



## **PROJET DE RECHERCHE**

### **TYPE DE DEMANDE :**

SOUTIEN DE PROGRAMME DE RECHERCHE

### **TITRE DU PROJET :**

Etude et simulation des interactions entre le fonctionnement hydrologique d'un petit aquifère alluvial et le fonctionnement de l'exploitation par les usagers (NE brésilien semi-aride).

**NOM DU RAPPORTEUR :** JEAN-YVES JAMIN (UPR GED CIRAD)

### **UNITES ILEE PARTICIPANTES :**

**UMR Eau** (Patrice Garin) et **UPR GED (Gestion de l'Eau et durabilité) CIRAD** (Jean-Yves Jamin)

Gestion sociale de l'eau.  
Caractérisation et analyse des usages et des usagers.  
Construction participative de scénarios d'exploitation des ressources en eau.

**UMR 3S** (Pascal Kosuth)

Caractérisation des bassins versants (géomorphologie, aires irriguées, barrages, aquifère) à partir d'images SPOT à différentes résolutions.

**UR IRD GREATICE** (Anne Coudrain)

Définition de la méthodologie d'instrumentation et de suivi de l'aquifère alluvial.  
Etude de la dynamique hydrologique des ressources en eau superficielles (retenues collinaires, barrages, rivière) et souterraines (aquifère alluvial, aquifère de socle).  
Modélisation spatialisée aquifère alluvial.

## DESCRIPTION DU PROJET

### Contexte

L'utilisation raisonnée et durable des ressources en eau en adéquation avec les besoins humains est aujourd'hui un enjeu à l'échelle de la planète.

Dans des situations où les eaux de surface sont confrontées à des pénuries chroniques, le développement spectaculaire de l'exploitation de certaines ressources souterraines grâce à un transfert de technologie aux populations rurales peut aboutir à court terme (quelques années) à leur surexploitation. Le problème de la gestion durable de la ressource se pose alors, aussi bien en terme de qualité, que de quantité.

Dans le Nordeste brésilien, l'exploitation d'aquifères alluviaux a été mise en place en 1998 à titre expérimental dans la vallée du Forquilha (Quixeramobim - Etat du Ceará). 165 puits tubulaires permettent maintenant d'alimenter 500 familles à partir d'une nappe alluviale de 2 millions de m<sup>3</sup> qui s'étend sur 23 km de long et 250 m de large. Depuis 2000, un suivi mensuel des niveaux piézométriques et de la salinité a montré une variation saisonnière du volume total en eau de 35% et une variation concomitante de la conductivité moyenne de 800 à 1200 µS.cm-1. Une modélisation conceptuelle a été développée dans le cadre du DEA de Julien Burte (2003-2004). Associée à l'analyse des trois ans de données, les simulations montrent que l'infiltration dans l'aquifère provient essentiellement de la rivière et qu'elle est de l'ordre de 1% de la pluie sur le bassin versant (212 km<sup>2</sup>). De plus, les simulations montrent que les pompages accroissent l'infiltration de 30 à 60%. L'extension des simulations sur la série pluviométrique de 1970 à 1988 montre qu'il serait possible de maintenir des cultures irriguées sur 75 hectares pendant 80% du temps. Pendant les 20% complémentaires, le niveau d'eau est trop bas et conformément à ce qui a été observé depuis 2000, les agriculteurs diminuent les pompages.

Devant le succès de l'expérience de Quixeramobim et les enjeux de l'alimentation en eau des communautés rurales, le Gouvernement du Ceara a initié en septembre 2001 le « Projet 5000 puits », programme d'exploitation de ces petits aquifères sur l'ensemble de l'Etat. Ce Programme a permis la dissémination de la technique manuelle de forage ce qui a provoqué une croissance exponentielle au niveau de l'Etat du nombre de puits (3500 nouveaux puits en un an). La trop grande confiance des agriculteurs dans cette ressource, et la maîtrise technique insuffisante risquent de compromettre sa gestion durable par une perte de contrôle progressive de l'exploitation des nappes et l'apparition de conflits d'usage.

La démarche multidisciplinaire que l'on se propose de suivre est de caractériser, sur plusieurs bassins versants pilotes, le fonctionnement hydrologique de l'aquifère et des autres ressources en eau et d'analyser usages et usagers. Les scénarios vraisemblables d'évolution et les stratégies de gestion des ressources en eau seront ensuite mis au point et testés avec les usagers. Enfin, les résultats obtenus seront discutés au regard de l'analyse d'autres bassins versants du Nordeste semi-aride.

### Objectifs généraux

L'objectif général de ce Projet est de développer les bases de connaissances scientifiques et techniques indispensables pour la gestion durable des aquifères alluviaux superficiels du Ceara, et du Nordeste brésilien :

- Compréhension scientifique de la dynamique de ces aquifères en quantité (recharge annuelle, écoulements, exploitation) et en qualité (salinité, qualité bactériologique, transferts de polluants agricoles : pesticides, fertilisants) : caractérisation hydrodynamique, explicitation des processus de transfert d'eau et de solutés, (UR GREATICE)
- Méthodes et outils de modélisation des processus : développement d'outils de simulation hydrologique et de transfert des produits phytosanitaires en lien avec le régime climatique et le mode d'exploitation de la ressource en eau, (UR GREATICE)
- Méthodes de caractérisation initiale des aquifères (avant exploitation) et de suivi de leur exploitation et de leur réponse : identification des systèmes aquifères, protocoles de mesure, instrumentation, gestion des données spatialisées, (UR GREATICE, UMR 3S, UPR GED)
- Méthodes d'aide à la décision et mise au point de stratégies de gestion collective (utilisation des modèles de fonctionnement en simulation de scénarios, méthodes de négociation). (UPR GED).

## Déroulement du Projet

### Tâche 1 : **Sélection d'aquifères pilotes et rédaction des protocoles d'étude :**

- Définition des objectifs
- Choix des sites d'étude : aquifères pilotes: quatre bassins et aquifères alluviaux différents.
  - o un aquifère de petite taille (Vallée du rio Forquilha - Quixeramobim),
  - o un aquifère de grande taille (vallée du rio Jaguaribe),
  - o un aquifère de petite taille dans une vallée où la rivière est pérennisée,
  - o un aquifère dont la recharge artificielle est possible à partir d'une retenue située en amont.
- Définition de la méthodologie (mesures, enquêtes, suivi, gestion des données, représentation spatialisée, étude des processus, modélisation, mise en oeuvre des modèles pour l'élaboration de stratégies de gestion)
- Elaboration d'un chronogramme

### Tâche 2 : **Instrumentation des aquifères, acquisition et gestion des données, représentation spatialisée :**

- Méthodes de caractérisation des bassins : (morphologie, végétation, climat, ressources en eau, occupation des sols, pratiques d'utilisation des ressources en eau, pratiques agricoles).
- Méthodes de caractérisation initiale des aquifères : dispositifs et méthodes de mesure (type de mesure, équipement, localisation), méthodes de traitement de l'information, quantification d'indicateurs d'exploitation (volume annuel exploitable, densité d'exploitation admissible)
- Méthodes de suivi de la dynamique des aquifères : dispositifs et méthodes de mesure (type de mesure, équipement, localisation, fréquence de mesure), méthodes de traitement de l'information.
- Gestion des données et représentation spatialisée des aquifères (systèmes d'information géographique)
- Elaboration d'un guide méthodologique pour la caractérisation et le suivi des aquifères alluviaux superficiels et d'un module de formation des ingénieurs et techniciens

### Tâche 3 : **Etude des processus et modélisation de la dynamique des aquifères:**

- Processus physiques : forçage climatique, écoulements, infiltration, ruissellement, stockage, transfert de solutés (sels, pesticides, fertilisants) , dynamique et de la qualité des eaux ...
- Processus liés aux pratiques agricoles : occupation des sols et travail du sol, aménagements, prélèvements de ressource en eau (alimentation en eau, irrigation,...), apports de produits phytosanitaires et fertilisants,...
- Analyse de différentes approches de modélisation / simulation et choix de modèles. Développement des modèles et simulation des aquifères pilotes

### Tâche 4 : **Développement des outils pour la gestion (modèles) :** calage, validation, domaine de « fiabilité »

- Méthodes de représentation spatialisée des aquifères et des usages (cartes, images, systèmes d'information géographique, bases de données)
- Développement des modèles de simulation pour les aquifères pilotes, méthodologies de calage de modèles,
- Représentation des pratiques et des stratégies des usagers (cf. Tâche 5),
- Simulations et validation (évaluation) des modèles.

### Tâche 5 : **Méthodologies d'utilisation des modèles en appui à la définition de stratégies de gestion**

- Connaissance des stratégies d'usage de l'eau par les populations;
- Simulation (cf. modèles Tâche 4), avec les usagers, du fonctionnement actuel des systèmes
- Définition avec les usagers de stratégies de gestion collective à l'échelle du bassin versant ou de zones homogènes ;
- Test par simulations et adaptation de ces stratégies de gestion collective ;
- Traduction des acquis en termes opérationnels : guides méthodologiques.

## FICHE BUDGÉTAIRE 2005-2006:

Financements / Organismes	Caractérisation des dépenses	Catégorie de dépenses	Valeurs	% du total
<b>EGIDE</b>	Projet CAPES/COFECUB	Frais de Mission	40 000 €	
	bourse LAVOISIER	Frais de Mission	10 500 €	
<b>UR CIRAD GED</b>	Appui thèse Julien Burte	Frais de Mission	6 000 €	
<b>UMR 3S</b>	Acquisition images satellitaires sur la zone	Fournitures et petits équipements informatiques	1 000 €	
<b>UR IRD GREATICE</b>	Encadrement Thèse Julien Burte	Frais de Mission	2 000 €	
<b>Préfecture Quixeramobim (Brésil)</b>	Appui thèse Julien Burte	Frais de Mission	10 000 €	
<b>Université Fédérale du Ceará (Brésil)</b>	Analyses chimiques et isotopiques	Fournitures et petits équipements laboratoire	2 000 €	
<b>Gouvernement Ceará (Brésil)</b>	Fournitures et instrumentalisation des bassins versants	Fournitures et petits équipements laboratoire	20 000 €	
			<b>TOTAL 1 91 500 €</b>	<b>85%</b>
<b>2 - Financement IFR ILEE</b>	2 Missions de 15 jours au Ceará (Brésil)	Frais de mission (2 voyages (2 x 1200 €) + 80€/per diem)	4 800 €	
	1 Mission de 3 mois thésard Julien Burte à Montpellier (12/2005 - 02/2006)	Frais de mission (1 voyage (1200 €) + 30€/per diem)	3 900 €	
	Acquisition d'images satellitaires sur la zone	Fournitures et petits équipements informatiques	3 000 €	
	Acquisition de Logiciels	Fournitures et petits équipements informatiques	2 000 €	
	Analyses chimiques d'échantillons d'eau	Fournitures et petits équipements laboratoire	500 €	
	Analyses isotopiques d'échantillons d'eau	Fournitures et petits équipements laboratoire	500 €	
	Publications / Traductions	Fournitures et petits équipements de bureau	1 000 €	
	Participation colloque	Frais de mission	1 000 €	
			<b>TOTAL 2 16 700 €</b>	<b>15%</b>
			<b>TOTAL GENERAL 108 200 €</b>	<b>100%</b>

La participation de l'IFR ILEE au financement du projet (2005-2006) serait de 15% du total.

## PUBLICATIONS

Les équipes partenaires de ce projet s'engagent à réaliser, dans le cadre de ce projet une publication tous les six mois (une publication dans les six premiers mois suivant l'appel d'offre puis deux autres publications l'année suivante).

La publication de guides méthodologiques pour la caractérisation des petits aquifères alluviaux et la mise en place de stratégies de gestion est également prévue.

## RESULTATS ATTENDUS ET STRATÉGIE DE VALORISATION

Plusieurs équipes de recherche françaises (UR Greatice-IRD, UR GED-CIRAD, UMR 3S) et brésiliennes (UFC, UFB, FUNCEME) participent à ce projet qui s'inscrit dans un accord bilatéral CAPES-COFECUB et inclut plusieurs autres thèses sur des problématiques complémentaires (pollution, structures d'exploitation, influence socio-économique).

Le soutien de l'IFR ILEE à ce programme de recherche portant sur les aquifères alluviaux du Nordeste brésilien semi-aride est fondamental car il permettra, en particulier, de créer un cadre institutionnel fort pour la coopération des différentes unités participantes.

Ce soutien financier permettra de compléter efficacement le budget de fonctionnement du programme, en permettant en particulier la réalisation d'analyses et la mobilité de chercheurs et de doctorants fortement impliqués.

La coopération scientifique avec des organismes de recherche brésiliens dans des domaines aussi variés que l'hydrogéologie, l'hydrologie des régions semi-arides ou le changement climatique global pourra permettre de nouer des partenariats scientifiques durables. Il s'agit en particulier des organismes de recherche brésiliens suivants :

- UFC (Université Fédérale du Ceara - CE)
- FUNCEME (Fondation du Ceara de météorologie et ressources hydriques - CE)
- UnB (Université de Brasilia - DF)
- UB (Université de Blumenau - RS)

Ce projet s'inscrit dans une continuité vis à vis des travaux de recherche menés par l'IRD (ex ORSTOM) et la SUDENE dans les années 80-90 sur l'hydrologie superficielle des petits bassins versants du Nordeste semi-aride. Il permettra en outre de fournir un soutien aux activités menées par l'IRD dans cette zone en vue de caractériser les changements climatiques à l'échelle globale et leurs impacts sur les ressources en eau.

Enfin, au cours de la mission réalisée en mai 2004 par Pascal Kosuth au Brésil, un projet brésilien de recherche et développement sur les petits aquifères alluviaux dans le Nordeste semi-aride a été rédigé par le gouvernement de l'état du Ceara en partenariat avec des universités brésiliennes et l'IFR ILEE. Ce projet a été présenté à des bailleurs de fond potentiels, brésiliens (Agence Nationale de l'Eau) et internationaux (UE, UNESCO). Le soutien de l'IFR ILEE s'inscrit donc dans une politique volontariste de développement de relation scientifique avec des partenaires brésiliens dans le domaine des sciences de l'eau.

Ce projet d'étude des aquifères alluviaux du Nordeste semi-aride est très important pour l'Etat du Ceara et est pertinent sur le plan scientifique:

- il permettra de combler en partie une réelle carence en connaissances sur ces petits aquifères,
- il répond un besoin immédiat (plus de 100 petits bassins versants en cours de mise en exploitation, représentant une population de plus de 50.000 familles rien qu'au Ceara),
- les acquis techniques et scientifiques auront un impact pratique immédiat car les études sont mises en place en même temps que le projet de développement,

Sur un plan de formation et d'enseignement supérieur deux thèses en co-tutelle sont actuellement en cours:

- Julien Burte (Université Fédérale du Ceara, Université de Montpellier 2 - UR IRD GREATICE et UPR CIRAD GED) sur la '*Dynamique des aquifères alluviaux superficiels du Sertão semi-aride (Brésil, Ceara) - Implications en termes de stratégies de gestion collective de leur exploitation*' (2004-2007)
- Nicolas Fabre (Université Fédérale du Ceara et Université de Paris V – UR Territoires CIRAD) '*Systèmes d'exploitation adaptés aux zones alluviales semi-arides – Le cas de la Vallée du Forquilha – Ceara*' (2003-2006).

Cette collaboration universitaire en appui à des problématiques de développement préfigure une voie de formation d'ingénieurs et scientifiques brésiliens que nous souhaitons promouvoir.

# CHRONOGRAMME

	2004	2005					2006					
Synthèse bibliographique	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sélection des sites d'étude (autres que Forquilha)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Choix et installation des réseaux de mesures	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Caractérisation des bassins versants : milieu physique</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Mesures de suivi des eaux (intensifiées en saison des pluies)</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Etudes ponctuelles (géophysique, topographie, relations retenue / aquifère)</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Modélisation hydrologique conceptuelle des aquifères (plusieurs bassins versants)</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Modélisation spatialisée en régime transitoire (Feflow)</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Enquêtes socio-économiques préliminaires - usages de l'eau</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Bilan des enquêtes et définition des méthodologies à utiliser pour l'étude des stratégies de gestion de la ressource en eau</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Définition de zones/compartiments homogènes de l'aquifère (critères physiques + usages)</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Choix et calage modèle couplé (hydrologique-usages)</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Simulations de scénarios (modèle couplé)</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Tests avec les acteurs</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Définition des stratégies de gestion</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Mise en commun interdisciplinaire (hydrologie, agriculture, sociologie) des résultats obtenus</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Rédaction des articles / thèse</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

HYDROLOGIE

GESTION DE L'EAU

Forquilha	■
Autres sites d'études	■