alluviaux est alors intermédiaire entre celle des eaux du socle et celle des écoulements superficiels. Les aquifères alluviaux constituent ainsi des oasis qui, malgré leur petite taille (généralement quelques mètres d'épaisseur et quelques dizaines à centaines de mètres de largeur), ont un rôle important dans le développement socio-économique en permettant le maintien de populations rurales dispersées. Les études récentes menées dans le Nordeste brésilien (**Burte, 2006; Martins, 2007; Burte, 2008**) ont mis en évidence l'important potentiel exploitable de tels petits aquifères alluviaux, mais aussi la forte contrainte au développement que représente la salinité.

Comprendre la dynamique de ces petites nappes alluviales et en améliorer la gestion est une tâche majeure du développement durable en milieu rural semi-aride. L'identification des composantes physiques du milieu doit être complétée par une analyse sociale, économique et politique couvrant une large gamme depuis les stratégies individuelles d'exploitation jusqu'aux politiques publiques régionales. En effet, les comportements des usagers des différentes ressources en eau ont un impact déterminant sur la dynamique hydrologique et la salinité, ce qui justifie le couplage dans ce projet d'une approche « physique » avec une approche « sciences humaines et sociales ». L'ensemble nécessite le développement de méthodes et d'outils spécifiques de caractérisation et de suivi à diverses échelles, du fait de la forte hétérogénéité physique et humaine de ces milieux.

Ce projet rassemble plusieurs équipes de l'IFR ILEE qui travaillent depuis 2004 sur l'étude des petits aquifères alluviaux du Nordeste brésilien semi-aride, en coopération avec des institutions de recherche brésiliennes.

2. Objectif du projet

L'objectif de ce projet est de caractériser et de quantifier, pour différents environnements géologiques du semi-aride cristallin, les processus qui déterminent la dynamique de salinité des eaux des aquifères alluviaux et en particulier leurs relations avec l'aquifère de socle. Une attention particulière sera apportée à l'évaluation de l'impact de différents modes d'exploitation des ressources en eau sur la dynamique de salinité.

3. Méthodologie et zone d'étude

Une approche multidisciplinaire (sciences physique et sciences sociales) sera mise en œuvre à partir de travaux menés sur le bassin versant du Banabuiú (14.10³ km²), entièrement situé en environnement semi-aride et sur socle cristallin ; et ce, à différentes échelles (locale, aquifères, petits bassins versants). Deux bassins ont été choisis pour leur représentativité en termes de géomorphologie de la région cristalline semi-aride (Forquilha, 220 km² et Vista Alegre, 200 km²). Le troisième site a été choisi car présentant un intérêt spécifique du fait de la salinité exceptionnellement élevée de la nappe alluviale (>10g/L). Enfin, les études sociologiques qui seront réalisées dans cette région intégreront une dimension comparative entre les différents sites et seront mises en oeuvre à différentes échelles (locale, micro bassin versant, municipale).

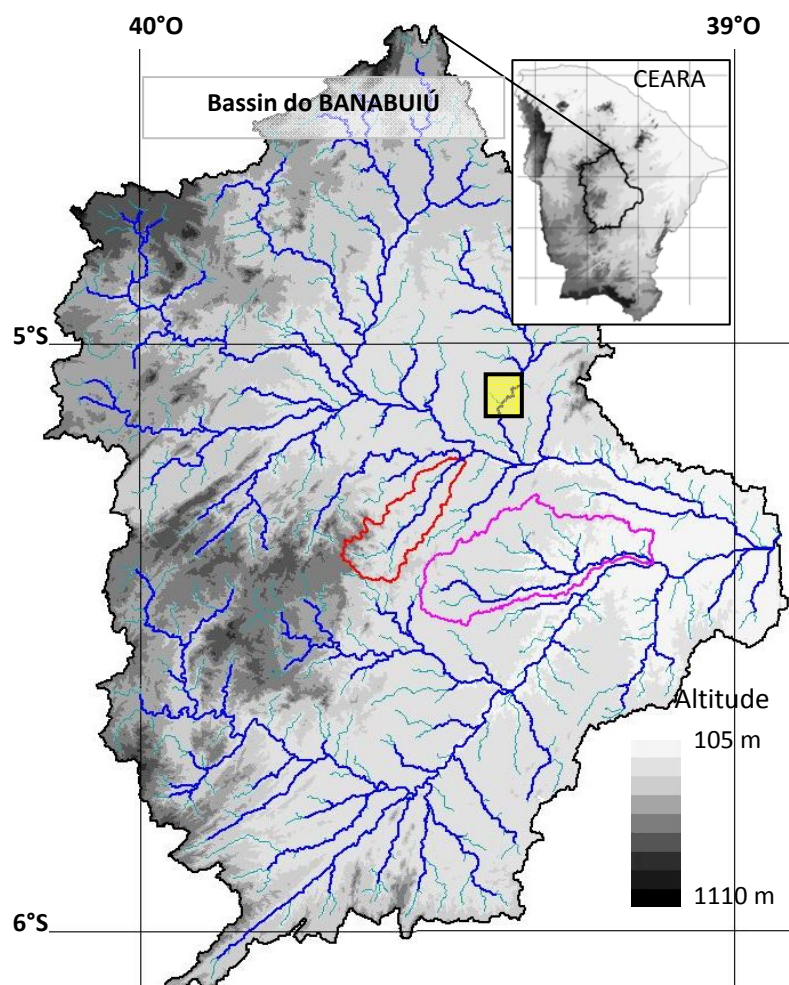


Figure 1: Localisation et topographie du bassins hydrographiques du Banabuiú, avec le réseau de drainage (bleu). Les trois zones d'études sont les petits bassins versants de Forquilha (rouge) et de Vista Alegre (rose), et un tronçon d'aquifère sur la rivière Pirabibu (jaune).

3.1. L'**approche physique** inclura, en particulier:

- **Le suivi piezométrique, de la conductivité électrique** des différentes ressources en eau sur les zones d'étude (aquifères alluviaux, aquifère de socle, retenues superficielles, écoulements superficiels en rivières) à partir des réseaux de suivi existants de la FUNCEME (20 puits en aquifères alluviaux, 4 puits en aquifère de socle, 8 retenues superficielles), qui seront complétés au besoin, en particulier par des suivis de la température et du pH.

- **La caractérisation géologique et géomorphologique du milieu** (analyse structurale et études géophysiques en particulier) (HSM, G-EAU, FUNCEME), qui aura principalement pour objectif d'identifier les zones d'altération et les fissures au niveau du socle.

Cette étude s'appuiera, en particulier, sur l'utilisation de techniques électro-résistives (sondages type Schlumberger SEVs) au niveau de tronçons d'aquifères choisis afin de mettre en évidence les fractures au niveau du socle. Quant à la méthode géophysique RMP (Résonance Magnétique Protonique) (Marechal J.C. et al., 2003; Wvyns et al., 2004; Dewandel et al., 2006), il sera fait une évaluation de l'intérêt de son application dans le contexte spécifique du socle cristallin du Nordeste brésilien, suivie d'une éventuelle mise en œuvre sur les zones d'études.

- **Etude et suivi géochimique et isotopique des ressources en eaux** (GREATICE-HSM, FUNCEME)
Les isotopes stables de l'eau (oxygène 18 et deutérium) et radioactif (tritium, carbone 14) sont des outils supplémentaires à la compréhension du fonctionnement des ressources en eaux souterraines, tant dans les processus de recharge, les processus de circulation dans l'aquifère, éventuellement de mélange avec d'autres aquifères et d'origine de l'eau que, dans la gestion de la ressource en quantifiant par exemple son temps de résidence. L'utilisation du marquage isotopique sera d'autant plus efficace si dans la zone d'étude on note une variabilité climatique due par exemple à une variabilité d'altitude importante sur le bassin, des conditions pluviométriques différentes ou des conditions pédologiques, géologiques et hydrogéologiques variées. En ce sens, on peut penser que la zone d'expérimentation (zone semi-aride) est particulièrement bien adaptée à ce type d'étude isotopique, avec une topographie prononcée (600 m de dénivelé), qui va permettre de différencier des zones d'alimentation des nappes, une géologie complexe (socle) permettant une infiltration rapide par faille ou lente (infiltration sur altérites), cette vitesse d'infiltration pouvant être marquée par des processus d'évaporation affectant la composition isotopique de l'eau et éventuellement le mélange d'eau d'origine différente selon les compartiments du socle.

Le réseau de suivi pluviométrique de la FUNCEME comprend plus de 20 pluviomètres et 8 pluviographes sur la zone d'étude. En fonction de l'amplitude de l'aire (~500 km²) de la zone étudiée, on va disposer un réseau de pluviomètre à l'échelle mensuelle pour évaluer la variabilité spatiale et temporelle de la composition isotopique des précipitations (fonction d'entrée) au cours de l'année et sa variabilité temporelle (sur un minimum de deux années). Les critères choisis pour définir le réseau sur la zone vont dépendre de l'altitude, du gradient pluviométrique et de l'étendue de la zone. Parallèlement, au niveau des aquifères choisis, deux campagnes de mesure des isotopes stables et de la chimie (majeurs) sont à programmer vers la fin de la saison des pluies (mai/juin) et à la fin de la saison sèche (nov/décembre), ce qui permettra de voir quelle est la réponse de chaque aquifère à la recharge saisonnière. Après l'analyse de ces premiers résultats sur les nappes, on complétera le dispositif en mesure de stables sur des processus locaux si nécessaire et on complétera par des analyses tritium et/ou carbone 14 sur certains points de nappe (seconde année) afin de modéliser plus finement les temps de résidence de l'eau.

- **Modélisation conceptuelle de bilan hydrologique et de masse (sels)** (G-EAU, FUNCEME) et hydrogéologique à partir d'un modèle à base physique (FUNCEME)

Ces travaux s'inscriront dans la continuité de ceux menés par J.Burte au cours de sa thèse.

- **Suivi et caractérisation de la variation temporelle des ressources en eaux et des usages par télédétection** (TETIS, FUNCEME)

Il s'agira en particulier de développer les méthodologies génériques permettant d'estimer le potentiel hydrique des petits aquifères alluviaux à une échelle régionale, à partir de l'analyse d'images satellite et de modèles numériques de terrain, en relation avec ce qui a été fait par **Daly-Erraya, 2007, Kosuth et al., 2008** et **Burte, 2008**. Il s'agira en particulier de progresser dans la différenciation de la cartographie des plaines alluviales (potentiel agronomique) de celle des aquifères alluviaux (potentiel hydrique) et sur ces derniers, de diminuer l'incertitude quant à la quantification des réserves disponibles. Ces travaux se feront essentiellement à travers la réalisation de masters ou, éventuellement, de la mise en oeuvre d'un doctorat sur des financements brésiliens (FUNCEME).

- 3.2. L'**approche sociale** aura pour objectif la **caractérisation des principaux types d'usagers et des déterminants socio-économiques des stratégies de gestion des ressources en eau** (G-EAU).

Les études sociologiques qui seront réalisées dans cette région intégreront une dimension comparative entre les différents sites et seront mises en oeuvre à différentes échelles (locale, micro bassin versant, municipale). Des études agronomiques seront développées afin de permettre une meilleure compréhension de l'impact des systèmes de production sur les stratégies locales de gestion des ressources en eau.

- 3.3. L'**intégration entre les différentes disciplines** se fera en particulier grâce à la réalisation de deux séminaires interdisciplinaires en cours de projet (présentation des résultats obtenus et méthodes mises en oeuvre ; réflexion en commun sur l'étape suivante).

Un espace de collaboration sur Internet sera ouvert afin de permettre la meilleure intégration et collaboration possible entre les équipes de recherche participantes.

Enfin, la collaboration transversale sera également favorisée par le suivi des étudiants qui travailleront sur les thématiques du projet et présenteront leurs résultats partiels ou finaux au cours des séminaires.

4. Résultats attendus et publications

Ce projet présente des objectifs spécifiques en termes de génération de connaissances et de développement méthodologique :

Objectif 1 : la génération de connaissances

- Compréhension du fonctionnement hydrologique et hydrochimique complexe d'aquifères hétérogènes de petite taille à forte réactivité face aux variabilités saisonnières (**Ribeiro Lima, 2004; Burte et al., 2005; Ribeiro Lima et al., 2007**).
- Développement d'outils de simulation (modèles de prévision simples), pour simuler l'impact de modes d'exploitation et de gestion (**Burte et al., 2008**).
- Définition de stratégies de gestion collective, prenant en compte les contraintes physiques, économiques et sociopolitiques locales (**Ribeyre, 2006; Burte et al., 2008**).

Dans ce cadre, la thèse en cotutelle (AgroParisTech/Université de São Paulo) de Anne-Laure Collard qui débutera en 01/2009 sur financements brésiliens (bourse de thèse FUNCEME) et

français (bourse GovAgua, soutien de fonctionnement CIRAD) portera sur l'étude de « la participation et ses déclinaisons dans les enjeux liés à La gestion de l'eau en milieu rural, à partir d'un cas d'étude : le municpe de Quixeramobim, Ceara, Brésil. »

Objectif 2 : le développement de méthodes

- Elaboration de méthodologies de suivi et d'évaluation des risques liés à la surexploitation à court terme d'une ressource hydrogéologique (Burte, 2008).
- Développement des méthodologies permettant d'estimer le potentiel hydrique des petits aquifères alluviaux à une échelle régionale (**Daly-Erraya, 2007; Burte, 2008; Kosuth et al., 2008**).

Les travaux feront l'objet de publications scientifiques dans les différentes disciplines abordées et permettront de renforcer les collaborations scientifiques entre équipes de l'IFR d'une part, et entre les équipes de l'IFR et les partenaires brésiliens d'autre part.

Sur le plan régional et opérationnel, les résultats serviront à la réflexion stratégique en cours sur l'approvisionnement en eau des communautés rurales de l'Etat du Ceará.

Thèse

La thèse de A.L. Collard en cotutelle AgroParisTech (F.Pinton) / Université de São Paulo (P.Jacobi) qui débutera en 01/2009 sur financements brésiliens (bourse de thèse FUNCEME (J.BURTE)) et français (bourse GovAgua, soutien de fonctionnement CIRAD (JY Jamin), portera sur l'étude de « la participation et ses déclinaisons dans les enjeux liés à La gestion de l'eau en milieu rural, à partir d'un cas d'étude : le municpe de Quixeramobim, Ceara, Brésil. » et s'inscrit dans le cadre de la caractérisation des principaux types d'usagers et des déterminants socio-économiques des stratégies de gestion des ressources en eau.

Deux autres bourses sont mises à disposition par la FUNCEME (pour des étudiants niveau master) en 2009 pour des travaux sur :

- 1) la compréhension du fonctionnement hydrologique et hydrochimique complexe d'aquifères hétérogènes de petite taille à forte réactivité face aux variabilités saisonnières et
- 2) le suivi et caractérisation de la variation temporelle des ressources en eaux et des usages par télédétection

5. Budget

Ce projet est financé principalement par des fonds brésiliens acquis (FUNCEME, CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (100.000 euros sur deux ans) et grâce à la mise à disposition de 3 bourses du FUNCEME pour des étudiants français et brésiliens.

Le budget demandé à l'IFR ILEE (10.000 euros) constituera donc un appui pour la mobilisation des compétences de chercheurs des différentes équipes de l'IFR au Brésil (1 mission 3000 €) ainsi que pour la réalisation d'analyses géochimiques et isotopiques à Montpellier et Avignon (7000 €).

Nombre d'analyses isotopiques estimées et coût :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. 120 analyses de stables (^{18}O et ^2H) | 3000 € HT (LAMA) |
| 2. 15 analyses tritium ou carbone 14 | 3000 € HT (Laboratoire d'Avignon) |

3. 40 analyse majeurs

1000 € HT (HSM)

Les dépenses sont prévues en parts égales sur les deux années. Il est prévu que le calendrier des missions sur le terrain en 2009 pourra être organisé en fonction des manifestations entreprises dans le cadre de l'année de la France au Brésil.

Evaluation Projet APPEL d'OFFRE IFR ILEE 2008
Evaluatrice : Nathalie DÖRFLIGER, BRGM – EAU/RMD
Date : 14 février 2009

Type de demande : soutien de programme pour un montant de 10'000 euros (3000 euros pour une mission et 7000 euros pour des analyses isotopiques, (deux fois 3500 euros et non 3000 euros comme indiqués dans le projet))

Titre du projet : Interactions entre aquifères fissurés et alluviaux en zones cristallines semi-arides et évolution de la pression anthropique

Nom du porteur : Christian LEDUC, UMR G-EAU

Unités participantes : UMR G-EAU ; UMR HSM (+ GREAT ICE) ; UMR TETIS

Partenaires brésiliens : UFC (Universidade Federal do Ceara, Ecole de doctorale de Ressources en eau ; FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologica et Recursos Hidricos

Le projet présenté s'inscrit dans la suite de la thèse de J. Burte (2008) intitulée les Petits aquifères alluviaux dans les zones cristallines semi-arides : fonctionnement et stratégies de gestion. Etude de cas dans le Nordeste brésilien. Université de Montpellier II et Universidade Federal do Ceara. L'objectif de cette thèse était (i) de caractériser du point de vue physique les petits aquifères alluviaux, de déterminer l'origine de leur salinité et leur recharge, et (ii) de caractériser le comportement socio-économique des groupes d'usages ainsi que les stratégies locales d'utilisation et de gestion des ressources. Une méthode régionale de cartographie des petits aquifères alluviaux à partir des méthodes d'interprétation des données spatiales de la télédétection a été développée et a permis d'évaluer le volume d'eau potentiellement exploitable sur un grand bassin versant (bassin versant du barrage Arrojado Lisboa localisé sur le fleuve Banabuiú et s'étendant sur une superficie de $14,2 \cdot 10^3$ km²). Un bassin pilote a été étudié en détail, à savoir le bassin de Forquilha (221km²).

Les principales conclusions de cette thèse concernant le fonctionnement des aquifères alluviaux en contexte de socle sont les suivantes :

- Les aquifères alluviaux sont en connexion hydraulique avec les eaux de surface, influencées par le stockage des barrages, mais également avec les eaux souterraines des aquifères du socle.
- Existence d'une dynamique de la salinité des eaux souterraines complexe : salinité saisonnière pour les parties en connexion hydraulique avec le cours d'eau ; absence de saisonnalité pour les parties faiblement liées du point de vue hydraulique avec les eaux de surface ; influence du socle cristallin déterminante sur le long terme, renfermant des eaux de salinité forte. Salinité dans la zone non saturée pouvant être remobilisée suite à des événements pluvieux importants. Investigations nécessaires pour caractériser les interactions entre les zones saturée et non saturée, entre l'aquifère de socle et l'aquifère alluvial.
- Les connaissances acquises sur un bassin versant pilote ont été utilisées pour développer une première méthode d'estimation de la disponibilité hydrique des petits aquifères alluviaux à une échelle régionale, estimant un volume exploitable annuelle sur le bassin versant du Banabuiú de 18 à $35 \cdot 10^6$ m³.

L'objectif du projet présenté est de caractériser et de quantifier les processus qui déterminent la dynamique de la salinité des eaux des aquifères alluviaux et en particulier leurs relations avec l'aquifère de socle, avec une attention particulière concernant l'évaluation de l'impact des différents modes d'exploitation des ressources en eau sur la dynamique de la salinité.

L'approche multidisciplinaire proposée pour atteindre cet objectif est tout à fait appropriée : approche physique et approche sociale. Trois sites sont proposés, dont celui déjà étudié en détail et ayant fait l'objet de modélisation hydrogéologique et de scénarios d'utilisation de la ressource, le bassin de Forquilha dans le cadre de la thèse de J. Burte. Les études sociologiques seront réalisées à différentes échelles (locale, bassin versant, municipale). La question de l'agrégation des différentes échelles devra être prise en compte.

Commentaires par rapport aux méthodes proposées dans le cadre de l'approche physique

(i) suivi piézométrique et conductivité électrique

Le suivi porte sur une 30 de points comprenant des points dans les aquifères alluviaux, l'aquifère de socle et les retenues d'eaux superficielles, pour l'ensemble. On ne connaît pas la répartition entre les trois sites. Il faudra être attentif à ce qu'il y ait un nombre de points suffisants et représentatifs des trois types au niveau des trois sites pilotes. L'effort devra porter sur le bassin de Vista Alegre et le site de Pirabibu, vu que le bassin versant de Forquilha a déjà été caractérisé en détail au cours de la thèse de J. Burte. Rien n'est dit sur la nature du suivi et sur la fréquence d'acquisition. Si ce sont des suivis ponctuels pour des conditions hydrologiques pertinentes en fonction des périodes de recharge et de vidange des aquifères, il serait pertinent de prévoir des suivis en continu à l'aide de sondes (Pression, T et C) au niveau de quelques points, dont sur un couple aquifère alluvial et aquifère de socle. Des profils de température, conductivité voir de pH devraient également être réalisés, afin d'avoir des informations sur la répartition des paramètres avec la verticalité. Si le financement d'appareils de mesures en continu n'est pas prévu dans le cadre des financements acquis par les fonds brésiliens, une demande complémentaire pour deux sondes (P, T et C) avec data logger pourrait être faite dans le cadre de cette demande de soutien à un projet de l'IFR ILEE. Une interprétation des chroniques piézométriques et de paramètres physico-chimiques couplées aux chroniques pluviométriques et hydrologiques existantes pourrait très certainement apporter des informations complémentaires concernant le fonctionnement des aquifères et la saisonnalité de la salinité. Il serait intéressant de voir si des données de paramètres hydrodynamiques issus des essais de pompage sont exploitables. Une analyse de ces données pourrait apporter des éléments sur la variabilité spatiale, l'existence d'effet d'échelle associé à la distribution spatiale des paramètres K notamment, en fonction des rayons d'investigations des essais hydrauliques.

(ii) caractérisation géologique et géomorphologique

La caractérisation des formations du socle est importante, elle devra permettre d'identifier l'importance de la zone d'altération, la zone de fissuration et la limite avec la zone saine du socle. Cette caractérisation doit se faire à deux échelles, une échelle régionale et une échelle locale à l'aide de profils sismiques pouvant cibler des zones particulières. Cette caractérisation devrait pouvoir aboutir à une cartographie. Il serait intéressant de pouvoir faire un lien avec une caractérisation hydraulique des forages interceptant les différents horizons, avec la réalisation d'essais de pompage ou d'injection (slugtests).

(iii) suivi géochimique et isotopique des ressources en eaux

Deux campagnes d'analyse sont prévus (isotopes stables et majeurs) concernant les pluies et les points d'eau, afin de caractériser les processus de recharge. L'accent devra être mis pour les points d'eau souterraine sur les deux sites non caractérisés à ce jour et en particulier sur des points au niveau de l'aquifère alluvial, mais aussi de l'aquifère de socle et des eaux de surface, au vu des résultats concernant l'origine de la salinité au terme de la thèse de J. Burte. En termes de perspectives, il serait intéressant de voir si l'utilisation des isotopes du Sr ne pourrait pas apporter des informations sur l'origine de la salinité en provenance de l'aquifère du socle.

(iv) modélisation hydrologique et de masse (salinité)

Dans le cadre de l'établissement de la modélisation, dans la continuité des modèles utilisés dans le cadre de la thèse de J. Burte, il serait important de tester différentes hypothèses au vu des résultats des actions de caractérisation physique et chimique menées au préalable, sur les conditions aux limites de l'aquifère alluvial avec l'aquifère de socle.

(v) caractérisation de la variation temporelle des ressources en eaux et des usages par télédétection

Important de voir comment réduire les incertitudes sur l'estimation des réserves disponibles.

Commentaires par rapport aux méthodes proposées dans le cadre de l'approche sociale

Pas de commentaires particuliers, si ce n'est de bien penser comment insérer les données sur les stratégies de gestion à des échelles compatibles avec celles des modèles hydrogéologiques.

Commentaires par rapport à l'intégration des deux approches

L'intégration des deux approches est importante si à termes des modèles de gestion de la ressource sont développés. Des séminaires interdisciplinaires sont importants, mais un plus serait de pouvoir définir des perspectives en termes de modèles de gestion intégrée, intégrant les stratégies de gestion, le fonctionnement hydrogéologique,

Publications scientifiques

Les publications concerneront l'acquisition de nouvelles connaissances concernant ce type d'aquifère dans ce contexte de socle semi aride et d'autre part sur les stratégies de gestion, et les développements méthodologiques. Elles s'inscrivent dans la poursuite de publications déjà rédigées par les acteurs du projet, franco brésiliens, dans le cadre de cette collaboration internationale.

Avis général :

La demande de financement est complémentaire à un financement existant par des fonds brésiliens acquis et de trois bourses pour des étudiants français et brésiliens. Elle s'élève à un montant de 10 000 euros, concerne essentiellement des frais d'analyses (7 000 euros) et de frais de mission pour des chercheurs des équipes de l'IFR. Une demande complémentaire pourrait être faite pour le suivi en continu des paramètres (P, T et C) si cela n'est pas financé dans le cadre du projet par ailleurs déjà financé par les fonds brésiliens.

La demande de soutien a un programme en cours permettra d'apporter des informations complémentaires concernant la recharge des aquifères alluviaux en relation hydraulique avec les eaux de surface et les eaux souterraines du socle. Elle s'inscrit dans la continuité de travaux de recherche sur ces aquifères alluviaux en contexte de socle en climat semi aride. La connaissance des mécanismes de la recharge est fondamentale pour pouvoir proposer des modalités de gestion de la ressource en eau.

L'avis argumenté (cf ci-dessus) est un avis favorable.

Montpellier, le 14 février 2009

Nathalie Dörfliger

Waktu

6. Chronogramme

Mois	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24
Tâche 1 : Mise en place des protocoles en cohérence entre les différentes équipes,.								
Tâche 2 : Etudes de terrain, collecte d'échantillons, réalisation des analyses		3500 €			3500 €			
Tâche 3 : réunions de travail aux stades intermédiaires du projet (rédaction de rapports d'étapes, séminaires interdisciplinaires de présentation des résultats et intégration entre les disciplines)			3000 €					
Tâche 4 : Analyse des résultats et modélisation								
Tâche 5 : Bilans/rapports/publications								

Temps chercheur consacré à ce projet :

		% Equiv. Temps Plein
UMR G-EAU	C. LEDUC	5%
	J.Y. JAMIN	10%
	R. DUCROT	5%
	S. MARLET	5%
UMR HSM (+ GREAT-ICE)	J.D. TAUPIN	10%
	J.L. SEIDEL	5%
	A. COUDRAIN	5%
UMR TETIS	P. KOSUTH	5%

7. Bibliographie

- Burte, J., 2006. Impacto da exploração dos aquíferos aluviais superficiais no sertão semi-árido (CE) na sua dinâmica e na poluição dos solos e das águas. Conseqüências em termo de estratégias de gestão coletiva. I Simpósio Água e Desenvolvimento Sustentável. FUNCEME, Fortaleza-CE BRASIL.
- Burte, J., 2008. les petits aquifères alluviaux dans les zones cristallines semi-arides: fonctionnement et stratégies de gestion. Etude de cas dans le nordeste brésilien. Université Montpellier II et Universidade Federal do Ceará, Montpellier (France) and Fortaleza (Brasil). 193 p.
- Burte, J., Coudrain, A., Frischkorn, H., Chaffaut, I., Kosuth, P., 2005. Human impacts on components of hydrological balance in an alluvial aquifer in the semiarid Northeast, Brazil. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 50, 95-110.
- Burte, J., Jamin, J.-Y., Coudrain, A., Frischkorn, H., Martins, E.S.P.R., 2008. Simulations of multipurpose water availability in a semi-arid catchment under different management strategies. *Agricultural Water Management*, (submitted).
- Daly-Erraya, G., 2007. Délimitation des aquifères superficiels dans le Nordeste brésilien (Quixeramobim-CE). IUT CAen, Montpellier, pp. 38.
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Wyns, R., Marechal, J.C., Krishnamurthy, N.S., 2006. A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of Hydrology*, 330, 260-284.
- Kosuth, P., Daly-Erraya, G., Feau, C., Burte, J., Martins, E.S.P.R., 2008. Delineation of superficial alluvial aquifers using DEM geoprocessing and satellite imagery: application to semi-arid northeast Brazil. WWC 2008, Montpellier.
- Leduc, C., Bromley, J., Schroeter, P., 1997. Water table fluctuation and recharge in semi-arid climate: Some results of the HAPEX-Sahel hydrodynamic survey (Niger). *Journal of Hydrology*, 189, 123-138.
- Marechal J.C., Wyns, R., Lachassagne, P., Subrahmanyam, K., Touchard, F., 2003. Anisotropie verticale de la perméabilité de l'horizon fissuré des aquifères de socle : concordance avec la structure géologique des profils d'altération. *C.R. Géosciences (CRAS)*, 335, 451-460.
- Marechal, J.C., Dewandel, B., Ahmed, S., Galeazzi, L., Zaidi, F.K., 2006. Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semi-arid groundwater basin with irrigated agriculture. *Journal of Hydrology*, 329, 281-293.
- Martins, E.S.P.R., 2007. Mapeamento e Avaliação do Potencial Hídrico Subterrâneo dos Aluviões em Zonas Semi-Áridas Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG. FUNCEME, Fortaleza, pp. 184.
- Mebarki, A., Thomas, C., 1988. Analysis of the relation between surface and groundwater flows from daily stream flow hydrografs. Basin of Kebir-Khumel (Algeria). *Hydrol. continent.*, 3, 89-103.
- Ribeiro Lima, C.H., 2004. Estudo da interação rio-aquífero para regime transiente por meio de um modelo analítico. Federal University of Fortaleza, Fortaleza-CE (BRAZIL). 189 p.
- Ribeiro Lima, C.H., Frischkorn, H., Burte, J., 2007. Avaliação da Interação Rio-Aquífero a Partir de Dados Experimentais e de um Modelo Analítico. *RBRH (Revista Brasileira de Recursos Hídricos)*.
- Ribeyre, D., 2006. La vallée du Forquilha : multi-usages et stratégies de gestion de l'eau dans le Nordeste semi-aride (Ceara - Brésil). CNEARC (Montpellier-France), 145 p.
- Ruud, N., Harter, T., Naugle, A., 2004. Estimation of groundwater pumping as closure to the water balance of a semi-arid, irrigated agricultural. *Journal of Hydrology*, 297, 51-73.
- Sharda, V.N., Kurothe, R.S., Sena, D.R., Pande, V.C., Tiwari, S.P., 2006. Estimation of groundwater recharge from water storage structures in a semi-arid climate of India. *Journal of Hydrology*, 329, 224-243.
- Wyns, R., Baltassat, J.M., Lachassagne, P., Legchenko, A., Vairon, J., Mathieu, F., 2004. Application of SNMR soundings for groundwater reserves mapping in weathered basemenet rocks (Brittany, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 175, 21-34.