

Antenne EST
1 Rue Claude Chappe
CS 25198
57075 METZ CEDEX 3
Tél : +33 (0)3 87 17 36 60
Fax : +33 (0)3 87 17 36 89

**Aléas liés au puits 19
Commune de Loos-en-Gohelle - Zone 4
Avis sur les remarques du cabinet PARICA
pour la Communauté d'Agglomération
de Lens-Liévin**

RAPPORT E2014/066DE – 14NPC3306

Date : 17/03/2014

**Aléas liés au puits 19
Commune de Loos-en-Gohelle - Zone 4
Avis sur les remarques du cabinet PARICA
pour la Communauté d'Agglomération
de Lens-Liévin**

RAPPORT E2014/066DE – 14NPC3306

Diffusion :

Pôle Après-mine EST
GEODERIS

HANOCQ Pascale
FRANCK Christian
MATOT Benoît

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	B. MATOT	C. FRANCK	
Visa			

SOMMAIRE

1	Objet - Contexte	3
2	Rappel des éléments de connaissance sur le puits 19 [2].....	3
2.1	Caractéristiques du puits.....	3
2.2	Travaux de mise en sécurité	4
2.3	Eléments sur la tour	5
2.4	Etude des aléas miniers.....	5
3	Note émanant du bureau d'études PARICA pour la CALL	7
3.1	Documents consultés par PARICA.....	7
3.2	Eléments apportés par PARICA.....	7
4	Commentaires de GEODERIS.....	10
5	Proposition d'investigations et de mise en sécurité	11
5.1	Investigations <i>in-situ</i>	11
5.2	Proposition de mise en sécurité	13
6	Bibliographie.....	13

Mots clés : effondrement, aléas miniers, puits 19, Loos-en-Gohelle, Nord Pas-de-Calais.

1 OBJET - CONTEXTE

Le 10 mars 2014, le Pôle Après-mine EST, à la demande de la DREAL Nord Pas-de-Calais, a sollicité l'avis de GEODERIS sur la note réalisée par le cabinet PARICA, mandaté par la Communauté d'Agglomération de Lens-Liévin (CALL), remettant en cause les aléas définis lors de l'étude GEODERIS [1] sur le puits 19 de Loos-en-Gohelle (concession de Lens). Il est projeté d'aménager la tour du puits en site recevant du public (Figure 1). Ce site est cartographié en aléa effondrement localisé de niveau fort lié à la présence du puits, ainsi qu'en aléa effondrement localisé de niveau faible lié à la présence supposée d'une galerie de service [1].



Figure 1 : Puits 19 de la commune de Loos-en-Gohelle (photographies de 2010)

2 RAPPEL DES ELEMENTS DE CONNAISSANCE SUR LE Puits 19 [2]

Les paragraphes suivants sont issus de l'avis émis par GEODERIS en juillet 2013 sur la mise en sécurité du puits 19, situé sur le territoire communal de Loos-en-Gohelle [2].

2.1 Caractéristiques du puits

Les caractéristiques du puits sont les suivantes :

- **coordonnées en RGF 93 :**
 - X : 685 023.3 ;
 - Y : 7 038 468.7 ;
- **dates :** fonçage du puits en 1954 et fermeture en 1987 ;
- **caractéristiques géométriques du puits :** diamètre de 6,7 mètres pour une profondeur de 815 mètres. Le puits comprend 4 recettes, avec une première recette à 550 mètres de profondeur. Le cuvelage est en béton à partir de 5,69 mètres de profondeur jusqu'au fond ;
- **nature des terrains naturels :** le puits a été foncé dans la craie altérée jusqu'à 10 mètres de profondeur [3]. La coupe géologique du puits est présentée en annexe 1 ;

- **désordre** : aucun désordre n'est connu à ce jour au niveau du puits ;
- **hydrogéologie** : le puits est en cours d'envoyage. Les dièves se situent entre 67 m et 155 m de profondeur (88 mètres d'épaisseur). La profondeur de la nappe de la craie est estimée à 45 mètres ;
- **gaz** : le puits présente un événement. Il est également sous l'influence du sondage de décompression S56.

2.2 Travaux de mise en sécurité

Le puits a fait l'objet de travaux de mise en sécurité [4] :

- vers 1960 (lors de la construction de la tour) : injection de ciment dans le terrain sur une profondeur de 25 m environ ;
- 1987 : remblayage avec :
 - des schistes du fond jusqu'à 140 m de profondeur, avec réalisation de deux bouchons béton (entre 760 m et 753 m de profondeur, et entre 620 m et 613 m de profondeur) et d'un bouchon ancré de 13 mètres d'épaisseur¹ dans la recette supérieure (étage 550) ;
 - des cendres et argiles de 140 m à 90 m de profondeur ;
 - des schistes de 90 m jusqu'au jour ;
- 1989 : traitement des galeries de surface ;
- 1990 : réalisation d'une dalle en béton avec deux regards de contrôle ;
- 2003 : suppression d'un des deux regards de contrôle situés sur la dalle de fermeture.

Le puits 19 est équipé d'une dalle en béton munie d'un regard qui permet de surveiller régulièrement le niveau de remblai dans le puits (Figure 2).

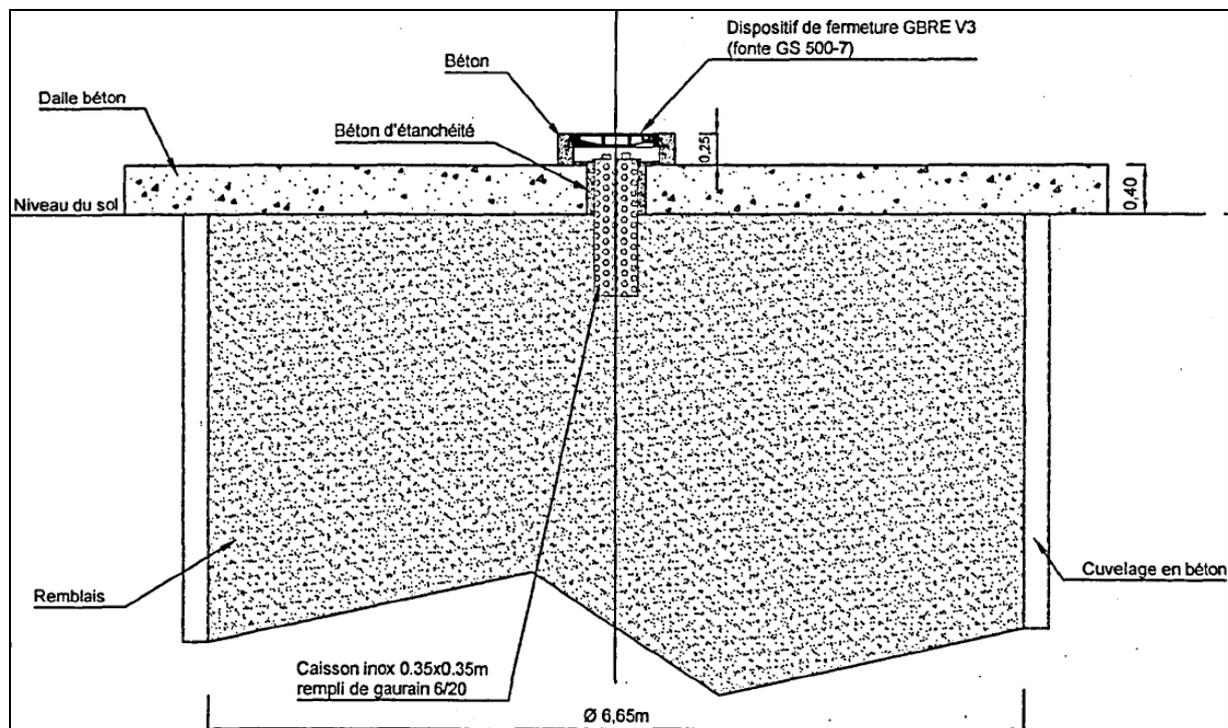


Figure 2 : Coupe de la tête du puits 19 de Lens à Loos-en-Gohelle [4]

¹ Il est noté dans le dossier de mise en sécurité que le calcul du coefficient de sécurité a été fait sans prendre en compte la résistance au frottement et l'effet silo.

La stabilité du bouchon béton ancré à 550 m a été vérifiée en 2003 [5]. Le coefficient de sécurité est de 2,22 (Annexe 2).

La coupe technique du puits (avant et après les travaux) est présentée en annexe 3.

2.3 Eléments sur la tour

La tour a été construite au-dessus du puits, en 1960, par l'entreprise de B.T.P. Génie Civil de Lens. Elle représente un ouvrage en béton armé de dimensions 17 mètres x 26,3 mètres sur une hauteur totale de 66 mètres. Son poids en béton est de 10 000 tonnes. L'ouvrage est fondé par quatre plots indépendants ancrés dans un terrain qui a été compacté par injection de ciment sur une profondeur de 25 mètres environ [6]. Sur ces plots sont assises des niches à vérins reliées entre elles par des poutres horizontales. La tour est posée par ses quatre poteaux d'angle dans les niches.

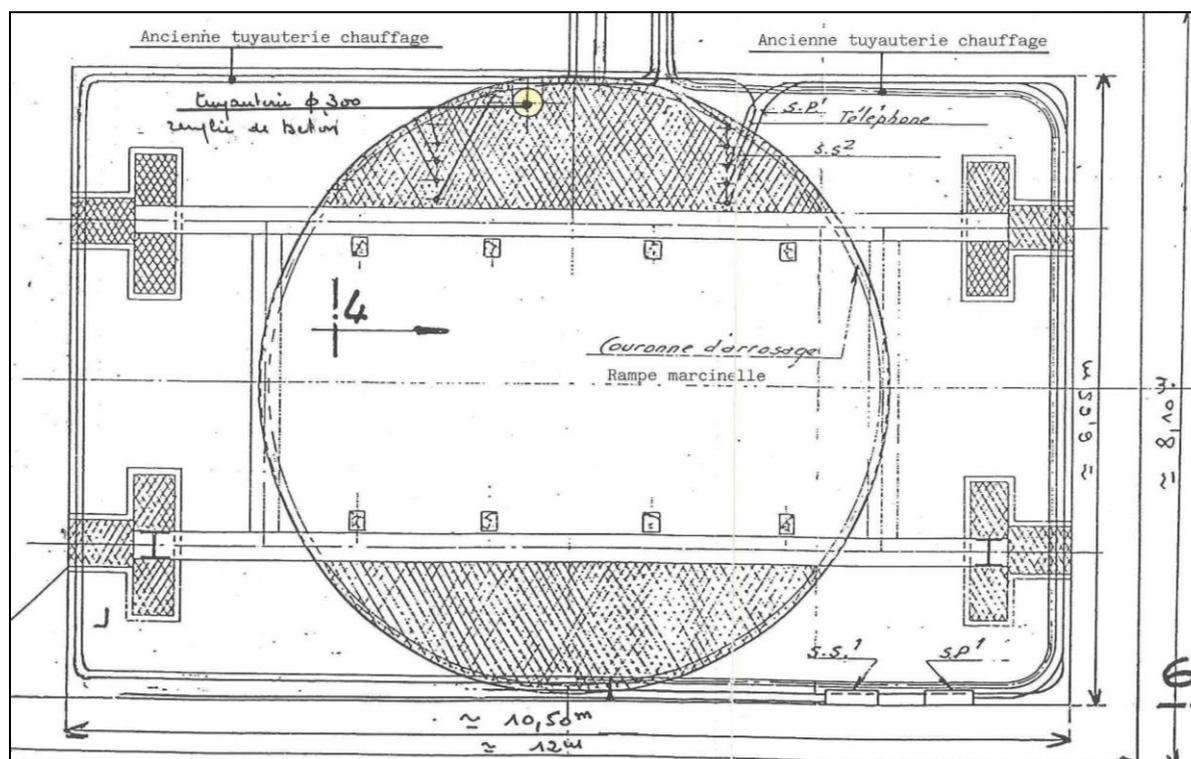


Figure 3 : Plan des fondations au niveau du puits 19 (source BRGM-DPSM)

2.4 Etude des aléas miniers

GEODERIS a retenu l'aléa effondrement localisé lié à la rupture en tête de puits suite au débouillage des remblais au-dessus du bouchon ancré.

La présence de cendres et argiles sur 50 mètres d'épaisseur environ dans la colonne de remblai sus-jacent au bouchon constitue un facteur aggravant. En effet, les cendres et argiles sont susceptibles de se compacter, créant un vide en tête de puits. Par ailleurs, le puits est en cours d'ennoyage, ce qui favorise la remobilisation du remblai. La mise en place du bouchon ancré dans la première recette (550 m) ne constitue donc pas une garantie pour empêcher le débouillage de la colonne du puits.

Le puits 19 de Loos-en-Gohelle a donc été cartographié en aléa effondrement localisé de niveau fort :

- la prédisposition au vide est très sensible compte tenu de la présence de cendres et d'argiles, et de l'ennoyage en cours. La prédisposition à la rupture de la tête de puits

est diminuée d'un rang (soit sensible) car le cuvelage en tête de puits est supposé en briques (de 0 à 5,69 m de profondeur) : aucun document n'a été retrouvé sur la nature du revêtement en tête (briques, béton...);

- intensité élevée : le diamètre d'effondrement attendu en surface est supérieur à 10 mètres.

Le rayon de l'aléa en cas de rupture de la tête de puits est évalué à 12 mètres. Le zonage de l'aléa intègre le rayon de l'ouvrage, l'incertitude relative aux coordonnées de l'ouvrage de 3 mètres et le rayon du cône d'effondrement qui est pris égal à l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface (6 mètres).

Les plots de fondation de la tour se situent donc à l'intérieur du périmètre de l'aléa.

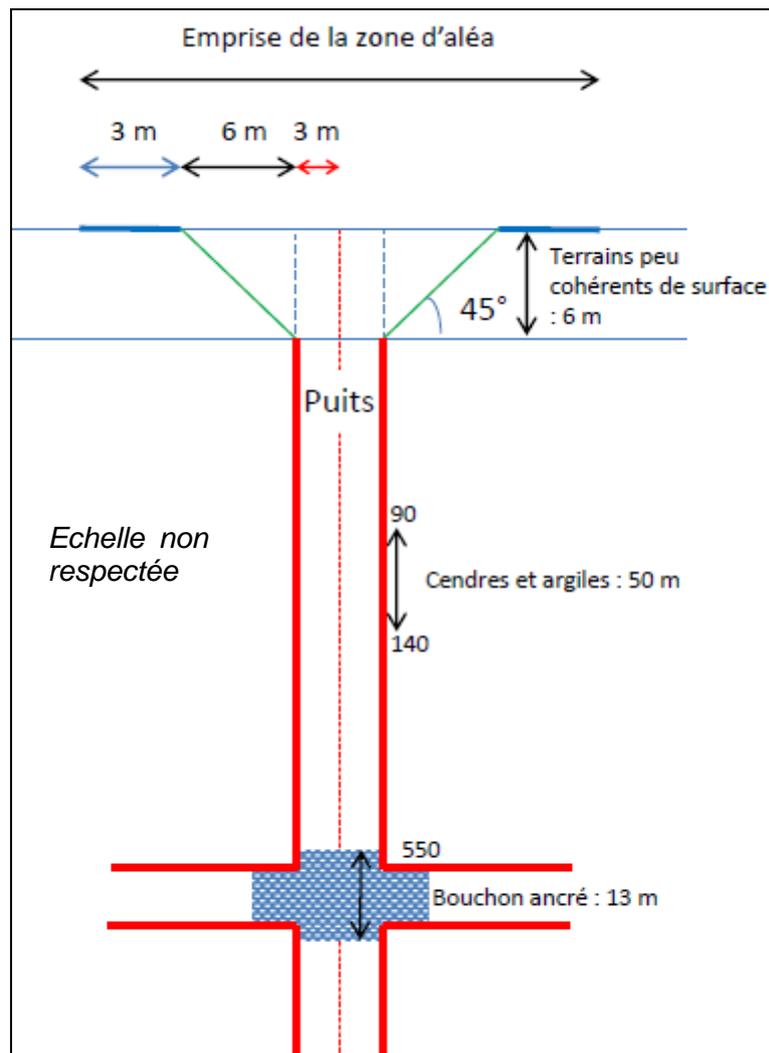


Figure 4 : Coupe du puits et cartographie de l'aléa

Bien qu'aucune information ne soit mentionnée dans les archives consultées, une galerie de service est supposée pour les puits fermés après 1850 [1]. Par conséquent, un aléa effondrement localisé sur travaux supposés de niveau faible a été cartographié. Comme aucune information géographique n'est disponible, l'aléa est appliqué selon un disque centré sur le puits de 28 mètres de rayon (20 mètres de zone privilégiée pour la présence de galerie, 5 mètres d'extension latérale du fontis et 3 mètres pour l'incertitude sur les coordonnées du puits).

L'aléa gaz se situe dans une zone traitée par le sondage de décompression S56.

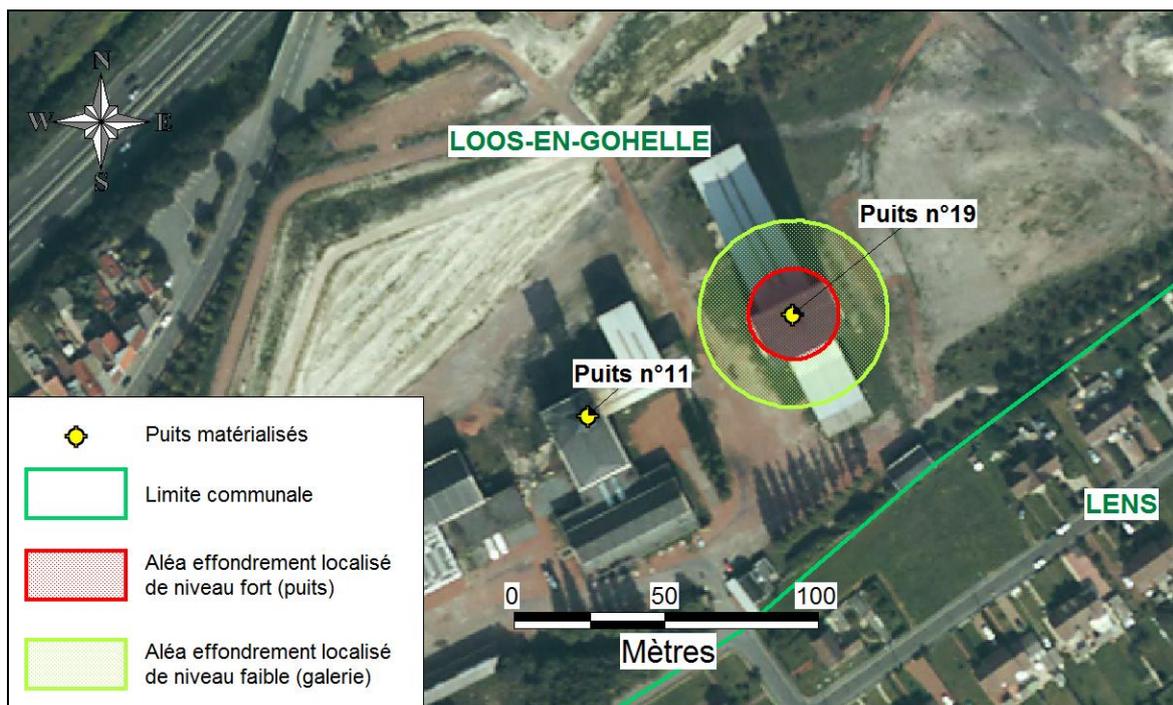


Figure 5 : Cartographie des aléas miniers

3 NOTE EMANANT DU BUREAU D'ETUDES PARICA POUR LA CALL

Dans sa note en date du 22 novembre 2013 [7], la Compagnie Parisienne d'Ingénieurs Conseils et Economistes Associés (PARICA) dresse un compte rendu de leur recherche d'archives concernant le puits 19 de Loos-en-Gohelle. PARICA s'est rendue dans les bureaux du BRGM-DPSM à Billy-Montigny (62).

3.1 Documents consultés par PARICA

Les documents retrouvés sont essentiellement des documents émanant de Charbonnages de France et des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. La liste ci-dessous énumère les documents dont PARICA fait référence dans sa note :

- Charbonnages de France - Concession de Lens « Historique » ;
- Charbonnages de France - « Arrêt définitif des travaux miniers de la concession de Lens », juillet 2005 ;
- Charbonnages de France - « Maîtrise de la migration de grisou par les puits (Annexe II.10) », mars 2004 ;
- Charbonnages de France - « Mise en sécurité du puits + extrait de l'acte de vente du site du puits 19 », septembre 2003 ;
- Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais - Extrait annexe 1 sur « Dossier de remblayage des puits 11 et 19 de Lens », 28 novembre 1985 ;
- Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, groupe de Lens-Liévin - « Puits 19 coupe Nord-Sud (extrait) », 21 mai 1957.

3.2 Eléments apportés par PARICA

Il est rappelé que l'acte de vente du 30 juillet 1987 signé entre les Houillères du Bassin du Nord et la ville de Lens-en-Gohelle fixe une zone *non-aedificandi* de 20 mètres de rayon autour du puits 19, avec une servitude d'accès au puits depuis la rue de Bourgogne de 10 mètres de largeur tout le long de la parcelle.

PARICA rappelle les différentes interventions réalisées dans le cadre de la mise en sécurité du puits en citant le rapport de Charbonnages de France de 2003 concernant la mise en sécurité du puits. Ces éléments sont connus de GEODERIS, à savoir :

- en 1987, le puits a été remblayé sur toute sa hauteur ;
- en 1989, les galeries de surface ont fait l'objet de travaux de traitement ;
- en 1990, une dalle en béton munie de deux regards de contrôle a été mise en place au niveau de la tête du puits ;
- en 2003, un des deux regards de contrôle a été supprimé.

A l'époque, Charbonnages de France avait classé le puits 19 en risque « minimal » pour les aléas résultant de la déstabilisation de terrain et avait édicté les contraintes suivantes :

- repérage sur le site du périmètre de protection ;
- servitude d'accès à la zone d'intervention ;
- zone d'intervention de 15 mètres de rayon ;
- zone de protection géotechnique de 9,33 mètres de rayon ;
- zone de protection totale de 15 mètres de rayon.

PARICA rappelle le zonage de la carte des aléas effondrement localisé émise par GEODERIS.

Un document concernant la construction du puits, le document graphique du 21 mai 1957, précise la technique de creusement du puits. La coupe verticale du puits permet de visualiser les couches géologiques traversées, les différentes dates de creusement et l'altitude des « retraites ». Le puits est bétonné par une paroi continue de 60 centimètres d'épaisseur, à partir de 5,69 mètres de profondeur jusqu'au fond.

L'élément nouveau apporté à notre connaissance est que le puits 19 a été creusé par la technique de « cimentation », qui consiste à consolider les couches de terrains avoisinantes en injectant sous pression dans le sol, au travers de forages, un mélange d'agrégats fins et de ciment qui vont solidifier les couches poreuses des terrains en comblant les vides et en liaisonnant les matériaux.

Le document graphique (Figure 6) mentionne que 2295,80 tonnes de ciment ont été utilisées pour consolider les terrains en tête de puits.

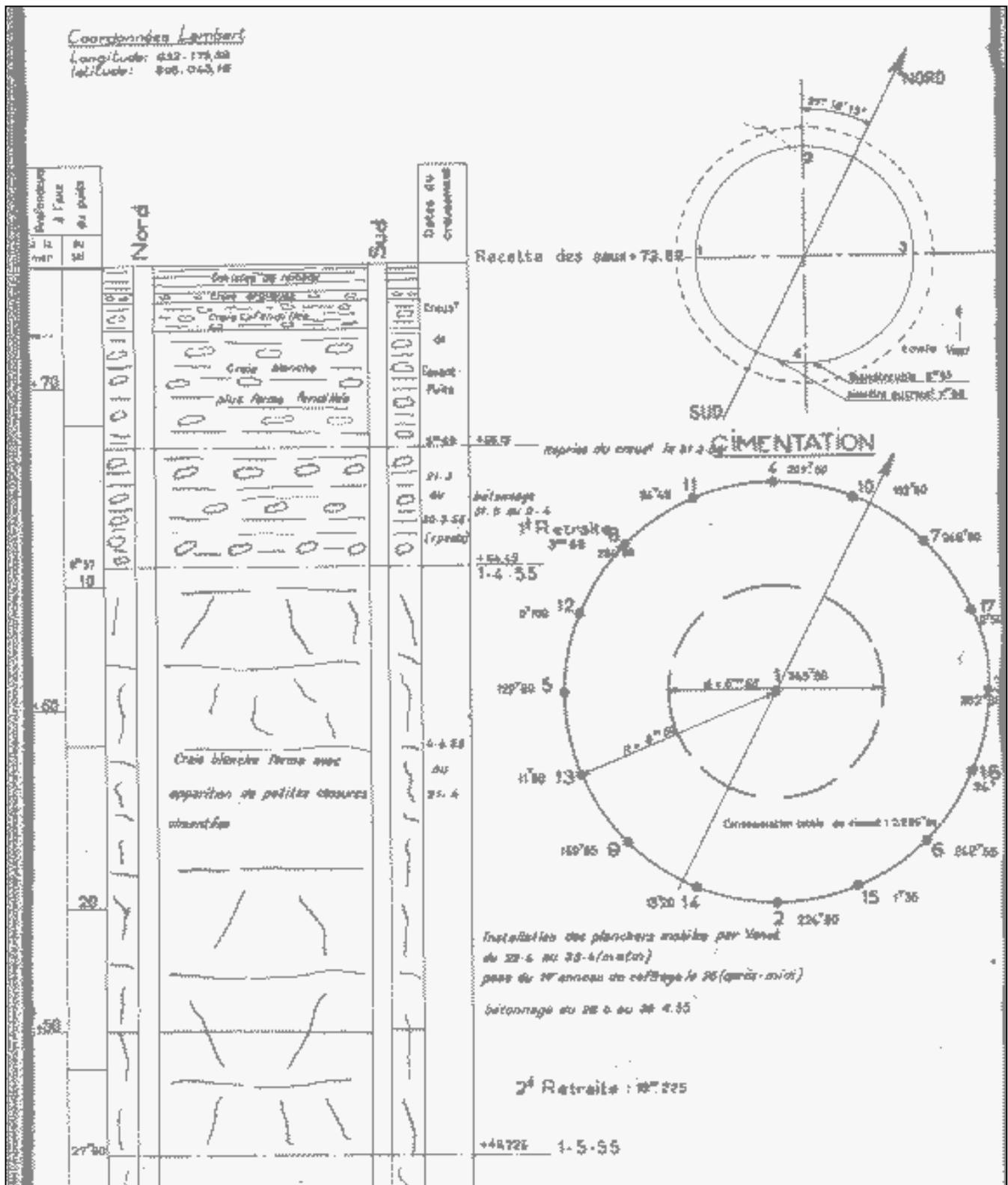


Figure 6 : Coupe géologique en tête du puits 19 de Loos-en-Gohelle avec le schéma de cimentation [3]

Comme le montre la coupe, les injections ont été réalisées en 16 points après que des forages horizontaux aient été faits sur une profondeur de 3,20 mètres environ depuis la surface intérieure du puits. De ces 16 points ont été injectées différentes quantités de ciment, selon l'indice des vides des terrains. Les terrains à proximité de la paroi intérieure du

puits devaient présenter des indices de vides sensiblement différents car, au point 12, seulement 0,1 tonne a été injectée alors qu'au point 8, il a fallu injecter 294,90 tonnes.

Cependant, nous n'avons pas d'information concernant le niveau de profondeur où ont été faits ces travaux d'injection, ni d'information sur l'épaisseur estimée des terrains consolidés. De plus, aucun document n'a été retrouvé qui pourrait mentionner le fait que ces terrains aient fait l'objet de sondages de contrôle afin de s'assurer de leur bonne consolidation.

Concernant le remblaiement du puits, PARICA rapporte les éléments déjà connus de GEODERIS, à savoir :

- puits bétonné de -5,7 m à -815,30 m ;
- les galeries latérales se trouvent aux cotes -474,40, -565,50, -585 et -708,80 m ;
- la nature des matériaux de remblaiement (schistes du fond jusqu'à -140 m de profondeur, réalisation de deux bouchons en béton (entre 760 m et 753 m de profondeur, et entre 620 m et 613 m de profondeur) et d'un bouchon ancré dans la recette supérieure (étage 550), cendres et argiles de 140 m à 90 m de profondeur, schistes de 90 m jusqu'au jour).

Concernant la surveillance du puits, PARICA rappelle différents points mentionnés dans l'extrait du document de septembre 2003 de Charbonnages de France, « Service des sites arrêtés et de l'environnement Nord Pas-de-Calais ». Les caractéristiques de construction du puits sont rappelées, ainsi que les caractéristiques de remblayage de ce puits. De plus, Charbonnages de France qualifie les risques caractérisés du puits en quatre points :

- tassement du remblai : probabilité d'occurrence NULLE ;
- débouillage (partie des remblais) : probabilité d'occurrence TRES PEU PROBABLE ;
- rupture du cuvelage : probabilité d'occurrence TRES PEU PROBABLE ;
- instabilité de tête de puits : probabilité d'occurrence TRES PEU PROBABLE.

Est également mentionné qu'à l'occasion du rapport de Charbonnages de France en septembre 2003, il n'y a pas eu, au niveau du puits 19, de tassement des remblais constaté, ni de gaz de grisou constaté.

4 COMMENTAIRES DE GEODERIS

Rappelons que, dans le cadre des études des aléas miniers, GEODERIS a consulté toutes les archives disponibles, dont bien évidemment celles de CdF à Billy-Montigny.

La note rédigée par le bureau d'études PARICA pour la Communauté d'Agglomération de Lens-Liévin rappelle un grand nombre d'éléments constitutifs du puits 19 de Loos-en-Gohelle, connus de GEODERIS et pris en compte dans l'évaluation de l'aléa, à savoir :

- la coupe des terrains géologiques depuis le jour jusqu'au fond du puits ;
- les caractéristiques géométriques du puits (diamètre de 6,65 mètres et une profondeur de 815 mètres) ;
- la nature des matériaux de remblaiement, ainsi que les niveaux où ont été réalisés les deux bouchons en béton (entre 760 m et 753 m de profondeur, et entre 620 m et 613 m de profondeur), et le bouchon ancré dans la recette supérieure (étage 550) ;
- un puits bétonné par une paroi de 60 centimètres d'épaisseur de -5,7 m à -815,30 m, et un cuvelage en tête de puits supposé en briques (de 0 à 5,69 m de profondeur) ;
- les différentes interventions réalisées dans le cadre de la mise en sécurité du puits (1987 : puits remblayé sur toute sa hauteur ; 1989, les galeries de surface ont fait l'objet de travaux de traitement ; 1990, une dalle en béton munie de deux regards de

contrôle a été mise en place au niveau de la tête du puits ; 2003, un des deux regards de contrôle a été supprimé).

GEODERIS rappelle donc que, pour ce puits :

- la **prédisposition au vide est très sensible** compte tenu de la présence de cendres et d'argiles dans la colonne de remblayage sur une épaisseur de 50 mètres (de 140 m à 90 m de profondeur), et de l'envoyage du puits en cours. Les raisons en sont explicitées au chapitre 2.4 ;
- la **prédisposition à la rupture de la tête de puits est sensible** car le cuvelage en tête de puits est supposé en briques (de 0 à 5,69 m de profondeur) ;
- **intensité élevée** : le diamètre d'effondrement attendu en surface est supérieur à 10 mètres (le diamètre du puits est de 6,70 mètres et l'épaisseur des terrains non cohérents est de 6 mètres).

En l'état actuel des connaissances, GEODERIS maintient le niveau et le rayon d'aléa du puits 19 de Loos-en-Gohelle.

Le seul élément nouveau qui nous a été rapporté via la note de PARICA est la technique de consolidation des terrains utilisée lors du creusement du puits. La coupe nord-sud du puits 19, document des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais de 1957, mentionne que la consommation totale de ciment est de 2295,80 tonnes. Les terrains entourant la tête de puits ont donc été consolidés par cette technique.

La validation de la bonne consolidation des terrains autour du puits permettrait, le cas échéant, de réduire l'intensité de l'aléa du fait de la réduction de la marge d'influence en cas d'effondrement de la tête de puits.

5 PROPOSITION D'INVESTIGATIONS ET DE MISE EN SECURITE

5.1 Investigations *in-situ*

GEODERIS insiste sur le fait qu'un aménagement pour une ouverture au public nécessite une mise en sécurité pérenne. Afin d'éventuellement réviser le niveau et le rayon de l'aléa au niveau de ce puits, des éléments nouveaux et tangibles doivent nous être apportés par l'aménageur. Ainsi, deux points nous semblent encore flous et nécessitent des investigations :

- en 1989, les galeries de surface auraient été traitées mais aucun rapport concernant le comblement de ces galeries n'a été retrouvé ;
- la technique de « cimentation » au niveau de la tête de puits est mentionnée sur un document des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Il est fait mention des 2295,80 tonnes de ciment utilisées mais nous ne savons pas à quelle profondeur a été faite cette injection, ainsi que l'épaisseur des terrains qui a été consolidée.

Aucune donnée sur la qualité de la consolidation autour du puits n'est disponible.

Le tableau ci-dessous liste les investigations *in-situ* pouvant être mises en place au niveau de l'environnement du puits 19 de Loos-en-Gohelle.

Eléments à investiguer	Technique d'investigation à mettre en place
La présence éventuelle d'une galerie de service	Réalisation d'une campagne de sondages destructifs. La profondeur visée est de 25 mètres par sondage, sachant qu'une galerie de service doit se trouver dans les 20 premiers mètres de terrain. En cas de découverte de la galerie, réalisation d'une inspection caméra/laser pour juger des dimensions de la galerie et de l'état de l'ouvrage.
La tenue des terrains avoisinant le puits	Réalisation d'une campagne de sondages destructifs avec essais pressiométriques, avec un maillage judicieusement choisi (principe de la Figure 7). La profondeur visée est celle des terrains supposés peu cohérents de surface, soit environ 6 mètres. Une investigation jusqu'à 10 mètres de profondeur semble appropriée.

Le schéma de principe ci-dessous (Figure 7) donne une possibilité de maillage pour la réalisation d'une campagne d'essais de reconnaissance géotechnique. Les sondages destructifs auront une profondeur de 25 mètres : s'il s'avère que ces sondages ne rencontrent aucun vide, on pourra raisonnablement écarter la présence d'une galerie de service au niveau de ce puits. L'aléa effondrement localisé lié à la présence de galerie de service sera alors supprimé. Les sondages destructifs feront l'objet d'essais pressiométriques sur les 10 premiers mètres.

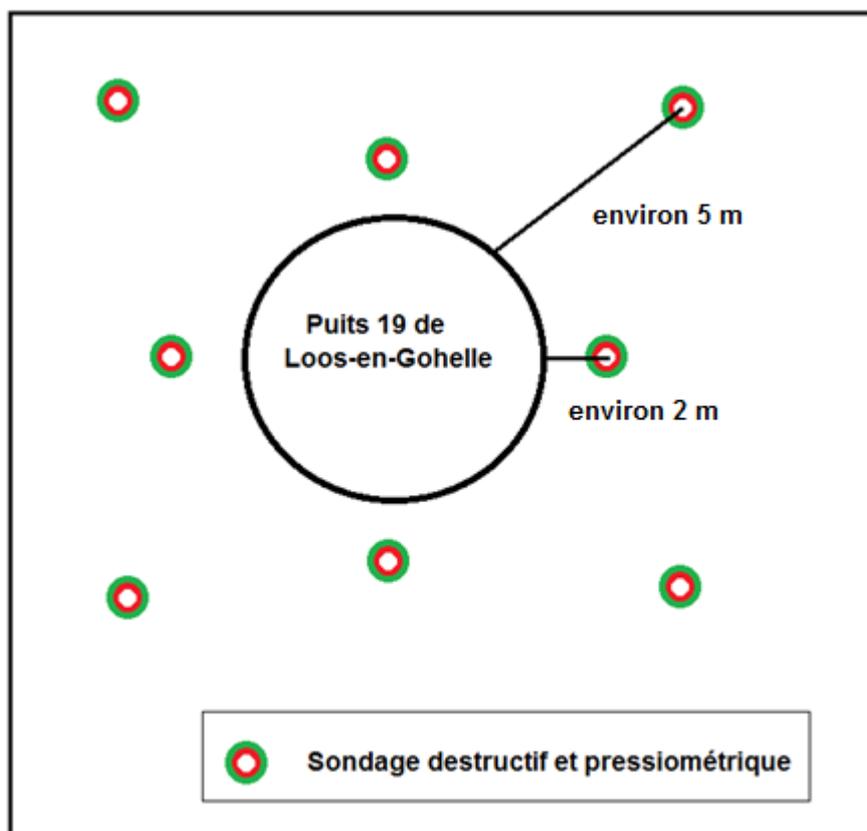


Figure 7 : Schéma de principe d'une proposition de maillage d'une campagne de reconnaissance géotechnique pour le puits 19 de Loos-en-Gohelle

5.2 Proposition de mise en sécurité

En fonction des résultats de la campagne de reconnaissance, différentes options peuvent être envisagées :

- réalisation d'un bouchon de surface si les terrains avoisinants sont parfaitement consolidés ;
- nouvelle consolidation des terrains (par la méthode « jet grouting » ou solution équivalente) si ce n'est pas le cas ;
- solution variante que proposera le bureau d'études.

Toute solution technique proposée devra être étayée par une étude d'avant-projet détaillé pour ce qui concerne les galeries ou la tenue des terrains.

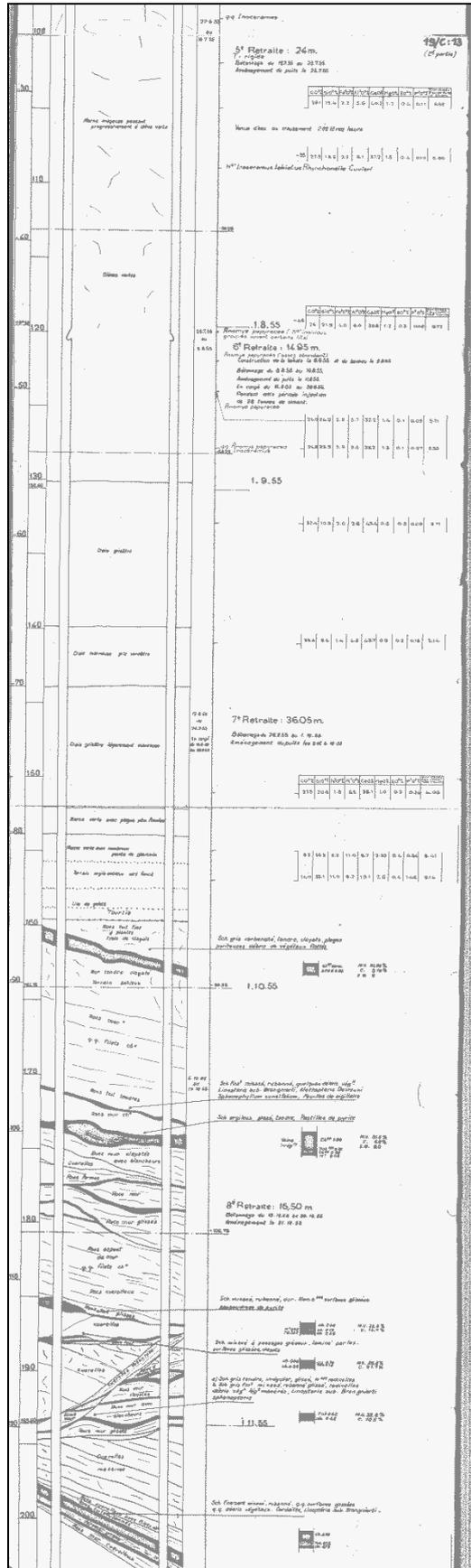
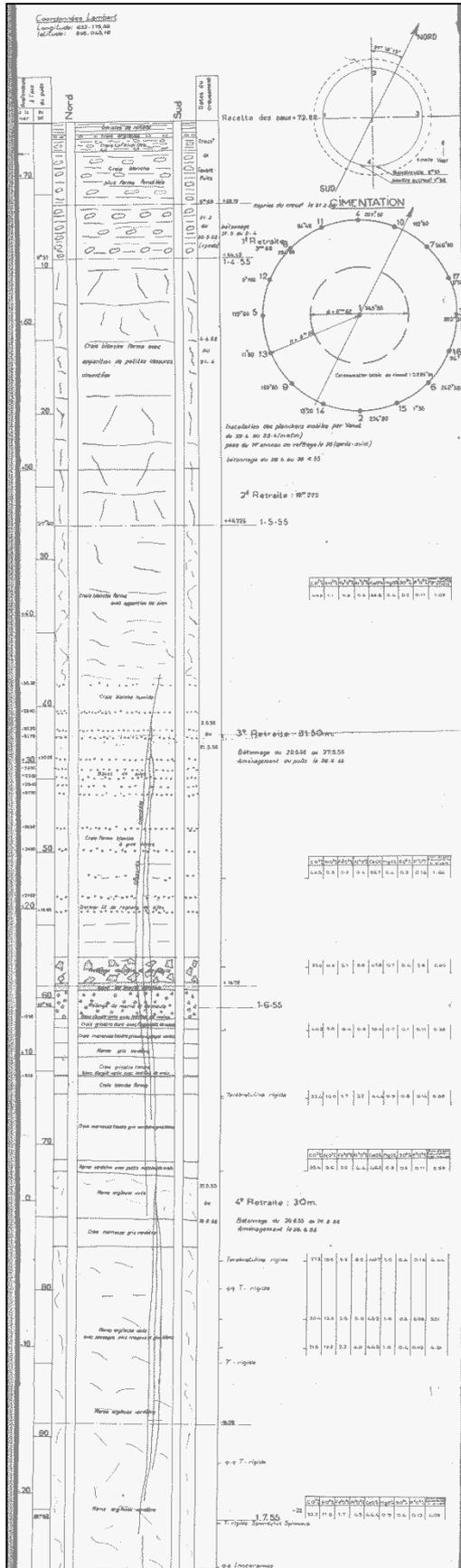
La pertinence du comblement de la galerie devra être appréciée en fonction de sa profondeur, sa géométrie, son état et de la qualité des terrains de recouvrement.

Enfin, afin de permettre la révision des aléas miniers au niveau de cet ouvrage, l'aménageur devra fournir le détail de l'ensemble des travaux réalisés et les résultats des contrôles effectués attestant la garantie du niveau de sécurité souhaité.

6 BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Lambert C. (2011). Bassin houiller du Nord Pas-de-Calais. Zone 4. Rapport GEODERIS E2010/071DEbis – 10NPC2211.
- [2] : Avis sur la mise en sécurité du puits 19. Commune de Loos-en-Gohelle - Zone 4. Rapport GEODERIS E2013/121DE – 14NPC3306.
- [3] : Données de la Banque de données du Sous-Sol du BRGM, sondage 00198X0027.
- [4] : Charbonnages de France (2003). Dossier mise en sécurité puits.
- [5] : Charbonnages de France (2005). Arrêt définitif des travaux miniers de la concession de Lens. Rapport d'exécution. DOE, annexe 1, tome 1 « Travaux de mise en sécurité et autres ».
- [6] : Notice explicative de la construction de la tour. Document transmis par la DREAL nommé « Tour du 19 1_2-312102822-0001 ».
- [7] : Projet Mineurs du Monde. Compte rendu de la recherche d'archives sur le puits 19 aux archives du BRGM et orientations sur la révision possible des contraintes imposées au périmètre du puits. Compagnie Parisienne d'Ingénieurs Conseils et Economistes Associés. Montreuil, le 22 novembre 2013. 53 pages. Document transmis par la DREAL.

Annexe 1 Coupe géologique [2]



PROFONDEURS DE _____ A _____	NATURE DES TERRAINS	INTERPRÉTATION
0 à 1,10	Remblai - craie argileuse	
1,10 à 2,00	Craie fendillée	
2,00 à 9,37	Craie blanche ferme fendillée	
9,37 à 27,60	Craie blanche ferme avec apparition de petites cassures cimentées.	
27,60 à 38,00	Craie blanche ferme avec apparition de silex	
38,00 à 43,00	Craie blanche humide avec silex	
43,00 à 48,00	Banc de silex	
48,00 à 53,00	Craie ferme blanche avec grès bancs	
53,00 à 54,00	Dernier lit de rognons de silex	
54,00 à 57,20	Craie	
57,20 à 59,00	Mélange de craie et de meule	
59,00 à 59,50	Banc de meule continu	
59,50 à 61,40	Mélange de marne et meule Banc d'argile verte, avec lentilles de craie	
61,40 à 62,00	Craie grisâtre dure avec fragments de meule	
62,00 à 63,10	Craie marneuse tendre grisâtre à plages vertes	
63,10 à 64,00	Marnes gris verdâtre	
64,00 à 65,20	Craie grisâtre tendre	
65,20 à 65,40	Banc d'argile verte avec lentilles de craie	

PROFONDEURS DE _____ A _____	NATURE DES TERRAINS	INTERPRÉTATION
65,40 à 66,60m	Craie blanche ferme	
66,60 à 71,00m	Craie marneuse tendre gris verdâtre grès, bancs	
71,00 à 71,80m	Marne verdâtre avec petits nodules de craie	
71,80 à 75,00m	Marne argileuse verte	
75,00 à 77,00m	Craie marneuse gris verdâtre	
77,00 à 100 m	Marne argileuse verte avec passages plus crayeux et plus blancs.	
100,00 à 113,10	Marne crayeuse passant progressivement à diève verte.	
113,10 à 130,10	Dièves vertes	
130,10 à 139,90	Craie grisâtre	
139,90 à 144,00	Craie marneuse gris verdâtre	
144,00 à 152,00	Craie grisâtre légèrement marneuse	
152,00 à 153,70	Marne verte avec plages foncées	
153,70 à 155,70	Marne verte avec nombreux points de glauconie	
155,70 à 157,50	Terrain argilo-sableux vert foncé	
157,50 à 158,70	Lit de galets	
158,70 à 159,60	Tourtia	
	Pour la suite des terrains carbonifères	
	voir documentation B.R.G.G.M.	

Annexe 2

Vérification de la stabilité d'un bouchon Calcul du coefficient de sécurité [4]

- Date : 24 septembre 2003 ;
- Type de bouchon : ancré étage 550 ;
- Hypothèses :
 - non prise en compte de la résistance au frottement ;
 - non prise en compte de l'effet silo.

	Symbole	Unité	Valeur
Poids volumique du béton	γ	kN/m ³	25
Contrainte verticale de succion + surcharge de surface	p ₂	kPa	200
Résistance au cisaillement du béton	R _{cis}	kPa	6250
Frottement latéral béton / cuvelage puits	Q _s	kPa	0
Poids volumique du remblai	β	kN/m ³	20
Béton travaillant en cisaillement	S	m ²	140
Hauteur des remblais	H _r	m	541
Hauteur du bouchon	h	m	13
Diamètre du puits	Ø	m	6.65
Coefficient de sécurité	K	-	2.22

