



**Commune de Cournon (63) -  
Connaissance de l'aléa «effondrement  
de cavités souterraines» et  
«mouvement de terrain» - Phase 1**

**Rapport final**  
**BRGM/RP-54763-FR**  
Juin 2006





# Commune de Cournon (63) - Connaissance de l'aléa «effondrement de cavités souterraines» et «mouvement de terrain» - Phase 1

Rapport final

**BRGM/RP-54763-FR**

Juin 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2005 05RISF16

**O. Renault**

Avec la collaboration de  
**N. Debégli, J.L. Nédellec et D. Rouzaire**

**Vérificateur :**

Nom : JL NEDELLEC

Date : 23/06/2006

Signature :



**Approbateur :**

Nom : P. ROCHER

Date : 27/06/2006

Signature :



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



**Mots clés** : aléa, mouvement de terrain, cavités souterraines, chaux, Cournon, département du Puy-de-Dôme.

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

**O. Renault, collaboration N. Debégli, J.L. Nédellec, et D. Rouzaire (2006)** – Commune de Cournon (63) – Connaissance de l'aléa « effondrement de cavités souterraines » et « mouvement de terrain » - Phase 1. Rapport final. BRGM/RP-54763-FR, 47 pages, 3 illustrations, 2 annexes, 3 cartes hors-texte.

## Synthèse

Dans le cadre de l'élaboration prochaine d'un PPR « mouvement de terrain », la Mairie de Cournon a confié au BRGM une étude visant à améliorer la connaissance de l'aléa « effondrement de cavités souterraines » et « mouvement de terrain » sur son territoire. Ce rapport concerne la phase 1 de l'étude et fait principalement le point du zonage des aléas sur la base des données disponibles. Au cours de la phase 2 de l'étude, il est prévu que le BRGM assiste la commune dans le cadre de la réalisation d'une étude approfondie sur un secteur donné.

A Cournon, l'aléa « effondrement de cavités souterraines » concerne des anciennes carrières de calcaire à chaux datant des 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles. L'analyse documentaire réalisée montre qu'il existe peu de documents d'archives permettant de situer avec précision ces anciennes carrières. En effet, les exploitants chauffourniers n'étaient pas tenus de fournir un plan à l'administration et il est rarement fait mention dans les archives -souvent incomplètes- des numéros des parcelles exploitées. Néanmoins, grâce à l'analyse de ces documents, complétée par une analyse géologique de la commune de Cournon, par les découvertes récentes de cavités et par une analyse des modes d'exploitation utilisés, on arrive à situer avec une précision relative les secteurs qui ont fait l'objet d'une exploitation pour la chaux. Cette exploitation de la chaux était artisanale, peu intensive mais elle a constitué une ressource importante de la commune pendant au moins 2 siècles. Deux cartes à l'échelle 1/7500 ont été produites : une carte indiquant avec plus ou moins de précision les indices disponibles ayant trait à l'exploitation de la chaux et une carte d'aléa qui distingue principalement deux degrés d'aléa (moyen et faible) répartis sur une surface d'environ 2,4 km<sup>2</sup>. Ce zonage diffère assez peu de celui du PER de 1987. Il est important de souligner que ces intensités d'aléas ne conduisent pas en principe à l'inconstructibilité mais à l'adoption de mesures préventives dans le cadre de nouveaux projets de construction. Il est possible d'accentuer les recherches sur les cavités souterraines de calcaire à chaux en dépassant les aspects documentaires et scientifiques de ce rapport, mais cela nécessite l'emploi de méthodes géophysiques coûteuses et pas fiables à 100 %. Compte tenu de la géométrie des cavités de Cournon, nous proposons d'utiliser en binôme la microgravimétrie et la SASW. Il est également possible, afin de réduire le coût très élevé de ces méthodes, de réaliser quelques mesures géophysiques « test » sur des secteurs à enjeux. Quelque soit l'option choisie, le contenu du projet de règlement en zone urbanisée du futur PPR « mouvement de terrain » reste la pierre angulaire de son acceptation par le public.

L'aléa « mouvement de terrain » concerne les glissements de terrain, les chutes de blocs et éboulements, les érosions de berge et les coulées de boue. Un recensement exhaustif des phénomènes de référence et une campagne de terrain ont été effectués et ont permis de dresser une cartographie de l'aléa à l'échelle du 1/7 500. Cette cartographie présente quelques nouveautés par rapport celle du PER de 1987, notamment pour les Hauts de Cournon où des aménagements ne respectant pas les règles de l'art pourraient générer des problèmes (cf. coulées de boue de juillet 2003). Il est possible d'affiner localement ce zonage en réalisant des études géotechniques détaillées comme dans la rue des Garennes ou au niveau de l'ancienne décharge de la commune.



## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Cadre de l'étude</b> .....	<b>9</b>
2.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	9
2.2. CADRE CONTRACTUEL .....	9
2.3. PRESENTATION DE LA COMMUNE DE COURNON .....	9
<b>3. Aléa lié à la présence d'anciennes cavités souterraines de calcaire à chaux</b> .....	<b>11</b>
3.1. CONTEXTE ET BREF HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION DE LA CHAUX A COURNON.....	11
3.2. DONNEES DE BASE .....	12
3.2.1. Bases de données .....	12
3.2.2. Bibliographie .....	12
3.2.3. Données d'archives .....	12
3.2.4. Personnes ressources .....	13
3.2.5. Photos aériennes .....	14
3.2.6. Approche géologique.....	14
3.3. PRINCIPAUX RESULTATS.....	16
3.3.1. Carte d'indices .....	16
3.3.2. Principaux effondrements connus.....	16
3.3.3. Description des zones exploitées pour la chaux.....	17
3.3.4. Définition et zonage de l'aléa.....	19
3.4. PERSPECTIVES POUR LA MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE PREVENTIVE .....	20
3.4.1. Option 1 .....	20
3.4.2. Option 2 .....	21
3.4.3. Option 3 .....	22
<b>4. Aléa « mouvement de terrain »</b> .....	<b>23</b>
4.1. PHENOMENES CONCERNES .....	23
4.2. DONNEES DISPONIBLES .....	23
4.2.1. Bibliographie .....	23
4.2.2. Base de données.....	23

4.2.3. Photos aériennes .....	24
4.2.4. Phénomènes de référence.....	24
4.3. TRAVAIL DE TERRAIN .....	24
4.4. DEFINITION ET ZONAGE DE L'ALEA.....	25
4.5. PERSPECTIVES POUR LA MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE PREVENTIVE .....	26
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>27</b>

## Liste des annexes

<b>Annexe 1 - Principe de la microgravimétrie .....</b>	<b>29</b>
<b>Annexe 2 - Principe de la SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) .....</b>	<b>43</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 - Présentation géographique de la commune de Cournon.....	10
Illustration 2 - Cadre géologique de la commune de Cournon d'après la carte géologique n° 693 à 1/50 000 de Clermont-Ferrand .....	14
Illustration 3 - Galerie traçante exploitée pour la chaux – rue du chemin Blanc chez Monsieur Dupré .....	18



# 1. Introduction

La commune de Cournon d'Auvergne, située au sein de l'agglomération clermontoise connaît aujourd'hui un fort développement de son urbanisation. La prescription d'un PPR « mouvement de terrain » en novembre 2003 par Monsieur le Préfet du Puy-de-Dôme ainsi qu'un certain nombre d'événements récents, ont amené la commune à lancer une réflexion approfondie sur les aléas.

La commune de Cournon est en effet concernée par la présence d'anciennes carrières souterraines de calcaire à chaux datant des 18<sup>ème</sup> et du 19<sup>ème</sup> siècles dont la localisation est à ce jour mal appréhendée. Ces cavités à caractère artisanal et dispersé seraient susceptibles d'induire un risque d'effondrement non négligeable dans certains secteurs de la commune. La difficulté principale réside dans le fait qu'il existe très peu de documents d'archives permettant de localiser de façon précise et exhaustive ces cavités. Cependant, au fur et à mesure des années, les découvertes de cavités se multiplient : découvertes de puits (rue du Liseron en 1986), découvertes de cavités lors de travaux de terrassement (Puy de la Roche, Lotissement le Coteau du Val, impasse des Gramoises, rue des Vergers, Lotissement les Chaumettes), etc.

En 1987, les études préalables à la mise en place du PER (Plan d'Exposition aux Risques) ont été refusées suite à l'enquête publique en raison de l'étendue des zones potentiellement concernées par la présence de cavités. La commune de Cournon souhaite donc aujourd'hui mieux circonscrire le zonage de l'aléa afin d'éviter un nouveau refus dans le cadre de la nouvelle procédure de PPR.

Parallèlement, la survenance d'un glissement de terrain dans une propriété de la rue des Garennes début 2005 a ramené cette problématique dans l'actualité de la commune. Celle-ci a donc également demandé de réexaminer l'extension des zones potentiellement exposées aux glissements de terrain à partir des zones délimitées dans le PER de 1987.

Ces pré-zonages de l'aléa « cavité souterraines » et « mouvement de terrain », menés dans le cadre de la phase 1 de la présente étude, doivent conduire à des propositions/suggestions du BRGM afin de lancer des études complémentaires permettant d'améliorer la connaissance de l'aléa. Il est prévu que ces études complémentaires soient réalisées par un bureau d'étude dans le cadre de la phase 2 de l'étude, avec l'appui technique du BRGM.



## 2. Cadre de l'étude

### 2.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

En préalable au lancement de l'étude PPR, la commune de Cournon souhaite réaliser une étude approfondie des anciennes carrières souterraines de chaux et des zones exposées aux mouvements de terrain (glissements, coulées de boue, érosions de berge, chutes de blocs) situées sur son territoire afin de mieux identifier, circonscrire et gérer ces secteurs à risque. Dans ce cadre, la commune de Cournon a souhaité disposer d'un partenaire technique apte à :

- 1) Evaluer les lacunes de connaissances dans ces deux domaines ;
- 2) Proposer une première cartographie des zones à risques ;
- 3) Conseiller la collectivité en terme d'étude(s) complémentaire(s) à faire éventuellement réaliser par des bureaux d'études ;
- 4) Définir techniquement, en partenariat avec elle, le contenu de ces études ;
- 5) L'aider à évaluer la pertinence technique des offres ;
- 6) Evaluer techniquement le travail fourni par les bureaux d'études.

L'objectif de la phase 1 est de traiter les points 1), 2) et 3).

La phase 2 consiste en un appui à maîtrise d'ouvrage.

### 2.2. CADRE CONTRACTUEL

L'étude (phases 1 et 2) rentre dans le cadre d'une convention de recherche et de développement partagés entre le BRGM et la ville de Cournon. La convention est établie pour une durée de douze mois à compter de sa date de signature (11 décembre 2005).

### 2.3. PRESENTATION DE LA COMMUNE DE COURNON

La commune de Cournon d'Auvergne fait partie de l'agglomération de Clermont-Ferrand. Avec près de 20 000 habitants, c'est la deuxième commune la plus peuplée du département du Puy-de-Dôme. Elle s'étend sur 18,84 km<sup>2</sup> entre la rivière Allier à l'Est, la plaine de Sarliève et l'autoroute A75 au Sud et à l'Ouest, et les Puys de Bane et d'Anzelle au Nord. Les reliefs sont relativement peu accentués et les altitudes s'échelonnent entre + 315 m NGF au bord de l'Allier et + 542 m NGF au Puy de Bane. La proximité de Clermont-Ferrand fait de Cournon une ville à caractère plutôt résidentiel où le nombre d'habitants est en augmentation régulière.

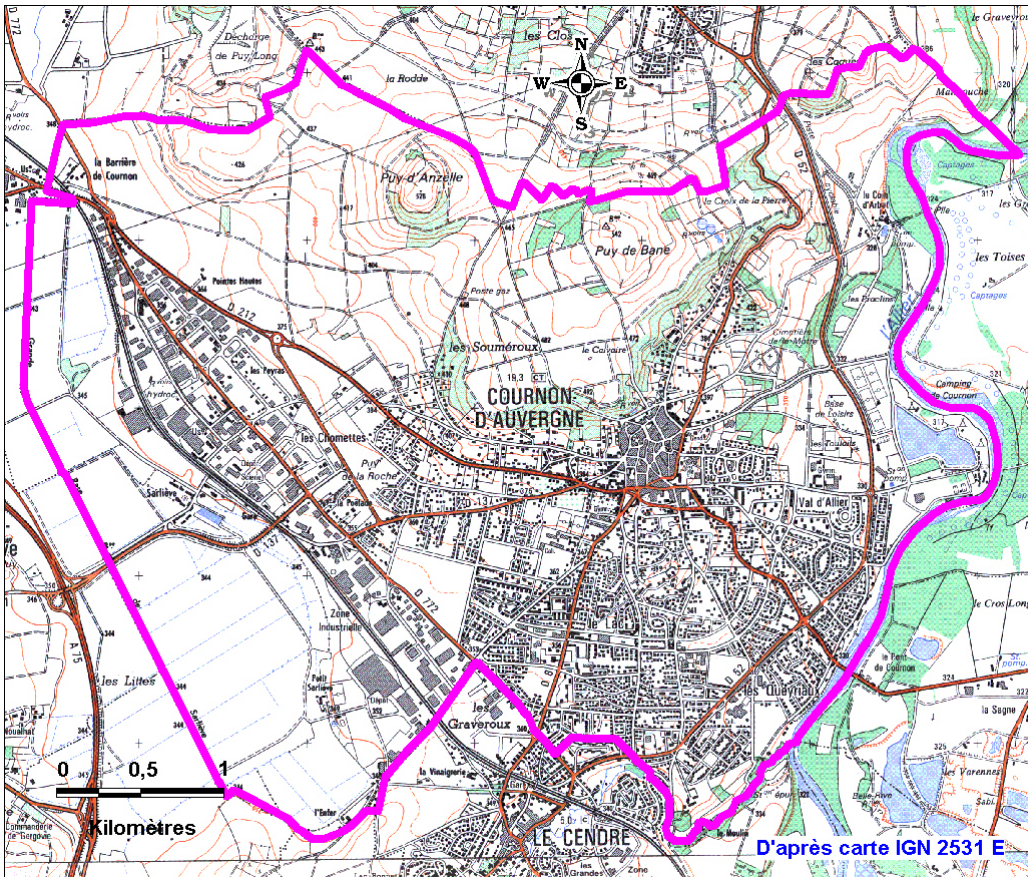


Illustration 1 – Présentation géographique de la commune de Cournon

### **3. Aléa lié à la présence d'anciennes cavités souterraines de calcaire à chaux**

#### **3.1. CONTEXTE ET BREF HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION DE LA CHAUX A COURNON**

La chaux a été exploitée à Cournon de manière artisanale et discontinuée durant les 18<sup>ème</sup> et 19<sup>ème</sup> siècles. Les plus anciennes archives consultées mettent en évidence des premières exploitations dès 1702 (Archives de Monsieur Jean Chaletteix). Il est probable que l'exploitation de la chaux ait été arrêtée aux alentours des années 1880 avec l'arrivée du chemin de fer en Auvergne qui aurait permis l'importation de matériaux de meilleur rapport qualité/prix.

La chaux était produite à partir de l'exploitation des bancs calcaires d'âge oligocène présents autour de Cournon. On obtenait la chaux vive par calcination du calcaire dans des fours enterrés dans le sol. La chaux éteinte (ou chaux grasse), obtenue par hydratation de la chaux vive, était utilisée pour la confection de mortiers ou d'enduits utilisés dans la construction.

La profession de chauxfournier a été très en vogue à une époque à Cournon et c'était même le deuxième métier en nombre après celui de tisserand. Des documents d'archives de la mairie datant de 1836 rapportent l'existence simultanée de dix chauxfourniers à Cournon.

La chaux a été exploitée principalement en souterrain. A l'heure actuelle, on pense que deux types d'exploitation ont pu co-exister :

- Une exploitation souterraine assez intensive à flanc de coteau autour des Hauts de Cournon, principalement sur les pentes inférieures du Puy de Bane. Les anciens exploitaient en galeries traçantes peu larges mais pouvant dépasser 100 mètres de long. Parfois, certaines salles plus larges ont nécessité une géométrie en chambres et piliers.
- Une exploitation plus artisanale dans la plaine de Sarliève, souvent sous les vignes qui abondaient à cette époque. L'exploitation se faisait par l'intermédiaire de puits verticaux puis de galeries ou de poches rayonnant autour de ces puits. Ce sont des cavités de faible extension (quelques dizaines de mètres). Il arrivait que les agriculteurs exercent en même temps la profession de chauxfournier afin de compléter leurs revenus.

La difficulté de l'appréciation du risque lié à la présence de cavités souterraines de calcaire à chaux à Cournon réside dans le fait qu'il n'existe pratiquement aucun plan de galerie. En effet, à cette époque, les exploitants n'étaient soumis à aucune obligation de fournir un relevé topographique. L'autorisation d'exploiter était donnée par le Conseil municipal sur la base du cadastre de l'époque (Cadastre Napoléonien à partir de 1805) mais celui-ci n'est pas toujours cité dans les registres. Les archives municipales, incomplètes, ne nous livrent

malheureusement qu'un aperçu très partiel des parcelles ayant pu être concernées par ces exploitations.

Les seuls plans de galeries existants sont liés soit à des litiges anciens entre chauxourniers ou avec la puissance publique, soit à des découvertes récentes dans le cadre de travaux de terrassement.

## 3.2. DONNEES DE BASE

### 3.2.1. Bases de données

Nous avons exploité les bases de données suivantes :

Base	Commentaire
BSS (banque de données du sous-sol, gérée par le BRGM)	Pas de données sur les cavités souterraines. Peu de forages permettant d'apporter des compléments intéressants du point de vue de la localisation des cavités souterraines
BD-MVT (Base de données nationale sur les mouvements de terrain)	4 effondrements de cavités souterraines sont répertoriés dans BD-MVT

### 3.2.2. Bibliographie

Plusieurs rapports ont été exploités :

- Rapport de Mademoiselle Véronique MARQUET (1998) – facultés de Droit et de Sciences Politiques de Clermont-Ferrand, intitulé « Les risques souterrains ». Ce rapport, principalement basé sur du travail documentaire, constitue une approche historique tout à fait intéressante sur les cavités souterraines à Cournon.
- Plan d'exposition aux risques de la commune de Cournon (Dossier LRPC n° 63/86/0509).
- Carte ZERMOS de la région de Chanonat.
- Divers rapports communiqués par la mairie, notamment ceux portant sur des découvertes de cavités souterraines.

### 3.2.3. Données d'archives

Le dépouillement des archives est une opération fastidieuse car les textes sont en vieux français et il n'existe pratiquement pas de plans de carrière à consulter.

#### *Archives communales*

Un extrait des archives communales nous a été communiqué par la mairie de Cournon. Les références à l'extraction de pierre à chaux y sont nombreuses, sans plan précis toutefois. Les références aux parcelles ayant pu être exploitées sont parfois mentionnées dans les extraits du registre des délibérations du Conseil municipal du 19<sup>ème</sup> siècle, mais c'est loin d'être systématique. La plupart du temps, on ne fait référence qu'au nom du lieu-dit ou à la proximité d'un chemin vicinal. Par ailleurs, ces archives sont incomplètes (en partie détruites

par un incendie ?) et ne couvrent qu'une partie du 19<sup>ème</sup> siècle. Le recensement exhaustif des parcelles ayant pu être exploitées pour la chaux est donc illusoire. Par contre, l'analyse de ces archives donne une bonne idée des secteurs (par l'intermédiaire du nom des lieux-dits cités) concernés par l'exploitation de la chaux.

#### *Archives départementales*

Le dépouillement des archives départementales livre d'autres documents principalement issus du registre des délibérations du Conseil municipal. Nous y avons retrouvé une vingtaine de références qui portent pour l'essentiel sur l'exploitation de la chaux au droit du chemin vicinal n°27 reliant Cournon à Montferrand, au lieu-dit « Les Gardes Hautes ».

#### *Archives de la DRIRE*

Aucune donnée sur les anciennes cavités souterraines de calcaire à chaux à Cournon n'est disponible dans ces archives.

#### *Archives privées*

Les archives privées sont celles de Monsieur Jean Chaleteix, ancien maire et descendant d'une lignée d'artisans chauxonniers de père en fils jusqu'à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Les archives concernent principalement la dynastie Chaleteix mais aussi parfois d'autres artisans chauxonniers. Ces archives ne consistent là aussi qu'en extraits du registre des délibérations du Conseil municipal. Monsieur Chaleteix est par ailleurs détenteur du seul plan ancien de cavité de calcaire à chaux : il s'agit d'un ouvrage assez étendu dont le plan aurait été dressé en 1861 par un géomètre expert en raison d'un conflit qui opposait son ancêtre à la puissance publique. Cette carrière aurait en effet provoqué un effondrement sur le chemin du Traps (chemin vicinal n° 27). Nous avons procédé au géoréférencement et à la numérisation de cet ouvrage sur le cadastre actuel.

### **3.2.4. Personnes ressources**

La liste des personnes ressources consultées dans le cadre de cette étude est présentée dans le tableau suivant :

<b>Nom</b>	<b>Commentaire</b>
Association « Connaissance de Cournon » - Madame Madeleine Petit	Pas de données utiles sur les anciennes cavités de calcaire à chaux
Monsieur Jean Chaleteix – ancien maire	Nombreuses données d'archives et anecdotes
Monsieur André Tartry – ancien agriculteur	Informations orales, vécu personnel. Récit des effondrements
Association SAUVERA - Monsieur Gilbert Boudriot	Informations orales recoupant certaines données collectées via d'autres sources. Données sur l'archéologie de Cournon par ailleurs.
Monsieur Dupré – propriétaire des deux seules galeries accessibles à Cournon – rue du chemin Blanc	Visite des deux galeries avec Monsieur Dupré

### 3.2.5. Photos aériennes

Les anciennes photos aériennes ont été consultées afin de voir si elles pouvaient nous fournir d'autres indices : traces dans les terres labourées, vestiges de puits, affaissements de terrain, etc.

Nous avons exploité les clichés aériens les plus anciens datant de 1946 en mode stéréo (vision du relief), ainsi que ceux de l'année 2000 en mode redressé (sans relief).

Cependant, les exploitations sont manifestement trop anciennes et/ou les cavités sont trop petites pour permettre une analyse satisfaisante par ce biais.

### 3.2.6. Approche géologique

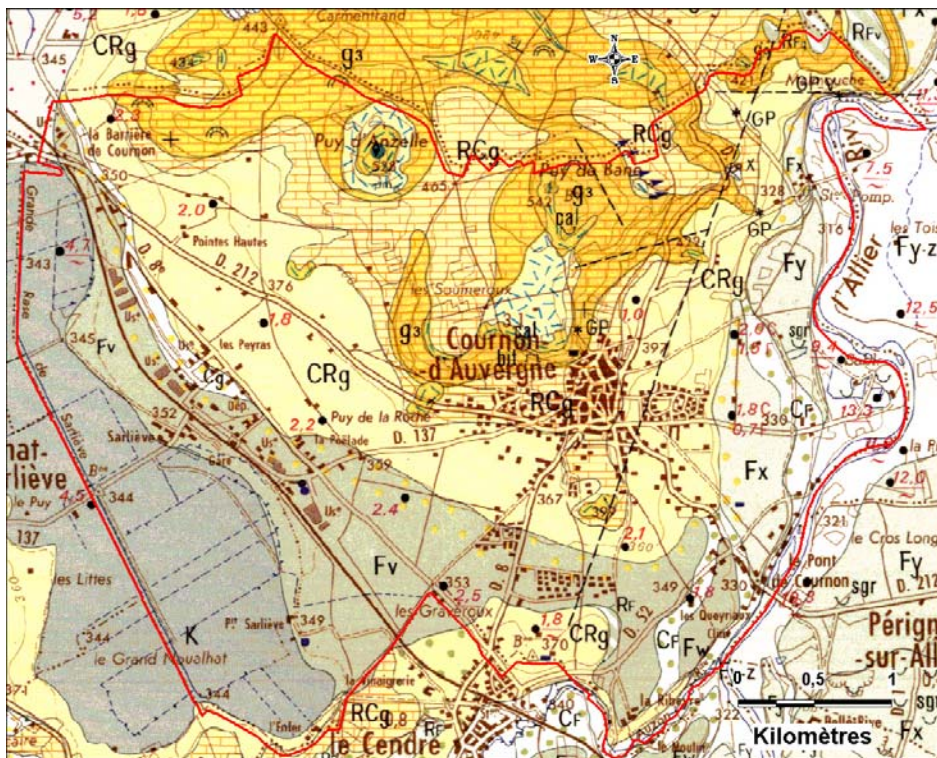


Illustration 2 – Cadre géologique de la commune de Cournon d'après la carte géologique n° 693 à 1/50 000 de Clermont-Ferrand

La commune de Cournon est située dans le bassin d'effondrement de la Limagne à l'Est de l'agglomération de Clermont-Ferrand. Les formations géologiques présentes à l'affleurement sont donc essentiellement d'origine sédimentaire.

Le substratum rocheux de la commune de Cournon est en majorité formé des formations marno-calcaires d'âge oligocène (g2-g3 ou RCg). Ce sont ces formations qui ont été exploitées pour la chaux. La succession lithologique et l'épaisseur de ces formations sont mal connues en raison du manque d'affleurements mais aussi en raison de l'abondance de



petites failles Nord-Sud qui ont provoqué des décalages verticaux. Une coupe géologique réalisée dans les fouilles d'un lotissement du chemin des Gardes à la cote + 407 m NGF donne de bas en haut : 18 m d'argile et de marnes vertes en alternances, puis 20 m de marnes et calcaires en alternances en bancs, et enfin des calcaires homogènes et des calcarénites massives blanches à verdâtres. Cette dernière série arme toute la partie supérieure du coteau.

Des manifestations volcaniques ont affecté ces formations sédimentaires dès l'Oligocène supérieur pour former des « pépérites ». Ce sont des formations que l'on trouve au droit des Puys d'Anzelle et du plateau sud du Puy de Bane (Puy de Chirol). De petits pointements de pépérites s'individualisent également dans la plaine, comme au Puy de Monteix, au Puy de la Roche, au Puy de Chalus et au Puy du Cornonet. Certains d'entre eux ne sont pas répertoriés sur la carte géologique. Les formations pépéritiques surmontent ou s'intercalent dans la succession lithologique des marno-calcaires oligocènes comme par exemple au droit de la grande carrière à ciel ouvert située au-dessus du bourg de Cournon. Ces formations pépéritiques sont elles-mêmes surmontées par des calcaires à Phryganes (algues) également d'âge oligocène.

On pense que les pépérites et les calcaires à Phryganes, qui sont des roches plus massives que l'alternance marno-calcaire sous-jacente, ont plutôt été utilisés pour la fabrication de moellons destinés à la construction que pour la chaux. Ces carrières de roche massive auraient probablement été réalisées à ciel ouvert.

A noter également, la présence de bitume au sein des calcaires oligocènes. Ces bitumes n'ont pas été exploités à Cournon comme dans la commune voisine de Dallet (mine des Roys), mais on peut en observer des traces dans les galeries de chaux du Chemin Blanc, en haut du Vieux Bourg.

En pied des versants des Puys de Bane et d'Anzelle, les marno-calcaires oligocènes sont recouverts par des colluvions de nature argileuse (CRg). A mesure que l'on descend dans la plaine, ces colluvions sont remplacées par les anciennes terrasses fluviatiles de l'Allier (Fv, Fw, Fx). On observe ces anciennes terrasses fluviatiles sur toute la partie sud du plateau des bas de Cournon où elles reposent directement sur les marno-calcaires que l'on peut observer sur certaines falaises qui bordent l'Allier.

Le soubassement marno-calcaire de la plaine des bas de Cournon a pu être exploité pour la chaux dans la mesure où l'épaisseur de colluvions n'était pas trop importante. Ces conditions étaient probablement requises en pied des Puys d'Anzelle et de Bane.

Les secteurs de plaine recouverts par les anciennes terrasses fluviatiles de l'Allier n'ont probablement pas été exploités pour la chaux en raison du caractère aquifère des terrasses alluviales sus-jacentes, les techniques de l'époque ne permettant pas un dénoyage aisé des exploitations souterraines.

Enfin, le cours actuel de l'Allier et de son affluent (l'Auzon) sont occupés par des alluvions récentes (Fy-z).

### **3.3. PRINCIPAUX RESULTATS**

#### **3.3.1. Carte d'indices**

Nous avons procédé à la réalisation d'une carte d'indices de présence de cavités souterraines sur la base des archives, documents et informations issues des personnes consultées. Cette carte d'indices est présentée sur la carte hors texte n°1 à 1/7 500 ; elle rassemble plusieurs types de données :

- Les plans de cavités connues (carrière Chaleteix et celle du lotissement du Coteau du Val) ;
- Les entrées de cavités connues et/ou repérées sur le terrain sans plan existant : galeries de la rue du Chemin Blanc, etc... ;
- Les effondrements ou découvertes de puits : Lotissement Coteau du Val, Puy de la Roche, impasse des Gramoises, rue des Vergers, ...
- Les indices documentaires indiquant de manière explicite mais vague que certains lieux-dits ont été exploités pour la chaux. Comme il n'existe généralement pas de référence à la parcelle, le positionnement géographique de ces indices est par contre très imprécis.

Ce recensement qui totalise 22 indices au total n'est pas tout à fait complet dans le sens où nous n'avons en général présenté qu'un seul indice documentaire par lieu-dit alors qu'il en existe généralement plusieurs.

#### **3.3.2. Principaux effondrements connus**

Les effondrements (au sens strict du terme) dus aux cavités souterraines de calcaire à chaux ont apparemment été assez rares à Cournon, même si les archives ne permettent pas d'avoir une idée précise sur l'existence de ce type d'événements au cours des 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles. On peut cependant citer :

- Dans les archives municipales, signalement d'un effondrement qui aurait affecté le chemin vicinal n° 27 en 1861 en raison de la présence d'une des carrières de Monsieur Chaleteix (indice n° 10). Pas de géométrie signalée.
- Au début du 20<sup>ème</sup> siècle, un cheval serait tombé dans un trou au lieu-dit « Les Chaumettes » (indice n° 14).
- A la fin des années 30, un puits d'environ 3 m de diamètre et de 20 m de profondeur s'effondre dans la rue du Liseron (indice n° 11).

Par ailleurs, un nombre non négligeable de cavités ont été mises à nu lors de travaux de terrassement depuis les années 80 et jusqu'à aujourd'hui. On peut ainsi citer :

- En 1978, découverte d'une cavité (3 x 3 m sous 2 m de recouvrement) lors de la construction d'un lotissement au 4 impasse du Champ Joly (indice n° 5) ;

- En 1985, découverte de plusieurs galeries dans le lotissement du Coteau du Val. La réalisation d'une étude géotechnique (microgravimétrie et sondages) conduira à l'abandon d'une partie de la zone (indice n° 3) ;
- En 1990, découverte d'un puits entre le n° 2 et le n° 92 de la rue du Liseron (indice n° 11) ;
- En 2005, découverte d'une galerie lors de travaux de terrassement au 55 de la rue des Vergers (indice n° 1) ;
- En 2005, découverte de 3 galeries au droit du projet de lotissement « Les Chaumettes » (indice n° 2) ;
- En avril 2006, découverte d'une galerie lors de la construction d'une maison au 3 impasse Gramoises (indice n° 20).
- ...

On peut ainsi remarquer que malgré la forte urbanisation de Cournon à partir des années 80, aucun effondrement n'a à ce jour entraîné de dégâts sérieux sur le bâti (Le PER de 1987 signale néanmoins des fissures apparues sur certaines maisons de la rue des Gardes ; ce témoignage n'a pas été reconfirmé).

### **3.3.3. Description des zones exploitées pour la chaux**

#### Hauts de Cournon

La carte d'indices confirme une exploitation historique et probablement privilégiée de la chaux sur les Hauts de Cournon. Outre les indices physiques (entrées ou plans de cavités, effondrements, découvertes de puits,...), les indices documentaires collectés dans les archives municipales ou privées viennent renforcer cette analyse. Il s'agit en particulier du Chemin du Traps (chemin vicinal n° 27 reliant Cournon à Montferrand), des lieux-dits « les Gardes Hautes », « le Calvaire », « les Rabasses », « les Souméroix » ou encore « les Pereiras » ; il est intéressant de constater que ces lieux-dits sont pratiquement tous situés à l'ouest du vieux bourg de Cournon. Par contre, il existe peu de référence d'archives faisant mention d'anciennes exploitations au Nord-Est du Bourg notamment au droit des lieux-dits « la Cristelle », « les Gramoises », « les Bartissoux » ou encore « le Vignol », alors que des cavités y ont été découvertes. Cela montre bien le caractère incomplet de l'apport documentaire qui ne peut constituer la seule base de réflexion pour l'approche de l'aléa à Cournon. Dans les hauts de Cournon, l'exploitation de la chaux a été effectuée par la méthode des galeries traçantes peu larges (2/3 m) et souvent autoportantes. L'entrée en cavage se faisait à flanc de coteau. La progression était réalisée de façon à suivre le banc le calcaire présentant les caractéristiques voulues. Compte tenu de la géométrie presque plane des couches calcaires, ces galeries étaient pseudo-horizontales. On peut ainsi remarquer que certaines entrées de galeries se situent aux environs de la cote + 450 m NGF (carrières Chaletex, galeries de la rue du Chemin Blanc, galeries du lotissement du Coteau du Val), ce qui pourrait correspondre à l'exploitation d'un seul et même banc calcaire. Cependant, il existe d'autres entrées de galeries à des altitudes différentes : + 420 m NGF pour des galeries peu profondes découvertes au 55 rue des Vergers et au 3 impasse des Gramoises. D'autre part, un puits de 30 m aurait été découvert dans les années 30 dans la rue du

Liseron, ce qui correspondrait à une cote plancher de galerie aux environs de + 390 m NGF. Plusieurs bancs calcaires semblent ainsi avoir été exploités dans les Hauts de Cournon sans qu'il soit possible de les identifier précisément.

La hauteur de défilage (vides) des galeries traçantes était de l'ordre de 2 m. Comme certaines de ces galeries pouvaient pénétrer sur plus de cent mètres dans le versant, on estime que l'épaisseur des terrains de recouvrement a pu atteindre 40 m en fond d'exploitation. La grande profondeur de certains puits découverts semble le confirmer.



*Illustration 3 – Galerie traçante exploitée pour la chaux – rue du chemin Blanc chez Monsieur Dupré*

#### Plaine de Sarliève – Bas de Cournon

La carte d'indices confirme la présence de cavités de calcaire à chaux dans la plaine de Sarliève. Toutefois, les indices physiques s'avèrent peu nombreux. Des découvertes de cavités ont été faites en 2005 dans le cadre de la construction d'un lotissement au lieu-dit « Les Chaumettes ». Une autre cavité de faible extension a été découverte en 1978 dans le cadre de la construction du lotissement du Champ Joly au Sud du Puy de la Roche. Par ailleurs, plusieurs indices documentaires semblent confirmer l'existence de galeries de chaux aux lieux-dits « Les Chaumettes », « Le Monteix » et « Ronchavaux » (ou « Ronchavoux »).

Dans ces secteurs, il est probable que le mode d'exploitation ait été très différent de celui pratiqué dans les hauts de Cournon en raison du recouvrement colluvionnaire et de la faible pente. Les exploitations étaient sans doute de plus petite taille. Elles se faisaient par l'intermédiaire d'un puits central autour duquel des galeries étaient creusées en étoiles. La pierre était extraite à dos d'homme avant d'être amenée dans les fours. Il ne semble pas que la chaux ait été exploitée à l'Ouest du terroir de Ronchavaux (plaine des Vaugondières).

### 3.3.4. Définition et zonage de l'aléa

Compte tenu des données disponibles, il apparaît que le zonage de l'aléa ne peut être fait :

- Ni à l'échelle de la cavité : on ne possède pratiquement aucun plan de cavité dans les archives ;
- Ni à l'échelle de la parcelle : les archives sont incomplètes et ne rendent pas bien compte des parcelles qui ont été ou auraient pu être exploitées.

Le seul mode de raisonnement actuel ne peut être qu'une combinaison des indices rassemblés : géologie, mode d'exploitation, indices physiques (effondrement, entrée et géométrie de cavités connues, etc...) et indices documentaires.

Ces éléments conduisent à proposer une carte d'aléa telle que présentée sur la carte hors texte n° 2. Il apparaît que cette carte est très proche de celle du LRPC de 1987, avec toutefois une extension de la zone soumise à aléa jusqu'au lieu-dit Ronchavaux situé à l'Ouest de l'agglomération. Nous avons par ailleurs étendu l'aléa au plateau sommital du lieu dit « Le Calvaire » après numérisation de la carrière Chaletex. Nous avons également légèrement réduit l'extension du zonage dans les bas de Cournon où aucun indice d'exploitation de la chaux n'a été identifié.

Toutefois, à l'exception de la partie haute du lotissement du Coteau du Val qui avait été déclarée inconstructible en 1987, cette carte ne fait apparaître aucun secteur de l'agglomération en aléa fort (zone inconstructible). En effet, le caractère dispersé de ces exploitations, leur faible taille et, dans certains cas, leur grande profondeur, limite le risque d'effondrement.

Nous avons considéré :

- En **aléa fort**, la zone non aedificandi du lotissement du Coteau du Val (déclarée comme telle après l'étude de Géosol en 1985). Ce type d'aléa concerne une très faible superficie (0,01 km<sup>2</sup>).
- En **aléa moyen** (0,63 km<sup>2</sup>), les zones potentiellement concernées par l'existence de galeries disparates et mal connues creusées à flanc de coteau. Il s'agit du secteur des Hauts de Cournon où, toutes choses égales par ailleurs, la densité de galeries est a priori la plus élevée (exploitation traditionnelle par galeries traçantes). Les profondeurs attendues iraient de 0 à 40 m. Dans de rares cas, la présence des galeries révélées par sondage peut entraîner l'inconstructibilité pour raisons économiques (comme au lotissement du Coteau du Val) ; cette zone est limitée aux Hauts de Cournon et englobe tout ou partie des lieux-dits « Les Gardes Hautes », « Le Calvaire », « Les Souméroux », « les Gramoises », « Les Bartissoux », « Sur Vignol ».
- En **aléa faible** (1,78 km<sup>2</sup>), les secteurs concernés par une exploitation a priori plus artisanale, plus disparate, moins profonde et, dans la plupart des cas, réalisée par l'intermédiaire de puits verticaux et de galeries disposées en étoile autour de ces puits. Il s'agit plutôt des secteurs de plaine ou des pieds de versants concernés par la présence de colluvions en surface comme aux « Chaumettes » ou à « Ronchavaux ». Nous avons également englobé des secteurs plus pentus comme la « Croix des Vignes » ou « Les Pereiras » où des exploitations par entrée en cavage et galeries traçantes pourraient exister. Cependant, nous disposons de beaucoup moins d'indices dans ces deux secteurs que dans ceux classés en aléa moyen.

- En aléa très faible à nul, les secteurs où, en l'état actuel des connaissances, la présence de cavités souterraines de calcaire à chaux est très peu probable.

Il apparaît que ce zonage place environ 2,4 km<sup>2</sup> de la surface communale (soit environ 12,7 % de sa superficie) en aléa faible ou moyen vis-à-vis de la présence de cavités souterraines de calcaire à chaux.

Il convient par ailleurs de remarquer que les effondrements dus à la présence de cavités souterraines de calcaire à chaux ont été rares à Cournon, et ce malgré la forte extension de l'urbanisation depuis 1980.

### **3.4. PERSPECTIVES POUR LA MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE PREVENTIVE**

Afin de mieux circonscrire l'aléa lié aux cavités souterraines de calcaire à chaux, la mairie souhaite approfondir les études en dépassant l'aspect purement documentaire qui constitue généralement la base d'une étude PPR. A ce stade, nous avons la responsabilité d'avertir que cela ne sera pas facile au regard de la superficie concernée, du caractère disparate des galeries et de leur petite taille. Aucune des options présentées ci-après n'a l'ambition d'être parfaite et ne peut rendre compte avec 100 % de réussite de l'état du sous-sol en un point donné. Le risque zéro n'existe pas.

#### **3.4.1. Option 1**

La première option consisterait à réaliser une campagne géophysique sur l'ensemble de la zone soumise à aléa (soit 2,4 km<sup>2</sup>).

Il existe en effet des méthodes géophysiques permettant de détecter les cavités souterraines. Il s'agit de méthodes non destructrices qui permettent de couvrir de grandes zones d'investigation. Cependant, aucune des méthodes géophysiques connues n'a 100 % de réussite en raison de leurs limites intrinsèques d'utilisation (taille de l'objet détecté, profondeur « utile »), des effets parasites induits (topographie, conduites enterrées, bâti, etc...) et des moyens de contrôles des anomalies (forages).

Compte tenu du contexte, nous pensons que la microgravimétrie serait la méthode la plus adaptée au repérage des anciennes cavités souterraines de calcaire à chaux de Cournon. Le principe de cette méthode consiste à mesurer les anomalies du champ gravitationnel induit par des déficits de masse dans l'écorce terrestre (cf. annexe 1). Ces déficits de masse peuvent être induits par la présence de cavités, mais on peut également enregistrer des anomalies dues à la topographie, au bâti ou à l'hétérogénéité du sol. C'est pourquoi cette méthode est difficile à interpréter, donc coûteuse.

Les galeries de Cournon sont petites et donc difficiles à détecter : les premières simulations montrent qu'une galerie de 2 à 3 m de large (cas courant des galeries de Cournon) n'est détectable avec la microgravimétrie que si sa profondeur est inférieure à environ 10-13 m si elle est vide, et 4-8 m si elle est ennoyée. Cela va donc limiter les capacités de détection aux galeries les moins profondes, c'est-à-dire les plus dangereuses. Cependant, il y aura aussi des cavités plus profondes et pouvant induire des effets en surface que l'on ne détectera pas avec cette méthode. La maille de mesure devra être adaptée à la petite taille des vides. On utilisera par exemple une maille de 7.5 m pour détecter un puits vertical profond de 10 m et

une maille de 5 m pour détecter une galerie de 2 m de large et 1.5 m de haut. La maille pourrait en première investigation être augmentée à 10 par 10 m pour repérer des zones exploitées (ensembles de puits + galeries et/ou salles), avec des resserrements sur les anomalies détectées. Tout ceci est théorique cependant car des anomalies perturbatrices liées par exemple à la présence de colluvions argileuses en surface peuvent atténuer ou masquer les effets gravimétriques des vides ou au contraire être à l'origine d'anomalies liées à la présence de vides.

A ce stade, nous pensons qu'un complément d'une autre méthode géophysique, par exemple la SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) pourrait aider à différencier les causes des anomalies gravimétriques. Il s'agit d'une méthode de sismique haute résolution (cf. Annexe 2).

Sur 1 ha, si l'on adopte une maille préliminaire de 10 par 10 m, cela fait 100 stations microgravimétriques. A cela s'ajoute une provision de 100 autres stations pour les resserrements sur anomalies, soit environ 200 stations gravimétriques à l'hectare. Nous conseillons de réaliser en complément de la microgravimétrie de l'ordre de 500 à 1000 m de SASW selon l'accessibilité.

Les coûts très approximatifs à l'hectare de cette méthode sont résumés dans le tableau suivant :

	<b>Coût unitaire</b>	<b>Nombre de mesures à l'hectare</b>	<b>Coût total (€HT)</b>
Microgravimétrie	50 à 70 €HT	200	10 000 à 14 000
SASW	1 000 m par hectare		12 000 à 16 000
Coût total à l'hectare (€HT)	-	-	22 000 à 30 000

La mise en œuvre d'une méthode géophysique adaptée au contexte reviendrait donc entre 22 et 30 k€ HT/ha. L'emploi de cette méthode sur l'ensemble de la surface classée en aléa moyen et faible (240 ha) reviendrait entre 5,3 et 7,2 M€ HT. Limitée à la zone d'aléa moyen, le coût de l'étude reviendrait entre 1,4 et 1,9 M€ HT. Ce coût apparaît donc très élevé au regard des enjeux considérés. D'autre part, il ne comprend pas le coût des sondages destructifs à réaliser en cas de découverte d'anomalies géophysiques. Enfin, compte tenu de la faible taille des galeries, on ne pourra probablement pas détecter de cavités à plus de 15 m de profondeur. Cependant, l'effondrement d'une cavité de 2 m de hauteur à plus de 15 m de profondeur ne provoque en général que des tassements en surface, lesquels peuvent toutefois entraîner une fissuration importante du bâti.

### 3.4.2. Option 2

L'option 2 consisterait à mettre en œuvre la méthode développée ci-avant dans plusieurs zones tests à choisir dans l'emprise de la zone concernée par un aléa faible ou moyen. Cette option aurait pour premier avantage de mieux matérialiser l'aléa « cavités » aux yeux du grand public et surtout de coûter beaucoup moins cher (surface à couvrir plus faible). On pourrait choisir des parcelles dont l'exploitation pour la chaux est prouvée via les archives

communales, mais aussi des zones où il n'existe aucun élément d'archive afin d'essayer de dégager une tendance. L'utilisation de cette méthode pourrait conduire à la définition d'un aléa très faible à nul au droit de certaines zones de test au cas où aucune anomalie n'est découverte.

Cependant, en raison du caractère disparate et discontinu des cavités souterraines de calcaire à chaux à Cournon, il convient d'être extrêmement prudent quant à l'extrapolation des résultats obtenus en dehors des zones de test. On ne pourra par exemple pas autoriser l'extension d'une zone d'aléa très faible à nul en dehors d'une zone de test. Par contre, on peut éventuellement utiliser cette méthode pour statistiquement réduire – mais pas annuler – l'aléa dans certains secteurs non testés : passage de l'aléa moyen à l'aléa faible par exemple. Il conviendra cependant de bien réfléchir au choix de ces zones test.

### **3.4.3. Option 3**

Cette option consiste « à ne rien faire » dans le cadre d'une étude préalable au lancement du PPR. Cette solution ne nous semble pas aberrante si l'on considère les connaissances généralement nécessaires à la prévention des risques à l'échelle d'une commune. Ce point de vue peut se justifier par ailleurs compte tenu du prix des investigations complémentaires à envisager si l'on traite l'ensemble de la zone soumise à aléa (option 1) ou de la difficulté à extrapoler l'aléa à partir de zones test (option 2). D'autre part, il ne faut pas oublier que le zonage de l'aléa « cavité souterraine » tel que proposé dans ce rapport ne conduit pas à l'inconstructibilité (sauf dans la partie haute du lotissement du Coteau du Val qui est en aléa fort), ce qui en terme d'urbanisme est une donnée importante. Enfin, le nombre de dégâts liés aux anciennes cavités souterraines reste aujourd'hui très limité à Cournon même si des permis de construire ont dus être gelés sur certaines parcelles.

La nature et le caractère éventuellement contraignant du projet de règlement du futur PPR va certainement jouer un rôle très important dans sa perception par le public en zone urbanisée.



## 4. Aléa « mouvement de terrain »

### 4.1. PHENOMENES CONCERNES

Les phénomènes concernés par la présente cartographie sont :

- Les glissements de terrain ;
- Les coulées de boue ;
- Les érosions de berge ;
- Les chutes de blocs et les éboulements.

Les effondrements de cavités souterraines (calcaire à chaux) sont pris en compte dans l'aléa « cavité souterraine » (chap. 3).

Le risque de retrait-gonflement des argiles n'a pas été étudié.

### 4.2. DONNEES DISPONIBLES

#### 4.2.1. Bibliographie

Les dossiers consultés dans le cadre de cette étude sont :

- Le plan d'exposition aux risques de la commune de Cournon (Dossier LRPC n° 63/86/0509) ;
- La carte ZERMOS de la région de Chanonat ;
- Divers rapports communiqués par la mairie notamment ceux portant sur des études de sol pour des constructions individuelles
- Les rapports d'expertise (BRGM et CEBTP) suite à l'affaissement de terrain survenu au 25 rue des Garennes.

#### 4.2.2. Base de données

Nous avons également exploité les bases de données suivantes :

Base	Commentaire
BSS (banque de données du sous-sol)	Cette base de données offre des informations intéressantes sur la nature des terrains en zone de pente (coupes de sondages)
BD-MVT (Base de données nationale sur les mouvements de terrain)	La base de données fait état de 2 érosions de berge, 1 glissement de terrain et 1 coulée de

boue
------

### 4.2.3. Photos aériennes

Nous avons utilisé les photos aériennes décrites au § 3.2.5.

### 4.2.4. Phénomènes de référence

Après enquête auprès de la mairie et compilation des données en notre possession, l'inventaire des phénomènes de mouvement de terrain à Cournon est le suivant :

- Déclenchement début 2004 d'un glissement de terrain au 25 rue des Garennes dans la propriété GERBAL située sur les bords de l'Allier. Le glissement qui mobilise plusieurs centaines de m<sup>3</sup> de matériaux est dû à la mise en pression de matériaux meubles (colluvions argileuses et remblai) par des venues d'eau issues de marno-calcaires sous-jacents. L'étude du CEBTP montrera qu'il n'y a pas de risque pour la maison GERBAL et préconise un confortement du talus par un masque en enrochements.
- Grande érosion de berge à l'extrados d'un méandre de l'Allier (rive gauche) au lieu-dit « La Malmouche ». La falaise érosive avoisine les 25 m de haut au maximum et concerne presque 1 km de rive.
- Une coulée de boue en juillet 2003 en provenance des Hauts de la Pereiras. Le garage d'une maison située dans la rue du Liseron est envahi par 2,50 m de boue ;
- Une coulée de boue en juillet 2003 en provenance des hauts du lotissement « les Christelles ». La coulée a entraîné la destruction d'une véranda.

## 4.3. TRAVAIL DE TERRAIN

Nous avons parcouru l'ensemble de la commune à pied afin de mieux appréhender la géologie des formations superficielles et de déceler d'éventuels autres mouvements de terrain. La campagne de terrain a duré environ 3 jours.

Illes principales conclusions sont les suivantes:

1. La quasi absence de colluvions sur les pentes pourtant importantes des hauts de Cournon. Ce constat entraîne une bonne stabilité des terrains (essentiellement rocheux) à l'état naturel. On peut cependant craindre que certains terrassements mal dimensionnés et la mauvaise gestion des eaux de ruissellement n'entraîne des instabilités (chutes de rocher dans les talus, coulées de boue).
2. L'existence de deux autres glissements de terrain dans le Sud de l'agglomération. L'un est situé entre le 25 rue des Garennes et la station d'épuration. Il concerne environ 100 m<sup>3</sup> de matériaux et s'est déclenché à la faveur d'un méandre de l'Auzon. Le deuxième s'est déclenché en raison de travaux de talutage occasionnés par l'agrandissement de la station d'épuration. Les terrassements avaient été réalisés à la verticale et la pente amont pourtant faible a été brutalement déstabilisée sur

plusieurs centaines de mètres. Cet événement a entraîné l'arrêt du chantier pendant plusieurs mois.

3. Présence d'une zone de solifluxion entre le sommet du Puy de Bane et la Croix de la Pierre. Cette zone était déjà indiquée sur la carte géologique à 1/50 000 et la visite de terrain a révélé la présence d'arbres présentant une inclinaison caractéristique de ce type de mouvement.
4. L'ancienne décharge de Cournon située entre le lieu-dit « la Croix de La Pierre » et la RD 52 ne montre pas de signes d'instabilité. Les pentes de déchets sont cependant importantes et, en cas de mouvement de terrain, la RD 52 pourrait être atteinte.
5. L'ancienne carrière de Cournon semble être le seul endroit de la commune concerné par un aléa significatif de chutes de rocher. Sur les môles pépéritiques et les sommets des puys, ce type d'aléa apparaît faible.

#### 4.4. DEFINITION ET ZONAGE DE L'ALEA

Nous proposons la définition de l'aléa suivante :

- **Aléa fort** : zone concernée par un mouvement de terrain d'ampleur non maîtrisable avec des moyens financiers classiques. Deux zones sont concernées :
  - le flanc de coteau au Sud de la commune, compris entre le 25 rue des Garennes et la station d'épuration. Aucune habitation n'est concernée.
  - la grande érosion de berge de « Malmouche »

Les zones en aléa fort doivent être rendues inconstructibles.

- **Aléa moyen** : zone pouvant être concernée par un mouvement de terrain d'ampleur plus faible mais a priori maîtrisable avec des moyens financiers collectifs et nécessitant une étude géotechnique avant tout projet d'aménagement.
  - Cas du carreau et de la tête de falaise de l'ancienne carrière à ciel ouvert de Cournon ;
  - Zone de solifluxion du Puy de Bane ;
  - Pied et crête de falaise en bordure de l'Allier entre le 25 rue des garennes et 50 m avant le Pont de Cournon ;
  - Zone de plat située en bordure du flanc de coteau entre le 25 rue de Garennes et la station d'épuration. Elle concerne sept maisons individuelles ;
  - Emprise de l'ancienne décharge municipale de Cournon et zone de propagation en cas de mouvement de terrain.
- **Aléa faible** : zone concernée par un éventuel départ ou une éventuelle propagation de mouvement de terrain si les règles de l'art de la construction, des terrassements et de la maîtrise des eaux de ruissellement ne sont pas respectées en tout point de la zone d'aléa faible. Il s'agit principalement des pentes des hauts de Cournon qui s'étale autour des Puys d'Anzelle et de Bane. Dans certains secteurs, ces pentes très stables naturellement sont soumises à une pression de l'urbanisation très forte. Le non respect des règles d'aménagement peut entraîner des mouvements de terrain (coulée de boue et /ou chutes de blocs dans les terrassements). Nous nous sommes calés sur la propagation des coulées de boue de juillet 2003 pour définir l'extension

de cette zone. Nous avons également retenu un tel niveau d'aléa pour la zone située derrière la station d'épuration de Cournon.

#### **4.5. PERSPECTIVES POUR LA MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE PREVENTIVE**

S'agissant d'études complémentaires à mettre en oeuvre en préalable au lancement de l'étude pour le PPR, nous pouvons recommander :

- La réalisation d'une étude géotechnique au droit des maisons de la rue des Garennes qui ont été classées en aléa moyen de mouvement de terrain. La zone d'étude concerne un linéaire d'environ 300 m. On pourra aisément lever le doute sur le fait que ces maisons puissent être ou non concernées par un éventuel glissement de terrain (comme au n° 25) en réalisant quelques sondages pressiométriques, voire des profils géophysiques (sismique ou électrique) le long de ce linéaire. Ce travail sera réalisé par un bureau d'études géotechnique.
- Les pentes abruptes de l'ancienne décharge de Cournon mériteraient d'être caractérisées géomécaniquement afin de vérifier qu'il n'existe aucun risque pour la RD 52. Cette étude pourrait consister en la réalisation de quelques sondages pressiométriques éventuellement complétés par deux piézomètres.

Dans le cadre de l'élaboration du projet de règlement du PPR, il y aura lieu de prévoir des règles d'aménagement type pour les zones des hauts de Cournon classées en aléa faible, voire de contraindre les pétitionnaires de permis de construire à réaliser une étude géotechnique

## 5. Conclusion

A la demande de la mairie de Cournon et dans le cadre de l'élaboration prochaine d'un PPR « mouvement de terrain », le BRGM a réalisé une étude portant sur l'amélioration de la connaissance de l'aléa « effondrement de cavités souterraines » et « mouvement de terrain » dans cette commune.

A Cournon, l'aléa « effondrement de cavités souterraines » concerne des anciennes carrières de calcaire à chaux datant des 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles. L'analyse documentaire réalisée montre qu'il existe peu de documents d'archives permettant de situer avec précision la position de ces anciennes carrières. En effet, les exploitants chauffourniers n'étaient pas tenus de fournir un plan à l'administration et il est rarement fait mention dans les archives - souvent incomplètes - des numéros de parcelles exploitées. Néanmoins, grâce à l'analyse de ces documents, complétée par une analyse géologique de la commune de Cournon, par les découvertes récentes de cavités et par une analyse des modes d'exploitation utilisés, on arrive à situer avec une précision relative les secteurs qui ont fait l'objet d'une exploitation pour la chaux. Cette exploitation de la chaux était artisanale, peu intensive mais elle a constitué une ressource importante de la commune pendant au moins 2 siècles. Deux cartes à l'échelle 1/7 500 ont été produites : une carte d'indices retraçant avec plus ou moins de précision les indices disponibles ayant trait à l'exploitation de la chaux, et une carte d'aléa qui distingue principalement deux degrés d'aléa : moyen et faible, répartis sur une surface d'environ 2,4 km<sup>2</sup>. Ce zonage diffère assez peu de celui du PER de 1987. Il est important de souligner que ces intensités d'aléas ne conduisent pas en principe à l'inconstructibilité mais à l'adoption de mesures préventives dans le cadre de nouveaux projets de construction. Il est possible d'accentuer les recherches sur les cavités souterraines de calcaire à chaux en dépassant les aspects documentaires et scientifiques de ce rapport, mais cela nécessite l'emploi de méthodes géophysiques coûteuses et pas fiables à 100 %. Compte tenu de la géométrie des cavités de Cournon, nous proposons d'utiliser en binôme la microgravimétrie et la SASW. Il est également possible, afin de réduire le coût très élevé de ces méthodes, de réaliser quelques mesures géophysiques « test » sur des secteurs à enjeux. Quelque soit l'option choisie, le contenu du projet de règlement en zone urbanisée du futur PPR « mouvement de terrain » reste la pierre angulaire de son acceptation par le public.

L'aléa « mouvement de terrain » concerne les glissements de terrain, les chutes de blocs et éboulements, les érosions de berge et les coulées de boue. Un recensement exhaustif des phénomènes de référence et une campagne de terrain ont été effectués et ont permis de dresser une cartographie de l'aléa à l'échelle du 1/7 500. Cette cartographie présente quelques nouveautés par rapport celle du PER de 1987, notamment pour les Hauts de Cournon où des aménagements ne respectant pas les règles de l'art pourraient générer des problèmes (cf. coulée de boue de juillet 2003). Il est possible d'affiner localement ce zonage en réalisant des études géotechniques détaillées, comme dans la rue des Garennes ou au niveau de l'ancienne décharge de la commune.



## **Annexe 1**

### **Principe de la microgravimétrie**





## MICROGRAVIMETRIE

### Principe de la méthode

La prospection gravimétrique consiste à déterminer les anomalies de la pesanteur occasionnées par l'inégale répartition des densités dans le sous-sol. Ces anomalies représentent la différence entre la valeur de l'accélération de la pesanteur,  $g$ , mesurée et corrigée des causes de variations connues, et une valeur normale,  $g_0$ , que l'on observerait si la terre était homogène. La microgravimétrie est une application de la gravimétrie au domaine de la sub-surface. Sa profondeur d'investigation varie de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Très utilisée dans le domaine du génie civil pour la recherche de cavités et des désordres associés, la microgravimétrie est une méthode non destructive et légère, qui peut être mise en œuvre par un seul opérateur. Elle n'est pas perturbée par les effets électromagnétiques environnants et peut donc être utilisée en milieu urbain ou industriel.

Pour mesurer  $g$ , on utilise des appareils appelés gravimètres, dont le principe se ramène à celui du peson à ressort, soit une masse accrochée à l'extrémité inférieure d'un ressort vertical. Le poids de la masse est équilibré par la tension du ressort, elle-même proportionnelle à son élongation. Les variations de  $g$  se traduiront par des variations de longueur du ressort que l'on mesurera.



**Fig. 1 - Gravimètre SCINTREX CG3-M en station**

Les faibles amplitudes des anomalies gravimétriques des effets de sub-surface recherchés rendent nécessaire une grande précision des mesures, de l'ordre de 5 à 10 microgals (1 microgal =  $10^{-8}$  m/s<sup>2</sup>). Cette précision implique un mode opératoire soigné permettant en particulier un contrôle régulier du comportement instrumental du gravimètre : fréquents retours sur une base de référence pour la détermination de la dérive, au moins 20 % de reprises de mesure pour l'estimation de la précision, ... Pour être significatifs, les résultats des mesures gravimétriques doivent également être très précisément corrigés de toutes les causes de variations de g (marées, altitude, latitude, relief et bâtiments proches) qui ne sont pas liées à la structure et à la composition du sous-sol. Afin de permettre ces corrections, l'altitude relative de chaque station doit être mesurée au cm près par nivellement de précision et la latitude relative doit être connue au mètre près.

Pour chaque station de mesure, on calcule l'anomalie de Bouguer, **B**, dont l'expression est la suivante :

$$B = g + c \cdot Z + T - g_0$$

ou **g** est la valeur de g mesurée à la station, corrigée des variations luni-solaires (marées) et de la dérive instrumentale,

**Z** est l'altitude en mètres,

**c** est un coefficient de correction, fonction de la densité **d** des terrains superficiels,

**T** est la correction de relief (ou topographique),

**g<sub>0</sub>** est la valeur normale de la pesanteur sur l'ellipsoïde terrestre supposé homogène.

L'interprétation des résultats se fait à partir de la carte de l'anomalie de Bouguer, ou mieux à partir d'une carte de l'anomalie résiduelle ou du gradient vertical. Les variations de l'anomalie de Bouguer sont dues à la somme des tous les effets gravifiques du sous-sol, correspondant à la fois aux structures géologiques profondes ou régionales et aux hétérogénéités superficielles et locales, liées aux structures recherchées. Ces phénomènes superficiels provoquent des variations de courte « longueur d'onde », se manifestant par des contours à faible rayon de courbure, qui peuvent être en partie masqués par les grandes tendances régionales. Les cartes d'anomalie résiduelle et de gradient vertical ont pour but de ne conserver que ces seules variations, par soustraction des effets régionaux de grande longueur d'onde, sans intérêt en considération de l'objectif de l'étude. Cette interprétation conduit à une analyse des anomalies gravimétriques (signe positif ou négatif, amplitude, longueur d'onde, direction d'allongement, axes), à une différenciation entre corps lourds et légers et à une estimation de la profondeur de ces corps.

La microgravimétrie est une méthode reconnue comme adaptée à la recherche de cavités. Ces cavités sont plus facilement détectables lorsqu'elles sont vides que lorsqu'elles sont dans l'eau, le contraste de densité étant plus grand ( $d = 0$  pour l'air,  $d = 1$  pour l'eau). Une cavité remblayée, même partiellement, peu par contre devenir indétectable. A contraste de densité égal, l'amplitude de l'anomalie est proportionnelle à son volume et en fonction inverse de sa profondeur. Une étude de faisabilité destinée à vérifier que les objets recherchés seront à l'origine d'anomalies ayant une amplitude supérieure à la précision de la

méthode est donc nécessaire avant d'entreprendre une campagne gravimétrique. Elle sera réalisée à l'aide de simulation quantitative qui permettra de prédire les effets attendus. Cette étude de faisabilité permettra également de définir un dispositif de mesure (maillage et extension de l'étude) adapté aux objectifs de la campagne.

Les stations sont généralement réparties selon un maillage régulier, carré ou rectangulaire. Pour qu'une structure soit décelable, il faut qu'elle influence plusieurs points de ce dispositif avec une amplitude supérieure à l'incertitude de mesure. Si la maille est trop large, certaines structures (les plus petites ou les plus superficielles) ne seront pas détectées. Si le dispositif est trop fin, on aura une surabondance d'information qui n'améliorera pas les résultats mais augmentera le coût de l'étude (approximativement proportionnel au nombre de stations). Le choix d'un dispositif optimal est donc essentiel.

L'influence d'une cavité se traduit en gravimétrie par une anomalie négative, mais il est évident que toutes les anomalies négatives présentes sur une carte ne sont pas forcément attribuables à la présence de cavités. Les variations lithologiques (épaisseur de la couverture sableuse ou argileuse, remblais de matériaux alluvionnaires, zones d'altération ou de fissuration de faible densité) provoquent également des anomalies négatives qu'il n'est pas possible de distinguer *a priori* de celles produites par les cavités franches. Pour cette raison, la détection d'une anomalie gravimétrique négative jugée significative doit toujours être suivie d'un contrôle par sondages pour lever cette indétermination.

## **Références**

N. DEBEGLIA, F. DUPONT, 2002. Some critical factors for engineering and environmental microgravity investigations. *Journal of Applied Geophysics*, 50, vol. 4, 435-454.

N. DEBEGLIA, F. DUPONT, 2000. Metrologie microgravimétrique pour l'aménagement. Rapport BRGM/RP-50256-FR



# MICROGAL, un logiciel pour l'exploitation des données de microgravimétrie en milieu urbain

L'application de la gravimétrie à la détection de cavités souterraines repose sur la mesure extrêmement précise des variations relatives de la gravité à la surface du sol, variations qui reflètent les hétérogénéités de densité du sous-sol, et plus particulièrement, les déficits de densités provoqués par la présence de vides éventuels. Les anomalies gravimétriques attendues ont une amplitude généralement faible comparée à la précision des mesures qui, compte tenu des différentes causes d'erreur qui les affectent, peut être estimée à 5 à 10 microgals (1 microgal =  $10^{-8}$  m/s<sup>2</sup>). Outre les vides recherchés, les mesures gravimétriques sont également influencées par la topographie, par diverses hétérogénéités géologiques comme les variations de profondeur du substratum ou la présence de zones décomprimées et, en milieu urbain, par les bâtiments, caves, infrastructures et revêtements divers présents sur le site. L'interprétation finale sera d'autant plus fiable que les mesures auront été réalisées selon un protocole soigné et que les éléments perturbateurs auront pu être inventoriés de manière détaillée afin d'être corrigés le plus précisément possible. Des algorithmes permettant d'isoler les anomalies susceptibles d'être causées par une cavité des effets perturbateurs d'origine anthropique ou géologique seront également nécessaires.

Mis au point en 1997 et 1998 dans le cadre de l'activité de recherche et développement du BRGM, MICROGAL (fig. 1) est un logiciel pour PC destiné à réaliser, sur le terrain, les corrections, traitements et interprétations nécessaires à l'exploitation des mesures microgravimétriques.

MICROGAL assure les fonctions suivantes :

- gestion des études gravimétriques incluant la production d'éléments statistiques directement intégrables dans les rapports d'exécution, tel que l'histogramme des reprises et l'estimation de l'incertitude,
- gestion des gravimètres : étalonnage, dérive,
- gestion des données permettant d'importer, d'éditer, de modifier et d'exporter les données gravimétriques utilisées ou produites par la procédure de traitement et d'interprétation,
- visualisation et impression des profils, des cartes ou des graphes gravimétriques,
- calcul de l'anomalie de Bouguer,
- changement de densité de correction, profils de Nettleton,
- corrections topographiques,
- correction des effets perturbateurs des bâtiments ou de diverses structures artificielles :

- en gravimétrie de surface, pourront être ainsi pris en compte les effets des différentes constructions et infrastructures et les effets des structures enterrées, caves et galeries connues,
- en gravimétrie souterraine, les effets de la forme des galeries et puits dans lesquels sont réalisées les mesures pourront être ainsi calculés,
- interprétation des données (résiduelles, gradient vertical).

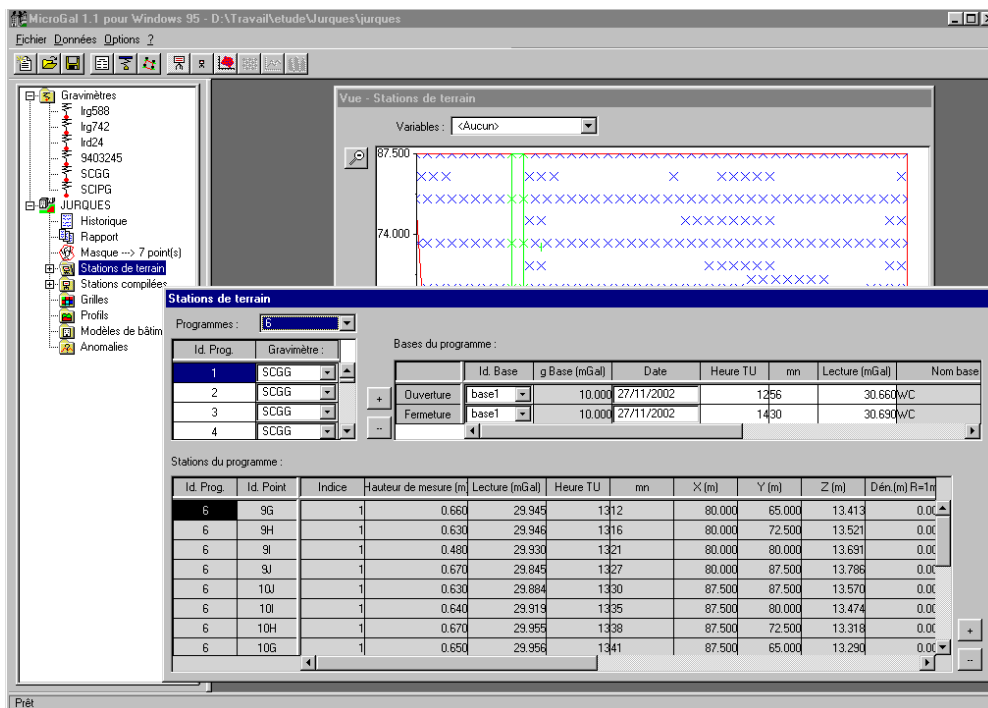


Fig. 1a - Fenêtre de saisie des programmes de mesures et carte des stations

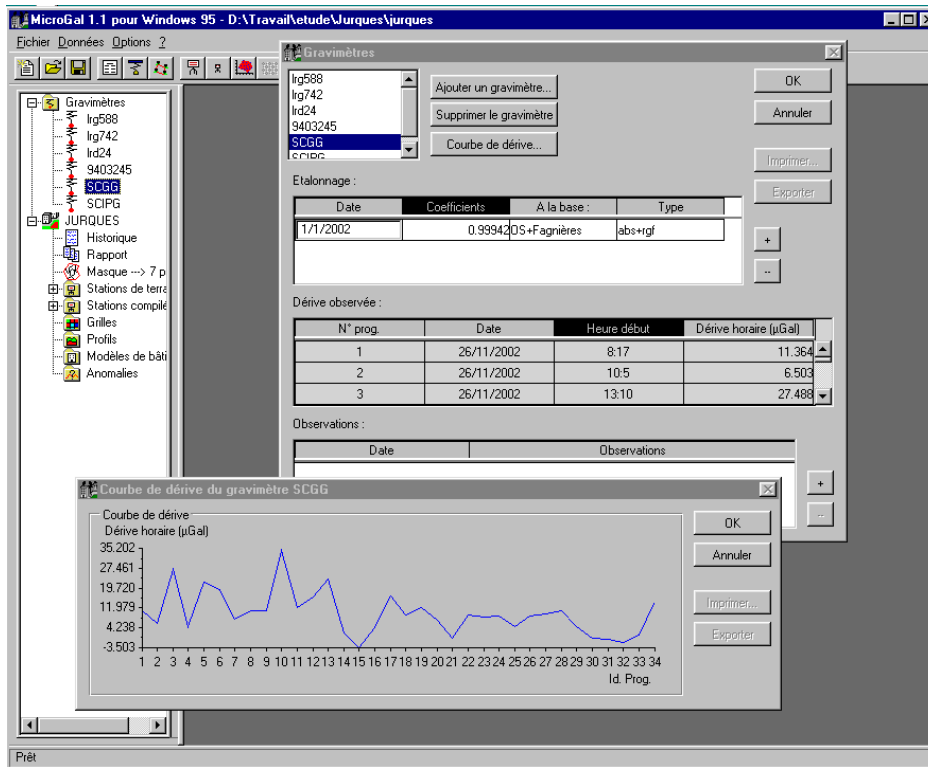


Fig. 1b - Fenêtre de gestion des gravimètres et courbe de dérive d'un gravimètre

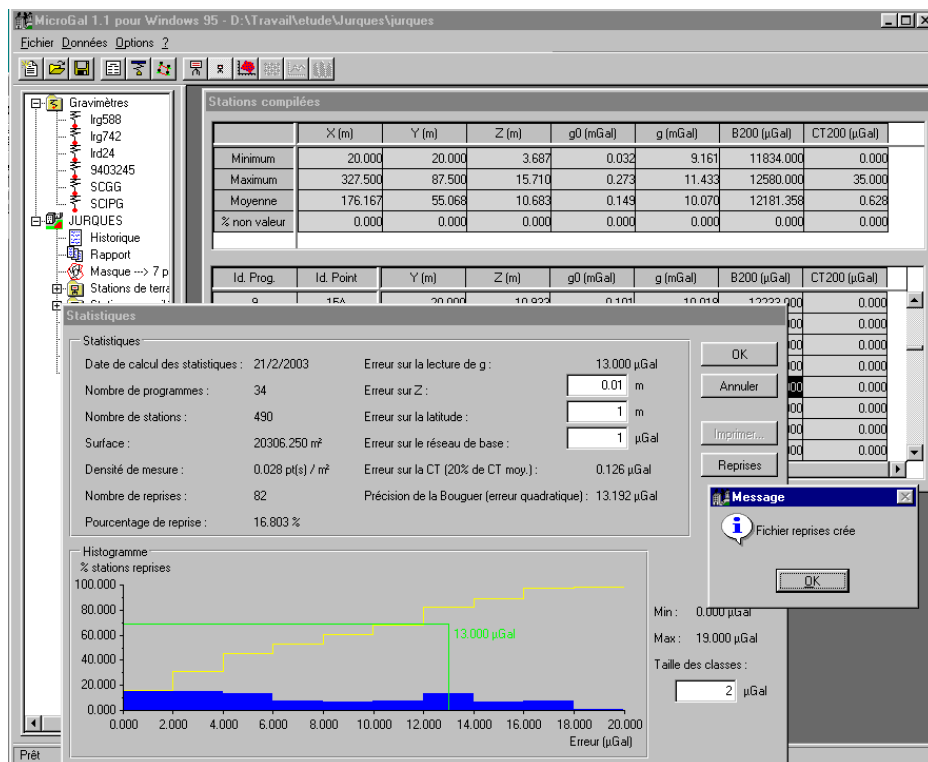
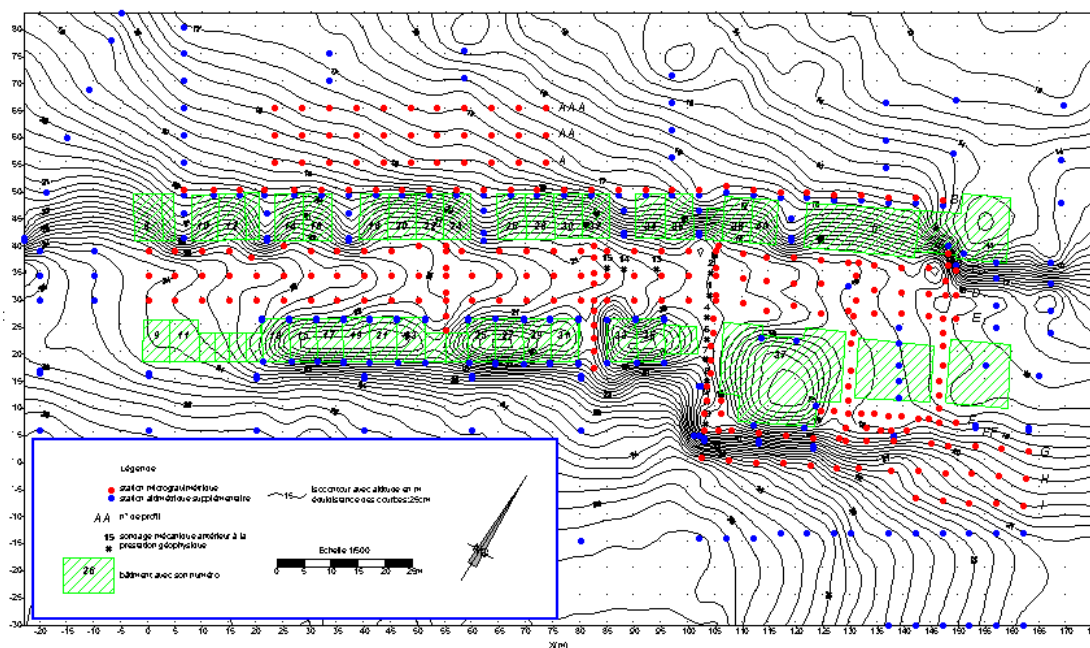
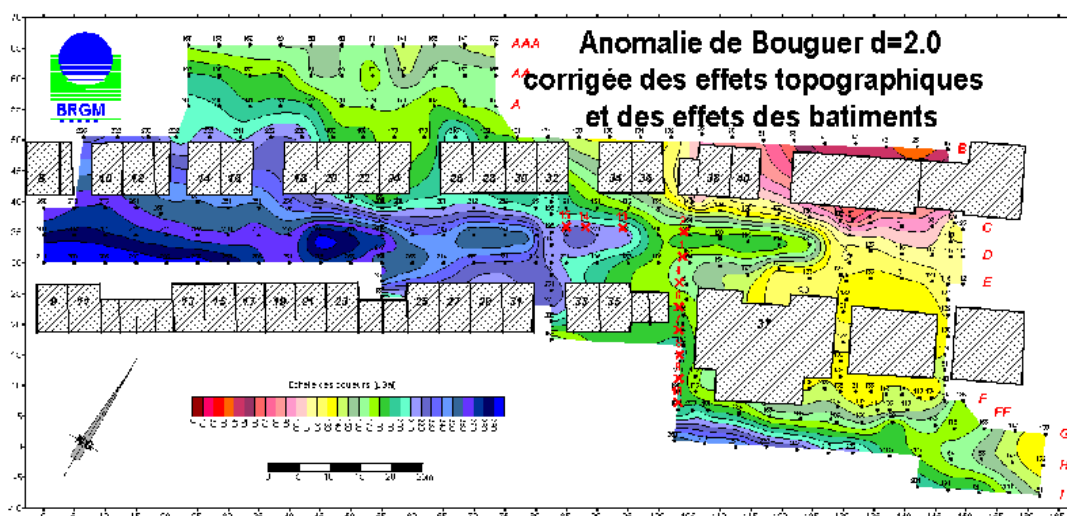


Fig. 1c - Statistiques et histogramme des écarts

## Exemple de traitements

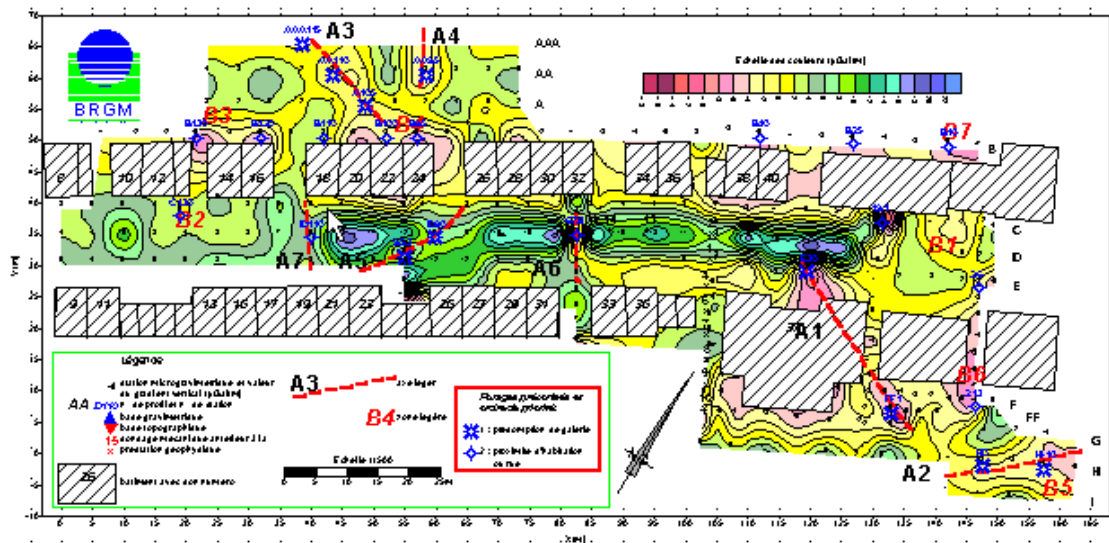


**Fig. 2 - Site urbain caractérisé par une forte topographie et par la présence de nombreux bâtiments**



**Fig. 3 - MICROGAL permet de corriger les mesures des effets de la topographie et des bâtiments**





**Fig. 4 - Les traitements (gradient vertical) permettent de préciser la localisation des galeries et fontis.**



### Quelques cas pratiques :

- Test sur le trajet du futur Tramway à Orléans (ANTEA).
- Localisation d'anciennes exploitations souterraines de charbon à la Chapelle-sous-Dun (DRIRE Bourgogne).
- Localisation de galeries sous des bâtiments militaires en voie de restructuration (ANTEA – Conseil Général de l'Orne).
- Localisation de galerie de mine et fontis à Moyeuve-Grande (DRIRE Lorraine).
- Mise en évidence d'une buse enterrée (site test DR de Jargeau).
- Détection de galeries et fontis sur le site d'une ancienne exploitation de gypse à Chelles (mairie de Chelles par l'intermédiaire du SGR Ile-de-France).
- Localisation de galeries d'une ancienne mine de fer à Jurques (GEODERIS Caen).

## **Réalisation de mesures gravimétriques en milieu urbain : estimation des effets de bâtiments**

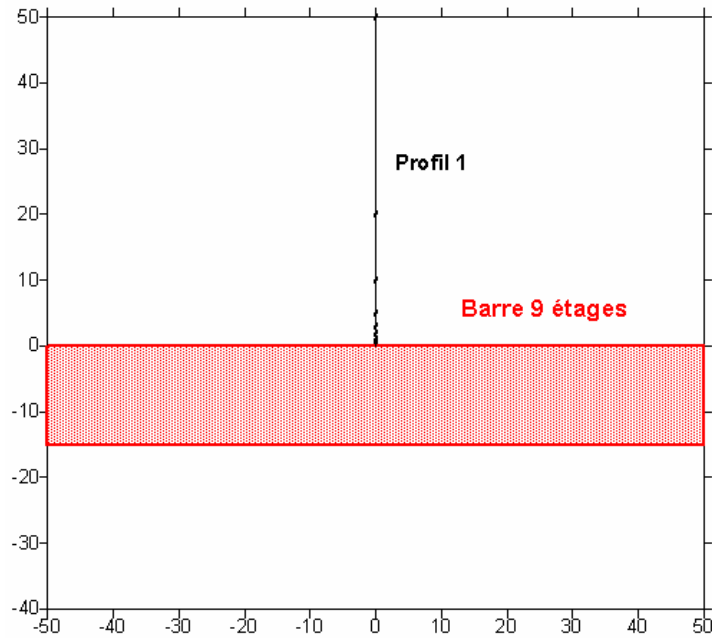
La réalisation d'études gravimétriques en milieu urbain ou sub-urbain augmente généralement les difficultés de réalisation tant lors de la mise en œuvre, que de l'interprétation, par l'introduction de contraintes et de perturbations spécifiques essentiellement liées à l'occupation des sols, à la circulation d'engins de chantier, à la circulation automobile ou ferroviaire. Ces contraintes ont plusieurs conséquences principales :

- gêne au déploiement normal ou souhaitable des dispositifs de prospection,
- altération directe de la précision des mesures du fait de variations aléatoires temporelles et spatiales non prévisibles,
- présence d'effets perturbateurs systématiques et introduction de biais liés à une correction imparfaite de ces perturbations (effets des bâtiments et sous-sol, des revêtements de sols, tranchées et remblais, des réseaux enterrés, de divers superstructures, etc).

L'influence des perturbations aléatoires sur l'incertitude des mesures peut être estimée statistiquement et être, si nécessaire, réduite en augmentant le nombre d'observations (au détriment du coût de la prospection). Par exemple, les vibrations d'origine industrielle perturbent les mesures gravimétriques. Cependant, en augmentant suffisamment la durée de mesure en chaque station bruitée, on peut obtenir par traitement statistique une incertitude de mesure faible compatible avec la précision requise.

Par contre, l'erreur provenant d'une compensation imparfaite d'un effet systématique ne peut pas être connue exactement et peut conduire à une limitation ou à une interdiction d'emploi de la méthode dans un contexte particulier. Par exemple, l'influence de bâtiments ou de sous-sols sur une mesure gravimétrique peut être évaluée si on connaît les dimensions de ces structures et la densité des matériaux de construction. Si la station de mesure est implantée à proximité immédiate d'un bâtiment, cette correction peut devenir trop importante par rapport à la précision souhaitée. Dans ce cas, l'incertitude sur les paramètres nécessaires à la correction ou la connaissance incomplète de ces données rendent toute compensation illusoire. On devra donc s'interdire de réaliser une telle mesure. Les deux simulations qui suivent (tableaux 1 et 2) sont des exemples d'estimation des corrections à réaliser et de faisabilité de la mesure gravimétrique à proximité d'immeubles importants (une barre d'immeuble de 9 étages et une tour de 17 étages). Les corrections à apporter aux mesures ont été estimées de manière globale en attribuant à l'ensemble du volume des bâtiments une densité moyenne de 0.2, évaluée par référence à des immeubles connus. Dans chaque cas particulier, la densité moyenne à utiliser devra être évaluée expérimentalement en réalisant quelques mesures à des distances variables de l'immeuble considéré. Par opposition, une correction complète nécessiterait la sommation de tous les effets des éléments constitutifs du bâtiment (murs, dalles, etc).

**Barre de 9 étages (densité : 0.2, largeur : 15 m, longueur 100 m, hauteur : 27 m)**

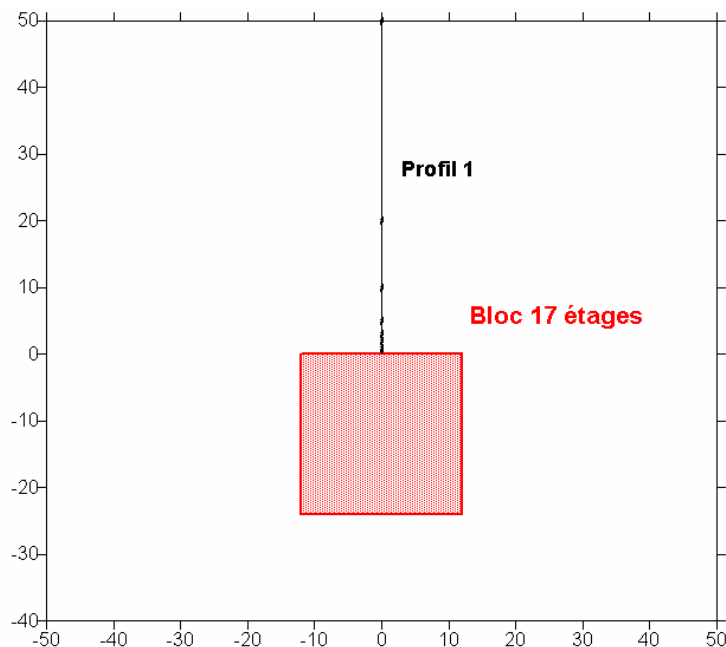


Distance de l'immeuble à la station (m)	Effets estimés ( $\mu\text{Gal}$ )		
	Immeuble sans cave	Immeuble avec cave de 3 m de profondeur	Immeuble avec sous-sol de 6 m de profondeur
0.2	-60	-158	-256
0.5	-57	-137	-230
1	-53	-114	-199
2	-47	-87	-156
3	-42	-70	-127
5	-35	-51	-91
10	-23	-30	-48
20	-12	-14	-21
50	-3	-3	-4

Mesures impossibles	Corrections détaillées indispensables, sinon mesures impossibles	Corrections globales indispensables	Pas de corrections
---------------------	--	-------------------------------------	--------------------

**Tab. 1 - Estimation des corrections à réaliser et faisabilité de mesures gravimétriques à proximité d'une barre d'immeuble de 9 étages**

## Bloc de 17 étages (densité : 0.2, largeur : 24 m, longueur 24 m, hauteur : 51 m)



Distance (m)	Effet ( $\mu\text{Gal}$ )		
	Sans cave	Avec cave 3 m de profondeur	Avec cave 6 m de profondeur
0.2	-60	-155	-245
0.5	-57	-135	-220
1	-53	-112	-189
2	-47	-84	-146
3	-42	-67	-117
5	-35	-48	-80
10	-23	-28	-41
20	-12	-13	-17
50	-3	-3	-4

Mesures impossibles	Corrections détaillées indispensables, sinon mesures impossibles	Corrections globales indispensables	Pas de corrections
---------------------	--	-------------------------------------	--------------------

**Tab. 2 - Estimation des corrections à réaliser et faisabilité de mesures gravimétriques à proximité d'une tour de 17 étages**

## **Annexe 2**

# **Principe de la SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)**



# SISMIQUE EN ONDES DE SURFACE (SASW)

## Principe de la méthode

Les ondes sismiques de surface, telles que les ondes de Rayleigh, se propagent parallèlement à la surface du sol, dans sa partie superficielle. Ce sont donc des ondes hétérogènes qui se propagent horizontalement et s'atténuent selon la profondeur. Chaque composante fréquentielle de l'onde se propage dans une épaisseur de terrain différent, les plus hautes fréquences se retrouvent dans les parties les plus superficielles.

Dans les milieux stratifiés où chaque couche du sous-sol est caractérisée par des propriétés mécaniques différentes, l'onde de surface est dispersive : la vitesse de propagation varie avec la profondeur, et donc avec la fréquence. C'est cette propriété qu'exploite la méthode SASW.

Le calcul de la vitesse de cisaillement en fonction de la profondeur est basé sur l'inversion de la courbe de dispersion qui présente les variations de la vitesse de phase de l'onde de Rayleigh en fonction de la fréquence. Les principales étapes de ce calcul sont les suivantes (fig. 1) :

- acquisition d'un tir sismique, la source et la série de capteur étant alignées sur une partie du profil ;
- calcul des diagrammes de dispersion ;
- digitalisation du diagramme pour obtenir la courbe de dispersion (variation de la vitesse de phase en fonction de la fréquence) ;
- inversion de la courbe de dispersion afin d'obtenir un modèle de vitesse de cisaillement  $V_s(z)$  et le facteur de qualité des sols. Pour cette étape, un modèle initial est estimé empiriquement, puis un algorithme de type moindre carré amortis assure la convergence vers la meilleure solution constituant le modèle final.

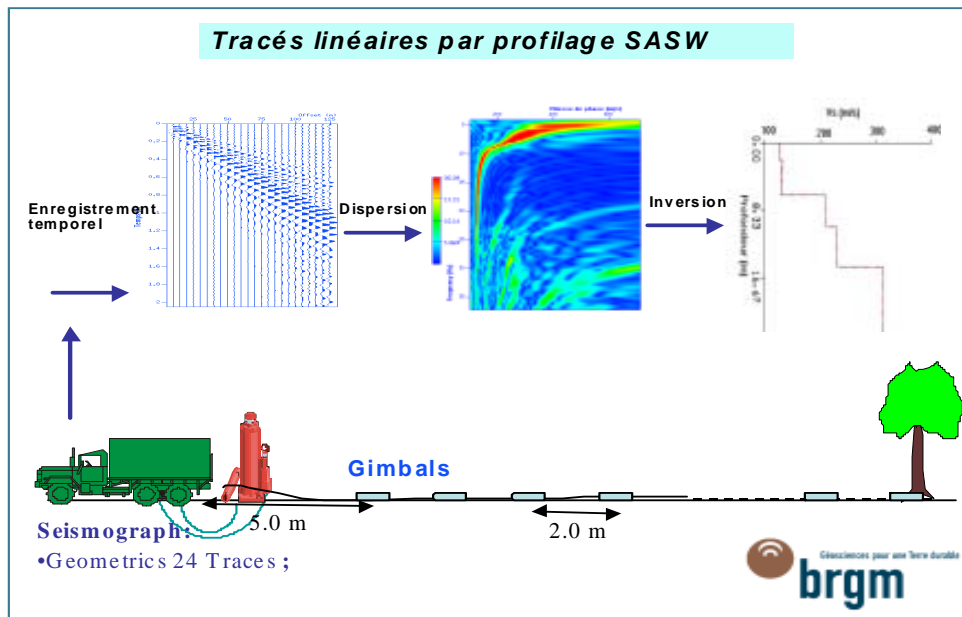


Fig. 1 - Principe de la méthode SASW

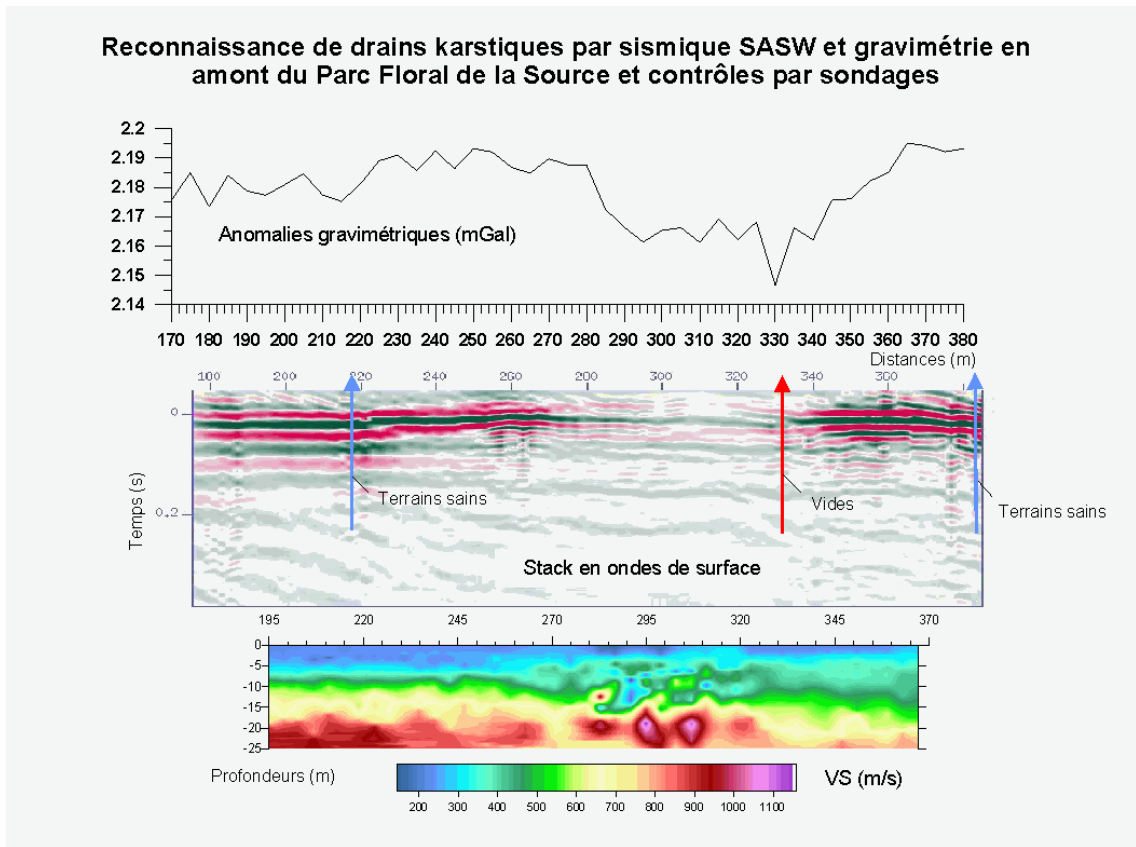
## Imagerie en ondes de surface

Parallèlement à l'inversion de la vitesse de phase, il est possible de traiter les données dans le but d'obtenir un profil en ondes de surface. Un tel profil permet d'imager les zones de propriétés mécaniques « faibles » telles que les zones décompactées par des travaux de déblais/remblais ou la formation de fontis.

On utilise alors la chaîne de traitements mise au point au BRGM pour la détection de cavités souterraines. De la même façon qu'en sismique réflexion, les mesures sont réalisées en couverture multiple afin d'optimiser le rapport signal-sur-bruit : en déplaçant la source le long de la ligne de géophones, on acquiert une succession de tirs sismiques. De la même façon qu'en sismique réflexion, des corrections dynamiques sont appliquées sur chaque tir. On tient cependant compte ici des phénomènes de dispersion en évaluant les vitesses de phase à partir des diagrammes de dispersion. La vitesse de phase, calculée en fonction de la fréquence, permet de corriger le déphasage dépendant de l'offset. Une fois tous les signaux ramenés à un offset nul, les traces sont sommées par récepteur commun dans le domaine temporel. On obtient alors un profil en onde de surface.

La figure 2 montre un exemple d'application de combinaison de la sismique SASW et de la gravimétrie pour la reconnaissance de drains karstiques en amont du Parc Floral de la Source (Loire). Le réseau karstique et les perturbations qu'il induit en surface se manifestent par une anomalie gravimétrique négative (a), liée à la présence de vides et de terrains décomprimés, et par une atténuation de la continuité des marqueurs sismiques (b), due à la fracturation de l'épikarst. Le réseau karstique perturbe le champ vitesse  $V_s$  (c) en introduisant des inversions de vitesses.







**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009  
45060 Orléans cedex 2 - France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional Auvergne**  
12, avenue des Landais  
Campus des Cézeaux  
63170 Aubière - France  
Tél. : 04 73 15 23 00