

ANALYSE SYSTEMIQUE D'ANOMALIES DANS LA CRAIE LIEES AU BATTEMENT DE LA NAPPE – METROPOLE LILLOISE

SYSTEMIC ANALYSIS OF CHALK DISTORTIONS LINKED TO GROUNDWATER LEVEL VARIATIONS – LILLE METROPOLIS

Adrien PLUQUET¹, Jean-Michel VAILLANT²

1 Fondasol, Agence de Lille, France

2 Fondasol, Agence de Bruxelles-Enghien, Belgique

RÉSUMÉ — Cet article présente une analyse préliminaire des anomalies observées dans la craie liées au battement de la nappe phréatique dans la métropole lilloise. Après un rappel du contexte géologique et hydrogéologique, nous avons présenté un chantier sur lequel des incidents sont survenus liés à cette anomalie puis avons procédé à un repérage des anomalies déjà identifiées qui feront l'objet d'un axe de recherche ultérieur.

ABSTRACT — This article presents the first analysis of anomalies in chalk related to the groundwater level in Lille. After a presentation of the geological and hydrogeological context of the sector, we present study case where incidents occurred, then we proceed to a registration of local identified anomalies that will be an axis of subsequent research.

1. Introduction

La métropole lilloise, concernée essentiellement par un recouvrement de dépôts d'ères Tertiaire et Quaternaire, présente une bande Est-Ouest où la craie est affleurante. Celle-ci correspond à l'anticlinal du Mélantois au cœur duquel se trouve notamment les horizons du Crétacé, horizons qui ont été à l'origine de nombreuses exploitations (A.Pluquet et JM. Vaillant ; 2014) et qui sont le siège de la nappe phréatique. Au travers de nombreuses études effectuées par FONDASOL dans la région lilloise, nous avons observé des passages très lâches, décomprimés et mécaniquement très faibles à des profondeurs correspondant a priori à la zone de battement de la nappe phréatique et non à des exploitations de craie.

Au travers cet article, nous nous attacherons à présenter le contexte géologique et hydrogéologique de la métropole lilloise puis spécifiquement un cas de référence correspondant à une étude menée par FONDASOL en décrivant les différentes méthodes d'investigation du socle crayeux, présenter les résultats obtenus et leur analyse, ainsi que rappeler les solutions techniques de suivi de chantier.

2. Présentation du contexte géologique et hydrogéologique local

2.1. Nature et structure des formations géologiques

A partir de la carte géologique du BRGM de Lille au 1/50000 (feuille XXV-4) (figure 1), et des nombreux sondages réalisés dans le Sud de la métropole lilloise, une succession lithologique précise peut-être établie. Ainsi, on peut s'attendre à rencontrer sous un recouvrement variable de remblais hétérogènes lié à l'urbanisation et l'occupation du site, des Limons des Plateaux de l'ère Quaternaire reposant ensuite localement sur des horizons tertiaires correspondant aux Sables du Landénien. Ces horizons reposent ensuite directement sur les horizons crayeux du Sénonien et Turonien (Vaillant, 2012 ; Pluquet et Vaillant, 2014). Entre ces deux horizons, la nappe phréatique est présente.

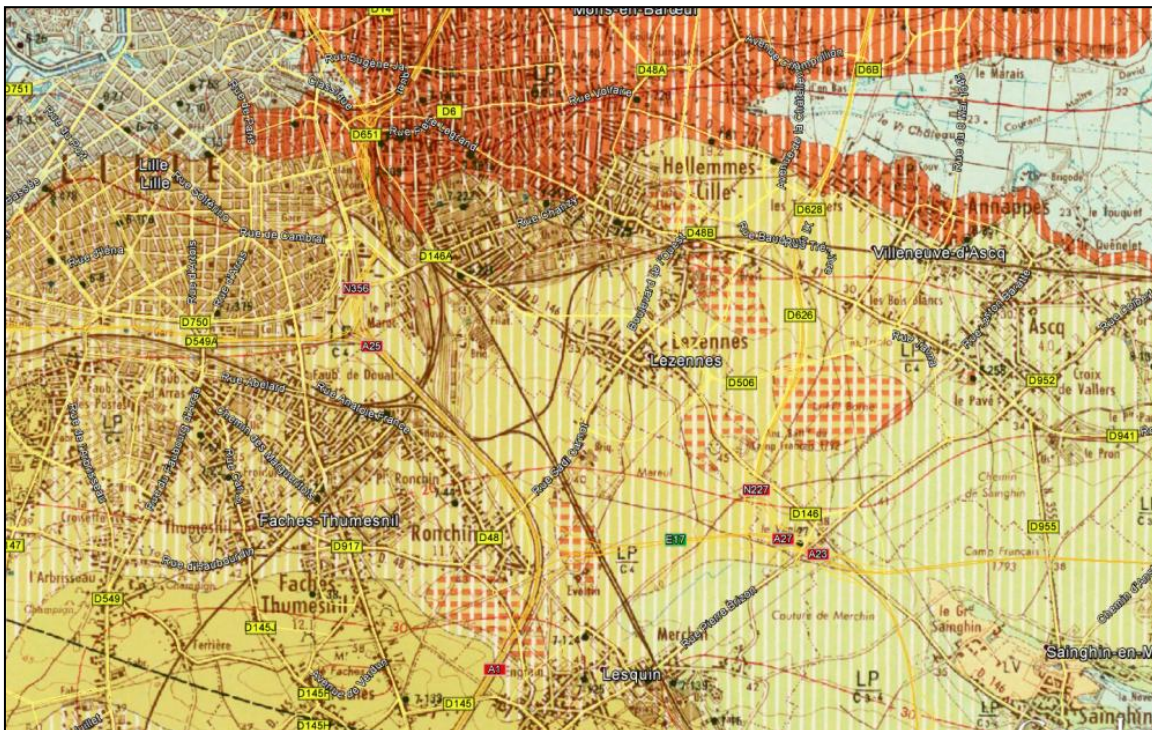


Figure 1. Extrait de la carte du BRGM de Lille au 1/50000.

2.3. Contexte hydrogéologique de la métropole lilloise

La métropole lilloise dispose d'un aquifère constitué par la craie du Sénonien et du Turonien supérieur (figure 2). Au-delà de ces formations, les Marnes des Turoniens moyen et inférieur constituent le mur imperméable du réservoir.

D'un point de vue hydraulique, la nappe phréatique est libre où la craie affleure (Sud de Lille) et captive lorsque la craie est recouverte par les terrains tertiaires à dominante argileuse (Nord de Lille constituant le début de la Plaine des Flandres).

On retiendra que la métropole lilloise de par le pendage des formations géologiques est caractérisée par d'importantes variations du niveau d'eau.

Ainsi, la partie du Sud de Lille qui correspond à un synclinal est favorable à une grande accumulation d'eau venant alimenter l'aquifère crayeux. Le battement de la nappe phréatique se situe entre 26 et 30 NGF.

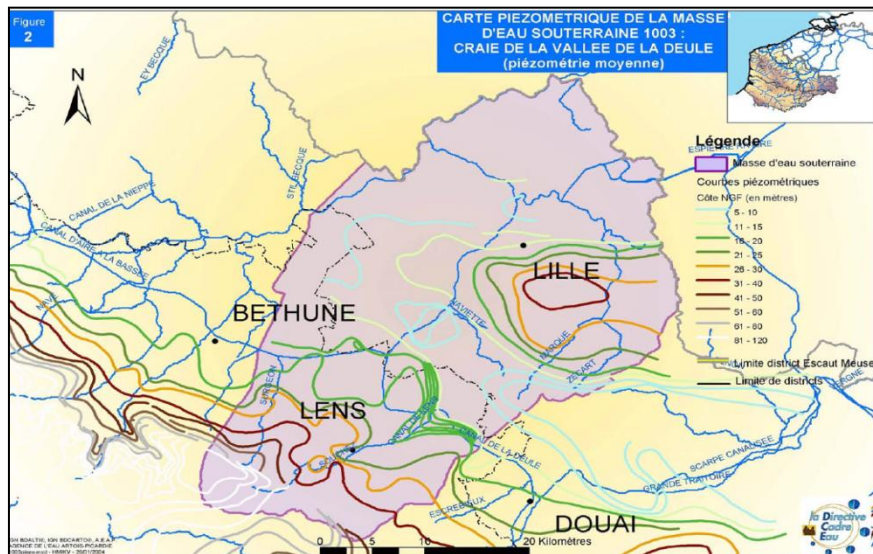


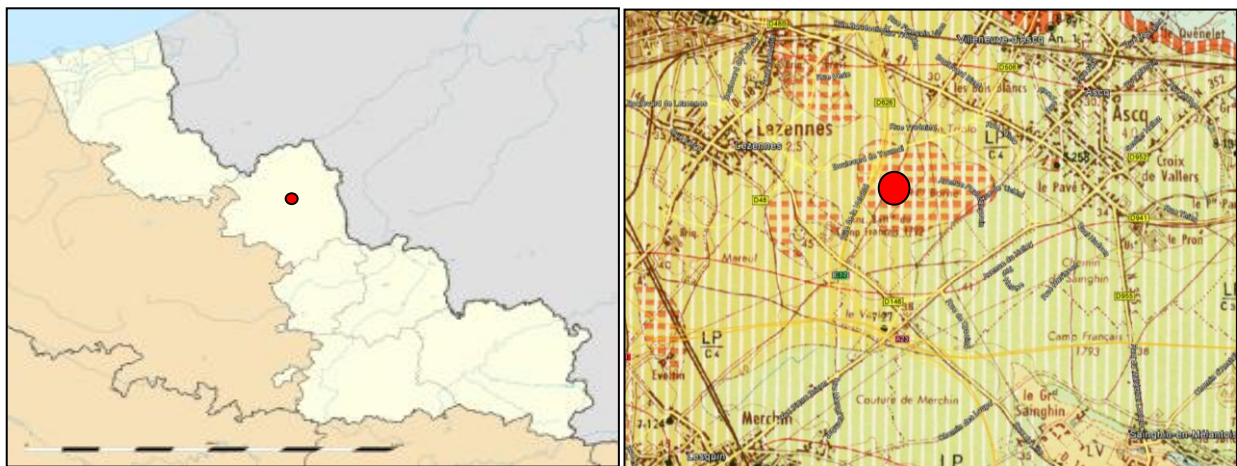
Figure 2. Carte piézométrique de la masse d'eau souterraine – Craie de la Vallée de la Deûle (source : Agence de l'Eau)

3. Cas d'étude : résidence étudiante à VILLENEUVE D'ASCQ (59)

3.1. Présentation du projet et du contexte géologique

Villeneuve d'Ascq se situe dans la métropole Lilloise au Sud Est de Lille (figure 3). Le projet consiste en la réalisation d'une résidence étudiante de type R+6 ainsi qu'une crèche en simple RDC sur un terrain d'une superficie de l'ordre de 6000 m².

Le contexte géologique est classique de la métropole lilloise. Sous des formations quaternaires (Limens des Plateaux) et tertiaires (Tuffeau du Landénien), le substratum est constitué par la Craie du Sénonien d'ère Secondaire (figure 4).



Figures 3 et 4 : Localisation et carte géologique du site

D'après le P.E.R. (Plan d'Exposition aux Risques daté du 17/02/92) établi par le SEISM et repris en figure 5, la zone d'étude se situe en aléa faible à a priori nul, c'est-à-dire non concerné par le risque d'effondrement lié à la présence de carrières souterraines.

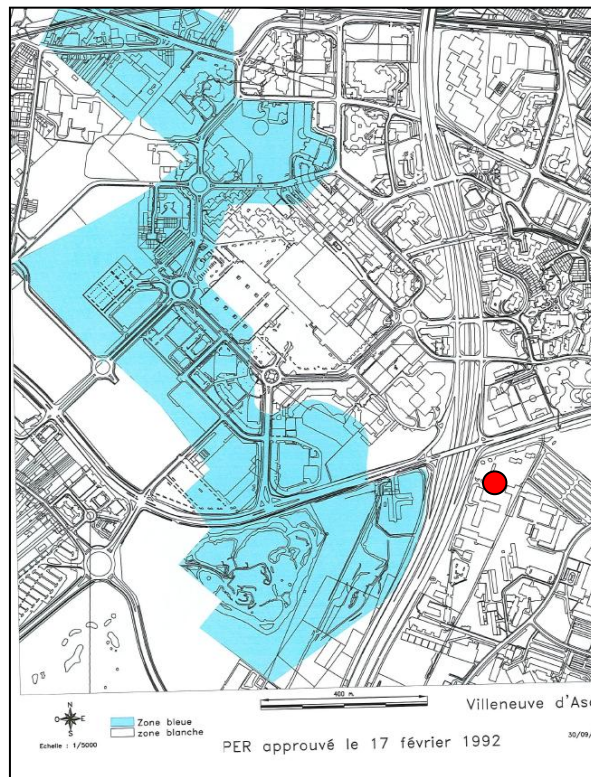


Figure 5. : Extrait du PER de la ville de Villeneuve d'Ascq

3.2. Présentation du projet et du contexte géologique

3.2.1. Méthodologie

La campagne d'investigations a été réalisée en deux phases distinctes :

Première phase de reconnaissance (Mission G2 AVP)

Nous avons réalisé 3 sondages pressiométriques descendus à 25 m de profondeur ainsi que 5 essais de pénétration statique descendus à 10 m de profondeur afin de préciser la lithologie du site et de déterminer les caractéristiques géomécaniques.

La mission G2 AVP avait pour objectif :

- De définir le contexte géologique de la zone d'étude,
- De déterminer les éventuelles arrivées d'eau,
- D'analyser les modes de fondations appropriés au projet (types, hypothèse de calculs dans le cas de fondations spéciales),
- De définir les sujétions d'exécution en cours de travaux liées aux différents types de fondations proposés,
- De définir les éventuels aléas ou anomalies qui subsistent à l'issue de l'étude.

A la suite de cette campagne d'investigation, il a été envisagé pour le projet, la réalisation de fondations profondes de type pieux tarière creuse descendus à 10 m de profondeur. Les diamètres usuels de tarière étaient en effet optimisés dès cette profondeur.

Deuxième phase de reconnaissance approfondie (Mission G5)

Suite à la rencontre d'anomalies survenues en phase travaux lors de l'exécution de certains pieux, notamment des surconsommations de béton (figure 6), il a été demandé, dans le cadre d'une mission G5 selon la norme NFP94-500, la réalisation de 24 forages destructifs avec enregistrement de paramètres de forage descendus entre 8,00 m et 13,00 m de profondeur ainsi que la réalisation de 9 sondages pressiométriques descendus à 25 m de profondeur.

Les forages destructifs ont été implantés au droit de pieux déjà réalisés et ayant rencontré des anomalies lors de leur exécution ainsi qu'au droit de futurs pieux ceci afin d'avoir des éléments de comparaison.

Cette étude avait pour objectif :

- De donner les résultats des enregistrements de paramètres de forage,
- De déterminer l'origine des anomalies rencontrées sur la zone d'étude,
- De vérifier l'extension des anomalies,
- De fournir les nouvelles hypothèses de calcul pour les pieux à réaliser.

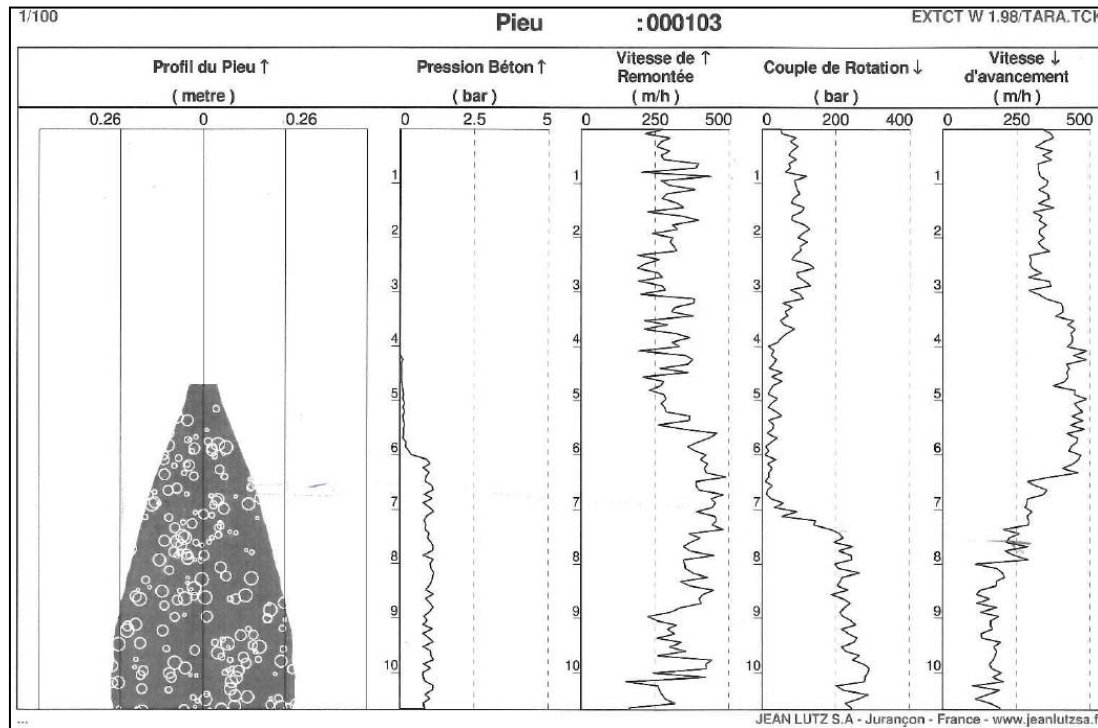
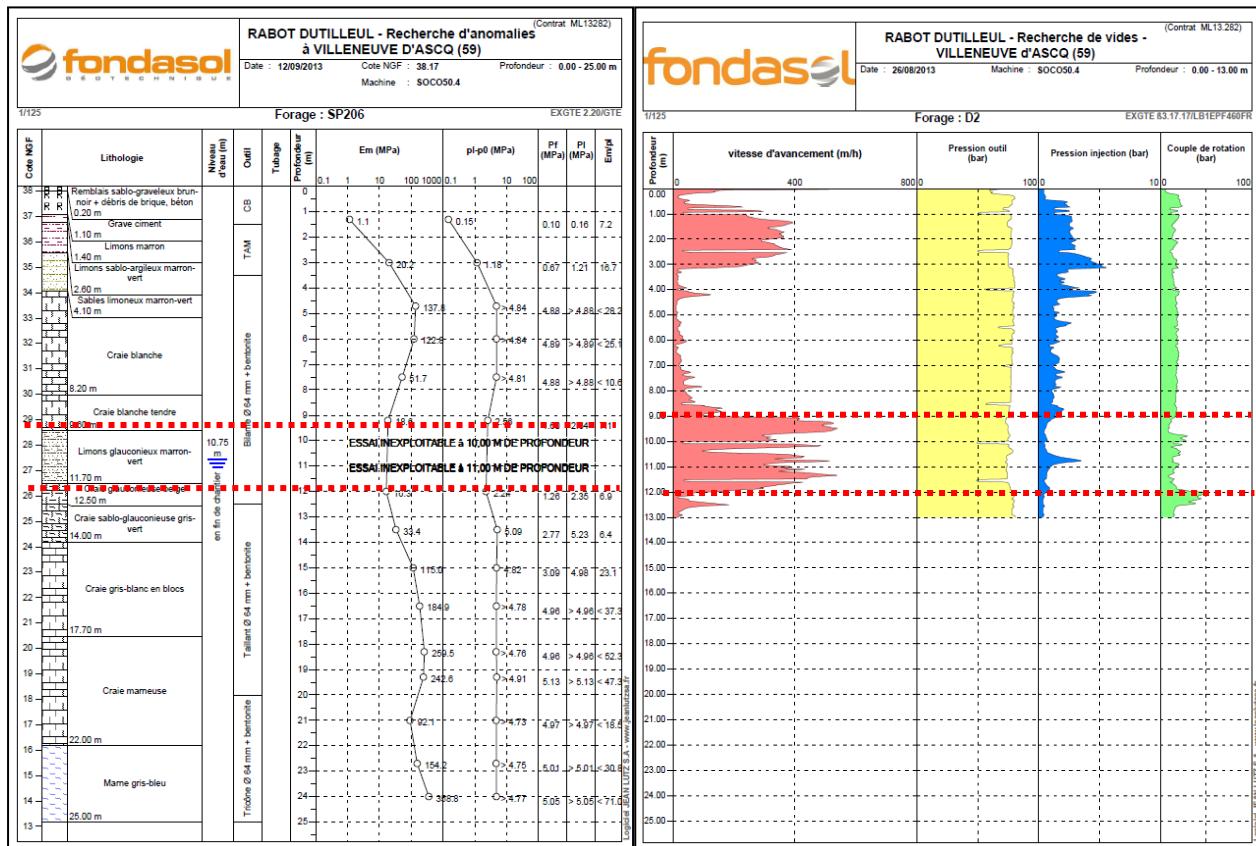


Figure 6 : Enregistrement de paramètres de forage des pieux réalisés sur le chantier de Villeneuve d'Ascq

3.2.2. Première phase : Exploitation des sondages et forages destructifs

Les forages destructifs réalisés dans le cadre de cette étude ont mis en évidence une lithologie comparable à celle des sondages pressiométriques, à savoir une épaisseur de remblais limoneux voire limons de l'ordre de 3 m environ surmontant la craie jusqu'à la base des forages (figures 7 et 8).

Les vitesses d'avancement au niveau des horizons remblayés voire limoneux sont élevées avec une vitesse moyenne de l'ordre de 400 m/h. Ces vitesses d'avancement sont à relier aux caractéristiques mécaniques faibles à médiocres des horizons de surface (PI^* de l'ordre de 0,20 MPa). Au-delà, les vitesses d'avancement observées dans les horizons crayeux sont très faibles à faibles avec une vitesse moyenne de l'ordre de 30 m/h et une pression limite nette de l'ordre de 4,5 MPa. Entre 9,00 m et 12,00 m de profondeur, des anomalies ont été observées et correspondent à des zones décomprimées. Ces anomalies semblent être localisées à l'interface entre la Craie du Sénonien (Craie blanche) et la Craie du Turonien (craie grise glauconifère à silex) et pourraient correspondre à des poches de dissolution liées au battement de la nappe phréatique (niveau de nappe relevée vers 11 m de profondeur lors de notre intervention). Les vitesses d'avancement mesurées à cette profondeur sont de l'ordre de 500 m/h pour une pression limite de l'ordre de 0,20 MPa.



Figures 7 et 8. Résultats du sondage pressiométrique SP206 et du forage destructif D2

3.2.3. Identification de l'origine des anomalies

Les forages destructifs réalisés pour le projet ont permis de détecter des passages décomprimés (11 forages concernés sur les 24 réalisés soit environ 50%) entre 8,50 m et 12,00 m de profondeur sous le niveau du terrain naturel actuel. Aucun vide franc ni même remblayé n'a été mis en évidence au droit du projet.

Ainsi, en comparant l'ensemble des résultats obtenus au droit de nos forages, nous pouvons nous prononcer sur l'absence de cavités souterraines. L'origine de ces anomalies semble être à rechercher du côté de la nature des horizons crayeux. En effet, les anomalies mises en évidence ont été détectées entre 8,50 m et 12,00 m de profondeur sous le niveau du terrain naturel actuel, profondeur qui semble correspondre à l'interface entre la Craie du Sénonien et la Craie du Turonien.

D'un point de vue lithologique, la craie du Sénonien est une craie de couleur blanche pauvre en silex, tandis que la craie du Turonien est une craie de couleur grise assez grossière, riche en silex et contenant de la glauconie.

On retiendra que lors de nos interventions réalisées en 2012, un niveau d'eau stabilisé avait été mesuré entre 11,50 m et 12,50 m de profondeur sous le niveau du terrain naturel actuel. De plus, les données dont nous disposons nous indiquent que le niveau de la nappe phréatique fluctue dans ce secteur entre 26,5 NGF et 27 NGF soit entre 10,00 m et 10,50 m de profondeur sous le niveau du terrain naturel actuel.

Ainsi, en reliant les données géologiques aux données hydrogéologiques, il se pourrait que le battement de la nappe crée un phénomène de migration des passées sableuses dans les fractures naturelles de la craie, provoquant ainsi des poches de dissolution.

Cette migration des passées sableuses serait ainsi générée par le battement de la nappe ainsi que par les écoulements et infiltrations d'eau d'origine météorique. C'est en effet le même phénomène de migration de particules fines dans les fractures de la craie

qui serait à l'origine de ces anomalies. Ce phénomène est un phénomène naturel sans possibilité d'apprécier son comportement et son extension à l'échelle d'un projet.

3.2.4. Proposition de solutions techniques

Lors des travaux réalisés, les anomalies mises en évidence n'ont pas permis de valider les pieux déjà réalisés.

En effet, au regard des éléments apportés par l'entreprise de pieux, les fiches de pieux étaient ancrés vers 10 m de profondeur soit dans la couche de sol altéré et présentant des caractéristiques mécaniques médiocres.

L'ancrage des pieux à cette profondeur constitue un risque majeur dans la mesure où un poinçonnement de la couche molle sous le poids propre du béton de la colonne de pieu est envisageable et/ou par la charge apportée par le bâtiment. Ce poinçonnement de la couche entraînant un tassement du pieu non maîtrisable.

Ainsi, au vu des anomalies rencontrées et des risques avérés, il a été conseillé de descendre les pieux à 15 m de profondeur afin de s'affranchir de la couche molle.

4. Conclusion et perspectives

4.1. *Compilation des données*

Cet article ne présente qu'un cas d'étude reconnu par FONDASOL. Cependant, la synthèse de plusieurs dossiers réalisés par nos soins sur plusieurs années et dans le même secteur nous a permis de constater que cette anomalie n'est pas un cas isolé mais bien présente sur l'ensemble des Sud et Sud Est de Lille.

En effet, comme pour le cas d'étude présenté ici, les enregistrements de paramètres des forages destructifs couplés aux sondages pressiométriques mettent en évidence des zones décomprimées (Vitesse avancement de l'ordre de 400m/h) aux caractéristiques géomécaniques très faibles (PI^* de l'ordre de 0,20 MPa) dans la même frange à savoir entre 9,00 m et 12,00 m de profondeur environ.

4.2. *Repérage des anomalies*

Comme évoqué ci-dessus, la compilation des données sur une centaine de dossiers, nous a permis de localiser les chantiers ayant rencontrés des anomalies sur le secteur nous concernant (figure 9).

Cet article n'est donc qu'au prémice d'une étude complète à mener sur l'ensemble du territoire de la métropole lilloise via l'établissement d'une compilation des chantiers déjà réalisés, le prélèvement d'échantillons intacts dans la zone d'anomalie ainsi que la réalisation d'essais en laboratoire. L'ensemble des résultats nous permettra d'apprécier le comportement géomécanique de cet horizon et de s'affranchir d'éventuelles contraintes et retards de chantiers de fondations profondes.

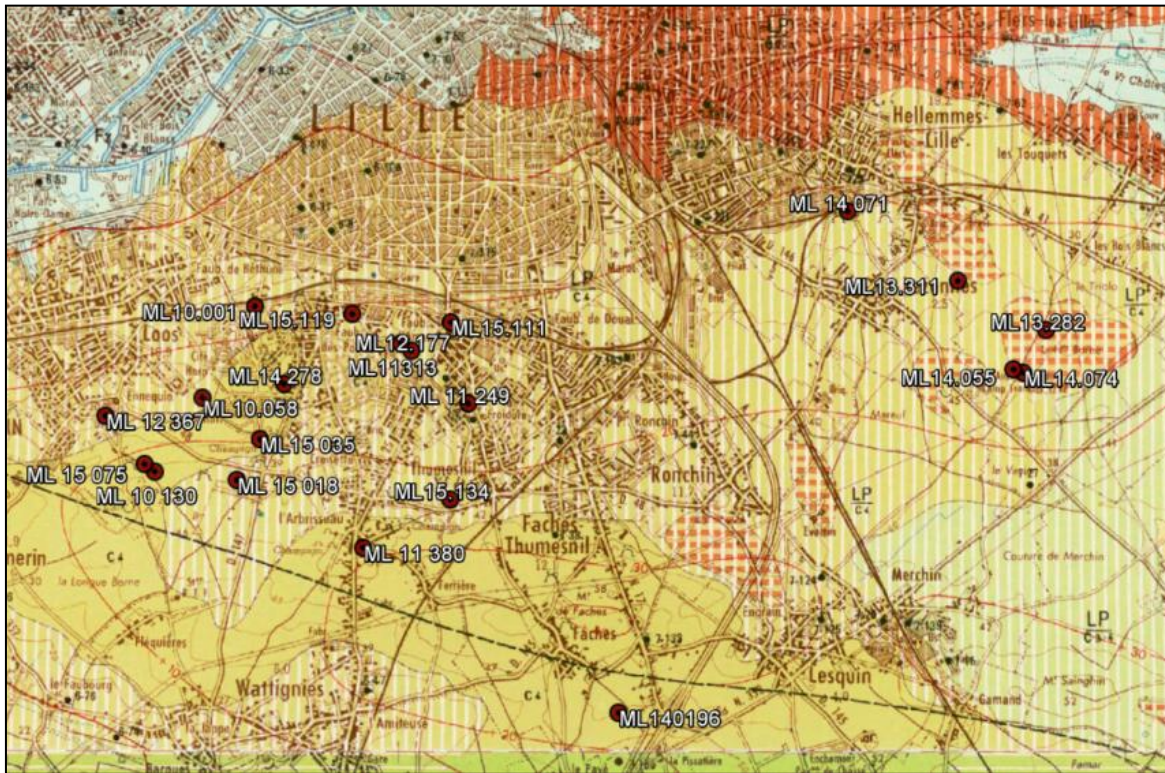


Figure 9. Synthèse des chantiers FONDASOL ayant rencontrés des anomalies dans la craie liées au battement de la nappe phréatique

5. Références bibliographiques

- CRHL (Centre de Recherche Historique Lezennois) (2009). *Chronique des carrières souterraines – Voyage au cœur de Lezennes*, 224 pages.
- Plan d'Exposition aux risques naturels prévisibles, Mouvements de Terrain - Approuvé le 17/02/92 – *Service Interministériel régional des affaires civiles et économiques de défense et de la protection civile*.
- Pluquet A., Vaillant J.M., (2014) Diagnostic d'une carrière par méthode observationnelle souterraine – Villeneuve d'Ascq. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2014, 7-9 juillet 2014, Tome 1 Beauvais 2014*.
- Vaillant J.M. (2012) Prise en compte de l'aléa "cavités" dans la définition de campagnes géotechniques, *Annales Société Géologique du Nord, Tome 19, 2^{ème} série, pp. 57-66, octobre 2012*.