Ann. Soc. Géol. du Nord.
T. 19 (2ème série), p. 57-66, Octobre 2012.

Forum GeoReg - *23-27 octobre 2011*-Villeneuve d'Ascq
Session SP3

PRISE EN COMPTE DE L'ALEA « CAVITES » DANS LA DEFINITION DE CAMPAGNES GEOTECHNIQUES

Account of cavities hazard in mounting of geotechnical campaigns

par Jean-Michel VAILLANT (*)

Résumé. — La présente communication traite de la prise en compte de l'aléa mouvement de terrain lié aux cavités souterraines abandonnées dans le cadre de l'exécution de missions géotechniques en région Nord – Pas De Calais. Ces cavités, rencontrées principalement dans les horizons crayeux, sont majoritairement d'origine anthropique. Dans les secteurs à risque, elles posent un réel problème constructif et doivent être considérées comme un aléa majeur dès l'exécution des études géotechniques préalables, à savoir les missions de classe G1 selon la norme NFP 94-500. L'objectif de cet article est de recenser l'ensemble des éléments permettant de cerner au mieux cet aléa (P.E.R. et P.P.R. des communes, les sites web spécialisés ou la littérature ainsi que la base de données interne à l'entreprise). Un éventail des types d'investigations géotechniques spécifiques dans le cadre des projets de construction est ensuite présenté au travers d'exemples locaux dans des configurations géologiques et historiques variées et ce, pour différents types d'enjeux.

Abstract. — *This paper focuses on "underground cavities" hazard in execution of geotechnical missions in the Northern France. These cavities, from anthropogenic origin, are encountered especially in chalky horizons. In risk areas, they occur a real problem in construction and should be considered as a major hazard in the execution of first geotechnical studies, which are missions G1 according to the French normative text NFP 94 -500. The objective of this paper is to define the existing elements in order to identify as well as possible this hazard (risk perimeters of cities, specialized websites or literature and the internal database of the company). Then specific geotechnical investigations are detailed for local construction projects regards to various construction, geological and cavity kinds.*

Mots clés : cavité, craie, forage, géophysique, géotechnique.

Keywords *: cavity, chalk, drilling, geophysical and geotechnical engineering.*

I. — **INTRODUCTION**

Dans certains secteurs de la région Nord Pas de Calais, de nombreuses cavités peuvent être rencontrées en sous-sol et notamment dans les horizons crayeux du Mésozoïque (ex « Secondaire »), pour des profondeurs pouvant aller à plus de 30 m par exemple dans le Cambraisis. Celles-ci peuvent être d'origine naturelle (poche de dissolution dans la craie) mais sont majoritairement d'origine anthropique et donc liées à des activités humaines antérieures diverses (carrières souterraines).

Les premières questions venant à se poser concernant ces cavités sont donc quelles sont leurs types et leurs origines, ainsi que quelles peuvent être les zones sous cavées, cet aléa engendrant alors une zone à risque dans le cas d'un enjeu (projet de construction par exemple). Dans tous les cas, la nécessité de prendre en compte cet aléa peut être reliée à de nombreux événements plus ou moins récents tels que par exemple l'effondrement constaté au sein d'une station service en activité à Bapaume en 2010 ou au sein d'un lycée à Arras en 2012.

La norme des missions d'ingénierie géotechnique (NFP 94-500 révisée en décembre 2006), précise que dans le cadre des études géotechniques préalables G1, il faut d'une part effectuer une première vérification des risques (mission G11 : étude géotechnique préliminaire de site) et d'autre part identifier les aléas majeurs (mission G12 : étude géotechnique d'avant projet), pouvant avoir un impact sur la réalisation du projet de construction. La recherche de cavités, dans le cadre d'un projet de construction, entre dans le cadre de l'aléa majeur et doit donc être pris en compte dans le cadre des missions G12 telles que définies par cette même norme.

A cet effet, on rappellera qu'une investigation classique consiste en la réalisation de deux sondages (dont au moins un avec essais mécaniques) pour un pavillon d'une surface de 100 m², ce qui représente ainsi moins de 0,005 % de la surface investiguée. Dans ces conditions, une cavité de quelques mètres cubes dans des horizons crayeux peut ne pas être décelée et néanmoins avoir un impact considérable sur l'ouvrage en construction. Dès que la présence de cavité souterraine est suspectée, des moyens spécifiques sont ainsi à mettre en œuvre.

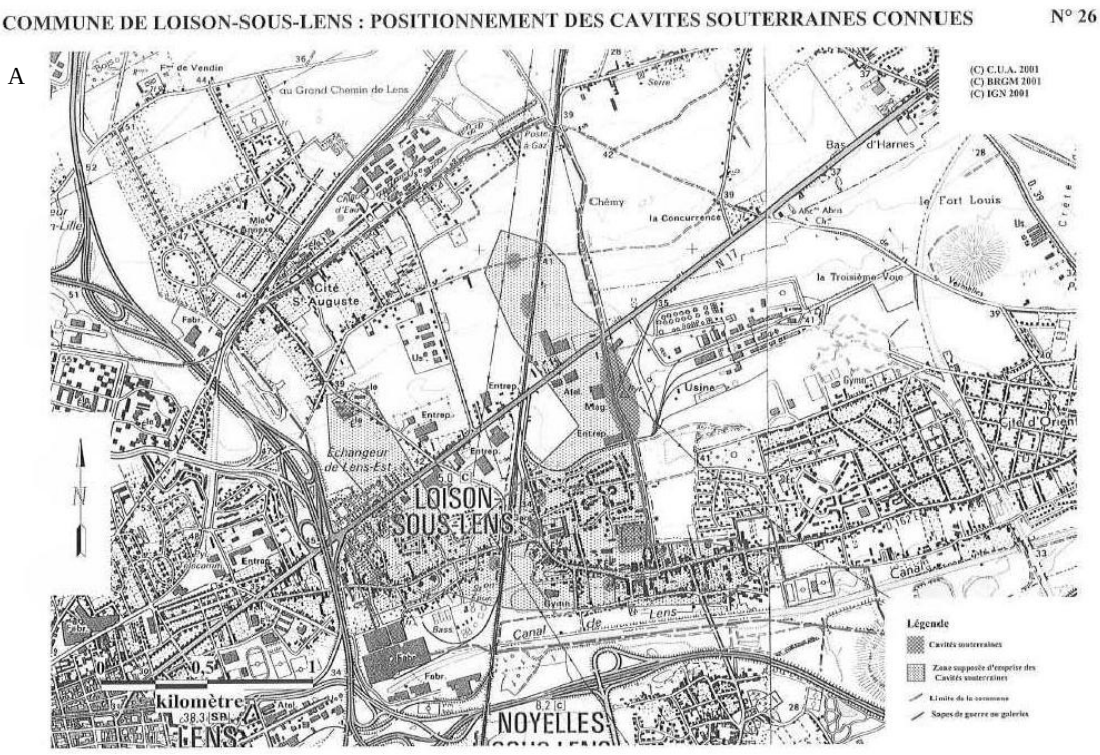
(*) FONDASOL, Agence de Lille, 16 Rue des Entrepreneurs, CS 33021, 59703 MARCQ-EN-BAROEUL ; jean-michel.vaillant@fondasol.fr.



Fig. 1. — Cartes du P.E.R. de LILLE (A) et LOOS (B).

Fig. 1. — Risk perimeters of LILLE (A) and LOOS (B) cities in Northern France.

A



B

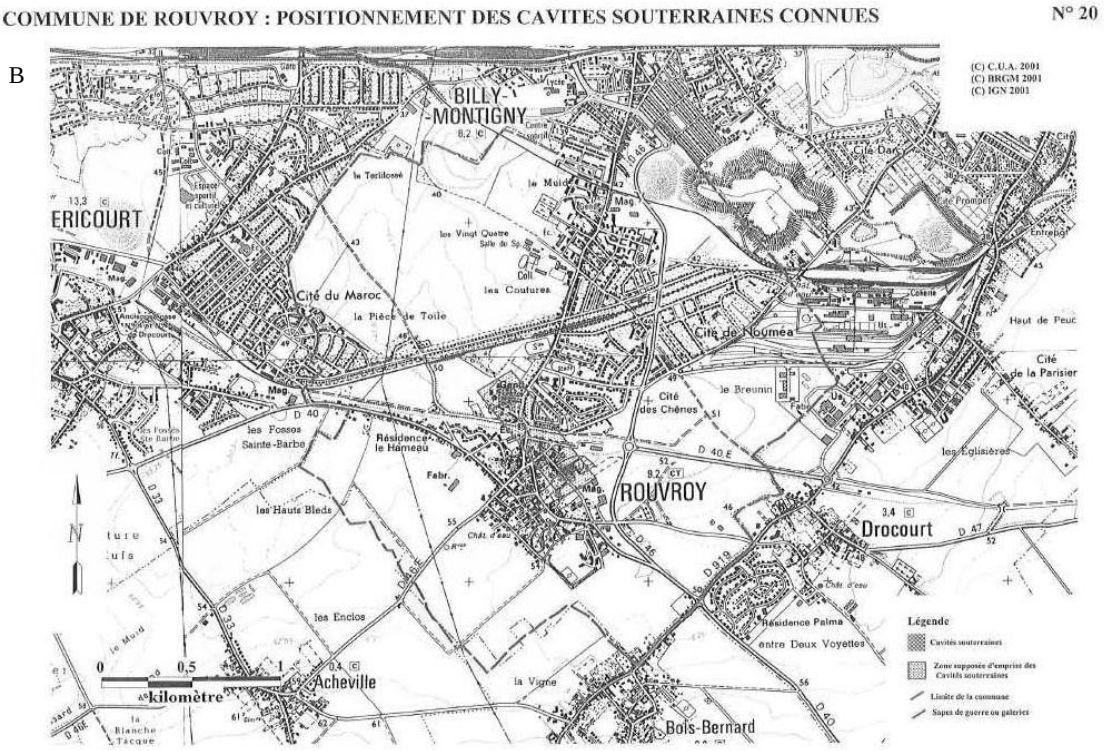


Fig. 2. — Cartes des zones à risque de cavités pour LOISON SOUS LENS (A) et ROUVROY(B).

Fig. 2. — Cavities risk perimeters of LOISON SOUS LENS (A) and ROUVROY (B) cities in Northern France.

La suite de cet article s'attache donc à présenter les différents outils documentaires disponibles dans le cadre de la définition de l'aléa et à dresser une liste (non exhaustive) des méthodes utilisables au travers d'exemples issus d'études réalisées par l'agence FONDASOL de Lille.

Il fait suite à la communication orale réalisée lors du forum GEOREG (Vaillant, 2011).

II. — **RESSOURCES DOCUMENTAIRES**

Les principaux documents disponibles concernant les zones à risque liées à l'aléa cavités sont les P.E.R. (Plan d'Exposition aux Risques) ainsi que les P.P.R. (Plan de Prévention des Risques) des communes. Les premiers concernent Lille (59) et différentes communes environnantes, les seconds concernent quant à eux certaines communes du Valenciennois dont Valenciennes (59). Sur ces plans, la notion de zone bleue correspond à un risque moyen à fort vis-à-vis de la présence de cavités souterraines alors que la zone blanche correspond à un risque faible (voire nul). La définition de ce zonage étant issue notamment de la superposition d'une carte d'aléas ainsi que d'un enjeu constructif. On trouvera à cet effet (Fig. 1A-B) et à titre d'exemple, deux cartes du PER pour les communes de Lille (59) et de Loos (59).

D'autres cartographies précises sont disponibles, établies notamment par le Conseil Général du Nord quand il assurait la mission de Service d'Inspection des Carrières Souterraines (SDICS). L'ensemble des documents a ensuite été transféré aux communes concernées lorsque le Conseil Général s'est désengagé de cette mission en 2006.

Le BRGM (Bureau des Ressources Géologiques et Minières) a également établi de nombreuses cartes pour plusieurs communes du Pas de Calais. Sur ces cartographies sont reproduits les zones de cavités connues, la présence possible de sapes le cas échéant, ainsi que le contour d'une zone à risque, là aussi reproduite en bleu. Les figures 2A et B donne un exemple de cartographies établies pour les communes de Loison-sous-Lens (62) et Rouvroy (62).

Le site internet www.bdcavites.net, géré par le BRGM, permettra à terme de localiser les cavités connues et référencées mais ne donnera aucun plan de zonage des risques vis-à-vis de cet aléa.

La littérature locale est assez riche, on citera en particulier l'ouvrage de B. BIVERT (1988), qui permet d'avoir des plans de cavités connues mais aussi une idée du type de cavités ainsi que les profondeurs probables du toit et du mur de ces ouvrages.

Des levés géomètriques de cavités peuvent également avoir été réalisés ponctuellement dans certains secteurs concernés par des programmes de rénovation urbaine et montrer éventuellement des départs de galeries vers d'autres parcelles non investiguées. La figure 3 donne un exemple de ce genre de document : extrait de plan de carrières de type chambres et piliers au Sud de Lille, document établi pour le compte de la SORELI, Société Anonyme d'Economie Mixte de Rénovation et de Restauration de Lille.

Des synthèses méthodologiques ont été publiées récemment et font le point sur l'état de l'art en matière de recherche et traitement des cavités souterraines abandonnées. On citera notamment les recommandations relatives à la problématique de cavités telles que publiées par l'IGC (Inspection Générale des Carrières, 2003), le rapport de synthèse du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées : Pothérat, 2005) ainsi que le rapport d'étude d'INERIS (Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des riSques, 2007).

La base de données interne de l'agence FONDASOL de Lille, sur plus de 40 ans, permet également *via* de nombreuses investigations tenant compte de cet aléa cavités, d'avoir rapidement une vision quantitative du type de cavités dans certains secteurs et ce, dans le cadre de la définition de nouvelles campagnes d'investigation géotechnique tel qu'abordé au travers de quelques exemples dans la partie suivante.

III. — **INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES**

Les cavités recherchées peuvent être soit des exploitations humaines (de type chambres et piliers, catiches, etc.), soit des ouvrages militaires (de type salles, refuges, sapes de guerre, etc.), soit encore plus rarement des cavités naturelles. Des levés plus ou moins détaillés sont parfois disponibles (Fig. 4A-B représentant des catiches dans le secteur de Lille (59) ou de galeries à Valenciennes (59)).

Après l'enquête documentaire basée sur les différents documents disponibles listés dans la partie précédente, le second point à prendre en compte est la visite sur site qui permet de repérer certains indices ainsi que de mener une enquête locale auprès des habitants de proximité. A titre d'exemple, on trouvera (Fig. 5A-B) deux photographies de fontis et/ou effondrement liés à une remontée de voûte de cavité au sein des horizons crayeux à Lille (59) en 2007 (liée à des chambres et piliers) et à Arras (62) en 2012 (liée a priori à une galerie).

Ensuite, les premières investigations à réaliser sur site, excepté pour des terrains présentant des surfaces peu importantes, sont menées via des méthodes géophysiques adaptées à l'ensemble du site. Celles-ci peuvent être de différents types à savoir de type microgravimétrie, sismique réfraction, électromagnétisme, méthode radar ou encore par une combinaison de ces différentes méthodes, la microgravimétrie étant par expérience la méthode la plus adaptée localement compte tenu des types et profondeurs des vides recherchés dans la région.

On rappellera qu'une cavité ne peut être détectée par une méthode microgravimétrique que dans cas où la hauteur de recouvrement (distance entre le TN et le toit de la cavité) est inférieure à 3 fois la hauteur de cette cavité.

Les figures 6A et B montrent une carte d'isorésistivité électromagnétique de type EM31 réalisée à Tilloy-lez-Cambrai (59) en 2005 ainsi que une carte de microgravimétrie réalisée à Lesquin (59) en 2009. La campagne électromagnétique avait ainsi permis de mettre en évidence des valeurs de résistivité électrique globalement homogènes sur toute la parcelle à Tilloy-lez-Cambrai (59) ce qui montrait

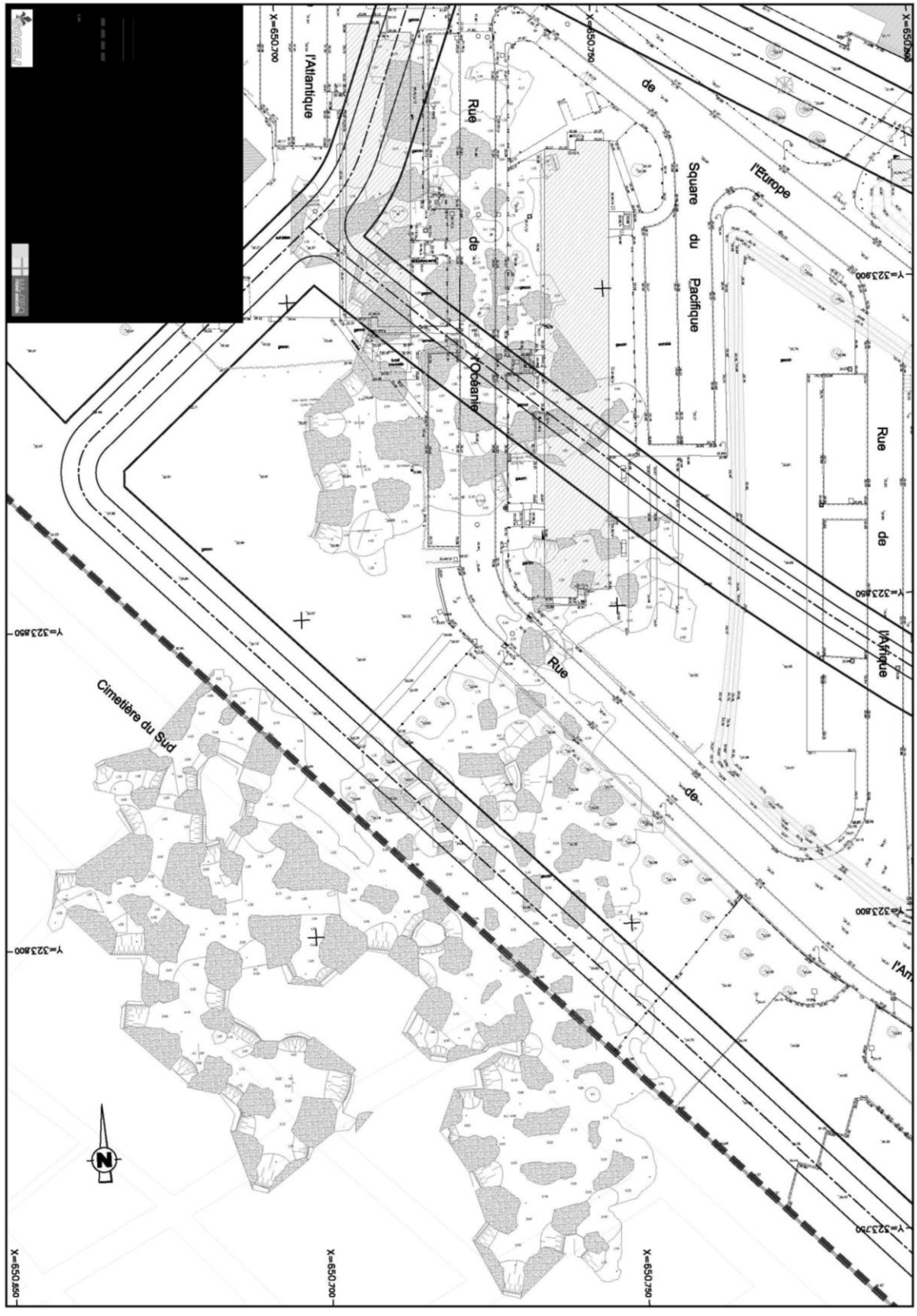


Fig. 3. — Plan de cavités connues au Sud de LILLE.

Fig. 3. — Known cavities in Southern of LILLE.

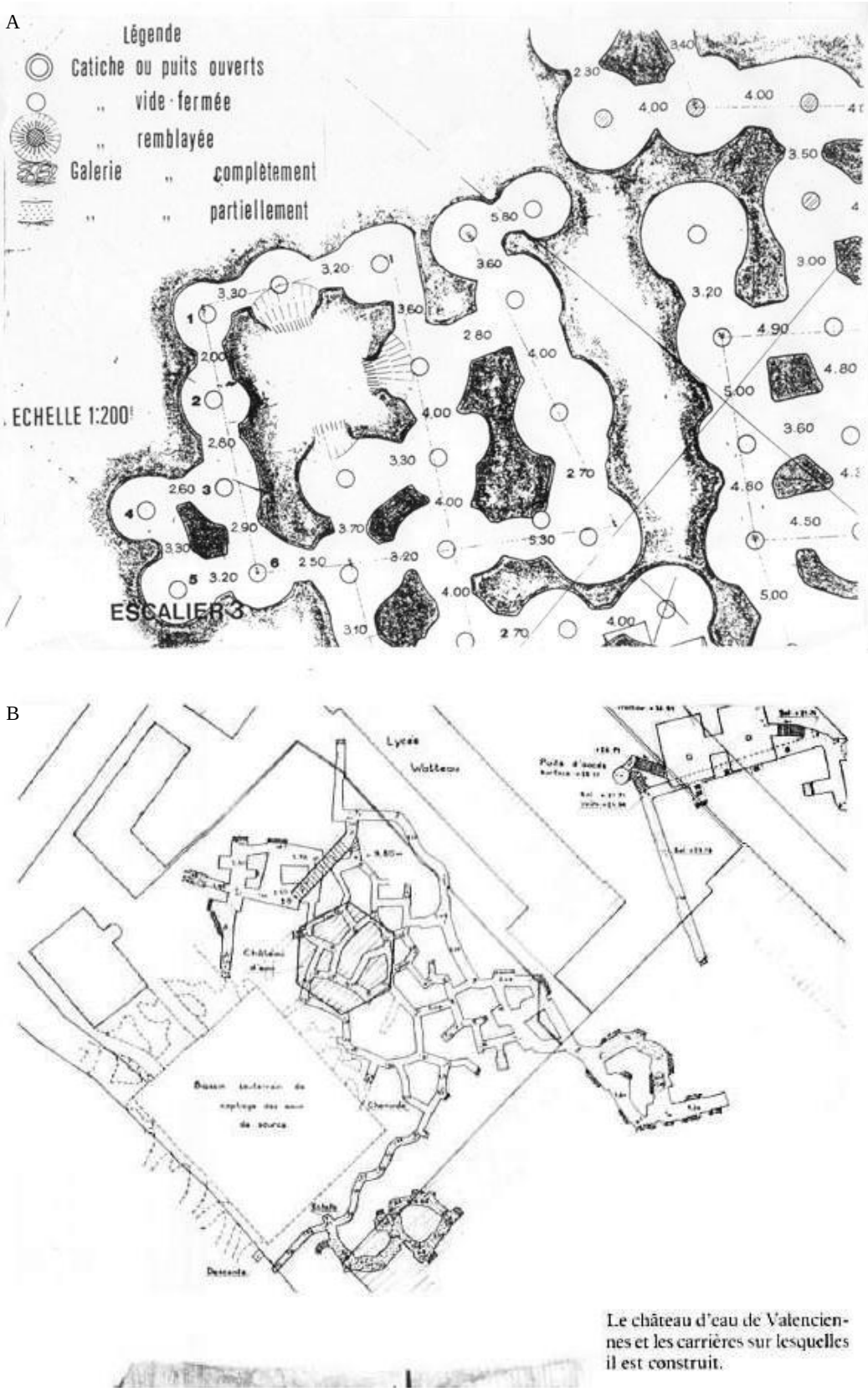


Fig. 4. — Plan de catiches dans le secteur de LILLE (A) et de galeries à VALENCIENNES (B).

Fig. 4. — Cavities survey near LILLE (A) and in VALENCIENNES (B).



Fig. 5. — Effondrements à LILLE en 2007 (A) et ARRAS en 2012 (B).

Fig. 5. — Collapses in LILLE in 2007 (A) and ARRAS in 2012 (B).

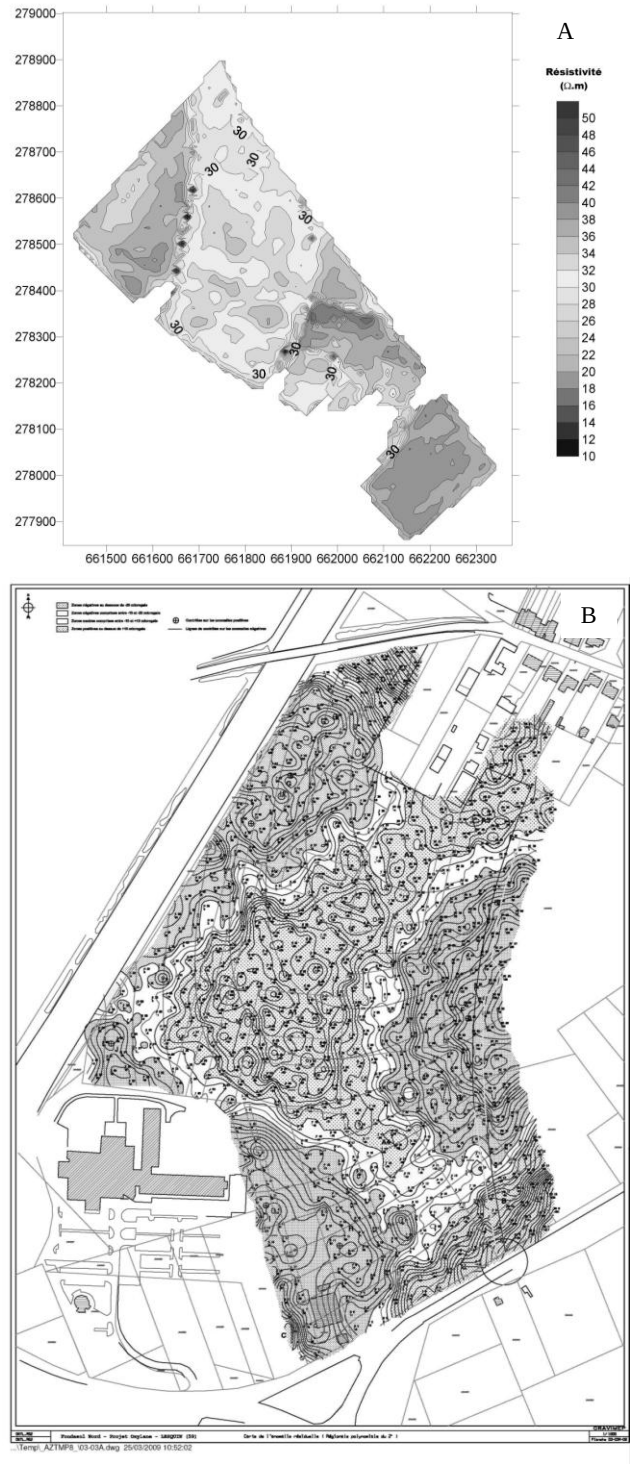


Fig. 6. — Campagnes électromagnétique à TILLOY LEZ CAMBRAI (A) et microgravimétrique à LESQUIN (B).

Fig. 6. — Electromagnetic survey in TILLOY LEZ CAMBRAI (A) and microgravimetric survey in LESQUIN (B).

a priori une absence d'anomalie importante au droit du site. La campagne microgravimétrique réalisée à Lesquin (59) mettait quant à elle en évidence une anomalie négative principale très prononcée au droit du site étudié, ce qui était à recouper de prime abord avec la présence possible de champs de catiches très présents dans ce secteur.

Toute méthode géophysique doit ensuite être contrôlée par forages mécaniques, de préférence destructifs, avec enregistrement des paramètres de forage. Leur positionnement est quant à lui défini à l'aide des anomalies mises en évidence *via* les campagnes géophysiques, ce qui permet notamment de ne pas réaliser ces forages destructifs systématiquement sur la totalité de la parcelle. Ceux-ci doivent être descendus au minimum 1 m sous la base prévisible des cavités connues dans le secteur étudié, soit généralement une profondeur de l'ordre de 15/16 m au Sud de Lille (59) mais pouvant atteindre près de 30 m dans le secteur « gare » de Cambrai (59).

Les enregistrements de paramètre de forage peuvent également être utilisés quantitativement dans les études géotechniques postérieures (missions G2 ou G3, où une approche des quantités est réalisée) *via* l'utilisation des paramètres croisés (Reiffsteck, 2010), notamment dans le calcul théorique des volumes de comblement des cavités pouvant être partiellement remblayées ou non. Les figures 7A et B montrent une diagraphie de forage destructif réalisé au lycée Duez à Cambrai (59) en 2008, pour le compte du Conseil Régional Nord – Pas-de-Calais ainsi qu'à Lesquin (59) en 2009 pour le chantier cité précédemment.

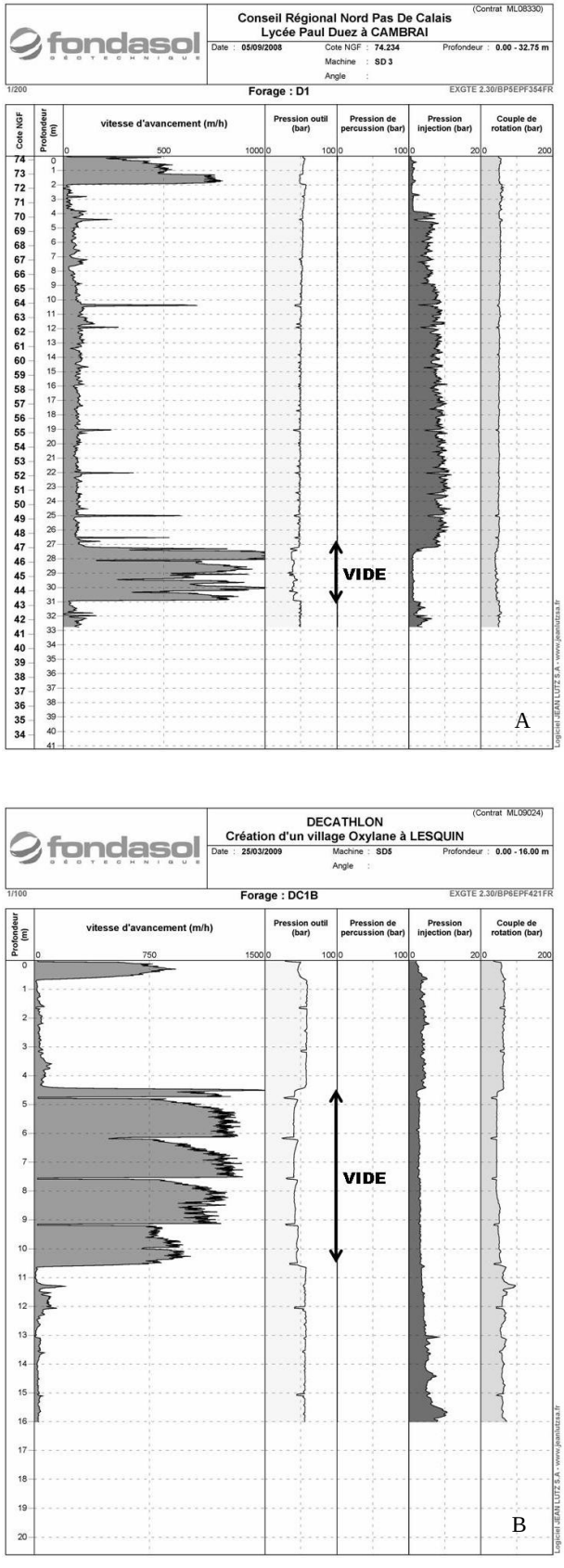


Fig. 7. — Forages destructifs à CAMBRAI (A) et à LESQUIN (B).

Fig. 7. — Drilling logs in CAMBRAI (A) and LESQUIN (B).

A proximité immédiate de l'entrée principale du lycée, l'investigation met en évidence une salle souterraine entre 25 et 29 m de profondeur dans les horizons crayeux à Cambrai (59) et une cavité de type catiche (non isolée) avait quant à elle était repérée à Lesquin (59). Cette interprétation est toutefois issue de l'inspection vidéo des vides rencontrés tel que précisé ci-après, car le forage ne permet de mettre en évidence qu'une hauteur de vide et n'est pas suffisant en lui-même pour définir le type de vide.

Enfin, dans le cas de la rencontre de vide franc, comme cité précédemment, et sur une hauteur supérieure à 80 cm, il est fortement recommandé de réaliser un réalésage des forages pour ensuite effectuer un reportage photographique voire de préférence un reportage vidéographique couplé à un levé laser des cavités rencontrées en 2D ou en 3D. Ces données seront alors utilisables pour tenter de définir l'origine du vide mais également pouvoir calculer des volumes de vides à combler. Les figures 8A et B représentent une photographie issue du reportage vidéo ainsi que la diagraphie du levé laser réalisée au droit d'un des vides rencontrés sur le chantier de Lesquin (59).

Cette dernière investigation confirme bien la présence d'une catiche et permet également de mettre en évidence un départ de galerie vers une autre cavité à proximité qui a également été rencontrée en forage et qui a fait l'objet d'un reportage vidéo laser. Notre campagne d'investigation a ainsi permis de mettre en évidence dans l'une des anomalies de la microgravimétrie réalisée au préalable, un ensemble de 3 catiches isolées (mais reliées entre elles) au Sud-ouest de la parcelle concernée.

IV. — **CONCLUSION**

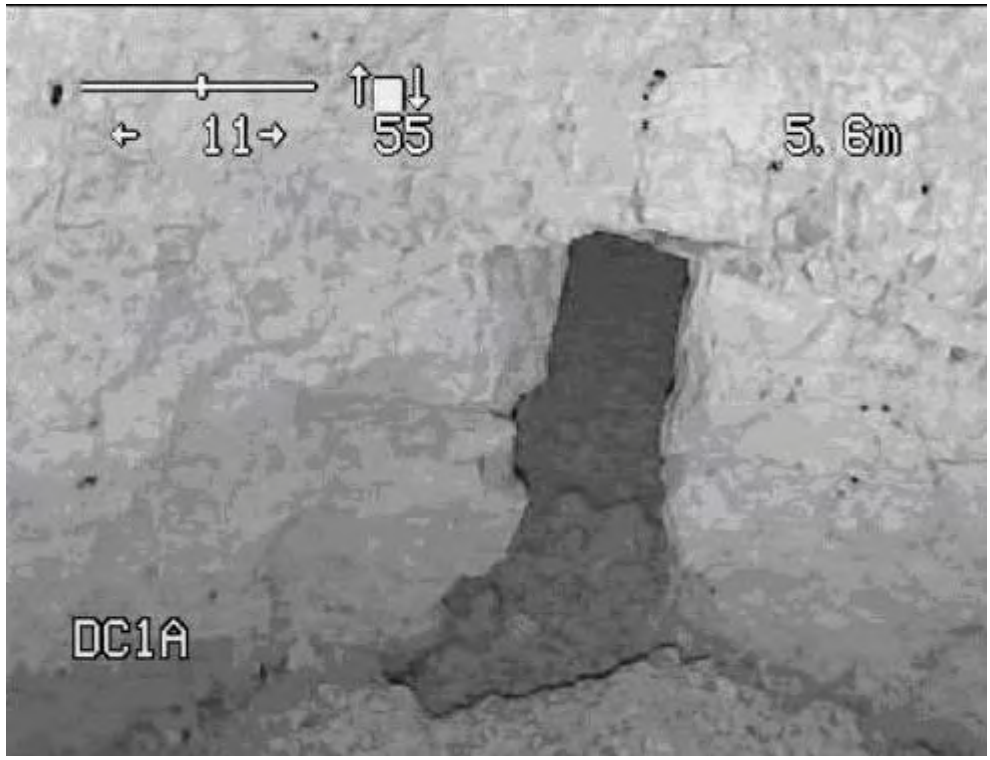
La présente publication porte donc sur la prise en compte de l'aléa cavités dans la définition de campagnes d'investigations géotechniques dans le Nord – Pas-de-Calais.

La norme NFP 94-500 applicable par la profession de l'ingénierie géotechnique en France impose la prise en compte des aléas dès les premiers stades d'études pour en maîtriser les risques.

L'article présente un panorama des outils documentaires disponibles et des méthodes d'investigations à mettre en oeuvre pour répondre aux exigences de la norme. Parmi les méthodes présentées, l'enchaînement d'investigations géophysiques, de forages de contrôle mécaniques assortis le cas échéant d'un reportage des cavités rencontrées donne les meilleures garanties pour circonscrire l'aléa.

Nous rappelons néanmoins que les études géotechniques réalisées en phase d'étude préalable de site pour lever ou non l'aléa cavités sont nécessaires mais non suffisantes pour définir le système de fondations des ouvrages. A la suite à ces campagnes de recherche de cavités, il est nécessaire de prévoir une investigation géotechnique spécifique relative à la mission G12 de la norme NFP 94-500 et permettant alors d'étudier la faisabilité du (ou des) système(s) de fondations à retenir pour les ouvrages ainsi que d'effectuer une étude géotechnique d'avant projet de tout ouvrage projeté et ce, en conformité avec les PPR/PER.

A



FORAGE N° DC1A: Coupe horizontale de la cavité

B

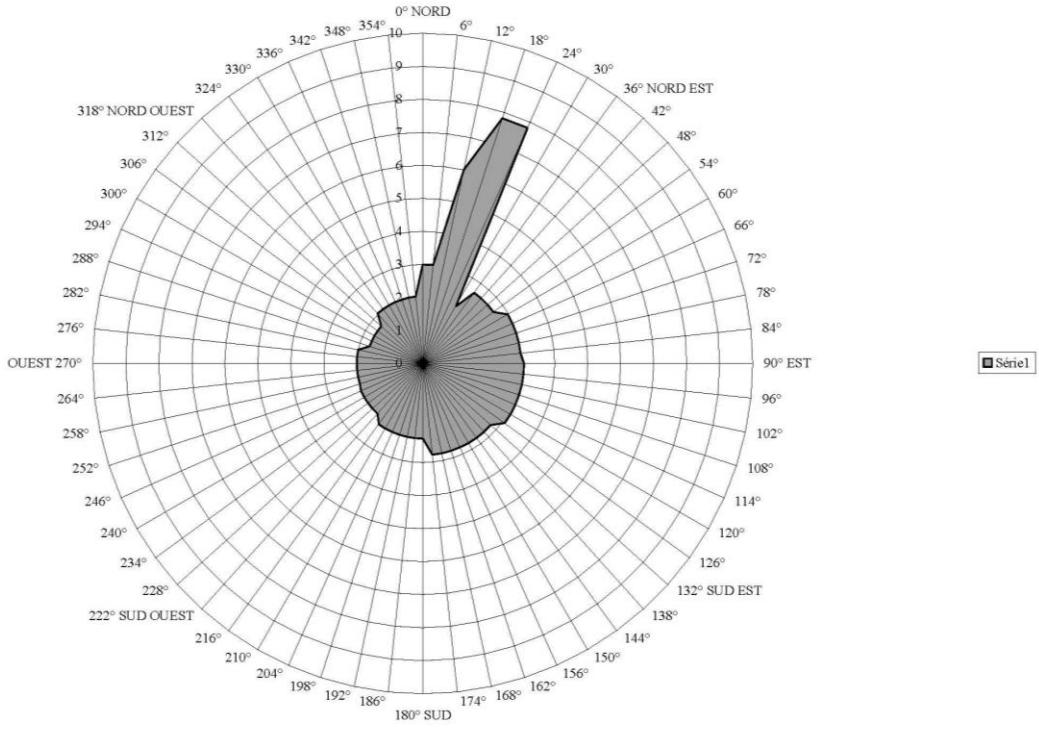


Fig. 8. — Photographie d'une cavité (A) et diagraphie du levé laser (B**)** à LESQUIN.

Fig. 8. — Cavity photography (A) and laser log (B) in LESQUIN.

Remerciements. — Au travers de cet article, nous tenons à remercier en premier lieu les services publics associés aux différents documents cités que sont le Conseil Général du Nord et en particulier le Service d'Expertise et d'Ingénierie des Sols et Matériaux (ex – SDICS), le Bureau des Recherches Géologiques et Minières ainsi que Lille Métropole Communauté Urbaine.

Nous tenons également à remercier nos clients pour les différentes affaires citées que sont le Groupe OXYLANE, le Conseil Régional Nord – Pas-de-Calais, la Communauté d'Agglomération de Cambrai ainsi que KIEKEN Immobilier Construction.

Enfin, nous tenons à remercier nos prestataires réalisant ce type d'investigations en partenariat avec notre société que sont GRAVIMEP, INNOGEO ainsi que INTROVISION.

B I B L I O G R A P H I E

BIVERT B. (1988). — Les souterrains du Nord Pas de Calais, Ed. B. BIVERT, Cuincy : 358p.

IGC (2003). — Injection gravitaire, clavage et traitement des fontis, préalables à la mise en œuvre de fondations profondes, de type pieux ou micropieux de type supérieur ou égal à II, en zone sous minée par d'anciennes carrières souterraines ou à ciel ouvert, Notice Technique, 06 janvier 2003.

INERIS (2007). — Evaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière, rapport d'étude DRS-07-86090-05803A, 16 avril 2007.

NFP 94-500 — Classification des Missions Géotechniques Types, Révision Décembre 2006.

POTHERAT P. (2005). — L'opération de recherche « Carrières souterraines abandonnées » localisation, diagnostic de stabilité, gestion, Rapport de synthèse, Géotechnique et risques naturels GT 77, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, ISSN 1157-3910.

REIFFSTECK P. (2010). — Utilisation des paramètres de forage en reconnaissance géotechnique, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur 2010, Grenoble (France), Tome 1, 157 – 164.

VAILLANT JM. (2011). — Prise en compte de l'aléa cavités dans la définition de campagnes géotechniques, In : BLIECK A., AUGUSTE P. & DERYCKE C. (eds), GEOREG (Forum de la Fédération Française des Géosciences, Villeneuve d'Ascq, 23 au 27 octobre 2011). Résumé : 54.

www.bdcavite.net — Banque de Données Nationale des Cavités Souterraines Abandonnées en France Métropolitaine "hors mines".

ETUDES CITEES

ML.05184 – Indice A – Pièce 001 : ''Communauté d'Agglomération de Cambrai - Aménagement de la ZAC Actipôle de l'A2 à CAMBRAI'', Etude géotechnique préliminaire de site, Rapport d'étude du 11/08/05.

ML.07162 – Indice A – Pièces 001 et 002 : ''Kieken Immobilier Construction – Projet immobilier « Fleurs de Lille » à LILLE'', Réalisation de forages destructifs, pose de piézomètres et réalisation d'un reportage vidéo de cavités, Rapports d'étude des 06/06/07 et 05/07/07.

ML.07228 – Indice A – Pièce 001 : ''Kieken Immobilier Construction – Projet immobilier « Fleurs de Lille » à LILLE'', Etude géotechnique d'avant projet, Rapport d'étude du 09/08/07.

ML.08330 – Indice A – Pièce 001 : ''Conseil Régional Nord Pas de Calais – Désordres au sein du lycée Paul Duez à CAMBRAI'', Diagnostic géotechnique, Rapport d'étude du 16/10/08.

ML.08502 – Indice A – Pièce 001 : ''Conseil Régional Nord Pas de Calais – Désordres au sein du lycée Paul Duez à CAMBRAI'', Réalisation d'une inspection vidéo de cavités, Rapport d'étude du 15/12/08.

ML.09024 – Indice A – Pièce 001 : ''Décathlon Direction Régionale Nord – Création d'un village Oxylane à LESQUIN'', Etude géotechnique préliminaire de site, Rapport d'étude du 09/04/09.

ML.09413 – Indice A – Pièces 001 à 003 : ''Décathlon Direction Régionale Nord – Création d'un village Oxylane à LESQUIN'', Etude géotechnique d'avant projet, Rapports d'étude des 02/09/09, 07/09/09 et 01/10/09.

NSO.11176 – Pièce 001 – 1ère édition : ''Conseil Régional Nord Pas de Calais – Désordres au sein du lycée Gambetta à ARRAS'', Diagnostic géotechnique, Rapport d'étude du 25/11/11.