ÉVALUATION DE LA PRODUCTION ET DE LA PROPAGATION DU MONOXYDE DE CARBONE SUITE À DES TRAVAUX DE DYNAMITAGE EN MILIEU URBAIN

Rapport de recherche R-952 *Novembre 2007*

ÉVALUATION DE LA PRODUCTION ET DE LA PROPAGATION DU MONOXYDE DE CARBONE SUITE À DES TRAVAUX DE DYNAMITAGE EN MILIEU URBAIN

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique
Eau, Terre et Environnement

Chercheurs : Richard Martel, Ing., Ph.D.
Guillaume Comeau, B.Sc.A.
Luc Trépanier, Ing. M.Sc.
Geneviève Parent, B.Sc.A.
Benoît Lévesque, MD

Rapport de recherche N^{0} R-952

Institut National de Recherche Scientifique
(Centre Eau, Terre et Environnement)
INRS-ETE
QUÉBEC (Québec)

Novembre 2007

ISBN : 978-2-89146-551-9

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le support de madame Clarisse D. Rancourt, technicienne stagiaire à l'INRS-ETE lors des travaux de terrain. Nous remercions la compagnie de forage et dynamitage Castonguay et Frères Ltée pour les forages ayant permis l'instrumentation et le suivi des pressions et le suivi des concentrations en CO. Nous avons également apprécié la collaboration de l'Université Laval et de la firme de construction générale EBC (M. Gilles Parent) qui a permis l'accès au chantier de construction. Nous remercions deux réviseurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions de correction. Nous tenons aussi à remercier le Dr Pierre Auger pour la revue critique du rapport.

SOMMAIRE

La présente étude a pour but d'évaluer la migration du CO dans le roc fracturé et dans l'air et d'évaluer l'exposition des travailleurs sur le chantier et de la population dans un édifice adjacent aux sautages. Le projet d'agrandissement du pavillon Vandry qui couvre une superficie de 2500 m^2 a été choisi afin de recueillir des mesures de concentrations en CO et de pressions dans l'air extérieur, dans l'air ambiant de l'édifice et dans un réseau de surveillance temporaire.

L'étude structurale de la géologie a montré que les fractures les plus pénétratives et fréquentes sont celles associées aux strates de roche. Ces plans de fissuration sont presque verticaux et sont orientés à 65º par rapport au mur principal de l'édifice. Une autre famille de joints intercepte l'édifice à 35º est en mesure aussi de propager les gaz vers la base de l'immeuble.

L'étude des pressions pendant les sautages démontre que les joints et les fractures contrôlent la mobilité des gaz produits. Des pressions positives et négatives s'observent dans le roc fracturé autour des sautages mais ces pressions se dissipent rapidement dans les minutes qui suivent le sautage lorsque le roc n'est pas bien confiné. Les variations de pression ont été observées à des distances inférieures à 10 m du sautage. Les opérations de forage injecte de l'air et sont susceptibles de modifier le transport du CO mais la variation naturelle de la pression atmosphérique n'influence pas la pression d'air dans le roc. Il n'y a donc pas de relation entre la variation de la pression atmosphérique et le mouvement des gaz dans le roc.

Les locaux de l'édifice étaient en pression positive par rapport à la pression d'air extérieure, ce qui signifie que le CO dans l'air extérieur n'est pas susceptible de pénétrer dans l'édifice. Aucun des sautages n'a influencé les pressions enregistrées dans l'édifice.

Le CO n'a pas migré sur une distance supérieure à 9 m. Une distance maximale de 14 m a été observée lors des derniers sautages et il est possible qu'il y ait un effet combiné des sautages précédents sur ces résultats. De façon générale, les concentrations mesurées dans les puits d'observation sont fonction de la distance par rapport à la limite des sautages. Un puits a enregistré des concentrations en CO maximum de 58000 ppm alors qu'il s'est retrouvé à l'intérieur même des débris du sautage Les concentrations en CO dans le roc fracturé sont plus importantes en profondeur qu'en surface. La concentration maximale en CO enregistrée dans le sautage ou près de celui-ci s'observe à l'intérieur d'une période de 90 minutes suivant la détonation. Les concentrations en CO diminuent mais persistent dans le roc brisé après le sautage tant et aussi longtemps que ce roc n'est pas complètement excavé ce qui accroît le risque de propagation du CO par diffusion vers les infrastructures enfouies. La distance maximale de propagation du CO dans le roc fracturé en périphérie du sautage est proportionnelle à la charge d'explosif utilisée pour le sautage. Plus la charge d'explosifs est grande plus la distance parcourue par le CO est grande et évidemment plus la masse de CO produite est grande. Des charges totales de 12 à 85 Kg d'explosifs ont produit de 0,2 à 1,5 kg de CO. Le niveau de contamination détecté est aussi relié à la direction de propagation des gaz. L'utilisation d'une longue face libre jumelée à une quantité raisonnable d'explosif (moins de 50 kg) prévient la propagation du CO.

Les opérations normales de dynamitage ont des effets d'atténuation sur la propagation des gaz dans le roc. L'enlèvement de la source de CO par excavation du roc brisé immédiatement après chaque sautage, la dilution des concentrations en CO dans le roc par l'injection d'air lors des opérations de forage à proximité du dernier sautage, la plus faible production de CO par l'utilisation de patron de sautage nécessitant des charges inférieures à 50 kg et l'évacuation des gaz dans l'air extérieur par le dynamitage en longue bande avec la présence d'une face libre sont tous des facteurs qui contribuent à atténuer la présence de CO dans le roc fracturé suite aux travaux à l'explosifs. Il est recommandé de placer des détecteurs de CO dans les édifices et les infrastructures enfouies localisés à moins de 20 mètres de toute la zone excavée.

Dans l'édifice les concentrations en CO mesurées ont été généralement nulles à l'exception de deux locaux ou il a atteint des valeurs de 10 à 15 ppm. Le transport du CO serait relié à la diffusion moléculaire qui est importante lorsque les matelas pare-éclats ne sont pas immédiatement enlevés et que les débris de sautage ne sont pas complètement et immédiatement excavés après le sautage. Ces valeurs étaient probablement inférieures à la limite de référence pour la population établie par Santé Canada.

L'exposition des travailleurs au CO (boutefeu et foreur) a été la plus importante lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats après les sautages. Des concentrations de l'ordre de 860 ppm ont été mesurées à 1 m au dessus du sol. Cette exposition de quelques dizaines de secondes est tout de même répétée plusieurs fois sur une période d'environ 10 minutes correspondant au temps pour enlever tous les tapis. Il serait donc pertinent d'utiliser un système permettant d'enlever les matelas sans la présence du boutefeu. Lors des travaux d'excavation les teneurs les plus importantes en CO ont été de 10 ppm. Ces faibles concentrations s'expliquent par la dilution rapide du CO dans l'air atmosphérique grâce au mélange intense d'air réalisé par la pelle mécanique en excavant les débris de roc. L'opérateur de pelle mécanique n'est pas exposé au CO pour cette raison et à cause de la distance de 10 m qui le sépare de la source d'émission de CO (les débris de roc et les matelas).

Les principales recommandations de cette étude sont : (1) d'utiliser des patrons de sautage en bande nécessitant des charges inférieures à 50 kg et avec une longue face libre; (2) d'enlever les matelas pare-éclats immédiatement après le sautage et l'inspection du boutefeu; (3) d'excaver les débris de dynamitage immédiatement après l'enlèvement des matelas pare-éclats; (4) de placer des détecteurs de CO dans les édifices et les infrastructures enfouies localisés à moins de 20 mètres de toute la zone excavée; (5) de ne pas prolonger le temps d'attente de 10 minutes ou plus avant le retour sur le chantier proposé dans la réglementation existante du Québec et (6) de poursuivre l'étude en condition d'excavation en gradins avec l'installation d'un moniteur en continu qui enregistre les concentrations en CO pendant une semaine dans l'air sur les trois principaux travailleurs et mesure des conditions climatiques sur le site pendant cette période (vent, pression, température et précipitation).

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1

2. PROBLÉMATIQUE ET ÉTAT DES CONNAISSANCES 3

3. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 7

4. MÉTHODOLOGIE 9

4.1 Localisation du site d'étude 9

4.2 Instrumentation du chantier **10**

4.2.1 Relevés géologiques **10**

4.2.2 Aménagement des puits d'observation **11**

4.2.3 Mesures des concentrations en CO **13**

4.2.4 Mesures des pressions pendant les sautages **15**

4.2.5 Mesures des pressions après les sautages **15**

4.2.6 Opération de dynamitages **16**

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION 19

5.1 Géologie du site 19

5.2 Pressions pendant les sautages 21

5.3 Pressions post-sautage 23

5.4 Concentrations en CO 28

5.4.1 Critère d'exposition de la population en général et des travailleurs au CO **28**

5.4.2 CO dans le roc fracturé **28**

5.4.3 CO dans les locaux du pavillon **34**

5.4.4 CO dans l'air extérieur (Exposition des travailleurs) **35**

6. CONCLUSIONS 41

7. RECOMMANDATIONS 43

8. APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS ET RETOMBÉES ÉVENTUELLES 45

9. LISTE DES ARTICLES SCIENTIFIQUES PRODUITS DANS LE CADRE DE LA PRÉSENTE SUBVENTION 47

10. RÉFÉRENCES 49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristique des différents sautages suivi dans le cadre de notre étude pour l'agrandissement du Pavillon Vandry à L'Université Laval 17

Tableau 2 : Distance de parcours par advection des gaz dans le roc pour chaque sautage dans un délai de 30 minutes après chaque dynamitage 32

Tableau 3 : Données détaillées sur les sautages 33

Tableau 4 : Teneurs en CO à 1 mètre au-dessus des débris de dynamitage selon le temps de mesure ... 37

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du pavillon Vandry et du terrain à dynamiter (Google 2007)..... 10
Figure 2 : Vue en plan des sautages et des stations de mesures permanentes extérieures et intérieures..... 12
Figure 3 : Schéma d'aménagement d'un forage en puits multi-niveaux..... 13
Figure 4 : (a) Prise de mesure de concentration en CO dans un puits avec un détecteur MONOXOR II (b) détecteur MONOXOR II..... 14
Figure 5 : Instrumentation pour la prise de pressions dans les puits pendant les sautages..... 15
Figure 6 : (a) Appareil BaroLufft pour les mesures de pressions absolues dans l'air ambiant et extérieur (b) Appareil PX-30DI pour des mesures de pressions différentielles dans les puits. 15
Figure 7 : Coupe typique de la charge d'explosifs dans les forages..... 18
Figure 8 : Relevé structural au site de dynamitage..... 19
Figure 9 : Examen du till silteux recouvrant le mudstone gris noir de la formation de Sainte-Foy..... 20
Figure 10 : Courbe granulométrique des dépôts superficiels au site de dynamitage..... 20
Figure 11a : Variation des pressions enregistrées au puits A-p à la suite du sautage 1B indiquant la création de vides et l'aspiration subséquente des gaz émis..... 21
Figure 12 : Variation des pressions enregistrées au puits A-p à la suite du sautage 1C indiquant un effet combiné d'injection de gaz et de succion créé par la création de vides. 23
Figure 14 : Influence des opérations de forage au site 4B sur la pression d'air dans les puits avoisinants..... 25
Figure 15 : Influence des opérations de forage au sautage 7C sur la pression d'air dans les puits F-m et E-p et 5-p avoisinants et influence de la pression atmosphérique sur la pression observée à ces puits..... 26
Figure 16 : Variation des pressions d'air extérieure et à l'intérieure du Pavillon Vandry..... 27
Figure 17 : Concentrations en CO mesurées dans les puits d'observation en fonction de leur distance par rapport au sautage..... 30
Figure 18 : Concentrations en CO observées dans le puits B localisé dans le sautage 1C suite à sa détonation (les matelas pare-éclats n'ont pas été enlevés et le roc brisé n'a pas été excavé immédiatement après le sautage)..... 30
Figure 19 : Concentrations en CO observées dans les puits 3, 4 et 5 localisé à 1,5 m de la limite du sautage 7A suite à sa détonation (le roc brisé n'a pas été excavé immédiatement après le sautage)..... 31
Figure 20 : Distance de propagation du CO dans le roc en fonction de la charge totale d'explosif des sautages..... 32
Figure 21 : Influence d'une longue face libre sur la propagation des gaz dans le roc fracturé après le sautage 1A..... 34
Figure 22 : Exposition du boutefeu lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats..... 36
Figure 23 : Localisation typique des travailleurs lors des opérations de chantier (Après le sautage 8B)..... 38
Figure 24 : Exposition d'un foreur au CO lors du forage à la suite du sautage 4A..... 39
Figure 25 : Exposition d'un foreur au CO lors du forage à la suite du sautage 8B..... 39
Figure 26 : Mesure des concentrations en CO lors des opérations d'excavation par la pelle..... 35
Figure 27 : Localisation de la pelle lors des travaux d'excavation du sautage 7B..... 35

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Journaux de forage

ANNEXE B Concentrations maximales en CO mesurées dans le roc après les différents sautages

ANNEXE C Concentrations maximales en CO mesurées dans l'air ambiant extérieur après les différents sautages

ANNEXE D Concentrations maximales en CO mesurées dans l'air ambiant des locaux du pavillon Vandry suite aux différents sautages

1. INTRODUCTION

L'étude de la migration du CO associée aux travaux aux explosifs en milieu urbain densément peuplé a été sollicitée par le milieu de la santé et de la sécurité du travail. Cette étude est la suite logique de travaux publiés par notre groupe de recherche qui visait à identifier la quantité de CO produit par les explosifs, à identifier les mécanismes responsables du transport du CO dans le roc fracturé et à proposer des méthodes de mitigation pour limiter la production et le transport du CO en périphérie des sites de sautage. La présente étude permettra d'évaluer la migration du CO et l'exposition de la population dans un édifice adjacent aux sautages et des travailleurs en condition réelle de chantier. Elle permettra de statuer sur le mode d'opération

Après une revue de littérature et une présentation des objectifs et la méthodologie de la recherche nous discuterons de la géologie du site, des mesures de pressions effectués dans le réseau de surveillance et dans l'air ambiant pendant les sautages et des mesures de pressions post-sautage dans le réseau de surveillance, l'air extérieur et l'air ambiant. Les mesures de concentration en CO dans les locaux de l'édifice adjacent aux sautages seront comparées au critère d'exposition au CO de la population en général. Les mesures de CO dans l'air extérieur seront comparées au critère d'exposition pour les travailleurs. Des conclusions seront faites en termes d'observation de terrain, d'exposition des travailleurs et d'opération de terrain. Des recommandations sont également faites en relation avec les opérations de terrain, la mitigation de l'exposition des travailleurs, les normes d'exposition existantes et les travaux futurs.

2. PROBLÉMATIQUE ET ÉTAT DES CONNAISSANCES

En 1998, le « National Institute of Occupational Safety and Health » (NIOSH) américain du émettre une note d'identification de danger (Hazard ID) concernant les possibilités d'exposition au monoxyde de carbone (CO) secondaire à l'utilisation d'explosifs dans un chantier de construction (NIOSH, 1998). Cette note donnait suite à un incident survenu aux États-Unis ayant impliqué 3 travailleurs. Cet accident a permis de montrer comment le CO généré par les explosifs pouvait migrer sous terre et s'accumuler dans les espaces clos. Depuis, quelques études sur le sujet ont été menées.

Brent et Smith (1999) ont montré, par des mesures de pressions de l'air généré dans un puits situé derrière un sautage, qu'il n'y a pas de pénétration de gaz, mais bien des sous-pressions attribuées à l'expansion engendrée par la fracturation du roc lors du dynamitage. Il propose d'utiliser un ratio du nouveau volume des vides ayant permis la réduction de la pression dans les puits d'observation sur le volume des vides initial de la roche en fonction de la distance du dynamitage comme indicateur de dommage dans le roc.

Harris et al. (2003) ont effectué une expérience dans une sphère de 3,7m de diamètre pour identifier les facteurs pouvant accroître le niveau de CO associé à la détonation de plusieurs explosifs commerciaux. Les produits libérés par l'explosion ont été mesurés dans une atmosphère d'argon puis dans l'air. La conclusion ressortant de cette étude est que la production de CO la plus importante peut être associée à la combustion incomplète de l'explosif ou à une atmosphère pauvre en oxygène.

Au Québec, il y aurait entre 1000 et 1500 travaux de dynamitage à proximité de résidences, de tunnels ou d'édifices (Pierre Tellier, Castonguay et Frères Ltée, communication personnelle). Le dynamitage s'effectue avant les travaux d'excavation nécessaires à la mise en place de services publics tels que les réseaux d'aqueduc et d'égouts, la construction de piscines, de résidences ou d'édifices. Lors d'une explosion, les solides qui composent l'explosif se transforment très rapidement en gaz qui occupent un grand volume. Les gaz générés sont la source d'énergie qui permet de briser les roches lors du dynamitage du roc. Ils se composent généralement d'eau, d'azote, de dioxyde de carbone, de CO, d'hydrogène, d'oxyde nitreux, et sous forme de traces, de méthane et d'éthane. La proportion de ces composés dans les gaz générés est fonction du type d'explosif et des conditions sous lesquelles ces explosifs sont utilisés. Pour la plupart des explosifs utilisés pour ces tâches, le CO représente de 1 à 3% du volume des gaz générés et il y a en moyenne production de 10 à 24 L de CO par Kg d'explosif détoné. Lors de la détonation, les gaz s'échappent en partie vers l'atmosphère et empruntent divers chemins créés par l'explosion dans les roches encaissantes. Les gaz se déplacent préférentiellement dans les endroits où la circulation est la plus facile i.e. les zones de plus forte perméabilité (fractures dans le roc, dépôts meubles perméables).

Cinq cas d'intoxication ont été répertoriés dans des habitations au Québec (Aylmer [Dupont, 1991], Beauport [Auger et al., 1999], Rivière-du-Loup et 2 incidents à Rock Forest). Les gaz se sont infiltrés dans les résidences et les concentrations de CO mesurées dans les maisons contaminées ont atteint jusqu'à 1040 ppm. Des résidents ont été fortement incommodés et six

d'entre eux ont même été suffisamment intoxiqués pour être soumis à un traitement hyperbare. Dans chacun de ces cas d'intoxication involontaire, la méconnaissance du problème et le caractère insidieux des intoxications sont deux éléments qui ont joué un rôle important. Ces deux mêmes facteurs et le nombre important des dynamitages réalisés à proximité d'ouvrages de génie civil où d'habitations au Québec chaque année, nous laissent croire que les cas répertoriés sont potentiellement plus important, autant pour les travailleurs que pour la population générale.

Les différents chemins empruntés par les gaz dans les incidents québécois sont : les conduits souterrains brisés par le sautage, le remblai des tranchées de routes ou des entrées de services des maisons, le roc fracturé créé entre les maisons ou entre les maisons et la route par les sautages (Martel et al., 2004a). Des essais de sautage effectués sur le terrain dans la région de Rock Forest et Beauport (Québec) grâce entre autres au support financier de l'IRSST ont aussi démontré que : (1) La géologie structurale de la formation de roc (schistosité, famille de joints, fractures) est responsable de la direction et l'étendue de la migration du CO; (2) le confinement du roc peut affecter la quantité de gaz migrant dans le roc fracturé ; (3) des concentrations significatives de CO peuvent persister dans le roc fracturé 7 jours après les sautages; (4) le mécanisme responsable de la migration du CO immédiatement après un sautage est l'advection et la distance de migration du CO a varié de 8 m dans le roc fracturé jusqu'à 20 m dans la tranchée de la route; et (5) une migration du CO par diffusion allant de 15 m dans le roc fracturé jusqu'à 30 m dans la tranchée de la route s'est produite pendant les 3 jours suivant les travaux aux explosifs. Des méthodes de mitigation ont également été proposées pour limiter la production et la propagation des gaz (Martel et al., 2004b) et des actions sont présentement en cours au Québec pour adapter la réglementation à ces nouvelles connaissances afin de protéger les résidents et les travailleurs.

Dans le but d'éliminer les risques d'intoxication des résidents et des travailleurs, des procédures spéciales de travail ont été développées par Martel et al., 2004b. Trois différentes procédures furent testées en champ où les conditions géologiques sont favorables à la migration du CO (ardoise confiné par plus de 0.5 m de till argileux). L'étude a démontré qu'afin de limiter efficacement la propagation de CO, les entrepreneurs devraient suivre les procédures suivantes : (1) l'excavation complète des dépôts meubles avant le forage et la mise en place de matelas pare-éclats lors des sautages ; (2) utilisation de petites charges d'amorce (primer charge) dans les trous de forage ; (3) l'excavation complète des débris (roc brisé) après chaque sautage tout en laissant en place un épaulement pour éviter la projection de débris lors du sautage subséquent; (4) terminer la séquence des sautages par l'entrée de services privée et excaver immédiatement les débris en commençant par la jonction de cette tranchée avec la rue. Aussi, dans le but de prévenir les intoxications au CO dues aux travaux aux explosifs dans les milieux résidentiels, les entrepreneurs devraient informer la population des effets du CO sur la santé, leur fournir un avertisseur de CO pendant toute la durée des travaux et leur expliquer le comportement à adopter en cas de déclenchement de l'avertisseur pour toute résidence située à 30 m et moins de la zone des travaux aux explosifs, équivalent à un périmètre de 60 m de côté. De plus, cette même procédure s'applique à des résidences reliées à des conduits ou des tranchées de services publics souterrains et localisées à une distance linéaire de 75 m et moins des travaux aux explosifs. Une autre technique intéressante testée a été l'utilisation d'un camion vacuum pour pomper l'air interstitiel immédiatement après chacun des sautages. Cette méthode alternative bien qu'intéressante requérait un suivi de la concentration en CO dans l'air pompé. Cette technique

n'était pas aussi efficace et sûre que celle qui impliquait l'excavation des matériaux. Cette étude a également permis de montrer que certaines des procédures testées n'ont pas semblé avoir limité significativement la production ou la propagation du CO. Notamment, (1) la ventilation du roc brisé en l'excavant puis en le remblayant avant le sautage suivant; (2) l'installation d'évents dans le roc entourant une partie du sautage au contact de l'entrée de service et de la rue; (3) l'utilisation d'explosifs de classe 1.

Une autre expérience de Harris et al. (2005) visait, à partir d'un essai de tir dans un trou de forage hautement confiné, à mesurer dans des puits d'observation avoisinant l'impulsion de pression radiale généré lors de la propagation de l'onde de choc afin de déterminer s'il existe une relation entre l'impulsion de pression et les mesures de concentrations de CO subséquentes. Les conclusions de cette étude n'ont pas permis d'établir une relation entre la vitesse maximale des particules ou la pression mesurée dans les puits d'observation et la migration subséquente du CO. L'étude a par contre démontré que les variations de pression barométrique n'influencent pas la migration en sous-surface du CO. Cependant, l'application de pression négative aux puits situés entre le dynamitage et le point d'observation s'est avérée très efficace pour réduire la concentration de CO emprisonné dans le sol comme déjà démontré par l'étude de Martel et al. (2004b). Cette étude révèle que l'excavation des débris du sautage ne semble pas être très efficace pour permettre au CO ayant déjà migré au-delà de la zone de cassure de s'échapper, mais permet au CO directement dans la zone de cassure d'être libéré.

Les résultats de ces travaux antérieurs démontrent que des efforts considérables ont été faits en recherche pour comprendre le déplacement des gaz lors de travaux de dynamitage dans un milieu résidentiel. Des travaux sont requis en milieu urbain densément peuplé pour documenter l'importance du problème de la contamination de l'air par le CO dans les espaces clos et les édifices ou les habitations voisines suite à des travaux de dynamitage. Ces travaux serviront en même temps à évaluer l'exposition des travailleurs de la construction qui retournent sur le chantier après les délais habituellement suivis et prescrits par les articles 4-8.1 à 4-8.4 dans le code de sécurité pour les travaux de construction (1987). Toutes ces études sont unanimes et recommandent fortement l'installation de détecteur de CO dans les bâtiments avoisinants ainsi que dans les espaces clos à proximité.

3. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Cette activité de recherche a comme objectifs : 1) de documenter l'importance du problème de la contamination de l'air des espaces clos et des édifices ou habitations voisines par le CO suite à des travaux de dynamitage dans un site en milieu urbain; 2) d'examiner la production de CO associée au site de dynamitage et l'exposition des travailleurs qui retournent sur le chantier après les délais prescrits; et 3) d'évaluer, suite aux explosions, le déplacement des gaz et la zone influencée par les gaz de détonation dans le roc fracturé, les espaces clos, les infrastructures enfouis, et les édifices voisins. Les données recueillies serviront aussi à évaluer la norme de temps d'attente prescrite de 10 minutes ou plus pour le retour des travailleurs sur le chantier après le dynamitage et la vérification du boutefeu à l'article 4-8.2 du code de sécurité pour les travaux de construction R-6 (1987) de la CSST si des détonateurs électriques sont utilisés. En pratique, ce temps d'attente est de l'ordre de 2 minutes après les vérifications d'usage du boutefeu lorsque des détonateurs non électriques sont utilisés.

De plus, l'étude devrait aider à statuer sur les conditions (conditions géologiques, distance des ouvrages de génie civil et d'habitations…) pour lesquelles les entrepreneurs en dynamitage devraient prendre des mesures spéciales lors de travaux de dynamitage tels que : la mise en place de détecteurs de CO dans les édifices avoisinants, la vérification des concentrations de CO au niveau des trous d'homme situés à proximité, et évaluer un temps d'attente suffisant avant le retour des travailleurs sur le chantier.

4. MÉTHODOLOGIE

Pour répondre aux objectifs, il est nécessaire d'effectuer des tests à l'échelle du terrain sur un site de dynamitage et de recueillir des mesures de concentrations en CO et de pression grâce à un réseau de surveillance temporaire dans des forages et les édifices voisins des travaux de dynamitage. Un réseau de surveillance et d'échantillonnage a donc été mis en place en périphérie du terrain dynamité. Avant l'instrumentation, un relevé de terrain sur des affleurements de roc ont permis d'évaluer le degré de fracturation du massif rocheux et de déterminer la direction et le pendage des fractures et joints dans le roc. Le réseau d'échantillonnage est constitué de puits forés dans le roc qui sont instrumentés sur 2 à 3 niveaux à l'aide de pointes de prélèvement de gaz et de sondes à pression. Les puits sont disposés en fonction de l'orientation des fractures et de façon plus intensive entre l'ouvrage de génie civil existant et le site de dynamitage. Le suivi des concentrations en CO, et la mesure de la pression s'effectue tout au long des travaux de dynamitage en série. Des mesures de concentration en CO ont également été prises au-dessus du déblai et à proximité des travailleurs de la construction (boutefeu, foreur et opérateur de pelle mécanique). Les concentrations en gaz ont été mesurées à plusieurs endroits dans les locaux ciblés de l'édifice avoisinant le dynamitage, dans les puits de surveillance aménagés en périphérie de lieu de dynamitage et à proximité des travailleurs au moyen d'un détecteur de CO. Les mesures de pression relative ont été effectuées autant dans le réseau de puits de surveillance que dans l'édifice voisin. Des mesures de pression barométrique ont été prises dans l'air extérieur, le réseau de surveillance et l'air ambiant de l'édifice. Sur le site d'étude, des relevés avaient été prévus dans des structures enfouies mais malheureusement ces structures avaient été enlevées avant le début de nos travaux de surveillance.

4.1 Localisation du site d'étude

Les pièces d'équipement nécessaires pour la réalisation du projet ont été acquises en 2005 puis assemblées et testées sur le terrain afin de s'assurer de leur bon fonctionnement et de leur calibrage. Malheureusement, dans la nuit du 7 au 8 juin 2005, suite à un test de terrain, l'équipement nécessaire à la réalisation du projet de recherche a été volé. En effet, le camion de location, la roulotte de terrain ainsi que tout son contenu ont été volés dans le stationnement de l'Hôtel Days Inn de Ville d'Anjou. Évidemment cet incident a grandement hypothéqué le projet puisque bien des énergies ont été perdues pour faire la réclamation aux assurances, magasiner et commander les pièces, reconstruire les montages et les équipements de l'infrastructure qui ne se retrouvent pas en magasin (construction maison).

En mai 2006 nous avons identifié un site potentiel pour faire l'essai de terrain à Montréal. Ce terrain était situé à l'Université McGill tout juste voisin du complexe des sciences de la vie. Une excavation nécessitant l'usage d'explosifs était prévue en juin. Le terrain s'étendait en surface sur 30 m par 30 m et devait être excavé par dynamitage sur une profondeur de 10 m et moins. Il était bordé par un édifice, un stationnement, un tunnel piétonnier et des infrastructures enfouis tel qu'un égout pluvial. La firme de dynamitage (Difotek) et l'entrepreneur général en construction (Pomerleau) ont été contactés et ne voyaient pas de problèmes à ce que soit fait le suivi du CO et des pressions en autant que ces travaux ne ralentissent pas l'avancement du projet. Nous avons

également rencontré le chargé de projet à l'Université Mc Gill (M. Jean Ouellet) qui ne voyait pas d'inconvénients mais a demandé à ce qu'une lettre soit rédigée à l'entrepreneur général afin de s'assurer que ce dernier ne fasse pas de réclamations supplémentaires en relation avec ce travail de recherche. Ce projet de construction fut finalement reporté à une date ultérieure mais un autre projet était en voie de réalisation à l'Université Mc Gill. Nous avons tenté d'obtenir les autorisations nécessaires de l'Université pour se greffer à ce projet mais malheureusement l'Université Mc Gill ne désirait pas notre présence sur ce chantier de peur que l'on ralentisse les travaux.

Finalement, une autre opportunité s'est offerte sur le chantier d'agrandissement du pavillon Vandry sur le campus de l'Université Laval. Le site d'étude de 50 m x 50 m et dont l'excavation atteindra 5 m est donc localisé à Québec sur le campus de l'Université Laval, 10 km à l'ouest du centre de la ville de Québec (Figure 1). Une visite initiale du chantier a permis de prendre connaissance des conditions de terrain tels que le type de roc, le type et l'épaisseur des dépôts meubles, la présence d'infrastructures enfouis ainsi que le potentiel de migration du CO dans le bâtiment. Aussi, des locaux d'intérêts à l'intérieur du pavillon ont été identifiés en relation avec l'échantillonnage du CO et la mesure des pressions dans l'air ambiant.

Figure 1 : Localisation du pavillon Vandry et du terrain à dynamiter (Google 2007)

4.2 Instrumentation du chantier

4.2.1 Relevés géologiques

La reconnaissance de la géologie comprend un relevé de géologie structurale qui consiste en la prise de mesures de la direction et du pendage des roches en place, des joints et des fractures et la prise d'un échantillon de 1.2 kg de dépôts meubles qui recouvre le roc. Cet échantillon a été analysé pour évaluer la distribution granulométrique des particules et calculer sa perméabilité.

4.2.2 Aménagement des puits d'observation

Onze forages numérotés par ordre alphabétique de A à F et par ordre numérique de 1 à 5 ont été aménagés avec des puits sur le site (Figure 2). Les forages A à F sont en plein cœur des excavations. Les forages 1 à 5 se retrouvent entre l'excavation projetée et l'édifice. Les forages 1 à 5 ont été instrumentés et font partie d'une série de trous espacés à tous les 15 cm. Cette série de forages a été effectuée afin d'éviter la pénétration des fractures créées par le dynamitage au-delà de cette ligne. Une série de 5 forages non aménagés séparent chacun des forages aménagés en puits. Une distance moyenne de l'ordre de 1,8 m sépare les forages aménagés. Les critères qui ont conditionné l'emplacement des forages sont par ordre d'importance: la présence de l'édifice existant, l'orientation des joints et des fractures associées à la formation rocheuse, l'encombrement du chantier et la surface couverte par les patrons de sautage.

Chacun des forages d'un diamètre de 3 pouces (7,5 cm) a été aménagé dans le roc avec trois puits localisés à des profondeurs correspondant à: Surface (s) de 1.1 à 1.5 mètres, Moyen (m) de 2.5 à 2.95 mètres et Profond (p) à 4.2 mètres. Un exemple d'aménagement d'un forage en puits multi-niveaux est illustré à la figure 3. Les puits se compose d'un tube ouvert en acier inoxydable (diamètre extérieur de ⅜ pouce) connecté à sa base à une crépine de 5 cm de longueur formée d'un grillage en acier inoxydable (100 mesh). L'embout supérieur est fermé à l'aide d'un Flextube (diamètre intérieur de ⅜ pouce) en polyéthylène plié de manière à emprisonner les gaz dans le puits d'échantillonnage et permettre une lecture rapide des concentrations en CO (figure 4). Chaque crépine est entouré d'un sable filtre primaire (#20 de Temisca Inc.) et d'un sable filtre secondaire (#50 de Temisca Inc.) sur des longueurs moyennes respectives de 30-40 cm et 10 cm. De la boue de bentonite comble l'espace annulaire entre le sable filtre secondaire et la surface. Tous les puits peuvent servir pour la mesure des pressions ou des concentrations en CO.

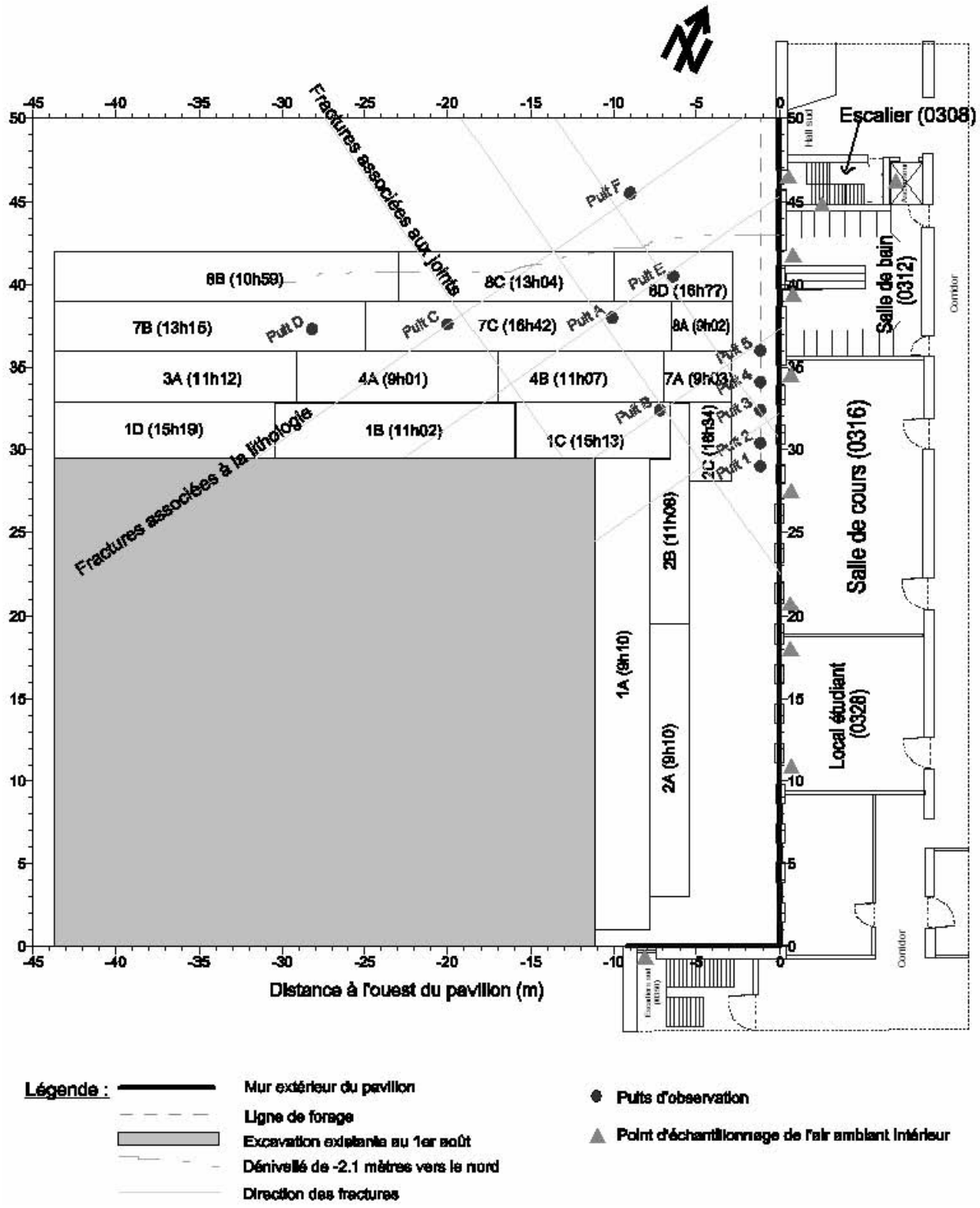


Figure 2 : Vue en plan des sautages et des stations de mesures permanentes extérieures et intérieures

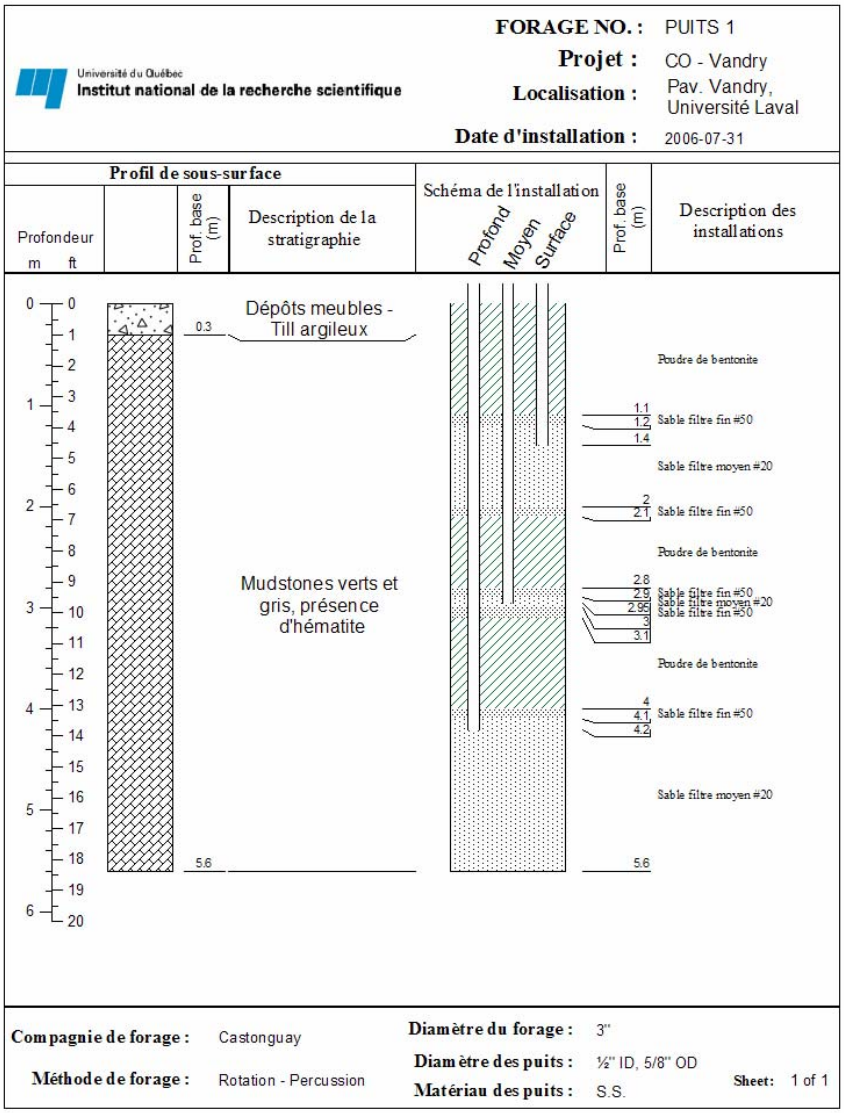


Figure 3 : Schéma d'aménagement d'un forage en puits multi-niveaux

4.2.3 Mesures des concentrations en CO

Les mesures de concentrations en CO ont été prises à des endroits fixes dans les puits (figure 4a) et dans l'air ambiant des locaux cibles du pavillon Vandry mais aussi dans l'air extérieur à différents endroits à proximité des lieux de sautage. L'appareil de mesure utilisé était l'analyseur électronique de gaz (Monoxor II de Bacharach) (Figure 4b) ayant une plage de lecture de 0 à 85,000 ppm et une précision de ±10 ppm ou de ± 5% de la valeur mesurée. Les points d'échantillonnage du CO dans l'air ambiant du pavillon Vandry sont représentés à la figure 2 par les triangles alors que les puits correspondent à des ronds.

La prise des mesures de la concentration en CO sur le terrain a été faite à différents endroits et à différents moments dans :

(1) L'air interstitiel des puits en séquence en commençant par les puits les plus près du sautage et les plus susceptibles à la contamination. Les mesures s'effectuent selon la séquence Surface-Moyen-Profond car les gaz persistent moins en surface qu'en profondeur à cause de l'effet de dilution dans l'air extérieur;
(2) l'air interstitiel des puits contaminés dans un intervalle de temps de ½ à 1 heure jusqu'au sautage suivant;
(3) l'air interstitiel de tous les puits chaque matin afin d'obtenir les teneurs de fond ou résiduelles en CO du sautage de la veille;
(4) l'air ambiant du pavillon Vandry dans les locaux situés à proximité des sautages. Les mesures ont été prises à 11 sites (Figure 2) et le plus souvent au plancher, au plafond et au centre du mur ouest qui fait face au chantier;
(5) l'air extérieur près du boutefeu à quelques reprises à son retour sur le site de sautage, entre autres lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats et lors de l'excavation des débris de roc;
(6) l'air extérieur près du foreur qui effectue des travaux de sondage à quelques reprises à son retour sur le site après le sautage;
(7) l'air ambiant dans la cabine de l'opérateur de la pelle mécanique à quelques reprises à son retour sur le site après le sautage ou près de la pelle mécanique.

La différence de pression entre l'air ambiant des locaux localisés à proximité de la zone de roc dynamité et l'air extérieur ou l'air interstitiel dans le roc peut indiquer le mouvement des gaz. Lorsque la pression intérieure du bâtiment est inférieure à la pression extérieure et interstitiel dans le roc, l'air extérieur et du roc est susceptible de s'infiltrer dans le bâtiment. Seulement les concentrations en CO les plus élevées dans les puits ont servi à la confection des cartes de répartition du CO (annexe B).

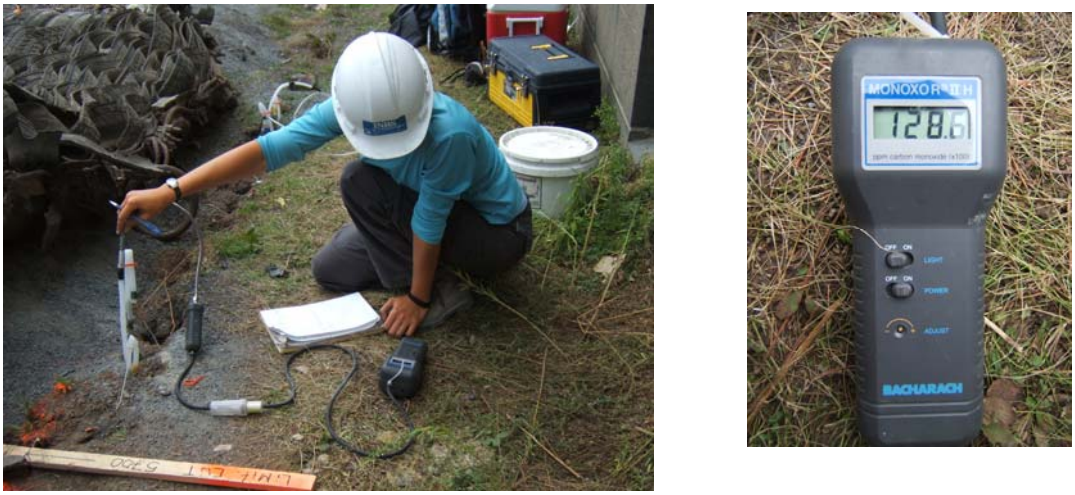


Figure 4 : (a) Prise de mesure de concentration en CO dans un puits avec un détecteur MONOXOR II (b) détecteur MONOXOR II

4.2.4 Mesures des pressions pendant les sautages

Les pressions résultant de la détonation sont captées aux différents puits de façon à comprendre les directions de migration des gaz dans la roche et la connectivité des fractures. Les capteurs de pressions (modèle GP:50 #311-C-SZ-10/AA de Inter Technology inc.) étaient utilisés à cette fin (Figure 5). Deux différents modèles pouvaient cibler des intervalles de pressions en fonction de la proximité du puits par rapport au sautage : -15 à +60 PSIG± 0.05 PSIG et -15 à +15 PSIG ± 0.02 PSIG. Ils sont reliés à un enregistreur de données (CR-10X de Campbell Scientific) capable d'effectuer 16 acquisitions par seconde.

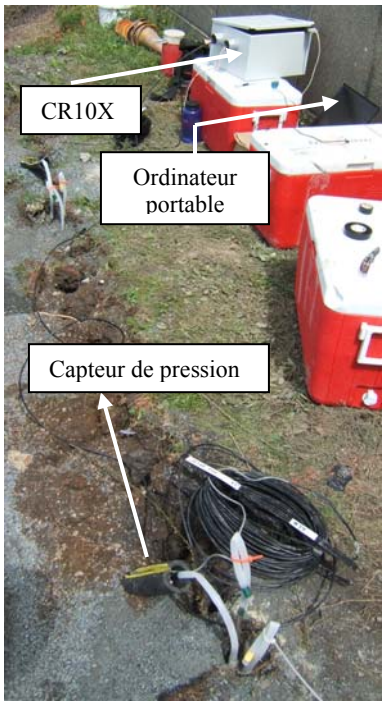


Figure 5 : Instrumentation pour la prise de pressions dans les puits pendant les sautages

4.2.5 Mesures des pressions après les sautages

Un relevé des pressions post-sautages de faibles amplitudes permet de comprendre les phénomènes qui régissent la migration des gaz à la suite d'un sautage. Ces pressions ont été mesurées dans quelques puits, dans l'air extérieur et dans l'air ambiant de quelques locaux du Vandry. Deux types de capteurs de pressions ont été utilisés. L'appareil BaroLufft 0.0 à 120.0 kPa ± 0.2 kPa alimenté par une batterie 12 volts (figure 6a) a servi à mesure de pressions absolues dans l'air ambiant de l'édifice et l'air extérieur. Le PX-30DI -15 à +15 kPa ± 0.04 kPa (figure 6b) a servi à mesurer les pressions relatives dans les puits. Les données en provenance de ces deux appareils sont enregistrées par un système d'acquisition de données (Dickson ES120).

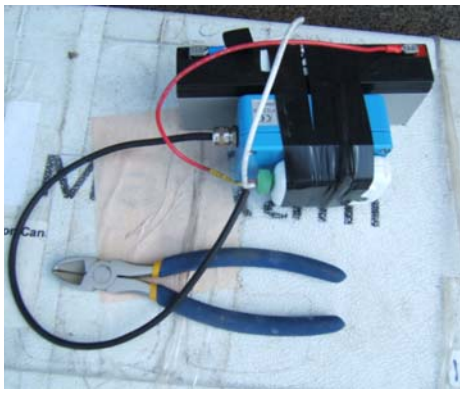


Figure 6 : (a) Appareil BaroLufft pour les mesures de pressions absolues dans l'air ambiant et extérieur (b) Appareil PX-30DI pour des mesures de pressions différentielles dans les puits.

4.2.6 Opération de dynamitages

Chacun des 16 sautages qui ont fait l'objet d'un suivi est localisé à la figure 2 et leur identification alphanumérique correspond au jour 1 à 8 du mois d'août et à la succession des sautages dans la journée (A à D). Par exemple, le sautage 2A est le premier (A) qui a été fait dans la journée du 2 août (2). En moyenne, la firme Castonguay et Frères Ltée, chargée des travaux de forages et sautages, effectuait trois sautages par jour. Le suivi des dynamitages s'est poursuivi sur une période de 6 jours. Il est à noter que l'excavation était maintenue à sec pendant toute la durée des travaux de dynamitage au moyen d'une pompe installée dans le coin sud est de l'excavation. L'absence d'eau dans le roc assure une meilleure efficacité des explosifs. Le niveau de la nappe se situait à plus de 6 m de profondeur sous la surface du terrain initial.

Un gélatine aqueuse de nitrate d'ammonium et de diesel (Apex^{MC} Super 4000 de Orica inc.) a été placée au-dessus d'une charge amorce de type nitroglycérine extra-gélatineuse (Powerfrac^{MC} de Orica inc.) connectée à un détonateur non-électrique (Handidet de Orica inc.). Les deux charges explosives de 6,5 cm de diamètre offrent une excellente résistance à l'eau et les gaz produits sont de type classe 1. L'Apex^{MC} Super 4000 est préféré à l'Apex^{MC} Ultra 40 dans les ouvrages réalisés à proximité de bâtiments afin de limiter les vibrations. L'Apex^{MC} Ultra 40 est une émulsion inverse (mélange de deux phases liquides) alors que l'Apex^{MC} Super 4000 est une gélatine aqueuse (un mélange d'une phase liquide et d'une phase solide enrobé d'un gel). La détonation de l'Apex^{MC} Super 4000 est moins rapide (4500m/s) et moins efficace que la détonation de l'Apex^{MC} Ultra 40 (5200 m/s) car le feu circule plus difficilement dans la gélatine aqueuse ce qui a le désavantage de générer une plus grande quantité de gaz mais a l'avantage de provoquer des vibrations de moindre importance. Le paramètre de vibration est très important à contrôler dans les dynamitages à proximité des ouvrages de génie civil afin d'éviter des dommages aux infrastructures existantes.

Le chargement de trous de forage se composait de 2 à 3 étages d'une combinaison de 1/4 à 1/3 de bâton de Powerfrac^{MC} et de 1/3 à 1/2 bâton d'Apex^{MC} Super 4000 (Figure 8). Le nombre d'étage et la longueur des bâtons étaient fonction de la qualité du roc à fracturer et de la proximité du bâtiment existant. L'espacement entre les trous de forages pour la réalisation des sautages était de 1.2 x 1.5 mètres et le nombre de trou par sautage se situait entre 4 et 24 (Tableau 1). La hauteur de roc à dynamiter était constante à 5 mètres alors que la largeur et la profondeur des patrons de sautage variaient de 2 à 28 mètres pour un volume variant de 50 à 300 m^3 (moyen de 187 m^3) de roc à fracturer par sautage. La masse totale d'explosifs utilisée par sautage variait de 12 à 85 kg ce qui a produit un volume théorique de CO de l'ordre de 230 à 1540 Litres.

Tableau 1 : Caractéristique des différents sautages suivi dans le cadre de notre étude pour l'agrandissement du Pavillon Vandry à L'Université Laval

Sautage	Date	Heure	ΔX	ΔY	ΔZ	Volume de roc dynamité (m^3)	Nbre de forage	Masse de PowerFrac (kg)	Masse d'Apex Super 4000 (kg)	Masse totale d'explosifs utilisés (kg)	Volume théorique de CO produit (m^3 ou $x10^3$ L)	Masse théorique de CO produit (kg)
1A	01-août	9h10	3	28	5	420	19	17,28	31,52	48,80	0,89	0,86
1B	01-août	11h02	12	3	5	180	14	17,58	48,12	65,70	1,16	1,12
1C	01-août	15h13	10	3	5	150	12	21,82	53,09	74,91	1,33	1,29
1D	01-août	15h19	12	3	5	180	14	12,13	36,50	48,63	0,85	0,83
2A	02-août	9h10	2	16	5	160	14	18,18	23,78	41,96	0,79	0,76
2B	02-août	11h08	2	11	5	110	9	16,37	14,93	31,30	0,60	0,59
2C	02-août	16h34	2	5	5	50	4	5,46	9,95	15,41	0,28	0,27
3A	03-août	11h12	20	3	5	300	14	20,00	49,77	69,78	1,24	1,20
4A	04-août	9h01	11	3	5	165	14	25,46	46,46	71,91	1,31	1,27
4B	04-août	11h07	10	3	5	150	12	14,55	19,91	34,46	0,64	0,62
7A	07-août	9h03	5	3	5	75	6	5,46	6,64	12,09	0,23	0,22
7B	07-août	13h15	17	3	5	255	22	30,00	54,75	84,76	1,54	1,50
7C	07-août	16h42	18	3	5	270	18	20,60	28,21	48,81	0,91	0,88
8A	08-août	9h02	5	3	5	75	6	10,91	14,93	25,84	0,48	0,47
8B	08-août	10h59	21	3	5	315	24	21,82	53,09	74,91	1,33	1,29
8C	08-août	13h04	10	3	5	150	12	10,91	14,93	25,84	0,48	0,47
TOTAL						**3005**	**214**	**268,53**	**506,59**	**775,12**	**14,07**	**13,65**

Densité Powerfrac	1,37	g/cm³
Densité Apex Super 4000	1,25	g/cm³
Diamètre bâton Powerfrac et Apex Super 4000	6,5	cm
Longueur bâton Powerfrac et Apex Super 4000	40	cm
Volume bâton Powerfrac ou Apex Super 4000	1327	cm³
Masse explosifs par bâton de Powerfrac	**1,82**	**kg / bâton**
Masse explosifs par bâton d'Apex	**1,66**	**kg / bâton**

Tirées des fiches techniques d'Orica inc.

Vol. théorique de CO produit par masse de Powerfrac = 22,4 L/kg

Vol. théorique de CO produit par masse d'**Apex Ultra 40** = 15,9 L/kg

Densité du CO = 0,97 kg/m³

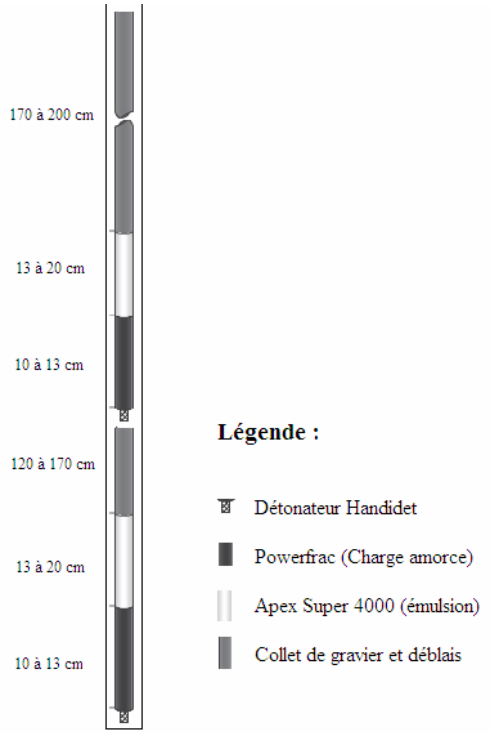


Figure 7 : Coupe typique de la charge d'explosifs dans les forages

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1 Géologie du site

La visite du chantier au pavillon Vandry de l'Université Laval a permis de reconnaître deux lithologies de la Formation de Sainte-Foy; un shale rouge et un shale/mudstone gris/vert (St-Julien, 1995). L'unité géologique présente dans l'excavation où a eu lieu les dynamitages se compose de shale et de mudstone gris/noir. Cette unité contient une faible proportion d'hématite qui lui donne une couleur rouille à la surface. Les relevés du pendage et de la direction du pendage des strates de roc, des joints et des fractures ont été compilés dans un stéréogramme de Schmidt, ce qui a permis d'identifier les principales familles structurales géologiques (Figure 8).

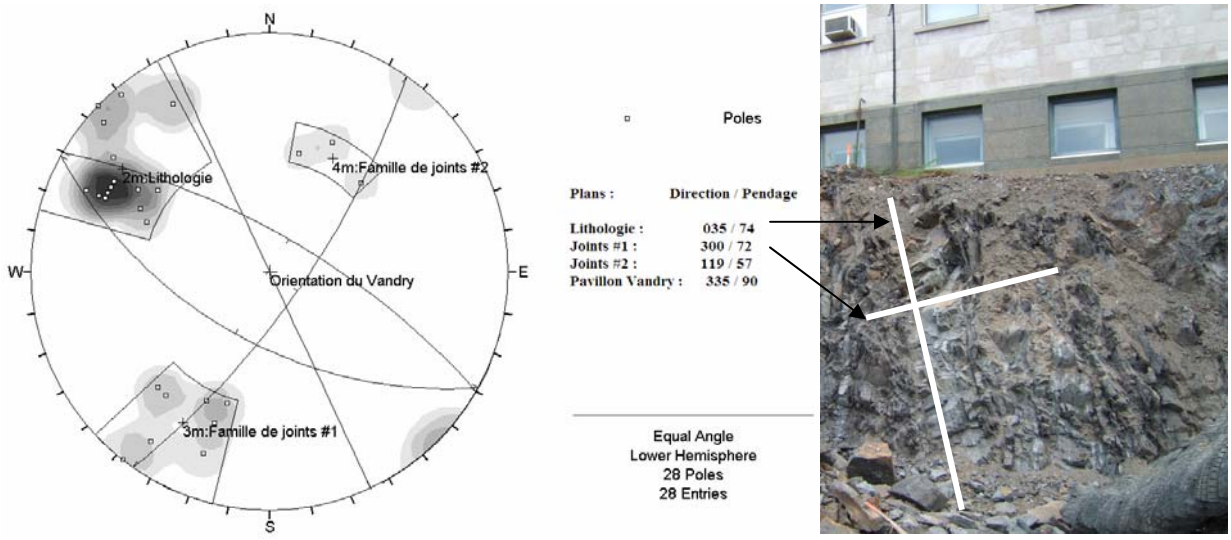


Figure 8 : Relevé structural au site de dynamitage

Les fractures les plus pénétratives et fréquentes sont celles associées à la lithologie. Ces plans de fissuration sont presque verticaux (75º), sont orientés à N035º et recoupent le mur de l'édifice avec un angle de 60º. Cette famille constitue une voie de migration préférentielle des gaz en direction de l'édifice. Deux autres familles de joints ont été inventoriées et possèdent des orientations complémentaires (joints #1 à N300º et joints #2 à N119º) et interceptent donc le pavillon avec le même angle de 35°. Par contre, cette orientation fait en sorte que la famille de joints #1 est plus en mesure de propager les gaz vers la base de l'immeuble car son pendage est descendant en direction du pavillon alors que la famille de joints (#2) plonge vers l'excavation existante et contribue plus à la dilution des gaz dans l'air extérieur. En résumé, les fractures associées à la lithologie contribuent probablement plus significativement à la migration des gaz vers l'immeuble car elles sont plus pénétratives et recoupent plus directement le pavillon (angle de 65°) ce qui diminue la portée (distance) comparativement aux deux autres familles de joints (angle de 35°). D'autres fractures ont été mesurées mais constituent des plans de faiblesse post-dynamitage non pénétratifs qui n'ont pas d'effet longue-portée sur la migration des gaz.

Le dépôt meuble recouvrant le roc fracturé est un till argileux de faible épaisseur variant de 10 à 30 cm sur le site (Figure 9). La granulométrie du till est très étalée (Figure 10), avec des particules de < 1 µm à plus de 8 mm de diamètre et un coefficient d'uniformité (d_{60}/d_{10}) de 152 indiquant la diversité granulométrique de cette formation géologique d'âge quaternaire. La perméabilité du till, estimé par la méthode de Hazen (1911) basé sur le d_{10}, est d'environ 1 darcy (10^{-12} m²) ce qui représente une perméabilité moyenne et indique que le till ne constitue pas une barrière imperméable pour la circulation verticale des gaz lors des sautages.

Figure 9 : Examen du till silteux recouvrant le mudstone gris noir de la formation de Sainte-Foy

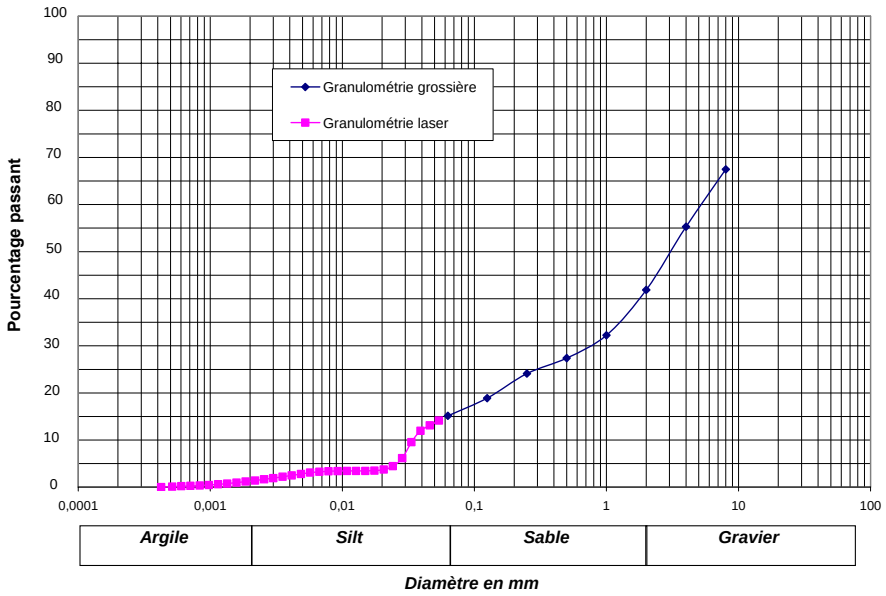


Figure 10 : Courbe granulométrique des dépôts superficiels au site de dynamitage

5.2 Pressions pendant les sautages

Les sautages 1B, 1C, 1D, 2B, 7B et 7C ont été instrumentés pour déterminer les pressions pouvant être créées lors du dynamitage. Parmi ceux-ci, seuls les sautages 1B et 1C montrent des variations de pressions détectables. La marge d'erreur sur ces données est relativement importante en raison du type de capteurs de pression utilisés dont la plage de lecture est étendue (-15 kPa à 60 kPa). Par contre, une moyenne mobile sur les 20 données autour de chaque point permet d'isoler la tendance générale et de tirer des conclusions valables.

Dans le cas du sautage 1B, les pressions négatives observées au sein du roc dans le puits A-p (Figure 11a) sont reliées à l'ouverture du réseau de fractures existant ou à la création de nouvelles fractures lors du dynamitage. Ce puits localisé à 8 m du sautage 1B est en lien directe avec le sautage via la famille de fractures reliée à la lithologie (Figure 2). La création de vides se traduit par une pression négative équivalente à une colonne de 4 pouces d'eau et a pour effet d'aspirer les gaz stockés dans le roc brisé du sautage. Les pressions s'équilibrent 3 minutes après le sautage, ce qui indique une dissipation rapide et un arrêt du phénomène de succion. Les pressions enregistrées suite au sautage 1B au puits D-p (Figure 11b) localisé à 5 mètres du sautage sont positives et atteignent un pic de 2 pouces d'eau qui s'atténue environ 3 minutes après le sautage. Cette poussée des gaz dans le roc est reliée au sautage qui a injecté les gaz dans la famille de joints #1 qui est orientée à N300° et qui serait ouverte et reliée au puits D-p. Il est également possible que cette famille de joints ait été préalablement ouverte par des sautages précédents. La pression au puits B localisé à quelques mètres en direction de l'édifice n'a pas enregistré de variations de pression suite au sautage 1B. Ce résultat était prévisible puisque ce puits se situe en dehors de la zone potentiellement affectée par le sautage. Aucune famille de fractures ne relie directement le sautage au puits.

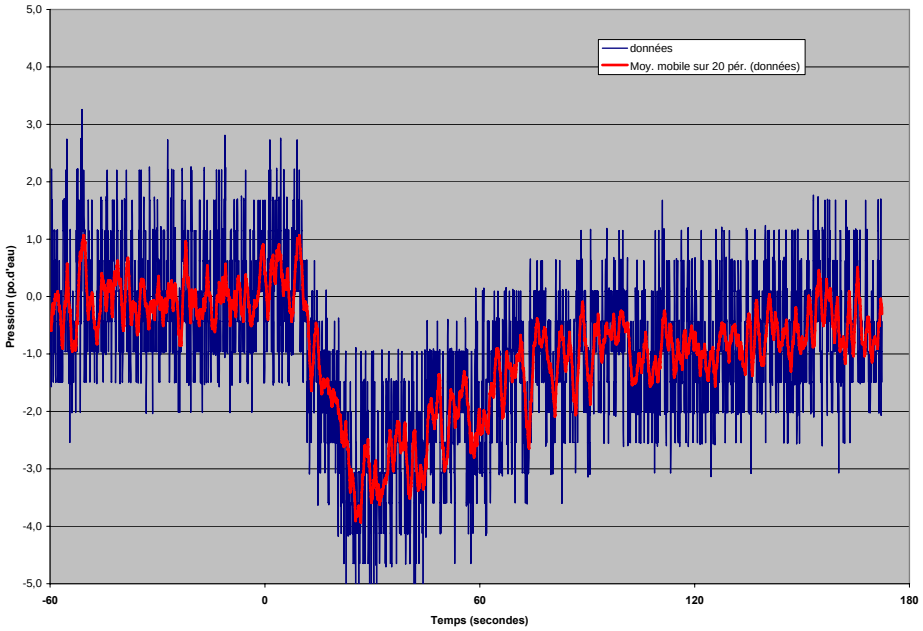


Figure 11a :
Variation des pressions enregistrées au puits A-p à la suite du sautage 1B indiquant la création de vides et l'aspiration subséquente des gaz émis

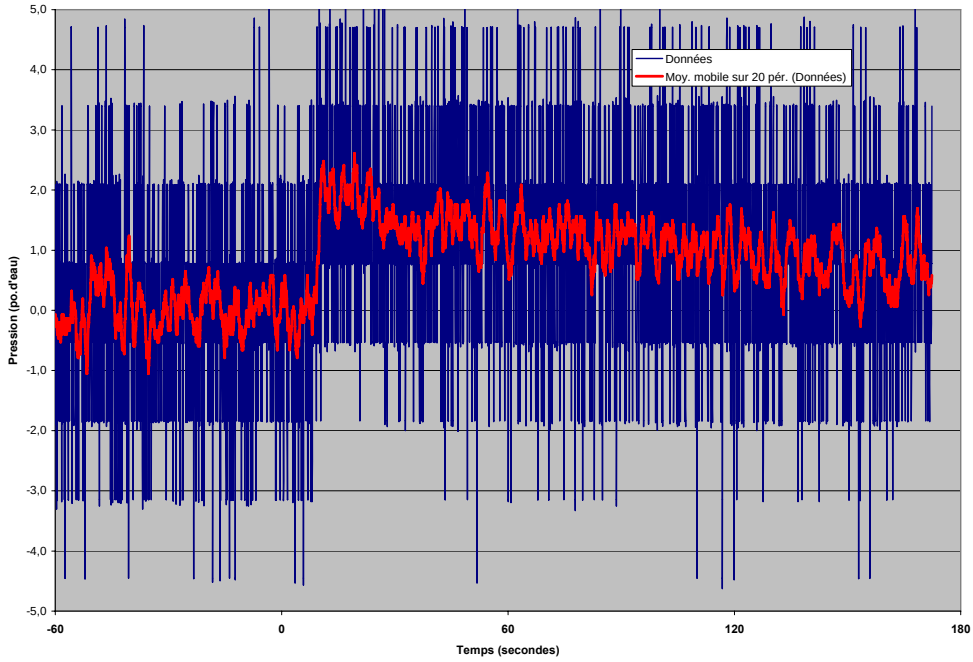


Figure 11b
Variation des pressions enregistrées au puits D-p à la suite du sautage 1B indiquant une injection de gaz dans la famille de joints #1

Les variations de pressions dans certains puits ont été enregistrées lors du sautage 1C. Au puits A-p, localisé à 5 m du sautage, les variations de pressions observées ont présentés des effets combinés d'injection de gaz et de succions occasionnés par la création de vides (Figure 12). Après la détonation, la pression dans le puits est d'abord positive avec un pic de 2 po. d'eau puis devient négative à moins 1 po. d'eau. La pression positive est reliée à l'injection de gaz dans le puits par la famille de joint #1 en lien direct avec le sautage 1C. La pression négative est due à la création de vides causée par l'ouverture des fractures orientées selon la lithologie N300 lors du sautage. Dans les puits 1, 3 et 5 localisés le long de l'édifice à 5 m du sautage 1C aucune variation de pressions n'est perceptible. Malgré la proximité du sautage 1C, aucun de ces puits n'est en lien direct avec le sautage via la famille de joints #1 et la famille de fractures associées à la lithologie. De plus, les puits 1, 3 et 5 étant installés dans une ligne de forages faiblement espacés, toute pression se faisant sentir à cette ligne est susceptible de se répartir dans ces nombreux autres forages le long du mur.

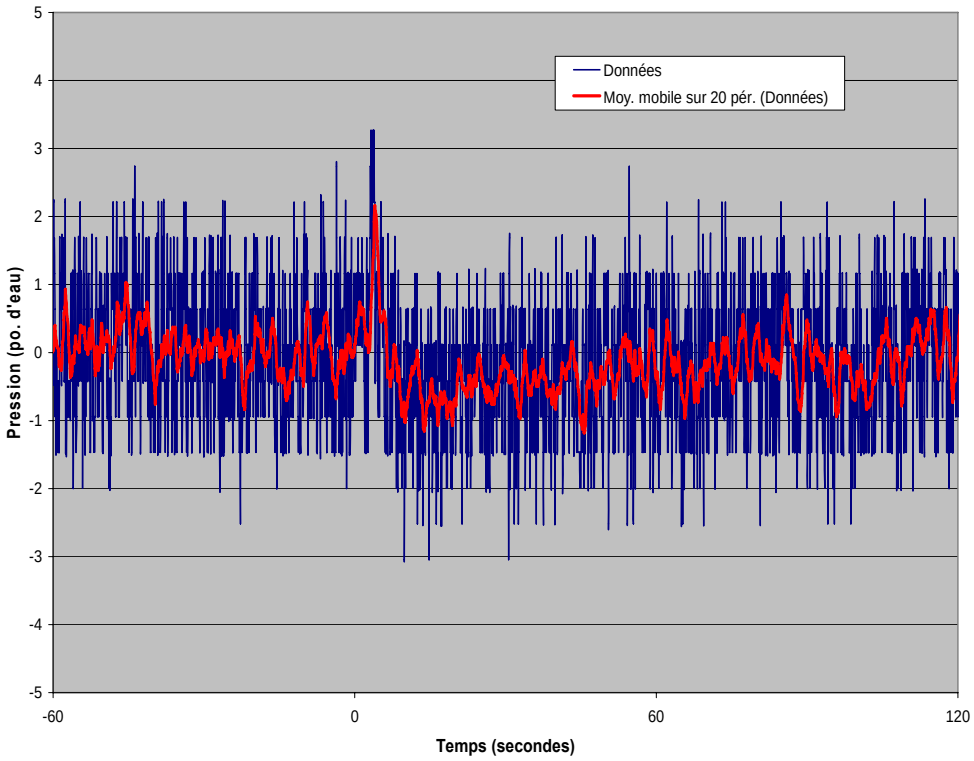


Figure 12 : Variation des pressions enregistrées au puits A-p à la suite du sautage 1C indiquant un effet combiné d'injection de gaz et de succion créé par la création de vides.

Ces deux exemples de sautage démontrent que les joints et les fractures contrôlent la mobilité des gaz produits. Des pressions positives et négatives s'observent dans le roc fracturé autour des sautages mais ces pressions se dissipent rapidement dans les minutes qui suivent le sautage lorsque le roc n'est pas bien confiné. Les variations de pression ont été observées à des distances inférieures à 10 m du sautage et n'ont pas été perceptibles à des distances de l'ordre de 5 m lorsque les familles de fractures et de joints n'étaient pas reliées directement au sautage.

5.3 Pressions post-sautage

Lors de l'étude de terrain de Martel & al. 2002, il a été démontré que le mécanisme initial de migration du CO dans le roc fracturé est l'advection et que la diffusion moléculaire devient dominante après quelques heures. Par contre, cette étude n'a pas pris en compte l'influence des opérations normales de chantier qui comprend des étapes de forage, de dynamitage et d'excavation successives. Ces étapes ont des conséquences sur les pressions générées dans le roc et sur la migration des gaz. Pour vérifier cette hypothèse des appareils pouvant enregistrer de petites variations de pressions (BaroLufft et PX-30DI) ont été placés dans des puits, et à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment. Le suivi des pressions à la suite des dynamitages permet de déterminer si (1) le déplacement des gaz est influencé par les opérations de chantier (forages, excavations) et (2) s'il y a un déplacement advectif des gaz vers l'intérieur du pavillon.

(1) Influence des opérations de forage sur la pression dans le roc

Les trois opérations de chantier qui sont susceptibles de créer des changements dans la migration des gaz d'explosifs sont le dynamitage, le forage et l'excavation. Par contre, seul l'influence des forages sur la pression au sein du roc est investiguée ici. Deux foreuses roto-percussion ont été utilisées pour réaliser les trous des patrons de dynamitage (Figure 13). Ces foreuses sont munies d'un compresseur qui injecte de l'air sous pression au niveau du foret lors du forage. L'injection d'air a pour but de refroidir le foret et de faire remonter à la surface les débris de forage qui sont produits. La majorité de l'air injecté sort directement vers la surface par le trou de forage et est aspirée vers l'arrière de la foreuse pour réduire l'exposition des foreurs aux poussières. L'autre partie de l'air est injectée dans le roc fracturé. La pression d'air supplémentaire dans les fractures du roc est susceptible de modifier le transport des gaz.

Figure 13 : Foreuse roto percussion avec système d'injection d'air utilisée lors des travaux en chantier

Les opérations de forage au site de sautage 4B font augmenter les pressions d'air de 4 pouces d'eau équivalente au puits C-p (Figure 14). Ce forage, localisé à 6,5 m du puits C-p, est en lien directe avec le puits C-p via la famille de joints #1 qui a pu aussi être ouverte par le sautage 4A (Annexe C – figure «après le sautage 4A»). La pression au puits C-p est supérieure à celle qui réside dans l'escalier, ce qui indique un potentiel de migration d'air entre ce puits et l'édifice. Par contre, aucune modification de la pression d'air n'est détectée au puits A-p localisé à 5 m au nord-est du forage puisque les fractures associées à la lithologie qui relient le forage à ce puits ne sont pas en lien direct ou n'ont pas été suffisamment ouvertes par les dynamitages précédents.

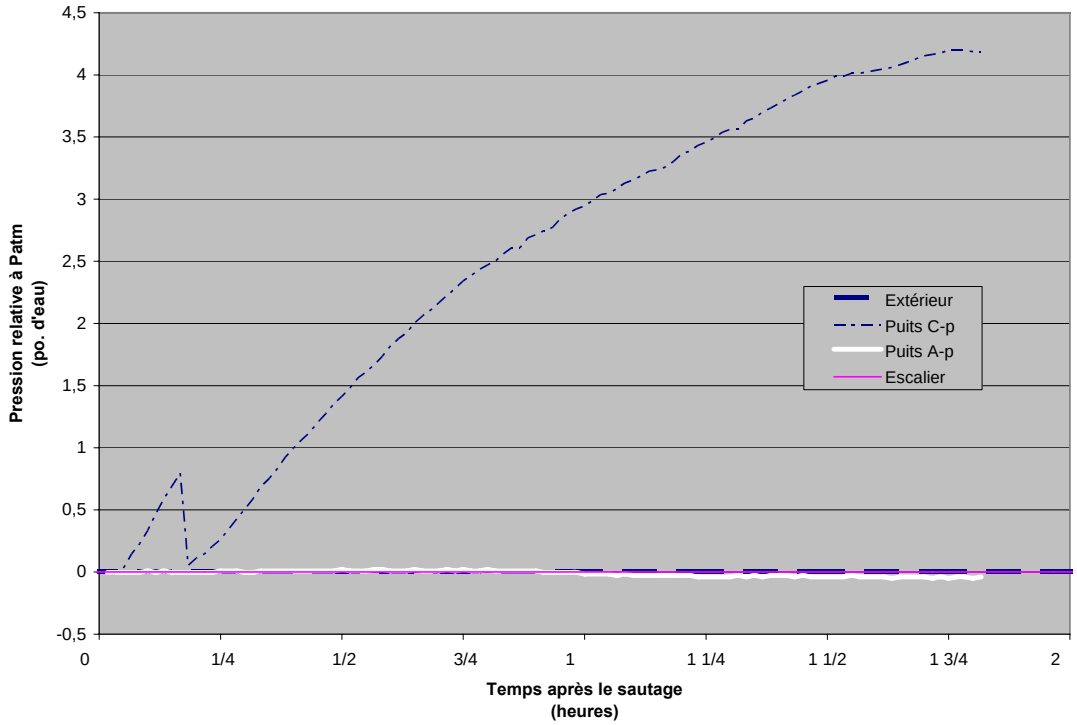


Figure 14 : Influence des opérations de forage au site 4B sur la pression d'air dans les puits avoisinants

L'augmentation de pression d'air dans les puits voisins d'un forage a été observée à plusieurs reprises. La figure 15 montre un autre exemple du lien entre le forage en cours localisé sur le sautage 7C et l'augmentation de pression au puits E-p, situé à 2.5 m du foreur, via les familles de joints. Le puits F-m, localisé 8 m au nord ouest du forage et aussi relié par les familles de joints, a aussi enregistré une faible augmentation de pression étant donné son éloignement (Annexe C – figure «après le sautage 7A»). Le puits 5-p n'a subi aucune influence de l'injection d'air par la foreuse car il est installé dans la ligne de forage qui répartit les pressions dans tous les trous.

La pression atmosphérique a été enregistrée à toutes les 2/100 d'heure (une minute et 6 secondes) avec un BaroLufft et dans des forages avec le PX-60 qui est plus précis que le Barolufft. La variation naturelle de la pression atmosphérique de 1h30 à 2h00 (Figure 15) après le dynamitage 7A n'influence pas la pression d'air dans le roc peu importe si elle est mesurée en profondeur (Puits 5-p & E-p) ou plus près de la surface (Puits F-m). Ces observations vont dans le même sens que les études de Harris & al. (2005) qui démontrait cette absence de relation entre la variation de la pression atmosphérique et le mouvement des gaz dans le roc.

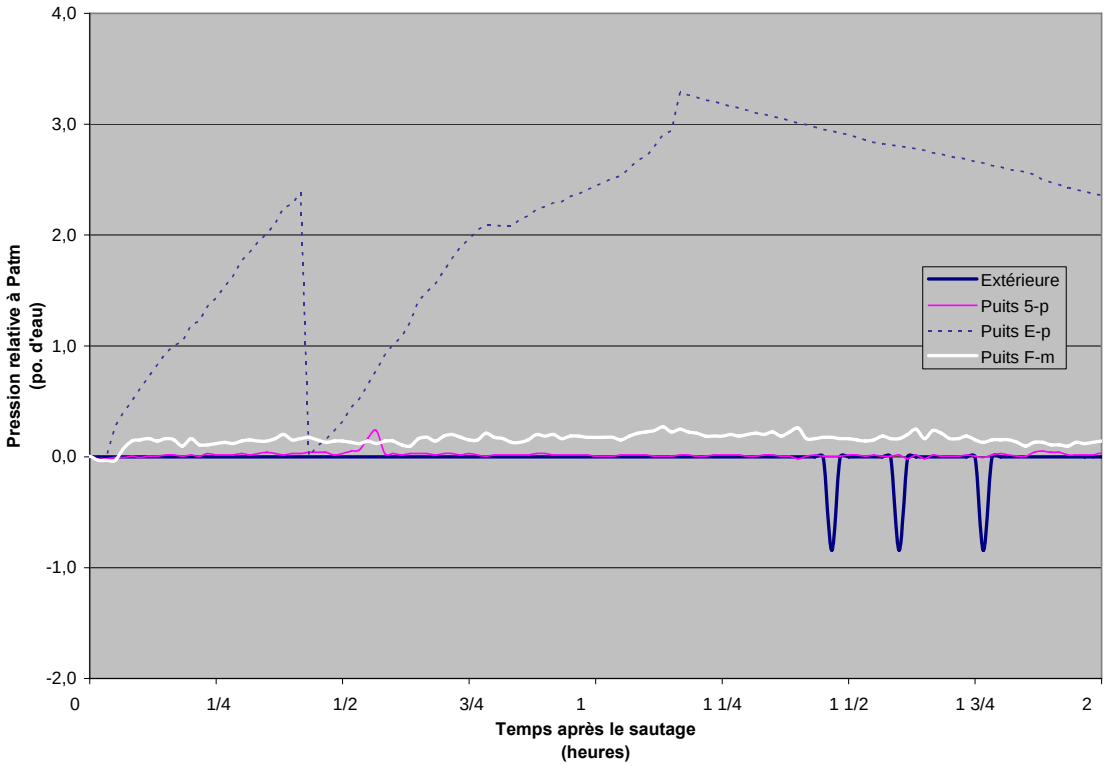


Figure 15 : Influence des opérations de forage au sautage 7C sur la pression d'air dans les puits F-m et E-p et 5-p avoisinants et influence de la pression atmosphérique sur la pression observée à ces puits

(2) Pression dans l'édifice

Des mesures de pressions d'air en continue à deux endroits à l'intérieur du pavillon Vandry ont permis de déterminer leur relation avec la pression atmosphérique extérieure. La différence de pression permet de prédire si le gaz aura tendance à migrer dans le bâtiment. En effet, si la pression intérieure est inférieure à celle de l'extérieur, l'air extérieur aura tendance à pénétrer dans l'édifice. Plus cette différence de pression est grande, plus le taux d'échange d'air potentiel avec l'extérieur sera grand. Bien sûr, l'intrusion de gaz ne dépend pas seulement de ce gradient de pression mais aussi de la présence de voies d'entrée d'air tel que par le pourtour des fenêtres et des portes.

Dans le cas présent, la variation des pressions barométriques à l'extérieur influencent celles mesurées dans les deux points de mesure intérieurs tel qu'indiqué par l'allure générale de la courbe (Figure 16). Ce constat n'est pas étonnant compte tenu que la majorité des systèmes d'aération des immeubles sont basés sur les principes d'échanges d'air avec l'extérieur. Aussi les deux locaux instrumentés sont toujours en pression positive par rapport à la pression d'air extérieur (Figure 16), ce qui signifie que le CO dans l'air extérieur n'est pas susceptible de pénétrer dans l'édifice à ces endroits. Par contre, la pression d'air dans le local 0316 plus faible que dans l'escalier et parfois équivalente à la pression extérieure s'explique par le manque d'étanchéité d'une fenêtre et indique la possibilité d'intrusion d'air extérieur dans ce local. Aussi aucun des sautages ne semble avoir influencé les pressions enregistrées dans les deux locaux

instrumentés à l'intérieur de l'édifice probablement en raison de la distance qui sépare l'édifice des sautages. Par contre, pour le sautage 2D, dont la limite se situe à moins de 5 m de l'édifice, un pic de pression positive dans les deux locaux semble être associé au sautage mais cette variation n'est pas plus importante que les variations naturelles observées au cours des deux jours d'observation et la pression reste toujours positive par rapport à la pression atmosphérique extérieure.

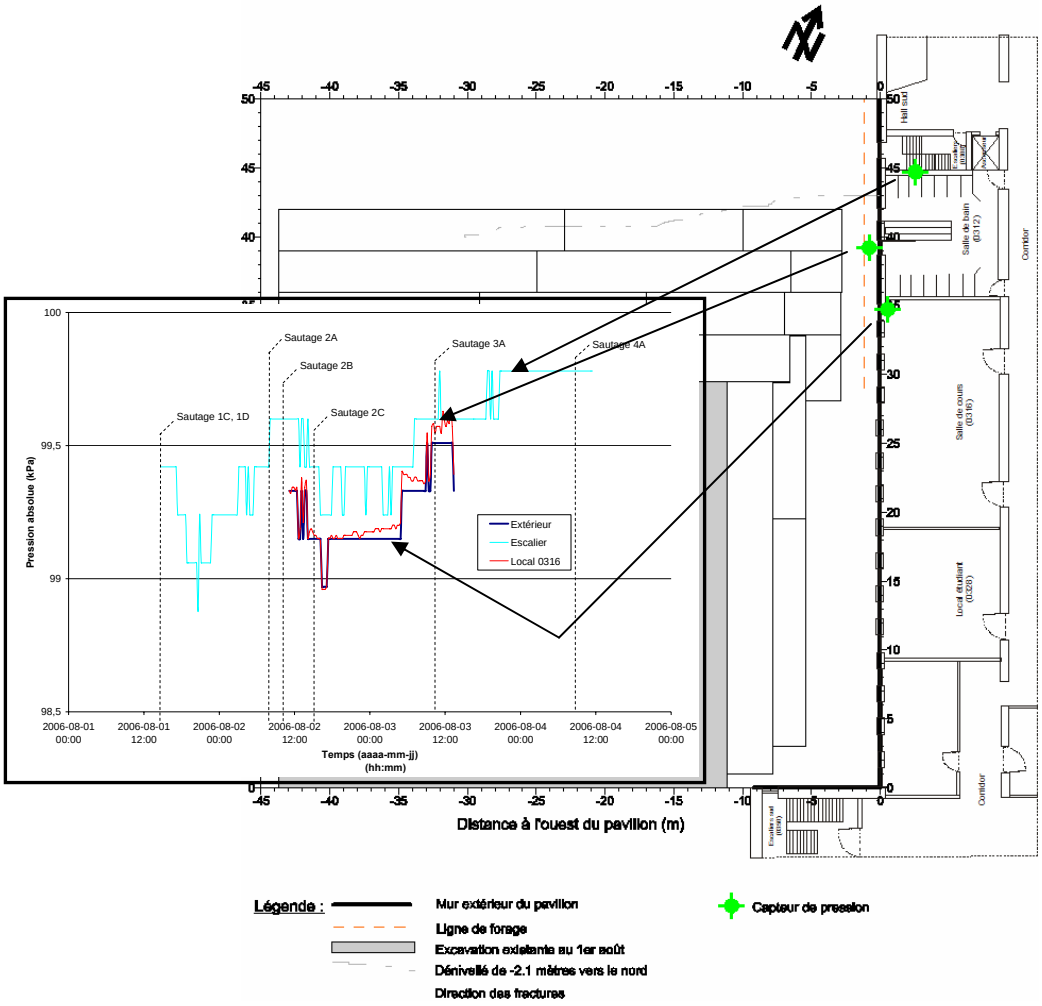


Figure 16 : Variation des pressions d'air extérieure et à l'intérieure du Pavillon Vandry entre le 2 et le 4 août 2006

De la même façon, il est possible de prédire l'intrusion de CO dans l'édifice via le roc fracturé en comparant les pressions d'air dans le roc et ceux dans l'édifice (Figure 14). Une pression dans le roc supérieure à la pression dans l'édifice favorise une infiltration potentielle. Par contre, la présence de fissures dans les murs de la fondation ou de drains dans les planchers est nécessaire pour acheminer le gaz dans l'édifice, et il ne semblait pas y avoir de canalisations visibles qui entraient sous l'édifice ni de drains dans le plancher ou lde présence de fissures dans les murs.

5.4 Concentrations en CO

Dans cette section nous discutons des concentrations importantes de CO observées dans le roc, l'air extérieur et l'air ambiant dans les locaux de l'édifice. Les mesures dans l'air ambiant sont comparées aux normes d'exposition pour la population en général et les travailleurs établie par Santé Canada (1989) et le Gouvernement du Québec (1996). Des mesures de minimisation de l'exposition des travailleurs sont proposées.

5.4.1 Critère d'exposition de la population en général et des travailleurs au CO

Quoique ceci puisse être discutable, notamment en ce qui concerne la protection des travailleurs plus vulnérables, on tolère des niveaux de CO qui génèrent une concentration de moins de 3.5% (ACGIH, 1992) à 5% (NIOSH, 1973) de carboxyhémoglobine (COHb) pour les travailleurs et moins de 2.5% pour le public (WHO, 1999; Health and Welface Canada, 1989). La limite de référence pour la population en général établie par Santé Canada (1989) est de 25 ppm en CO pour une période d'exposition d'une heure ou de 11 ppm en CO pour une période de 8 heures. Le critère pour les travailleurs est publié dans le RSST R19.01 qui découle de la CSST (Gouvernement du Québec (1996). La limite d'exposition des travailleurs est de 35 ppm de CO pendant 8 heures ou de 200 ppm de CO pour une période de 15 minutes. Cependant, aux États-Unis, l'organisme américain « National Institute for Occupational Safety and Health » (NIOSH) recommande pour 8 heures de travail, une concentration moyenne maximale (TWA-8 heures) de 35 ppm et une limite maximale acceptable de 200 ppm (Niosh, 1997). L' « American Conference of Governmental Industrial Hygienists » (ACGIH), quant à elle a fixé un TWA-8 heures de 25 ppm (ACHIH, 2001). Elle n'a pas fixé de limite de référence de courte durée. Aussi, dans ce cas, l'ACGIH estime que des excursions peuvent excéder trois fois la valeur de 25 ppm, soit 75 ppm, pour au plus 30 minutes durant une période de travail, et ne doivent en aucun cas excéder cinq fois cette même valeur de 25 ppm, soit 125 ppm (ACGIH, 2001). Le comité médical provincial en santé du travail au Québec suggère en harmonie avec l'ACGIH, un critère d'intervention plus restrictif de 25 ppm pour 8 heures d'exposition.

5.4.2 CO dans le roc fracturé

Les concentrations en CO ont été mesurées pendant les opérations normales de travaux aux explosifs. De deux à quatre dynamitages ont été effectués par jour avec un intervalle de temps d'environ 2 heures entre les sautages. La qualité de l'air interstitiel a été mesurée dans le réseau de puits de surveillance. De façon générale, le CO n'a pas migré sur une distance supérieure à 9 m (Figure 17 et Tableau 2). Une distance maximale de 14 m a été observée au puits F lors du sautage 8B et de 13 m lors du sautage 8C. Par contre, il s'agit des derniers sautages et il est possible qu'il y ait un effet combiné des sautages précédents sur ces résultats et c'est pour cette raison que 3 points de mesure sont encerclés sur la figure 17 et sont identifiés plutôt comme des biais (*outlayers*). De façon générale, il semble y avoir une tendance entre les concentrations mesurées dans les puits d'observation et la distance par rapport à la limite des sautages (Figure 17). Par exemple, le puits B a enregistré des concentrations en CO maximum de 58000 ppm alors qu'il s'est retrouvé à l'intérieur même des débris du sautage 1C (Figure 18) alors que des

concentrations beaucoup moindre de l'ordre de 10 à 2000 ppm ont été mesurés au même moment aux puits 1, 2, 3 et 4 localisés à 6 m à l'est (Tableau 3). Les concentrations en CO sont plus importantes en profondeur qu'en surface (Figures 18 et 19) en raison du plus grand confinement des gaz en profondeur. La concentration maximale en CO enregistrée dans le sautage ou près de celui-ci s'observe à l'intérieur d'une période de 90 minutes suivant la détonation tel qu'illustré par les Figures 18 et 19. Les concentrations en CO diminuent mais persistent dans le roc brisé après le sautage tant et aussi longtemps que ce roc n'est pas complètement excavé. Des concentrations de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de ppm en CO ont persisté dans les débris de sautage et dans le roc fracturé à l'intérieur de 1,5 m du sautage pendant 20 heures (Figures 18 et 19) ce qui accroît le risque de propagation du CO par diffusion vers les infrastructures enfouies. La distance maximale de propagation du CO dans le roc fracturé en périphérie du sautage est proportionnelle à la charge d'explosif utilisée pour le sautage. Plus la charge d'explosifs est grande plus la distance parcourue est grande (Figure 20) et évidemment plus la masse de CO produite est grande. Comme pour la figure 17 deux points du graphique correspondant à une distance de migration du CO de 13 et 14 m ont subis l'influence des sautages précédents et sont considéré des biais (*outlayers*). Des charges totales de 12 à 85 Kg d'explosifs ont produit de 0,2 à 1,5 kg de CO (Tableau 2). Le niveau de contamination détecté est aussi relié à la direction de propagation des gaz. Par exemple, lors du sautage 8A une concentration de 3910 ppm a été observé au puits E localisé à 1,5 m selon la direction de la famille de joints#1 alors qu'une contamination de 70 ppm a été détecté sur la même distance en direction est au puits 4 (Tableau 3) ce qui met l'emphase sur l'importance de connaître la géologie structurale du terrain dynamité. L'utilisation d'une longue face libre jumelée à une quantité raisonnable d'explosif (moins de 50 kg) prévient la propagation du CO tel qu'observé lors du sautage 1A (Figure 21).

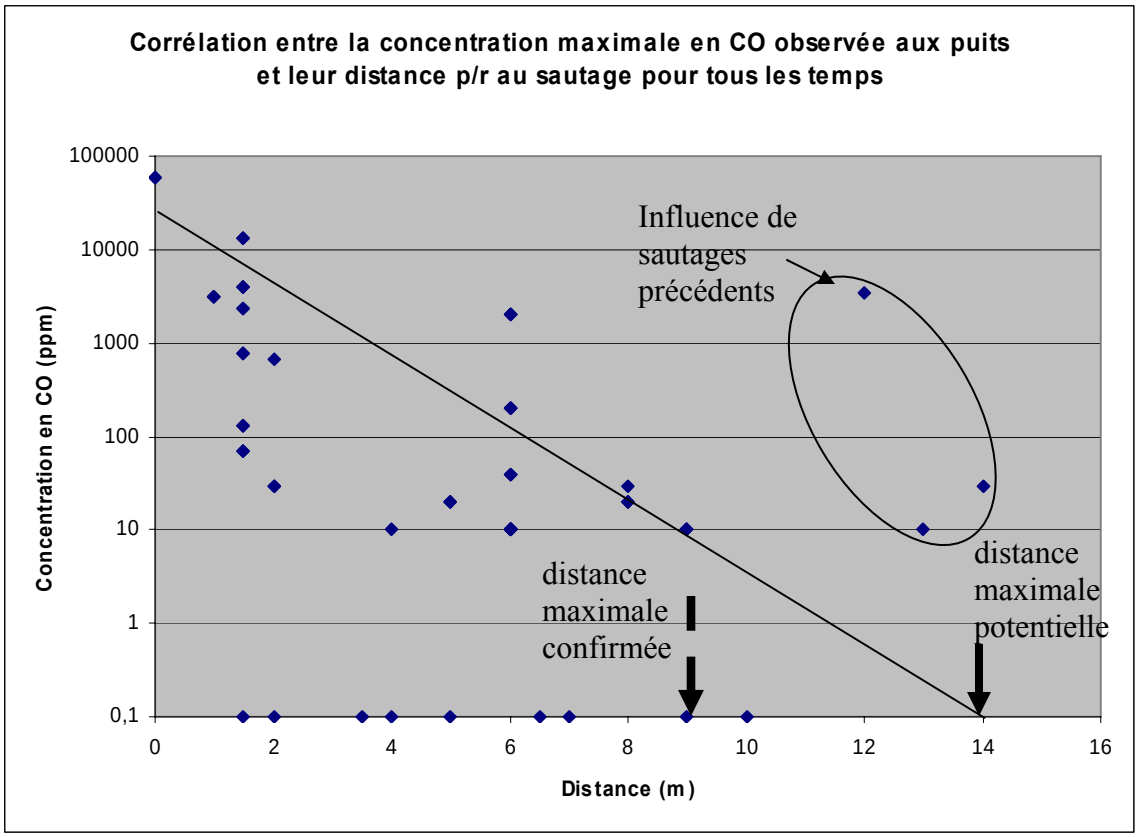


Figure 17 : Concentrations en CO mesurées dans les puits d'observation en fonction de leur distance par rapport au sautage

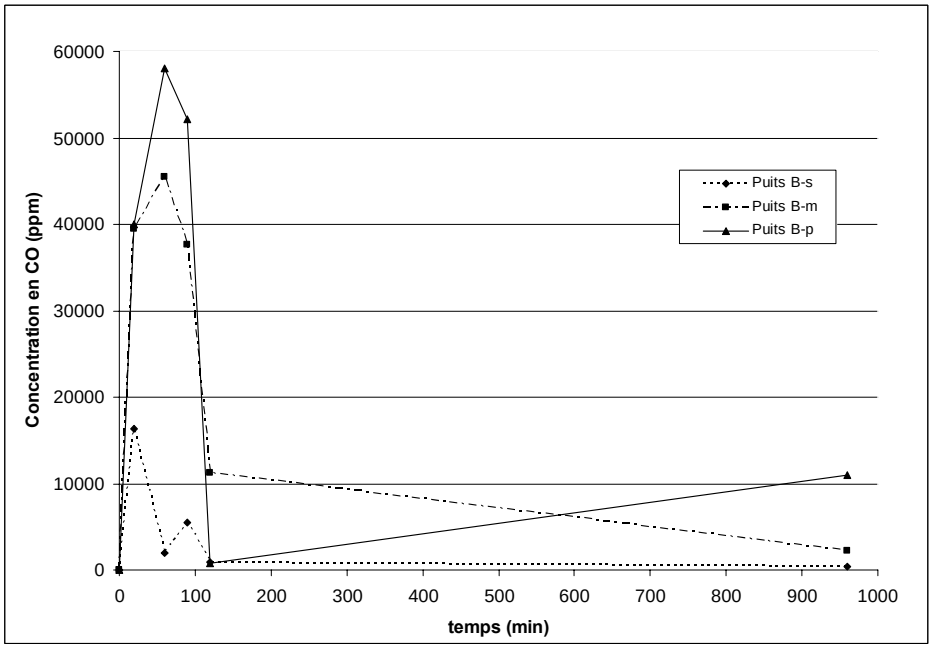


Figure 18 : Concentrations en CO observées dans le puits B localisé dans le sautage 1C suite à sa détonation (les matelas pare-éclats n'ont pas été enlevés et le roc brisé n'a pas été excavé immédiatement après le sautage)

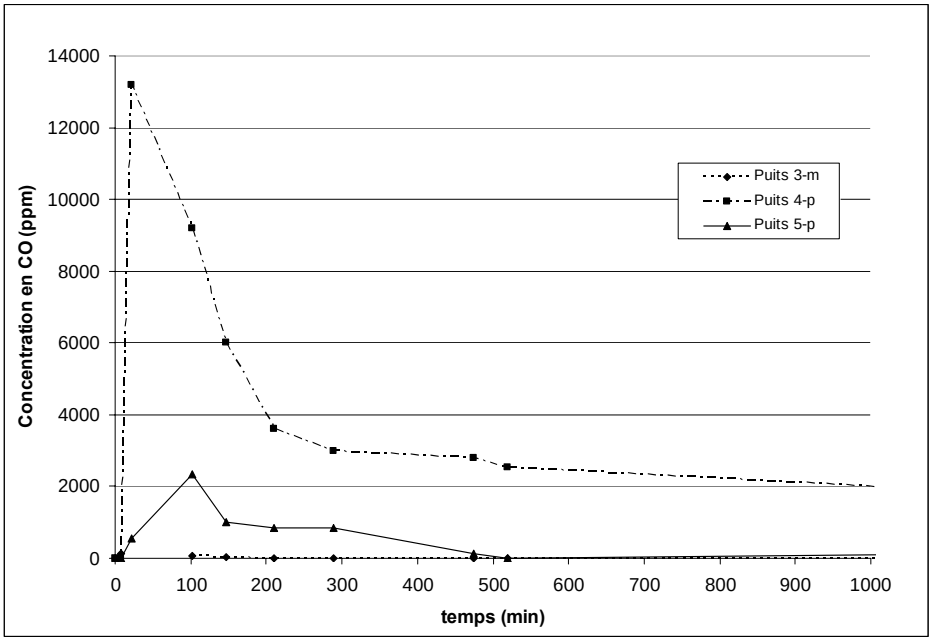


Figure 19 : Concentrations en CO observées dans les puits 3, 4 et 5 localisé à 1,5 m de la limite du sautage 7A suite à sa détonation (le roc brisé n'a pas été excavé immédiatement après le sautage)

Tableau 2 : Distance de parcours par advection des gaz dans le roc pour chaque sautage dans un délai de 30 minutes après chaque dynamitage

No. de sautage	Masse totale d'explosifs utilisée (kg)	Masse théorique de CO produit (kg)	Distance maximale parcourue par le CO (t < 30 min.) (m)	Concentration maximale en CO mesurée (ppm)	Distance du CO max. par rapport au sautage (m) /direction
1A	48,80	0,86	<6,5	0	6,5/est
1B	65,70	1,12	9,0	10	9,0/est
1C	74,91	1,29	6,0	58000	0
1D	48,63	0,83	5,0	0	5,0/nord-est
2A	41,96	0,76	<10,0	0	10,0/nord
2B	31,30	0,59	<4,0	0	4,0/est
2C	15,41	0,27	< 1,5	0	1,5/est
3A	69,78	1,20	< 9,0	0	9,0/est
4A	71,91	1,27	8,0	30	2,0/nord-est
4B	34,46	0,62	2,0	0	2,0-6,0/nord-est
7A	12,09	0,22	1,5	13200	1,5 m/est
7B	84,76	1,50	5,0	20	5,0/est
7C	48,81	0,88	3,5	3100	1,0 nord-nord-est
8A	25,84	0,47	<7,0	3910	1,5/nord/nord-ouest
8B	74,91	1,29	14,0	680	2,0/nord-nordouest
8C	25,84	0,47	13,0	3400	12,0/est et sud

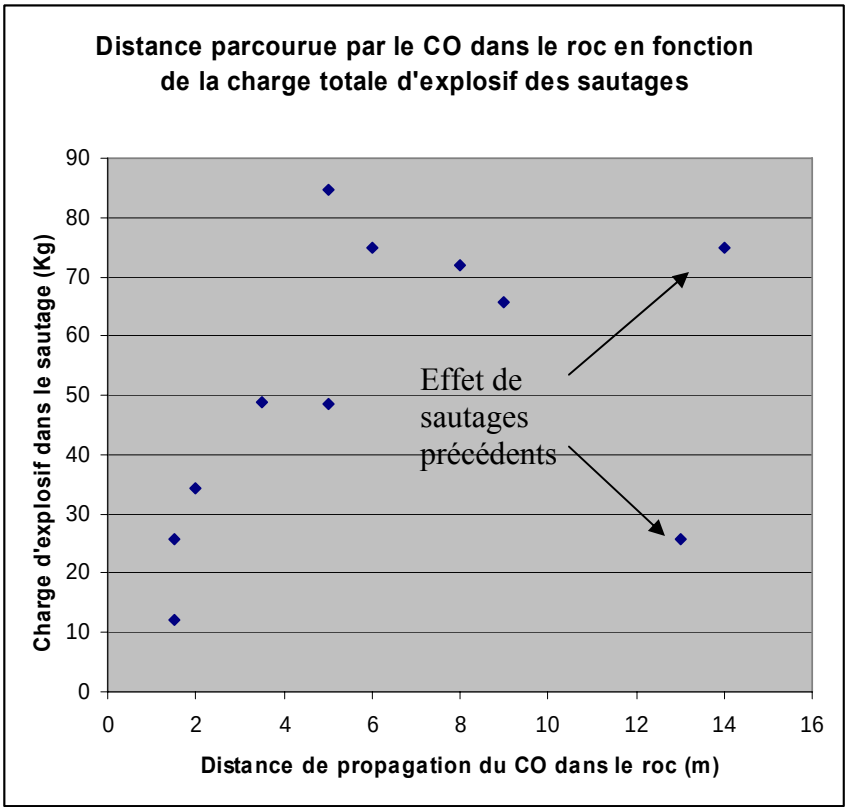


Figure 20 : Distance de propagation du CO dans le roc en fonction de la charge totale d'explosif des sautages (R^2 = 0.63)

Tableau 3 : Données détaillées sur les sautages

Sautage	Masse totale d'explosifs utilisée (kg)	Masse théorique de CO produit (kg)	Conc. max. en CO (ppm)	puits	Distance p/r au sautage (m)	Direction	Temps après le sautage	Commentaires
1A	48,8	0,86	0	1	6,5	Est	jusqu'à 5 heures	Pas de puits proche
1B	65,7	1,12	10	B-p	9	Est	2h40 à 3h20	
1C	74,91	1,29	58000	B-p	0	---	40 à 70 min.	
	74,91	1,29	200	1-s,-m,-p	6	Est	<30 min.	
	74,91	1,29	2000	2-s,-m,-p	6	Est	<30 min.	
	74,91	1,29	40	3-s,-m,-p	6	Est	<30 min.	
	74,91	1,29	10	4-s,-m,-p	6	Est	40 à 70 min.	
	74,91	1,29	10	5-s,-m,-p	6	N-E (Lithologie)	40 à 70 min.	
	74,91	1,29	10	C-p	6	Joint #1	70 à 100 min.	
1D	48,63	0,83	0	D	5	N-E (Lithologie)	jusqu'à 2 heures	Pas de puits proche
2A	41,96	0,76	0	1	10	Nord	jusqu'à 30 min.	Pas de puits proche
2B	31,3	0,59	0	1, 2, 3	4	Est	jusqu'à 450 min.	
2C	15,41	0,27	0	2, 4	1,5	Est	jusqu'à 30 min.	
3A	69,78	1,2	0	C	9	Est	jusqu'à 50 min.	
4A	71,91	1,27	20	A-s	8	N-E (Lithologie)	10 min.	
	71,91	1,27	30	C-s,-m	2	N-E (Lithologie)	35 min.	
4B	34,46	0,62	0	A	2	N-E (Lithologie)	jusqu'à 10 min.	
7A	12,09	0,22	130	3-m	1,5	Est	7 min.	
	12,09	0,22	13200	4-p	1,5	Est	22 min.	
	12,09	0,22	2340	5-p	1,5	Est	22 à 105 min.	
7B	84,76	1,5	20	C-s,-m	5	Est	30 min.	
7C	48,81	0,88	3100	E	1	N-E (Lithologie)	15 min.	
	48,81	0,88	0	F	3,5	N-E (Lithologie)	jusqu'à 2½ heures	
8A	25,84	0,47	3910	E	1,5	Nord ou (Joint #1)	90 min.	
	25,84	0,47	0	F	7	Joint #1	jusqu'à 1½ heures	
	25,84	0,47	70	4-m	1,5	Est	10 à 40 min.	
	25,84	0,47	790	Forage 1	1,5	Est	15 min.	
8B	74,91	1,29	680	Forage 2	2	Nord ou Joint #1	30 à 90 min.	Concentration cumulative du sautage 8A et 8B.
	74,91	1,29	30	Forage 3	8	Est	1 à 2 heures	
	74,91	1,29	30	F-p	14	Est (N-E Lithologie)	90 min.	
8C	25,84	0,47	10	4	13	Est et Sud	30 min.	Concentration cumulative du sautage 8A, 8B et 8C.
	25,84	0,47	3400	5	12	Est et Sud	31 min.	
	25,84	0,47	10	E	4	Est	32 min.	

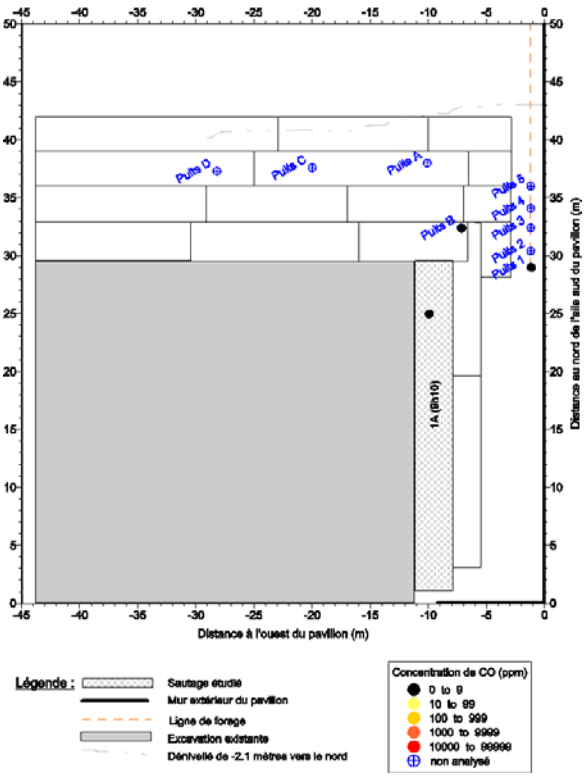


Figure 21 : Influence d'une longue face libre sur la propagation des gaz dans le roc fracturé après le sautage 1A

En résumé, les opérations normales de dynamitage ont des effets d'atténuation sur la propagation des gaz dans le roc. L'enlèvement de la source de CO par excavation du roc brisé immédiatement après chaque sautage, la dilution des concentrations en CO dans le roc par l'injection d'air lors des opérations de forage à proximité du dernier sautage, la plus faible production de CO par l'utilisation de patron de sautage nécessitant des charges inférieures à 50 kg et l'évacuation des gaz dans l'air extérieur par le dynamitage en longue bande avec la présence d'une face libre sont tous des facteurs qui contribuent à atténuer la présence de CO dans le roc fracturé suite aux travaux à l'explosifs. Il est recommandé de placer des détecteurs de CO dans les édifices et les infrastructures enfouies localisés à moins de 20 mètres de toute la zone excavée.

5.4.3 CO dans les locaux du pavillon

Neuf (9) des 17 sautages ont servis à répondre à l'objectif qui visait à savoir si les travaux de dynamitage ont provoqué la migration du CO à l'intérieur de l'édifice adjacent. Un suivi des concentrations en CO a été fait dans certains locaux ciblés par l'étude (figure 2). Les sautages qui ont été sélectionnés (1C, 2A, 2B, 2C, 4B, 7A et 7C) sont en général les plus proches du bâtiment. Parmi ceux-ci, seuls les sautages 1C et 7A semblent avoir provoqués la présence de CO à l'intérieur de l'édifice avec des teneurs maximales respectives de 15 et 10 ppm qui sont près de la limite de détection de l'analyseur de CO. La classe 0316 (Figure 2) a été touchée par les deux sautages. Des concentrations en CO de 10 ppm ont été observées dans ce local après le

sautage 7A pour une période inférieure à 4 heures et des concentrations de 10 à 15 ppm ont été détectées dans ce même local après le sautage 1C pour une période indéterminée mais inférieure à 15 heures. La cage d'escalier a montré la présence de CO seulement après le sautage 7A. Des teneurs de 10 ppm en CO sont apparues une heure après le sautage et ont persisté pendant un peu plus de 7 heures suivant le sautage. Elles ont par la suite été diluées par la ventilation de l'édifice et l'air ambiant (Annexe D). La propagation du CO dans l'immeuble par diffusion peut s'expliquer par l'importance des teneurs en CO dans les débris de sautage (Figure 18) et la non excavation de ces débris immédiatement après les sautages 1C et 7A. Les débris du sautage 1C sont restés en place 20 heures avant d'être excavés complètement. Il est aussi possible dans le cas du local 0316 que de l'air extérieur ait pénétré dans le local par une fenêtre entrouverte, quoiqu'on ne puisse l'affirmer avec certitude, en raison de l'intervalle d'échantillonnage et de la précision de l'appareil. Dans les deux locaux, la limite de référence pour la population en général établie par Santé Canada (1989) de 25 ppm en CO pour une période d'exposition d'une heure ou de 11 ppm en CO pour une période de 8 heures n'a probablement pas été dépassé.

5.4.4 CO dans l'air extérieur (Exposition des travailleurs)

Les mesures dans l'air extérieur ont permis d'évaluer s'il y avait un risque d'intoxication du boutefeu, du foreur et de l'opérateur de la pelle mécanique par le CO lors des travaux en chantier. Les teneurs en CO présentées dans les tableaux de l'annexe C, ont été mesurées après les sautages dans l'air des forages ouverts ou dans l'air extérieur entre 0 et 1 mètre au-dessus du sol aux endroits où se trouvaient les travailleurs. Afin d'illustrer le mieux possible l'exposition des travailleurs au CO, les figures de l'annexe C ne considèrent que les concentrations en CO obtenues à partir des relevés entre 0 et 1 m au-dessus du sol.

Tous les travailleurs

Tous les travailleurs sont susceptibles d'inhaler du CO s'ils sont à proximité de l'aire de dynamitage; (1) lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats qui recouvrent les débris de roc; et (2) lors de l'excavation des débris de roc suite au sautage à l'explosif.

Étant donné qu'il y a création de fractures dans le volume de roche dynamité, la porosité y est plus grande et les gaz d'explosifs y circulent plus librement. De plus, la nature des composés gazeux d'explosifs combinée à leur température élevée immédiatement après de la détonation font en sorte de diminuer la densité du mélange gazeux qui aura naturellement tendance à s'élever dans l'air. Ce phénomène est appelé convection thermique. Par contre, la capacité thermique des gaz est peu élevée et ceux-ci se refroidissent très rapidement. Le phénomène de convection s'observe sur un court laps de temps après l'explosion alors que l'effet de différence de densité est plus persistent et une grande partie des gaz, présent dans le volume de roche dynamitée et les matelas pare-éclats, vont s'échapper lentement vers le haut après le sautage.

Les données de l'essai de terrain montrent qu'en enlevant les matelas pare-éclats, les teneurs en CO dans l'air 1 m au-dessus du sol peuvent atteindre 860 ppm, 19 minutes après le sautage 4A lorsqu'un vent faible souffle du matelas vers la position d'échantillonnage. L'exposition des travailleurs à cette forte concentration ne dure que quelques dizaines de secondes, le temps requis pour enlever le tapis. Par contre, cette exposition est répétée plusieurs fois d'affilée sur une période d'environ 10 minutes correspondant au temps pour enlever tous les tapis. Par contre,

par une journée de vent moyen, les concentrations en CO n'ont pas été détectées lors de l'enlèvement des matelas après le sautage 8B alors que le vent soufflait en direction opposée au sautage 4A (de la position d'échantillonnage vers le matelas). Aussi, lorsque les matelas ne sont pas dégagés immédiatement après le sautage, le CO peut persister plus longtemps dans les débris. Au puits B après le sautage 1C, le CO a persisté près de 20 heures (Figure 18). Lors du sautage 7A, une concentration en CO de 20 ppm a été observée dans l'air extérieur à 1 m au-dessus du sol pendant l'opération d'enlèvement des matelas qui s'est faite 2½ heures après le dynamitage. Dans le cas actuel, lors de l'enlèvement des matelas, les travailleurs sont donc potentiellement exposés en fonction de la direction des vents à des concentrations en CO supérieures à 200 ppm mais pour une période totale limitée et inférieure à 15 minutes. La limite d'exposition des travailleurs du gouvernement du Québec de 200 ppm de CO pour une période de 15 minutes est possiblement respectée. Cependant, les normes de l'ACGIH et du NIOSH sont dépassées

Pendant les travaux d'excavation qui se font en général dans les deux heures après le sautage, les teneurs les plus importantes en CO ont été de 10 ppm même si les concentrations originales contenues dans les débris étaient très élevées (58,000 ppm lors du sautage 1C). Ces faibles concentrations s'expliquent par la dilution rapide du CO dans l'air atmosphérique grâce au mélange intense d'air réalisé par la pelle mécanique en excavant les débris de roc. Après l'excavation, le CO dans l'air n'a pas été détectée. Ainsi, les limites d'exposition des travailleurs n'ont pas été dépassées pendant l'excavation.

Figure 22 : Exposition du boutefeu lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats

Pour minimiser l'exposition des travailleurs au CO lors du retour au chantier, l'opérateur de la pelle mécanique devrait retirer les matelas immédiatement après la détonation puis procéder immédiatement à l'excavation des débris. Ces recommandations ont également été faites dans de récentes publications (Martel & al. 2002, 2004b) mais pour contrer la diffusion du CO dans le roc fracturé. Maintenant, il est clair que ces deux opérations ne réduisent pas seulement la migration des gaz d'explosifs dans le roc fracturé mais aussi les chances d'intoxication des travailleurs du chantier. Les résultats de la présente étude montre qu'une bonne partie du CO est dégagée et diluée dans l'atmosphère lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats mais surtout

lors de l'excavation des débris. Nous verrons plus loin que l'opérateur de pelle est rarement exposé lors de l'excavation.

Boutefeu

Le boutefeu est susceptible d'être en contact avec le CO lors (1) du retour au sautage après la détonation, (2) du chargement des trous de forage situés à proximité du dynamitage antérieur et comme tous les autres travailleurs lors de (3) l'enlèvement des matelas pare-éclats et (4) de l'excavation des débris de sautage.

Durant les travaux de sautage, le boutefeu était souvent de retour sur le site dans la ou les trois minutes qui suivaient la détonation pour recueillir ses câbles d'amorce électrique soit bien avant le temps d'attente de 10 minutes ou plus prescrit lors de l'usage de détonateur électrique. Hors, ce temps d'attente prescrit n'est pas requis dans le cas présent puisque des détonateurs non électriques étaient utilisés. À son retour sur le chantier, le boutefeu se situait près du volume de roc dynamité ou littéralement au-dessus. Nous avons donc suivi le boutefeu dans ses déplacements de manière à déterminer si ce retour aux débris de sautage est trop hâtif et si oui, après quel délai ou quelle(s) opération(s) la zone dynamitée est considérée comme sécuritaire. Lors de son retour au site, le boutefeu a été exposé à des teneurs maximales, à 1 mètre au-dessus des débris, de 60 ppm 6 minutes après le sautage 7A et de 50 ppm 3 minutes après le sautage 4B (Tableau 4). Aussi, il ne semble pas y avoir de relation entre la charge totale en explosif et la teneur en CO mesurée au-dessus des matelas après les sautages. Considérant la périodicité des sautages dans une journée, les limites d'exposition pour les travailleurs sont respectées lors du retour du boutefeu sur le sautage.

Il est à noter que lors de ces mesures, les matelas pare-éclats n'étaient pas encore enlevés. Tel que démontré précédemment pour le sautage 7A, l'étude révèle que 2 heures après un dynamitage, le CO peut encore se trouver dans l'air au-dessus des débris lorsque les matelas pare-éclats n'ont pas été enlevés et les débris excavés.

Tableau 4 : Teneurs en CO à 1 mètre au-dessus des débris de dynamitage selon le temps de mesure

No. sautage	Masse d'explosif (Kg)	Teneur en CO (ppm)	Temps après détonation (min)
1A	48,80	0	15
1B	65,70	0	3
1C	74,91	10	10
2A	41,96	0	20
2C	15,41	0	2
4B	34,46	50 30	3 15
7A	12,09	60	6
8A	25,84	30	8
8B	74,91	0	1
8C	25,84	0	2

Le boutefeu peut aussi être en contact avec les gaz d'explosifs lors du chargement en explosifs des trous de forage qui sont situés à proximité d'un dynamitage antérieur (Figure 23). La comparaison des teneurs en CO dans l'air à 0 et 1 mètre au-dessus du sol (Annexe D) démontrent que celles-ci diminuent très rapidement en s'élevant au-dessus de la surface du sol. Par exemple le boutefeu a été exposé à une teneur en CO de 30 ppm au niveau du sol et de 10 ppm à 1 mètre au dessus du sol lors du chargement d'un forage après le sautage 8B. Aussi dans un autre cas après le sautage 4A, la teneur mesuré a été 110 ppm à la surface du sol, 19 minutes après le sautage. Un travailleur qui effectue une tâche debout est possiblement moins à risque d'être en contact avec le CO que le boutefeu qui travaille souvent à genou lors du chargement d'explosifs. Par contre, selon nos données, sauf lors de l'enlèvement du matelas, son exposition semble limitée même s'il est à genou.

Figure 23 : Localisation typique des travailleurs lors des opérations de chantier (Après le sautage 8B)

Le boutefeu est exposé au CO lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats et de l'excavation des débris de sautage tel que discuté précédemment dans la partie *Tous les travailleurs*. Étant donné l'exposition limitée du boutefeu au CO en condition normale d'opération, il n'est pas recommandé de prolonger le temps d'attente de 10 minutes ou plus qui existe déjà dans la réglementation du Québec lorsque des détonateurs électriques sont utilisés. Il est par contre recommandé d'intervenir sur le mode d'opération en enlevant les matelas pare-éclats dès le

retour possible sur le chantier après la période d'inspection du boutefeu et d'excaver les débris de roc le plus tôt possible.

Foreur

Les foreurs peuvent être en contact avec le CO lorsqu'ils effectuent du forage à proximité d'un récent dynamitage. En injectant de l'air dans le roc fracturé au moment du forage, le foreur ventile les gaz présents, crée une voie d'échappement du CO vers la surface, ce qui est bénéfique pour diluer le CO dans le roc fracturé mais expose celui-ci au CO. L'exposition du foreur au CO a été de 110 ppm au début des opérations de forage au site 4B (Figure 24) 19 minutes après les sautages 4A, mais 40 minutes plus tard au même endroit la concentration mesurée en CO était nulle. Lors du forage au sautage 8C le foreur a été exposé à 10 ppm de CO pendant 5 minutes seulement (Figure 25) avant de se déplacer de 5 m vers le prochain site. Les limites d'exposition du règlement québécois et de NIOSH semblent respectées et probablement celles de l'ACGIH qui définit que des concentrations de 75 ppm ne doivent pas être excédés pour au plus 30 minutes. Si la géométrie du terrain le permet, les foreurs devraient éviter de se placer face au vent qui souffle les gaz d'explosifs en leur direction lors de l'enlèvement des tapis pare-éclats ou de retarder leur retour sur le chantier jusqu'à l'enlèvement des matelas pare-éclats.

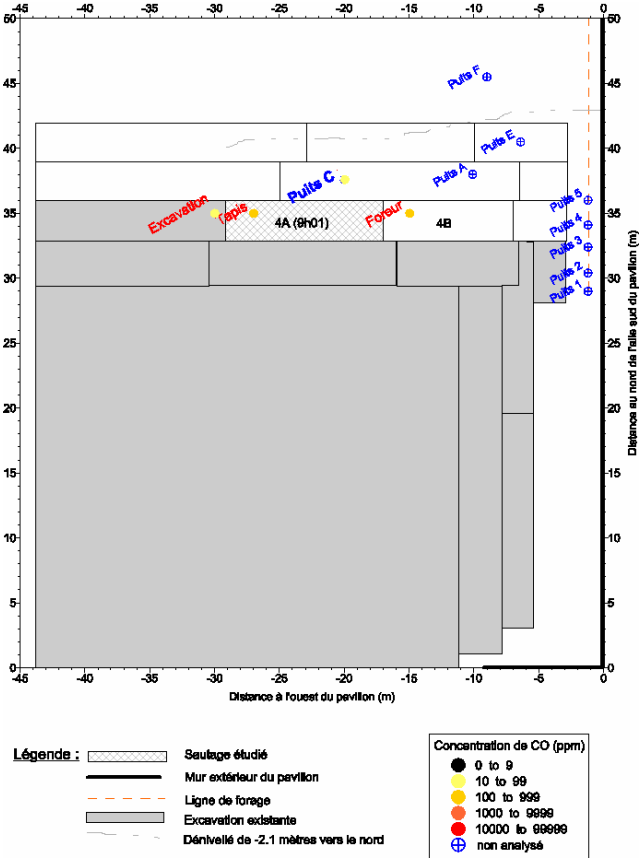


Figure 24 : Exposition d'un foreur au CO lors du forage à la suite du sautage 4A

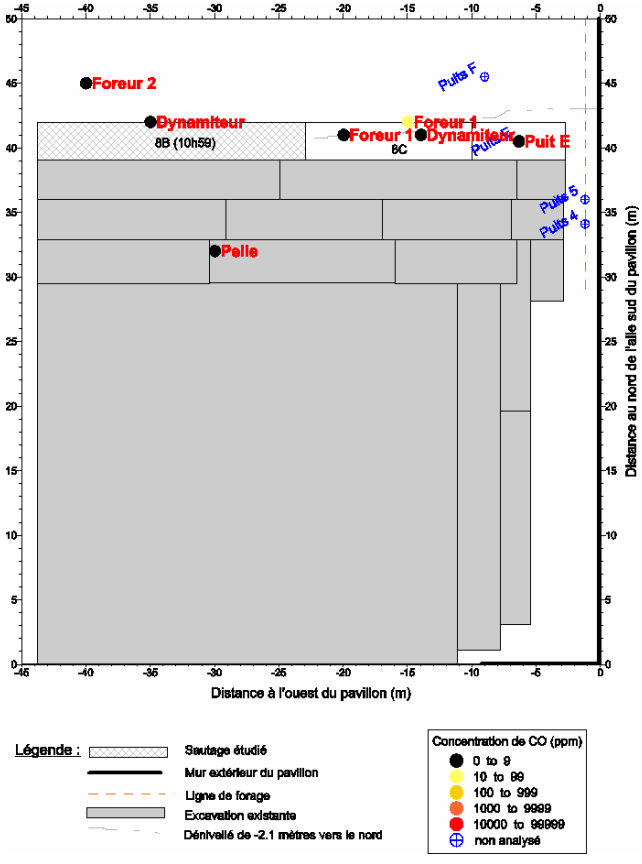


Figure 25 : Exposition d'un foreur au CO lors du forage à la suite du sautage 8B

Opérateur de pelle mécanique

L'opérateur de la pelle-mécanique est le travailleur qui risque le moins d'être en contact avec le CO. Le seul moment où il peut être en contact est lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats ou au moment de l'excavation des débris de sautage. Au cours des 9 relevés effectués à coté de l'opérateur toutes les teneurs en CO étaient nulles à l'exception d'une valeur ou l'opérateur a été en contact avec 30 ppm de CO lors de l'excavation des débris du dynamitage 7B 20 minutes après la détonation. Ce cas d'exposition est isolé et a eu lieu lorsque le vent était fort et orienté en direction de la pelle. De plus, le sautage 7B est celui qui, en théorie, a dégagé le plus de CO (Tableau 2). La distance de 10 mètres qui sépare l'opérateur de pelle de la zone source de CO (le sautage ou les matelas) est la principale raison pour laquelle il n'est pas exposé (Figure 27). Selon nos résultats, il semble que l'exposition de l'opérateur de pelle est minimale et respecte les normes applicables pour les travailleurs.

Figure 26 : Mesure des concentrations en CO lors des opérations d'excavation par la pelle

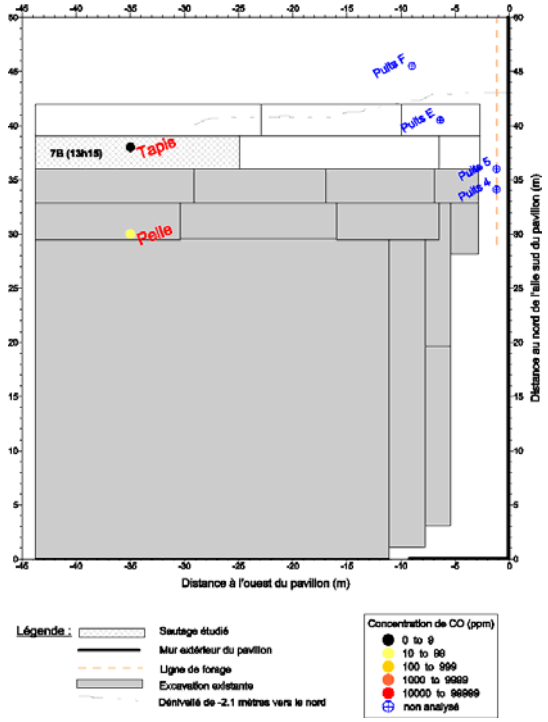


Figure 27 : Localisation de la pelle lors des travaux d'excavation du sautage 7B

6. CONCLUSIONS

1) Le mécanisme de transport du CO par advection a été observé et est responsable de la migration des gaz jusqu'à des distances moyennes de 9 mètres dans les 30 minutes suivant le dynamitage. L'effet de sautages précédents qui ont augmenté la fracturation du massif rocheux ont emmené cette distance de migration jusqu'à 14 mètres pour les derniers sautages.
2) Des concentrations en CO plus importantes en profondeur qu'en surface sont observées dans le roc fracturé en périphérie des sautages en raison du confinement
3) De faibles concentrations en CO (10 à 15 ppm) ont été détectées dans l'édifice et seraient reliées à la diffusion moléculaire qui joue un rôle dans l'intrusion du CO lorsque les matelas pare-éclats ne sont pas immédiatement enlevés et que les débris de sautage ne sont pas complètement et immédiatement excavés après le sautage.
4) L'enlèvement des matelas pare-éclats et l'excavation des débris de forage immédiatement après le sautage réduisent la migration du CO dans le roc fracturé et réduisent le temps d'exposition des travailleurs.
5) La présence de plusieurs faces libres ou d'une longue face libre favorise la dissipation des gaz d'explosifs dans l'atmosphère.
6) L'étape où les travailleurs sont le plus exposés au CO est lors de l'enlèvement des matelas pare-éclats. Il faudrait mieux documenter l'exposition aux pics de CO.
7) Ces conclusions ont été constatées lors d'un essai sur un terrain spécifique et ne peuvent donc être généralisé pour tous les terrains.

7. RECOMMANDATIONS

1) Utiliser des patrons de sautage en bande nécessitant des charges inférieures à 50 kg et avec une longue face libre
2) Limiter le confinement des sautages en excavant complètement les dépôts meubles imperméable (lorsque présent) avant le forage.
3) Enlever les matelas pare-éclats immédiatement après le sautage et l'inspection du boutefeu pour éviter la migration du CO dans le roc fracturé, les édifices voisins et les infrastructures enfouies et pour minimiser l'exposition du boutefeu au CO.
4) Excaver les débris de dynamitage immédiatement après l'enlèvement des matelas pare-éclats et dégager complètement la face libre avant chaque sautage.
5) Placer des détecteurs de CO dans les édifices et les infrastructures enfouies localisés à moins de 20 mètres de toute la zone excavée.
6) Étant donné l'exposition limitée du boutefeu au CO en condition normale d'opération, il n'est pas recommandé de prolonger le temps d'attente de 10 minutes ou plus qui est prescrit dans la réglementation québécoise existante lorsque des détonateurs électriques sont utilisés.
7) Lors de l'enlèvement des tapis pare-éclats, il faudrait bien documenter l'exposition de ce travail de façon à mieux cibler les mesures préventives.
8) Pour limiter leur exposition au CO, les foreurs pourrait retarder leur retour sur le chantier jusqu'à l'enlèvement complet des matelas pare-éclats.
9) Pour limiter l'exposition du boutefeu aux pics de concentration en CO, développer un mécanisme d'enlèvement des matelas qui ne nécessiterait pas sa présence sur le chantier.
10) Dans la foulée des recommandations 6 et 7, il faudrait effectuer à l'aide d'un appareil de mesure approprié un monitoring en continu de l'exposition au CO à laquelle un boutefeu et un foreur sont exposés pendant une semaine de travail. Le monitoring devrait se faire pour des conditions d'opération normale de dynamitage.
11) Réaliser une étude sur un site en milieu urbain avec la présence d'infrastructure enfouie importante en périphérie (trou d'homme, servitudes électrique et téléphonique, égouts,…) et qui nécessite une excavation par gradins pour vérifier l'exposition des travailleurs au CO dans des conditions de vent faible et pour vérifier l'effet du confinement créé par le nombre de rangées et la profondeur des forages sur la production de CO.

8. APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS ET RETOMBÉES ÉVENTUELLES

Ces résultats permettent d'effectuer des recommandations auprès des instances réglementaires afin d'améliorer les pratiques tel que le suggère l'Institut américain des fabricants d'explosifs. La recherche a permis d'obtenir des données essentielles pour la prévention de situations à risques et d'accidents pour les travailleurs. Cette recherche s'adresse aux employeurs et aux travailleurs spécialisés dans la manipulation des explosifs. Il existe environ 400 à 600 boutefeux au Québec, dont plusieurs sont regroupés au sein de la Société d'énergie explosive du Québec (SEEQ). Par l'entremise de cette recherche la formation des boutefeux et la transmission des résultats de la recherche auprès de leurs membres spécialistes en dynamitage seront assurées par une conférence présentée dans le cadre de leur congrès annuel en novembre 2007. Les résultats seront également transmis aux différents ministères provinciaux (i.e. MTQ, MENV, MSSS, Sécurité Publique).

9. LISTE DES ARTICLES SCIENTIFIQUES PRODUITS DANS LE CADRE DE LA PRÉSENTE SUBVENTION

Aucune publication scientifique n'a été produite jusqu'à maintenant dans le cadre de cette subvention. Il est prévu que les résultats seront d'abord diffusés sous forme de conférences à l'IRSST en mai 2007 et à la SEEQ (Société d'énergie explosive du Québec) en novembre 2007. Une publication dans la revue canadienne de géotechnique ou de génie civil devrait suivre en 2008.

10. RÉFÉRENCES

Auger P.L., Lévesque B., Martel R., Prud'homme H., Bellemare D., Barbeau C., Lachance P. and Rhainds M. 1999. An unusual case of carbon monoxide poisoning. Environment Health Perspective, 107: 603-605.

American Conference of Governmental Industrial Hygienist, (1992). Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs), sixth ed. Cincinnati.

American Conference of Governmental Industrial Hygienist, (2001). TLVs and BEIs based on Documentations for Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents Biological Exposure Indices. Cincinnati.

Brent C.F. & Smith G.E., 1999. The detection of blast damage by borehole pressure measurement. Fragblast 1999, Johannesburg, South African Institute of Mines and Metallurgy. 1999.

Dupont H. 1991. Rapport d'intervention du 7 au 14 février 1991 suite à une intoxication à l'oxyde de carbone. Aylmer. D.S.C. Outaouais 1991

Google. http://maps.google.ca/maps?ie=UTF-8&oe=UTF-8&hl=fr&tab=wl&q=. Site internet consulté le 18 mars 2007.

Règlement sur la santé et la sécurité du travail (c. S-2.1, r.19.01, Octobre, 2007) dans la Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1, a. 223,) : Québec, éditeur officiel du Québec, 2007

Harris M.L., Sapko M.J., Mainiero R.J. 2005. Field studies of CO migration from blasting. In: Proceedings of the 31st Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. Orlando, FL: International Society of Explosives Engineers, 2005G Volume 2, 21 p.

Harris M.L., Sapko M.J., Mainiero R.J. 2003. Toxic fume comparison of a few explosives used in trench blasting. In: Proceedings of the 29th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. Nashville, TN: International Society of Explosives Engineers, 2003G Volume 2, pp. 319-336.

Hazen A. (1911). Discussion of «Dams on sand foundations» by A.C. Koenig, Trans.ASCE Vol. 73.

Health and Welfare Canada (1989). Exposure Guidelines for residential indoor air quality. Report of federal/provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health. Ottawa.

Martel, R., Trépanier, L., Lévesque, B., Sanfaçon, G., Brousseau, P., Lavigne, M.-A., Boutin, L.-C., Auger, P., Gauvin, D., and Galarneau, L. 2004a. Carbon monoxide poisoning associated with blasting operations close to underground enclosed spaces. Part 1. CO production and migration mechanisms. Canadian Geotechnical Journal, 41: 371–382.

Martel, R., Trépanier, L., Lavigne, M.-A., Lévesque, B., Sanfaçon, G., Brousseau, P., and Auger, P. 2004b. Carbon monoxide poisoning associated with blasting operations close to underground enclosed spaces. Part 2. Special working procedures to minimize CO migration. Canadian Geotechnical Journal, 41: 383–391.

Martel R., Sanfaçon G., Schnelbelen M., Trépanier L., Lévesque B., Lavigne M-A., Boutin L-C., Gauvin D., Galarneau L., Auger P. (2002); Évaluation de la production de monoxyde de carbone associée aux travaux aux explosifs. IRSST, 2002. iv, 41 p. : ill. (Études et recherches / IRSST ; R-314).

National Institute for Occupational Safety and Health, (1997). Pocket guide to chemical hazards. Cincinnati.

NIOH, 1998. Carbon monoxide poisoning and death after the use of explosives in a sewer construction project : Hazard ID 3. DHHS (NIOH) Publication 98-122, National Institute for Occupational Health and Safety, Pittsburgh, Pa.

National Institute for Occupational Safety and Health, (1973). Criteria for a recommended standard. Occupational exposure to carbon monoxide. Cincinnati: Pub. No. 73-11000.

St-Julien, P., 1995. Géologie de la région de Québec. Secteur des Mines; Ministères des ressources naturelles; Gouvernement du Québec; document MB 94-40; 70 p.

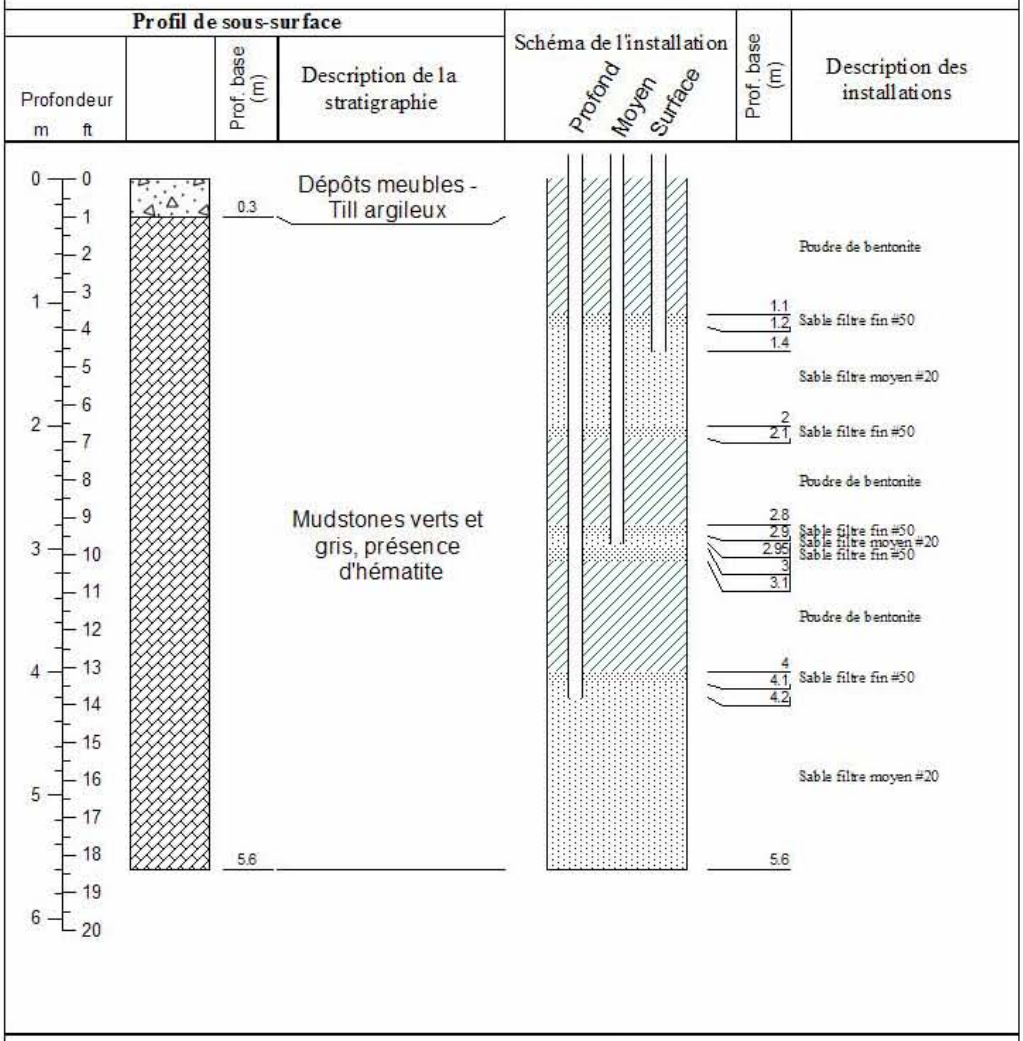
World Health Organization (1999). Environmental Health Criteria 213-Carbon monoxide. Geneva, WHO.

ANNEXE A

Journaux de forage

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

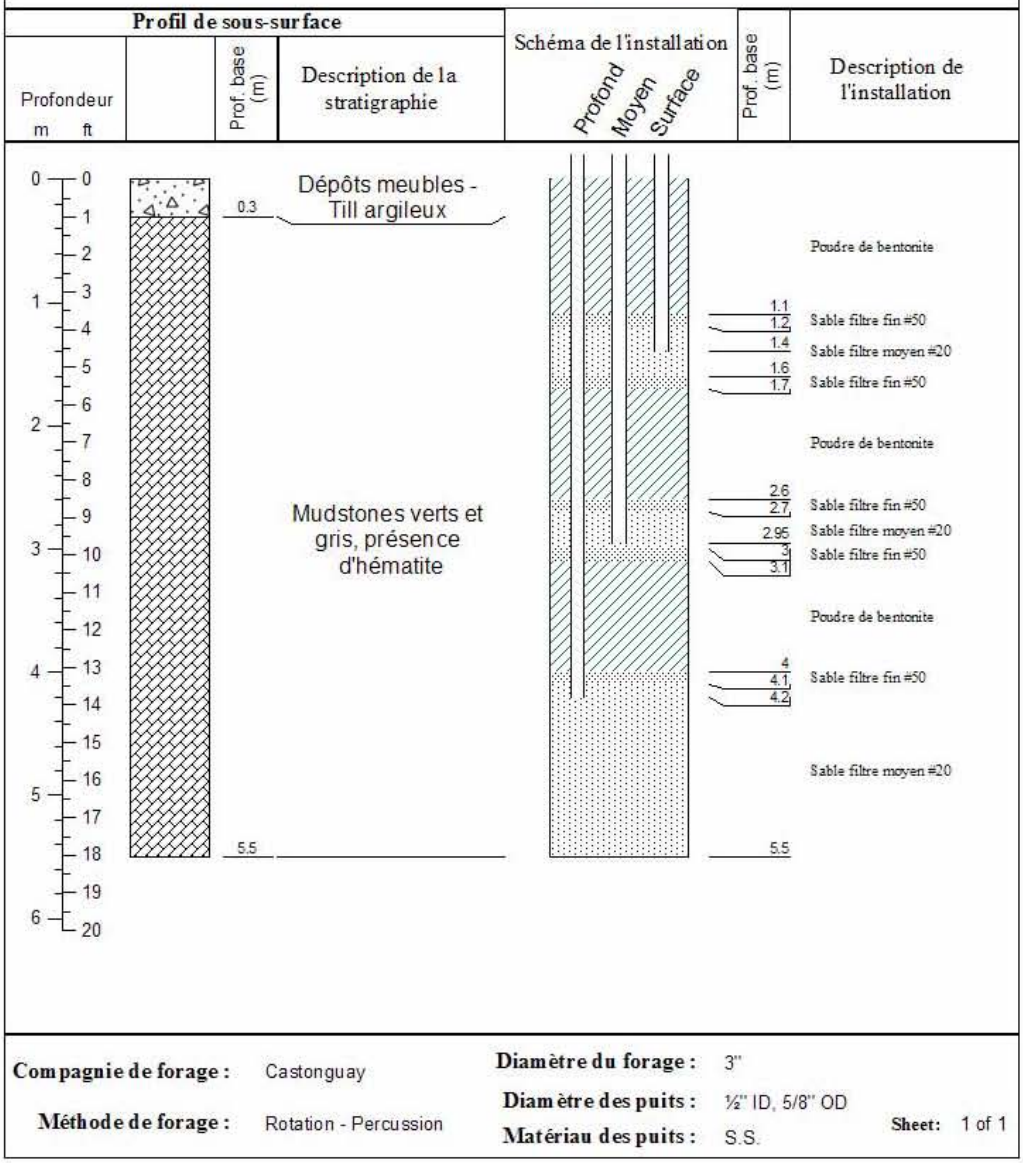
FORAGE NO. : PUITS 1
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

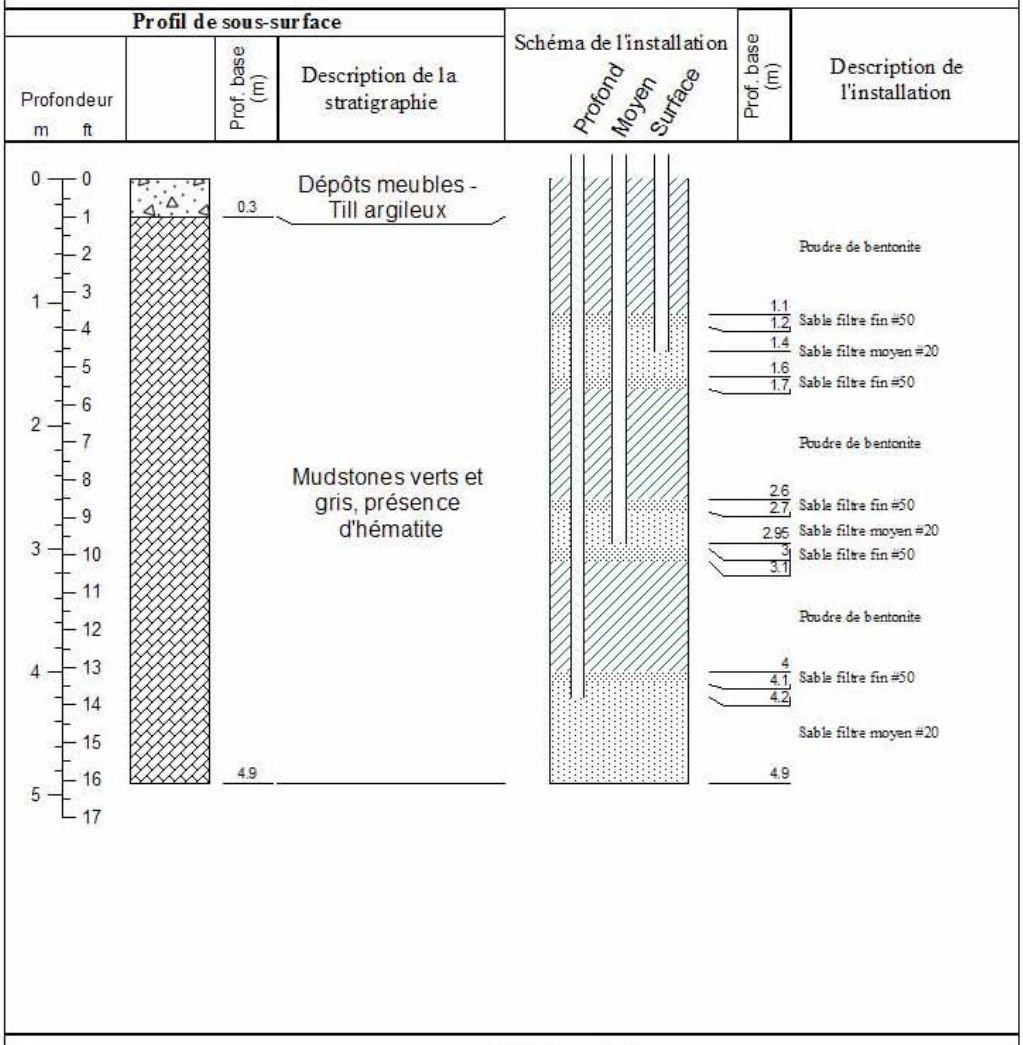
FORAGE NO. : PUITS 2
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

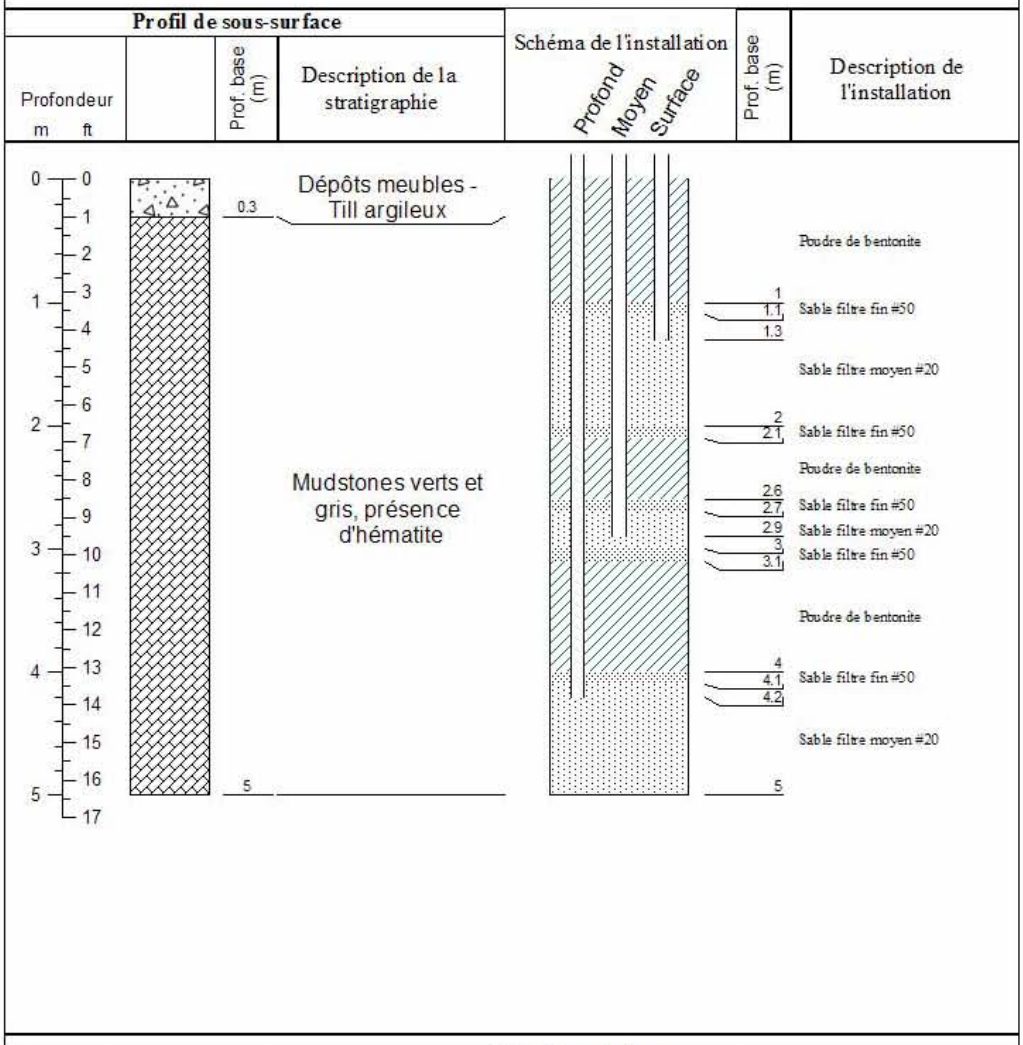
FORAGE NO. : PUITS 3
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

FORAGE NO. : PUITS 4
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

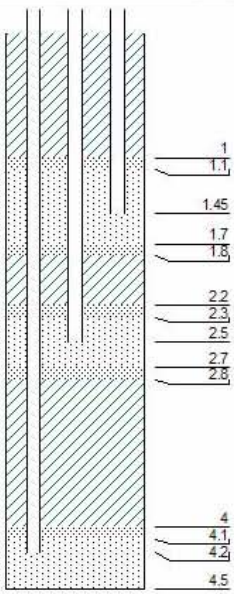
Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

FORAGE NO. : PUITS 5
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31

Profil de sous-surface

Profondeur m	Profondeur ft	Prof. base	Description de la stratigraphie
0	0		
	1	0.3	Dépôts meubles - Till argileux
	2		
1	3		
	4		
	5		
	6		
2	7		
	8		Mudstones verts et gris, présence d'hématite
	9		
3	10		
	11		
	12		
4	13		
	14	4.5	
	15		
	16		
5			

Schéma de l'installation

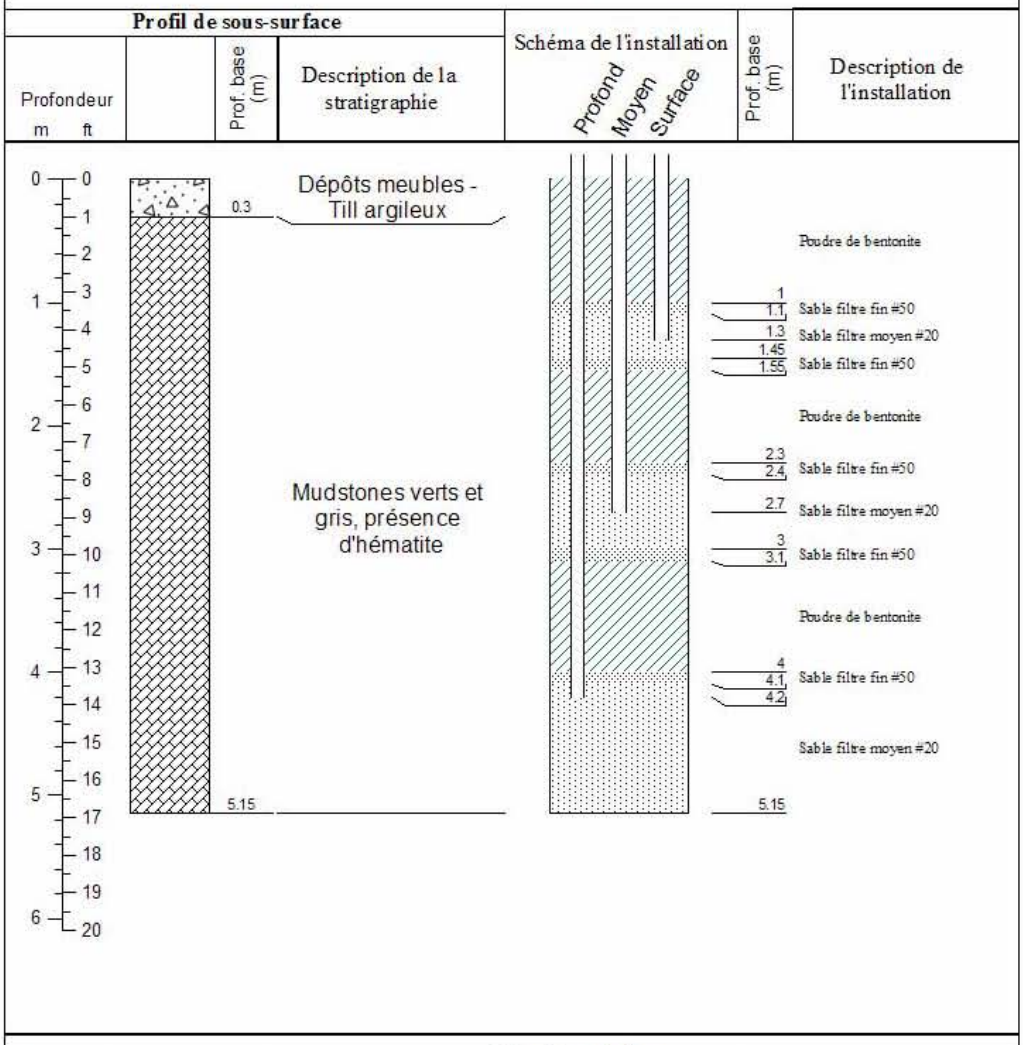


Prof. base	Description de l'installation
	Poudre de bentonite
1	
1.1	Sable filtre fin #50
1.45	Sable filtre moyen #20
1.7	
1.8	Sable filtre fin #50
	Poudre de bentonite
2.2	
2.3	Sable filtre fin #50
2.5	Sable filtre moyen #20
2.7	
2.8	Sable filtre fin #50
	Poudre de bentonite
4	
4.1	Sable filtre fin #50
4.2	Sable filtre moyen #20
4.5	

Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

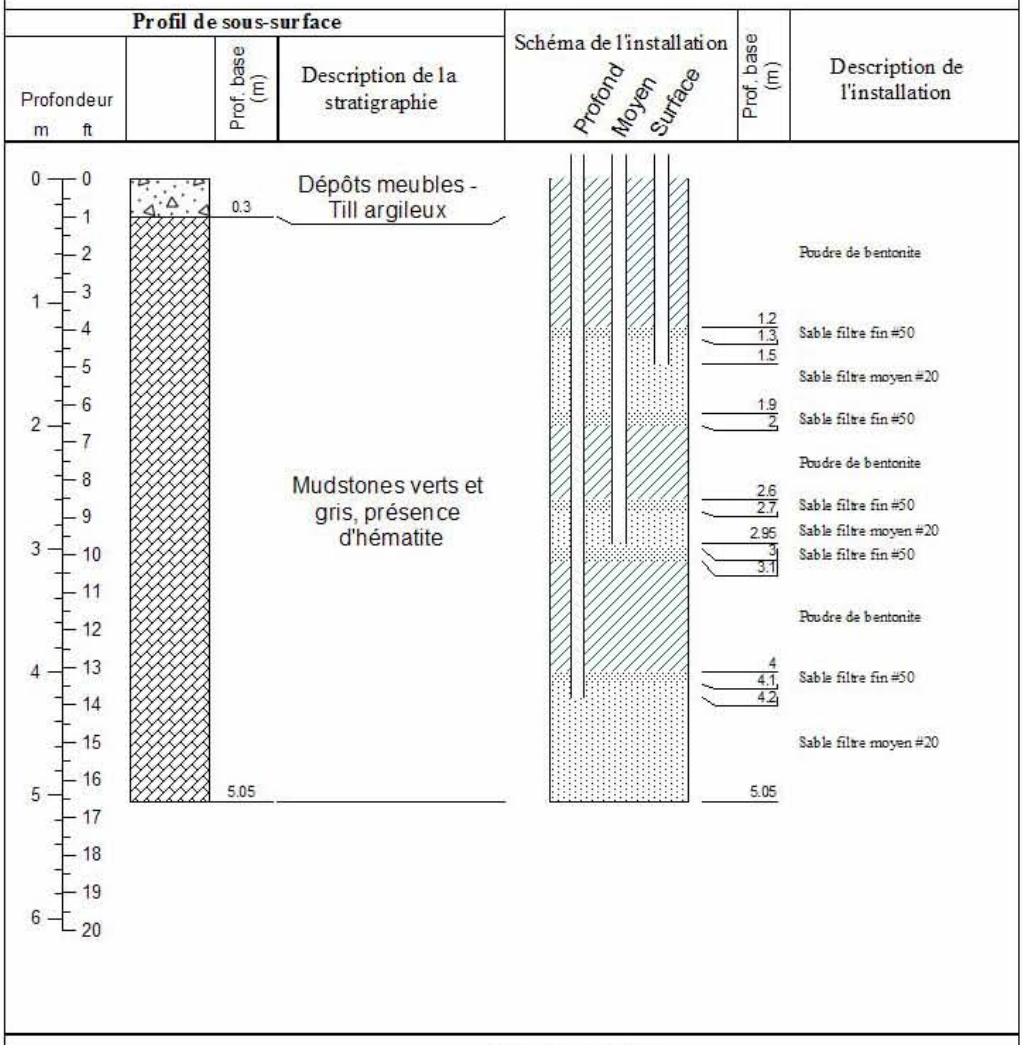
FORAGE NO. : PUITS A
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

FORAGE NO. : PUITS B
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

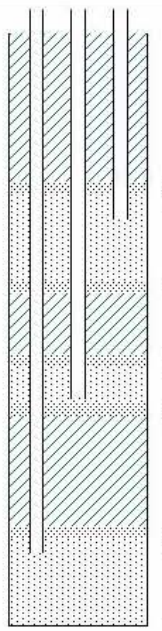
Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

FORAGE NO. : PUITS C
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31

Profil de sous-surface

Profondeur m	Profondeur ft	Prof. base (m)	Description de la stratigraphie
		0.3	Dépôts meubles - Till argileux
		4.8	Mudstones verts et gris, présence d'hématite

Schéma de l'installation

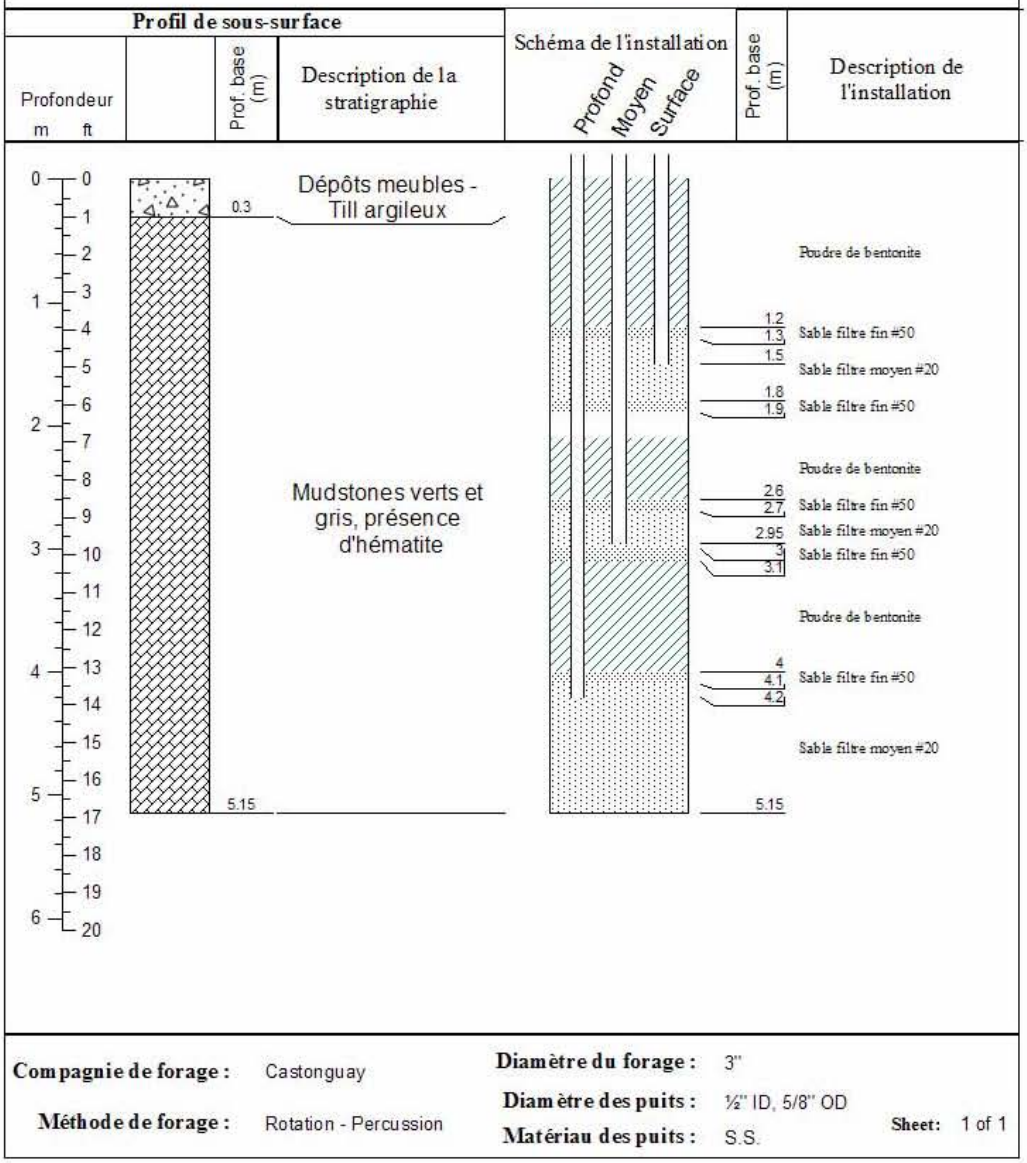


Prof. base (m)	Description de l'installation
	Poudre de bentonite
1.2	
1.3	Sable filtre fin #50
1.5	
	Sable filtre moyen #20
2	
2.1	Sable filtre fin #50
	Poudre de bentonite
2.6	
2.7	Sable filtre fin #50
2.95	Sable filtre moyen #20
3	Sable filtre fin #50
3.1	
	Poudre de bentonite
4	
4.1	Sable filtre fin #50
4.2	
	Sable filtre moyen #20
4.8	

Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

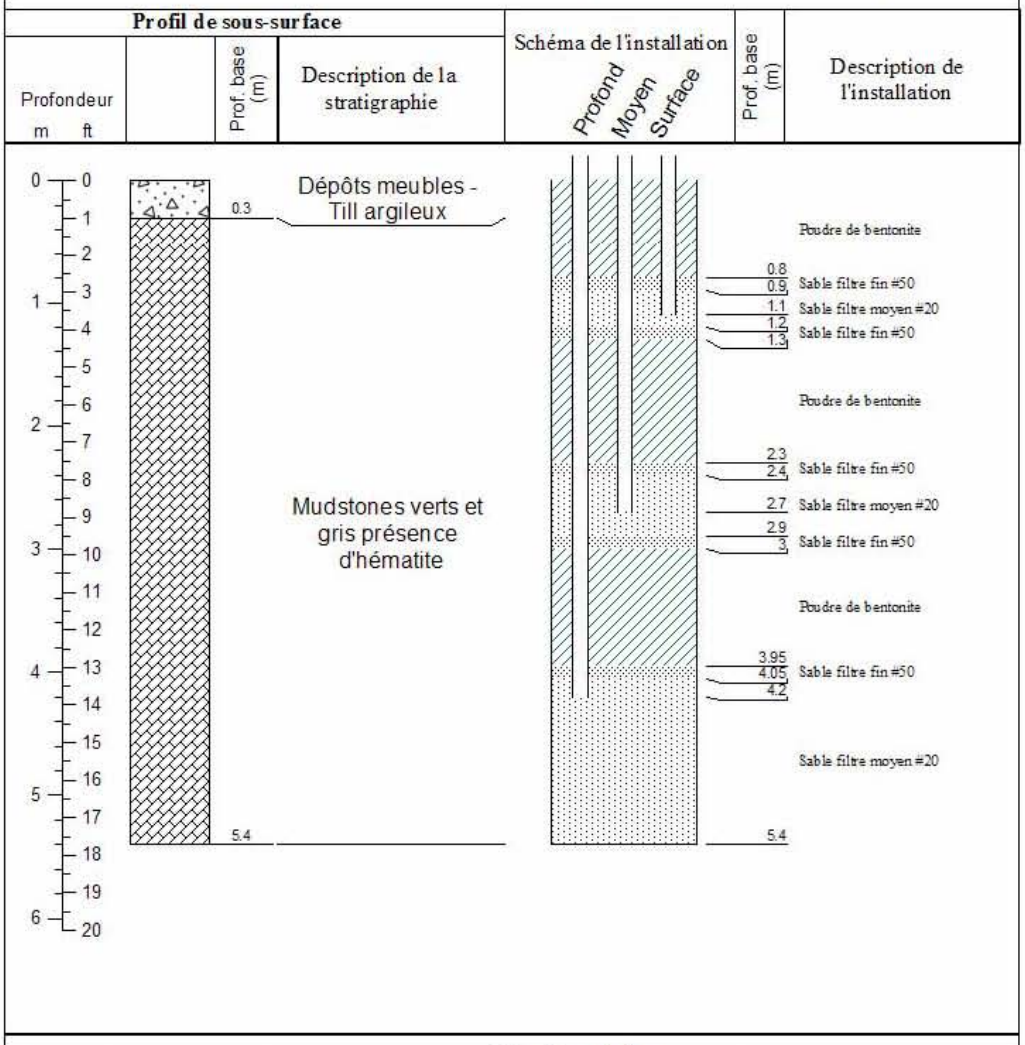
FORAGE NO. : PUITS D
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-07-31



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

FORAGE NO. : PUITS E
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-08-03



Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

ANNEXE B

Concentrations maximales en CO mesurées dans le roc après les différents sautages

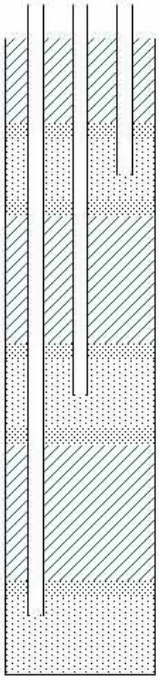
Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique

FORAGE NO. : PUITS F
Projet : CO - Vandry
Localisation : Pav. Vandry, Université Laval
Date d'installation : 2006-08-03

Profil de sous-surface

Profondeur m	Profondeur ft	Prof. base (m)	Description de la stratigraphie
		0.3	Dépôts meubles - Till argileux
		3.75	Mudstones verts et gris, présence d'hématite

Schéma de l'installation



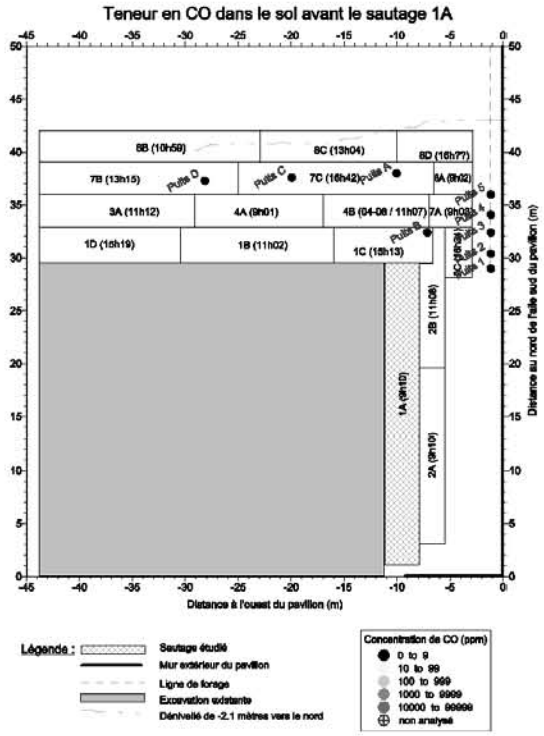
Prof. base (m)	Description de l'installation
	Poudre de bentonite
0.5	
0.6	Sable filtre fin #50
0.8	Sable filtre moyen #20
0.95	
1.05	Sable filtre fin #50
	Poudre de bentonite
1.8	
1.9	Sable filtre fin #50
2.1	Sable filtre moyen #20
2.3	
2.4	Sable filtre fin #50
	Poudre de bentonite
3.2	
3.3	Sable filtre fin #50
3.4	
	Sable filtre moyen #20
3.75	

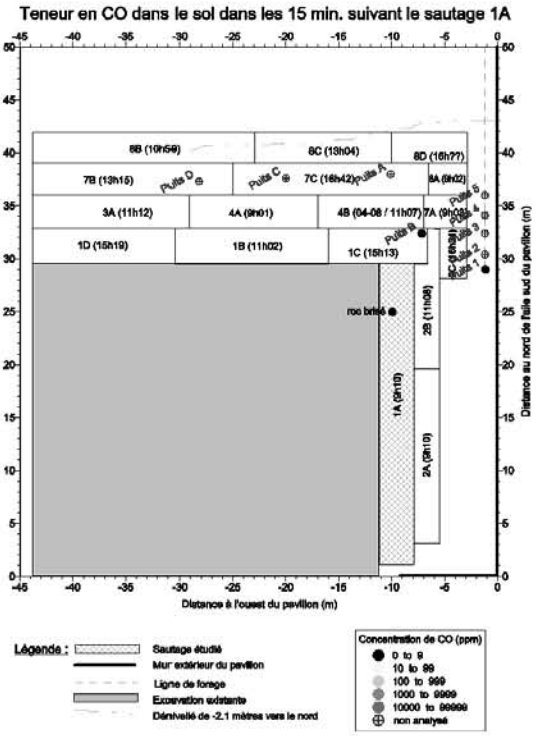
Compagnie de forage : Castonguay
Méthode de forage : Rotation - Percussion
Diamètre du forage : 3"
Diamètre des puits : ½" ID, 5/8" OD
Matériau des puits : S.S.
Sheet: 1 of 1

No de sautage : 1A
Date @ Heure : 01-08-06 @ 9h10

# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 6h40-7h20	9h10-9h25
1-s	-1,2	29	-1,4	0	0
1-m	-1,2	29	-2,95	0	0
1-p	-1,2	29	-4,2	0	0
2-s	-1,2	30,4	-1,4	0	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	0	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	0	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	0	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	0	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	0	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	N/A
4-m	-1,2	34,1	-2,9	0	N/A
4-p	-1,2	34,1	-4,2	0	N/A
5-s	-1,2	36	-1,45	0	N/A
5-m	-1,2	36	-2,5	0	N/A
5-p	-1,2	36	-4,2	0	N/A
A-s	-10,1	38	-1,3	0	N/A
A-m	-10,1	38	-2,7	0	N/A
A-p	-10,1	38	-4,2	0	N/A
B-s	-7,2	32,4	-1,5	0	0
B-m	-7,2	32,4	-2,95	0	0
B-p	-7,2	32,4	-4,2	0	0
C-s	-20	37,6	-1,5	0	N/A
C-m	-20	37,6	-2,95	0	N/A
C-p	-20	37,6	-4,2	0	N/A
D-s	-28,2	37,3	-1,5	0	N/A
D-m	-28,2	37,3	-2,95	0	N/A
D-p	-28,2	37,3	-4,2	0	N/A
E-s	-6,4	40,5	-1,1	Installés le 03-08-06	
E-m	-6,4	40,5	-2,7		
E-p	-6,4	40,5	-4,2		
F-s	-9	45,5	-2,9	Installés le 03-08-06	
F-m	-9	45,5	-4,2		
F-p	-9	45,5	-5,5		
Roc brisé	-10	25	-1	N/A	0

N/A : Non Analysé


Teneur en CO dans le sol avant le sautage 1A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h32)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2B (11h06)
1A (9h10)
2A (9h10)
Puits A
Puits B
Puits C
Puits D
Puits 1
Puits 2
Puits 3
Puits 4
Puits 5
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

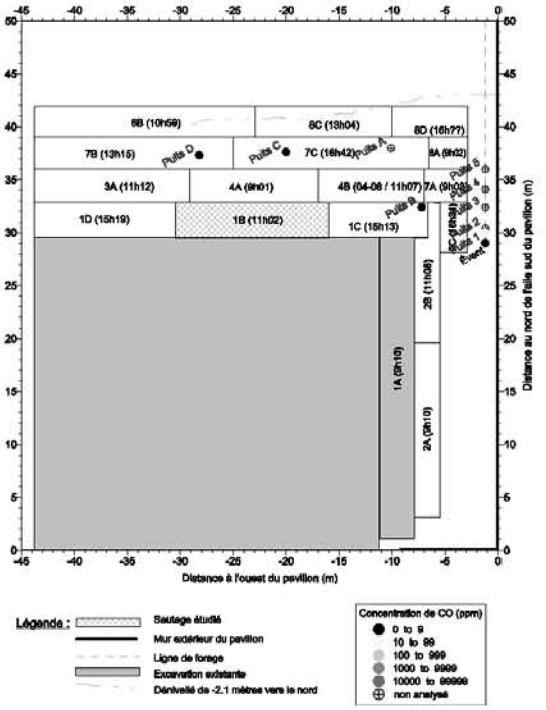

Teneur en CO dans le sol dans les 15 min. suivant le sautage 1A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h32)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2B (11h06)
1A (9h10)
2A (9h10)
roc brisé
Puits A
Puits B
Puits C
Puits D
Puits 1
Puits 2
Puits 3
Puits 4
Puits 5
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

No de sautage : **1B**
Date @ Heure : **01-08-06 @ 11h02**

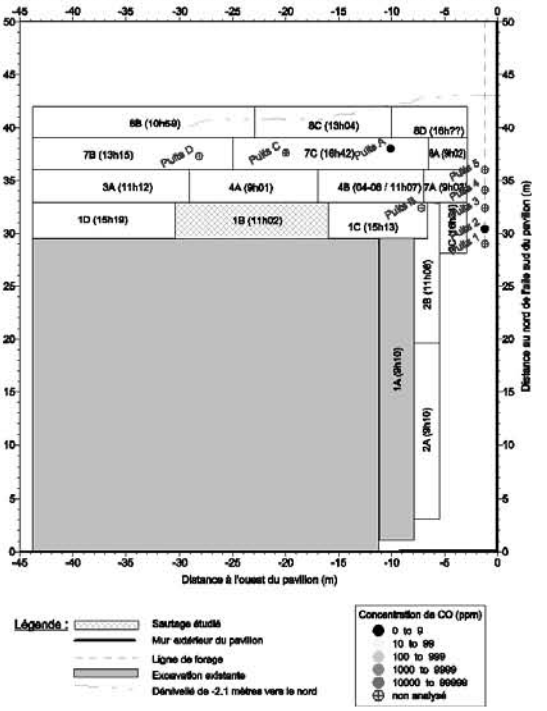
				Concentration en CO (ppm)		
# puits	**X**	**Y**	**Z**	**11h02-11h32**	**11h32-12h02**	**13h40-14h20**
1-s	-1,2	29	-1,4	0	N/A	0
1-m	-1,2	29	-2,95	0	N/A	0
1-p	-1,2	29	-4,2	0	N/A	0
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A	0	0
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A	0	0
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A	0	0
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A	N/A	0
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A	N/A	0
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A	N/A	0
4-s	-1,2	34,1	-1,3	N/A	N/A	0
4-m	-1,2	34,1	-2,9	N/A	N/A	0
4-p	-1,2	34,1	-4,2	N/A	N/A	0
5-s	-1,2	36	-1,45	N/A	N/A	0
5-m	-1,2	36	-2,5	N/A	N/A	0
5-p	-1,2	36	-4,2	N/A	N/A	0
A-s	-10,1	38	-1,3	N/A	0	0
A-m	-10,1	38	-2,7	N/A	0	0
A-p	-10,1	38	-4,2	N/A	0	0
B-s	-7,2	32,4	-1,5	0	N/A	0
B-m	-7,2	32,4	-2,95	0	N/A	0
B-p	-7,2	32,4	-4,2	0	N/A	10
C-s	-20	37,6	-1,5	0	N/A	0
C-m	-20	37,6	-2,95	0	N/A	0
C-p	-20	37,6	-4,2	0	N/A	0
D-s	-28,2	37,3	-1,5	0	N/A	0
D-m	-28,2	37,3	-2,95	0	N/A	0
D-p	-28,2	37,3	-4,2	0	N/A	0
E-s	-6,4	40,5	-1,1	Installés le 03-08-06		
E-m	-6,4	40,5	-2,7			
E-p	-6,4	40,5	-4,2			
F-s	-9	45,5	-2,9	Installés le 03-08-06		
F-m	-9	45,5	-4,2			
F-p	-9	45,5	-5,5			
Roc brisé	-24	32	-1	N/A	N/A	N/A
Évent	-1,2	29	-1	10	N/A	N/A

N/A : Non Analysé

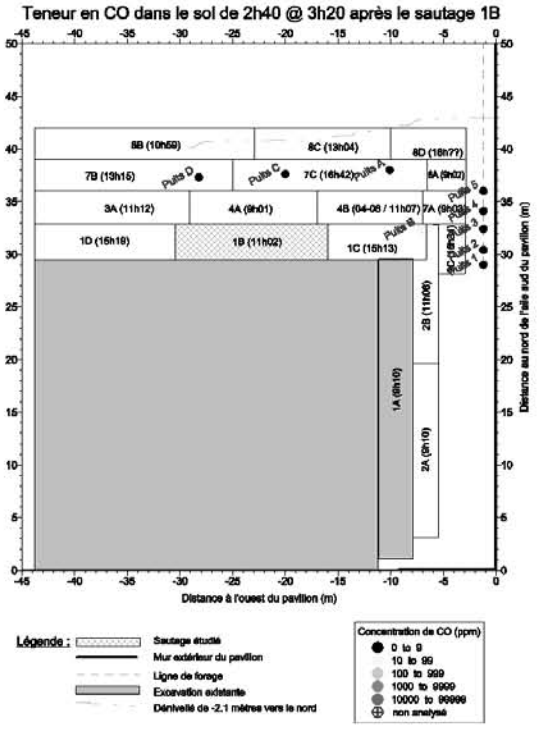
Teneur en CO dans le sol dans les 30 min. suivant le sautage 1B



Teneur en CO dans le sol de 30 min. à 1 heure après le sautage 1B



Teneur en CO dans le sol de 2h40 @ 3h20 après le sautage 1B

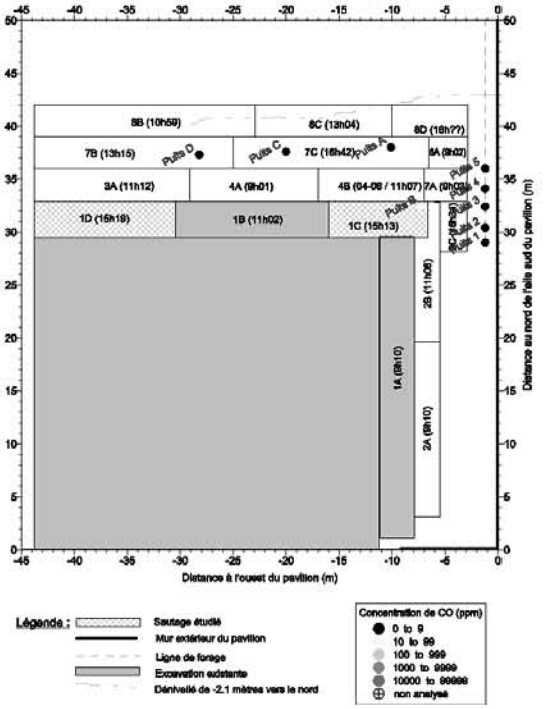


No de sautage : 1C et 1D
Date @ Heure : 01-08-06 @ 15h13 et 15h19

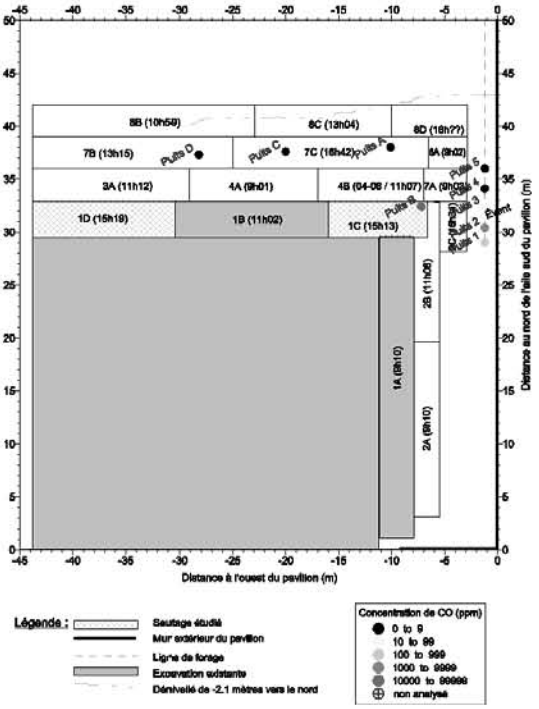
				Concentration de CO (ppm)				
# puits	**X**	**Y**	**Z**	**13h40-14h20**	**15h20-15h50**	**16h00-16h30**	**16h30-17h00**	**17h00-17h30**
1-s	-1,2	29	-1,4	0	110	20	N/A	0
1-m	-1,2	29	-2,95	0	200	10	N/A	0
1-p	-1,2	29	-4,2	0	150	10	N/A	0
2-s	-1,2	30,4	-1,4	0	300	50	N/A	140
2-m	-1,2	30,4	-2,95	0	6	40	N/A	10
2-p	-1,2	30,4	-4,2	0	1250	20	N/A	0
3-s	-1,2	32,4	-1,4	0	40	10	N/A	0
3-m	-1,2	32,4	-2,95	0	30	10	N/A	0
3-p	-1,2	32,4	-4,2	0	10	10	N/A	0
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	0	10	N/A	0
4-m	-1,2	34,1	-2,9	0	0	10	N/A	0
4-p	-1,2	34,1	-4,2	0	0	10	N/A	0
5-s	-1,2	36	-1,45	0	0	10	N/A	0
5-m	-1,2	36	-2,5	0	0	10	N/A	0
5-p	-1,2	36	-4,2	0	0	0	N/A	0
A-s	-10,1	38	-1,3	0	0	N/A	0	N/A
A-m	-10,1	38	-2,7	0	0	N/A	0	N/A
A-p	-10,1	38	-4,2	0	0	N/A	0	N/A
B-s	-7,2	32,4	-1,5	0	16300	2000	5500	900
B-m	-7,2	32,4	-2,95	0	39500	45500	37600	11260
B-p	-7,2	32,4	-4,2	10	40000	58000	52200	790
C-s	-20	37,6	-1,5	0	0	N/A	0	N/A
C-m	-20	37,6	-2,95	0	0	N/A	0	N/A
C-p	-20	37,6	-4,2	0	0	N/A	10	N/A
D-s	-28,2	37,3	-1,5	0	0	N/A	0	N/A
D-m	-28,2	37,3	-2,95	0	0	N/A	0	N/A
D-p	-28,2	37,3	-4,2	0	0	N/A	0	N/A
E-s	-6,4	40,5	-1,1	Installés le 03-08-06				
E-m	-6,4	40,5	-2,7					
E-p	-6,4	40,5	-4,2					
F-s	-9	45,5	-2,9	Installés le 03-08-06				
F-m	-9	45,5	-4,2					
F-p	-9	45,5	-5,5					
Roc brisé	-11	32	-1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Évent	-1,2	31,5	-1	N/A	70	0	N/A	N/A

N/A : Non Analysé

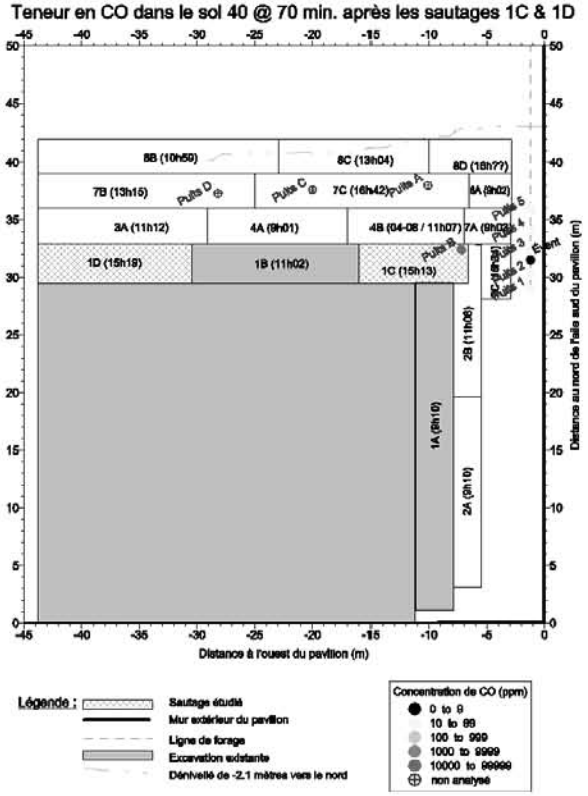
Teneur en CO dans le sol avant les sautages 1C & 1D



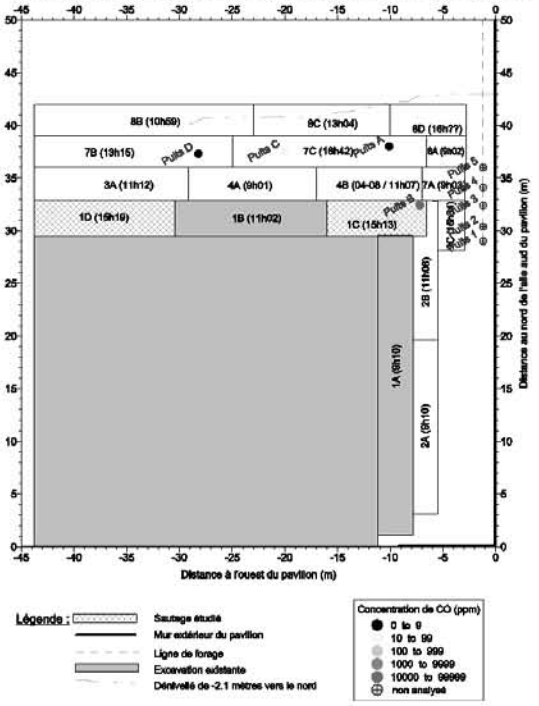
Teneur en CO dans les 30 min. suivant les sautages 1C & 1D



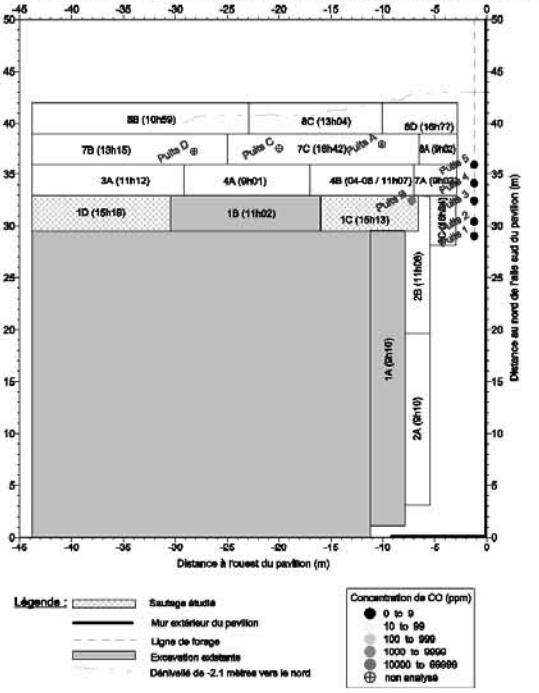
Teneur en CO dans le sol 40 @ 70 min. après les sautages 1C & 1D



Teneur en CO dans le sol 70 @ 100 min. après les sautages 1C & 1D



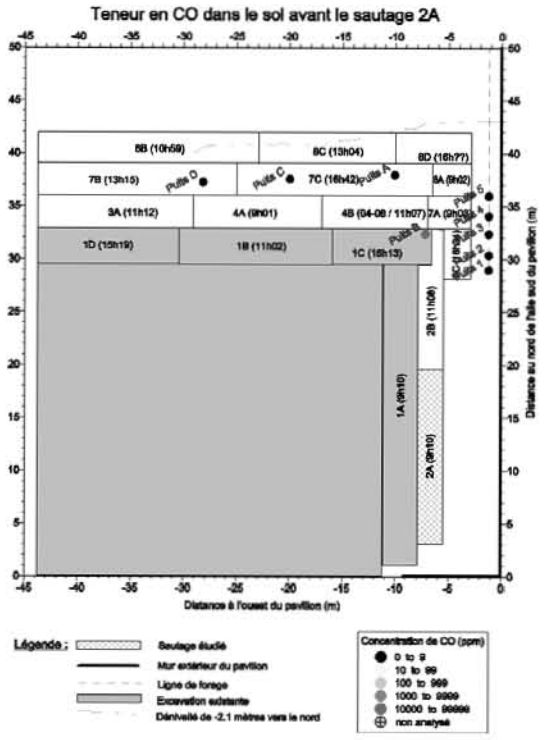
Teneur en CO dans le sol 100 @ 130 min. après les sautages 1C & 1D

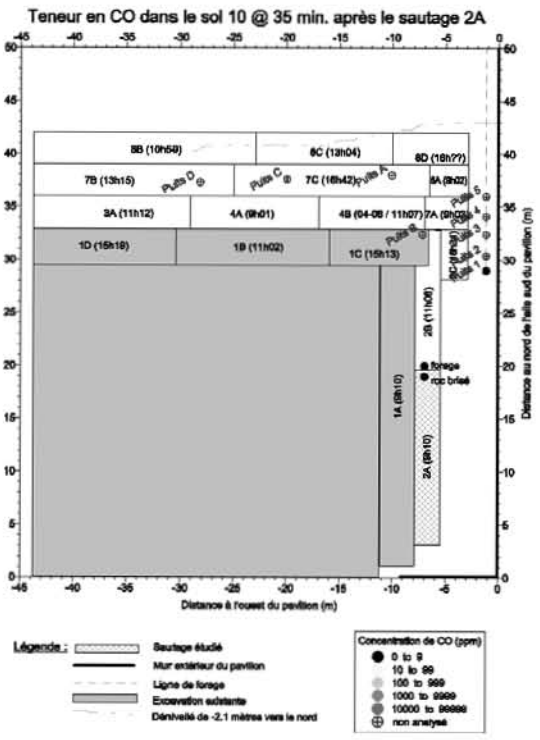


No de sautage : 2A
Date @ Heure : 02-08-06 @ 9h10

# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 7h05-7h30	9h20 à 9h45
1-s	-1,2	29	-1,4	0	0
1-m	-1,2	29	-2,95	0	0
1-p	-1,2	29	-4,2	0	0
2-s	-1,2	30,4	-1,4	0	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	0	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	0	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	0	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	0	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	0	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	N/A
4-m	-1,2	34,1	-2,9	0	N/A
4-p	-1,2	34,1	-4,2	0	N/A
5-s	-1,2	36	-1,45	0	N/A
5-m	-1,2	36	-2,5	0	N/A
5-p	-1,2	36	-4,2	0	N/A
A-s	-10,1	38	-1,3	0	N/A
A-m	-10,1	38	-2,7	0	N/A
A-p	-10,1	38	-4,2	0	N/A
B-s	-7,2	32,4	-1,5	430	N/A
B-m	-7,2	32,4	-2,95	2200	N/A
B-p	-7,2	32,4	-4,2	11000	N/A
C-s	-20	37,6	-1,5	0	N/A
C-m	-20	37,6	-2,95	0	N/A
C-p	-20	37,6	-4,2	0	N/A
D-s	-28,2	37,3	-1,5	0	N/A
D-m	-28,2	37,3	-2,95	0	N/A
D-p	-28,2	37,3	-4,2	0	N/A
E-s	-6,4	40,5	-1,1	Installés le 03-08-06	
E-m	-6,4	40,5	-2,7		
E-p	-6,4	40,5	-4,2		
F-s	-9	45,5	-2,9	Installés le 03-08-06	
F-m	-9	45,5	-4,2		
F-p	-9	45,5	-5,5		
Roc brisé	-7	19	-1	N/A	0
Forage	-7	20	-1	N/A	0

N/A : Non Analysé

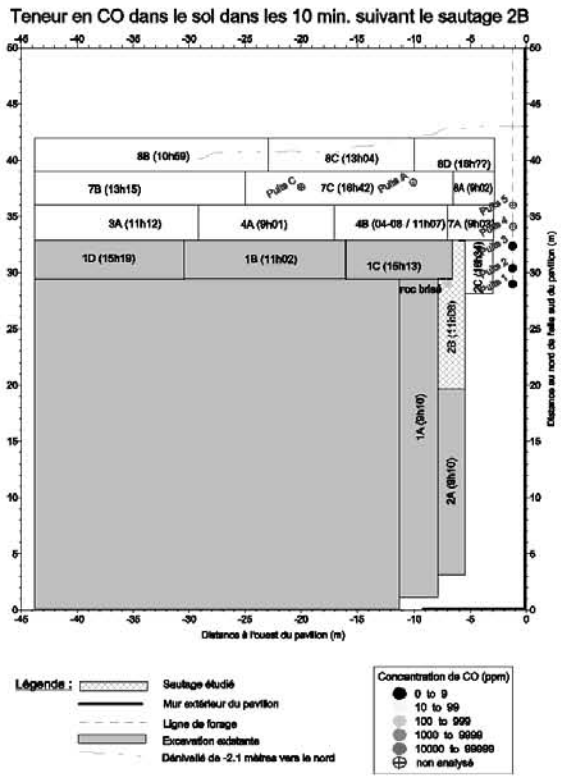

Teneur en CO dans le sol avant le sautage 2A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h08)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2B (11h06)
1A (9h10)
2A (9h10)
Puits D
Puits C
Puits A
Puits B
Puits 5
Puits 4
Puits 3
Puits 2
Puits 1
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Teneur en CO dans le sol 10 @ 35 min. après le sautage 2A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h08)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2B (11h06)
1A (9h10)
2A (9h10)
forage
roc brisé
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

No de sautage : **2B**
Date @ Heure : **02-08-06 @ 11h08**

# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 11h10-11h20
1-s	-1,2	29	-1,4	0
1-m	-1,2	29	-2,95	0
1-p	-1,2	29	-4,2	0
2-s	-1,2	30,4	-1,4	0
2-m	-1,2	30,4	-2,95	0
2-p	-1,2	30,4	-4,2	0
3-s	-1,2	32,4	-1,4	0
3-m	-1,2	32,4	-2,95	0
3-p	-1,2	32,4	-4,2	0
4-s	-1,2	34,1	-1,3	N/A
4-m	-1,2	34,1	-2,9	N/A
4-p	-1,2	34,1	-4,2	N/A
5-s	-1,2	36	-1,45	N/A
5-m	-1,2	36	-2,5	N/A
5-p	-1,2	36	-4,2	N/A
A-s	-10,1	38	-1,3	N/A
A-m	-10,1	38	-2,7	N/A
A-p	-10,1	38	-4,2	N/A
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés
B-m	-7,2	32,4	-2,95	
B-p	-7,2	32,4	-4,2	
C-s	-20	37,6	-1,5	N/A
C-m	-20	37,6	-2,95	N/A
C-p	-20	37,6	-4,2	N/A
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Écrasés par la machinerie
D-m	-28,2	37,3	-2,95	
D-p	-28,2	37,3	-4,2	
E-s	-6,4	40,5	-1,1	Installés le 03-08-06
E-m	-6,4	40,5	-2,7	
E-p	-6,4	40,5	-4,2	
F-s	-9	45,5	-2,9	Installés le 03-08-06
F-m	-9	45,5	-4,2	
F-p	-9	45,5	-5,5	
Roc brisé	-7	29	-1	130

N/A : Non Analysé

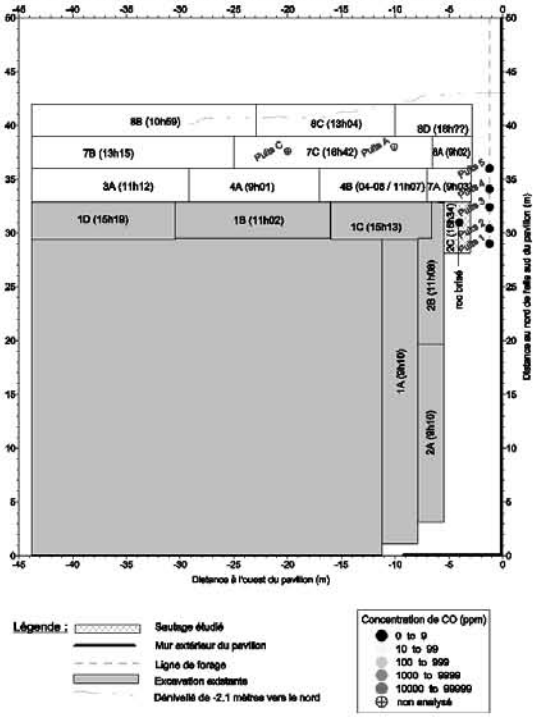

Teneur en CO dans le sol dans les 10 min. suivant le sautage 2B
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (15h77)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
roc brisé
2B (11h09)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

No de sautage : 2C
Date @ Heure : 02-08-06 @ 16h34

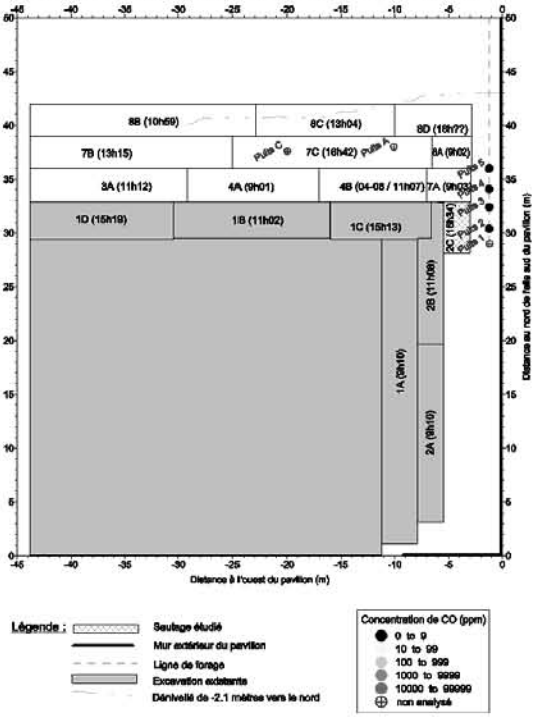
# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 16h35-16h50	17h00-17h10
1-s	-1,2	29	-1,4	0	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	0	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	0	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	0	0
2-m	-1,2	30,4	-2,95	0	0
2-p	-1,2	30,4	-4,2	0	0
3-s	-1,2	32,4	-1,4	0	0
3-m	-1,2	32,4	-2,95	0	0
3-p	-1,2	32,4	-4,2	0	0
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	0
4-m	-1,2	34,1	-2,9	0	0
4-p	-1,2	34,1	-4,2	0	0
5-s	-1,2	36	-1,45	0	0
5-m	-1,2	36	-2,5	0	0
5-p	-1,2	36	-4,2	0	0
A-s	-10,1	38	-1,3	N/A	N/A
A-m	-10,1	38	-2,7	N/A	N/A
A-p	-10,1	38	-4,2	N/A	N/A
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés	
B-m	-7,2	32,4	-2,95		
B-p	-7,2	32,4	-4,2		
C-s	-20	37,6	-1,5	N/A	N/A
C-m	-20	37,6	-2,95	N/A	N/A
C-p	-20	37,6	-4,2	N/A	N/A
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Écrasés par la machinerie	
D-m	-28,2	37,3	-2,95		
D-p	-28,2	37,3	-4,2		
E-s	-6,4	40,5	-1,1	Installés le 03-08-06	
E-m	-6,4	40,5	-2,7		
E-p	-6,4	40,5	-4,2		
F-s	-9	45,5	-2,9	Installés le 03-08-06	
F-m	-9	45,5	-4,2		
F-p	-9	45,5	-5,5		
Roc brisé	-4	31	-1	0	N/A

N/A : Non Analysé

Teneur en CO dans le sol dans les 25 min. suivant le sautage 2C



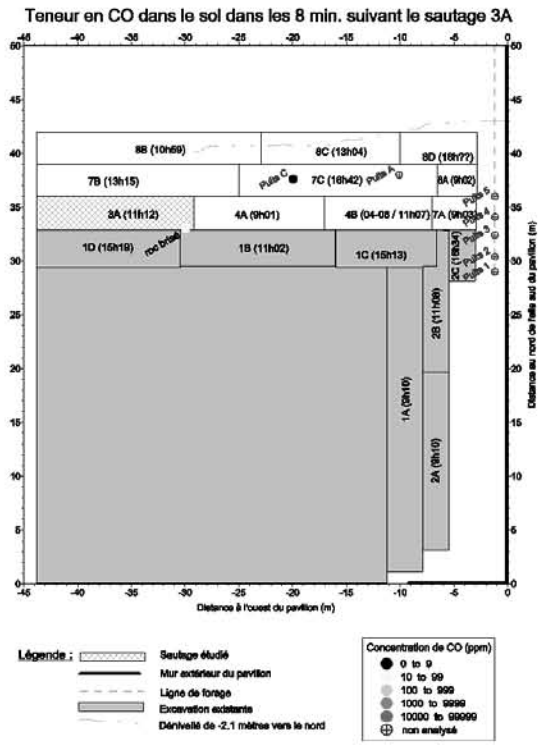
Teneur en CO dans le sol 30 @ 40 min. après le sautage 2C

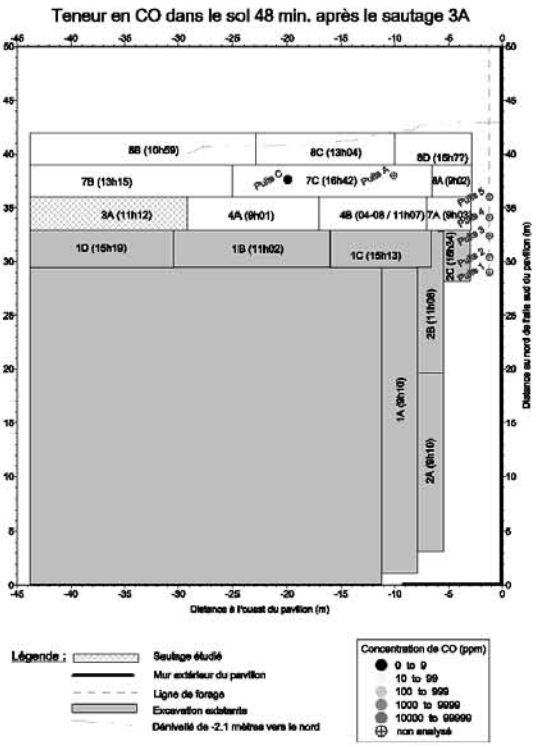


No de sautage : 3A
Date @ Heure : 03-08-06 @ 11h12

# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 11h15-11h20	12h00
1-s	-1,2	29	-1,4	N/A	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	N/A	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	N/A	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	N/A	N/A
4-m	-1,2	34,1	-2,9	N/A	N/A
4-p	-1,2	34,1	-4,2	N/A	N/A
5-s	-1,2	36	-1,45	N/A	N/A
5-m	-1,2	36	-2,5	N/A	N/A
5-p	-1,2	36	-4,2	N/A	N/A
A-s	-10,1	38	-1,3	N/A	N/A
A-m	-10,1	38	-2,7	N/A	N/A
A-p	-10,1	38	-4,2	N/A	N/A
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés	
B-m	-7,2	32,4	-2,95		
B-p	-7,2	32,4	-4,2		
C-s	-20	37,6	-1,5	0	0
C-m	-20	37,6	-2,95	0	0
C-p	-20	37,6	-4,2	0	0
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Écrasés par la machinerie	
D-m	-28,2	37,3	-2,95		
D-p	-28,2	37,3	-4,2		
E-s	-6,4	40,5	-1,1	Installés le 03-08-06 en soirée	
E-m	-6,4	40,5	-2,7		
E-p	-6,4	40,5	-4,2		
F-s	-9	45,5	-2,9	Installés le 03-08-06 en soirée	
F-m	-9	45,5	-4,2		
F-p	-9	45,5	-5,5		
Roc brisé	-30	33	-1	40	N/A

N/A: Non Analysé


Teneur en CO dans le sol dans les 8 min. suivant le sautage 3A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h77)
7B (13h15)
Puits C
7C (16h42)
Puits A
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
roc brisé
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h09)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

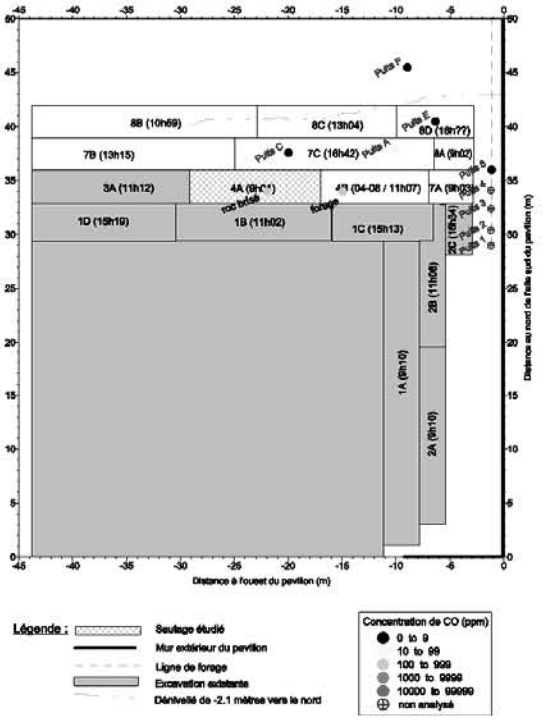

Teneur en CO dans le sol 48 min. après le sautage 3A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h77)
7B (13h15)
Puits C
7C (16h42)
Puits A
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h09)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

No de sautage : 4A
Date @ Heure : 04-08-06 @ 9h01

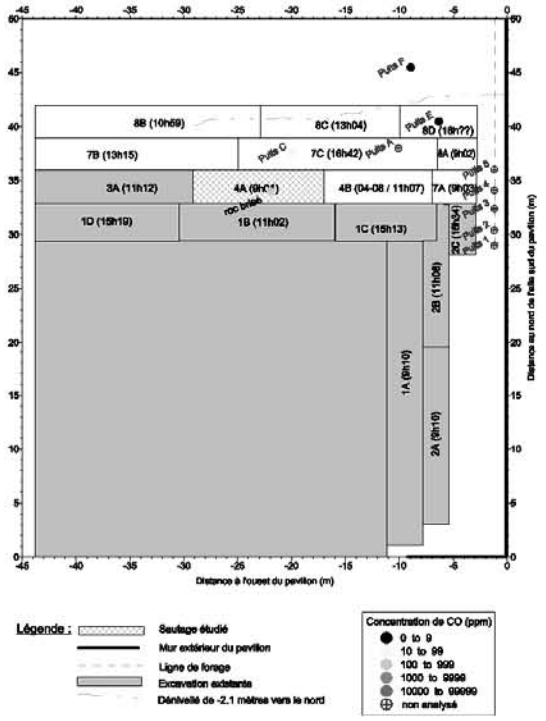
# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 9h03-9h23	9h23-9h53	9h53-10h23
1-s	-1,2	29	-1,4	nd	nd	nd
1-m	-1,2	29	-2,95	nd	nd	nd
1-p	-1,2	29	-4,2	nd	nd	nd
2-s	-1,2	30,4	-1,4	nd	nd	nd
2-m	-1,2	30,4	-2,95	nd	nd	nd
2-p	-1,2	30,4	-4,2	nd	nd	nd
3-s	-1,2	32,4	-1,4	nd	nd	nd
3-m	-1,2	32,4	-2,95	nd	nd	nd
3-p	-1,2	32,4	-4,2	nd	nd	nd
4-s	-1,2	34,1	-1,3	nd	nd	nd
4-m	-1,2	34,1	-2,9	nd	nd	nd
4-p	-1,2	34,1	-4,2	nd	nd	nd
5-s	-1,2	36	-1,45	0	nd	nd
5-m	-1,2	36	-2,5	0	nd	nd
5-p	-1,2	36	-4,2	0	nd	nd
A-s	-10,1	38	-1,3	20	nd	nd
A-m	-10,1	38	-2,7	0	nd	nd
A-p	-10,1	38	-4,2	0	nd	nd
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés		
B-m	-7,2	32,4	-2,95			
B-p	-7,2	32,4	-4,2			
C-s	-20	37,6	-1,5	0	30	0
C-m	-20	37,6	-2,95	0	20	0
C-p	-20	37,6	-4,2	0	nd	0
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Écrasés par la machinerie		
D-m	-28,2	37,3	-2,95			
D-p	-28,2	37,3	-4,2			
E-s	-6,4	40,5	-1,1	0	0	nd
E-m	-6,4	40,5	-2,7	0	0	nd
E-p	-6,4	40,5	-4,2	0	0	nd
F-s	-9	45,5	-2,9	0	0	nd
F-m	-9	45,5	-4,2	0	0	nd
F-p	-9	45,5	-5,5	0	0	nd
Roc brisé	-22	34	-1	574	460	
Forage	-20	34	-1	110		

N/A : Non Analysé

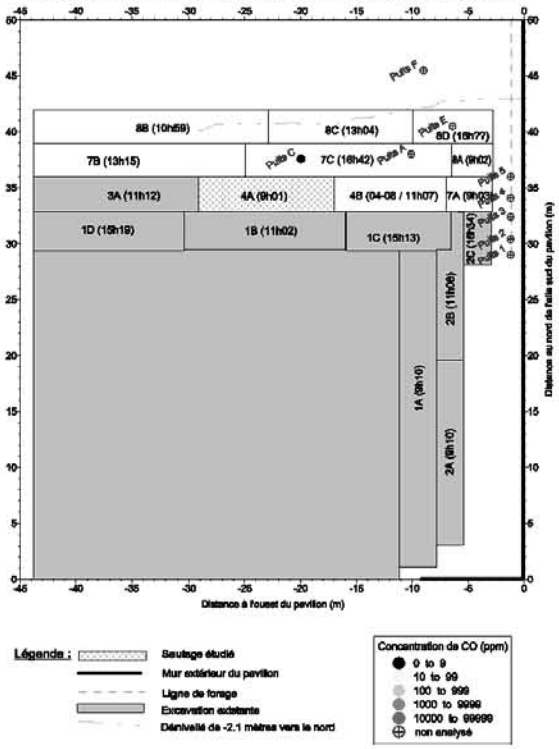
Teneur en CO dans le sol dans les 20min. suivant le sautage 4A



Teneur en CO dans le sol 20 @ 50 min. après le sautage 4A



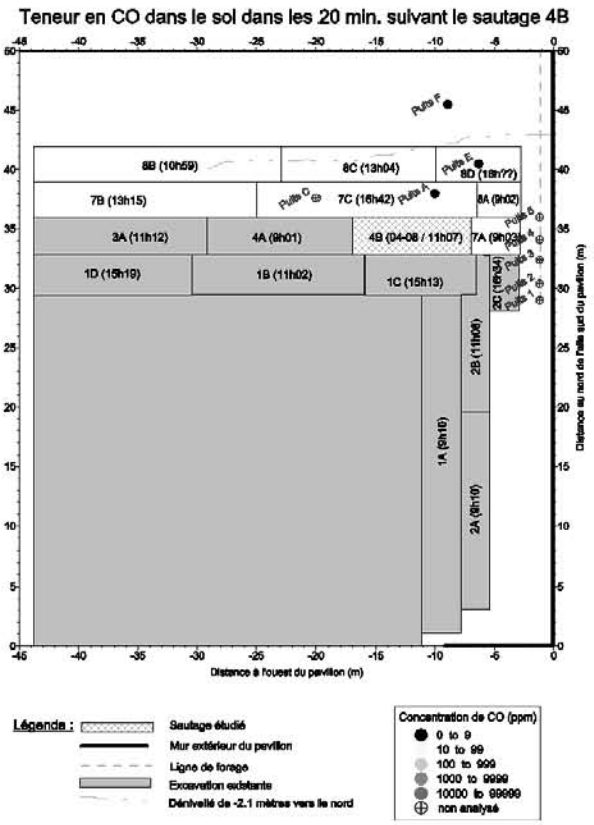
Teneur en CO dans le sol 50 @ 80 min. après le sautage 4A



No de sautage : 4B
Date @ Heure : 04-08-06 @ 11h07

# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 11h10-11h25
1-s	-1,2	29	-1,4	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	N/A
4-m	-1,2	34,1	-2,9	N/A
4-p	-1,2	34,1	-4,2	N/A
5-s	-1,2	36	-1,45	N/A
5-m	-1,2	36	-2,5	N/A
5-p	-1,2	36	-4,2	N/A
A-s	-10,1	38	-1,3	0
A-m	-10,1	38	-2,7	0
A-p	-10,1	38	-4,2	0
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés
B-m	-7,2	32,4	-2,95	
B-p	-7,2	32,4	-4,2	
C-s	-20	37,6	-1,5	N/A
C-m	-20	37,6	-2,95	N/A
C-p	-20	37,6	-4,2	N/A
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Écrasés par la machinerie
D-m	-28,2	37,3	-2,95	
D-p	-28,2	37,3	-4,2	
E-s	-6,4	40,5	-1,1	0
E-m	-6,4	40,5	-2,7	0
E-p	-6,4	40,5	-4,2	0
F-s	-9	45,5	-2,9	0
F-m	-9	45,5	-4,2	0
F-p	-9	45,5	-5,5	0
Roc brisé	-10	35	-1	N/A

N/A : Non Analysé

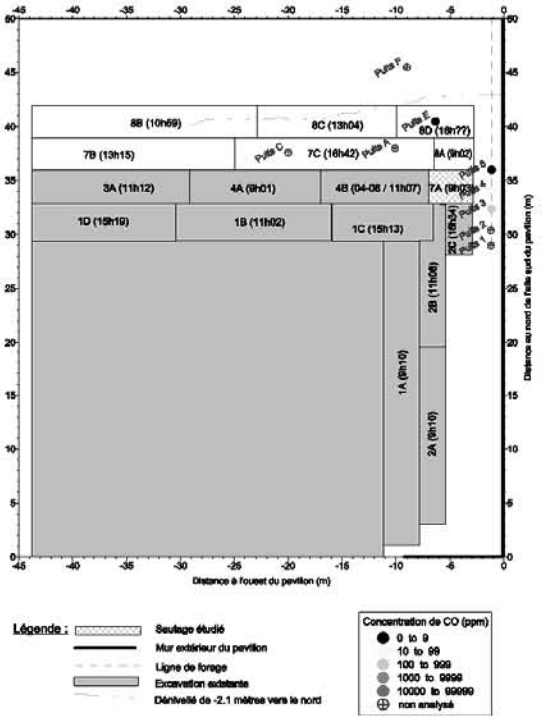

Teneur en CO dans le sol dans les 20 min. suivant le sautage 4B
Puits F
Puits E
Puits D
Puits A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (18h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h16)
2A (9h16)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord du Puits ayant été le pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

No de sautage : 7A
Date @ Heure : 07-08-06 @ 9h03

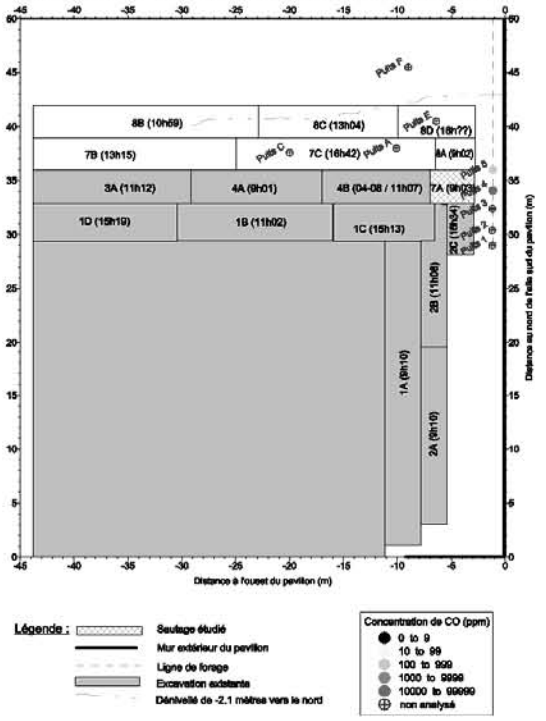
				Concentration de monoxyde de carbone (ppm)				
# puits	**X**	**Y**	**Z**	**9h03-9h18**	**9h18-9h33**	**10h30-11h00**	**11h-12h**	**12h-13h**
1-s	-1,2	29	-1,4	nd	nd	nd	nd	nd
1-m	-1,2	29	-2,95	nd	nd	nd	nd	nd
1-p	-1,2	29	-4,2	nd	nd	nd	nd	nd
2-s	-1,2	30,4	-1,4	nd	nd	nd	nd	nd
2-m	-1,2	30,4	-2,95	nd	nd	nd	nd	nd
2-p	-1,2	30,4	-4,2	nd	nd	nd	nd	nd
3-s	-1,2	32,4	-1,4	10	nd	0	10	0
3-m	-1,2	32,4	-2,95	130	nd	60	30	10
3-p	-1,2	32,4	-4,2	10	nd	0	0	0
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	0	nd	200	0
4-m	-1,2	34,1	-2,9	0	0	nd	0	0
4-p	-1,2	34,1	-4,2	10	13200	9200	6000	3600
5-s	-1,2	36	-1,45	0	0	0	0	0
5-m	-1,2	36	-2,5	0	0	0	0	0
5-p	-1,2	36	-4,2	0	540	2340	1020	850
A-s	-10,1	38	-1,3	nd	nd	nd	nd	nd
A-m	-10,1	38	-2,7	nd	nd	nd	nd	nd
A-p	-10,1	38	-4,2	nd	nd	nd	nd	nd
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés				
B-m	-7,2	32,4	-2,95					
B-p	-7,2	32,4	-4,2					
C-s	-20	37,6	-1,5	nd	nd	nd	nd	nd
C-m	-20	37,6	-2,95	nd	nd	nd	nd	nd
C-p	-20	37,6	-4,2	nd	nd	nd	nd	nd
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Écrasés par la machinerie				
D-m	-28,2	37,3	-2,95					
D-p	-28,2	37,3	-4,2					
E-s	-6,4	40,5	-1,1	0	nd	nd	nd	0
E-m	-6,4	40,5	-2,7	0	nd	nd	nd	0
E-p	-6,4	40,5	-4,2	0	nd	nd	nd	0
F-s	-9	45,5	-2,9	Bouché				
F-m	-9	45,5	-4,2	nd	nd	nd	nd	nd
F-p	-9	45,5	-5,5	nd	nd	nd	nd	nd

N/A : Non Analysé

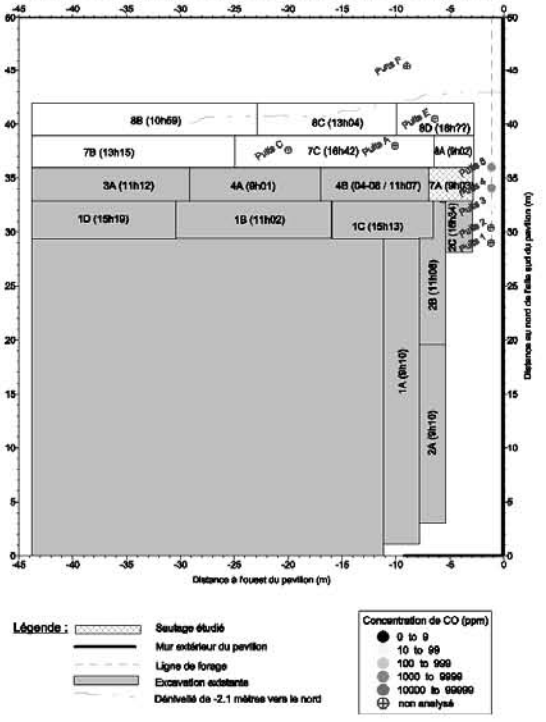
Teneur en CO dans le sol dans les 15 min. suivant le sautage 7A



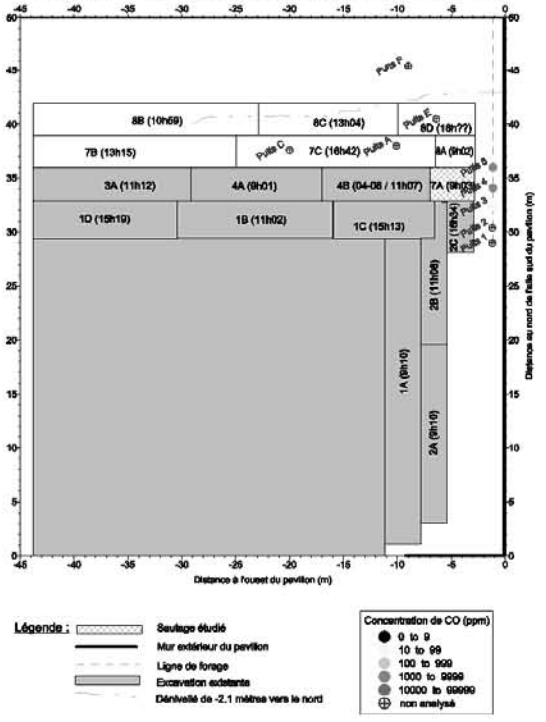
Teneur en CO dans le sol 15 @ 30 min. après le sautage 7A

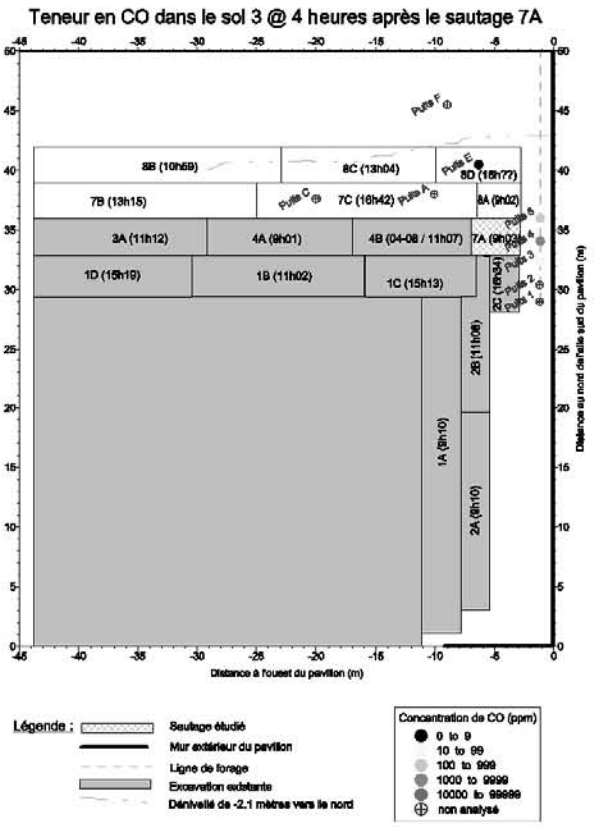


Teneur en CO dans le sol 1,5 @ 2 heures après le sautage 7A



Teneur en CO dans le sol 2 @ 3 heures après le sautage 7A



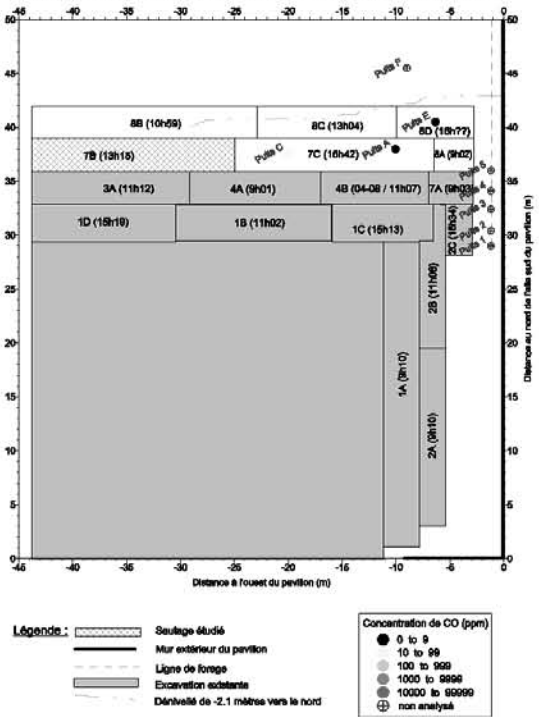

Teneur en CO dans le sol 3 @ 4 heures après le sautage 7A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (15h77)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Puits F
Puits E
Puits C
Puits A
Puits 6
Puits 5
Puits 4
Puits 3
Puits 2
Puits 1
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'allée sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

No de sautage : 7B
Date @ Heure : 07-08-06 @ 13h15

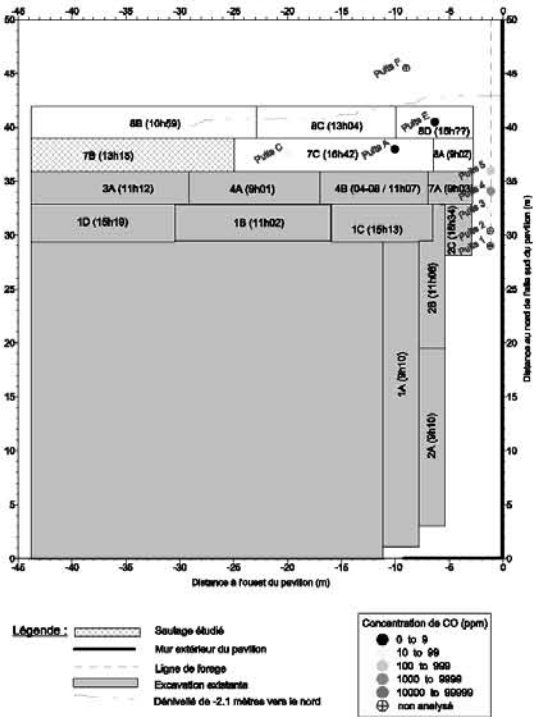
# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 13h15-13h45	13h45-15h00
1-s	-1,2	29	-1,4	N/A	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	N/A	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	N/A	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A	0
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A	10
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A	0
4-s	-1,2	34,1	-1,3	N/A	0
4-m	-1,2	34,1	-2,9	N/A	0
4-p	-1,2	34,1	-4,2	N/A	3000
5-s	-1,2	36	-1,45	N/A	0
5-m	-1,2	36	-2,5	N/A	0
5-p	-1,2	36	-4,2	N/A	840
A-s	-10,1	38	-1,3	0	0
A-m	-10,1	38	-2,7	0	0
A-p	-10,1	38	-4,2	0	0
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés	
B-m	-7,2	32,4	-2,95		
B-p	-7,2	32,4	-4,2		
C-s	-20	37,6	-1,5	10	20
C-m	-20	37,6	-2,95	0	0
C-p	-20	37,6	-4,2	0	0
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Situés sous les matelas	
D-m	-28,2	37,3	-2,95		
D-p	-28,2	37,3	-4,2		
E-s	-6,4	40,5	-1,1	0	0
E-m	-6,4	40,5	-2,7	0	0
E-p	-6,4	40,5	-4,2	0	0
F-s	-9	45,5	-2,9	Bouché	
F-m	-9	45,5	-4,2	N/A	N/A
F-p	-9	45,5	-5,5	N/A	N/A

N/A : Non Analysé

Teneur en CO dans le sol dans les 30 min. suivant le sautage 7B



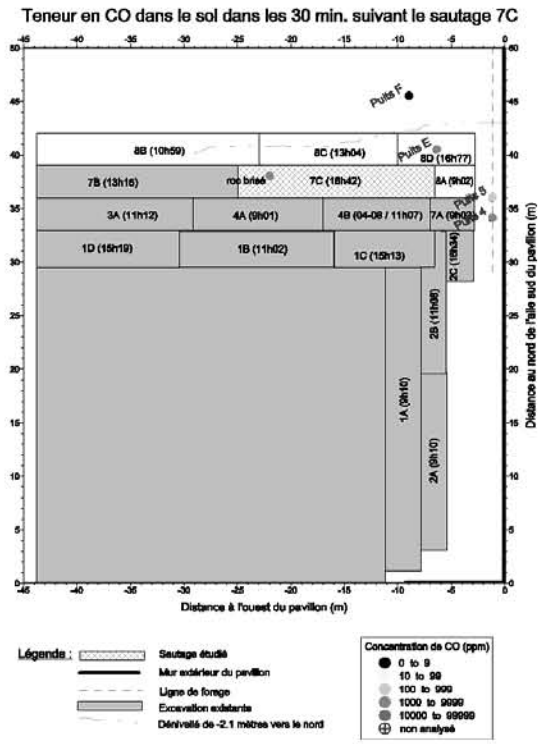
Teneur en CO dans le sol 30 @ 105 min. après le sautage 7B

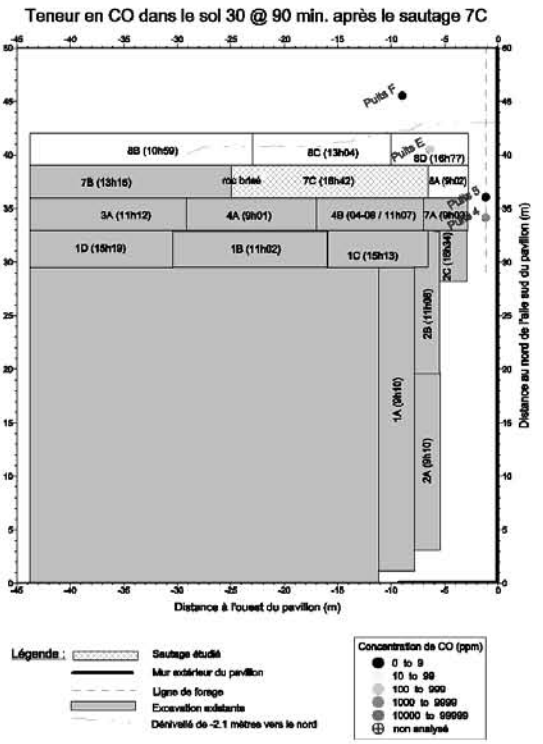


No de sautage : 7C
Date @ Heure : 07-08-06 @ 16h42

# puits	X	Y	Z	16h42-17h12	17h12-18h12
1-s	-1,2	29	-1,4	N/A	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	N/A	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	N/A	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	30
4-m	-1,2	34,1	-2,9	0	0
4-p	-1,2	34,1	-4,2	2780	2540
5-s	-1,2	36	-1,45	0	0
5-m	-1,2	36	-2,5	0	0
5-p	-1,2	36	-4,2	120	0
A-s	-10,1	38	-1,3	Écrasés par le matelas	
A-m	-10,1	38	-2,7		
A-p	-10,1	38	-4,2		
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés	
B-m	-7,2	32,4	-2,95		
B-p	-7,2	32,4	-4,2		
C-s	-20	37,6	-1,5	Écrasés par le matelas	
C-m	-20	37,6	-2,95		
C-p	-20	37,6	-4,2		
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Démantelés	
D-m	-28,2	37,3	-2,95		
D-p	-28,2	37,3	-4,2		
E-s	-6,4	40,5	-1,1	3100	740
E-m	-6,4	40,5	-2,7	Écrasé	420
E-p	-6,4	40,5	-4,2	Écrasé	360
F-s	-9	45,5	-2,9	Bouché	
F-m	-9	45,5	-4,2	0	0
F-p	-9	45,5	-5,5	0	0
Roc brisé	-22	38	-1	5300	30

N/A : Non analysé


Teneur en CO dans le sol dans les 30 min. suivant le sautage 7C
Puits F
Puits E
Puits 5
Puits 4
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h77)
7B (13h16)
roc brisé
7C (18h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h16)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

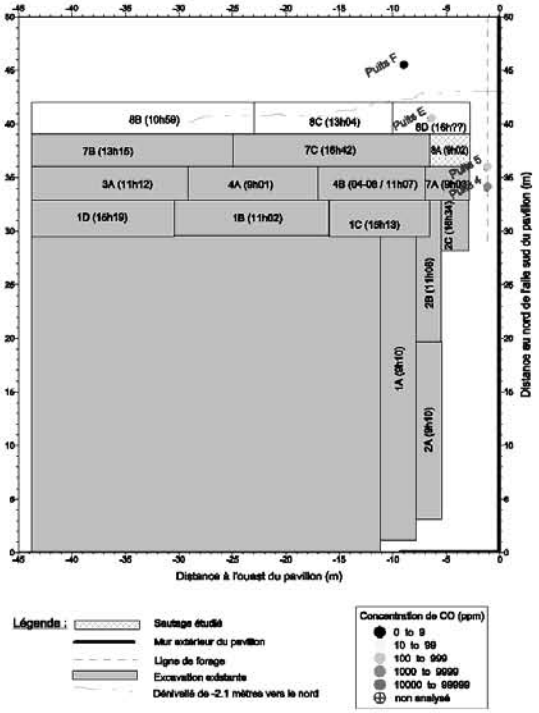

Teneur en CO dans le sol 30 @ 90 min. après le sautage 7C
Puits F
Puits E
Puits 5
Puits 4
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h77)
7B (13h16)
roc brisé
7C (18h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h16)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

No de sautage : **8A**
Date @ Heure : **08-08-06 @ 9h02**

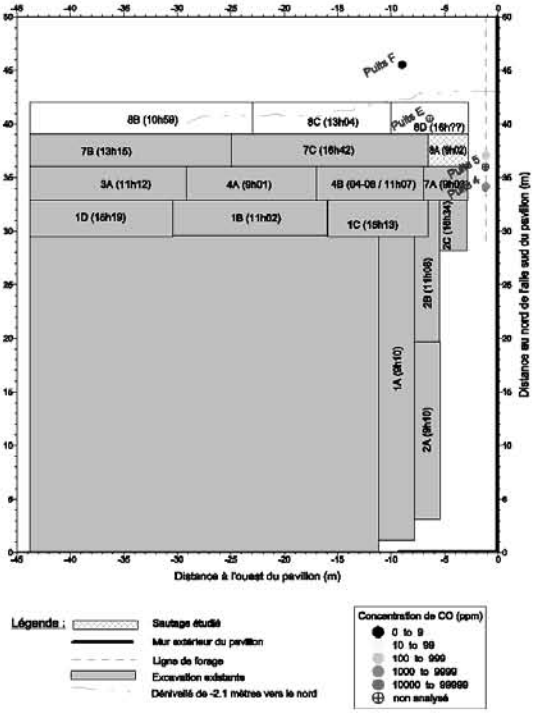
				Concentration de CO (ppm)			
# puits	**X**	**Y**	**Z**	**7h10-7h40**	**8h15**	**9h02-9h30**	**10h30**
1-s	-1,2	29	-1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	N/A	N/A	N/A	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	N/A	N/A	N/A	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A	N/A	N/A	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A	N/A	N/A	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A	N/A	N/A	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A	N/A	N/A	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	N/A	0	N/A
4-m	-1,2	34,1	-2,9	0	N/A	70	N/A
4-p	-1,2	34,1	-4,2	1620	N/A	1560	N/A
5-s	-1,2	36	-1,45	0	N/A	N/A	N/A
5-m	-1,2	36	-2,5	0	N/A	N/A	N/A
5-p	-1,2	36	-4,2	170	N/A	N/A	N/A
A-s	-10,1	38	-1,3	Démantelés			
A-m	-10,1	38	-2,7				
A-p	-10,1	38	-4,2				
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés			
B-m	-7,2	32,4	-2,95				
B-p	-7,2	32,4	-4,2				
C-s	-20	37,6	-1,5	Démantelés			
C-m	-20	37,6	-2,95				
C-p	-20	37,6	-4,2				
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Démantelés			
D-m	-28,2	37,3	-2,95				
D-p	-28,2	37,3	-4,2				
E-s	-6,4	40,5	-1,1	10	0	sous Situés les matelas	340
E-m	-6,4	40,5	-2,7	290	0		3910
E-p	-6,4	40,5	-4,2	10	370		0
F-s	-9	45,5	-2,9	Bouché			
F-m	-9	45,5	-4,2	0	N/A	0	0
F-p	-9	45,5	-5,5	0	N/A	0	0
Forage 1	-1,2	37	-1	N/A	N/A	790	N/A

N/A : Non Analysé

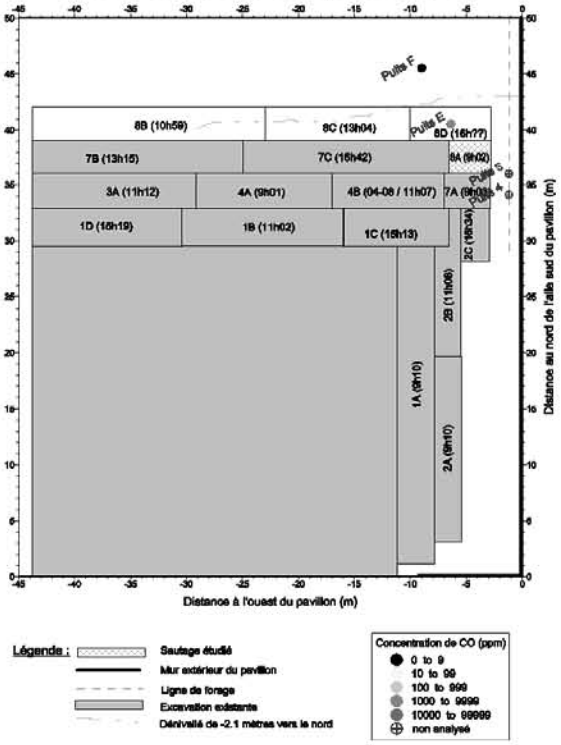
Teneur en CO dans le sol avant le sautage 8A



Teneur en CO dans le sol dans les 30 min. suivant le sautage 8A



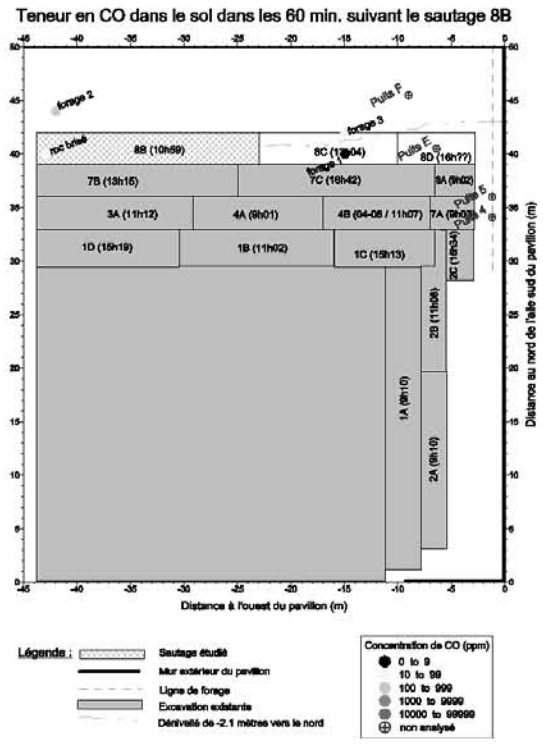
Teneur en CO dans le sol 1h30 après le sautage 8A

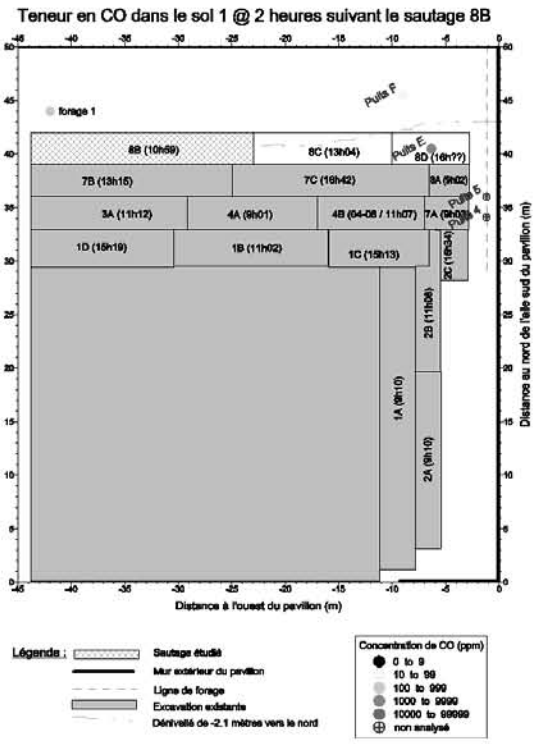


No de sautage : 8B
Date @ Heure : 08-08-06 @ 10h59

# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 11h-12h	12h-13h
1-s	-1,2	29	-1,4	N/A	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	N/A	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	N/A	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	N/A	N/A
4-m	-1,2	34,1	-2,9	N/A	N/A
4-p	-1,2	34,1	-4,2	N/A	N/A
5-s	-1,2	36	-1,45	N/A	N/A
5-m	-1,2	36	-2,5	N/A	N/A
5-p	-1,2	36	-4,2	N/A	N/A
A-s	-10,1	38	-1,3	Démantelés	
A-m	-10,1	38	-2,7		
A-p	-10,1	38	-4,2		
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés	
B-m	-7,2	32,4	-2,95		
B-p	-7,2	32,4	-4,2		
C-s	-20	37,6	-1,5	Démantelés	
C-m	-20	37,6	-2,95		
C-p	-20	37,6	-4,2		
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Démantelés	
D-m	-28,2	37,3	-2,95		
D-p	-28,2	37,3	-4,2		
E-s	-6,4	40,5	-1,1	N/A	N/A
E-m	-6,4	40,5	-2,7	N/A	1900
E-p	-6,4	40,5	-4,2	N/A	N/A
F-s	-9	45,5	-2,9	Bouché	
F-m	-9	45,5	-4,2	N/A	0
F-p	-9	45,5	-5,5	N/A	30
Roc brisé	-43	40	-1	90	N/A
Forage 1	-15	40	-1	0	N/A
Forage 2	-42	44	-1	290	680
Forage 3	-15	42	-1	30	N/A

N/A : Non Analysé

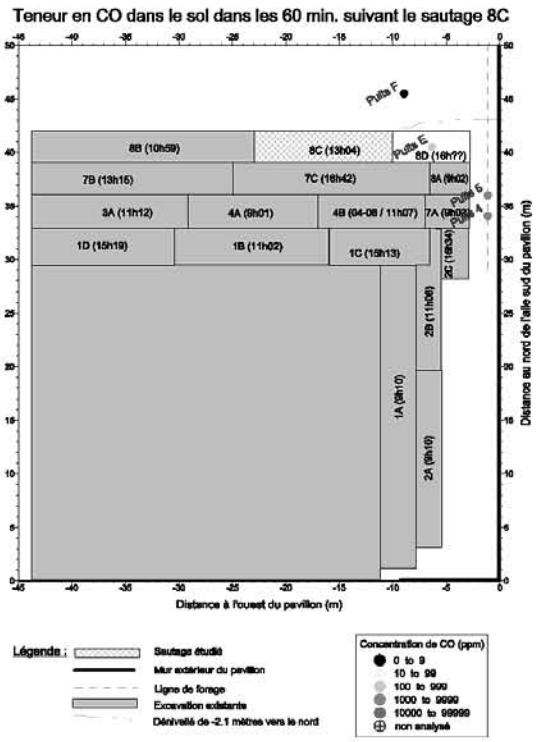

Teneur en CO dans le sol dans les 60 min. suivant le sautage 8B
forage 2
Puits F
forage 3
roc brisé
8B (10h59)
8C (13h04)
Puits E
8D (16h??)
forage 1
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
Puits B
Puits A
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h06)
1A (8h10)
2A (9h10)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

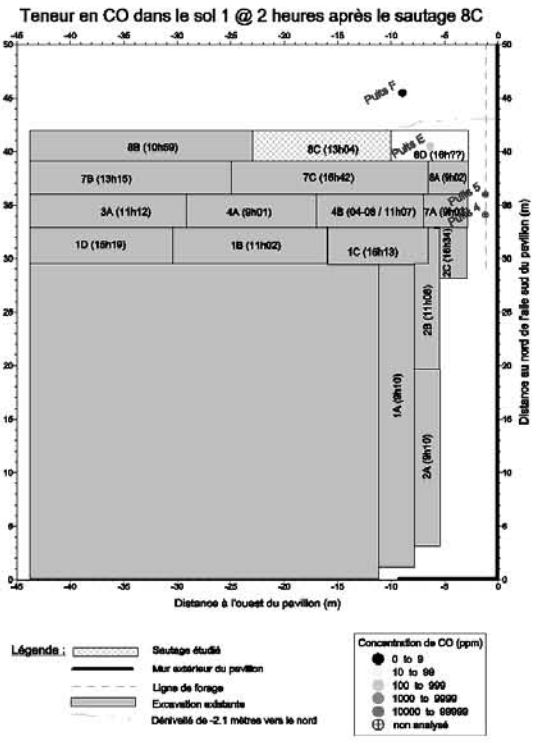

Teneur en CO dans le sol 1 @ 2 heures suivant le sautage 8B
forage 1
Puits F
8B (10h59)
8C (13h04)
Puits E
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
Puits B
Puits A
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h06)
1A (8h10)
2A (9h10)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

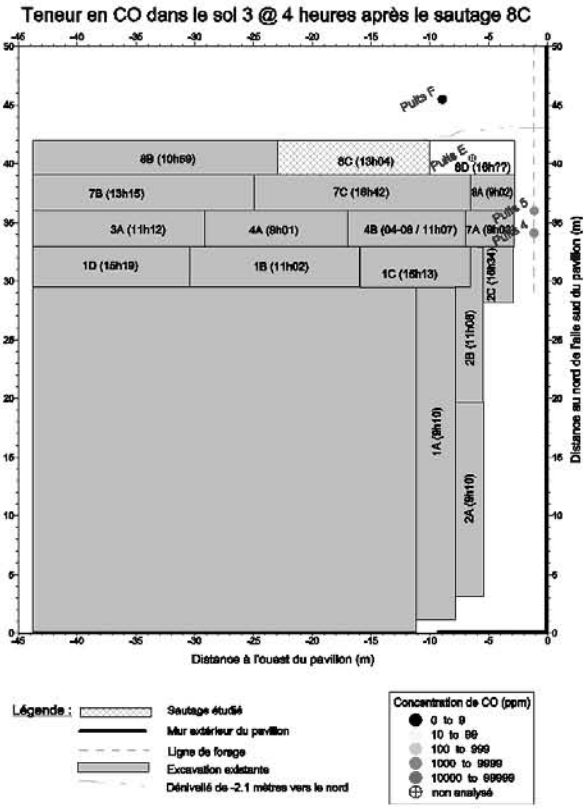
No de sautage : **8C**
Date @ Heure : **08-08-06 @ 13h04**

# puits	X	Y	Z	Concentration en CO (ppm) 13h04-14h04	14h04-15h04	16h04-17h04
1-s	-1,2	29	-1,4	N/A	N/A	N/A
1-m	-1,2	29	-2,95	N/A	N/A	N/A
1-p	-1,2	29	-4,2	N/A	N/A	N/A
2-s	-1,2	30,4	-1,4	N/A	N/A	N/A
2-m	-1,2	30,4	-2,95	N/A	N/A	N/A
2-p	-1,2	30,4	-4,2	N/A	N/A	N/A
3-s	-1,2	32,4	-1,4	N/A	N/A	N/A
3-m	-1,2	32,4	-2,95	N/A	N/A	N/A
3-p	-1,2	32,4	-4,2	N/A	N/A	N/A
4-s	-1,2	34,1	-1,3	0	N/A	10
4-m	-1,2	34,1	-2,9	50	N/A	30
4-p	-1,2	34,1	-4,2	1440	N/A	1120
5-s	-1,2	36	-1,45	0	N/A	0
5-m	-1,2	36	-2,5	3400	N/A	1990
5-p	-1,2	36	-4,2	560	N/A	350
A-s	-10,1	38	-1,3	Démantelés		
A-m	-10,1	38	-2,7			
A-p	-10,1	38	-4,2			
B-s	-7,2	32,4	-1,5	Démantelés		
B-m	-7,2	32,4	-2,95			
B-p	-7,2	32,4	-4,2			
C-s	-20	37,6	-1,5	Démantelés		
C-m	-20	37,6	-2,95			
C-p	-20	37,6	-4,2			
D-s	-28,2	37,3	-1,5	Démantelés		
D-m	-28,2	37,3	-2,95			
D-p	-28,2	37,3	-4,2			
E-s	-6,4	40,5	-1,1	80	0	N/A
E-m	-6,4	40,5	-2,7	300	100	N/A
E-p	-6,4	40,5	-4,2	10	0	N/A
F-s	-9	45,5	-2,9	Bouché		
F-m	-9	45,5	-4,2	0	0	0
F-p	-9	45,5	-5,5	0	0	0

N/A : Non Analysé


Teneur en CO dans le sol dans les 60 min. suivant le sautage 8C
Puits F
Puits E
Puits 5
Puits 4
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Teneur en CO dans le sol 1 @ 2 heures après le sautage 8C
Puits F
Puits E
Puits 5
Puits 4
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Teneur en CO dans le sol 3 @ 4 heures après le sautage 8C
Puits F
Puits E
Puits 5
Puits 4
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

ANNEXE C

Concentrations maximales en CO mesurées dans l'air ambiant extérieur après les différents sautages

No de sautage : **1A**
Date @ Heure : **01-08-06 @ 9h10**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Boutefeu	retour sur site	-10	25	1	N/A	9h25	0	

No de sautage : **1B**
Date @ Heure : **01-08-06 @ 11h02**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Pelle	Excavation	-25	23	0	N/A	11h44	0	Mesuré dans la pelle et l'excavation
Tapis	---	-25	32	0	N/A	11h05	10	

No de sautage : **1C et 1D**
Date @ Heure : **01-08-06 @ 15h13 et 15h19**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Puits 2	---	-1,2	30,4	0	N/A	16h14	80	
Puits 2	---	-1,2	30,4	0	N/A	17h00	0	
Puits B	---	-7,2	32,4	0	N/A	17h29	10	

N/A : Non Analysé

No de sautage : **2A**
Date @ Heure : **02-08-06 @ 9h10**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Excavation	---	-7	15	1	N/A	9h30	0	
Pelle	Excavation	-22	23	0	N/A	9h31	0	
Foreur	Forage	-7	21	0	N/A	9h35	0	
Boutefeu	---	-4	20	1	N/A	9h40	0	

No de sautage : **2B**
Date @ Heure : **02-08-06 @ 11h08**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Excavation	---	-8	32	-4	N/A	11h09	130	Au bas de l'excavation (coin nord)

No de sautage : **2C**
Date @ Heure : **02-08-06 @ 16h34**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Boutefeu	retour au site	-3	33	1	N/A	16h36	0	
Excavation	---	-6	32	-4	N/A	16h40	0	Au bas de l'excavation

N/A : Non Analysé

No de sautage : **3A**
Date @ Heure : **03-08-06 @ 11h12**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Excavation	---	-6	32	-4	N/A	11h14	40	Au bas de l'excavation

No de sautage : **4A**
Date @ Heure : **04-08-06 @ 9h01**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Tapis	---	-27	35	0	S , Faible	9h03	110	Lecture au dessus d'une fissure dans le sol.
Tapis	---	-27	35	0	S , Faible	9h18	890	Lecture au dessus d'une fissure dans le sol.
Foreur	Forage	-15	35	0	S , Faible	9h20	110	Lecture au-dessus du forage à côté du foreur.
Tapis	---	-27	35	0	S , Faible	9h34	460	Lecture au dessus d'une fissure dans le sol.
Excavation	---	-30	35	-4	N, N/A	9h52	90	
Tapis	---	-25	35	1	S , Faible	9h20	860	Lecture juste pendant l'enlèvement des tapis.
Puits C	---	-20	37,6	1	S , Faible	9h24	60	
Foreur	Forage	-15	35	0	S , Faible	10h00	0	

Note : 1. Enlèvement des tapis par la pelle à 9h20. Lecture dans l'air = 860 ppm.
2. Enlèvement des tapis et excavation par la pelle à 10h30.

N/A : Non Analysé

No de sautage : **4B**
Date @ Heure : **04-08-06 @ 11h07**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Boutefeu	retour sur site	-12	36	1	N , moyen	11h10	50	
Tapis	---	-12	36	1	N , moyen	11h22	30	

Note : 1. Retour du boutefeu au site 3 min. après le sautage. Lecture = 50 ppm

No de sautage : **7A**
Date @ Heure : **07-08-06 @ 9h03**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Puits 4	---	-1,2	34,1	1	N, moyen	9h09	60	Près des matelas.
Tapis	---	-5	35	1	N/A	11h35	20	Après l'enlèvement des matelas.

Note : 1. Enlèvement des tapis et excavation par la pelle à 11h35.

N/A : Non Analysé

No de sautage : **7B**
Date @ Heure : **07-08-06 @ 13h15**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Pelle	N/A	-35	30	0	N , fort	13h34	30	
Tapis	---	-35	38	1	NW , N/A	14h08	0	

No de sautage : **7C**
Date @ Heure : **07-08-06 @ 16h42**

Aucune valeur pertinente à l'exposition des travailleurs n'a été prise.

N/A : Non Analysé

No de sautage : **8A**
Date @ Heure : **08-08-06 @ 9h02**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Excavation	---	-6	36	-4	N , faible à moyen	9h05	3800	
Puits 5	---	-1,2	36	1	N , faible à moyen	9h10	30	
Foreur 2 (site1)	Forage	-22	38	1	N , faible à moyen	9h22	0	
Foreur 1	Forage	-2	49	1	N , faible à moyen	9h23	0	
Pelle	Enlèvement des matelas	-10	30	0	N , faible	9h40-9h50	0	
Pelle	Excavation	-10	30	0	N , faible	9h50-9h58	0	
Pelle	Chargement	-10	30	0	N , faible	9h58-10h06	0	
Pelle	Excav. + Charg.	-10	30	0	N , faible	10h06-10h10	0	
Foreur 2 (site2)	Forage	-12	38	1	N , faible à moyen	10h20	0	

Note : 1. Arrivée du boutefeu au sautage 4 min. après l'explosion.

N/A : Non Analysé

No de sautage : **8B**
Date @ Heure : **08-08-06 @ 10h59**

No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Boutefeu	retour sur site	-35	42	1	N , moyen	11h00-11h03	0	
Foreur 1	Forage	-15	42	-1	N , moyen	11h06	0	Foreur en direction du sautage dans le sens des strates. Juste à la fin d'un forage.
Foreur 1	Forage	-15	42	1	N , moyen	11h11	0	
Foreur 1	Forage	-15	42	-1	N , moyen	11h20	30	Lecture dans le forage.
Foreur 1	Forage	-15	42	1	N , moyen	11h21	10	
Foreur 1	Forage	-20	41	1	N , moyen	11h26	0	
Boutefeu	Pose de dynamite	-14	41	-1	N , moyen	11h29	0	Risque d'exposition lors de la pose de dynamite dans les forages.
Pelle	Excavation	-30	32	0	N , moyen	11h35	0	
Foreur 2	Forage	-40	45	1	N , moyen	11h54	0	Teneur importante dans le roc (90 à 680 ppm).
Puit E	---	-6,4	40,5	0	N , fort	12h55	0	Teneur importante dans le puits E-m (1900 ppm). Foreur 1 est à 4 m.

Note : 1. Arrivée du boutefeu au sautage 1 min. après l'explosion.
2. Enlèvement des matelas à 11h23. [CO] dans l'air = 0 ppm.
3. Faible exposition des travailleurs au CO (opérateur de pelle mécanique, boutefeu et foreur).

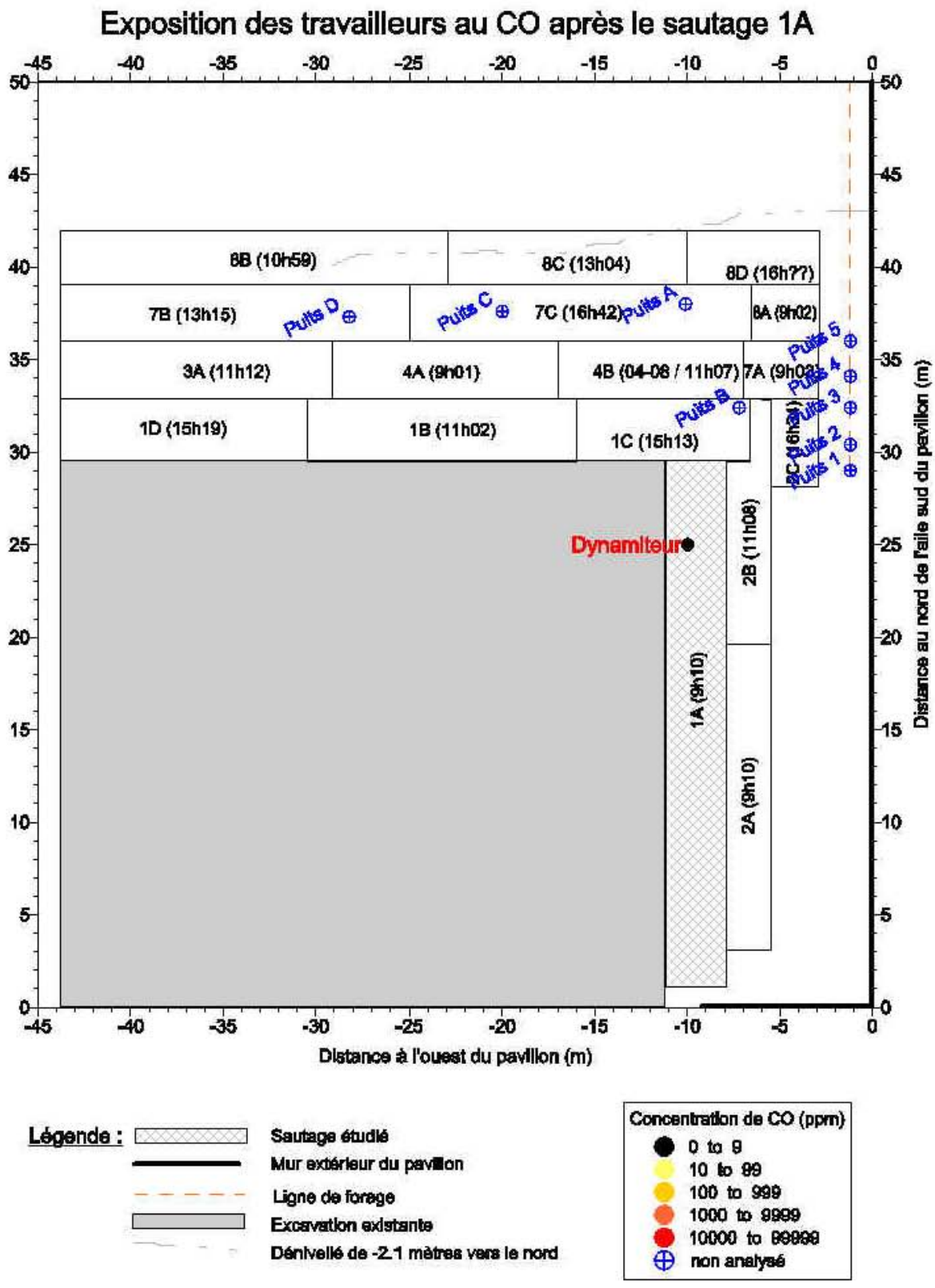
N/A : Non Analysé

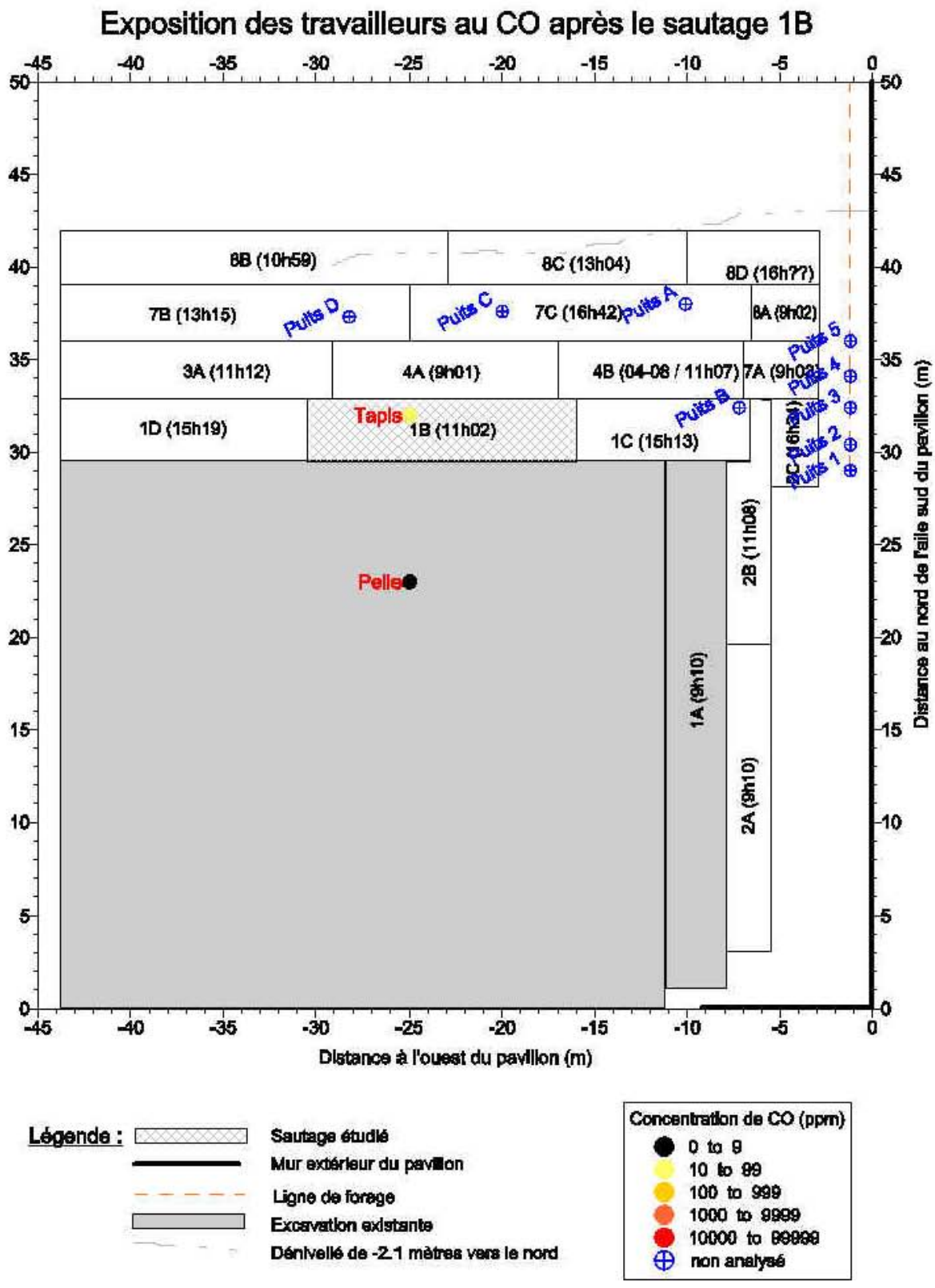
No de sautage : **8C**
Date @ Heure : **08-08-06 @ 13h04**

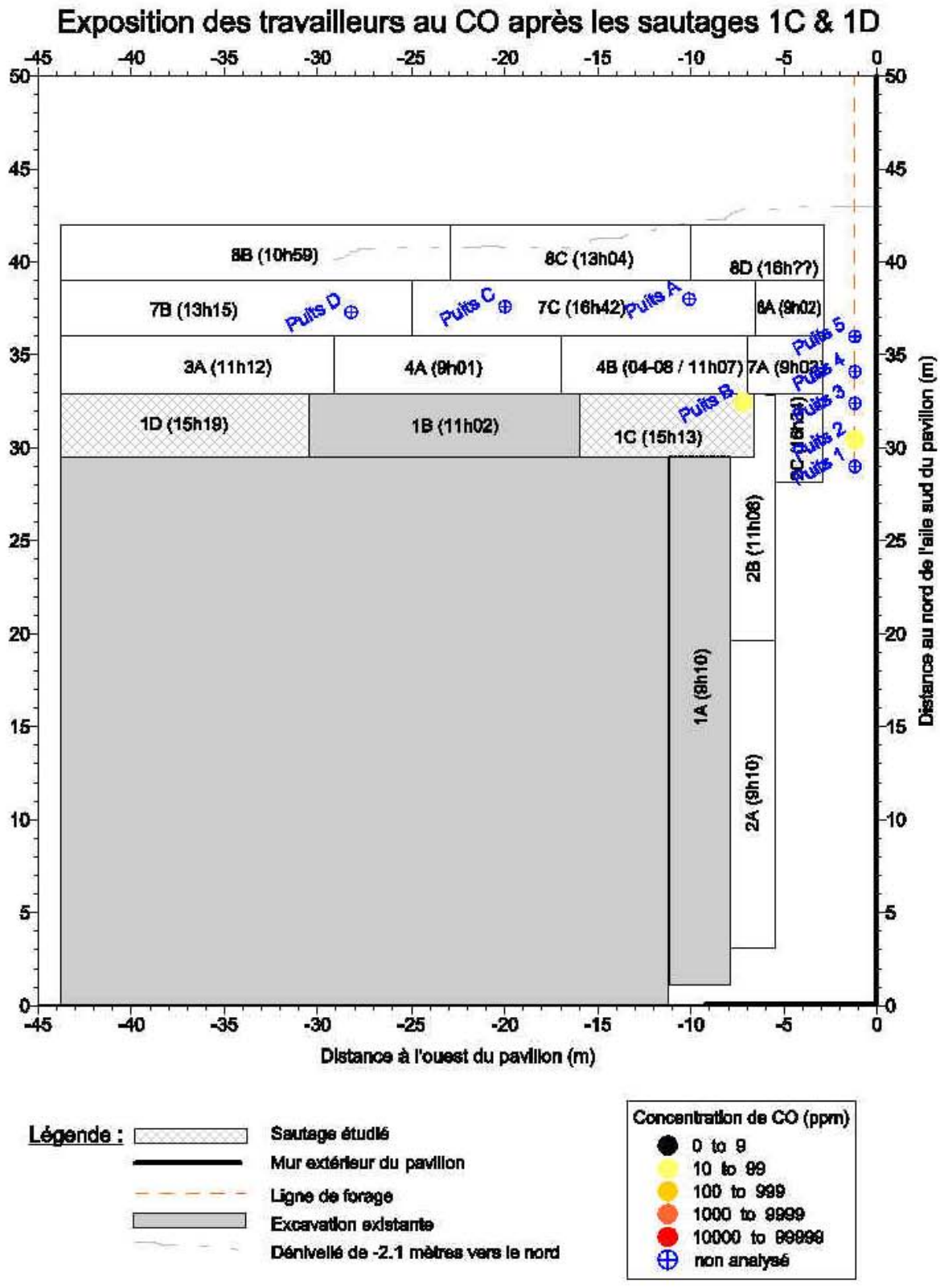
No de localisation	Opération	X	Y	Z	Vent (Provenance, force)	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Boutefeu	retour sur site	-20	42	1	N , fort	13h06	0	
Tapis	---	-17	39	0	N , fort	13h07	1200	Lecture sur tapis côté sud
Foreur 1	Forage	-6	41	1	N , fort	13h13	0	
Foreur 2	Forage	-40	44	1	N , fort	13h25	20	
Pelle	Excavation 8B	-35	34	0	N , fort		N/A	
Foreur 1	Forage	-6	41	1	N , moyen	13h56	0	
Foreur 2	Forage	-40	44	1	N , moyen	13h57	0	

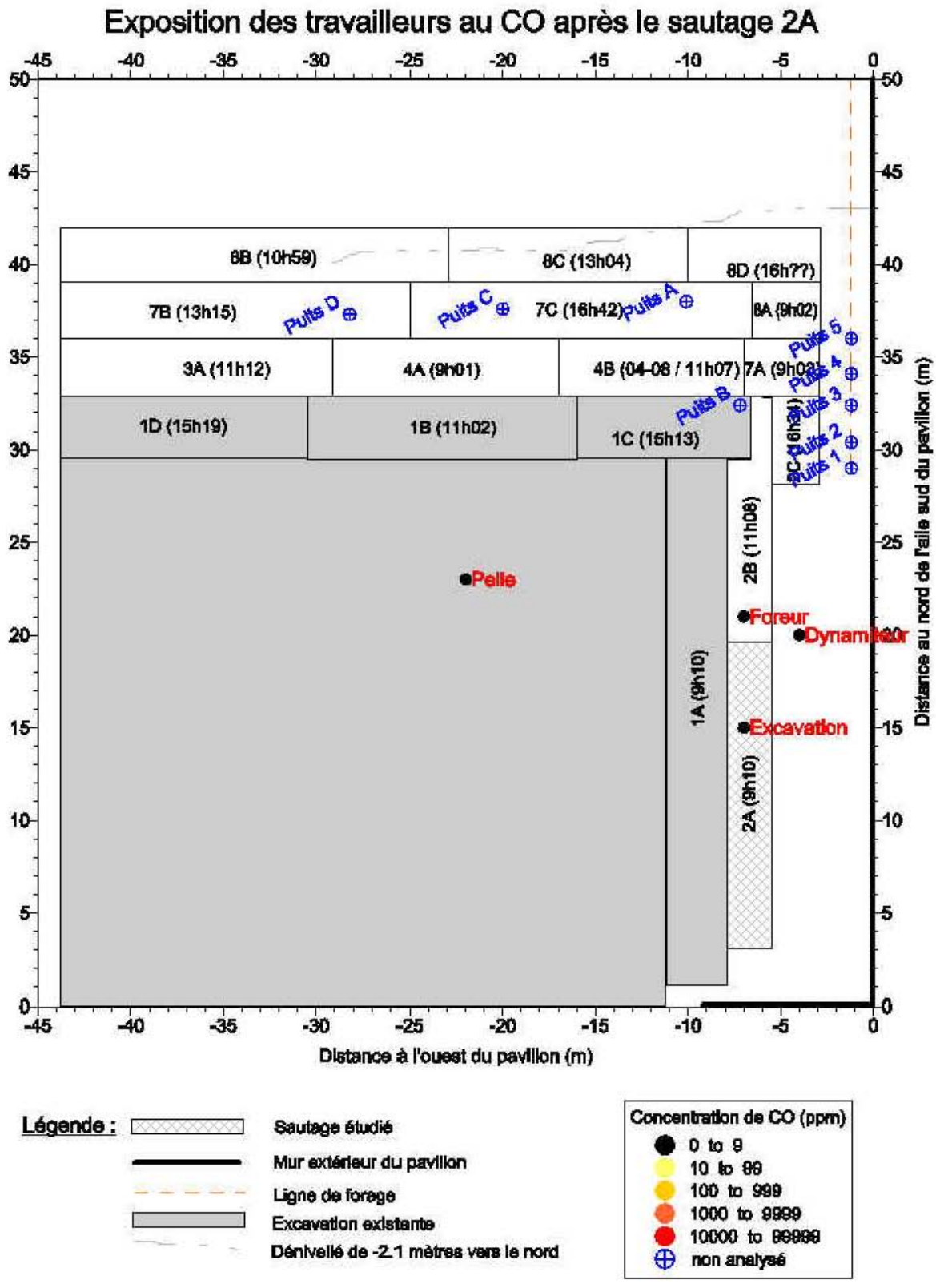
Note : 1. Arrivée du boutefeu au sautage 2 min. après l'explosion.
2. Excavation du sautage 8B à 13h20.

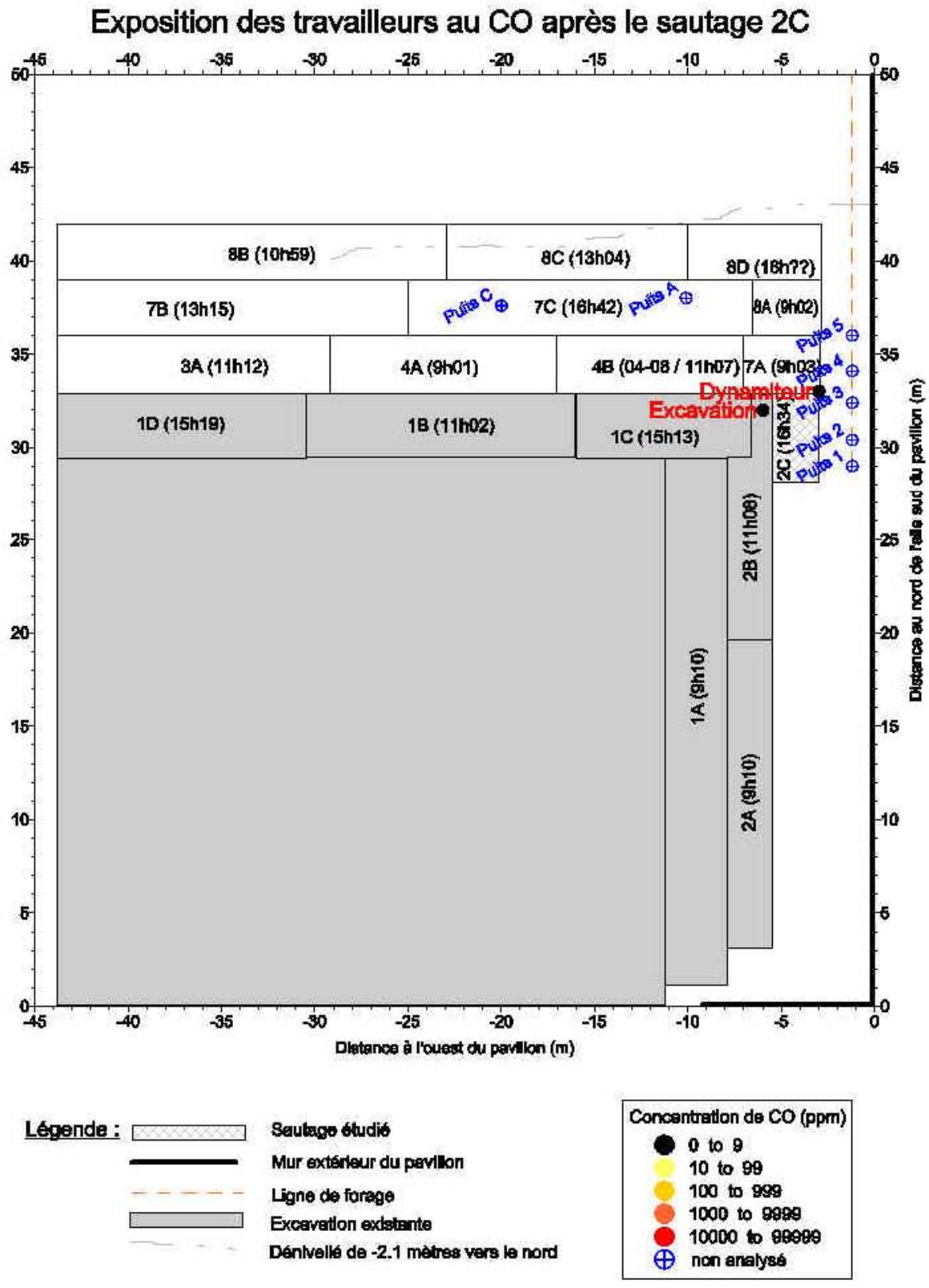
N/A : Non Analysé

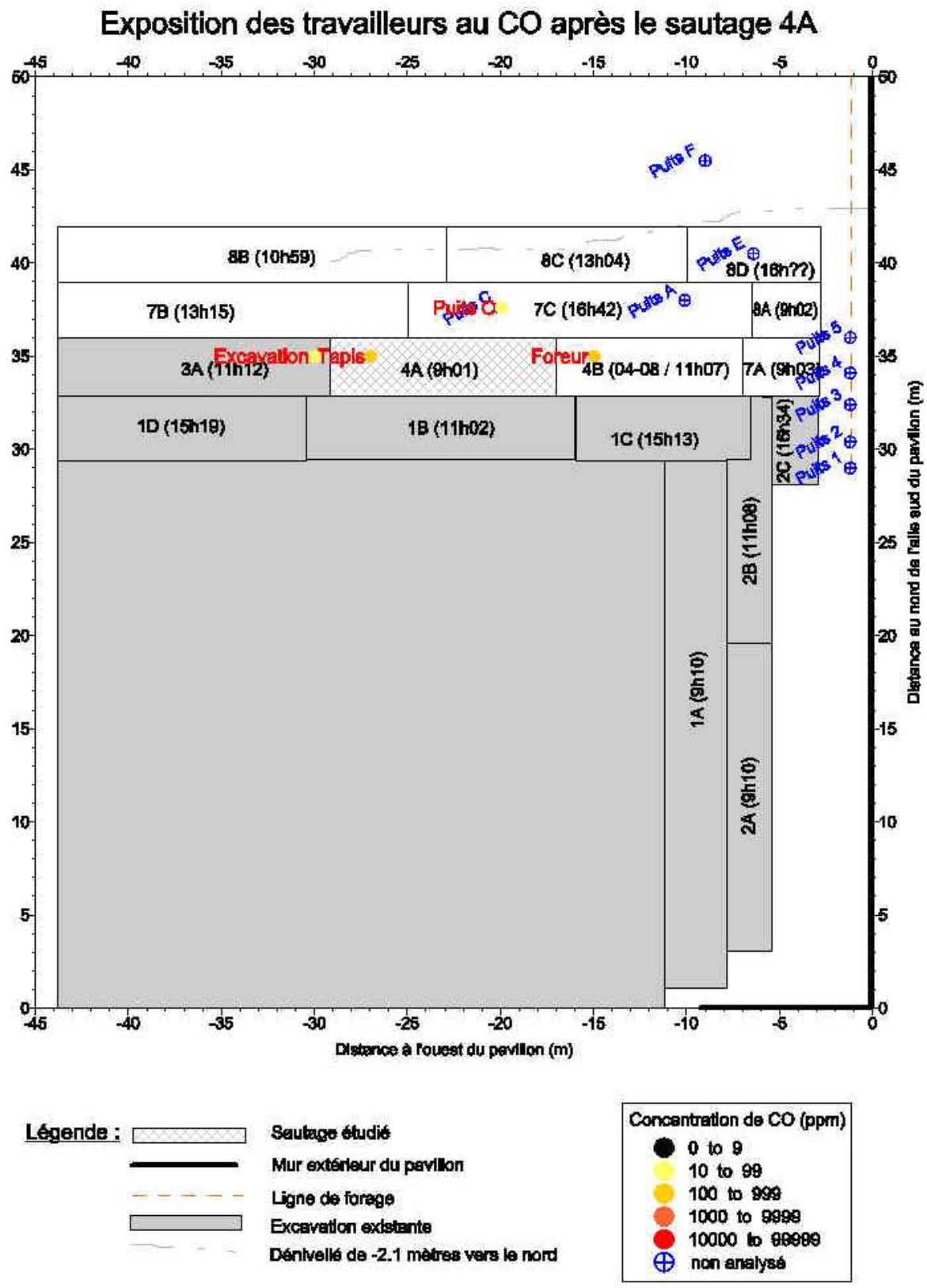

Exposition des travailleurs au CO après le sautage 1A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
Puits D
Puits C
7C (16h42)
Puits A
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-06 / 11h07)
7A (9h02)
Puits 5
Puits 4
Puits 3
Puits 2
Puits 1
Puits B
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
8C (16h42)
Dynamiteur
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

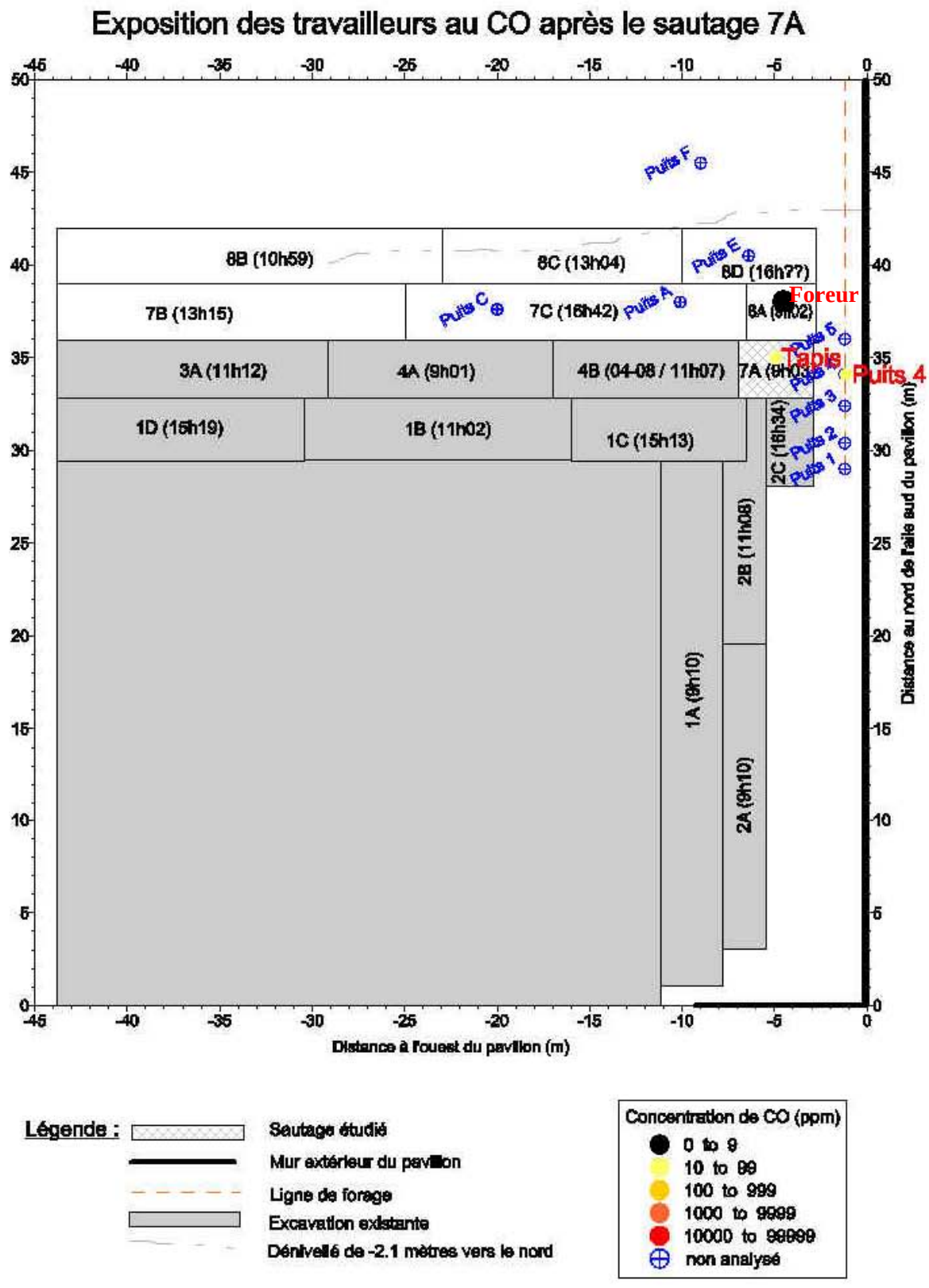

Exposition des travailleurs au CO après le sautage 1B
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
Puits D
Puits C
7C (16h42)
Puits A
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h02)
Puits 5
Puits 4
Puits 3
Puits 2
Puits 1
Puits B
1D (15h19)
Tapis
1B (11h02)
1C (15h13)
8C (16h42)
Pelle
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

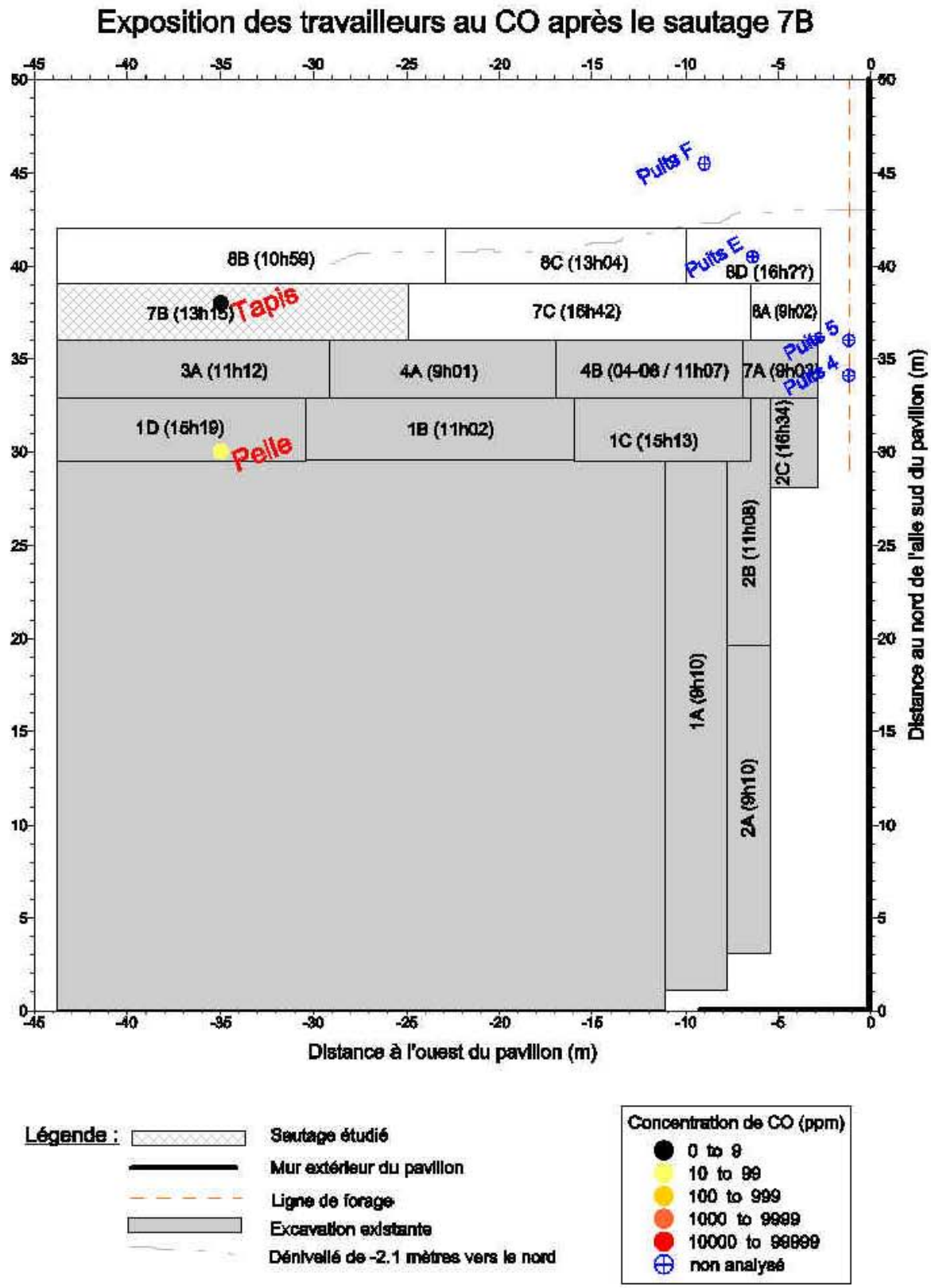

Exposition des travailleurs au CO après les sautages 1C & 1D
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Puits A
Puits B
Puits C
Puits D
Puits 1
Puits 2
Puits 3
Puits 4
Puits 5
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivelé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

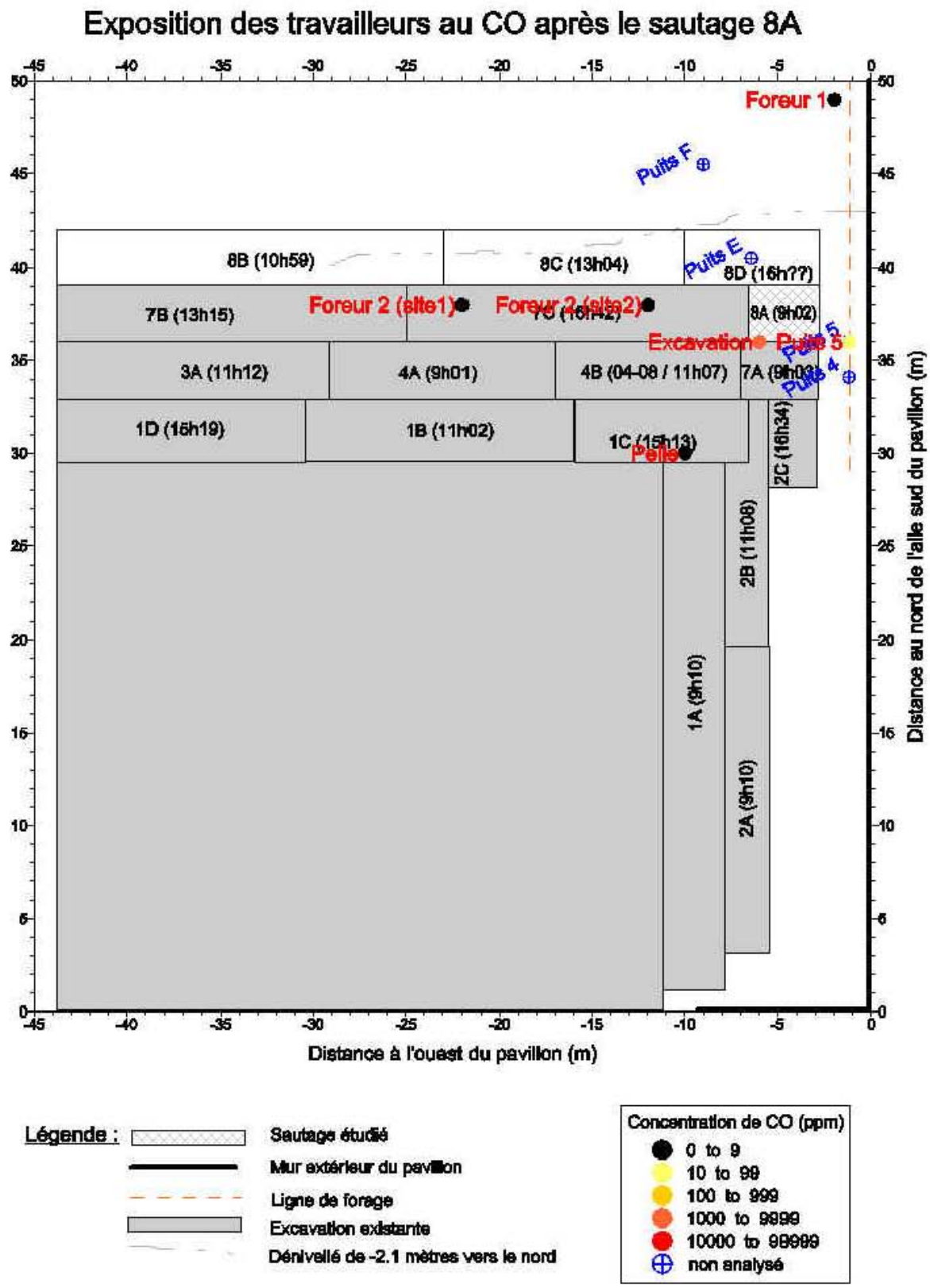

Exposition des travailleurs au CO après le sautage 2A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h02)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Puits A
Puits B
Puits C
Puits D
Puits 1
Puits 2
Puits 3
Puits 4
Puits 5
Pelle
Foreur
Excavation
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

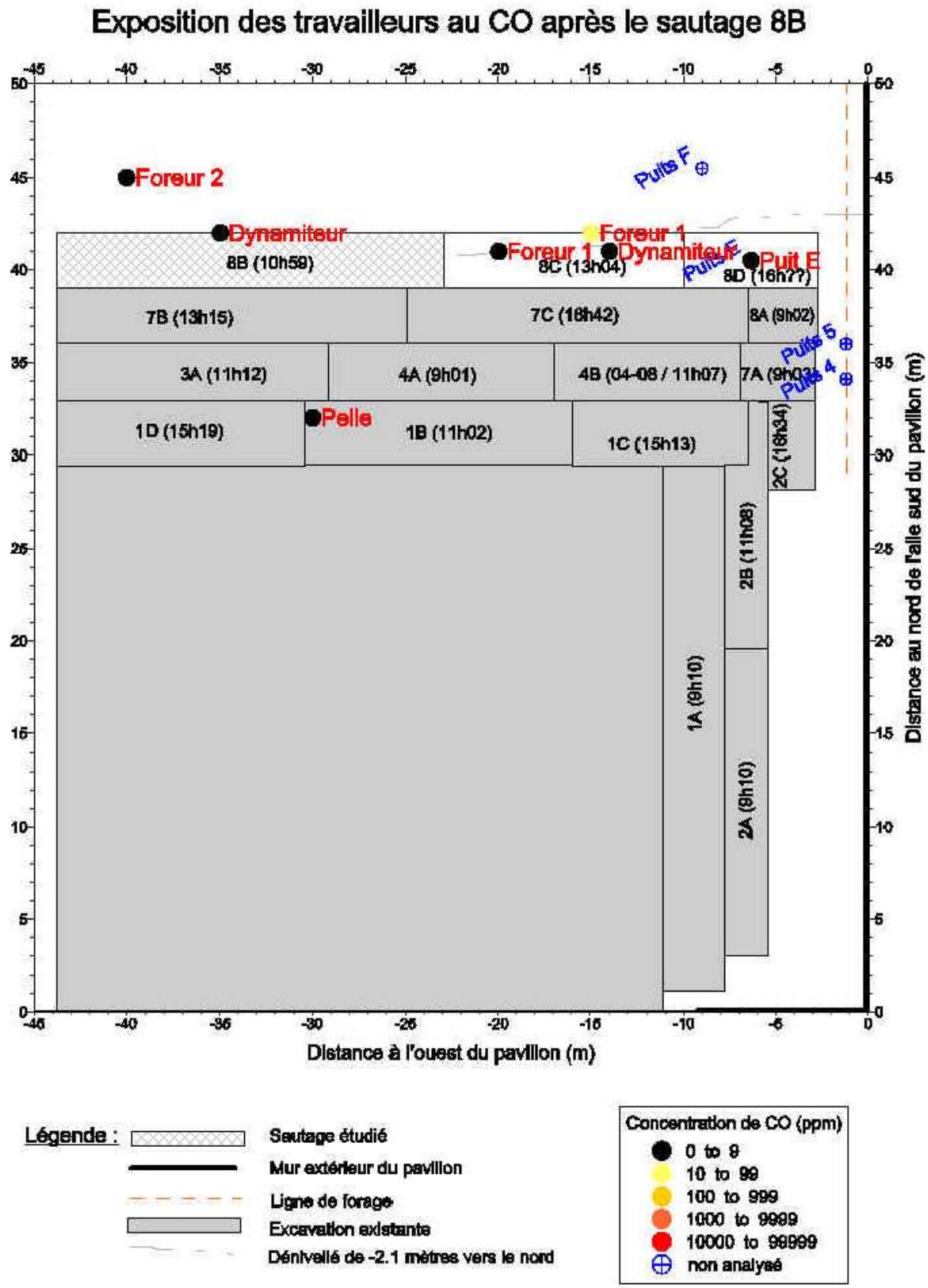

Exposition des travailleurs au CO après le sautage 2C
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
Puits C
7C (16h42)
Puits A
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
Puits 5
Puits 4
Puits 3
Puits 2
Puits 1
Dynamiteur
Excavation
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

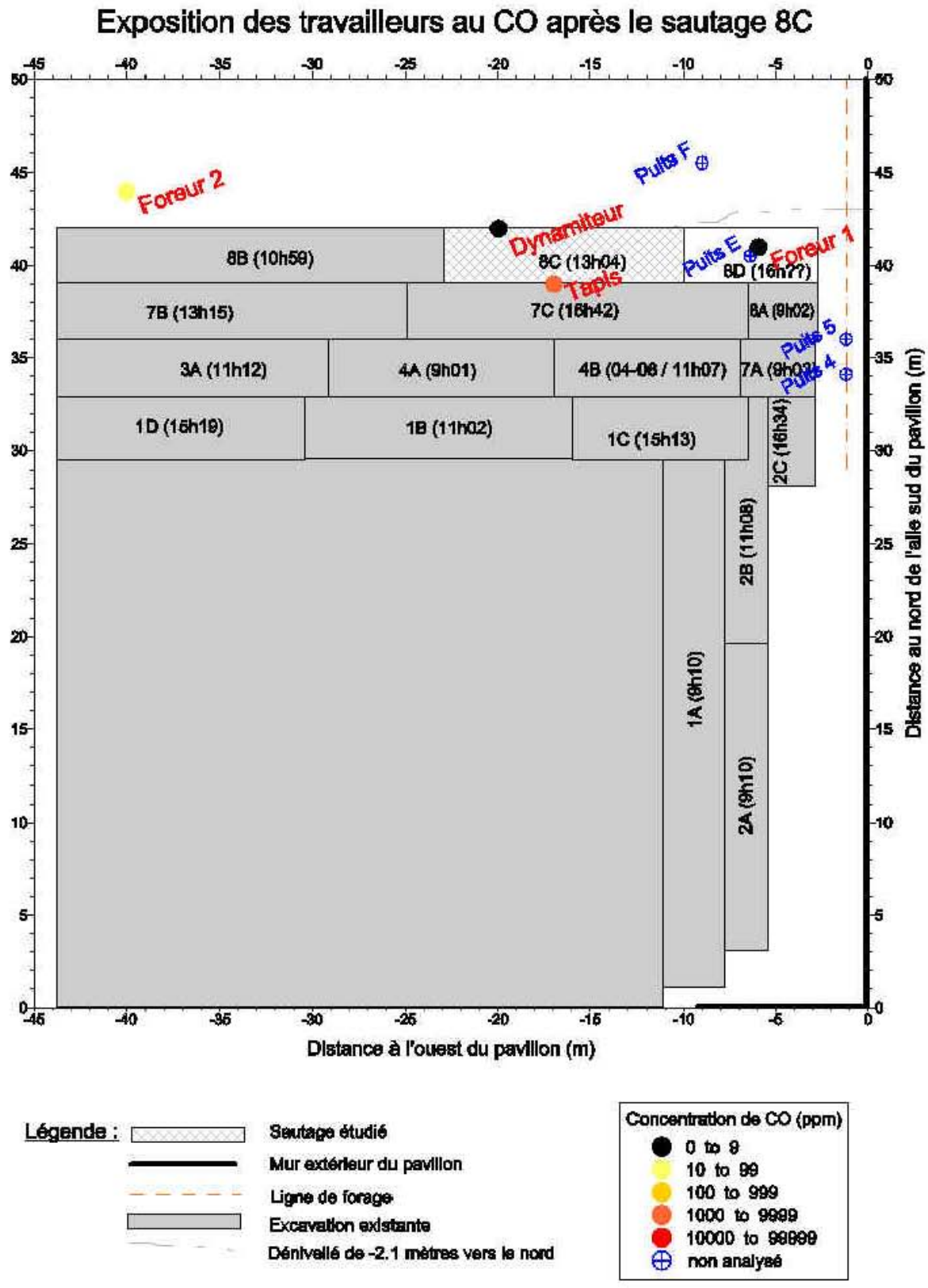

Exposition des travailleurs au CO après le sautage 4A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Puits F
Puits E
Puits C
Puits A
Puits 5
Puits 4
Puits 3
Puits 2
Puits 1
Excavation Tapis
Foreur
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Exposition des travailleurs au CO après le sautage 7A
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
1D (15h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Puits F
Puits E
Puits C
Puits A
Puits 5
Puits 6
Puits 3
Puits 2
Puits 1
Foreur
Tapis
Puits 4
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Exposition des travailleurs au CO après le sautage 7B
Puits F
8B (10h59)
8C (13h04)
Puits E
8D (16h??)
7B (13h15)
Tapis
7C (16h42)
8A (9h02)
Puits 5
Puits 4
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-06 / 11h07)
7A (9h03)
1D (16h19)
Pelle
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Exposition des travailleurs au CO après le sautage 8A
Foreur 1
Puits F
Puits E
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
Foreur 2 (site1)
Foreur 2 (site2)
8A (9h02)
Excavation
Puits 5
Puits 4
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
1D (16h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
Pelle
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Exposition des travailleurs au CO après le sautage 8B
Foreur 2
Dynamiteur
8B (10h59)
Foreur 1
Foreur 1
Dynamiteur
8C (13h04)
Puits F
Puits E
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (18h42)
8A (9h02)
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-08 / 11h07)
7A (9h03)
Puits 5
Puits 4
1D (15h19)
Pelle
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé


Exposition des travailleurs au CO après le sautage 8C
Foreur 2
Puits F
Dynamiteur
Puits E
Foreur 1
Tapis
8B (10h59)
8C (13h04)
8D (16h??)
7B (13h15)
7C (16h42)
8A (9h02)
Puits 5
Puits 4
3A (11h12)
4A (9h01)
4B (04-06 / 11h07)
7A (9h03)
1D (16h19)
1B (11h02)
1C (15h13)
2C (16h34)
2B (11h08)
1A (9h10)
2A (9h10)
Distance au nord de l'aile sud du pavillon (m)
Distance à l'ouest du pavillon (m)
Légende :
Sautage étudié
Mur extérieur du pavillon
Ligne de forage
Excavation existante
Dénivellé de -2.1 mètres vers le nord
Concentration de CO (ppm)
0 to 9
10 to 99
100 to 999
1000 to 9999
10000 to 99999
non analysé

ANNEXE D

Concentrations maximales en CO dans l'air ambiant des locaux du pavillon Vandry suite aux différents sautages

No de sautage : **1C et 1D**
Date @ Heure : **01-08-06 @ 15h13 et 15h19**

No de local	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Local étudiants (0328)	N/A	N/A	
Classe (0316)	16h00	0	
Salle de bains (0312)	16h00	0	
Escaliers (0308)	16h00	0	
Hall sud	N/A	N/A	
Ascenseur	N/A	N/A	
Local étudiants (0328)	N/A	N/A	
Classe 0316 (centre)	16h50	15	Lecture oscille entre 0,1 et 0,2 ppmX100. Voir commentaires ci-dessous.
Classe 0316 (sud&nord)	16h50	10	Entrée d'air par les fenêtres du local faisant face au chantier.
Salle de bains (0312)	17h04	0	
Escaliers (0308)	17h04	0	
Hall sud	N/A	N/A	
Ascenseur	N/A	N/A	
Local étudiants (0328)	8h10	0	Le matin du 02-08-06
Classe (0316)	8h11	0	Le matin du 02-08-07
Salle de bains (0312)	8h12	0	Le matin du 02-08-08
Escaliers (0308)	8h13	0	Le matin du 02-08-09
Hall sud	8h14	0	Le matin du 02-08-10
Ascenseur	8h15	0	Le matin du 02-08-11

N/A = Non Analysé

No de sautage : **2A**
Date @ Heure : **02-08-06 @ 9h10**

No de local	Heure	[CO] (ppm)
Local étudiants (0328)	9h44	0
Classe (0316)	9h40	0
Salle de bains (0312)	N/A	0
Escaliers (0308)	N/A	0
Hall sud	N/A	0
Ascenseur	N/A	0
Escaliers (0350)	9h49	0
Local étudiants (0328)	11h35	0
Classe (0316)	11h30	0

N/A = Non Analysé

No de sautage : **2B**
Date @ Heure : **02-08-06 @ 11h08**

No de local	Heure	[CO] (ppm)
Local étudiants (0328)	11h35	0
Classe (0316)	11h30	0
Salle de bains (0312)	N/A	N/A
Escaliers (0308)	N/A	N/A
Hall sud	N/A	N/A
Ascenseur	N/A	N/A
Escaliers (0350)	N/A	N/A

N/A = Non Analysé

No de sautage : **2C**
Date @ Heure : **02-08-06 @ 16h34**

No de local	Heure	[CO] (ppm)
Local étudiants (0328)	16h57	0
Classe (0316)	16h52	0
Salle de bains (0312)	16h58	0
Escaliers (0308)	16h59	0
Hall sud	17h00	0
Ascenseur	17h01	0

No de sautage : **4B**
Date @ Heure : **04-08-06 @ 11h07**

No de local	Heure	[CO] (ppm)
Local étudiants (0328)	N/A	N/A
Classe (0316)	11h30	0
Salle de bains (0312)	11h33	0
Escaliers (0308)	11h35	0
Hall sud	11h38	0
Ascenseur	N/A	N/A

N/A = Non Analysé

No de sautage : **7A**
Date @ Heure : **07-08-06 @ 9h03**

No de local	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Local étudiants (0328)	N/A	N/A	
Classe (0316) (sud&centre)	10h03	10	Les lectures oscillent entre 0.0 et 0.1 ppmX100
Classe (0316) (nord)	10h06	0	
Salle de bains (0312)	10h05	0	
Escaliers (0308)	10h06	0	
	14h15	10	Les lectures oscillent entre 0.0 et 0.1 ppmX100
	15h45	10	Les lectures oscillent entre 0.0 et 0.1 ppmX100
	17h48	0	
Hall sud	10h07	0	
Ascenseur	10h08	0	

N/A = Non Analysé

No de sautage : **7B**
Date @ Heure : **07-08-06 @ 13h15**

No de local	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Local étudiants (0328)	N/A	N/A	
Classe (0316)	14h00	0	
Salle de bains (0312)	14h10	0	
Escaliers (0308)	14h15	10	Due au Sautage #7A
Hall sud	14h18	0	
Ascenseur	14h20	0	
Escaliers (0308)	15h45	10	Due au Sautage #7A

N/A = Non Analysé

No de sautage : **7C**
Date @ Heure : **07-08-06 @ 16h42**

No de local	Heure	[CO] (ppm)	Commentaires
Local étudiants (0328)	N/A	N/A	
Classe (0316)	17h40	0	
Salle de bains (0312)	17h45	0	
Escaliers (0308)	17h48	0	
Hall sud	17h50	0	
Ascenseur	17h51	0	
Local étudiants (0328)	7h40	0	Lecture prise le lendemain (08-08-06)
Classe (0316)	7h42	0	Lecture prise le lendemain (08-08-06)
Salle de bains (0312)	7h45	0	Lecture prise le lendemain (08-08-06)
Escaliers (0308)	7h48	0	Lecture prise le lendemain (08-08-06)
Hall sud	7h50	0	Lecture prise le lendemain (08-08-06)
Ascenseur	7h52	0	Lecture prise le lendemain (08-08-06)

N/A = Non Analysé

No de sautage : **8C**
Date @ Heure : **08-08-06 @ 13h04**

No de local	Heure	[CO] (ppm)
Salle de bains (0312)	13h40	0
Escaliers (0308)	13h44	0
Hall sud	13h46	0