

# géorama

LE JOURNAL D'INFORMATION DU BRGM

Mai 2005 N°15

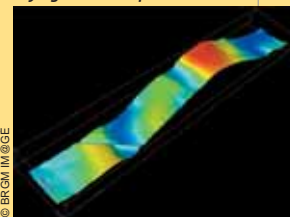


## La géologie des linéaires

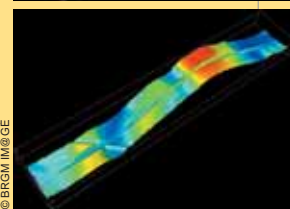
En images

De la définition des tracés à la gestion des linéaires  
*Linear construction projects: from layout to management*

Définir un tracé  
*Laying out a transport line*



© BRGM IM@GÉ



© BRGM IM@GÉ

Tronçon d'autoroute modélisé avec le logiciel GDM. Du terrain initial à la topographie finale intégrant le tracé.  
*A section of a motorway modelled using the GDM computer programme. From the bare ground to the end-product topography including the layout.*

Acquérir les données  
*Collecting data*



© BRGM IM@GÉ

Reconnaissance de drains karstiques par sismique SASW. Parc floral de la Source.  
*Locating karstic drains using the SASW seismic method, the La Source gardens.*

Trouver les matériaux  
*Locating construction materials*



© BRGM IM@GÉ

Production de granulats. Carrière de Vensat, Auvergne.  
*The production of aggregates. The Vensat quarry, in the Auvergne region.*

Gérer les risques (pollutions, éboulements...)  
*Managing risk*



© BRGM IM@GÉ

Aménagements préventifs dans une zone routière  
*Preventive measures taken in a highway zone.*

Les infrastructures routières et ferroviaires, mais aussi les voies d'eau, maillent et irriguent les territoires et sont des facteurs déterminants du développement économique.

La conception, la réalisation et la gestion de ces linéaires procèdent d'enjeux à la fois techniques, environnementaux, économiques, réglementaires et de sécurité. Le BRGM, dépositaire et gestionnaire des données du sous-sol national et spécialiste des sciences de la terre, a développé une expertise spécifique en ce domaine.

Des investigations géologiques requises par la définition d'un tracé à la mise en sécurité d'un tronçon soumis à des risques naturels, en passant par la recherche de matériaux ou la prévention de la pollution accidentelle des eaux, il est l'interlocuteur privilégié des maîtres d'ouvrage, concepteurs et constructeurs.

*Road and rail infrastructures, but also watercourses, crisscross and bring sustenance to the land: they constitute determining factors for economic development.*

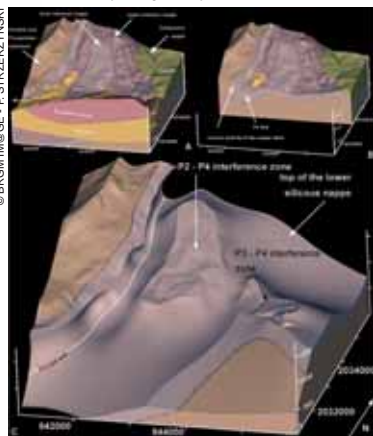
*The design, construction and management of these transport lines stem from concerns of a technical, environmental, economic, regulatory, and safety order. BRGM, depository and manager for France's subsurface data and specialist in the geosciences, has developed specific expertise in this field.*

*Ranging from the geological investigations required in laying out a transport line to guaranteeing the safety of a segment at risk from natural hazards, and encompassing the search for materials or the prevention of accidental water pollution, BRGM is the preferred interlocutor of contractors, designers, and builders.*

**Autoroute, voie de chemin de fer, métro... Pour définir le meilleur tracé, au meilleur coût et dans les meilleures conditions de sécurité, le BRGM mobilise l'ensemble de ses connaissances et de ses compétences géologiques.**

Si les premiers critères de définition d'un linéaire sont toujours dictés par la société – relier le plus directement possible tel point à un autre –, des contraintes environnementales et réglementaires s'imposent rapidement : présence de zones d'habitat ou d'activité industrielle, obstacles naturels, espaces protégés...

Ces paramètres pris en compte pour définir un faisceau géographique, reste encore à affiner le tracé. « Techniquement, on pourrait passer à peu près partout, explique Thierry Baudin, géologue. Le recours à la géologie répond à un double objectif : estimer les coûts et les risques, afin de pouvoir les minorer. »



© BRGM IM@GÉ - P. STRZYZYNSKI

L'Éditeur géologique du BRGM permet l'intégration des différentes données géologiques, cartographiques et de forages, dans un espace tridimensionnel. Exemple du secteur de Modane. Projet LGV Lyon-Turin.

BRGM's Geological Editor allows a wide variety of geological, cartographic and borehole data to be integrated within a three-dimensional space. An example from the Modane sector. The high-speed Lyon-Turin train link project (LGV).

Les informations de base (nature du substrat, formations superficielles...) figurent sur la carte géologique de la France à 1/50 000 réalisée par le BRGM, informations complétées par les données réunies dans ses banques de données (sous-sol, cavités, mouvements de terrain, sismicité, eaux souterraines...). « Toutes ces données, poursuit T. Baudin, peuvent être valorisées par croisement au sein de logiciels 3D – GDM ou Éditeur géologique, développés par le BRGM – afin de réaliser des coupes prévisionnelles le long d'un projet de tracé, ou pour construire un modèle géologique 3D. »

### DES CHANTIERS DE TOUTE NATURE

Mettant depuis des décennies ses compétences au service des pouvoirs publics et des opérateurs dans la définition de tracés de linéaires, le BRGM a été partie prenante de nombreux grands chantiers, parfois prestigieux. C'est le cas du tunnel sous la Manche (50 km entre Calais et Folkestone, dont 39 en souterrain), pour lequel le BRGM s'est vu confier, en phase préliminaire, la supervision de l'ensemble des études de reconnaissance géologique. L'établissement a également réalisé les sondages et études visant à permettre au

tracé de suivre au plus près un horizon argileux (donc étanche). Plus récemment, le BRGM a été sollicité dans la définition du tracé de la première ligne du tramway de la ville d'Orléans, face au problème posé par la présence de nombreuses cavités appartenant à un important réseau de carrières souterraines anciennes. Il travaille également à l'évaluation géologique des trois tracés possibles d'un tunnel tram-train à la Réunion et sur l'étude du tracé du canal Seine-Nord.

### A wide range of projects

BRGM's skills are commonly solicited for major linear construction projects. For example, BRGM was hired to supervise geological reconnaissance studies for the Channel Tunnel between Calais and Folkestone. More recently, BRGM took part in the tracing of the layout of the first tramway line in Orleans, in view of the problems posed by the presence of numerous underground cavities.

## ACQUÉRIR LES DONNÉES

# Des investigations géophysiques, pour « traquer » les vides

Détecter des vides souterrains, décrire les caractéristiques mécaniques des sols, suivre des déformations de surface... La géophysique est un allié précieux dans la gestion des linéaires.

Dans certains secteurs où la présence d'anciennes mines, de carrières souterraines, de marnières... mais aussi la nature des sols (milieu calcaire...) font suspecter l'existence de vides souterrains, l'identification de ceux-ci est déterminante dans la définition d'un tracé de linéaire. La sécurité des futurs usagers est une préoccupation majeure, mais la dimension économique n'est pas absente : lors de la construction comme lors d'un événement ultérieur, les coûts de mise en sécurité ou de réparation sont très importants. Pour localiser les vides souterrains, des recherches sur le terrain sont souvent nécessaires. Un ensemble de techniques d'investigation géophysique y concourt.

« Le BRGM, explique Hubert Fabriol, responsable de l'unité Risques sous-sol et cavité, est fréquemment sollicité par les maîtres d'ouvrage pour des études géophysiques sur leurs linéaires existants ou en projet. C'est ainsi qu'en Charente-Maritime, par exemple, à la demande du Conseil général, nous avons recherché la présence de cavités sur une route départementale traversant une zone de carrières. »

### Des méthodologies spécifiques

Les techniques de détection mises en œuvre, pour lesquelles le BRGM a développé depuis vingt ans des méthodologies et des applications spécifiques, sont essentiellement la microgravimétrie et la SASW (voir encadrés), voire, pour des profondeurs plus importantes, la sismique réflexion haute résolution (SHR), une méthode dérivée de la sismique.

Mais les techniques géophysiques ont d'autres applications en matière de linéaires : sur le tracé de TGV sud-est, le BRGM a utilisé la SASW pour étudier les caractéristiques mécaniques des sols. Et l'interférométrie radar (voir encadré), s'intéresse, elle, aux déformations de surface, notamment celles engendrées par des chantiers souterrains.

Contact : h.fabriol@brgm.fr

## Cavities: the geophysical input

Whenever the presence of disused mines, underground quarries, or simply the actual nature of the ground give reason to suspect the existence of underground cavities, their detection becomes a governing factor in siting the layout of transport lines.

To locate such cavities, BRGM brings a number of geophysical investigation techniques into play for which it has developed specific methodologies and applications: microgravity imaging, SASW (see boxed text) and high-resolution seismic reflection. Obviously the aim is to ensure the safety of future users, but there are also economic implications at stake.

© BRGM IM@GÉ

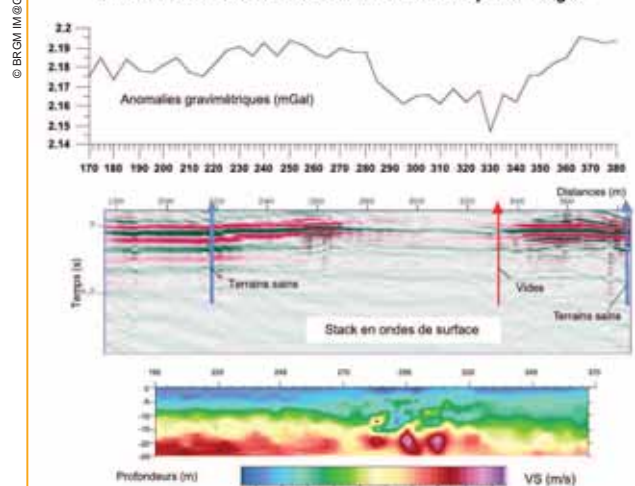


Mise en œuvre de la méthode SASW sur route.

Implementation of the SASW technique on a highway.

Intégration des informations autour de l'autoroute souterraine de Lyon TEO (sur une longueur de 2 kms).  
Information stacking around Lyon's TEO underground motorway (area about 2 sq. km).  
MC=gravelly moraine  
MF=clayey moraine facies covered by more recent formations  
FSGG=sandy gravel  
MI=Tertiary, consisting essentially of Miocene molasse  
SUB=granite basement (bedrock)  
FU=ancient alluvium  
TB=peat in boreholes

## Reconnaissance de drains karstiques par sismique SASW et gravimétrie en amont du Parc Floral de la Source et contrôles par sondages



## DEUX TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

Les méthodes géophysiques sont aujourd'hui les plus couramment employées pour détecter la présence de cavités souterraines – jusqu'à quelques dizaines de mètres de profondeur – sur le tracé d'un linéaire.

Fiables, rapides et non-destructives, elles ont également l'avantage d'être relativement peu coûteuses.

Le principe de la microgravimétrie consiste à mesurer les variations de l'attraction de la pesanteur à la surface du sol, un vide se manifestant en effet toujours par une diminution de celle-ci.

La SASW (Spectral Analysis of Surface Wave) consiste, elle, à générer des ondes de surface puis à analyser leur vitesse, celle-ci variant en effet en fonction des caractéristiques mécaniques des sols et de la profondeur, révélant la présence de vides.

Le BRGM a développé une métho-

dologie de couplage de ces deux techniques. L'objectif, en exploitant leurs complémentarités, est de fiabiliser les résultats obtenus dans les cas où des ambiguïtés peuvent subsister.

### Underground cavities: two complementary techniques

The principle behind microgravity imaging is the measurement of variations in gravitational force at the ground surface, with a void being reflected by a decrease in this force.

The SASW technique, on the other hand, consists in generating surface waves and then analysing their velocity, variations in which reveal the presence of voids. BRGM has also developed a methodology that couples these two techniques.

## « L'ŒIL » DES SATELLITES

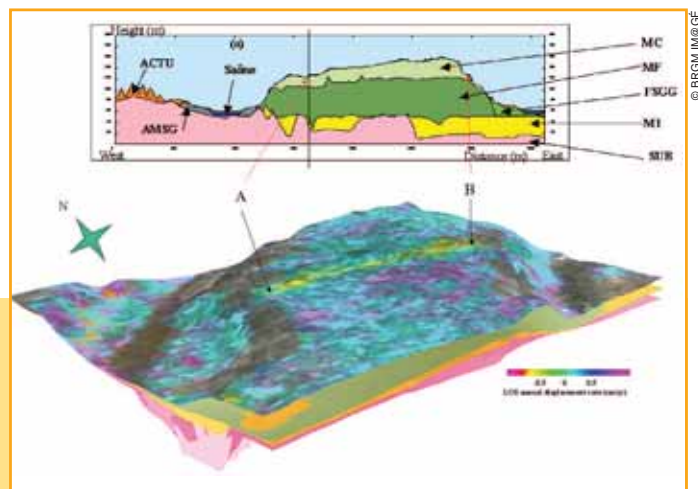
Fondée sur l'utilisation d'antennes radars embarquées sur des satellites, l'interférométrie radar consiste à combiner deux images d'une zone donnée, prises à des instants différents, afin de détecter les déformations du sol.

La surveillance de sites instables (environnement minier, urbain...) pour prévenir les risques naturels est l'une des finalités de cette technique qui peut également être utilisée dans le suivi de chantier de linéaires et le monitoring des ouvrages à long terme. Dans le cadre d'un projet de recherche européen, le BRGM s'est ainsi

intéressé au tracé de « TEO\* », à Lyon, dans la partie souterraine de cette autoroute urbaine réalisée entre 1994 et 1999.

De nombreux enseignements en ont résulté sur les déformations de surface pendant et après les travaux de percement, et l'amplitude de celles-ci (ou leur absence) en fonction des roches traversées, grâce à un croisement des données de l'interférométrie radar avec le modèle géologique 3D.

\* Transversale Est Ouest



## Radar interferometry

Relying on radar antennas aboard satellites, radar interferometry involves combining two images of a given datum acquired at different times in order to detect ground deformation. BRGM uses this

technique to monitor unstable sites, such as mining environments, but also to track the progress of linear construction projects, particularly tunnels in urban areas, such as the Lyon underground motorway (TEO).

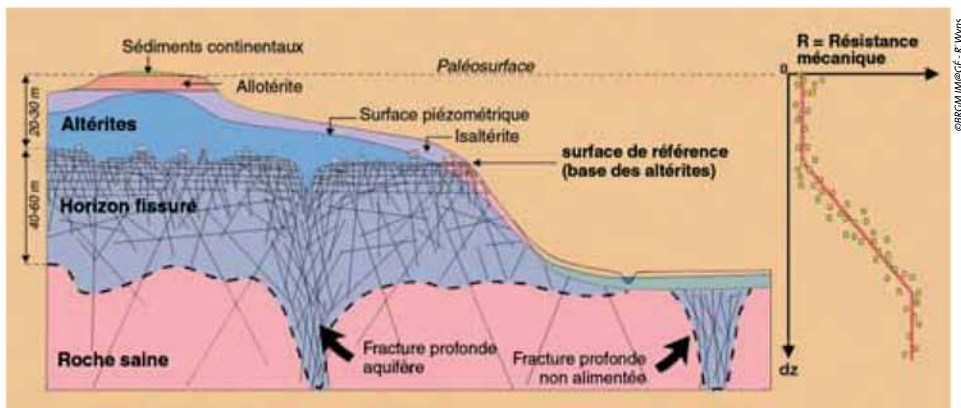
© BRGM IM@GÉ



**MATÉRIAUX**

# Objectif matériaux

Les linéaires sont voraces en matières premières. En Auvergne, le BRGM a développé une méthodologie d'identification et de caractérisation de nouvelles ressources en roches massives.



**T**rouver de nouvelles sources de matériaux pour l'élaboration de granulats est une nécessité. Dans le Puy-de-Dôme, par exemple, l'exploitation des granulats alluvionnaires de l'Allier doit être considérablement limitée dans le futur alors même que la production de certaines carrières s'arrête.

Le critère de proximité entre la ressource et le chantier (linéaire ou autre) est tout aussi déterminant : vu les coûts de transport, en effet, le prix de la tonne double en moyenne tous les 30 à 40 kilomètres.

## Une démarche innovatrice

« En partenariat avec le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, et avec un comité de pilotage rassemblant la DDE, le Conseil général du Puy-de-Dôme, la Drire et la Diren, explique Philippe Rocher, directeur du Service Géologique Régional Auvergne du BRGM, nous avons mené à bien un projet d'identification et de caractérisation de ressources alternatives aux granulats alluvionnaires. Nous avons travaillé sur une zone de 1 200 km<sup>2</sup> près de Clermont-Ferrand, les Combrailles, particulièrement bien située par rapport aux besoins. »

La démarche s'est appuyée sur un nouveau concept géologique : la réinterprétation des altérites (roches altérées en surface) afin de déterminer la présence, la profondeur, la quantité des roches recherchées (granites et autres roches du socle qui, quoique moins « prisées », peuvent satisfaire les 3/4 des besoins qualitatifs du BTP). Les travaux, notamment 3 500 observations de terrain, ont permis de préciser la répartition géométrique des produits d'altération, des roches fissurées et des roches saines ; puis des analyses ont déterminé les qualités géotechniques des matériaux, données croisées ensuite avec les contraintes environnementales et réglementaires.

« Nous avons ainsi pu identifier plusieurs secteurs de grand intérêt, conclut Philippe Rocher, et apporter aux différents acteurs, dont les collectivités, des éléments qui les aideront dans leurs choix d'aménagement du territoire. »

Contact : p.rocher@brgm.fr

## Targeting building materials

Locating new sources of building materials is indispensable: in answer to rising demands; because the extraction of alluvial aggregates is increasingly limited; and because convenient access to the

resource from the construction site enables transportation costs to be held down.

Near Clermont-Ferrand, BRGM has participated in a project intended to identify and characterise new resources in a sector currently in great demand.

The approach, based on the reinterpretation of alterites (surficial weathered rocks), aimed to determine the presence, depth, and quantity of the rocks being sought (granite and other basement rocks). Some 3500 field observations allowed the geometric distribution of the weathering products, fractured rock, and fresh rock to be ascertained. Subsequent analyses determined the geotechnical properties of the materials, data that were then considered in the light of environmental and regulatory constraints. Several very promising areas were thus identified.

Réinterpréter les altérites (roches altérées en surface) pour trouver de nouvelles ressources en matériaux.

A reinterpretation of alterites (weathered rock at the surface) with a view to identifying new resources for building materials.

## VERS LE RECYCLAGE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ?

400 millions de tonnes : c'est la quantité de matériaux naturels extraits chaque année en France pour le bâtiment et les travaux publics. Et la demande continue de croître, alors même que les règles encadrant l'exploitation des ressources (gisements alluvionnaires ou de roches massives) sont de plus en plus sévères. Dans le même temps, l'industrie du bâtiment et des travaux publics (BTP) produit 310 millions de tonnes de déchets... Comment transformer ces déchets en produits de substitution aux matériaux de carrières, pour quel usage, avec quelles performances et à quels coûts... sont quelques-unes des questions pour lesquelles le BRGM a engagé une réflexion aux côtés d'organismes spécialisés et des professionnels.

La problématique est complexe mais les enjeux sont forts. Recycler les déchets des BTP serait en effet non seulement trouver une nouvelle source de matériaux mais également contribuer à régler un problème majeur : la gestion de quantités croissantes de déchets.

## Recycling building materials

Can waste materials from construction and public works be converted into building materials and, if so, under what conditions?

BRGM is examining this currently topical question: although demand is on the increase, the extraction of aggregates is nevertheless subject to increasingly tight restrictions. Recycling such waste would accordingly provide a new source for materials and contribute to meeting the demand of the 310 million tons produced each year.

Les MIOM, un nouveau matériau pour les routes  
Incineration bottom ash, a new material for road construction.



## UN « NOUVEAU » MATÉRIAU, LES MÂCHEFERS D'INCINÉRATION

Si l'incinération permet d'éliminer les ordures ménagères, elle produit aussi ses propres déchets : des mâchefers (MIOM). On évalue à 3 millions de tonnes leur production annuelle en France, et toute alternative à leur mise en décharge est évidemment bienvenue.

Depuis plusieurs années, le BRGM a engagé des recherches pour optimiser le recyclage de ces MIOM. Leur valorisation dans les BTP, notamment en sous-couches routières, s'avère l'une des solutions les plus pertinentes. Les travaux du BRGM visent d'une part à caractériser ces MIOM, puis à évaluer leur impact potentiel en fonction des conditions environnementales (relargage de matières polluantes), enfin à définir les règles de leur utilisation (en visant leur parfaite adaptation à l'usage routier, via la mise au point de nouvelles techniques de traitement pour améliorer le matériau).

Tout n'est pas encore réglé – à commencer par les réticences de certains opérateurs – mais les résultats déjà obtenus sont prometteurs.

## Recycling incineration bottom ash

For a number of years now, BRGM has been looking into the possibility of recycling bottom ash produced by the incineration of household waste, notably for its re-use in roadbeds. The objective is to characterise this waste and to assess its potential impact on the environment so as to define rules for its use. Although certain operators are still reticent, the results obtained to date are encouraging.

Granulats de recyclage du BTP.  
Massy, Essonne.  
Recycled aggregates produced by BTP. Massy, Essonne department.







## RISQUES

# Des outils pour gérer les risques naturels

Dans la définition d'un tracé comme dans la gestion d'un linéaire existant, la dimension « risques naturels » est une composante majeure. Le BRGM accompagne les maîtres d'ouvrage à toutes les étapes, depuis la caractérisation du risque jusqu'à sa gestion.

**E**boulements, glissements de terrain, coulées de boues... la liste est longue des risques qui peuvent affecter un linéaire, et qui sont liés aux conditions géologiques, à l'érosion, à la présence de cavités souterraines, d'aquifères, de torrents... Leur prise en compte est déterminante pour bien concevoir l'ouvrage et limiter les interventions de sécurisation.

« Sur un projet de tracé, explique Jean-Louis Nedellec, ingénieur au BRGM, nous commençons par identifier le risque en nous fondant sur les données existantes : carte géologique, banque de données du sous-sol, cavités, historique des zones en terme de phénomènes à risques... Celles-ci sont systématiquement complétées par des observations de terrain pour repérer des fissures, des zones d'instabilité, afin d'évaluer le risque secteur par secteur. » Fort de ces enseignements, le maître d'ouvrage est ainsi à même de modifier son tracé ou, si celui-ci est figé, de réaliser les travaux de mise en sécurité requis.

### Hiérarchisation, préconisations

« Sur les linéaires existants, poursuit J.-L. Nedellec, nous travaillons souvent sur des tronçons plus réduits, là où des problèmes - ou des suspicions de

problèmes - ont été identifiés. Après une phase de diagnostic, le BRGM établit une cartographie de l'aléa et une hiérarchisation des risques et donc des interventions requises. »

Au-delà de cette caractérisation du risque, le BRGM apporte aux opérateurs un ensemble de préconisations de mise en sécurité adaptées : purge d'une zone, pose de grillages, boulonnage, écrans...

« Nous réalisons également un chiffrage indicatif des travaux pour permettre aux maîtres d'ouvrage de les programmer. »

Réseau Ferré de France, Voies Navigables de France, EDF et de très nombreuses collectivités ont régulièrement recours à cette expertise « préventive » pour leurs routes, voies de chemin de fer, canaux, conduites forcées de centrales hydroélectriques... mais également en cas de crise.

Contact : jl.nedellec@brgm.fr

## Tools for managing natural risks

When siting the layout for a transport line or maintaining an existing one, it is vital to take into account natural risks, such as rockslides,

landslides and mudslides.

BRGM is ready to assist contractors at every stage of a project, from diagnosis through to proposing a global estimate for security-related work, and integrating hazard mapping and prioritising risks and thus the appropriate actions. Numerous contractors regularly call upon such skills for their highways, railways, and canals ... or in the event of an emergency.

Hiérarchiser le réseau routier en classes de risques. Ici, vulnérabilité des eaux souterraines dans le département de l'Hérault.  
Ranking the highway network by risk category. Shown here, the ground water vulnerability in the Hérault department.



## POLLUTION

# Protéger les eaux souterraines en cas d'accident

Le trafic routier peut être facteur de pollutions accidentelles des eaux souterraines. Le BRGM et le CETE Méditerranée\* ont mis au point, dans l'Hérault, un outil de prévention des risques et de gestion de crise.

**D**ans l'Hérault, l'alimentation en eau potable provient à 90 % de ressources souterraines. Leur protection est donc un enjeu majeur, qui a conduit le Conseil général à s'intéresser aux risques de pollution liés, notamment, aux accidents de la route. Le BRGM et le CETE ont été sollicités sur cette problématique, l'objectif étant de mettre en place - ou d'adapter - les moyens de protection des eaux tant du point de vue préventif que curatif. La méthode retenue a consisté à hiérarchiser la sensibilité de la voirie départementale à partir de deux éléments majeurs : l'aléa accident (relativement aux flux de camions, au transport de matières dangereuses, aux statistiques d'accidents...) et la vulnérabilité des eaux souterraines (par analyse multicritères du milieu, surface, sol, sous-sol... qui a souligné la vulnérabilité accrue des eaux dans les zones de karst et les plaines alluviales). L'importance économique des ressources a également été prise en compte, le croisement de toutes ces données permettant d'élaborer une cartographie des tronçons à risques, classés en quatre catégories, de faible à très forte. Cet outil doit permettre au Conseil général d'agir préventivement, tant pour un nouveau tracé (choix d'emprise évitant les zones les plus vulnérables), que pour l'existant (réalisation

d'aménagements de protection adaptés : fossés, plantations, bassins de retenue...). Une validation opérationnelle de cette étude a été réalisée par les services départementaux concernés qui sont aujourd'hui, en cas d'accident, en mesure d'intervenir en moins de deux heures en tous points du réseau.

\* Centre d'Études Techniques de l'Équipement

Contact : jf.desprats@brgm.fr

## Protecting groundwater in the event of road accidents

Road traffic can cause accidental pollution of groundwater and place drinking water supplies at risk. In the Hérault Department, BRGM and the CETE Méditerranée were called upon to help public authorities set up suitable means of protection. Based on data concerning accidents on departmental roads, the vulnerability of groundwater and the economic significance of resources, they drew up maps ranking the sectors at risk. This tool has made it possible to take preventive action by implementing protective measures, and, should an accident occur, the departmental services are now able to intervene in less than two hours throughout the network.

## MIEUX GÉRER LES BOUES DE L'ASSAINISSEMENT PLUVIAL

**E**nviron 5 700 000 tonnes de boues sont extraites chaque année des fossés et des bassins de retenues des eaux pluviales. L'opération permet de maintenir les fonctions de ces ouvrages qui ont un rôle déterminant dans la gestion des effluents issus du ruissellement des surfaces routières. Associés dans des recherches sur les transferts de polluants dans les eaux de ruissellement et les sols, le BRGM et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées s'intéressent de près à ces boues, souvent chargées de nombreux polluants (métaux, hydrocarbures...) provenant des particules issues de la corrosion des véhicules, de l'usure des chaussées, des gaz et fumées produits par la combustion des carburants... Bien les caractériser, et surtout mieux comprendre les conditions qui déterminent le degré de contamina-

tion des sédiments sont aujourd'hui des éléments essentiels pour envisager leur gestion future (recyclage, épandage, stockage...).

## Better management of urban drainage sludge

Settling basins play an essential role in the management of effluents carried by runoff from road surfaces. BRGM and the LCPC have studied settled sludge and the pollutants that it contains, including metals and hydrocarbons. Through its accurate characterisation and a better understanding of the conditions determining its contamination, we thus hope to improve sludge treatment management.