

## Abstract

This report documents the scientific investigations carried out as part of the GAM project between June 1997 and April 2001 at the Grimsel Test Site (GTS) within the framework of Investigation Phase V (1997 – 2001). Four radioactive waste management organisations participated in the GAM experiment, namely ANDRA, ENRESA, NAGRA and Sandia National Laboratories (SNL) for the US Department of Energy (DOE). The experiment team consisted of the delegates of the participating organisations, research groups from the Swiss Federal Institute of Technology / Zurich and from the Technical University of Catalonia / Barcelona and, last but not least, several contractor teams.

Essential aims of the GAM investigation programme were the development and testing of **laboratory and field equipment for tracer experiments**. Innovative laboratory technologies were applied, such as Laser Scanning Confocal Microscopy and X-ray tomography, flow visualisation in artificial fractures, nuclear magnetic resonance measurements and neutron radiography. Furthermore, a new technique was tested for the recovery of well preserved core samples from the GAM shear zone. Novelities in field testing comprised the use of an on-line counter for the particle tracer tests and a georadar survey of gas and brine injection tests with a high frequency borehole antenna.

The development of **upscaling methodologies** and the derivation of **effective parameters** for single- and two-phase flow models was another issue of interest. The investigations comprised theoretical studies on solute transport in non-uniform flow fields and assessment of the impact of the microstructure on solute and gas transport. Closely related to these theoretical studies was the numerical interpretation of the combined solute and gas tracer tests, which revealed the great potential of such data sets with regard to model discrimination.

As a final step in the synthesis task of the GAM project, a **model abstraction process** was established, aimed at integrating the descriptive studies on various scales with the hydraulic investigations to produce a consistent conceptual model of flow and transport processes in the heterogeneous shear zone.

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die wissenschaftlichen Arbeiten die im Rahmen des Projekts GAM zwischen Juni 1997 und April 2001 im Felslabor Grimsel (Internationales Forschungsprogramm – FLG / Phase V) durchgeführt wurden. Vier internationale Organisationen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle nahmen am GAM Experiment teil, nämlich ANDRA, ENRESA, Nagra und Sandia National Laboratories im Auftrag des US Department of Energy (DOE). The Projektteam setzte sich zusammen aus Mitgliedern der teilnehmenden Organisationen, aus Forschungsgruppen der ETH Zürich und der Technischen Universität Barcelona sowie mehreren Kontraktorengruppen.

Wichtige Zielsetzungen des GAM Projekts waren die **Entwicklung und Erprobung von Labor- und Feldmethoden für Tracerexperimente**. Innovative Labortechniken wurden angewendet – hierzu gehören die sogenannte „Laser Scanning Confocal Microscopy“, die Röntgentomographie, die Visualisierung von Transportvorgängen in künstlichen Scherzonen, NMR Messungen an Kernproben und die Neutronenradiografie. Weiterhin wurde eine neue Methode zur Gewinnung von ungestörten Kernproben aus der GAM Scherzone entwickelt. Zu den Neuerungen im Bereich der Felduntersuchungen zählen die Erprobung einer Messeinheit zur in-situ Detektion von Partikeltracern sowie Georadarmessungen mit einer Hochfrequenz-Bohrlochsonde, die im Rahmen von Gas- und Salzwasserinjektionsversuchen durchgeführt wurden.

Die Entwicklung von sogenannten „**Upscaling**“ Methoden und die Herleitung **effektiver Parameter** für Transport- und Zweiphasenflussprozesse war ein weiterer Schwerpunkt des Untersuchungsprogramms. Die Arbeiten umfassten theoretische Studien zum Transport gelöster Stoffe in heterogenen Fliessfeldern sowie eine Untersuchung zum Einfluss der Mikrostruktur der Scherzone auf den Transport von gelösten und gasförmigen Stoffen. In enger Abstimmung mit diesen theoretischen Arbeiten wurden die verschiedenen Tracertests (gelöste Stoffe, Gas-tracer) mit Hilfe numerischer Modellierungen ausgewertet. Hierbei konnte aufgezeigt werden, dass die gemeinsame Interpretation von konventionellen Tracertests und Gastracertests zu einer verbesserten Modelldiskriminierung führt.

Als letzter Schritt in den Synthesearbeiten zum GAM Projekt wurde ein Verfahren zur **Modellabstraktion** erarbeitet. Zweck dieser Arbeiten war es, strukturgeologische Informationen auf verschiedenen Beobachtungsskalen mit den verfügbaren hydraulischen Daten zu einem konzeptuellen Modell zusammenzuführen, mit dem es möglich ist, Fliess- und Transportvorgänge in heterogenen Scherzonen mit konsistenten Parametermodellen zu beschreiben.

## Résumé

Le présent rapport porte sur les travaux scientifiques réalisés dans le cadre du projet GAM entre juin 1997 et avril 2001 au Laboratoire souterrain du Grimsel (Programme de recherche international – LSG / Phase V). Les organisations nationales de quatre pays chargées de l'évacuation des déchets radioactifs ont participé à l'expérience GAM, à savoir l'ANDRA, l'ENRESA, la Nagra et Sandia National Laboratories sur mandat du Department of Energy (DOE). L'équipe de projet était composée de membres des organisations partenaires, de groupes de recherche de l'EPF Zurich et de l'Université technique de Barcelone ainsi que de plusieurs mandataires.

L'objectif premier du projet GAM consistait à **mettre au point et à tester des méthodes en laboratoire et in situ pour des expériences avec traceur**. On a recouru à des techniques de laboratoire innovatrices, dont la "Laser Scanning Confocal Microscopy", la radiotomographie, la visualisation de processus de transport dans des zones de cisaillement artificielles, des mesures RMN sur des carottes et la radiographie neutronique. Une nouvelle méthode a en outre été développée pour extraire des carottes non perturbées de la zone faillée du GAM. Au nombre des innovations dans le domaine des essais sur le terrain, il y a l'expérimentation avec une unité de mesure permettant de détecter in situ des particules traceuses ou encore les mesures par géoradar au moyen d'une sonde haute fréquence introduite dans les trous de forage; celles-ci ont été réalisées dans le cadre d'essais d'injection de gaz et de solutions salines.

Autre point fort de ce projet de recherche: les méthodes dites de "**upscaling**" et la déduction de **paramètres effectifs** pour connaître les processus de transport et d'écoulement diphasique. Les travaux ont englobé des études théoriques sur le transport de substances dissoutes dans des zones d'écoulement hétérogènes ainsi qu'une étude sur l'influence de la microstructure de la zone de cisaillement sur le transport des substances dissoutes ou gazeuses. En s'appuyant de près sur ces travaux théoriques, divers tests de traceurs (substances dissoutes, traceurs gazeux) ont ensuite été évalués au moyen de modèles numériques. Ce faisant, il a été possible de démontrer que l'interprétation conjointe de tests de traceurs conventionnels et de tests de traceurs gazeux permet une meilleure discrimination entre modèles.

La dernière partie des travaux de synthèse dans le cadre du projet GAM a consisté à élaborer un processus pour l'**abstraction de modèles**. Le but était de réunir les informations sur la structure géologique à diverses échelles d'observation et les données hydrauliques à disposition afin d'obtenir un modèle conceptuel permettant de décrire les processus d'écoulement et de transport dans les zones de cisaillement hétérogènes avec des modèles à paramètres cohérents.