



Concept pour l'analyse de l'eau et des sédiments du lac de Neuchâtel afin d'évaluer le danger potentiel des résidus de munitions du champ de tir aérien de Forel, NE

Marc Stauffer, OFPP Laboratoire de Spiez
Sandie Pasche / Jörg Mathieu, armasuisse S+T

Thoune, le 24 février 2021

1 But

L'estimation du danger potentiel provenant des résidus de munitions du champ de tir aérien de "Forel". Ce but sera atteint par l'échantillonnage des eaux et des sédiments et ensuite par la suite l'analyse de la teneur totale en explosifs et la teneur totale et dissoute en métaux lourds de ces échantillons. Les spécifications du concept d'analyse ainsi que l'évaluation et l'appréciation des résultats doivent être effectuées avec la participation des organismes nationaux et cantonaux compétents, de Pro Natura et de l'Association de la Grande Carîçaie.

2 Organisation

Concernés: SG-DDPS T+E, ar S+T, OFPP LS, ar immo, Centre de compétences NBC-DEMUNEX de l'armée, OFEV, canton FR, canton NE, canton VD, Forces aériennes DDPS, Pro Natura Suisse, association de la Grande Carîçaie

3 Détermination du potentiel de pollution

Le potentiel de pollution est déterminé grâce à une matrice des matériaux contenus dans les résidus de munitions du champ de tir des Forces aériennes de Forel. Cette matrice est élaborée à partir de la documentation technique des munitions d'armasuisse et de l'investigation historique 2004¹ commandée par ar S+T. Pour évaluer les quantités de matériaux, nous nous baserons sur le rapport d'investigation historique, sur une recherche de littérature faite actuellement par le centre de compétences NBC-DEMUNEX de l'armée et sur des échanges de mails avec les Forces aériennes du DDPS (délais: fin mars 2021).

4 Échantillonnage de l'eau

4.1 Échantillons d'eau dans la zone du champ de tir de l'armée de l'air à Forel

Prise de sept échantillons individuels d'eau dans la zone du champ de tir aérien de Forel (délimitée par un rectangle gris sur fig.1), ainsi qu'un échantillon d'eau respectivement dans la zone des anciennes cibles utilisées de 1927 à 1928 et dans la zone des anciennes cibles utilisées entre 1928-1929.

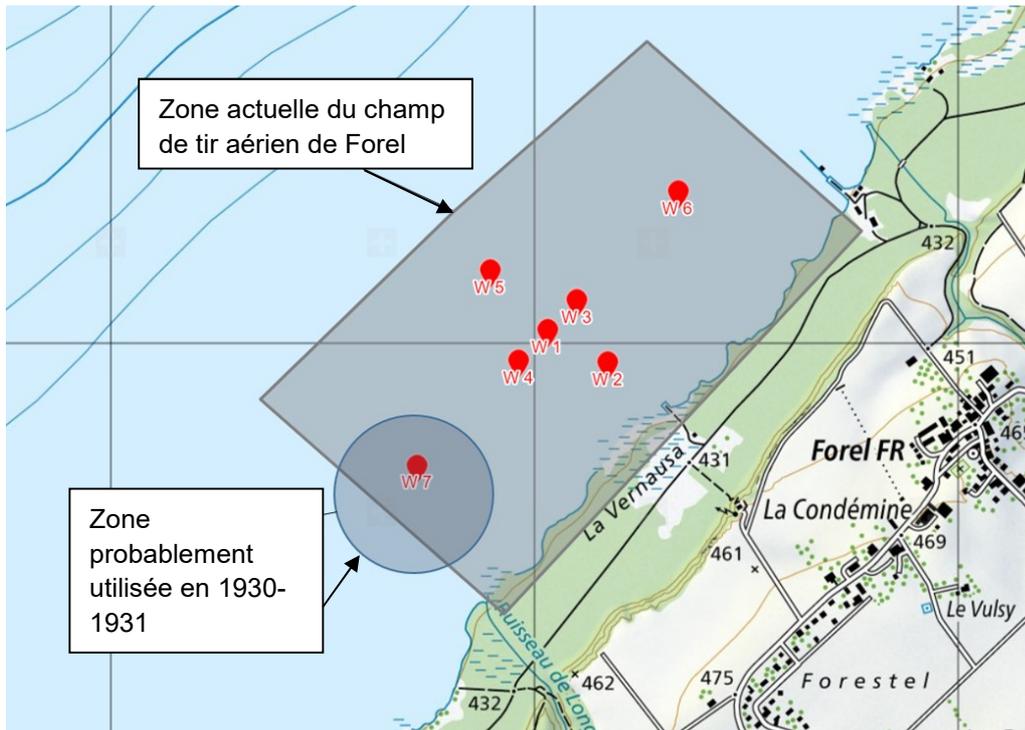


Figure 1: Positions des points d'échantillonnage de l'eau dans les zones concernées

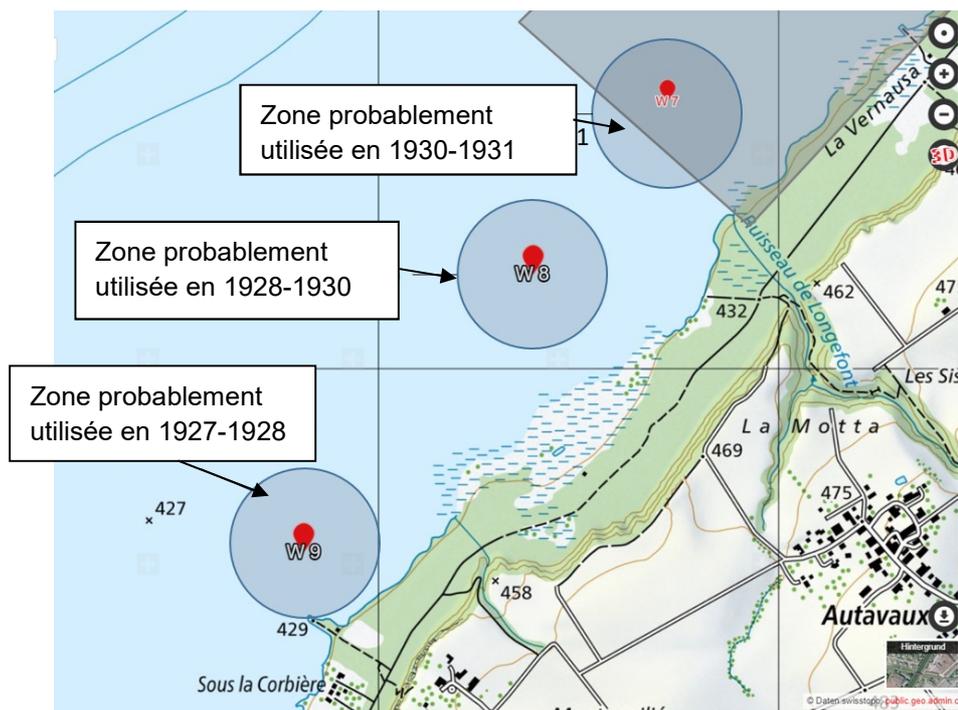


Figure 2: Positions des échantillons d'eau dans les anciennes zones cibles 1927-1928 et 1928-1930

Désignation	Description	Coordonnées
W 1	Zone centrale entre les deux anciennes cibles aériennes bétonnées	557'028, 191'987
W 2	À côté des cibles utilisées actuellement	557'171, 191'910
W 3	100 m NE du centre	557'097, 192'058
W 4	100 m SO du centre	556'960, 191'913
W 5	200 m NO du centre	556'892, 192'129
W 6	450 m NE du centre	557'336, 192'315
W 7	450 m SO du centre (se trouve également dans la zone probablement utilisée entre 1930-1931)	556'721, 191'658
W 8	Zone des cibles présumée de 1928-1930	556'384, 191'234
W 9	Zone des cibles présumée de 1927-1928	555'811, 190'537

Tableau 1: Coordonnées des positions d'échantillonnage de l'eau dans la zone du champ de tir des Forces aériennes de Forel actuel et ancienne.

Lors de l'échantillonnage, il faut également déterminer les paramètres de qualité physico-chimique des eaux suivants: température, conductivité électrique (T_{ref} : 25°C) et valeur du pH.

4.2 Échantillons de référence pour les échantillons d'eau: au large de "Font" et à "Portalban" en eau peu profonde

Un échantillon d'eau est prélevé à 6,1 km en aval de la zone de Forel (délimitée par un rectangle orange sur la fig. 3), à Portalban et à 6,6 km en amont de la zone de Forel, au large du lieu-dit Font. Les deux sites sont comparables aux sites d'échantillonnage de la zone des cibles de Forel (chap. 4.1) en termes de localisation et de configuration (profondeur de l'eau, distance du rivage, conditions de courant, etc.)

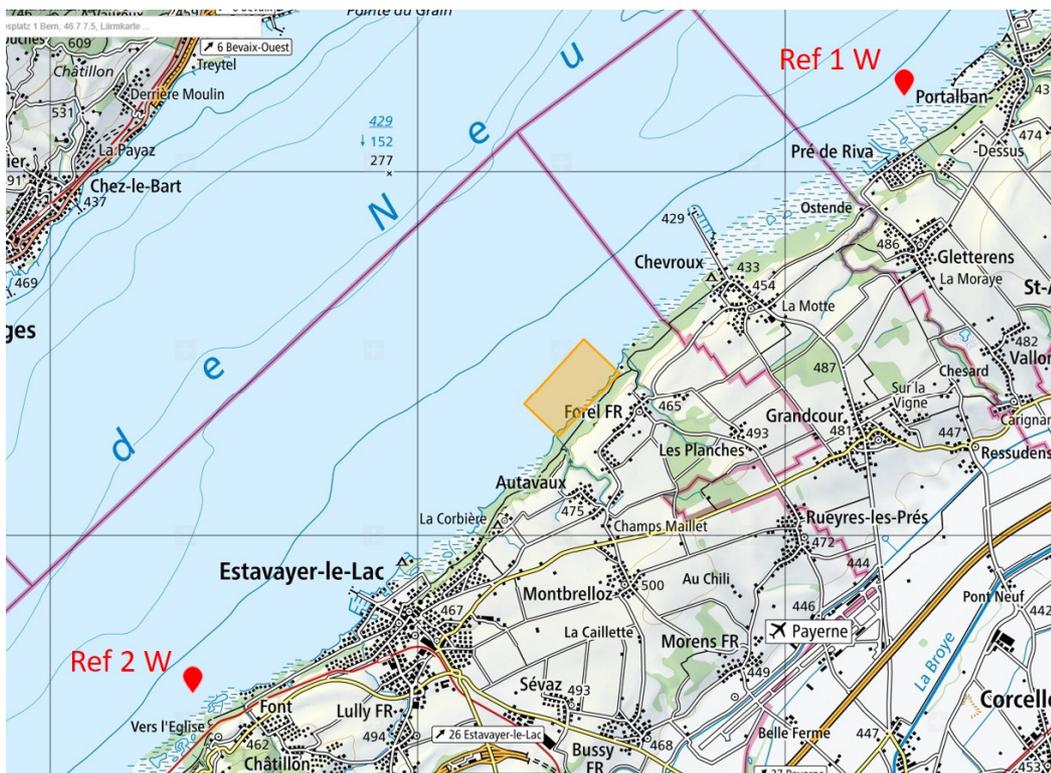


Figure 3: Sites d'échantillonnage pour les échantillons d'eau de références en eaux peu profondes (Ref 1 W et Ref 2 W) ainsi que la zone restreinte de Forel (rectangle orange)

Désignation	Coordonnées
Ref 1 W	561'615, 196'028
Ref 2 W	551'930, 187'827

Tableau 2 Coordonnées des positions d'échantillonnage d'eau des points Ref 1 et Ref 2

Lors de l'échantillonnage, il faut également déterminer les paramètres de qualité physico-chimique des eaux suivants: température, conductivité électrique (T_{ref} : 25°C) et valeur du pH.

5 Échantillonnage des sédiments

5.1 Échantillons de sédiments dans la zone "hotspot" de Forel

Collecte d'échantillons composites primaires, en trois exemplaires, dans la totalité de la zone à risque "hotspot" de la place de tir de Forel (en gris foncé sur la fig. 4) déterminée à partir de la campagne d'investigation au magnomètre de 2014². Chaque échantillon composite primaire se compose de six échantillons incréments uniformément répartis dans les différentes sous-zones de collecte correspondantes (c.-à-d. les six carrés constituant le rectangle gris foncé "hotspot" de la fig. 4 et 5). Les six échantillons incréments sont prélevés uniformément sur l'ensemble de la zone "hotspot". La figure 5 montre en détail la répartition des zones d'échantillonnage sélectionnées. Les six échantillons sont assemblés sur place, pour donner un échantillon composite primaire. Le point où l'on récolte le premier échantillon incrément est choisi au hasard dans les limites de sa sous-zone. Pour chaque échantillon primaire, l'on garde par la suite le même point au sein de chaque sous-zone d'échantillonnage (avec comme référentiel son propre centre). La procédure est effectuée trois fois, ce qui donne trois exemplaires d'échantillons composites primaires. Chaque échantillon composite primaire est rattaché à l'ensemble de la zone "hotspot" de Forel. La zone d'échantillonnage totale est de 462 m de long et 270 m de large. Les différentes sous-zones ont la dimension de 154 m de longueur et 135 m de largeur.

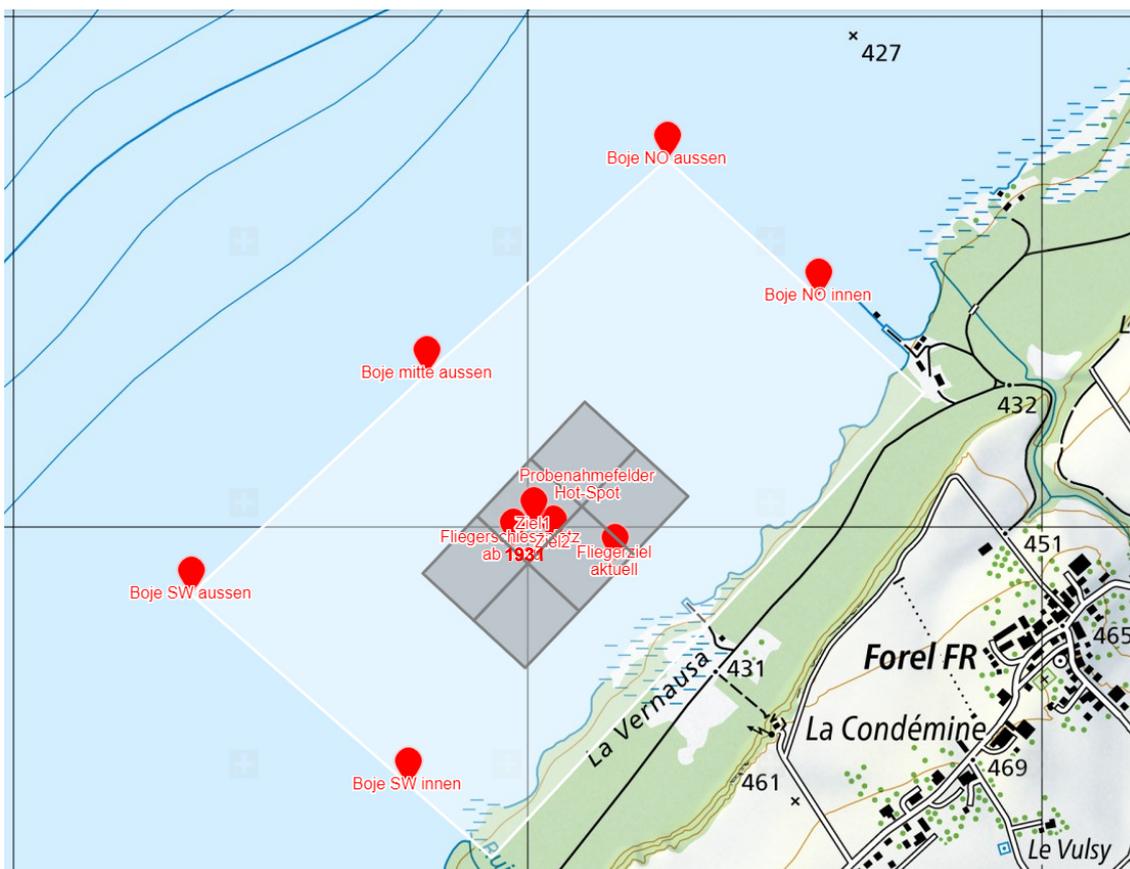


Figure 4: Zones d'échantillonnage "hotspot" (rectangle gris foncée, constitué de six sous-zones) dans la zone de tir, au large de Forel, où sont récoltés les six échantillons incréments afin de constitués un échantillon primaire.

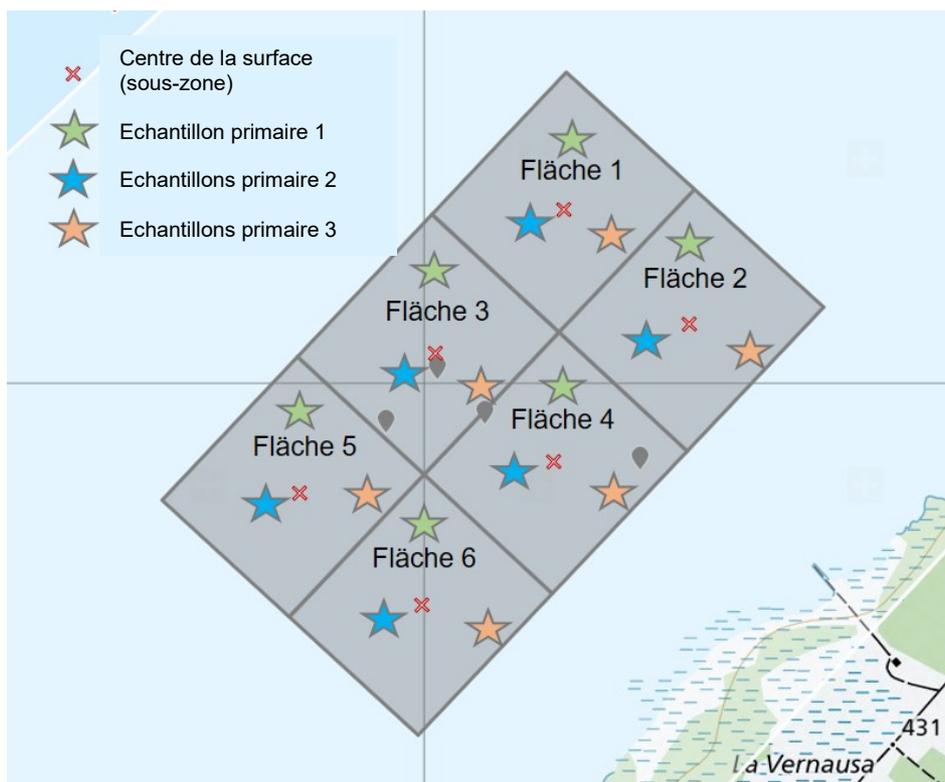


Figure 5: Subdivision en sous-zones de la zone d'échantillonnage des sédiments du fond du lac sur la zone "hotspot" de Forel

Désignation	Coordonnées
Zone hotspot 1 (Fläche 1) 154x136m	Coins [Nord/Est/Sud/Ouest]: 557'111,192'244 / 557'211,192'152 / 557'105,192'039 / 557'006,192'132 Centre: 557'109,1'192'141
Zone hotspot 2 (Fläche 2) 154x136m	Coins [Nord/Est/Sud/Ouest]: 557'211,192'152 / 557'312,192'059 / 557'205,191'946 / 557'105,192'039 Centre: 557'208,192'049
Zone hotspot 3 (Fläche 3) 154x136m	Coins [Nord/Est/Sud/Ouest]: 557'006,192'132 / 557'105,192'039 / 557'000,191'928 / 556'902,192'020 Centre: 557'003,192'030
Zone hotspot 4 (Fläche 4) 154x136m	Coins [Nord/Est/Sud/Ouest]: 557'105,192'039 / 557'205,191'946 / 557'100,191'834 / 557'000,191'928 Centre: 557'102,191'937
Zone hotspot 5 (Fläche 5) 154x136m	Coins [Nord/Est/Sud/Ouest]: 556'902,192'020 / 557'000,191'928 / 556'895,191'816 / 556'796,191'908 Centre: 556'899,191'917
Zone hotspot 6 (Fläche 6) 154x136m	Coins [Nord/Est/Sud/Ouest]: 557'000,191'928 / 557'100,191'834 / 556'995,191'723 / 556'895,191'816 Centre: 556'998,191'824

Tableau 3: Coordonnées des zones d'échantillonnage 1-6 dans la zone hotspot de Forel

5.2 Échantillons de sédiments provenant des anciennes zones cibles 1927-1928, 1928-1930 et 1930-1931

Prélèvement d'un échantillon composite dans chacune des anciennes zones cibles 1927-1928, 1928-1930 et 1930-1931. Chaque échantillon composite est constitué de quatre prélèvements de sédiments. Un prélèvement au centre d'un triangle équilatéral et trois autres prélèvements de sédiments provenant de chaque sommet de ce même triangle équilatéral (les dimensions du triangle équilatéral sont tel qu'il est compris dans un cercle de 100 m rayon).

Il est prévu que l'ETH Zurich effectue un relevé magnétométrique par drone à la surface des eaux peu profondes des anciennes zones cibles avant de procéder à l'échantillonnage. Si des hotspots sont clairement localisés, un ajustement des positions d'échantillonnage correspondantes est prévu et tout changement positionnement sera documenté dans le concept d'échantillonnage.

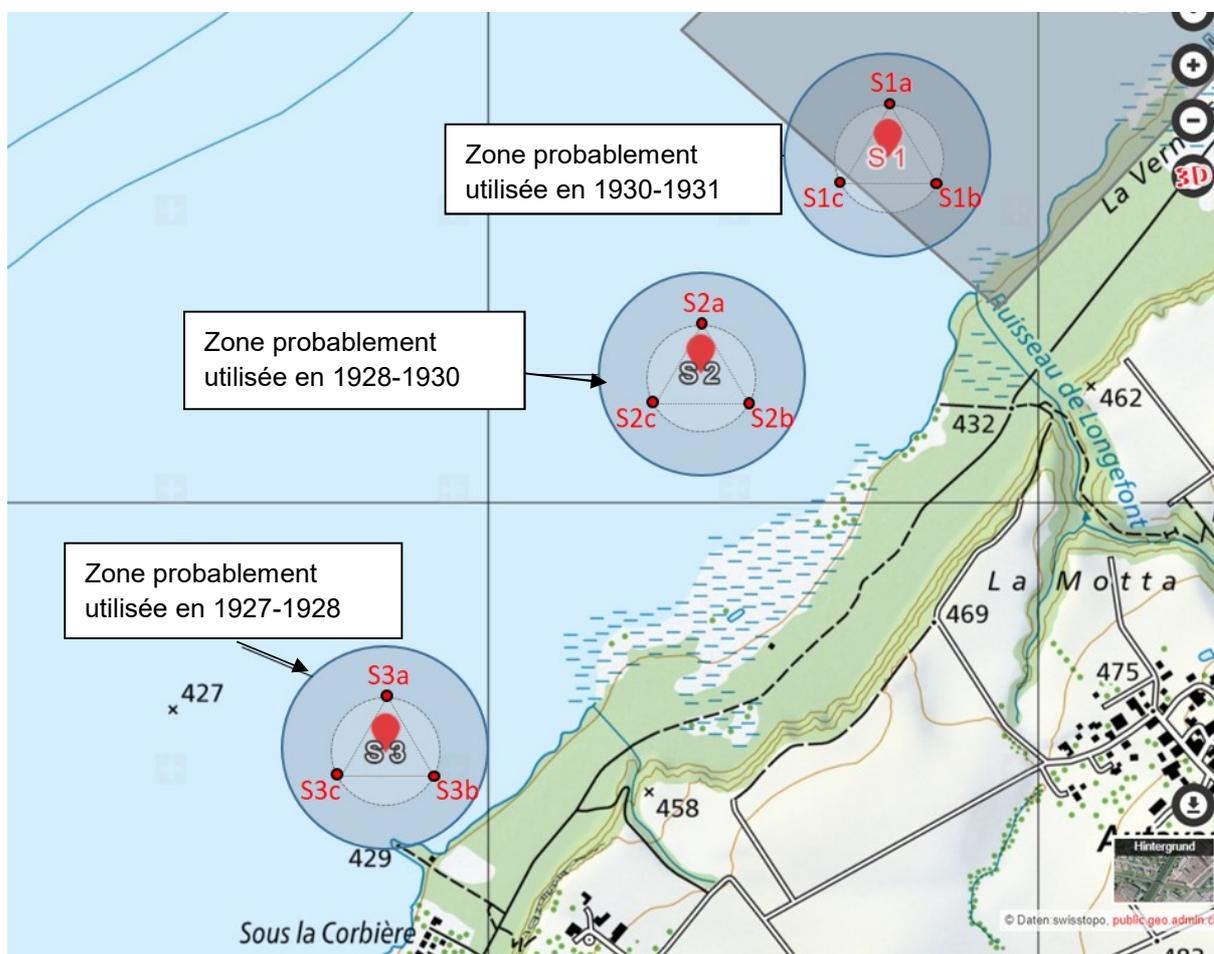


Figure 6: Positions des échantillonnages sédiments dans différentes zones de cibles anciennement utilisées

Désignation	Coordonnées
Cibles S1 1930-1931	Centre: 556'724,191'628 S1a: 556'724,191'731 / S1b: 556'812,191'583 / S1c: 556'636,191'583
Cibles S2 1928-1930	Centre: 556'384,191'234 S2a: 556'384,191'333 / S2b: 556'477,191'176 / S2c: 556'296,191'176
Cibles S3 1927-1928	Centre: 555'811,190'537 S3a: 555'811,190'638 / S3b: 555'898,190'488 / S3c: 555'725,190'488

Tableau 4: Coordonnées des positions des échantillonnages de sédiments dans les anciennes zones de cibles 1927-1928, 1928-1930 et 1930-1931

5.3 Échantillons de référence pour l'échantillonnage des sédiments au large de "Font" et à "Portalban" en eaux peu profondes

Il est prévu de prélever trois carottes de sédiments à 6,1 km en aval de la zone hotspot de Forel, à Portalban et trois autres à 6,6 km en amont de la zone hotspot de Forel, au large de Font, à la même position géographique que pour les échantillons de référence de l'eau (chap. 4.2, voir fig. 3).

Trois échantillons individuels seront récoltés par site de référence, dans une petite zone (par exemple un triangle équilatéral de 10 m de côté) qui sont ensuite combinés pour former un échantillon composite.

Désignation	Coordonnées
Réf 1 S	561'615, 196'028
Réf 2 S	551'930, 187'827

Tableau 5 Coordonnées des échantillons de référence pour l'échantillonnage des sédiments.

6 Type d'échantillons et technique d'échantillonnage

6.1 Échantillonnage de l'eau

Prise des échantillons d'eau par les plongeurs à une profondeur d'environ 0,2 m au-dessus du fond. Le positionnement s'effectue par GPS directement depuis le bateau et l'on enregistre les positions exactes des points d'échantillonnage.

6.2 Échantillonnage des sédiments

Pour estimer la profondeur de pénétration/couverture sédimentaire maximale au-dessus des munitions ainsi que la consistance et la densité/taille des grains des sédiments, des tests d'échantillonnage préliminaires ont été effectués par les plongeurs Kdo KAMIR à Forel le 26.11.2020. Pour ce faire, des tests de sondage (tests de résistance à la pénétration) ont été

effectués avec des tubes en plastique dur (\varnothing intérieur 53 mm, épaisseur de la paroi 3,5 mm) ainsi qu'avec une sonde (tige pointue) en aluminium (\varnothing 10 mm).

Dans le secteur principal, la profondeur de pénétration possible des tubes en plastique était de 60 cm. Cependant, plus près du rivage (test dans la zone 4, figure 5) la couverture sédimentaire devient de plus en plus compact et la profondeur de pénétration avec le tube en plastique n'était ici que de 5 cm. Afin d'atteindre une plus grande profondeur lors de l'échantillonnage, un "foret à couronne" (Kronenbohrer) métallique d'un diamètre intérieur d'environ 10 cm est en cours de production à ar W+T.

Lors de l'échantillonnage, les échantillons devraient alors toujours être prélevés à la même profondeur si possible dans chaque zone concernée (marquage sur le tuyau). Dans la mesure du possible, les échantillons doivent être prélevés avec un tuyau en plastique de 53 mm de diamètre intérieur et, dans le cas de sédiments plus solides, au moyen d'un "foret couronne" (\varnothing intérieur environ 100 mm).

Lors de l'échantillonnage, le prélèvement des carottes de sédiments s'effectue aux endroits/zones prédéfinis par les plongeurs. Le positionnement par GPS se fait depuis le bateau et l'on enregistre en temps réel les positions d'échantillonnage.

7 Programme de préparation et d'analyse des échantillons

Le but des analyses de sédiments est d'estimer le potentiel de libération des substances polluantes. Par conséquent, les échantillons peuvent être examinés sans faire de distinction entre la partie supérieure et inférieure des carottes. L'évaluation de la nécessité d'assainir ou de prendre des mesures est exécutée conformément à l'ordonnance sur les sites contaminés. Pour l'évaluation des charges polluantes dans les eaux, on applique les valeurs limites prévues par l'ordonnance sur la protection des eaux.

7.1 Procédure d'échantillonnage des sédiments sur site

- Après le prélèvement, chaque carotte de sédiments doit être contrôlée au moyen d'un détecteur de métaux pour détecter d'éventuels parties de munition de petites tailles. Si un objet potentiellement dangereux est présent dans l'échantillon, celui-ci est rejeté et un nouvel échantillon est prélevé. L'échantillon est photographié dans la mesure du possible.
- Les carottes de sédiments composant les six incréments sont déjà mélangées et pesées sur place pour former l'échantillon primaire correspondant. Lors de la préparation de l'échantillon, le poids des corps étrangers grossiers est documenté. Ceux-ci doivent éventuellement être triés (pierres, bois, pièces métalliques). La procédure à cet égard va également être discutée avec Bachema AG.

Les analyses permettent de déterminer la teneur totale en polluants des échantillons mélangés (sédiment + eau interstitielle). Le laboratoire de Spiez s'enquière auprès de Bachema AG sur quel type de récipients sont nécessaires pour l'échantillonnage (spécifique aux analyses des explosifs).

7.2 Réalisation des analyses

- Teneur totale en explosifs selon le programme "explosifs" de **Bachema AG, Schlieren** dans les échantillons d'eau et de sédiments (paramètres voir annexe 1). En plus de cela, on mesure le carbone organique total (TOC) dans les échantillons de sédiments. Bachema AG est accrédité selon la norme ISO/IEC 17025 (STS 0064).
- Teneurs totales en métaux lourds, Hg, W, Bi inclus par **le laboratoire de Spiez** dans les échantillons d'eau et de sédiments. On détermine également le taux des métaux dissous dans les échantillons d'eau (paramètres voir annexe 1). Labor Spiez est accrédité selon la norme ISO/IEC 17025 et pour l'échantillonnage selon (STS 0028).

7.3 Analyse des erreurs d'échantillonnage des sédiments

Erreur à calculer après l'investigation (représentativité statistique) :

- La valeur de la dispersion de l'investigation peut être déterminée par l'écart-type relatif des trois échantillons primaires composites de la zone hotspot. Comme on peut le supposer, la nature des sédiments dans les trois zones investiguées est similaire, cette valeur de dispersion peut également être utilisée sur les autres zones (par analogie). En outre, les deux autres zones tendent à être moins polluées et donc moins susceptibles aux erreurs d'échantillonnage, ce qui appuie également la supposition qui précède.

Erreur à estimer avant l'enquête (représentativité probabiliste) :

- l'erreur d'échantillonnage (sampling error, SE) est composée de l'erreur fondamentale (fundamental error, FE) et de l'erreur de groupement et de séparation (GSE)
- L'erreur fondamentale (FE) diminue avec la décroissance du diamètre des grains et l'augmentation de la masse de l'échantillon selon l'équation $FE = \sqrt{\frac{20 \cdot d^3}{m}}$; d = la plus grande taille de grain attendue (diamètre), m = la masse de l'échantillon incrément
- l'erreur de regroupement et de séparation (GSE) diminue avec un nombre croissant d'incrément, une distribution systématique des incréments et consistance de la méthode de prélèvement (garder toujours les mêmes outils de prélèvement et être constant dans la manière de les utiliser). Elle peut être réduite jusqu'à la valeur de l'erreur fondamentale (FE). Dans ce cas, l'erreur de groupement et de séparation (GSE) correspond à l'erreur fondamentale (FE).
- le nombre d'incrément est limité par des restrictions pratiques lors de l'échantillonnage. Il reste à savoir si six incréments par échantillon primaire est un nombre réellement suffisant. Cependant, d'après notre hypothèse d'exposition (charge de polluant faible), il est peu probable que l'on puisse s'attendre à une grande hétérogénéité sur le long terme.
- L'erreur d'échantillonnage (sampling error, SE) de l'échantillonnage prévu dans la zone hotspot est $FE + GSE = 2 \times FE$. Avec une estimation prudente de 2 % de FE, on arrive à une erreur d'échantillonnage (SE) de 4 %. L'erreur des méthodes d'analyse de laboratoire est supposée de 10%, cela correspondrait à une dispersion de l'ensemble de l'investigation d'environ 11% (1σ).

La dispersion devrait rester dans des valeurs correctes pour cette étape de l'investigation. En outre, la dispersion observable ("réelle") peut être estimée mathématiquement après l'analyse de l'échantillon triple (l'échantillon primaire composite pris à trois reprises).

Le calcul de l'erreur ci-dessus est basé sur les principes suivants :

- EURACHEM / CITAC Guide "Measurement uncertainty arising from sampling", 2019
- Pierre Gys Sampling Theory and Sampling Practice by Francis Pitard, 1993

8 Date de l'échantillonnage

Les résidus de munitions de Forel se trouvent dans des eaux peu profondes, la plupart du temps à moins de 3 m de profondeur. Le mélange des eaux de surface ainsi que l'agitation des sédiments sont deux phénomènes ici dominés principalement par les vents et courants dus aux conditions météorologiques locales. Toutefois, cela n'a pas d'impact sur les prélèvements d'échantillons de sédiments sans analyse séparée de l'eau surnageante. Par contre pour l'échantillonnage de l'eau, la campagne doit avoir lieu pendant une période de temps calme.

Il est actuellement prévu de procéder à l'échantillonnage du 29 au 31 mars 2021.

9 Procédure d'échantillonnage

9.1 Participants :

ar S+T, Laboratoire de Spiez, Centre de compétences NBC-DEMUNEX de l'armée, ar immo CCOM Sol, SG-DDPS R+U et la possibilité pour l'OFEV de participer, cantons, Forces aériennes DDPS, Pro Natura Suisse, Association de la Grande Carrière, représentants des médias

9.2 Durée

- Échantillonnage: 2-3 jours
- Analyses: le rapport d'analyses est en général disponible environ 4 semaines après l'échantillonnage
- Ebauche du rapport final: 1,5 mois (après la réception du rapport d'analyse)

9.3 Récipient pour le prélèvement d'échantillons

- Le laboratoire de Spiez fournit des récipients d'échantillonnage appropriés pour toutes les analyses.
- Les tubes en plastique nécessaires pour l'échantillonnage des carottes de sédiments sont fournis par ar S+T.

10 Coûts

Échantillons d'eau

Analyse des explosifs Bachema	11 échantillons à env. Fr. 350.- par échantillon	3'850.-
Analyse des métaux lourds Labor Spiez	11 échantillons (sans frais)	-

Échantillons de sédiments

Analyse des explosifs Bachema y.c. TOC	12 échantillons à env. Fr. 470.- par échantillon + Fr. 50.- par pour la préparation*	6'240.-
Analyse des métaux lourds Labor Spiez	12 échantillons (sans frais)	-

* Fr. 10 supplémentaires par kg d'échantillon si l'échantillon pèse plus de 1,5 kg. A partir de 3 échantillons, 10% de réduction. A partir de 10 échantillons 15% de réduction

Bateau de travail et matériel

Bateau	Génie/Sauvetage ou LBA sur place (sans frais)	-
Tubes de prélèvement avec embouts	6 pièces à env. Fr. 80.-	480.-

Total des coûts d'échantillonnage et d'analyse Fr. 10'570.-

11 Évaluation des résultats et activités de suivi éventuelles après investigation

Le projet de rapport final doit être coordonné conjointement par les experts concernés de l'OFEV, des cantons et du DDPS en qui concerne le choix des valeurs limites applicables à l'évaluation et l'interprétation des résultats. Par exemple, les critères de l'ordonnance sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPDB) pour les valeurs pertinentes pourraient être inclus dans l'évaluation. Cependant, comme l'approvisionnement en eau potable le plus proche est situé loin du site d'échantillonnage, il convient de tenir compte de ce point pour l'interprétation.

En fonction des résultats des analyses, il convient d'envisager les étapes suivantes :

- Utilisation de méthode de bio-monitoring (moules) et/ou d'échantillonneurs passifs (passive samplers). Il est actuellement prévu que l'Université de Genève procède à un échantillonnage supplémentaire des moules et des sédiments au cours de cette campagne, suivi d'analyses pour détecter d'éventuels polluants.
- Clarification du statut actuel du cahier des charges spécifiques concernant les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sédiments au Centre d'écotoxicologie de Zurich et/ou Lausanne (Centre Ecotox)

- Comparaison avec les expertises connues sur les eaux des lacs par les cantons, l'OFEV et éventuellement les fournisseurs d'eau.
- Préciser, avec les cantons, si des méthodes d'analyse des sédiments sont déjà disponibles à l'EAWAG ou dans des instituts de recherche similaires.
- Évaluation des résultats par les experts concernés, en tenant compte de la pollution de fond existante.

Thoune, le 24.02.2021

Marc Stauffer
Chef Radiochimie / Analyse
inorganique
FB Nuklearchemie

Jörg Mathieu
Spécialiste matières
explosives

Sandie Pasche
Cheffe de projet
scientifique I

OFPP
Laboratoire de Spiez

FB Explosivstoffe und Munitionsüberwachung
armasuisse
sciences et technologie

Annexe 1

Paramètres d'analyse et limites analytiques de quantification

Laboratoire	Objet du test	Paramètre	LD, Liquide	LD, Solide
Bachema AG	Eau, sédiments y c. l'eau interstitielle*	1,3-Dinitrobenzol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		1,3,5-Trinitrobenzol	0.1 µg/l	5 µg/kg
		2,4-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	0.1 µg/l	2-5 µg/kg
		2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		Tetryl	0.1 µg/l	5-50 µg/gk
		Hexogène (RDX)	0.1 µg/l	5-10 µg/kg
		Octogène (HMX)	0.1 µg/l	20-50 µg/kg
		PETN	0.1 µg/l	1 µg/kg
		Nitroglycerine	0.1 µg/l	1 µg/kg
		Diphenylamine	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		N-Nitrosodiphenylamine	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
Carbone organique total (TOC)	-	0.1% du matière sèche		
Labor Spiez	Eau (<i>Teneurs totales et taux des métaux dissous</i>), sédiments y c. l'eau interstitielle	Chrome	0.1 µg/l	0.14 mg/kg
		Cobalt	0.1 µg/l	0.11 mg/kg
		Fer	~ 1 µg/L	~ 1 mg/kg
		Nickel	0.1 µg/l	0.14 mg/kg
		Cuivre	0.1 µg/l	0.22 mg/kg
		Zinc	0.5 µg/l	0.19 mg/kg
		Cadmium	0.1 µg/l	0.05 mg/kg
		Antimoine	0.1 µg/l	0.30 mg/kg
		Plomb	0.1 µg/l	0.10 mg/kg
		Mercure	50 pg/L	0.36 µg/kg
		Bismuth	0.1 µg/l	~ 0.2 mg/kg

* La limite de détection de Bachema AG pour les solides dépend de la quantité d'échantillon reçue.

¹ DDPS, "INVESTIGATIONS HISTORIQUES RELATIVES AUX DEPOTS ET AUX IMMERSIONS DE MUNITIONS DANS LES LACS SUISSES / Lot 1 : Suisse Romande", Geotechnique Appliquée Deriaz S.A., 2004

² Jörg Mathieu, "Untersuchung Verteilung Munitionsrückstände im Gebiet Fliegerschiessplatz Forel" armasuisse W&T, 2015, Docmas ID Nr. Nr. 40014816438