

Rapport d'activités 2005 du prjet NÎMES - "Aléas inondation" liés à la contribution des eaux souterraines karstiques et "alerte" sur le bassin d'alimentation de la ville de Nîmes". - Rapport final.

Nathalie Dörfliger, Jean-Christophe Maréchal

▶ **To cite this version:**

Nathalie Dörfliger, Jean-Christophe Maréchal. Rapport d'activités 2005 du prjet NÎMES - "Aléas inondation" liés à la contribution des eaux souterraines karstiques et "alerte" sur le bassin d'alimentation de la ville de Nîmes". - Rapport final.. [Rapport de recherche] BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) (Bureau de recherches géologiques et minières). 2006. hal-03141227

HAL Id: hal-03141227
https://brgm.hal.science/hal-03141227

Submitted on 15 Feb 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Document public

Rapport d'activités 2005 du projet NÎMES

« Aléas « inondation » liés à la contribution des eaux souterraines karstiques et « Alerte » sur le bassin d'alimentation de la ville de Nîmes »

Rapport final

BRGM/RP-54524-FR
Février 2006

BRGM
27 AVR. 2006
BIBLIOTHEQUE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Rapport d'activités 2005 du projet NÎMES

« Aléas « inondation » liés à la contribution des eaux souterraines karstiques et « Alerte » sur le bassin d'alimentation de la ville de Nîmes »

Rapport final

BRGM/RP-54524-FR
Février 2006

Étude réalisée dans le cadre du projet
de recherche du BRGM PDR05EAU01 KARSTEAU

N. Dörfliger, J.Ch. Maréchal

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : Lachassagne P.	Nom : Pennequin D.
Date : 16/02/06	Date : 27/03/06
Signature :	Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE
ET DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : Nîmes, Gard, systèmes karstiques, hydrogéologie, inondation, crues, activités

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Dörfliger N., Maréchal J.Ch. (2006) - Rapport d'activités 2005 du projet Nîmes, 30 pages, 3 illustrations, 2 annexes, BRGM RP-54524-FR.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les actions clés de l'année 2005 du projet de recherche « Aléas « inondation » liés à la contribution des eaux souterraines karstiques et « Alerte » sur le bassin d'alimentation de la ville de Nîmes », mené par le BRGM pour la ville de Nîmes, sont les suivantes :

- réunion du comité de pilotage le 13 mai 2005 ;
- rapport décrivant le modèle conceptuel de la structure et du fonctionnement du système karstique de la Fontaine de Nîmes (BRGM/RP-53827-FR, avril 2005) ;
- acquisition de données complémentaires, tant sur le plan hydrogéologique qu'hydrochimique (caractérisation hydrochimique lors de la crue de septembre 2005), suivi mensuel de la source de la Fontaine de Nîmes et échantillonnage de crues au niveau de la source et de cadereaux (Uzès et Alès) ;
- suivi du réseau de mesures : piézomètres et Fontaine de Nîmes ;
- rapport de fin de stage de Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie, Parcours Hydrologie-Hydrogéologie de l'Université de Paris VI par Aurélie Bironne, concernant la contribution du système karstique de la Fontaine de Nîmes à la genèse des inondations – étude des chroniques hydrologiques.

De plus, un bulletin d'information semestriel a été rédigé et diffusé aux membres du comité de pilotage en juin 2005. Une deuxième réunion de comité de pilotage était prévue initialement en novembre 2005. Elle a été reportée au 1er février 2006.

Un état financier récapitulatif des dépenses pour l'exercice 2005 et les perspectives pour 2006 et 2007 est donné dans ce rapport d'activités sur la base du récapitulatif de dépenses de l'outil de gestion GIPSIE du BRGM.

Sommaire

1. Introduction 7

1.1. RAPPEL DES OBJECTIFS 7
1.2. CALENDRIER 2005 10

2. Activités réalisées en 2005 11

2.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DES MODULES 1 ET 2 11
2.2. GESTION DU PROJET ET COMMUNICATION 12
2.3. ACTIVITES TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES CONDUITES AU SEIN DES MODULES 1, 2 ET 3 DU PROJET 12
2.4. VALORISATION SCIENTIFIQUE EN 2005 16

3. Perspectives phase II 2006 17

4. État financier à fin décembre 2005 19

4.1. RECAPITULATIF DES DEPENSES DE LA PHASE I ET DE LA PHASE II 19

Liste des illustrations

Illustration 1 : Organigramme du projet « Nîmes – eaux souterraines » 8
Illustration 2 : Liste détaillée des prestations selon le cahier des charges. 9
Illustration 3 : Extrait de relevé de dépenses pour le projet Nîmes pour les mois de janvier à décembre 2005 – phase I et phase II du projet (GIPSIE BRGM). 19

Liste des annexes

Annexe 1 Ordre du jour et compte-rendu de la réunion de comité de pilotage en 2005 21
Annexe 2 Bulletin d'information édité en 2005 26

1. Introduction

1.1. RAPPEL DES OBJECTIFS

Dans le cadre du programme de recherche KARSTEAU (PDR05EAUR01) et de la convention de recherche n° 2003.07.23 établie avec la ville de Nîmes, le BRGM a pour objectif de caractériser la structure et le fonctionnement du système karstique nîmois et d'évaluer sa contribution à la genèse et à la propagation des crues éclair, en travaillant à deux échelles spatiales : celle de la totalité du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes et celle de sites pilotes liés à un ou deux bassins versants ou sous-bassins versants de cadereaux.

Les principales tâches du projet concernent :

(i) la caractérisation de la structure et du fonctionnement du système karstique nîmois et l'évaluation de sa contribution à la genèse et à la propagation des crues éclair,

(ii) l'intégration de la composante souterraine dans l'outil de protection civile ESPADA, avec un test d'intégration partielle en cours de projet.

Les résultats du projet contribueront ainsi à

(i) l'intégration de la composante « eaux souterraines » dans les procédures d'alerte, dans le cadre de la prévention des inondations,

(ii) la mise à disposition d'éléments techniques permettant à terme, la réduction de l'aléa « inondation » liée à la composante « eaux souterraines » (rôle des eaux souterraines dans la réduction et/ou l'augmentation des processus).

Ce projet s'inscrit dans le cadre du projet de recherche du BRGM PDR05EAUR01 KARSTEAU « Fonctionnement et structure des aquifères karstiques ». Outre l'opportunité d'offrir des sets de données permettant de valider des modèles en cours de développement sur la simulation des écoulements et du transport au sein des aquifères karstiques, il offre la possibilité d'acquérir une connaissance régionale sur les aquifères karstiques méditerranéens nécessaire au développement futur d'une méthodologie de caractérisation globale des massifs calcaires en terme de ressource en eau, de risque inondation, etc., en intégrant des paramètres géologiques (variations du niveau de base, mise en place et développement de la karstification notamment).

Le projet est organisé en deux phases et cinq modules, dont quatre modules scientifiques et techniques et un module de gestion et communication (Illustration 1). Les deux phases ont une durée de 18 mois. L'année 2005 concerne la phase I du projet jusqu'à la fin du 1er semestre et la phase II pour le 2ème semestre.

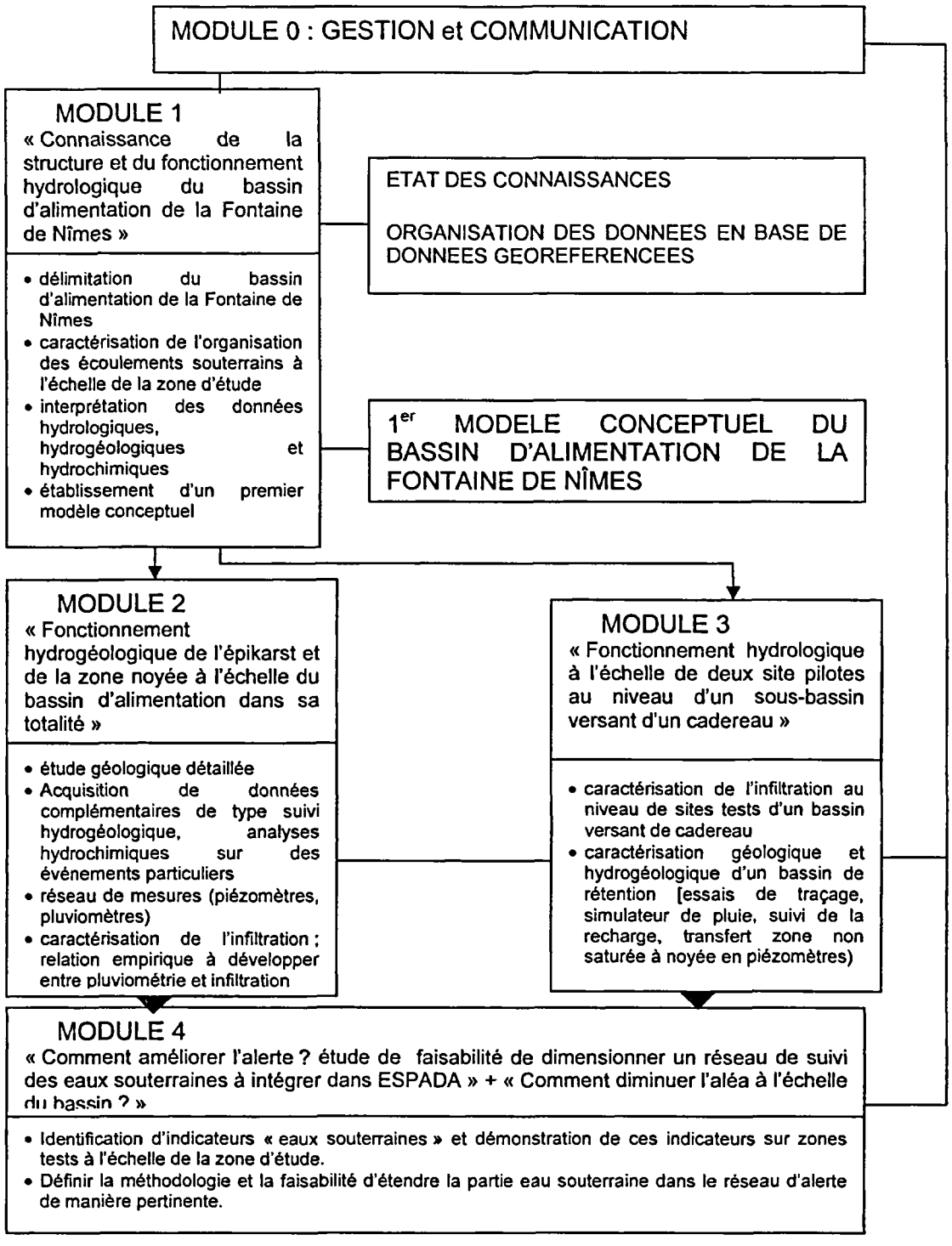


Illustration 1 : Organigramme du projet « Nîmes – eaux souterraines »

Module	Intitulé	Mois de début	Mois de fin	Délivrables
Module 0	« Gestion de projet et communication»	Mois 1	Mois 36	• D1 – D20 • Bulletins d'information trimestriels • Comptes-rendus des réunions de comité de pilotage • Rapports annuels d'activités
Module 1	« Connaissance de la structure et du fonctionnement hydrologique du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes »	Mois 1	Mois 9	• D21 – Synthèse des connaissances (base de données et rapport) • D22 - Délimitation du bassin d'alimentation (carte et note technique) • D23 – Définition du schéma conceptuel dans rapport de module.
Module 2	« Fonctionnement hydrogéologique de l'épikarst et de la zone noyée à l'échelle du bassin d'alimentation dans sa totalité »	Mois 9	Mois 18	• D24 – Note géologique • D25 – Note technique sur réseau pluviométrique et protocole d'échantillonnage • D26 – Note technique sur la capacité d'infiltration • D27 – Synthèse des principaux résultats du module • Mise à jour de la base de données
Module 3	« Fonctionnement hydrologique à l'échelle de deux site pilotes au niveau d'un sous-bassin versant d'un cadereau » + « Comment diminuer l'aléa localement ? »	Mois 18	Mois 30	• D28 – Note technique volume d'eau infiltré • D29 – Note technique implantation de trois piézomètres • D30 – Note technique sur essai de traçage dans bassin de rétention • D31 – Note méthodologique pour remédiation de bassins de rétention • Mise à jour de la base de données
Module 4	« Comment améliorer l'alerte » ? étude de faisabilité de dimensionner un réseau de suivi des eaux souterraines à intégrer dans ESPADA »	Mois 30	Mois 36	• D33 - Argumentaires sur l'opportunité d'intégrer les eaux souterraines à ESPADA • D34 - Note technique présentant les modalités pratiques d'intégration à ESPADA, un réseau « eaux souterraines » • D35 – Note technique présentant les modalités de réduction de l'Aléa à l'échelle du bassin d'alimentation. • D36 - Participation à congrès et publications scientifiques (non budgétés sur le projet).

Illustration 2 : Liste détaillée des prestations selon le cahier des charges.

1.2. CALENDRIER 2005

Le projet est entré dans sa deuxième année en 2005. Une réunion du comité de pilotage s'est tenue le 13/05/2005 avec la présentation des principaux résultats concernant la clôture du module 1 du projet.

Module	Intitulé	Début du module	Fin du module	Traitement des données et Délivrables
Module 0	« Gestion de projet et communication »	1er février 2004	31 janvier 2007	• 1 bulletin d'information semestriel en juin 2005 • compte-rendu de la réunion de comité de pilotage de mai 2005
Module 1	« Connaissance de la structure et du fonctionnement du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes »	1er février 2004	1er Décembre 2004	• D22 à D23 – Modèle conceptuel de la structure et du fonctionnement du système karstique de la Fontaine de Nîmes – rapport BRGM RP-53827-FR, avril 2005
Module 2	« Fonctionnement hydrogéologique de l'épikarst et de la zone noyée à l'échelle du bassin d'alimentation dans sa totalité »	1er Décembre 2004	1er Août 2005	• D25-D26 : Modèle conceptuel de la structure et du fonctionnement du système karstique de la Fontaine de Nîmes – rapport BRGM RP-53827-FR, avril 2005 • D27 : note technique concernant la capacité d'infiltration à l'échelle du bassin d'alimentation (JF. Desprats)

Par rapport à la planification et à la liste détaillée des prestations du projet, le calendrier a été tenu globalement. Les délivrables énumérées ne font pas tous l'objet d'un rapport spécifique ; dans un souci de rationalisation, ils ont été regroupés dans des rapports plus conséquents. Le rapport décrivant le modèle conceptuel de la structure et du fonctionnement du système karstique de la Fontaine de Nîmes à partir des données existantes et de l'acquisition de nouvelles données correspond ainsi au rapport de clôture du module 1 et intègre le délivrable D25 concernant la géologie. Le délivrable D27 a été rédigé et sera intégré dans le rapport de clôture du module 2 en février 2006, tout comme le délivrable D28.

Les points forts de l'année 2005 ont été rapportés au sein d'un bulletin d'information édité au terme du 1er semestre 2005 (Annexe 2).

2. Activités réalisées en 2005

2.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DES MODULES 1 ET 2

Les modules 1 et 2 de la première phase du projet ont les objectifs suivants :

Module 1 – « Connaissance de la structure et du fonctionnement hydrologique du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes »

- Etablir une synthèse des connaissances et recenser des données récentes non publiées relatives à la géologie et hydrogéologie de la zone d'étude, intégrant notamment l'inventaire de points d'eau privés.
- Organiser les données dans une base de données géoréférencées avec mise à jour au cours du projet.
- Préciser la délimitation du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes et des autres sources pérennes ou temporaires de la zone d'étude.
- Interpréter les données existantes et antérieures (hydrogéologiques, hydrogéologiques et géologiques) afin de définir l'organisation des écoulements souterrains à l'échelle de la zone d'étude, de caractériser l'importance relative du réservoir souterrain.
- Définir à l'échelle de certains événements l'importance de la composante « eaux souterraines » au sein des écoulements superficiels.
- Sur la base de l'ensemble de ces éléments, établir un modèle conceptuel de fonctionnement et de structure à l'échelle du bassin d'alimentation.

Module 2 – « Fonctionnement hydrogéologique de l'épikarst et de la zone noyée à l'échelle du bassin d'alimentation dans sa totalité » - acquisition de données complémentaires.

- Préciser le schéma conceptuel de fonctionnement à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude.
- Acquérir de nouvelles données pour atteindre ce premier objectif, au niveau géologique, hydrogéologique et hydrochimique.
- Compléter le réseau de suivi des eaux souterraines

2.2. GESTION DU PROJET ET COMMUNICATION

La gestion du projet a été assurée par N. Dörfliger en qualité de chef de projet, en partenariat avec J.Ch. Maréchal, responsable technique du projet, pour tous les aspects scientifico-techniques.

Ce module a consisté :

i) au maintien d'un contact régulier avec le maître d'ouvrage,

ii) à la rédaction d'un bulletin d'information semestriel, concernant l'avancement du projet et les perspectives pour le semestre suivant,

iii) au suivi régulier de l'avancement du projet avec l'équipe de projet, afin de respecter au mieux les échéances,

iv) à la préparation et la participation aux réunions de comité de pilotage,

v) à la rédaction des comptes-rendus de décisions des réunions de comité de pilotage,

vi) à la participation aux réunions de travail avec le BCEOM en charge de la mise en œuvre d'ESPADA.

Une réunion de comité de pilotage s'est déroulée le 13/05/2005 à Nîmes (Annexe 1). L'ordre du jour a été préparé en collaboration avec le maître d'ouvrage du projet. Cette réunion a été co-animée par J.Ch. Maréchal et N. Dörfliger, en présence de M. Audibert, directeur du Service Géologique Régional du Languedoc Roussillon, pour le BRGM.

De plus, un bulletin semestriel d'information a été rédigé et diffusé aux membres du comité de pilotage ainsi qu'aux collègues contribuant à la réalisation de ce projet (Annexe 2).

2.3. ACTIVITES TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES CONDUITES AU SEIN DES MODULES 1, 2 ET 3 DU PROJET

Les activités techniques et scientifiques réalisées au cours de l'année 2005 ont concerné essentiellement les modules 1, 2 et 3 et, plus spécifiquement, la tâche 4 du module 1, les tâches 1 à 5 du module 2 et la tâche 1 du module 3, en collaboration de l'Ecole des Mines d'Alès.

La tâche 4 du module 1 du projet a fait l'objet d'un rapport définissant le modèle conceptuel relatif à la structure et au fonctionnement du système karstique de la fontaine de Nîmes ; ce rapport intègre également les résultats des investigations complémentaires du module 2, à savoir l'étude géologique complémentaire (tâche 1), l'interprétation des données complémentaires acquises (hydrologiques et hydrochimiques (tâches 2, 3, 4 et 6). La tâche 5 du module 2 concernant la caractérisation de l'infiltration a fait l'objet d'une note technique qui sera intégrée au rapport de clôture du module 2 (parution pour 1er trimestre 2006).

Les principaux éléments de la spécificité du **modèle conceptuel du fonctionnement et de la structure du système karstique de la fontaine de Nîmes** sont résumés ci-dessous.

Le système karstique de la Fontaine de Nîmes est un karst gravitaire unaire. Il est le siège d'écoulements hiérarchisés vers la source de la Fontaine de Nîmes qui en constitue l'exutoire principal. La karstification s'est principalement développée au sein des calcaires de l'Hauterivien supérieur (n3b). Les phénomènes karstiques se manifestant en surface sont nombreux : avens, grottes et pertes attestent de l'intense karstification du massif calcaire. L'histoire géologique du karst de Nîmes ne permet pas d'envisager une extension très profonde de la karstification, car le karst a été barré pendant une grande partie de son histoire. En effet, au niveau de l'exutoire, la Fontaine se situe au contact géologique entre le massif calcaire des Garrigues et le remplissage plio-quaternaire. En dépit du caractère unaire de ce karst, son bassin d'alimentation situé dans la zone des Garrigues n'est pas encore délimité avec précision. La contribution des formations de l'Urgonien aux écoulements souterrains, telle que le supposent les résultats de l'hydrochimie doit encore être confirmée.

Le bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes, déterminé sur la base d'un bilan hydrogéologique, possède une superficie comprise entre 45 et 60 km². Cette superficie est une superficie définie par défaut compte tenu du fait que la source de la Fontaine de Nîmes est une source de débordement et que l'aquifère karstique présente une composante d'écoulement souterrain vers la nappe de la Vistrenque. Les limites du bassin, encore hypothétiques à ce stade de l'étude, s'étendent de l'Ouest à l'Est, de Parignargues (pertes de la source de Parignargues et source de la Font de St-Pierre) à l'Est de Nîmes (Courbessac) et, du Nord au Sud, de la limite méridionale du Camp des Garrigues à la Fontaine de Nîmes. Ce bassin d'alimentation inclut l'essentiel des bassins versants des cadereaux, à l'exception de ceux de Pondre, Valdegour et Valladas.

L'étude du tarissement de la Fontaine de Nîmes a permis de caractériser le fonctionnement du karst en période de basses eaux. Les coefficients de tarissement sont élevés ce qui indique que la zone noyée du système est bien karstifiée et se vidange assez vite. Le réseau karstique principal est assez bien connecté.

Le temps de fin d'infiltration est relativement court et les vitesses moyennes d'infiltration, relativement élevées dans la zone d'infiltration (épikarst) indiquent que le système présente une karstification importante. La zone d'infiltration (épikarst) apparaît donc bien connectée d'un point de vue hydraulique à la zone noyée du système.

Les valeurs du volume dynamique sont moyennement importantes (3,7 millions de m^3 ± 1.3) et variables d'un cycle à l'autre ce qui traduit la sensibilité de la zone noyée du système aux variations saisonnières et inter-annuelles de l'alimentation (pluie efficace).

Le pouvoir régulateur et le retard à l'infiltration sont variables d'un cycle hydrologique à l'autre. Selon la classification de Mangin, ces valeurs sont caractéristiques d'un système bien karstifié (présentant un réseau spéléologique bien développé, tel que celui observé) débouchant à l'aval sur un karst noyé important. Néanmoins, le pouvoir

régulateur du système est moyennement élevé, autrement dit, le système ne semble pas accumuler de grandes quantités d'eau. Cette appréciation est cohérente avec la structure géologique du karst décrite plus haut.

La zone noyée du système karstique apparaît comme bien drainée et bien connectée à l'épikarst qui constitue le siège de l'infiltration des pluies. Le transfert des impulsions lors des périodes de crue s'effectue de manière rapide, le pic de crue se produisant en moyenne 24 heures après un épisode pluvieux. Ce faible décalage indique que les écoulements se produisent dans un système en charge, c'est-à-dire dans des conduits karstiques noyés. La réponse du système à la pluie efficace perdure pendant une durée de 12 jours environ.

L'étude des débits classés a mis en évidence que le comportement hydrodynamique du système karstique est différent en période de crue et d'étiage. En étiage, lorsque le débit de la Fontaine est inférieur à 0,25 m^3/s, le système apparaît comme relativement inertiel ; il évacue relativement mal les eaux qu'il renferme d'une part via la Fontaine et d'autre part vers les formations plio-quaternaires de la Vistrenque. Lors des périodes de crue, lorsque le débit est supérieur à 0,25 m^3/s, le système karstique pris dans sa globalité devient moins inertiel et évacue plus facilement les eaux qu'en plus basses eaux. Les formations du Quaternaire, moins transmissives, que le karst jouent le rôle d'un bouchon poreux et constituent un frein à l'écoulement. La source de la Fontaine de Nîmes apparaît donc comme une source de trop plein pour le système karstique. Au delà d'une certaine charge hydraulique (correspondant à un débit de 0,25 m^3/s à la Fontaine), l'écoulement du karst dans les formations quaternaires cesse d'augmenter (capacité maximale atteinte) et le système karstique se vidange essentiellement via la Fontaine dont les débits augmentent plus rapidement.

Lorsque le débit excède 11 m^3/s, des résurgences temporaires situées à proximité du réseau karstique principal se mettent en fonctionnement : puits de la Gaffone par exemple.

En période de crue, les relations eaux de surface / eaux souterraines ont été mises en évidence grâce à l'analyse des débits dans les cadereaux et à l'étude de la géochimie des eaux. Sous réserve de la qualité des données du réseau de surveillance NOE, des phénomènes de pertes au sein des vallées sèches que constituent les cadereaux semblent être mis en évidence. Par ailleurs, au cours de l'événement du 4 novembre 2004, la géochimie a mis en évidence que très tôt (quelques heures) après le pic de crue, l'eau du cadereau d'Alès provient en grande partie de la zone noyée du karst. La mise en charge rapide du système karstique par les infiltrations d'eau de pluie se traduit par une mobilisation d'eau ancienne de la zone noyée qui sort en surface au travers des sources temporaires au niveau du quartier « Eau Bouillie ».

Les principaux points suivants doivent encore être précisés par la suite dans le cadre du module 2 :

- mieux caractériser les pôles géochimiques des calcaires du Barutélien (n4ab) et de l'Urgonien (n4bU) afin de lever les incertitudes qui pèsent quant à la participation éventuelle des eaux des formations calcaires de l'Urgonien au système karstique de la Fontaine de Nîmes;

- préciser les limites du bassin d'alimentation ;
- dans la mesure du possible, préciser l'interprétation des relations eaux souterraines / eaux de surface grâce à l'analyse des données limnigraphiques, si la qualité des données le permet et grâce à de la géochimie complémentaire sur l'eau des cadereaux en période de crue ;
- si les conditions météorologiques le permettent, compléter la courbe de tarage de la Fontaine en très hautes eaux ;
- localiser géographiquement et hydrogéologiquement les zones de mise en charge et de débordement du système karstique d'une part au niveau des drains et des systèmes annexes et d'autre part au niveau des sources temporaires de type « boulidou » dont il conviendra de définir si elles sont en relation avec les drains et/ou les systèmes annexes ou s'il s'agit d'exutoires de l'épikarst ;
- vérifier la pertinence de certaines connexions hydrauliques au moyen d'un ou de plusieurs essais de traçage ;
- analyser le comportement des piézomètres en périodes de basses et de hautes eaux et le confronter au modèle conceptuel.

Les principaux résultats de la tâche 5 du module, caractérisation de l'infiltration, sont les suivants : 21 points ont été caractérisés sur la zone d'étude comprenant les bassins versants des cadereaux d'Alès-Camplanier à l'Ouest et d'Uzès à l'Est. Les formations calcaires sub-affleurantes (n3b et n4a2) sont caractérisées par des perméabilités très fortes et ce quelle que soit l'occupation du sol, exception faite des zones totalement imperméabilisées et, en particulier, lorsque les sols sont très peu épais. Le ruissellement sur les formations n3a et n4a1 (calcaires argileux et marnes) est beaucoup plus important, surtout sur des sols dont l'épaisseur n'est pas négligeable : on peut ainsi distinguer les zones urbanisées ou résidentielles, qui présentent un risque maximal de ruissellement, des zones naturelles, où le risque est intermédiaire.

Pour le module 3 « Fonctionnement hydrologique à l'échelle de deux sites pilotes », trois bassins versants ont été retenus pour effectuer les tests d'infiltration (tâche 1 du module 3), à raison de trois essais par bassin versant pour la simulation de pluies et de deux sites (configuration optimum) pour le suivi des flux hydriques sous conditions de pluies naturelles : (i) Bassin versant du cadereau de Camplanier (3,3 km²), (ii) Bassin versant du cadereau d'Alès à Anduze (6 km²), (iii) Bassin versant du cadereau d'Uzès à Engances (1,5 km²) et à Vandyck (6,2 km²) pour la modélisation hydrologique.

Avancement des travaux : premiers essais réalisés sur un des trois sites sur le bassin versant de Camplanier : pluies simulées de 60, 150 et 200 mm/h. Observations et premiers résultats : apparition d'un ruissellement de surface après trois minutes, coefficient de ruissellement de 40 %, pas d'écoulement de sub-surface à une profondeur de 50 cm, un écoulement (à priori important) circule à l'interface sol-substrat et reste à quantifier.

De premières reconnaissances géologiques de terrain sur deux bassins de rétention ont été effectuées au cours du deuxième semestre 2005 (tâche 4 du module 3). Une analyse simplifiée de sensibilité ou vulnérabilité des bassins de rétention a été

effectuée à partir des informations géologiques, infiltration et hydrogéologiques. Des analyses plus détaillées géomorphologiques et géologiques pourront être effectuées sur un ou deux bassins en fonction des attentes de la ville.

2.4. VALORISATION SCIENTIFIQUE EN 2005

Un article scientifique a été soumis en octobre 2005 (publication en 2006) au *Bul. Soc. Et. Sc. Nat. Nîmes et Gard* ; l'intitulé de cet article est le suivant : Jaugeage en continu de la Fontaine de Nîmes : premiers résultats. J.Ch. Maréchal, N. Courtois, B. Ladouche et N. Dörfliger. Cet article est ainsi destiné à informer la communauté scientifique locale des premiers résultats du jaugeage de la Fontaine.

Un résumé d'article a été soumis à la *General Assembly of the European Geosciences Union* qui se tiendra à Vienne (Autriche) du 2 au 7 avril 2006. L'intitulé de cet article est le suivant : Role of karst system in the genesis of flash flood events at the Nîmes city par J.Ch. Maréchal, B. Ladouche et N. Dörfliger.

3. Perspectives phase II 2006

Les perspectives pour l'année 2006 sont les suivantes :

- Clôture du MODULE 2 avec la rédaction d'un rapport, dont l'édition est prévue en mars 2006, apportant des précisions sur les points suivants :
  - suivi du réseau de mesures des eaux souterraines et caractérisation hydrochimique spatiale,
  - mesures complémentaires de caractérisation de l'infiltration à l'échelle des bassins versants des cadereaux d'Uzès et d'Alès-Camplanier sur la base des données existantes, afin de sélectionner des sites de simulation de pluie et de mesures des pluies (infiltration/ruissellement),
  - interprétation des relations eaux souterraines / eaux de surface à partir de l'analyse des données liminigraphiques (faisabilité à déterminer en fonction de la qualité des données disponibles),
  - amélioration de la courbe de tarage de la Fontaine de Nîmes, pour des conditions de très hautes eaux, si les conditions météorologiques le permettent,
  - localisation des zones de mises en charge du karst au niveau des drains et des systèmes annexes, voire de l'épikarst,
  - analyse du comportement hydrogéologique des piézomètres,
  - vérification de la pertinence de certaines connexions hydrauliques au moyen d'essai de traçage (i.e. aven du pont SNCF sur le cadereau d'Alès).
- MODULE 3 - « Fonctionnement hydrogéologique au niveau de sites pilotes » : poursuite du suivi des sites pilotes concernant la simulation de pluies artificielles en collaboration avec l'Ecole des Mines d'Alès.

Fin des essais sur Camplanier au cours du mois de février 2006. Planning et échéances en 2006 des tâches 1 et 3 :

Semaines	*Jours*	*Bassins versants*
Semaine 9	28 février, 1 et 2 mars	Cadereau d'Alès I
Semaine 11	14, 15, 16 mars	Cadereau d'Alès II
Semaine 13	28, 29 et 30 mars	Cadereau d'Alès III
Semaine 18	2, 3 et 4 mai	Cadereau d'Uzès I
Semaine 20	16, 17 et 18 mai	Cadereau d'Uzès II
Semaine 22	30, 31 mai et 1 juin	Cadereau d'Uzès III

Finalisation de l'exploitation des résultats (juin 2006)
Suivi des parcelles sous pluies naturelles : installation définitive des parcelles pour permettre le suivi des épisodes pluvieux du printemps et de l'automne.

Implantation courant mars de piézomètres (tâche 2 du module 3) multiples à plusieurs profondeurs sur la base d'investigation géophysique au niveau des bassins versants des cadereaux d'Alès ou d'Uzès. Le choix des secteurs prendra en considération la géologie, les résultats des suivis hydrogéologiques, la position des cadereaux et des bassins de rétention et du plan cadastral. Avant implantation, le choix des sites sera discuté avec la Ville de Nîmes.

- Module 4 « Comment gérer l'alerte ? »

Réflexion à mener sur la question l'intégration de points de suivi d'eaux souterraines dans le réseau ESPADA : nombre de points et équipement, réalisation de nouveaux ouvrages, etc. La sélection des points doit prendre en compte notamment les points existants du réseau (eau de surface, pluviométrie) et la localisation des dispositifs d'acquisition de données.

4. État financier à fin décembre 2005

4.1. RECAPITULATIF DES DEPENSES DE LA PHASE I ET DE LA PHASE II

Phase I et phase II – année 2005 : 160 571,62 € (HT)

Le montant total de la phase I était budgété avec un montant de 251 076 €, pour une durée de 18 mois (terme prévu fin juillet 2005). Le montant total dépensé pour la phase I au cours de l'exercice 2005 est de 113 250,06€. Sachant qu'en 2004, les dépenses de la phase I étaient de 124 652 € (HT), le solde de la phase I est de +13 173.94€ (HT). Ce dernier est reporté sur la phase II du projet.

Le montant total de la phase II est de 248 924 €. Le montant total dépensé au cours de l'exercice 2005 est de 47 321,54€. Le solde pour la phase II pour 2006 et 2007 est de 201 603€.

La récapitulation générale des dépenses de la phase I et de la phase II en 2005 pour le projet Nîmes figure dans le tableau ci-dessous :

Récapitulation générale du projet

Poste et Catégorie	Tâche	Coût direct	Coût Complet
Dépenses de Personnel			
1 - Dépenses de personnel - activité-	PHASE1	49 816.47	69 217.44
1 - Dépenses de personnel - activité-	PHASE2	15 611.78	20 217.33
Total Dépenses de Personnel		64 428.25	89 434.77
Dépenses internes			
2a - Coûts analyses	PHASE1	9 965.50	11 490.83
2a - Coûts analyses	PHASE2	10 501.23	13 509.04
2c - Location vehicule BRGM	PHASE2	1 240.00	1 595.90
2d - Autres dépenses internes	PHASE1	1 220.00	1 570.01
Total Dépenses internes		21 826.70	28 265.58
Dépenses externes			
3a - Frais de déplacement	PHASE1	350.48	1 028.50
3a - Frais de déplacement	PHASE2	509.47	550.23
3b - Dépenses de matières consommables	PHASE1	391.09	422.36
3b - Dépenses de matières consommables	PHASE2	528.31	570.57
3c - Services extérieurs et charge de gestion courante	PHASE1	5 750.45	5 210.47
3c - Services extérieurs et charge de gestion courante	PHASE2	20.00	21.60
3d - Dépenses de sous-traitance	PHASE1	20 541.27	22 194.57
3d - Dépenses de sous-traitance	PHASE2	3 430.00	3 704.40
3e - Amortissements	PHASE2	5 530.13	7 052.57
3g - Dépenses de personnel -autres-	PHASE1	5 600.00	7 128.00
Total Dépenses externes		45 251.18	48 871.27
Total coût direct		131 506.13	
4 - Frais généraux		29 065.49	
Total projet		160 571.62	160 571.62

Répartition tâche	Coût direct	Coût Complet	Fgx
PHASE1	93 135.25	113 250.06	20 114.81
PHASE2	38 370.88	47 321.54	8 950.65

Illustration 3 : Extrait de relevé de dépenses pour le projet Nîmes pour les mois de janvier à décembre 2005 – phase I et phase II du projet (GIPSIE BRGM).

La répartition entre charges internes y compris les frais de personnel et charges externes est la suivante :

- charges internes (y compris frais de personnel) : 111 700 € ;
- charges externes : 48 871 €.

Les charges internes sans les frais de personnel se montent à 28 265 € qui se décomposent en 25 000 € pour des analyses de laboratoire et le solde pour les frais de véhicules pour les déplacements sur le terrain.

Les autres frais de déplacements qui apparaissent sur le compte charges externes s'élèvent à 1 600 €. Le poste de sous-traitance pour un montant total de 26 000 € correspond à la collaboration scientifique avec ARMINES (Ecole des Mines d'Alès), au nivellement de points d'eau et à l'intervention d'une société de service pour le débitmètre de la Fontaine de Nîmes. Les amortissements pour le matériel s'élèvent à 7 000 € pour 2005. Les dépenses de personnel autres correspondent aux allocations de 9 mois de stagiaires de DEA.

Annexe 1

Ordre du jour et compte-rendu de la réunion de comité de pilotage en 2005

• COMPTE RENDU DE REUNION	
Projet Nîmes « aléa inondations par contribution des eaux souterraines »	**Réf. :** EAU/RMD /030CR ND/nd
Objet : Comité de pilotage – réunion de clôture du module 1 et d'avancement	
Date de la réunion : 13/05/2005 – 9h00	**Lieu :** Nîmes [Services techniques]
Personnes présentes : André Martin (Ville de Nîmes, ESPADA), Pierre-Alain Ayral /LGEI) Evelyne Lacombe (AERMC), Marc Audibert (BRGM SGR/LRO), Jean-Christophe Maréchal et Nathalie Dörfliger (BRGM, Eau/RMD), Aurélie Bironne (stagiaire au BRGM), Valérie Plagnes (UMR Sysiphe, Paris VI, Mcf en charge de stagiaire), JP. Faillat (Prof Hydrogéologie, Univ Nîmes), Mireille Raymond (BCEOM, consortium ESPADA), Vincent Altier (Ville de Nîmes, Service pluvial), Michel Macorps (Ville de Nîmes, Directeur de la Voirie) Excusés : Paul Chemin, Sophie Sauvagnargues-Lesage,	
Diffusion interne BRGM : JCM, PL, EC, équipe de projet **Diffusion externe :** membres du comité technique via le service assainissement, ville de Nîmes Sabine Bonneaud Martin (Sce Assainissement, ville de Nîmes),	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

1. Module 1 – Connaissance de la structure et du fonctionnement hydrologique du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes et module 2 - Fonctionnement hydrogéologique de l'épikarst et de la zone noyée à l'échelle du bassin d'alimentation dans sa totalité – acquisition de données complémentaires

Présentation des points principaux de la synthèse des connaissances relatives à la clôture du module 1 par JC. Maréchal, qui a fait l'objet d'un rapport BRGM RP-53827-FR. Les points essentiels sont les suivants :

Un modèle conceptuel en condition hydrologique de basses et de hautes eaux est présenté à partir d'une coupe géologique schématique N-S passant par la Fontaine de Nîmes. Le système karstique de la Fontaine de Nîmes est un karst unaire barré, lié à sa mise en place au cours des temps géologiques. La karstification se développe sous le niveau de la source sur une profondeur de 50 à 100 m. maximum. Ce système karstique est le siège d'écoulements hiérarchisés vers la source de la Fontaine de Nîmes qui en constitue l'exutoire principal, de type source de débordement comme le montre l'analyse des débits classés. C'est un système dont le rôle capacitif est peu

important (cf. analyses des courbes de récession, classification de Mangin). Pour un débit supérieur à 0,25 m^3/s, la source fonctionne comme trop plein, les capacités de transfert des écoulements vers la nappe de la Vistrenque étant atteintes. Pour les débits supérieurs à 11,5 m^3/s, d'autres exutoires liés à des mises en charge du système karstique, fonctionnent ; les écoulements des eaux souterraines contribuent ainsi aux écoulements de surface. Cette contribution a également été démontrée par les résultats d'analyses chimiques sur des échantillons prélevés dans le cadereau d'Alès au cours de la crue d'automne 2004. Le système karstique se met en charge rapidement (observation qualitative des suivis en continu sur le réseau souterrain). De plus, il existe des pertes d'eau de surface vers le souterrain, au niveau des bassins de rétention (ex ; bassin de l'Armée sur le cadereau d'Uzès) et au niveau de ce cadereau entre Engances et Van Dyck (observation des données du réseau NOE). Le bassin d'alimentation de la Fontaine est estimé à 45 - 60km^2 à partir de résultats de simulation numérique à l'aide de modèles globaux (réservoirs et fonctions de transfert) ; cette superficie semble en cohérence avec les essais de traçage et les délimitations de la littérature. L'hydrogramme de la Fontaine de Nîmes a été reconstitué à partir de l'établissement de la courbe de tarage (débitmètre et hauteur d'eau de l'aven Mazauric) ; les crues pour octobre 1988, septembre 2002 et décembre 2003 ont pu être reconstituées par modélisation. Les valeurs des pics de ces différentes crues sont proches, le karst n'étant pas dans le même état de saturation pour ces différents événements.

Différentes questions et points à éclaircir restent et le seront d'ici novembre 2005 et seront traités dans le cadre d'un rapport de clôture du module 2 :

- caractérisation géochimique du pôle des calcaires Barutélien et de l'Urgonien afin de lever les incertitudes quant à la participation des eaux des formations de l'Urgonien
- préciser les limites du bassin d'alimentation (Nord, Est)
- préciser l'interprétation des relations eaux souterraines / eaux de surface à partir de l'analyse des données liminigraphiques, avec la limite de la qualité des données
- compléter la courbe de tarage, pour des conditions de très hautes eaux, si les conditions météorologiques le permettent
- localiser les zones de mises en charge du karst au niveau des drains et des systèmes annexes
- analyser le comportement des suivis du réseau piézométrique, analyser le comportement de la fontaine de Nîmes pour les périodes avant et post 1988 ; analyser les données de pluies avant événements (état de saturation du karst) pour les débits supérieurs à 11 m^3/s ; y a-t-il un seuil de débordement ?
- vérifier la pertinence de certaines connexions hydrauliques au moyen d'essai de traçage (i.e. aven du pont SNCF sur le cadereau d'Alès)

Les délivrables D25 et D26 du module 2 ont été intégrés aux rapports édités à ce jour.

Dans le cadre de la tâche 5 du module 2, caractérisation de l'infiltration, des essais d'infiltration avec un double anneau seront effectués en juin 2005 (15-20 mesures) sur les bassins des cadereaux d'Uzès et d'Alès Camplanier, en vue d'apporter des

informations complémentaires à notre base de données et d'implanter des sites de simulation de pluie et de mesures de l'effet des pluies naturelles (2 à 3 sites). Ces sites pourront être fixes et/ou mobiles. Ils seront implantés dans le cadre du module 3 par l'EMA. Ils seront implantés sur deux bassins versants, en considérant les résultats des données d'infiltration, des critères géologiques, pédologiques, d'occupation du sol et de propriétés du sol. Dès la fin juin, une première sélection sera faite et discutée avec le MO pour l'implantation. L'objectif est d'implanter un site d'ici la fin août pour avoir des premières mesures des pluies d'automne.

Action	Responsable	Délai	Soldé
1. Délivrable D27 : note technique concernant la capacité d'infiltration	JF Desprats et EMA	Juin / Nov 2005	
2. Délivrable D28 : synthèse hydrogéologique des principaux résultats du module	JC. Maréchal, N. Dörfliger	Nov 2005	
3. Sélection de sites pour simulateurs de pluies	P-A Ayral, EMA et BRGM	31/06/2005	

2. Divers et prochaine réunion

Suggestion d'une réunion d'avancement **en novembre 2005** pour présentation des résultats d'interprétations des données hydrologiques, hydrogéologiques des suivis eaux souterraines et des relations eaux de surface/eaux souterraines, ainsi que des résultats d'essai d'infiltration (15-20 mesures) sur les bassins d'Uzès et Alès-Camplanier.

Le contrat BRGM–EMA a été signé par le BRGM et envoyé à ARMINES pour signature à la fin avril 2005.

Un troisième bulletin d'information sera édité d'ici la fin juin 2005. Ce type de bulletin est bien perçu par le MO, qui le valide et assure sa diffusion en dehors du comité de pilotage ; il l'utilise pour informer les élus notamment de l'avancement du projet.

Le rapport d'activités 2005 sera rédigé d'ici la fin juin 2005.

Annexe 2

Bulletin d'information édité en 2005

Géosciences pour une Terre durable
brgm

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT

VILLE DE NIMES

Bulletin d'information - Projet Nîmes « Aléas inondations » liés à la contribution des eaux souterraines karstiques

N°3 -35jcm Juin 2005

Avancement du projet

Nathalie Dörfliger et Jean-Christophe Maréchal
brgm, EAU Montpellier

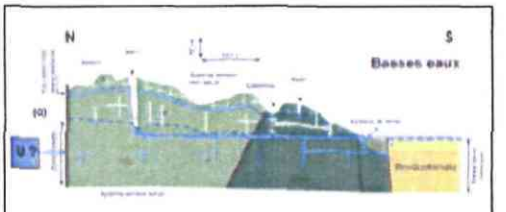
- Module Gestion de projet et Communication

Une troisième réunion du comité de pilotage s'est tenue en mai 2005 et a fait l'objet d'un compte-rendu de décisions.

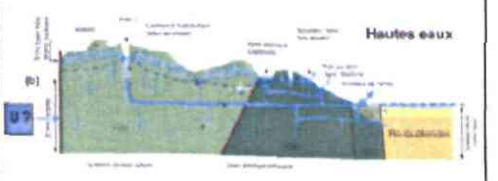
Cloture du module 1 « Connaissance de la structure et du fonctionnement hydrologique du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nimes »

L'interprétation des premières données acquises au cours du module 1 a conduit à l'élaboration d'un premier modèle conceptuel de la structure et du fonctionnement du système karstique de la Fontaine de Nîmes. Le rapport a été édité, référence BRGM RP-53927-FR.

Le modèle conceptuel en condition hydrologique de basses et de hautes eaux est présenté à partir d'une coupe géologique schématique N-S passant par la Fontaine de Nîmes (voir figures). Le système karstique de la Fontaine de Nîmes est un karst unaire barré, lié à sa mise en place au cours des temps géologiques. La karstification se développe sous le niveau de la source sur une profondeur de 50 à 100 mètres maximum.



Ce système karstique est le siège d'écoulements hiérarchisés vers la source de la Fontaine de Nîmes qui en constitue l'exutoire principal, de type source de débordement comme le montre l'analyse des débits classés.
C'est un système dont le rôle capacitif est peu important (cf analyses des courbes de récession, classification de Mangin). Pour un débit supérieur à 0,25 m^3/s, la source fonctionne comme trop plein, les capacités de transfert des écoulements vers la nappe de la Vistrenque étant atteintes. Pour les débits supérieurs à 11,5 m^3/s, d'autres exutoires liés à des mises en charge du système karstique, fonctionnent ; les écoulements des eaux souterraines contribuent ainsi aux écoulements de surface. Cette contribution a également été démontrée par les résultats d'analyses chimiques sur des échantillons prélevés dans le cadereau d'Alès au cours de la crue d'automne 2004.



Le système karstique se met en charge rapidement (observation qualitative des suivis en continu sur le réseau souterrain). De plus, il existe des pertes d'eau de surface vers le souterrain, au niveau des bassins de rétention (ex : bassin de l'Armée sur le cadereau d'Uzès) et au niveau de ce cadereau entre Enganes et Van Dyck (observation des données du réseau NOE).

DANS CE NUMERO

1 *Avancement du projet*
2 Perspectives pour mois à venir

Contacts :
Nathalie Dörfliger, chef de projet au **brgm** à Montpellier : ☎ 04 67 15 79 65 ; 🖷 04 67 64 58 51, e-mail : n.dorfliger@brgm.fr
Jean-Christophe Maréchal, chef du module «Nîmes » au **brgm** à Montpellier : ☎ 04 67 15 79 68 ; 🖷 04 67 64 58 51, e-mail : jc.marechal@brgm.fr

Le bassin d'alimentation de la Fontaine est estimé à 45 - 60km² à partir de résultats de simulation numérique à l'aide de modèles globaux (réservoirs et fonctions de transfert) ; cette superficie semble en cohérence avec les essais de traçage et les délimitations de la littérature. L'hydrogramme de la Fontaine de Nîmes a été reconstitué à partir de l'établissement de la courbe de tarage (débitmètre et hauteur d'eau de l'aven Mazauric) ; les crues pour octobre 1988, septembre 2002 et décembre 2003 ont pu être reconstituées par modélisation. Les valeurs des pics de ces différentes crues sont proches, le karst n'étant pas dans le même état de saturation pour ces différents événements.

- **Module 2 « Fonctionnement hydrogéologique de l'épikarst et de la zone noyée à l'échelle du bassin d'alimentation dans sa totalité »**

Différentes questions et points restent à éclaircir et seront abordés d'ici novembre 2005 dans le cadre du module 2 du projet:

- caractérisation géochimique du pôle des calcaires Barutélien et de l'Urgonien afin de lever les incertitudes quant à la participation des eaux des formations de l'Urgonien

- préciser les limites du bassin d'alimentation (Nord, Est)

- préciser l'interprétation des relations eaux souterraines / eaux de surface à partir de l'analyse des données limnigraphiques, avec la limite de la qualité des données

- compléter la courbe de tarage, pour des conditions de très hautes eaux, si les conditions météorologiques le permettent

- localiser les zones de mises en charge du karst au niveau des drains et des systèmes annexes

- analyser le comportement des suivis du réseau piézométrique, analyser le comportement de la fontaine de Nîmes pour les périodes avant et post 1988 ; analyser les données de pluies avant événements (état de saturation du karst) pour les débits supérieurs à 11 m^3/s ; y a-t-il un seuil de débordement ?

- vérifier la pertinence de certaines connexions hydrauliques au moyen d'essai de traçage (i.e. aven du pont SNCF sur le cadereau d'Alès)

Un prochain rapport clôturera le module 2 en synthétisant les informations disponibles sur le fonctionnement de l'épikarst et de la zone noyée du karst de la Fontaine. Ce rapport traitera notamment de l'interprétation du suivi du réseau piézométrique (10 points de mesures) installé sur le bassin d'alimentation de la Fontaine.

Perspectives pour 2ème semestre 2005

- **Module 2**
  - Réalisation d'un essai de traçage en collaboration avec les spéléologues de l'Association de la Fontaine de Nîmes (août – septembre 2005) en fonction des conditions hydrologiques
  - Délivrable D27 : essais d'infiltration (tâche 5) au double anneau seront réalisés en juin 205. Note technique concernant la capacité d'infiltration à rédiger pour juillet - novembre 05
  - Délivrable D28 : synthèse hydrogéologique des principaux résultats du module 2 pour novembre 2005 de façon à pouvoir intégrer l'observation d'éventuelles crues automnales
  - Réunion d'avancement prévue en novembre 2005 de façon à présenter les résultats finaux du module 2 et l'avancement du module 3

- **Module 3**
  - Sélection de sites pour simulateurs de pluies en collaboration avec l'Ecole des Mines d'Alès
  - Mise en place et suivi des premiers sites

- **Module 4**
  - En fonction des résultats des modules 1 et 2, une réflexion sera engagée avant la fin de l'année de façon à donner des premières pistes quant aux points d'eau souterraine à surveiller dans le cadre du réseau ESPADA

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Centre scientifique et technique
3 avenue Claude Guillemin
BP. 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service EAU
Unité RMD
1039 rue de Pinville
34000 – Montpellier - France
Tél. : 04 67 15 79 65