

Auteurs/Authors:

Marc VINCENT, BRGM, m.vincent@brgm.fr

Maîtrise d'œuvre/Contracting authority:

MEDD (French Ministry for Ecology and Sustainable Development)

Maîtrise d'ouvrage/Project Manager:

BRGM (Office for geological and mining service)

Baillleur/Fund Provider:

Fond de prévention des risques naturels majeurs et dotation de service public du BRGM allouée par le ministère de la Recherche (Fund for major natural risk prevention and BRGM public service allowance allocated by the French Ministry for Research)



Photo 1 : Fissures provoquées par le retrait - gonflement des argiles - cracks due to clay shrinkage-swelling.
Source : BRGM

Cartographie sous SIG de l'aléa retrait-gonflement des argiles à des fins préventives – France

GIS mapping of the clay shrinkage-swelling hazard for preventive purposes – France

A l'occasion d'importantes périodes de déficit hydrique comme celles connues en France en 1989-1991 et 1996-1997, des dégâts considérables ont été constatés sur le bâti construit sur des sols argileux sujets au phénomène de retrait-gonflement. Afin de délimiter les zones à risque, le ministère de l'Écologie et du Développement durable a mandaté le BRGM pour établir une cartographie de l'aléa lié au retrait-gonflement des argiles dans trente-six départements en France.

After long periods of drought or "water stress" such as those experienced in France in 1989-1991 and 1996-1997, considerable damage was observed in buildings built on clayey soils subject to the shrinkage-swelling phenomenon. In order to define the zones at risk, the French Ministry for Ecology and Sustainable Development has commissioned the BRGM to establish mapping of the hazard related to the shrinkage-swelling of clays in thirty-six "départements" in France.

La période de sécheresse estivale qui a affecté en 2003 une large partie du territoire métropolitain français met une fois de plus en évidence la grande vulnérabilité du bâti individuel construit sur certains sols argileux sujets au phénomène de retrait-gonflement. Déjà observé en 1976 en région parisienne, ce phénomène a causé des dégâts considérables à l'occasion des périodes de déficit hydrique qu'a connues la France en 1989-91, puis en 1996-97. En période de sécheresse, certaines argiles se rétractent de manière importante, ce qui induit localement des mouvements différentiels de terrain allant jusqu'à provoquer la fissuration de bâtiments. Ce phénomène, qui concerne surtout les maisons individuelles, légères et fondées de manière

The summer drought period that, in 2003, affected a large part of the home country of France once again highlighted the considerable vulnerability of private homes built on certain clayey soils subject to the shrinkage-swelling phenomenon. Already observed in 1976, in the Paris Region, this phenomenon caused considerable damage during the periods of drought suffered by France in 1989-91, and then in 1996-97. In periods of drought, certain clays shrink considerably, which locally gives rise to differential land movements that can go as far as to cause buildings to crack. This phenomenon, which above all concerns private homes that are light in weight and built on shallow foundations, has thus affected

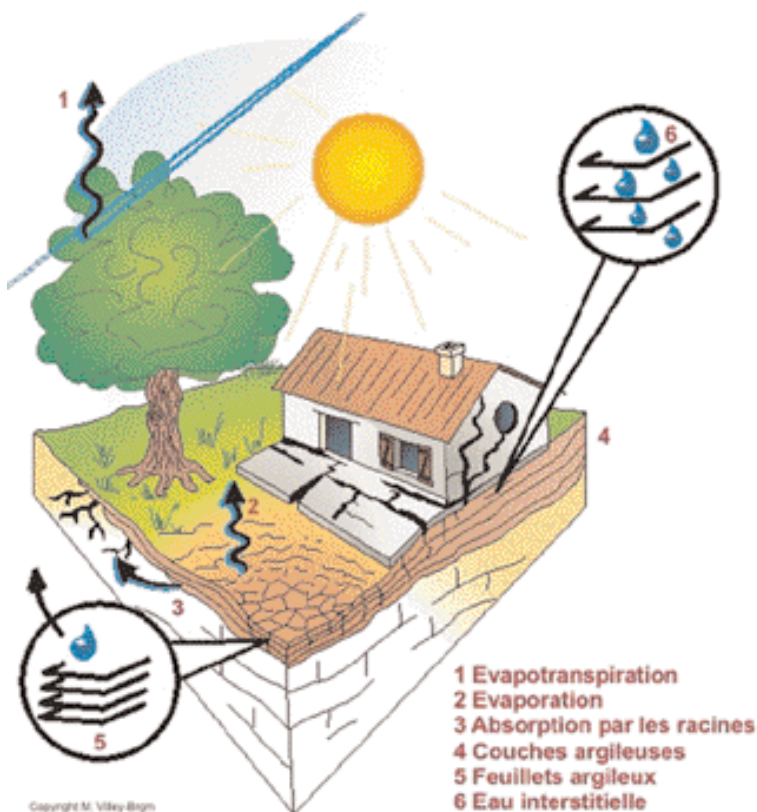
several hundreds of thousands of homes in France since 1989, which was the date from which it has been considered to be a natural disaster. In 2002, the total amount of compensation paid out to repair the damage was assessed by the Central Reinsurance Fund at 3.3 billion euros for France as a whole, which puts it in second place among causes of compensation under the natural disasters scheme, just behind flooding (fig.1).

And yet relatively simple and inexpensive preventive measures would make it possible to limit considerably the problems related to this phenomenon: deepening the foundations so that they are anchored in soil that is relatively insensitive to seasonal variations in humidity; making anchoring depths uniform so as to avoid asymmetry (in particular on sloping land), building a sealed path all around the house in order to limit evaporation in the immediate vicinity of the walls, controlling runoff water and rainwater so as to prevent it from infiltrating at the bases of the walls, making sure trees are at reasonable distances away, etc.

But firstly, we need to identify and delimit the zones at risk in which builders are liable to encounter this type of soil. This is what the MEDD has decided to do by asking the BRGM company to establish, by 2005, mapping of the hazard related to clay shrinkage-swelling in the thirty six French "départements" that are worst affected. The geographical distribution of the phenomenon is proving to be in close correlation with the geographical distribution of the outcrops of some particularly sensitive clayey formations: Flanders clay in the North of France, Romainville green clay and Ypresian plastic clay in the Paris Region, Cenomanian and Toarcian marls in the south of the Paris basin,

Campanian alterites in Dordogne, molassic formations in the Toulouse and Gers region of South-

Figure 1 : Schéma du processus de retrait gonflement des argiles – Diagram of the clay shrinkage-swelling process. Source : BRGM



superficielle, a ainsi touché plusieurs centaines de milliers d'habitations en France depuis 1989, date depuis laquelle il est pris en compte comme catastrophe naturelle. En 2002, le montant total des indemnités versées pour réparer ces dégâts a été évalué par la Caisse centrale de réassurance à 3,3 milliards d'euros pour l'ensemble du territoire national, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation dans le cadre du régime des catastrophes naturelles, juste derrière les inondations (fig.1).

Pourtant, des mesures préventives relativement simples et peu coûteuses permettraient de limiter considérablement les désordres liés à ce phénomène : approfondissement des fondations pour qu'elles soient ancrées dans un terrain peu sensible aux variations saisonnières d'humidité, homogénéisation des profondeurs d'ancrage pour éviter les dissymétries (en particulier sur les terrains en pente), réalisation d'un trottoir étanche tout autour de la maison pour limiter l'évaporation à proximité immédiate des façades, maîtrise des eaux de ruissellement et des eaux pluviales pour éviter qu'elles ne s'infiltrent au pied des murs, éloignement des arbres, etc.

Encore faut-il arriver à identifier et délimiter les zones à risque où les constructeurs sont susceptibles de rencontrer ce type de sol. C'est la voie dans laquelle s'est engagé le MEDD en demandant au BRGM (service géologique national) d'établir, d'ici 2005, une cartographie de l'aléa lié au retrait-gonflement des argiles dans les trente-six départements français les plus touchés. La répartition géographique de ce phénomène s'avère étroitement corrélée avec celle des surfaces d'affleurement de quelques formations argileuses particulièrement sensibles : argile des Flandres dans le Nord, argile verte de Romainville et argile plastique de l'Yprésien en région parisienne, marnes du Cénomanien et du Toarcien dans le sud du bassin de Paris, altérites du Campanien en Dordogne, formations molassiques dans le sud-ouest toulousain et gersois, argiles et marnes de l'Oligocène dans la plaine de la Limagne, etc.

Ces cartes d'aléa, qui sont d'ores et déjà disponibles dans dix-neuf départements français, sont établies sous SIG par croisement numérique de plusieurs couches d'informations géoréférencées. La donnée de base est celle des cartes géologiques établies et publiées par le BRGM à l'échelle 1/50 000°. Leur analyse permet d'identifier les formations argileuses affleurantes et d'en établir une cartographie numérique, homogène à

Photo 2 : Exemple de maison fissurée – Example of a cracked house. Source : BRGM



l'échelle départementale, ce qui nécessite un gros travail d'harmonisation des cartes actuellement disponibles, les formations les plus superficielles ayant souvent été diversement interprétées d'une feuille à l'autre. Les formations ainsi identifiées font ensuite l'objet d'une hiérarchisation sur la base de trois critères qui se recoupent plus ou moins : leur nature lithologique (caractérisée par l'importance et la disposition des termes argileux au sein de la formation), la composition minéralogique de leur phase argileuse (la proportion de minéraux gonflants de type smectites ou interstratifiés étant estimée à partir d'analyses paléogéographiques et d'essais de diffractométrie aux rayons X) et enfin leur comportement géotechnique (évalué par des essais de laboratoire parmi lesquels la valeur de bleu, l'indice de plasticité ou le retrait linéaire). La combinaison de ces différentes observations permet d'établir une carte de susceptibilité au retrait-gonflement.

Afin de valider et préciser cette carte de susceptibilité, les sinistres survenus dans le département depuis 1989 font l'objet d'un recensement le plus exhaustif possible (afin d'obtenir une représentation statistique réaliste des probabilités d'occurrence du phénomène) et d'un géoréférencement. Le nombre de sinistres ainsi pris en compte atteint généralement plusieurs milliers par département (jusqu'à 5 250 en Haute-Garonne). Le croisement sous SIG avec la carte géologique permet de calculer, pour chaque formation argileuse identifiée, une densité de sinistres ramenée à 100 km² de surface d'affleurement réellement urbanisée. Il est en effet nécessaire de tenir compte du taux d'urbanisation qui peut présenter des disparités importantes d'un point à l'autre du département et pourrait ainsi fausser l'analyse (les sinistres étant évidemment plus nombreux dans les zones fortement urbanisées !).

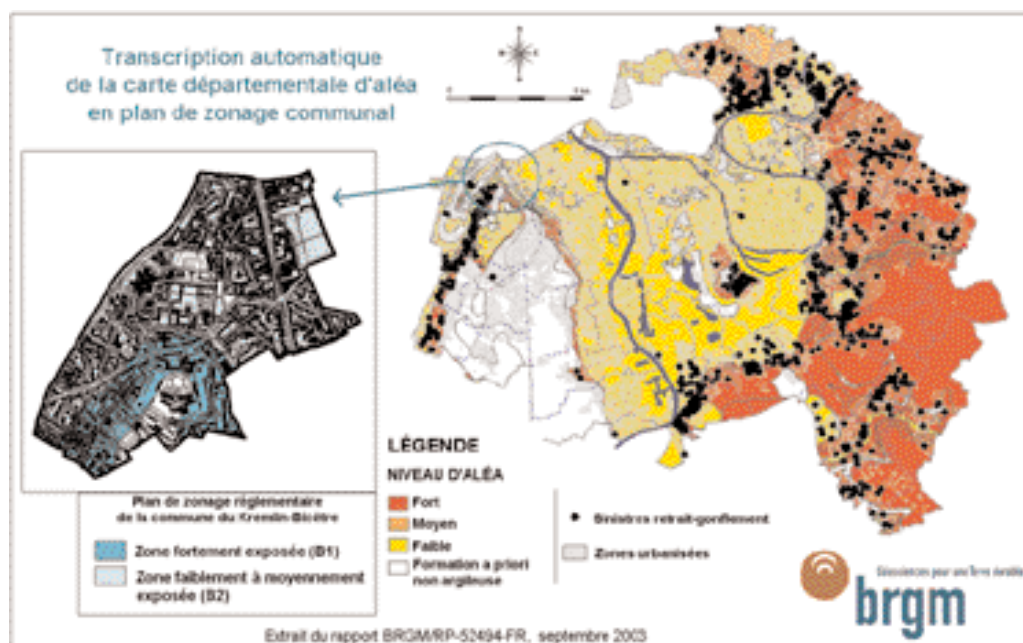
Cette méthodologie, appliquée à l'identique dans l'ensemble des départements traités, permet d'établir, à moindre coût et de manière homogène, des cartes d'aléa sous forme numérique qui pourront facilement être diffusées auprès du grand public (un site internet dédié à leur affichage est d'ailleurs en préparation, à la demande du ministère de l'Écologie et du Développement durable) et serviront de support à l'élaboration de documents de prévention à l'usage des constructeurs.

West France, Oligocene clays and marls in the Limagne plain, etc.

These hazard maps, which are already available in nineteen French "départements", are made in GIS by digital crossing of several georeferenced information layers. The base data are the data of the geological maps made and published by the BRGM to the scale 1:50,000. Analysis of them makes it possible to identify the outcrops of clayey formations and to establish digital mapping for them, which is homogeneous at département level, which requires major harmonisation work for harmonising the currently available maps, the formations closest to the surface often having been interpreted differently from one sheet to another. The formations identified in this way are then prioritised on the basis of three criteria that are inter-linked to various extents: their lithological nature (characterised by the extent and the disposition of the clayey terms inside the formation), the mineralogical composition of their clayey phase (the proportion of swelling minerals of the smectite or interstratified type being estimated on the basis of paleogeographic analyses and X-ray diffractometry tests) and finally geotechnical behaviour (assessed by laboratory tests including methylene blue value, plasticity index, or linear shrinkage). By combining these different observations, it is possible to establish a map of susceptibility to shrinkage-swelling.

In order to validate and to improve the accuracy of the susceptibility map, the claims made in the "département" since 1989 are identified as exhaustively as possible (in order to obtain a realistic statistical representation of the probabilities of the phenomenon occurring) and are georeferenced. The number of claims thus taken into account generally reaches several thousands per "département" (up to 5,250 in Haute-Garonne). Crossing in GIS with the geological map makes it possible to compute, for each identified clayey formation, a density of claims adjusted to 100 km² of genuinely urbanised outcrop. It is necessary to take account of the rate of urbanisation, which can have major disparities from one point to another in the département, and could thus distort the analysis (claims naturally being more numerous in highly urbanised zones!).

This methodology, applied identically in the entire set of départements processed, makes it possible, less expensively and more uniformly, to establish hazard maps in digital form that will be able to be disseminated more easily to the general public (an Internet site dedicated to displaying them is being prepared, at the request of the French Ministry for Ecology and Sustainable Development) and that will serve to help draft prevention documents for use by builders.



Carte 3 : Transcription automatique de la carte départementale d'aléa en plan de zonage communal – Automatic transcription of the "département" hazard map into municipal zoning plans.

The approach chosen for using the hazard maps is through the Plans de Prévention des Risques (PPR - risk prevention plans). Over 700 PPR specifically concerning the phenomenon of shrinkage-swelling have thus been set up to date, and public inquiries have been conducted, in particular in the forty municipalities of Seine-Saint-Denis and in a few municipalities close to Périgueux, in Dordogne. The particularity of these PPR is that, unlike the plans for preventing other natural risks such as flooding, no provision is made to take measures to prohibit building, even on zones considered to be high-risk zones. The recommended preventive measures, which concern above all the building technique and the immediate environment of the project, do not give rise to any major extra cost, and thus remain compatible with economical private home projects. The absence of stakes in terms of human life and this relative modesty in terms of imposed regulatory constraints justifies merely transposing directly (subject to applying a safety margin) the département hazard maps into municipality zoning plans, which makes it possible for PPR to be implemented at lower cost in a larger number of municipalities and should make it possible, in the future, to avoid many claims, which are traumatic for the owners and costly for the community (map 3).

■ Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

Service aménagement et risques naturels
(Development Planning and Natural Risks Division)
117, avenue de Luminy — B.P. 167
F-13276 Marseille cedex 9
Tel: 33 (0)4 91 17 74 65
Fax: 33 (0)4 91 17 74 75
www.brgm.fr

The BRGM (office for geological and mining service) is specialised in Geoscience for a sustainable Earth. It is a public institution with industrial and commercial interests under the joint supervision of the Ministries for Research and for Industry. It has a payroll of 855 employees. It is assigned the tasks of:

- understanding geological phenomena;
- developing new methodologies and techniques; and
- producing and disseminating data that are pertinent and of high quality so as to make tools available that are necessary for public policies on surface, subsurface, and natural-resource management, on prevention of natural risks and of pollution, and on regional development and planning.

It has three major missions: research, technological development, and innovation; support for public policies, and citizen information; and international co-operation and development aid.

It acts in the following areas:

- Mineral resources
- Water
- Development planning and natural risks
- Environment and pollution
- Environment and metrology
- Mapping and digital information systems

La démarche retenue pour exploiter ces cartes d'aléa est celle des plans de prévention des risques. Plus de 700 PPR concernant spécifiquement le phénomène de retrait-gonflement ont ainsi été prescrits à ce jour et des enquêtes publiques ont été menées, notamment dans les quarante communes de Seine-Saint-Denis et dans quelques communes proches de Périgueux, en Dordogne. La particularité de ces PPR est que, contrairement à d'autres risques naturels tels que les inondations, il n'est prévu aucune mesure d'interdiction de construire, même sur les zones considérées en aléa élevé. Les mesures préventives préconisées, qui concernent surtout la technique de construction et l'environnement immédiat du projet, n'entraînent pas de surcoût important et restent donc compatibles avec des projets de maisons individuelles économiques. L'absence d'enjeux en terme de vie humaine et cette relative modestie des contraintes réglementaires imposées justifient que l'on puisse se contenter de transposer directement (moyennant la simple application d'une marge de sécurité) les cartes départementales d'aléa en plans de zonages communaux, ce qui permet la réalisation à moindres coûts de PPR sur un grand nombre de communes et devrait permettre à l'avenir d'éviter de nombreux sinistres, traumatisants pour les propriétaires et coûteux pour la collectivité (carte 3).

■ Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

Service aménagement et risques naturels
117, avenue de Luminy
B.P. 167
F-13276 Marseille cedex 9
Tél. : 33 (0)4 91 17 74 65
Fax : 33 (0)4 91 17 74 75
www.brgm.fr

Le BRGM est un établissement public à caractère industriel et commercial (Epic) sous la tutelle des ministères en charge de la Recherche et de l'Industrie. Son effectif est de 855 personnes. Il est chargé de :

- comprendre les phénomènes géologiques,
- développer des méthodologies et des techniques nouvelles,
- produire et diffuser des données pertinentes et de qualité afin de mettre à disposition les outils nécessaires aux politiques publiques de gestion du sol, du sous-sol et des ressources, de prévention des risques naturels et des pollutions et d'aménagement du territoire.

Le BRGM a trois missions principales : recherche & développement technologique et innovation ; appui aux politiques publiques et information des citoyens ; coopération internationale et aide au développement.

Il intervient dans les domaines suivants :

- Ressources minérales
- Eau
- Aménagement et risques naturels
- Environnement et pollutions
- Métrologie de l'environnement
- Cartographie et systèmes d'information numériques