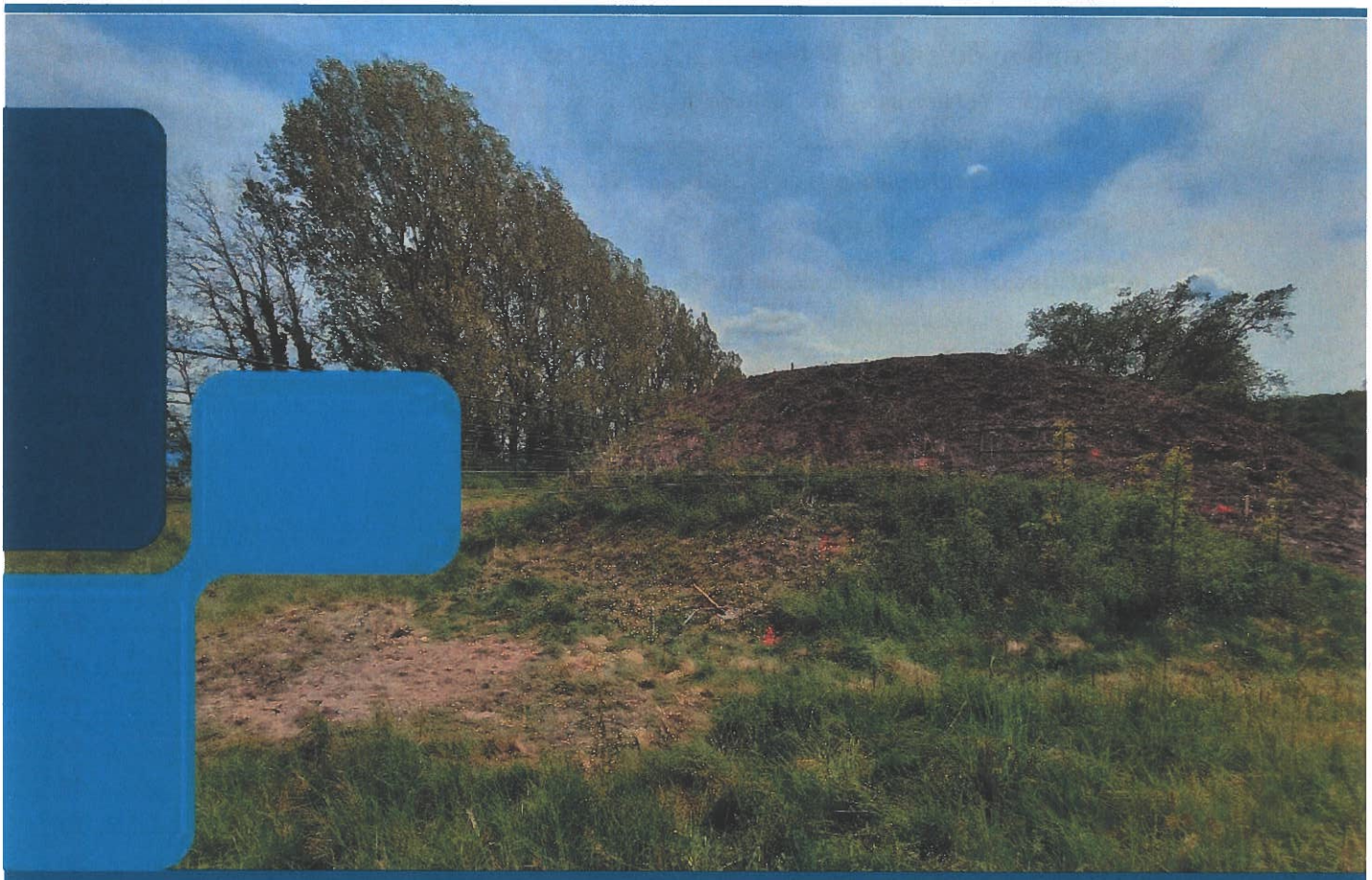
CSD INGENIEURS SA
Chemin de Montelly 78
Case postale 302
CH-1000 Lausanne 16
+41 21 620 70 00
lausanne@csd.ch
www.csd.ch

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE



Étude de nécessité d'assainissement de la butte de tir

Commune de Tolochenaz

Lausanne, le 28 mai 2021/ VD08321.100

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Table des matières

1 Introduction 4
1.1 Contexte de l'étude 4
1.2 Localisation du site 4

2 Description du site de l'étude 5
2.1 Description et historique de la butte de tir 5
2.2 Contexte géologique 7
2.3 Contexte hydrogéologique 8
2.4 Contexte hydrologique 9

3 Investigation technique de la butte de tir 11
3.1 Protocole d'investigation 11
3.2 Observations réalisées 12
3.3 Résultats 13
3.3.1 Corrélation XRF – analyse en laboratoire 13
3.3.2 Valeurs réglementaires 14
3.3.3 Distribution spatiale de la concentration en métaux lourds 14
3.3.4 Analyses de pollution des matériaux de décharge 15

4 Évaluation de la mise en danger 17
4.1 Évaluation du risque pour les eaux souterraines 17
4.1.1 Hypothèses 17
4.1.2 Détermination des concentrations maximales de plomb et d'antimoine dans les eaux : 17
4.1.3 Calcul de la capacité de rétention 19
4.2 Évaluation du risque pour les eaux de surface 20
4.3 Évaluation du risque pour les sols 20

5 Concept d'assainissement préliminaire 21

6 Conclusions et recommandations 22

7 Prémisses 24

Liste des figures

Figure 1 : Carte de situation du site (source: map.geo.admin.ch) 4
Figure 2 : Profil MNT de la butte de tir, source: geo.vd.ch, consulté le 07.05.2021 5
Figure 3 : Vue sur la ciblerie et la butte de tir 5
Figure 4 : Vue de profil de la butte de tir 6
Figure 5 : Vue à l'arrière de la butte de tir (à gauche) et à l'avant de la butte de tir (à droite) 6
Figure 6 : Contexte géologique autour de la butte de tir (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21) 7
Figure 7 : Sites pollués cadastrés dans le secteur d'étude (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21) 8

Figure 8 : Zones de protection des eaux et localisation de la butte pare-balle (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21) 8
Figure 9 : Coupe géologique schématique (A–A') à travers la butte de tir 9
Figure 10 : Lac et rivières situés à proximité de la butte de tir (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21) 10
Figure 11 : Plan de situation des investigations effectuées le 04.05.2021 11
Figure 12 : Pollution au plomb due à la pratique du tir dans une installation à 300 m. Le schéma est aussi applicable au tir 50 m, avec une zone rapprochée généralement réduite. (Source : OFEV, Indemnisations en vertu de l'OTAS pour les installations de tir, 2018) 12
Figure 13 : Teneurs en plomb mesurées autour de la butte de tir de Tolochenaz (profondeur : 0-0.2m) 15
Figure 14 : Paramètres du calcul de la concentration en plomb du PlumBumRisk, considérant une infiltration dans les dépôts lacustres. 18
Figure 15 : Résultats du PlumBumRisk avec les données de base, considérant une infiltration dans les dépôts lacustres. 18
Figure 16 : Résultat de la capacité de rétention avec les données de base, considérant une infiltration dans les dépôts lacustres. 19
Figure 17 : Profil topographique transversal entre la butte de tir et le lac Léman 20

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats des analyses en laboratoire 13
Tableau 2 : Concentrations maximales en plomb et antimoine admises dans les décharges 14
Tableau 3 : Résultats des analyses OLED sur les remblais composant la butte de tir 16
Tableau 4 : Variation du rapport Pb/Sb en fonction de la teneur en argile. 19
Tableau 5 : Estimation des volumes et coûts liés à l'assainissement de la butte jusqu'à 1'000 mg/kg (Pb) .. 21
Tableau 6 : Estimation des volumes et coûts liés à l'excavation complète de toute la butte 21

Liste des annexes

Annexe A Dimensions de la ciblerie 25
Annexe B Description des fouilles à la pelle 27
Annexe C Bordereaux des analyses en laboratoire 29
Annexe D Interprétation des mesures de terrain 30
Annexe E Cartes de la pollution en plomb des sols (0 à 0.2 m et 0.2 à 0.4 m de profondeur) 31

1 Introduction

1.1 Contexte de l'étude

La butte pare-balles du stand de tir communal 50 m de Tolochenaz est située sur la parcelle n°151. Le stand n'est actuellement plus en exploitation depuis 2017/2018 et des travaux sont envisagés prochainement pour réhabiliter le site. Le projet n'est pas encore connu, mais pourrait consister en l'aménagement d'un parc en prolongation de la plage.

Dans ce cadre, la commune de Morges nous a sollicité pour la réalisation des investigations techniques permettant de définir la nécessité et l'urgence d'un assainissement, caractériser l'état qualitatif des matériaux au droit de la butte pare-balles et des terrains avoisinants et de définir un concept d'assainissement sommaire.

Afin de pouvoir bénéficier des subventions OTAS de *40% des coûts imputables liés à l'investigation, à la surveillance et à l'assainissement*[1] pour l'assainissement des stands de tir, les tirs doivent être arrêtés avant fin 2020.

L'étude comprend la réalisation d'une investigation technique selon l'OFEV afin de déterminer l'ampleur et l'extension de la pollution au plomb ainsi qu'une évaluation de la mise en danger.

L'ensemble des résultats figure dans le présent rapport, qui sera transmis à la DGE pour étude de votre dossier dans le cadre de l'attribution des subventions OTAS pour l'assainissement des cibleries.

1.2 Localisation du site

Le stand de tir et la butte pare-balle du Boiron à Tolochenaz se situent le long du Léman, sur la parcelle 151. Le stand proposait aussi du tir 300 m, néanmoins nous ne traiterons ici que de la butte de tir 50 m.

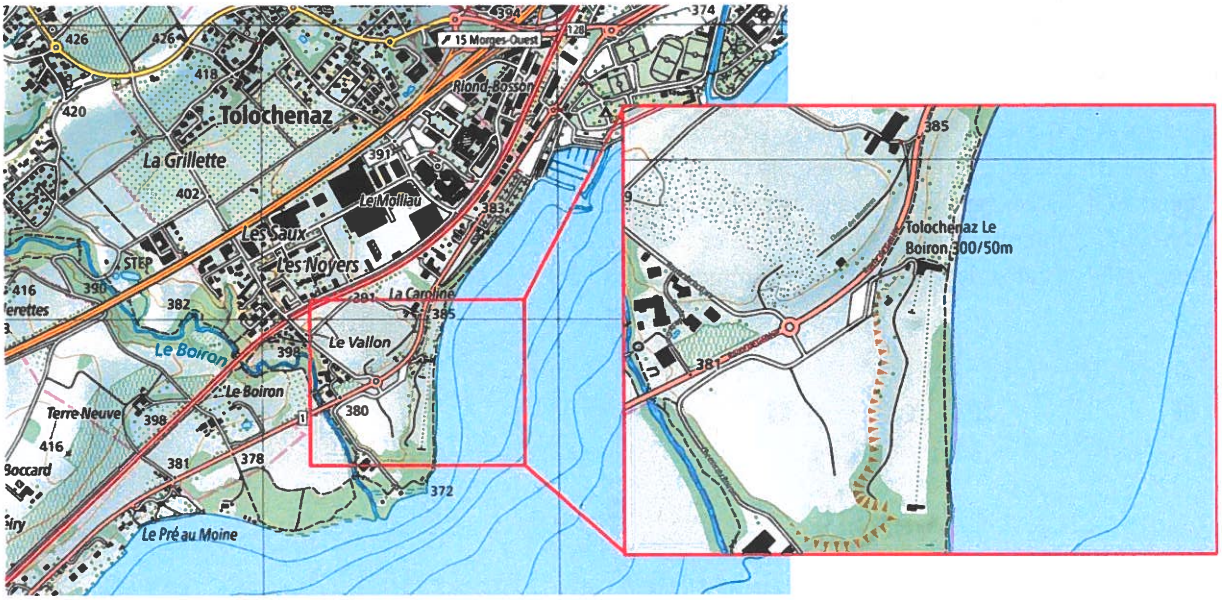


Figure 1 : Carte de situation du site (source: map.geo.admin.ch)

[1] OFEV, Indemnisations en vertu de l'OTAS pour les installations de tir, 2020

2 Description du site de l'étude

2.1 Description et historique de la butte de tir

Les informations historiques ont été recueillies auprès de M. Olgiati.

Le stand de tir est utilisé depuis 1877, mais il n'apparait sur les cartes topographiques historiques qu'à partir de 1891. La butte de tir n'a *a priori* subi aucune modification ou déplacement depuis son entrée en fonction en 1877.

La ciblerie s'étend sur environ 10 mètres de large et comporte 12 cibles. La butte s'élève à environ 380.5 mètres d'altitude, soit environ 9 mètres au-dessus du niveau du Léman (372 msm) (Figure 2).

Les terrains au voisinage de la butte de tir sont herbacés, et ne sont pas utilisés pour des cultures alimentaires. Bien que le terrain en lui-même ne soit pas utilisé pour du pâturage, l'herbe y est fauchée environ deux fois par an et son utilisation est inconnue. Nous considérons alors qu'elle peut être utilisée comme fourrage.

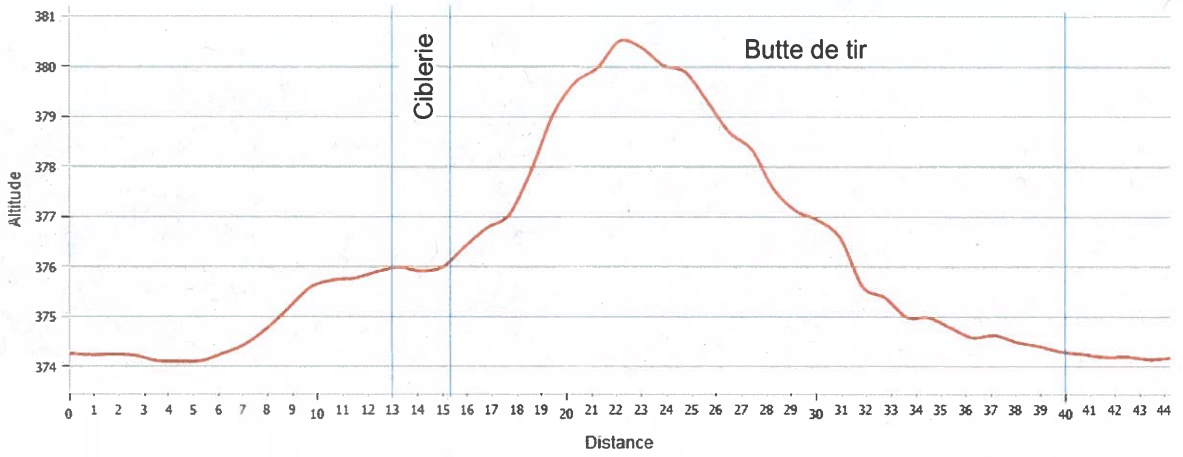


Figure 2 : Profil MNT de la butte de tir, source: geo.vd.ch, consulté le 07.05.2021



Figure 3 : Vue sur la ciblerie et la butte de tir



Figure 4 : Vue de profil de la butte de tir



Figure 5 : Vue à l'arrière de la butte de tir (à gauche) et à l'avant de la butte de tir (à droite)

2.2 Contexte géologique

La butte se situe sur des dépôts sablo-graveleux de la terrasse lacustre de 3 m, formant les rives du lac Léman. Ces alluvions surmontent des dépôts morainiques. Des zones remblayées et une ancienne décharge sont présentes à proximité immédiate de la butte de tir (Figure 6). Cette décharge est par ailleurs recensée site pollué ne nécessitant ni surveillance ni assainissement au cadastre cantonal (Figure 7).

Quelques sondages répertoriés au cadastre cantonal confirment que des matériaux de décharge surmontent, sur près de 8-10 m d'épaisseur, des dépôts lacustres composés de sables grossiers graveleux.

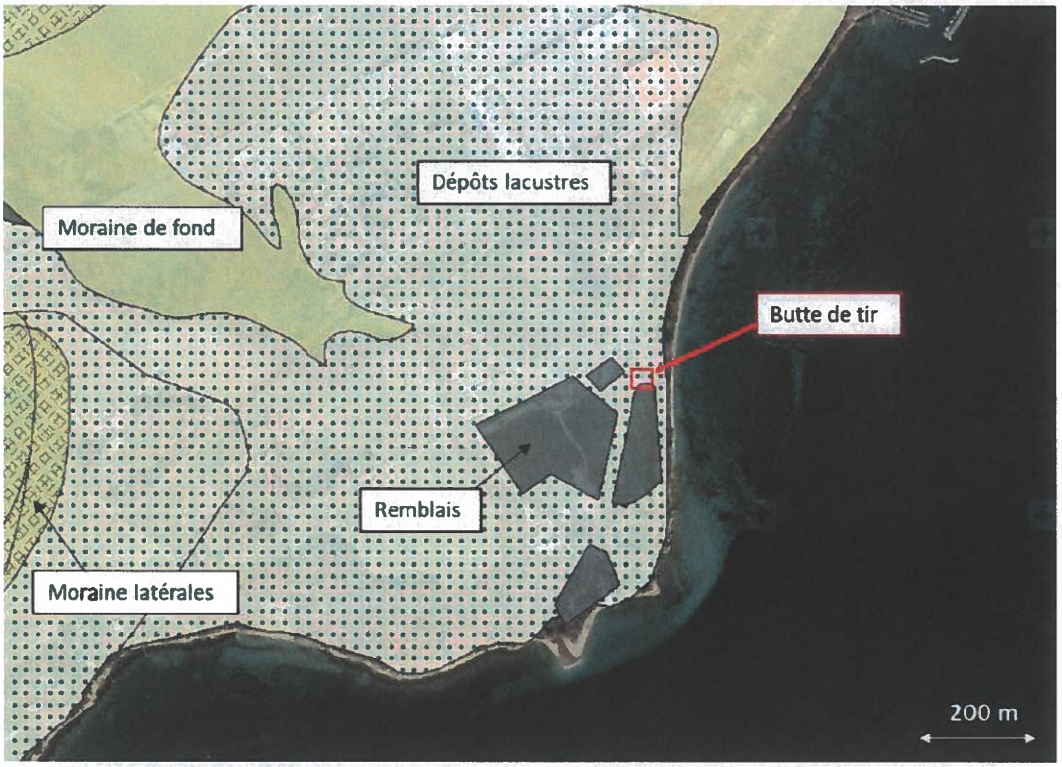


Figure 6 : Contexte géologique autour de la butte de tir (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21)

Lors de la visite du site réalisée le 4 mai 2021, des matériaux de décharge ont été observés sous la butte de tir. Il semblerait donc que l'emprise de la décharge soit légèrement plus étendue en direction du nord. Des terrains lacustres sablo-graveleux ont été constatés entre le stand de tir et la butte.

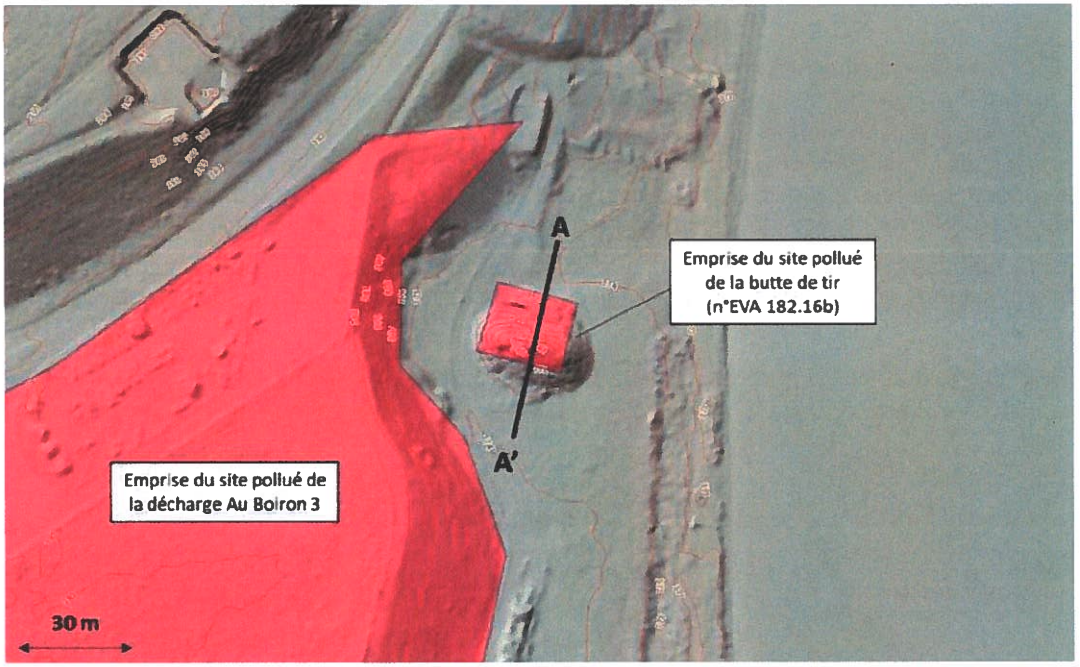


Figure 7 : Sites pollués cadastrés dans le secteur d'étude (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21)

2.3 Contexte hydrogéologique

La butte de tir se situe en zone Au de protection des eaux souterraines, soit comprenant des réserves d'eaux souterraines exploitables (Figure 8). D'après la carte hydrogéologique, l'écoulement des eaux est dirigé vers l'ouest, en direction du lac Léman.

Aucun captage n'est présent à proximité de la butte de tir.

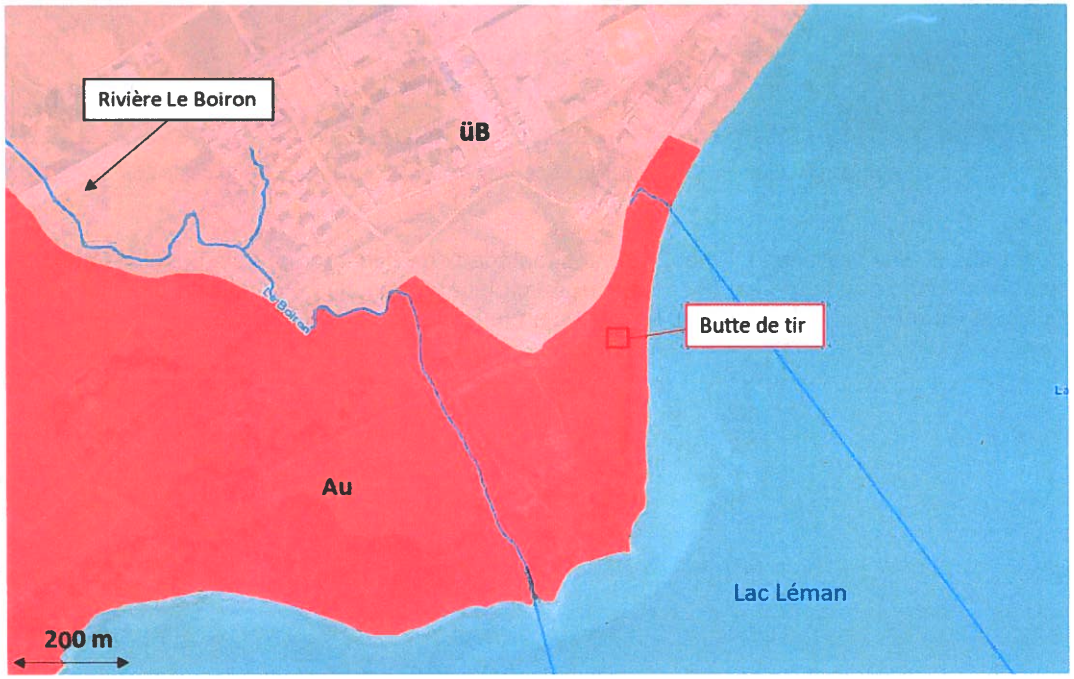


Figure 8 : Zones de protection des eaux et localisation de la butte pare-balle (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21)

Une coupe géologique schématique est présentée en Figure 9. Sa localisation est indiquée en Figure 7.

Une nappe est présente dans les dépôts lacustres sableux et est en connexion directe avec le lac Léman, situé à environ 45 m de distance. Le niveau piézométrique de cette nappe a été identifié dans la fouille F3 à 2 m de profondeur, soit environ 372 msm. Cette donnée est également confirmée par des sondages géologiques recensés au cadastre.

Cet aquifère est recouvert de matériaux de remblayage, déposés sur une zone d'environ 80'000 m^2, entre la butte de tir au nord, la route cantonale à l'ouest et la rivière le Boiron au sud. Ces matériaux, d'épaisseur variable, présentent une matrice sablo-limoneuse assez hétérogène. Les eaux météoriques arrivant sur la butte de tir peuvent s'infiltrer directement dans les remblais, puis rejoindre l'aquifère, ou s'écouler en surface et s'infiltrer dans les dépôts lacustres affleurant au nord de la butte de tir.

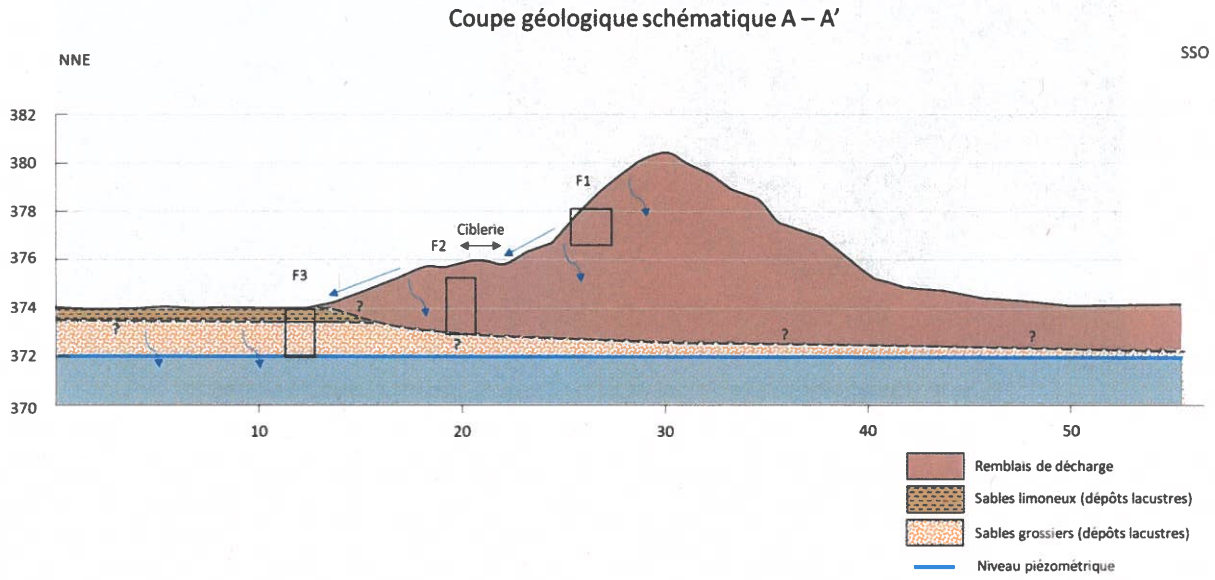


Figure 9 : Coupe géologique schématique (A–A') à travers la butte de tir

En terme de perméabilité, l'aquifère présente une perméabilité élevée (K~10^{-3}), mais est surmonté d'environ 30 cm de sables limoneux à plus faible perméabilité.

Les remblais de décharge observés présentent quant à eux une composition très hétérogène, dont la gamme de perméabilité peut être estimée entre 10^{-4} et 10^{-7} m/s.

2.4 Contexte hydrologique

Le lac Léman est présent à environ 45 m de distance à l'est de la butte de tir, et la rivière le Boiron est située à environ 350 m de distance au sud.

La topographie entre la butte de tir et le lac est plane (Figure 7), et il semble peu probable que les ruissellements de surface atteignent les berges du lac Léman en cas de fortes précipitations. Les eaux de surface, en particulier le lac Léman, apparaissent donc peu vulnérables vis-à-vis d'une pollution provenant de la butte de tir.

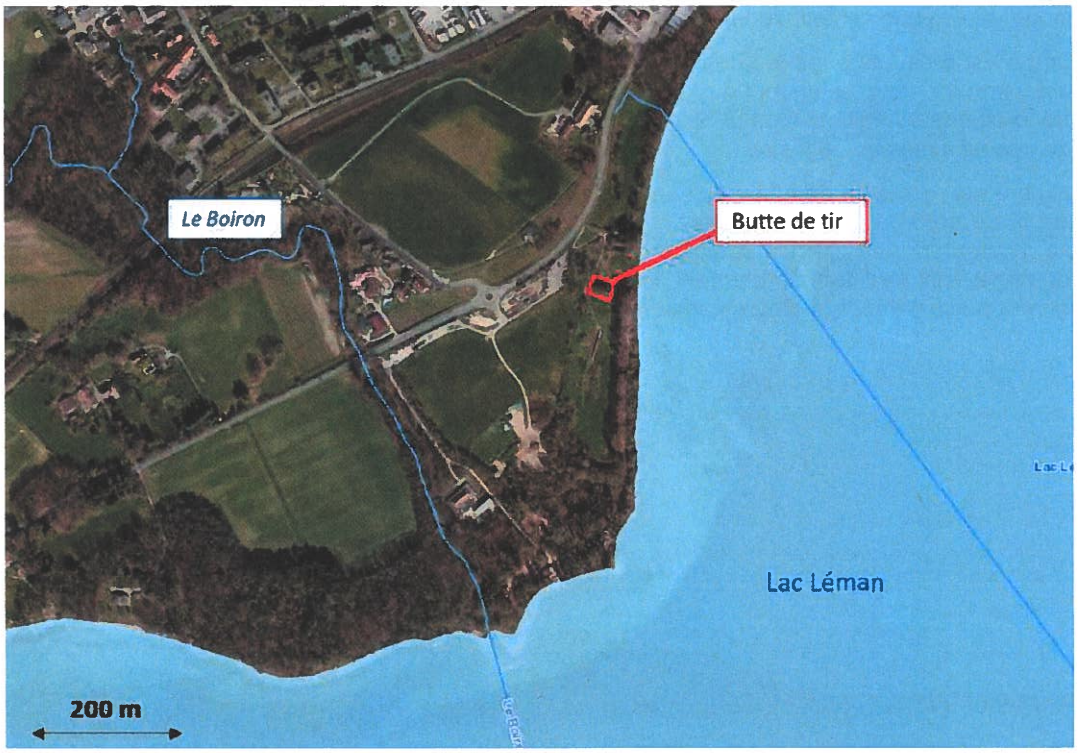


Figure 10 : Lac et rivières situés à proximité de la butte de tir (geo.vd.ch, consulté le 05.05.21)

3 Investigation technique de la butte de tir

3.1 Protocole d'investigation

La campagne d'investigation réalisée le 4 mai 2021 a comporté des sondages manuels superficiels à la tarière sur tout le secteur afin de cartographier l'extension latérale de la pollution, et des fouilles à la pelle mécanique afin d'en évaluer l'extension verticale.

Les sondages manuels à la tarière ont été répartis sur toute la butte, selon un maillage couvrant principalement les zones exposées aux tirs. Dans les zones protégées des impacts directs, des mesures au XRF ont été effectuées directement dans la couche superficielle du sol. L'implantation des sondages et mesures est représentée sur la carte ci-dessous (Figure 11). Les échantillonnages à la tarière ont été systématiquement effectués à des profondeurs de 0 à 20 cm, et de 20 à 40 cm.

Trois fouilles à la pelle mécanique ont été réalisées jusqu'à maximum 2.5 m de profondeur dans la butte de tir (F1 et F2) et à l'avant de celle-ci (F3). Elles ont permis de décrire la nature des matériaux, d'évaluer la profondeur de pénétration des balles / fragments, et d'évaluer un gradient des concentrations en plomb en profondeur.



Figure 11 : Plan de situation des investigations effectuées le 04.05.2021

Sur le terrain, la préparation des échantillons a été réalisée selon le protocole suivant :

- Tri manuel et magnétique des balles et fragments,
- Tamisage (10 mm),

- Pesée de la fraction restante de l'échantillon (>10 mm),
- Mesure semi-quantitative de la teneur en plomb au moyen d'un appareil XRF (analyseur portable par Fluorescence X), moyenne de 5 mesures sur le même échantillon.

Selon la méthodologie de la directive OTAS, les mesures effectuées au XRF doivent être corrigées par des analyses en laboratoire de la teneur totale en Pb et Sb. 3 échantillons de matériaux terreux ont été envoyés au laboratoire Wessling AG pour établir la corrélation des mesures de terrain.

Afin d'estimer la teneur en plomb d'un échantillon, la teneur totale en métaux lourds dans une balle ou un fragment doit également être corrigée de la façon suivante, selon la fraction de la balle retrouvée dans l'échantillon :

- Fragment de noyau : 100% Pb
- Fragment de balle (manteau + noyau) : 75% Pb
- Fragment de manteau : 0% Pb

Ces données ont finalement pour vocation de définir l'étendue des secteurs suivants :

- **Secteur A** (zone clôturée, butte pare-balles et ciblerie) : > 1'000 mg Pb/kg, voire plus de 20'000 mg Pb/kg dans les zones d'impact ;
- **Secteur B** (zone rapprochée) : de 200 à 1'000 mg Pb/kg.

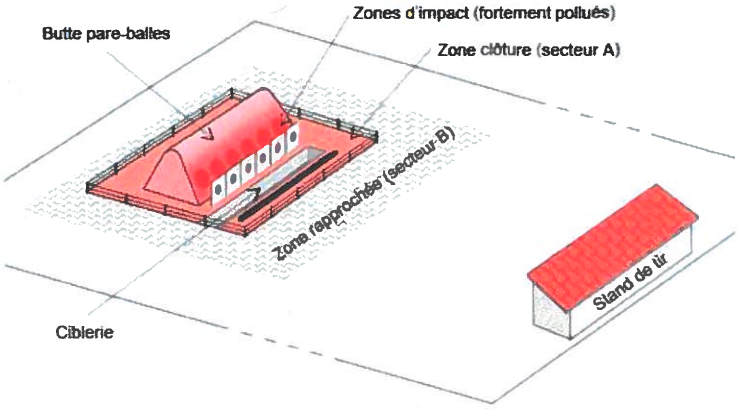


Figure 12 : Pollution au plomb due à la pratique du tir dans une installation à 300 m. Le schéma est aussi applicable au tir 50 m, avec une zone rapprochée généralement réduite. (Source : OFEV, Indemnisations en vertu de l'OTAS pour les installations de tir, 2018)

3.2 Observations réalisées

Les sondages et fouilles sur le terrain ont permis de constater la présence de balles et fragments en quantité importante, sur l'entier de la butte mais se limitant à l'emprise de celle-ci. Les quantités de balles observées permettent de caractériser la concentration dans cette zone comme nécessitant un traitement au sens de l'OLED (>2'000 mg/kg) ;

- Des fragments sont observés devant la ciblerie, dans la pente devant celle-ci ;
- La concentration en plomb diminue rapidement dès lors qu'on s'éloigne latéralement de la zone de tir. Les concentrations élevées en plomb ont principalement été détectées à l'arrière de la ciblerie, et un grand nombre de fragments de balles est par ailleurs observé à cet endroit. Les concentrations diminuent progressivement à mesure qu'on s'élève vers le sommet de la butte ;
- Sur le côté Est de la butte, des teneurs en plomb élevées ont été mesurées à près de 10 m de distance de la ciblerie et des fragments de balles sont également observés (en E9 et E12). Il pourrait

s'agir de mouvements de terre lors de l'entretien de la butte, ou de l'influence du stand de tir à 300 m, dont la ligne de tir se trouve dans cette trajectoire ;

- Du côté Ouest de la ciblerie, une décroissance rapide de la teneur en plomb est observée en s'éloignant de la ciblerie ;
- En raison de la topographie du terrain, l'arrière de la butte est relativement bien protégé de l'impact des balles. Un balayage de la butte a été réalisé à l'aide d'un détecteur de métal, qui a mis en évidence la présence de quelques fragments de balles, répartis de façon dispersée. Ceux-ci pourraient provenir de mouvements de terre lors des travaux d'entretien de la butte.

De plus, les fouilles à la pelle ont permis d'observer la nature des terrains et la quantité de balles en profondeur :

- Les coupes des trois fouilles sont présentées en Annexe B ;
- Selon nos observations, la butte de tir est formée de remblais sablo-limoneux bruns, à cailloutis et blocs. Des matériaux anthropiques de décharge sont observés (briques, métal, verre etc.), et une légère odeur d'hydrocarbures se dégage de morceaux de bitume ;
- Dans la butte (fouille F1), les balles et les fragments sont observés jusqu'à environ 40 cm de profondeur par rapport à la surface de la butte. Des tâches d'oxydation sont également présentes dans les matériaux terreux sur ces 40 cm ;
- Au pied de la butte (à côté de la ciblerie), la fouille F2 a révélé que les matériaux présents sous la butte sont également composés de remblais de décharge dans une matrice sablo-graveleuse noire (débris de briques, métal, verre, etc.) jusqu'à environ 1.60 m. Entre 1.60 et 2.10 m de profondeur, le terrain est ensuite composé de sables graveleux beiges, puis de sables limoneux à cailloutis avec de la matière organique en décomposition jusqu'à 2.5 m. La présence de nombreux débris anthropiques métalliques a rendu impossible la détermination de la profondeur maximale de pénétration des balles ;
- La fouille F3 a été réalisée devant la ciblerie, dans les dépôts lacustres composés de sables limoneux jusqu'à 0.60 m, puis de sables grossiers propres. La nappe a été atteinte à environ 2 m de profondeur. Très peu, voire aucune balle n'a été observée en surface.

3.3 Résultats

3.3.1 Corrélation XRF – analyse en laboratoire

Afin de calibrer le XRF, une droite de corrélation est établie sur la base d'un minimum de 3 analyses en laboratoire. Trois échantillons ont été sélectionnés afin de réaliser une analyse en laboratoire de la concentration en plomb et en antimoine.

Une synthèse des résultats est présentée ci-après. Le bordereau des résultats d'analyses en laboratoire figure en Annexe C.

Tableau 1 : Résultats des analyses en laboratoire

N° échantillon	Plomb (mg/kg)	Antimoine (mg/kg)
E6	700	9.4
E10	47	<1
E16	350	7.3

Le détail de la corrélation, les mesures de terrain et la détermination des concentrations en plomb corrigées sont présentées en Annexe D.

Les résultats de nos mesures XRF doivent être corrigées par un facteur de 1.20. De plus, d'après les analyses en laboratoire le ratio Sb/Pb est de l'ordre de 1 à 2 %.

D'après notre retour d'expérience, la plage optimale de fiabilité des mesures de l'appareil XRF correspond à une plage de concentration de 0 à 500 mg/kg pour le plomb. Les dérives de mesure de l'appareil deviennent importantes au-delà de 1'000 mg/kg.

3.3.2 Valeurs réglementaires

Au regard de l'OSites et de l'OSol, les valeurs de référence à prendre en compte sont :

- Valeurs de concentration pour l'évaluation du besoin d'assainissement des sols selon l'annexe 3 OSites :
  - Plomb : 2'000 mg/kg (sur les sites agricoles), au droit de la butte (parcelle enregistrée au cadastre des sites pollués). ;
  - Antimoine : aucune limite pour les sites agricoles, mais seuil fixé à 50 mg/kg pour les jardins privés et familiaux et places de jeux
- Seuil d'investigation pour le plomb selon l'annexe 1 OSol : 200 mg/kg pour les terrains agricoles. Au-delà de cette valeur, il est considéré qu'il est nécessaire de restreindre l'utilisation d'un sol au sens de l'art. 34, al.2, LPE (selon art. 2 al. 5 OSol). Aucune valeur n'existe pour l'antimoine.

Pour les évacuations de matériaux excavés, les limites d'acceptation des filières selon l'OLED sont :

Tableau 2 : Concentrations maximales en plomb et antimoine admises dans les décharges

	Décharge de type B	Décharge de type E	Traitement
Plomb (mg/kg)	50 à 500	500 à 2'000	> 2'000
Antimoine (mg/kg)	3 à 30	30 à 50	> 50

Les matériaux avec une concentration comprise entre 1'000 et 2'000 mg/kg doivent être évacués en décharge de type E[2], tandis que les matériaux ayant une teneur en plomb supérieure à 2'000 mg/kg doivent être traités dans une station de lavage des sols.

3.3.3 Distribution spatiale de la concentration en métaux lourds

L'objectif de l'investigation technique est d'appréhender la distribution spatiale de la pollution de la butte de tir et de ses abords en plomb et en antimoine.

Sur la base des mesures réalisées, une cartographie des concentrations en plomb dans les sols a été établie (voir Figure 13). Le secteur caractérisé par des teneurs en plomb supérieures à 2'000 mg/kg est ainsi mis en évidence. Des concentrations atteignant 69'987 mg/kg ont été détectées entre 0 et 20 cm de profondeur, à l'arrière de la ciblerie.

[2] OLED, annexe 5, ch. 4.1

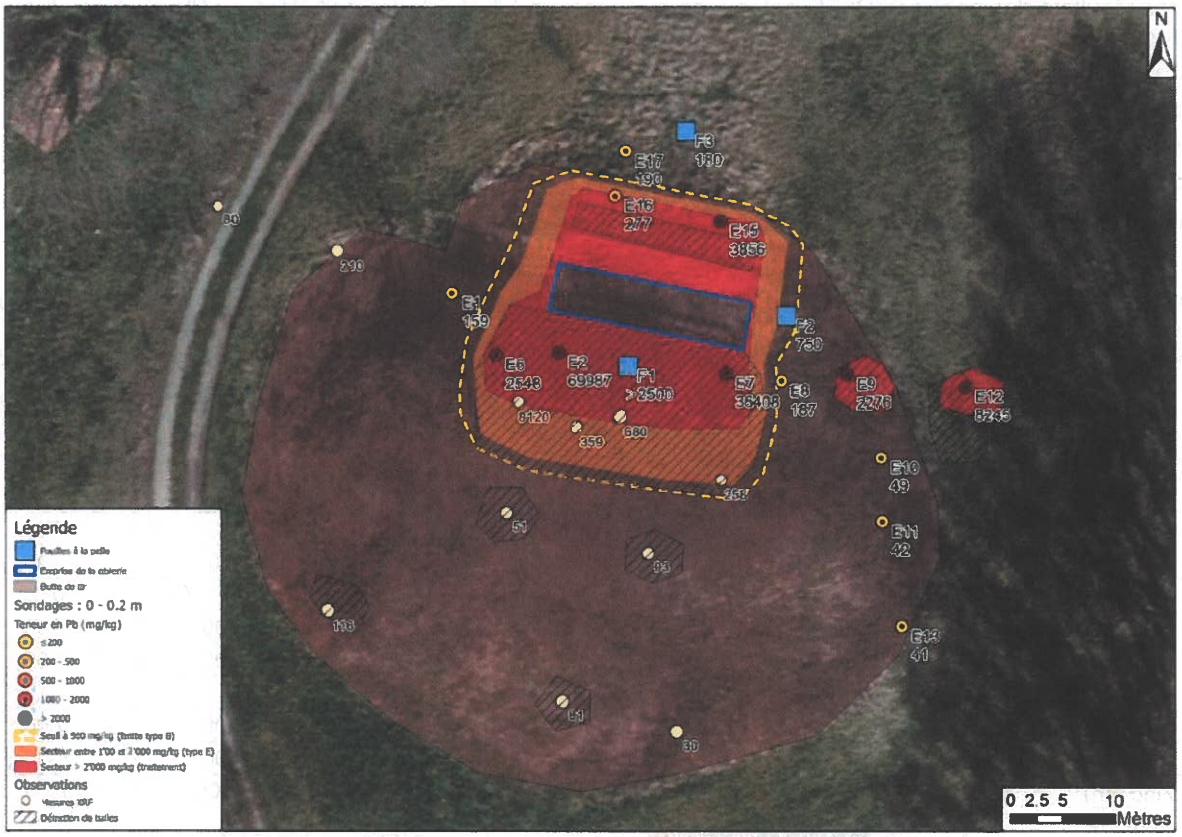


Figure 13 : Teneurs en plomb mesurées autour de la butte de tir de Tolochenaz (profondeur : 0-0.2m)

L'extension latérale de la pollution semble majoritairement limitée à l'emprise des cibles, et les concentrations en plomb décroissent ensuite rapidement vers l'est (E8) et l'ouest (E1).

Des concentrations supérieures à 2'000 mg/kg ont néanmoins été observées en E9 et E12, en bordure de la butte de tir. Il s'agit de dépôts ponctuels, sans continuité avec la principale zone polluée, qui pourraient provenir de mouvements de terre et végétaux lors de l'entretien de la butte, ou de l'influence de la ligne de tir 300 m, qui passe à l'est de la butte 50 m.

A l'arrière de la butte, les teneurs en plomb mesurées sont inférieures à 200 mg/kg, néanmoins des balles dispersées ont également été observées en plusieurs endroits. Celles-ci proviennent aussi probablement des travaux d'entretien et de déboisement, ou de la manipulation de matériaux par le passé. Considérant les faibles concentrations en plomb et l'éloignement à la zone d'impact des tirs, l'arrière de la butte n'est pas considéré comme particulièrement pollué.

Au regard des concentrations observées en plomb, les concentrations en antimoine peuvent être évaluées entre 0.8 et 1'400 mg/kg entre 0 et 0.2 m de profondeur.

Sur l'ensemble du périmètre, on constate la présence de balles et de fragments jusqu'à environ 0.40 m de profondeur sous le terrain naturel au droit de la butte de tir (Annexe E).

3.3.4 Analyses de pollution des matériaux de décharge

Lors de la réalisation des fouilles à la pelle, il a été constaté que la butte est composée de remblais et repose intégralement sur des matériaux de décharge, associés à la décharge Au Boiron 3, recensée au cadastre des sites pollués.

Deux échantillons de remblais ont été prélevés en F1 (entre 0.2 et 0.4 m de profondeur) et en F2 (entre 0.5 et 1.0 m) afin de réaliser des analyses OLED et qualifier la qualité des remblais en vue du futur projet de réaménagement du site.

Les résultats des analyses OLED ont mis en évidence, en F1 et F2, des pollutions en Plomb à des teneurs supérieures à la valeur limite de mise en décharge de type B, selon l'annexe 5 chiffre 2 OLED.

L'échantillon F2 présente également une faible pollution au carbone organique total (COT), et quelques dépassements de la limite de type A en métaux lourds (Cr, Cu, Ni, CN) et en hydrocarbures C10-C40.

Outre le Plomb et l'Antimoine, les paramètres analysés en F1 ne présentent aucun dépassement des valeurs limites pour de la mise en décharge de type A.

Une synthèse des résultats obtenus est présentée ci-dessous.

Tableau 3 : Résultats des analyses OLED sur les remblais composant la butte de tir

Paramètre	Unité	F1	F2	Valorisation ou décharge de type A	Valorisation ou décharge de type B	Décharge de type B	Décharge de type E
				Annexe 3, chiffre 1	Annexe 3, chiffre 2	Annexe 5, chiffre 2	Annexe 5, chiffre 5
				A	T	B	E
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	12	8.7	3	15	30	50
Arsenic (As)	mg/kg MS	9.8	11	15	-	30	50
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0.1	0.1	1	5	10	10
Chrome (VI)	mg/kg MS	<0.05	<0.05	0.05	0.05	0.1	0.5
Chrome (Cr)	mg/kg MS	42	54	50	250	500	1000
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	25	55	40	250	500	5000
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0.14	0.06	0.5	1	2	
Nickel (Ni)	mg/kg MS	36	52	50	250	500	1000
Plomb (Pb)	mg/kg MS	540	750	50	250	500	2000
Zinc (Zn)	mg/kg MS	56	35	150	500	1000	5000
Carbone Organique Total (COT)	mg/kg MS	<5000	18000	-	10000	20000	50000
Cyanures totaux (CN)	mg/kg MS	<0.05	0.095	0.05	-	-	-
Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/kg MS	<0.5	<0.6	1	5	10	100
Hydrocarbures C10-C40	mg/kg MS	10	56	50	250	500	5000
Benzène	mg/kg MS	<0.01	<0.01	0.1	0.5	1	1
Somme BTEX	**mg/kg MS**	-/-	-/-	**1**	**5**	**10**	**100**
Somme HCC (OLED)	**mg/kg MS**	-/-	-/-	**0.1**	**0.5**	**1**	**5**
Somme des 6 PCB (x4,3)	**mg/kg MS**	-/-	-/-	**0.1**	**0.5**	**1**	**10**
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	0.16	<0.05	0.3	1.5	3	10
Somme des HAP	**mg/kg MS**	1.6	0.05	**3**	**12.5**	**25**	**250**
Ammonium (NH4)	mg/l E/L	0.022	<0.01	0.5	-	-	-
Azote ammoniacal (NH4-N)	mg/l E/L	0.017	<0.0078	0.5	-	-	-
Solubilité dans l'eau	Gew% MB	<0.1	<0.1	0.5	3		5
Fluorures (F)	mg/l E/L	0.21	0.24	2	-	-	-
Nitrites (NO2)	mg/l E/L	<0.005	0.006	1	-	-	-
Cyanure (libre) (CN)	mg/l E/L	<0.005	<0.005	0.02	-	-	0.3

4 Évaluation de la mise en danger

4.1 Évaluation du risque pour les eaux souterraines

4.1.1 Hypothèses

Les paramètres saisis pour le calcul via le PlumBumRisk, sont déduits des éléments de contexte environnemental présenté ci-avant. Ils sont présentés ci-après.

Contexte climatique :

- Pluviométrie annuelle : moyenne de 1'120 mm/an (2011 – 2020, d'après Météo Suisse) ;

Géométrie de la butte de tir :

- Dimension de la butte considéré autour de la ciblerie : 8 m x 14 m jusqu'au sommet de la butte pare-balle en arrière des cibles ;

Caractéristiques hydrogéologiques :

- Profondeur de l'aquifère : 2 m ;
- Vitesse d'écoulement des eaux : estimée à 85 m/j ($K \sim 10^{-3}$ m/s) pour les dépôts lacustres sableux ;
- Angle entre l'axe d'écoulement et l'axe de la butte de tir : le sens d'écoulement est dirigé vers l'est, soit dans la même direction que l'axe de la butte de tir (env. 0°).

Teneur en calcite :

La teneur en calcite est un paramètre déterminant pour évaluer la mise en danger des eaux souterraines puisqu'il permet de fixer le plomb. D'après une analyse en laboratoire réalisée sur un échantillon de dépôts lacustres sableux, les teneurs suivantes ont été mesurées (bordereaux en Annexe C) :

- Teneur en calcite : supérieure à 2%.
- Teneur en oxyde de fer : 3.31% ;
- Teneur en argile : estimée entre 0.5 et 15% ;

4.1.2 Détermination des concentrations maximales de plomb et d'antimoine dans les eaux :

La butte se situe dans des remblais, surmontant des dépôts lacustres sableux, sièges d'un aquifère dont le niveau piézométrique se situe à 2 m de profondeur. Les résultats sur les concentrations en plomb et antimoine à 5 m de distance en aval sont présentés dans la Figure 14.

PlumBumRisk 1.0 - Calcul de la concentration			
Définition du scénario / détermination de la concentration en Pb	Symbole	Unité	Fenêtre de saisie
Teneur en calcite du sol > 2 % en poids. Réponse: oui / -			oui
Teneur en calcite du sol < 2 % en poids. Si oui, indiquer une valeur mesurée ou une valeur empirique de la concentration en Pb dans l'eau interstitielle [mg/l]. Réponse : valeur / -		mg/l	-
Teneur en gypse du sol: env. 30 % ou présence de sulfates dans les eaux souterraines [960 mg/l]. Réponse : oui / -			-
Paramètres du système			
Pluviométrie annuelle	N	m^3/m^2 a	1.12
Largeur de la butte pare-balles, pollution > 2 000 mg/kg Pb	B	m	8
Longueur de la butte pare-balles, pollution > 2 000 mg/kg Pb	L	m	14
Profondeur de l'aquifère (du niveau piézométrique)	T	m	2
Vitesse d'écoulement des eaux souterraines	V	m/j	85.00
Angle entre l'axe d'écoulement et l'axe de la butte: si ces deux axes sont parallèles, angle = 0° si les deux axes divergent, angle = 0 à 90°; si la butte pare-balles n'a pas une forme allongée (long. ≈ larg.), angle = -	γ	°	0
Intrants basés sur la modélisation géochimique avec PHREEQC			
Concentration (C_o) de Pb au passage dans la zone saturée: variable en fonction du scénario choisi	C_o Pb	mg/l	0.2
Concentration (C_o) d'antimoine au passage dans la zone saturée = 1/50 de la concentration en Pb	C_o Sb	mg/l	0.004

Figure 14 : Paramètres du calcul de la concentration en plomb du PlumBumRisk, considérant une infiltration dans les dépôts lacustres.

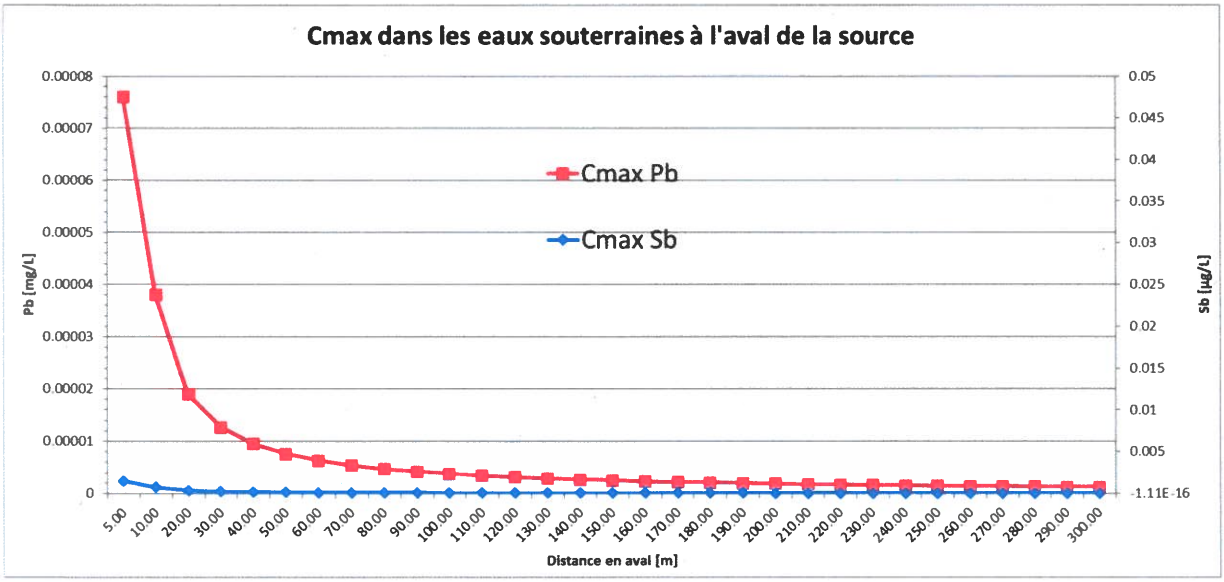


Figure 15 : Résultats du PlumBumRisk avec les données de base, considérant une infiltration dans les dépôts lacustres.

Pour ce calcul, la concentration en plomb au passage de la zone saturée est directement liée à la teneur en calcite ; dans le cas où la teneur en calcite du sol serait de <2% en poids, on rentre directement la valeur empirique de concentration en plomb de l'eau au droit du site entre 0,2 et 10mg/l, caractérisant la concentration à l'entrée dans la nappe.

D'après la composition des matériaux présents, la teneur en calcite est supérieure à 2%, et la concentration en plomb au droit de l'infiltration de la nappe est donc évaluée à 0.2 mg/l selon le logiciel. Cette teneur est supérieure à la limite de 0.05 mg/l selon l'Annexe 1 OSites. La décroissance de la concentration est ensuite très rapide avec la distance vers l'aval du site. Les teneurs en Plomb et Antimoine sont inférieures à la limite OSites à 5 m de distance du site.

En considérant une infiltration des eaux de ruissellement dans les remblais de décharge, soit avec une vitesse d'écoulement bien inférieure (0.9 m/j) en raison d'une géologie plus limoneuse, les concentrations de plomb restent inférieures aux limites OSites à 5 m de distance du site.

4.1.3 Calcul de la capacité de rétention

D'après le manuel de PlumBumRisk, le rapport entre le nombre maximal d'atomes de Pb et de Sb solubles et le nombre de sites de fixation disponibles devrait au mieux se situer entre 0.1 et 1.0. Si ce rapport est :

- > 1.0, des atomes de Pb et Sb dissous peuvent pénétrer dans les eaux souterraines ;
- < 0.5, le sous-sol fait office de barrière géogène.

Le calcul de la capacité de rétention se base sur les matériaux terreux identifiés au droit de la butte de tir, soit des dépôts lacustres. Sur la base des analyses laboratoires (Annexe C), la teneur en oxydes de fer est estimée à environ 3.5%. La teneur en argiles est quant à elle estimée d'après la géologie observée.

La longueur de l'aquifère considérée correspond à la distance entre la ciblerie et le lac Léman.

Dans le cadre d'une infiltration directe à travers les dépôts lacustres situés sous la butte de tir, les résultats montrent que la variation de la teneur en argiles du sous-sol n'affecte que relativement peu le rapport Pb/Sb car la capacité de rétention est plus fortement impactée par la teneur en oxyde de fer, constituant des sites de fixation du plomb (valeur fixée d'après analyse).

PlumBumRisk 1.0 - Calcul de la capacité de rétention			
Estimation de la capacité de rétention du sous-sol	Symbole	Unité	Fenêtre de saisie
Pollution résiduelle au Pb dans le sous-sol, après assainissement du site	Cs	mg/kg	1000
Longueur de la surface assainie	Ls	m	32
Largeur de la surface assainie	Bs	m	17
Surface de l'aire assainie	As	m^2	544
Profondeur moyenne de la source de pollution au Pb dans le sous-sol	Ts	m	0.5
Teneur moyenne en argiles du sous-sol	Ex	%	5
Teneur moyenne en oxydes de fer	Fe	%	3.31
Largeur du courant souterrain dans la direction d'écoulement (Bs ≤ Bu ≥ Ls)	Bu	m	17
Longueur de l'aquifère (jusqu'au point d'observation)	Laq	m	50
Profondeur de l'aquifère (du niveau piézométrique)	Baq	m	2
Rapport entre le nombre maximum d'atomes de Pb et de Sb dissous et le nombre de sites de fixation	Vr	-	0.10

Figure 16 : Résultat de la capacité de rétention avec les données de base, considérant une infiltration dans les dépôts lacustres.

Tableau 4 : Variation du rapport Pb/Sb en fonction de la teneur en argile.

	Saisie et résultat			
Pollution résiduelle après assainissement – 1'000 mg/kg				
Teneur moyenne en argile (%)	0	0.5	5	10
Rapport Pb/Sb (-)	0.16	0.15	0.1	0.07

En variant les paramètres en entrée, les résultats indiquent que le rapport Pb/Sb est au maximum de 0.16 pour une proportion d'argile nulle. Ainsi, la teneur en oxyde de fer mesurée dans les dépôts lacustres permet de fixer efficacement le plomb et il peut être considéré que les matériaux présents protègent de façon efficace les eaux souterraines et évitent la propagation du plomb en profondeur.

4.2 Évaluation du risque pour les eaux de surface

Le lac Léman est situé à environ 45 m de distance, en aval topographique de la butte de tir. Aucun affluent n'est présent à proximité de la butte de tir.

D'après le profil topographique (Figure 17), le site relativement plat et peu pentu. Le risque de transfert des polluants au lac Léman par ruissellement des eaux de surface semble faible, en raison de la faible pente.

Néanmoins, ce risque ne peut pas être écarté et un assainissement de la butte de tir pourrait s'avérer nécessaire au regard du risque pour le lac Léman.

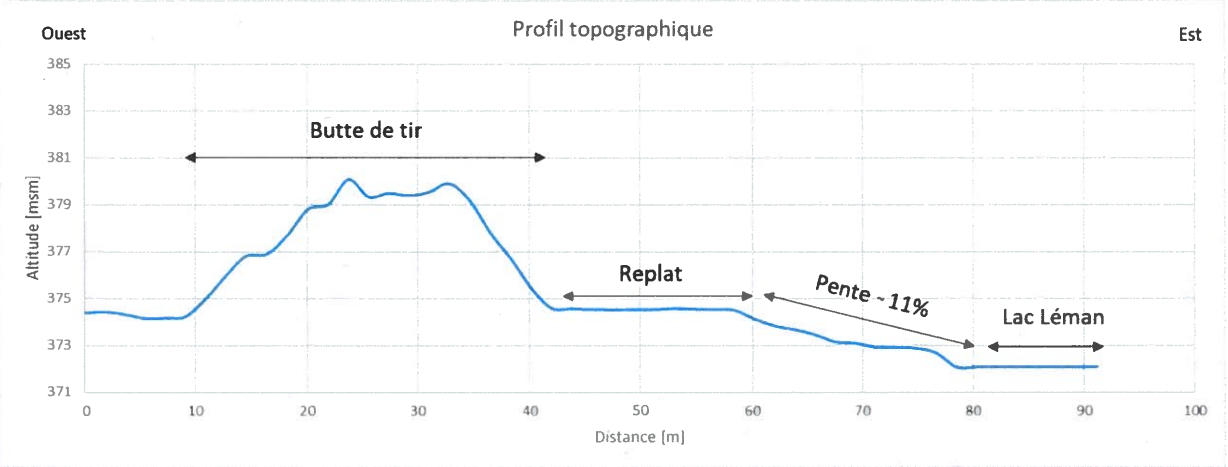


Figure 17 : Profil topographique transversal entre la butte de tir et le lac Léman

4.3 Évaluation du risque pour les sols

Les surfaces situées autour du site pollué sont actuellement utilisées pour des cultures fourragères.

Sur la base de l'investigation technique, les concentrations en plomb mesurées sur les surfaces situées au pied de la butte ne dépassent globalement pas les seuils d'investigation fixés dans l'OSol (200 mg/kg). Deux hots pots ont été néanmoins identifiés en E9 et E12, avec des concentrations dépassant non seulement le seuil d'investigation mais aussi la valeur d'assainissement pour le plomb (2'000 mg/kg).

Ainsi, en considérant les teneurs élevées en plomb mesurées et l'usage des surfaces concernées par la pollution en tant que surfaces de cultures fourragères, la mise en danger des sols est avérée, par endroit. Dès lors, dans l'attente de l'assainissement prévu de la butte, une restriction d'usage doit être mise en place dans le sens où l'herbe fauchée aux alentours ne doit pas être utilisée comme fourrage et le terrain ne doit pas servir de pâturage.

En fonction du futur projet d'aménagement retenu par les autorités communales, l'usage des sols pourrait être modifié, par exemple par la réalisation d'un parc, et il serait alors nécessaire de s'assurer que les occupants (enfants, familles, animaux etc.) ne puissent pas entrer en contact avec des matériaux pollués. Ainsi, un assainissement du site pourrait aussi être exigé au regard de la modification du statut actuel de la parcelle et de la mise en danger des occupants, jusqu'à un seuil de 1'000 mg/kg de Pb dans le cas de la réalisation d'un parc ou de jardins par exemple.

5 Concept d'assainissement préliminaire

Sur la base des données ponctuelles et de la carte présentée en annexe, les surfaces de la butte ayant des teneurs en plomb supérieures à 200, 1'000 et 2'000 mg/kg ont pu être délimitées. Une estimation des volumes et coûts d'assainissement est présentée dans le tableau suivant.

Du fait du maillage des investigations et des résultats observés, les délimitations des différentes zones correspondant aux différentes filières autorisées selon l'OLED sont des estimations. Seul un suivi des travaux, des excavations et caractérisation des déchets pourra permettre de garantir les volumes à excaver, les filières autorisées par lots et la réception des travaux.

A noter que les coûts des travaux et les honoraires des ingénieurs et spécialistes ne sont pas inclus dans les coûts présentés ci-dessous. Ces derniers représentent uniquement les frais liés à la mise en décharge des matériaux.

Tableau 5 : Estimation des volumes et coûts liés à un assainissement de la butte jusqu'à 1'000 mg/kg (Pb)

Secteur (profondeur excavation)	Teneurs en plomb (mg/kg)	Mode d'évacuation	Surface estimée (1) (m2)	épaisseur (m)	Volume à excaver (m3) (2)	Masse des sols (t)	Coût d'évacuation - traitement (CHF/t)	Coût (CHF)
Butte de tir (parcelle n°151)	> 2'000	Traitement	106	0.4	47	84	300	25'000
	1'000> [Pb] <2'000	Décharge type E	60	0.2	13	24	130	3'000
					60	**110**		**28'000**

(1) : surface estimée suivant les investigations de mai 2021
(2) : volume majoré de 10 % pour couvrir les incertitudes sur les tracés des zones sur la base de données ponctuelles

Bien que le reste de la butte de tir ne présente pas de pollution particulière, celle-ci sera probablement excavée dans le cadre du futur projet de réaménagement du site. De plus, afin d'éviter toute contrainte future quant à l'utilisation du site, nous recommandons d'assainir la butte jusqu'à 200 mgPb/kg. Cela sera atteint en cas d'élimination de celle-ci. Ainsi, le site pourra par exemple être utilisé comme pâturage en basse saison. Une estimation des coûts de mise en décharge de l'ensemble des matériaux composant la butte est présentée ci-dessous. Cette estimation ne comprend pas les matériaux adjacents à la butte, notamment le hot spot situé à l'Est (E12).

Sur la base des matériaux observés lors des fouilles, il semble que les remblais composant la butte comprennent entre 1 et 5% de matériaux non géogènes, nécessitant d'être évacués en décharge de type B. Selon l'Annexe 3 ch. 2 de l'OLED, ces matériaux peuvent également être réutilisés directement sur site, dans le cadre du futur projet d'aménagement, ce qui permettrait de réduire significativement les coûts de mise en décharge. Les matériaux composés de plus de 5% de matériaux non géogènes ne peuvent être valorisés et doivent être évacués en décharge de type B (OLED Annexe 5, ch. 2.3).

Tableau 6 : Estimation des volumes et coûts liés à l'excavation complète de la butte (impliquant un assainissement jusqu'à 200 mg/kg)

Secteur (profondeur excavation)	Seuil limite	Mode d'évacuation	Volume à excaver (m3)	Masse des sols (t)	Coût d'évacuation - traitement (CHF/t)	Coût (CHF)
Butte de tir (parcelle n°151)	[Pb] > 2'000	Traitement	47	84	300	25'000
	500> [Pb] <2'000	Décharge type E	20	36	130	5'000
	[Pb] < 500 >5% matériaux non géogène	Décharge type B	1'880	3'385	70	237'000
			1'950	**3'500**		**267'000**

Tous les travaux sur ce site devront faire l'objet d'un suivi par un spécialiste pour garantir et optimiser autant que possible le tri des matériaux terreux pour leur évacuation vers les filières selon l'OLED (tri des terres à l'aide d'analyses par XRF, observation de la quantité de fragments et balles, et des analyses en laboratoire pour le suivi des déchets).

6 Conclusions et recommandations

Au regard de cette étude, la mise en danger apparait :

- Faible pour les eaux souterraines : la composition des matériaux terreux de surface est favorable à la fixation du plomb et limite ainsi sa propagation en profondeur. La nappe phréatique présente dans les alluvions n'apparait pas vulnérable, ni mise en danger par une pollution en provenance de la butte de tir au regard des résultats du PlumBumRisk.
- Faible à moyenne pour les eaux de surface : un ruissellement de surface en provenance de la butte de tir pourrait contaminer les eaux du Lac Léman, située environ 45 m en aval topographique, bien que la pente soit faible.
- Moyenne pour les sols : les terrains adjacents à la butte sont actuellement utilisés en cultures fourragères, et un projet de réaménagement du site est prévu (ex. parc)
  - Majoritairement, concentrations inférieures à 200 mg/kg relevées sur les surfaces entourant la butte, pas d'impact particulier ;
  - Néanmoins, identification de hots spots en bordure Est de la butte, avec des concentrations en plomb supérieures à 2'000 mg/kg.

Les principes et objectifs suivants que nous proposons doivent être validés par la DGE.

Au regard du futur projet d'aménagement du site, nous recommandons un assainissement de la butte de tir selon l'OSites avec un objectif à 200 mg/kg. Ce seuil est conforme avec la réalisation d'un futur projet tel que la création d'un parc, ainsi qu'une éventuelle utilisation comme pâturage. L'urgence d'assainissement est moyenne.

En ce qui concerne les surfaces enherbées entourant la butte, celles-ci sont actuellement fauchées. Les concentrations mesurées sont globalement inférieures à 200 mg/kg, correspondant au seuil d'investigation requis selon l'OSol pour l'utilisation de terrains agricoles sans restriction. Néanmoins, des hots spots ont été identifiés à près de 10 m de distance de la ciblerie. Ceux-ci peuvent provenir de mouvements de terre lors de l'entretien de la butte, et la présence d'autres hots spots ne peut être exclus. Il conviendra de voir avec la DGE si la mise en place d'une restriction d'usage est nécessaire pour les terrains autour de la butte de tir, avant assainissement, afin d'interdire toute culture ou pâturage. L'urgence pour l'assainissement des sols est ainsi moyenne.

Nous tenons toutefois à préciser que le hot spot identifié en E12, à l'Est de la butte laisse supposer une pollution provenant de la ligne de tir 300 m. Afin de mener à bien la réalisation du projet futur, il sera probablement nécessaire d'assainir aussi cette seconde butte. Cela doit être confirmé par des investigations ciblées.

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

CSD INGENIEURS SA

pp. Antoine INDACO

pp. Sébastien CATIMEL

Collaborateurs/trices ayant participé au projet

Coralie CHAPPELIER, Ingénieure environnement EPFL

Morgane KOUMROUYAN, Hydrogéologue CHYN

Cyprien LOUIS, Géologue UNINE

7 Prémisses

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

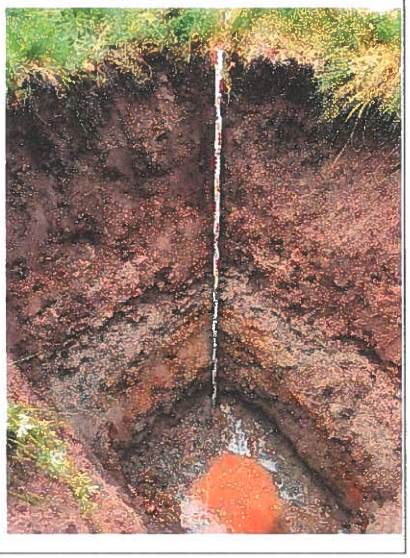
Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD déclinera toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

Annexe A Dimensions de la ciblerie


9.65 m
2.20 m
2.50 m
Butte de tir
Ciblerie

Annexe B Description des fouilles à la pelle

Fouille F1 Dans la butte	Fouille F2 À côté de la ciblerie	Fouille F3 Devant la ciblerie
0 – 0.25 m : sables limoneux à cailloutis, avec nombreuses racines, brun foncé, traces d'oxydation de balles, humide (remblais) 0.25 – 1.6 m : sables limoneux légèrement graveleux à nombreux cailloutis et blocs centimétriques, humides et bruns. Présence de matériaux de décharge (briques, morceau de bitume etc.), légère odeur d'hydrocarbures (remblais)	0 – 0.2 m : terre végétale limono-sableuse à graviers, brune, humide (TV) 0.2 – 1.6 m : sables graveleux à cailloutis et blocs, brun foncé à noir. Présence de matériaux de décharge (briques, métal, bois, verre etc.) (remblais) 1.6 – 2.1 m : sables graveleux beige (remblais) 2.1 – 2.5 m : sables limoneux à cailloutis avec matière organique en décomposition (végétaux, racines etc.), gris-beige (remblais)	0 – 0.3 m : terre végétale limono-sableuse à racines, brune (TV) 0.3 – 0.6 m : sables limoneux à cailloutis, bruns, légèrement humides (dépôts lacustres) 0.6 – 0.9 m : sables légèrement graveleux, propres, à nombreux galets et cailloutis, bruns, peu humides 0.9 – 2.0 m : sables grossiers légèrement graveleux propres à nombreux galets et cailloutis, gris, humide puis saturé en eau. Sables oxydés (couleur orangée) dans la zone de battement de la nappe entre 1.2 et 2.0 m.
Fragments de balles et traces d'oxydation jusqu'à env. 0.40 m Fin du sondage à 1.60 m	En raison d'un nombre important de débris anthropiques métalliques, la profondeur maximale de pénétration des balles n'a pas pu être détectée. Fin du sondage à 2.5 m	Très peu / pas de balles observées Fin du sondage à 2.0 m
		

Annexe C Bordereaux des analyses en laboratoire

WESSLING AG
Werkstrasse 27 · 3250 Lyss BE
Tel. +41 (0)32 387 6747 · Fax +41 (0)32 387 6746
info@wessling.ch · www.wessling.ch

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE
CSD INGENIEURS SA
Monsieur Antoine Indaco
Ch. de Montelly 78
1007 Lausanne

Commande n°.: ULS-02659-21
Interlocuteur: G. Bossert
Ligne directe: +41 32 387 67 47
E-Mail: Gina.Bossert@wessling.ch

Lyss, le 17.05.2021

Rapport no. ULS21-003486-1

Tolochenaz (VD), Butte de tir
VD08321.100

ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

WESSLING

Rapport no. ULS21-003486-1
Lyss, le 17.05.2021

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F1-0.2-0.4 21-079668-01	F2-0.5-1.0 21-079668-02	F3-0.5-1.0 21-079668-03	E6-0-0.2 21-079668-04
Propriétés générales						
Solubilité dans l'eau	% mass MB	0.1	<0.1	<0.1		
Matière sèche	% mass MB	0.1	91	87	88	83
Préparation						
Lixiviat	MB		11.05.2021	11.05.2021		
Métaux, métaux lourds et autres éléments						
Chrome VI						
Chrome (VI)	mg/l E/L	0.005	<0.005	<0.005		
Chrome (VI)	mg/kg MS	0.05	<0.05	<0.05		
Métaux et autres éléments						
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	1	12	8.7		9.4
Arsenic (As)	mg/kg MS	1	9.8	11		
Plomb (Pb)	mg/kg MS	1	540	750		700
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0.1	0.1	0.1		
Calcium (Ca)	mg/kg MS	1000			36000	
Chrome (Cr)	mg/kg MS	1	42	54		
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	1	25	55		
Nickel (Ni)	mg/kg MS	1	36	52		
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0.05	0.14	0.06		
Zinc (Zn)	mg/kg MS	5	56	35		
Cations, anions et éléments non métalliques						
Fluorures (F)	mg/l E/L	0.1	0.21	0.24		
Nitrites (NO2)	mg/l E/L	0.005	<0.005	0.006		
Ammonium (NH4)	mg/l E/L	0.01	0.022	<0.01		
Azote ammoniacal (NH4-N)	mg/l E/L	0.0078	0.017	<0.0078		
cyanure (libre) (CN)	mg/l E/L	0.005	<0.005	<0.005		
Cyanures totaux (CN)	mg/kg MS	0.05	<0.05	0.095		
Paramètres organiques globaux						
Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	2.3	1.5		
Perte au feu (550°C)	% mass MS	1	2.5	3.1		
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	5000	<5000	18000	16000	
Hydrocarbures C10-C40	mg/kg MS	10	10	56		
Substances organiques volatiles						
Benzène	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Toluène	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Éthylbenzène	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
m/p-Xylène	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
o-Xylène	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Somme BTEX	**mg/kg MS**		-/-	-/-		
Dichlorométhane	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
cis-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Trichlorométhane (chloroforme)	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Tétrachlorométhane	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Trichloroéthylène (tri)	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Tétrachloroéthylène (per)	mg/kg MS	0.01	<0.01	<0.01		
Somme HCC (OLED)	**mg/kg MS**		-/-	-/-		
Hydrocarbures aliphatiques C5-C10	mg/kg MS		<0.5	<0.6		

WESSLING

Rapport no. ULS21-003486-1
Lyss, le 17.05.2021

Désignation d'échantillon **N° d'échantillon**	**Unité**	**LQ**	**F1-0.2-0.4** 21-079668-01	**F2-0.5-1.0** 21-079668-02	**F3-0.5-1.0** 21-079668-03	**E6-0-0.2** 21-079668-04
Substances organiques moyennement et peu volatiles						
HAP						
Naphtalène	mg/kg MS	0.05	<0.05	0.05		
Acénaphtylène	mg/kg MS	0.05	<0.05	<0.05		
Acénaphtène	mg/kg MS	0.05	<0.05	<0.05		
Fluorène	mg/kg MS	0.05	<0.05	<0.05		
Phénanthrène	mg/kg MS	0.05	0.11	<0.05		
Anthracène	mg/kg MS	0.05	<0.05	<0.05		
Fluoranthène	mg/kg MS	0.05	0.3	<0.05		
Pyrène	mg/kg MS	0.05	0.21	<0.05		
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	0.05	0.11	<0.05		
Chrysène	mg/kg MS	0.05	0.13	<0.05		
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	0.05	0.15	<0.05		
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	0.05	0.15	<0.05		
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	0.05	0.16	<0.05		
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS	0.05	<0.05	<0.05		
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène	mg/kg MS	0.05	0.13	<0.05		
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg MS	0.05	0.13	<0.05		
Somme des HAP	**mg/kg MS**		**1.6**	**0.05**		
PCB						
PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002		
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002		
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002		
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002		
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002		
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002		
Somme des 6 PCB	**mg/kg MS**		**-/-**	**-/-**		
Somme des 6 PCB (x4,3)	**mg/kg MS**		**-/-**	**-/-**		
Fer (calc. Fe2O3)	mg/kg MS				33100	
Ca (calc. CaCO3)	mg/kg MS				90000	

WESSLING

Rapport no. ULS21-003486-1
Lyss, le 17.05.2021

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	E10-0-0.2 21-079668-05	E16-0-0.2 21-079668-06
Propriétés générales				
Solubilité dans l'eau	% mass MB	0.1		
Matière sèche	% mass MB	0.1	85	81
Préparation				
Lixiviat	MB			
Métaux, métaux lourds et autres éléments				
Chrome VI				
Chrome (VI)	mg/l E/L	0.005		
Chrome (VI)	mg/kg MS	0.05		
Métaux et autres éléments				
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	1	<1.0	7.3
Arsenic (As)	mg/kg MS	1		
Plomb (Pb)	mg/kg MS	1	47	350
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0.1		
Calcium (Ca)	mg/kg MS	1000		
Chrome (Cr)	mg/kg MS	1		
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	1		
Nickel (Ni)	mg/kg MS	1		
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0.05		
Zinc (Zn)	mg/kg MS	5		
Cations, anions et éléments non métalliques				
Fluorures (F)	mg/l E/L	0.1		
Nitrites (NO2)	mg/l E/L	0.005		
Ammonium (NH4)	mg/l E/L	0.01		
Azote ammoniacal (NH4-N)	mg/l E/L	0.0078		
cyanure (libre) (CN)	mg/l E/L	0.005		
Cyanures totaux (CN)	mg/kg MS	0.05		
Paramètres organiques globaux				
Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5		
Perte au feu (550°C)	% mass MS	1		
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	5000		
Hydrocarbures C10-C40	mg/kg MS	10		
Substances organiques volatiles				
Benzène	mg/kg MS	0.01		
Toluène	mg/kg MS	0.01		
Éthylbenzène	mg/kg MS	0.01		
m/p-Xylène	mg/kg MS	0.01		
o-Xylène	mg/kg MS	0.01		
Somme BTEX	**mg/kg MS**			
Dichlorométhane	mg/kg MS	0.01		
cis-1,2-Dichloroéthylène	mg/kg MS	0.01		
Trichlorométhane (chloroforme)	mg/kg MS	0.01		
1,1,1-Trichloroéthane	mg/kg MS	0.01		
Tétrachlorométhane	mg/kg MS	0.01		
Trichloroéthylène (tri)	mg/kg MS	0.01		
Tétrachloroéthylène (per)	mg/kg MS	0.01		
Somme HCC (OLED)	**mg/kg MS**			
Hydrocarbures aliphatiques C5-C10	mg/kg MS			

WESSLING

Rapport no. ULS21-003486-1
Lyss, le 17.05.2021

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	E10-0-0.2 21-079668-05	E16-0-0.2 21-079668-06
Substances organiques moyennement et peu volatiles				
HAP				
Naphtalène	mg/kg MS	0.05		
Acénaphtylène	mg/kg MS	0.05		
Acénaphtène	mg/kg MS	0.05		
Fluorène	mg/kg MS	0.05		
Phénanthrène	mg/kg MS	0.05		
Anthracène	mg/kg MS	0.05		
Fluoranthène	mg/kg MS	0.05		
Pyrène	mg/kg MS	0.05		
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	0.05		
Chrysène	mg/kg MS	0.05		
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	0.05		
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	0.05		
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	0.05		
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS	0.05		
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène	mg/kg MS	0.05		
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg MS	0.05		
Somme des HAP	**mg/kg MS**			
PCB				
PCB n° 28	mg/kg MS	0.002		
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002		
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002		
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002		
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002		
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002		
Somme des 6 PCB	**mg/kg MS**			
Somme des 6 PCB (x4,3)	**mg/kg MS**			
Fer (calc. Fe2O3)	mg/kg MS			
Ca (calc. CaCO3)	mg/kg MS			

Rapport no. ULS21-003486-1
Lyss, le 17.05.2021

Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	21-079668-01	21-079668-02	21-079668-03	21-079668-04	21-079668-05
Date de réception:	06.05.2021	06.05.2021	06.05.2021	06.05.2021	06.05.2021
Désignation	**F1-0.2-0.4**	**F2-0.5-1.0**	**F3-0.5-1.0**	**E6-0-0.2**	**E10-0-0.2**
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	04.05.2021	04.05.2021	04.05.2021	04.05.2021	04.05.2021
Début des analyses:	07.05.2021	07.05.2021	07.05.2021	07.05.2021	07.05.2021
Fin des analyses:	17.05.2021	17.05.2021	17.05.2021	17.05.2021	17.05.2021

Echantillon-n°	21-079668-06
Date de réception:	06.05.2021
Désignation	**E16-0-0.2**
Type d'échantillons:	Sol
Prélèvement:	04.05.2021
Début des analyses:	07.05.2021
Fin des analyses:	17.05.2021

Méthodes

Paramètres	**Norme**	**Laboratoire**
Lixiviation à l'eau	DIN 38414-4 (1984-10)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Chrome (VI)	DIN 38405 D24[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Chrome (VI) sur eau / lixiviat	DIN 38405 D24 (1987-05)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Minéralisation à l'eau régale	DIN ISO 11466 mod. (1997-06)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Métaux/Elements (ICP-OES/ICP-MS) sur matière solide	DIN EN ISO 11885 / DIN EN ISO 17294-2 (2009-09 / 2005-02)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Matières sèches	DIN ISO 11465 (1996-12)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)	DIN ISO 10694 mod.[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Carbone organique dissous (COD) sur eau/lixiviat	DIN EN 1484 (1997-08)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Cyanures totaux	DIN ISO 11262 (2012-04)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Perte au feu de la matière seche sur matière solide	DIN EN 12879 (2001-02)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Ammonium sur eau / lixiviat	DIN 38406 E5-1 (1983-10)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Cyanures aisément libérables sur eau / lixiviat	BAFU W-5[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Solubilité dans l'eau d'un solide	DIN 38409 H1 (1987-01)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Anions dissous dans l'eau/lixiviat	DIN EN ISO 10304 mod.[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
HAP (16)	ISO 18287 mod.[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Polychlorobiphényles (PCB)	ISO 10382 mod.[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Composés organiques volatils dans les solides	DIN EN ISO 22155 mod. (2013-05)[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)
Hydrocarbures C10-C40	DIN EN ISO 16703[A]	Laboratorien Lyss CH (CH)

A = procédé de mesure accrédité (ISO 17025)
MB = matière brute
MS = matière sèche
LQ = limite de quantification
E/L = eau / lixiviat
G = gaz
nd = non détecté

Rapport no. ULS21-003486-1
Lyss, le 17.05.2021

Commentaires

21-079668-01, 02
Commentaires des résultats:
VOC Feststoff TS (HS-GC-MS): L'échantillon a été livré dans un récipient inadéquat pour ce paramètre.

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

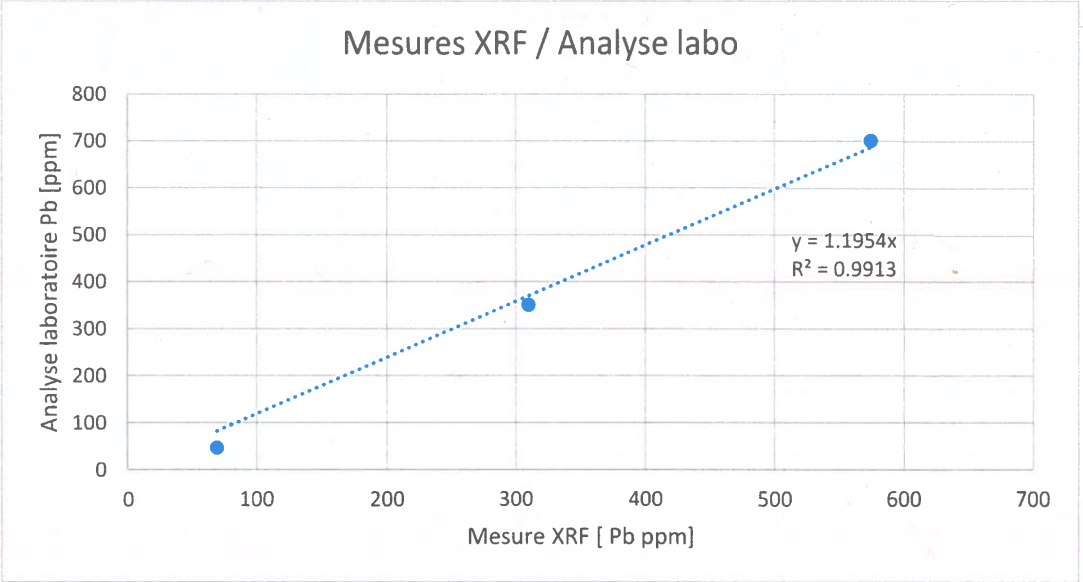
Ce document a été créé électroniquement et est également valable sans signature.
Heinrich Kalt
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING

Labornummer	Masse Gesamtprobe netto [kg OS]	Masse Bearbeitete Probe [kg TS]	Masse aussortierte Fragmente in bearbeiteter Probe [g]	Weitere Fremdkörper (ohne Fragmente) [g]
21-079668-04	1.97	0.86	3.5	0.1
21-079668-05	1.08	0.64	-	-
21-079668-06	1.07	0.60	0.4	0.2

Annexe D Interprétation des mesures de terrain

Corrélation des mesures XRF et des analyses laboratoire



Nom éch.	Profondeur	Mesure XRF	Plomb Pb		Antimoine Sb	Ratio Sb/Pb
			Analyse Labo	XRf corr.	Analyse Labo	
		[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
E6	0 - 0.2m	573	700	688	9.4	1%
E10	0 - 0.2m	69	47	83	<1	<2%
E16	0 - 0.2m	309	350	371	7.3	2%
Facteur de correction				1.20		

Echantillon			XRF mobile					Laboratoire	
n°	Profondeur	poids total	XRF *	XRF corr. **	Fragments / balles ***	Poid refus	Conc. totale****	n° échant. solide	Analyse Labo
	[m]	*[kg]*	*Pb [ppm]*	*Pb [ppm]*	*[g]*	*[kg]*	***Pb [ppm]***		
E1	0 - 0.2	1.148	205	246		0.404	**159**		
E1	0.2 - 0.4	0.697	135	162		0.22	**111**		
E2	0 - 0.2	1.273	32500	39000	67	0.277	**69987**		
E2	0.2 - 0.4	0.281	8103	9724	6	0.073	**23212**		
E6	0 - 0.2	2.593	573	688	7	0.621	**2548**	21-079668-04	700
E6	0.2 - 0.4	1.842	3633	4360	4	0.775	**4154**		
E7	0 - 0.2	1.609	3098	3717	72	0.377	**36408**		
E7	0.2 - 0.4	1.864	2149	2579	29	0.643	**13358**		
E8	0 - 0.2	2.079	209	251		0.533	**187**		
E8	0.2 - 0.4	0.598	190	228		0.204	**150**		
E9	0 - 0.2	2.493	194	233	7	0.672	**2276**		
E9	0.2 - 0.4	0.563	354	425		0.104	**346**		
E10	0 - 0.2	1.807	69	83		0.745	**49**	21-079668-05	47
E10	0.2 - 0.4	0.45	74	89		0.215	**47**		
E11	0 - 0.2	2.058	64	77		0.941	**42**		
E11	0.2 - 0.4	0.396	193	232		0.19	**120**		
E12	0 - 0.2	1.22	227	273	13	0.086	**8245**		
E12	0.2 - 0.4	0.635	179	215	7	0.085	**8454**		
E13	0 - 0.2	1.948	54	65		0.734	**41**		
E13	0.2 - 0.4	0.79	59	71		0.277	**46**		
E15	0 - 0.2	1.228	250	300	6	0.442	**3856**		
E15	0.2 - 0.4	0.483	246	295		0.146	**206**		
E16	0 - 0.2	1.44	309	371		0.365	**277**	21-079668-06	350
E16	0.2 - 0.4	0.938	294	352	9	0.311	**7432**		
E17	0 - 0.2	0.933	212	254		0.236	**190**		
E17	0.2 - 0.4	0.443	273	327		0.157	**211**		
Mesures XRF dans les fouilles									
F1	0.2		1230	1476	oui		> 2000		
F1	0.4		175	210	non		210		
F1	0.6		120	144	non		144		
F2	0.3		104	125	non		125		
F2	0.5		58	70	non		70		
F3	0 - 0.5		151	181	non		181		
Flash XRF dans la butte									
a	0 - 0.2		300	359	oui		> 1000		
b	0 - 0.2		6767	8120	oui		> 1000		
c	0 - 0.2		567	680	oui		> 1000		
d	0 - 0.2		215	258	oui		> 1000		
e	0 - 0.2		25	30	non		30		
f	0 - 0.2		68	81	oui		> 1000		
g	0 - 0.2		78	93	oui		> 1000		
h	0 - 0.2		43	51	oui		> 1000		
i	0 - 0.2		97	116	oui		> 1000		
j	0 - 0.2		236	283	non		283		
h	0 - 0.2		88	106	non		106		

Facteur de correction 1.20

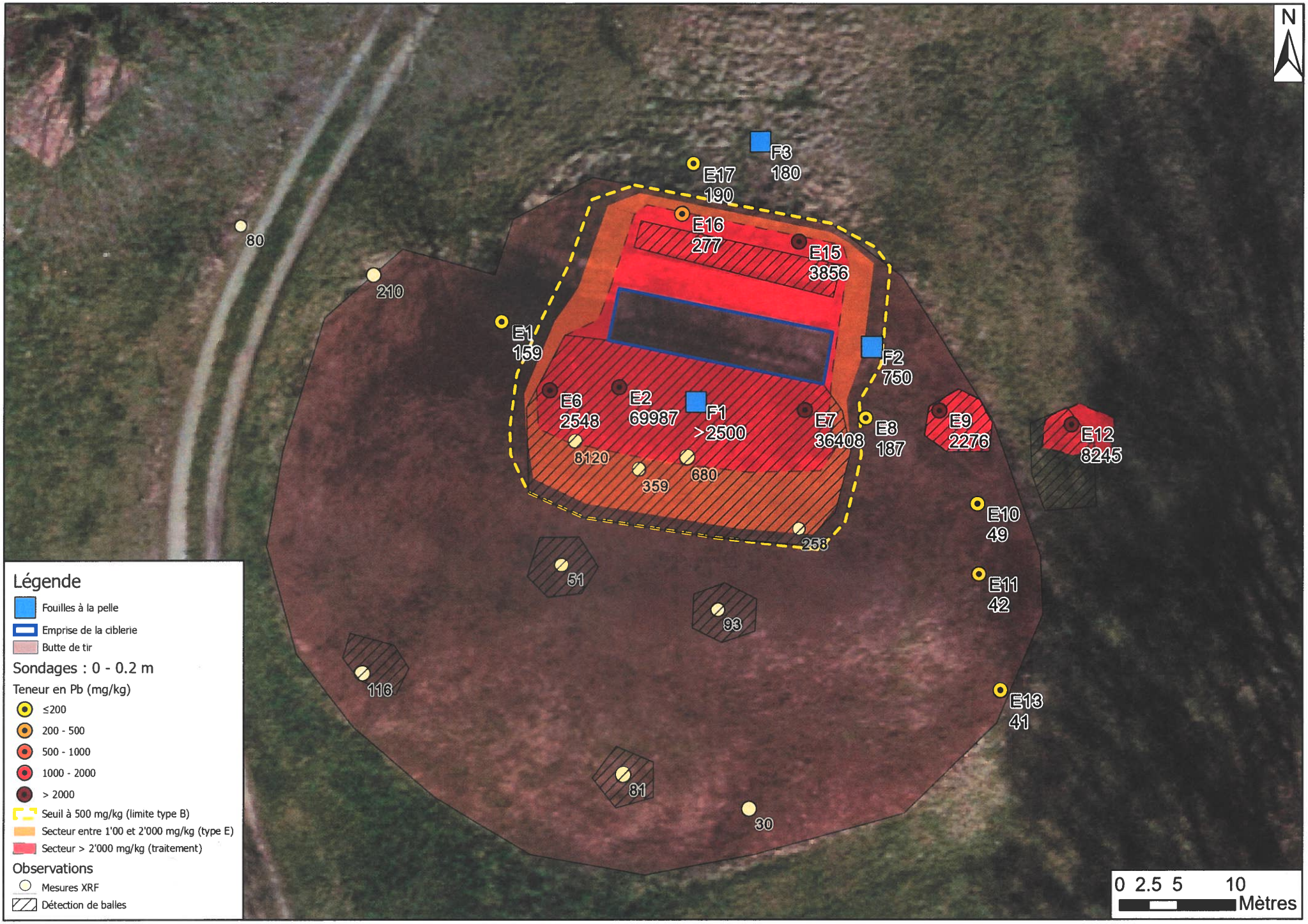
* Moyenne sur 5 mesures

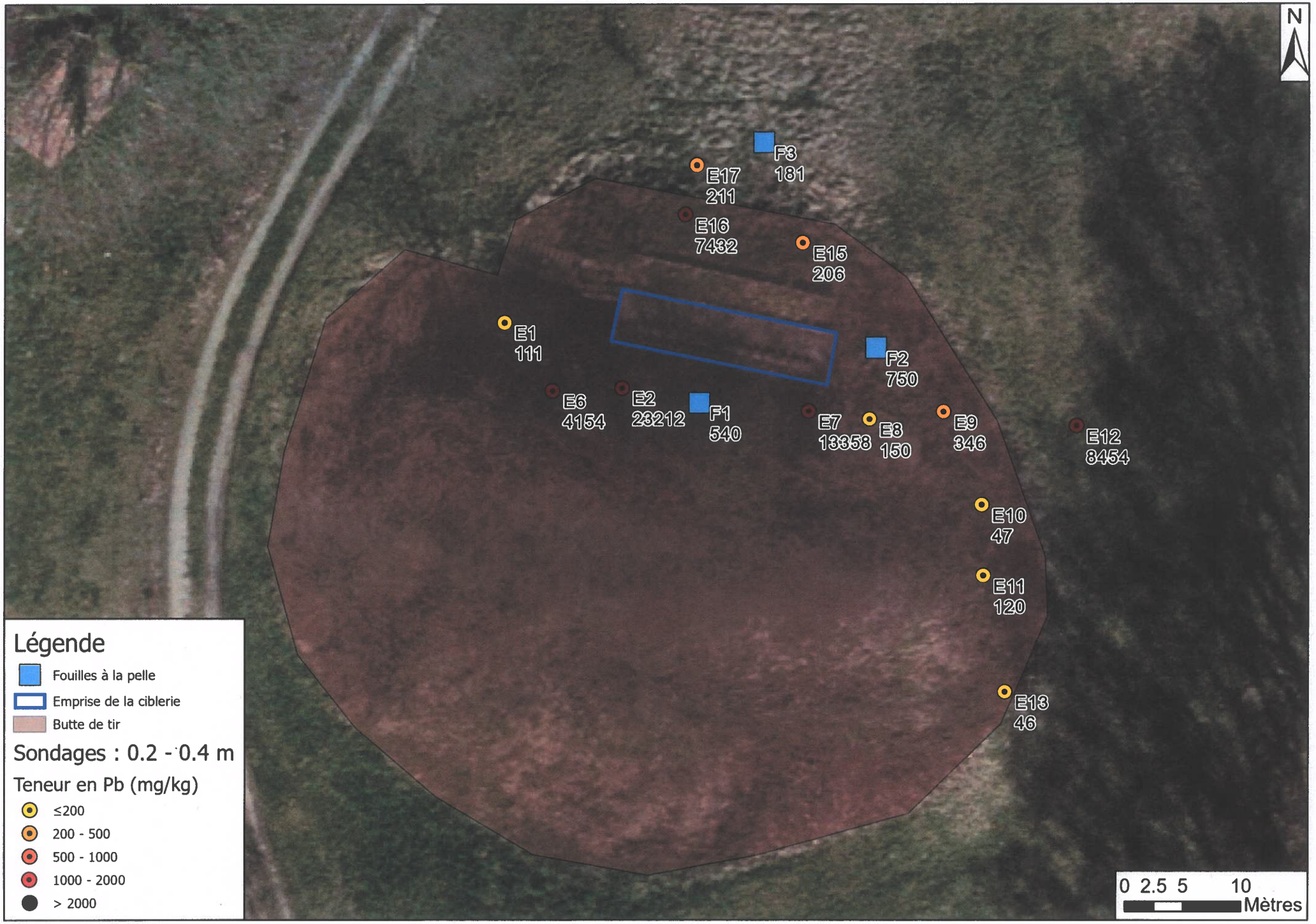
** Correction par corrélation avec analyses laboratoire

*** contenant 75% Pb

**** Somme XRF corrigé et conc. Pb des projectiles

Annexe E Cartes de la pollution en plomb des sols (0 à 0.2 m et 0.2 à 0.4 m de profondeur)


N
F3
180
E17
190
E16
277
E15
3856
80
210
E1
159
F2
750
E6
2548
E2
69987
F1
>2500
E7
36408
E8
187
E9
2276
E12
8245
8120
359
680
E10
49
258
51
E11
42
93
116
E13
41
81
30
Légende
Fouilles à la pelle
Emprise de la ciblerie
Butte de tir
Sondages : 0 - 0.2 m
Teneur en Pb (mg/kg)
≤200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
> 2000
Seuil à 500 mg/kg (limite type B)
Secteur entre 1'00 et 2'000 mg/kg (type E)
Secteur > 2'000 mg/kg (traitement)
Observations
Mesures XRF
Détection de balles
0 2.5 5 10
Mètres


N
F3
181
E17
211
E16
7432
E15
206
E1
111
F2
750
E6
4154
E2
23212
F1
540
E7
13358
E8
150
E9
346
E12
8454
E10
47
E11
120
E13
46
Légende
Fouilles à la pelle
Emprise de la ciblerie
Butte de tir
Sondages : 0.2 - 0.4 m
Teneur en Pb (mg/kg)
≤200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
> 2000
0 2.5 5 10
Mètres