

Effondrement de cavités souterraines et interactions sol-structure : développement d'un modèle expérimental

Matthieu Caudron

▶ **To cite this version:**

Matthieu Caudron. Effondrement de cavités souterraines et interactions sol-structure : développement d'un modèle expérimental. Rapport Scientifique INERIS, 2007, 2006-2007, pp.79-81. ineris-01869096

HAL Id: ineris-01869096
https://ineris.hal.science/ineris-01869096

Submitted on 6 Sep 2018

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

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

Effondrement de cavités souterraines et interactions sol-structure : développement d'un modèle expérimental

Matthieu Caudron

1



Fontis survenu à Neuville-sur-Authou (2001).



2

Modèle réduit physique de laboratoire.

Les fontis sont un type d'effondrement local causé par la rupture de cavités souterraines d'origine anthropique ou naturelle. La nature brutale de ce phénomène peut être très préjudiciable pour les structures et infrastructures en surface ainsi que pour la population (figure 1) [7]. De nombreuses communes et collectivités territoriales sont ainsi concernées par les conséquences de ces aléas sur les ouvrages (bâti, infrastructures...).

L'INERIS travaille depuis de nombreuses années à l'analyse, la prévention et la maîtrise des risques de mouvements de terrain liés à la présence de cavités souterraines : l'un des objectifs des travaux de recherche est l'évaluation et le perfectionnement des outils permettant de prévenir les risques liés aux cavités souterraines [5, 1].

Ces travaux ont notamment donné lieu à la publication d'un guide technique intitulé « Recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti » [6].

UN MODÈLE RÉDUIT BIDIMENSIONNEL

Pour aborder cette problématique, un modèle réduit bidimensionnel de laboratoire a été développé en 2005 (figure 2) [3] puis utilisé pour reproduire la cinétique de l'effondrement d'une cavité et les conséquences des mouvements de terrain affectant en surface un bâtiment de type maison individuelle [4].

Ce modèle physique emploie un matériau analogique représentant le comportement d'un sol frottant cohérent (il s'agit d'un ensemble de rouleaux métalliques colinéaires trempés dans une solution de colle aqueuse) et une couche de sol granulaire. Les règles de similitude à toute utilisation d'un modèle réduit sont respectées, autant que possible, en tenant compte du fait que les essais ont lieu en gravité réelle (1 g) et non en centrifugeuse.

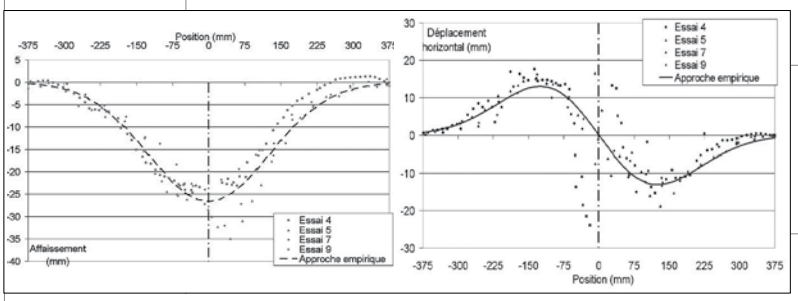
L'approche couramment utilisée lors de l'étude d'une structure soumise à des mouvements de terrain est d'étudier, dans une première étape, les mouvements de terrain sans prendre en compte la structure (en terrain vierge donc). Une fois ceux-ci déterminés, ils sont appliqués directement à la structure afin de déterminer le niveau de risque résultant. Le phénomène d'interaction sol-structure (ISS) est alors totalement négligé, ce qui peut avoir des conséquences importantes sur les résultats obtenus.

DEUX CAMPAGNES D'ESSAIS

Deux campagnes d'essais ont été menées. La première considère une cavité à l'aplomb d'un terrain de surface vierge de toute structure. L'effondrement de la cavité est provoqué. Un ensemble d'instrumentation (caméra numérique rapide, champ de déplacement par imagerie numérique) permet de suivre la cinétique de la rupture et les déplacements au sein du massif de sol et en surface.

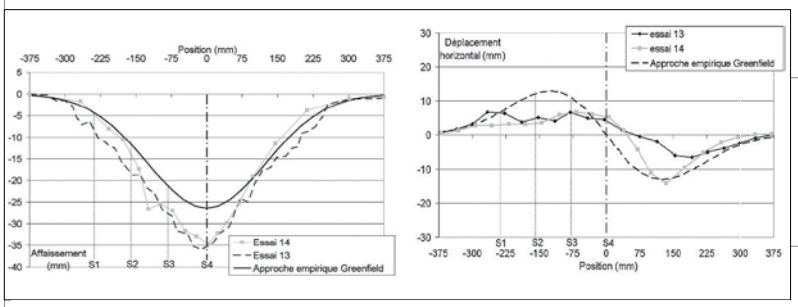
Les résultats sont comparés à ceux d'une approche empirique modifiée, issue initialement du calcul de tassement lors du creusement de tunnel circulaire. La figure 3 illustre les déplacements verticaux et horizontaux obtenus en surface.

Un modèle numérique de structure est ensuite considéré. En utilisant comme sollicitations les mouvements



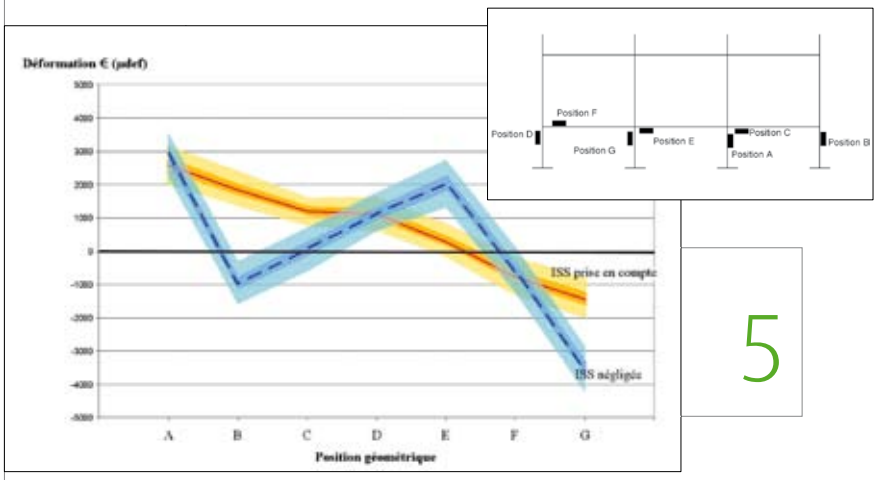
Déplacements en surface pour les essais en terrain vierge.

3



Déplacements en surface pour les essais en présence de la maquette de structure.

4



Déformations au sein de la structure pour les deux approches utilisées : ISS négligée et ISS prise en compte.

5

de terrain mesurés précédemment, il est possible de déterminer les déformations correspondantes au sein de la structure selon l'approche négligeant l'ISS. Ces déformations sont représentées par un intervalle de confiance résultant de la prise en compte des incertitudes des déplacements mesurés. Celui-ci est défini par une valeur moyenne complétée par la connaissance de l'écart type et des valeurs extrêmes rencontrées.

La seconde campagne d'essais emploie des conditions identiques à la première, si ce n'est la présence d'une maquette de bâtiment en surface. L'objectif de cette campagne expérimentale est, en effet, de caractériser, pour une position donnée, l'influence de l'interaction sol-structure sur les mouvements de terrain puis sur les déformations au sein de la structure. La structure comporte un rez-de-chaussée et un étage, répartis sur trois travées pour une longueur totale équivalente de 10 m. Elle est positionnée de telle manière que sa semelle extrême droite se situe à l'aplomb du centre de la cavité, zone d'affaissement maximal.

Ses caractéristiques mécaniques (matériau, dimensions, sections et rigidité) ont été déterminées afin qu'elles correspondent, au facteur d'échelle près, à celles qui seraient observées sur une structure équivalente réelle. Une simplification est néanmoins réalisée : son comportement est purement élastique, aucune plastification ou rupture n'est autorisée.

L'instrumentation utilisée précédemment est complétée par l'emploi de capteurs de déplacement vertical au niveau de chaque semelle de la structure. Ces capteurs permettent un suivi précis et continu du déplacement vertical de chaque semelle. Le déplacement horizontal et la rotation de celles-ci sont mesurés par le biais de l'imagerie numérique.

La figure 4 présente les déplacements en surface mesurés au cours de deux essais en présence de la structure et les compare aux résultats de l'approche empirique utilisée en condition de terrain vierge.

Il apparaît clairement que la présence de la structure modifie de manière importante la forme et la répartition des mouvements de terrain en surface. Ceci est particulièrement marqué pour les déplacements horizontaux.

Les déformations au sein de la structure sont obtenues de la même manière que pour l'approche négligeant l'interaction sol-structure. Le même modèle numérique de structure est utilisé mais, par contre, les sollicitations imposées correspondent aux déplacements des semelles mesurés lors de l'effondrement de la cavité en présence de la structure en surface. Ainsi, les déformations obtenues au sein de celle-ci correspondent mieux au comportement réel d'un bâtiment sujet à l'effondrement d'une cavité située à son aplomb.

La figure 5 présente les déformations obtenues au sein de la structure par

les deux approches. La convention de représentation utilisée est la suivante : sept lieux géométriques ont été définis comme étant propices à l'apparition de fortes déformations. Les déformations y apparaissant, pour l'approche considérant l'interaction sol-structure, sont classées de la plus importante à la plus faible et tracées dans cet ordre. On obtient ainsi une évolution monotone. Les résultats issus de l'approche faisant abstraction de l'interaction sol-structure sont ensuite reportés sur ce graphe en utilisant le même ordre que précédemment. L'évolution est alors assez différente. Ainsi, il apparaît très clairement que l'interaction sol-structure ne doit pas être négligée lors de l'étude de conséquences de mouvements de terrain sur le bâti en surface, ce qui rejoint en ce point les observations faites par Al Heib & Noirel [2]. Cela peut mener indifféremment à sous-estimer les déformations induites dans la structure, ce qui menace l'intégrité de celle-ci et la sécurité des occupants, ou à surestimer ces déformations et induit alors un surcoût en termes de protection des installations.

LA RÉALISATION D'UNE ÉTUDE PARAMÉTRIQUE

La suite naturelle de ces travaux porte sur la réalisation d'une étude paramétrique (position de la structure, géométrie du recouvrement de la cavité...). Cela permettra d'apporter des résultats plus quantitatifs sur l'influence des différents paramètres retenus. Parallèlement, un axe de développement porte sur un bâti expérimental innovant. Il s'agit d'un dispositif permettant de réaliser des essais tridimensionnels rassemblant une partie sol et une partie structure. Les dimensions importantes de ce bâti expérimental : 3 m de large par 2 m de long, associées à une épaisseur maximale de matériau sol de 1 m permettent d'envisager des essais utilisant une échelle géométrique supérieure. À terme, le dispositif en phase d'exploitation permettra de simuler l'effondrement d'une ou de plusieurs cavités de formes diverses. Un ensemble d'instrumentations modulables (imagerie numérique, capteurs de déplacement et de vitesse, extensomètre, clinomètre...) permettra alors de mesurer les conséquences au sein du recouvrement et en surface. Ce nouveau bâti expérimental constitue un outil important illustrant la volonté de l'INERIS d'améliorer la compréhension des mécanismes d'effondrement de cavités et des conséquences en surface. Il permettra à moyen terme d'étudier et d'améliorer la connaissance et l'utilisation des techniques de prévention et de protection du bâti vis-à-vis de l'aléa mouvements de terrain.

SUMMARY

COLLAPSE OF UNDERGROUND CAVITIES AND SOIL-STRUCTURE INTERACTIONS: DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL MODEL

Subsidences of great amplitude result from the collapse of underground cavities resulting from human industrial activity (mines) or formed naturally by water in soluble solid rock masses (limestone, gypsum). Their impact on existing buildings on the surface is generally of great importance, as attested by recent examples: Auboué (1996), Moutiers (1997) and Roncourt (1999) causing damage to more than five hundred buildings. Another example is the sinkhole on the METEOR site (Paris) in 2003. It is thus necessary to consider ground movements at the surface (settlements and horizontal deformations) resulting from these phenomena and especially to determine the influence of the presence of superficial structures on the form and the amplitude of these movements. The research programme is based on the evaluation of urban risks due to ground movements caused by underground cavities and soil-structure interactions.

It is focused on the design of a small-scale two-dimensional physical model that enables a sinkhole-like cavity collapse to be represented. This work is an innovative contribution to the design of 1g small-scale physical model through the development of cohesive analogical material, derived from Schneebeli material. Tests are then carried out in order to determine the influence of soil-structure interactions associated with a sinkhole.

The following steps are finally presented by means of parametric studies on the position of the building, the geometry of the cavity, etc., and a new 3D physical model enabling such phenomena to be investigated in much more depth is introduced.

RÉFÉRENCES

[1] Abbass-Fayad A. (2004). « Modélisation numérique et analytique de la montée de cloche des carriers à faible profondeur. Étude de l'interaction sol-structure due aux mouvements de terrain induits par des fontis ». Thèse INPL.

[2] Al Heib M. & Noirel J.F. (2005). « Analyse des mesures d'affaissement et de mouvement horizontal induit par une mine de charbon sous un château d'eau ». International symposium on urban geotechnics GeoCityNet 2005, Lille, France.

[3] Caudron M., Emeriault F., Kastner R. & Al Heib M. (2006). "Sinkhole and soil-structure interactions: Development of an experimental model". International Conference on Physical Modeling in Geotechnics, Hong-Kong, 4-6 August 2006, pp. 1261-1267.

[4] Caudron M., Emeriault F. & Al Heib M. (2007) [à paraître]. « Modélisation numérique de l'interaction sol-structure lors du phénomène de fontis ». *Revue Française de Géotechnique*.

[5] Deck O., Al Heib M., Homand F & Wotjkowiak F. (2006). « Synthèse des méthodes de prévision des conséquences des affaissements miniers sur le bâti. Application au cas du bassin ferrifère lorrain ». *Les techniques de l'industrie minérale*, n° 29, pp. 83-104.

[6] Kazmierczak J.-B. et Al Heib M. (2005). « Recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti ». Rapport INERIS DRS-05-56408/R03, 66 p.

[7] Pacyna D., Thimus J. & Welter P. (2005). « Les carrières souterraines abandonnées en Belgique : impacts sur les infrastructures publiques et privées ». Actes des journées scientifiques du LCPC : Évaluation et gestion des risques liés aux carrières souterraines abandonnées, mai 2005, pp. 182-194.