ORLÉANS MÉTROPOLE

DIRECTION DE LA PLANIFICATION DE L'AMENAGEMENT URBAIN ET DE L'HABITAT

Service Projets Urbains

ZAC DES GROUES



PROJET DOSSIER DE CRÉATION DE ZAC

Mai 2019

Annexe n°8 **– Diagnostic de pollution ferromagnétique**
(NAVARRA TS 2018)



ORLEANS METROPOLE – Orléans (45)

Diagnostique de pollution ferromagnétique

Date :17/12/2018		RAPPORT D'ACTIVITE		
1	Version initiale	G.RENARD	M.DAMGE	E.SERVANT
Indice	Objet	Rédaction	Vérification	Approbation

NAVARRA TS
18 avenue Gustave Eiffel – 33 600 PESSAC
Tél. : 05.57.26.69.20 – Fax : 05.57.26.69.21
www.navarrats.com
secretariat.nts@vinci-construction-terrassement.com

SOMMAIRE

1 AVANT PROPOS 3
2 GENERALITE 3
3 LOCALISATION DU SITE 4
3.1 Situation géographique 4
3.2 Zone d'intervention 5
3.3 Implantation et Etat du terrain 6
4 PLANNING DES INTERVENTIONS 8
5 MOYENS MIS EN ŒUVRE 8
5.1 Personnel 8
5.2 Matériel de sécurité 8
5.3 Matériels de détection 9
5.4 *La cartographie* 11
5.5 Champ de recherche et sensibilité de traitement 13
6 METHODOLOGIE 15
RECONNAISSANCE VISUELLE DE SECURITE 17
7 RESULTATS OBTENUS 18
7.1 Cartographies générales 18
7.2 Traitement des cartographies 19
7.3 Relevage des anomalies 20
8 CONCLUSION 25
9 ANNEXE 1 : MAGNETOMETRIQUE 26
9.1 Détection des éléments métalliques 26
9.2 Principe de la gradiométrie 26
9.3 Le champ magnétique 27

1 AVANT PROPOS

Le présent rapport concerne le diagnostic de pollution ferromagnétique pour la construction d'une future route à Orléans (45).

Cette opération a pour but de s'affranchir de la présence ou non de munitions ou d'objets pyrotechniques sur la zone d'étude.

Ces travaux sont réalisés pour le compte de ORLEANS METROPOLE.

2 GENERALITE

Le présent rapport comprend une note de synthèse avec les informations suivantes :

- La localisation de l'intervention,
- Les moyens mis en œuvre,
- La méthodologie appliquée

Le matériel employé pour cette prestation, est présenté avec ses caractéristiques dans les pages suivantes.

3 LOCALISATION DU SITE

3.1 *Situation géographique*

Le site se trouve dans le département du Loiret, dans la commune d'Orléans (45) dans la région Centre Val de Loire (Figure 1).



Figure 1: Localisation de la zone d'intervention (image issue de Géoportail.gouv.fr)

3.2 *Zone d'intervention*

Le chantier s'est déroulé sur un terrain déboisé proche de la rue Fernand Pelloutier (Figure 2).



Figure 2 : Localisation plus précise de la zone de chantier (image issue de Géoportail.gouv.fr)

3.3 *Implantation et Etat du terrain*

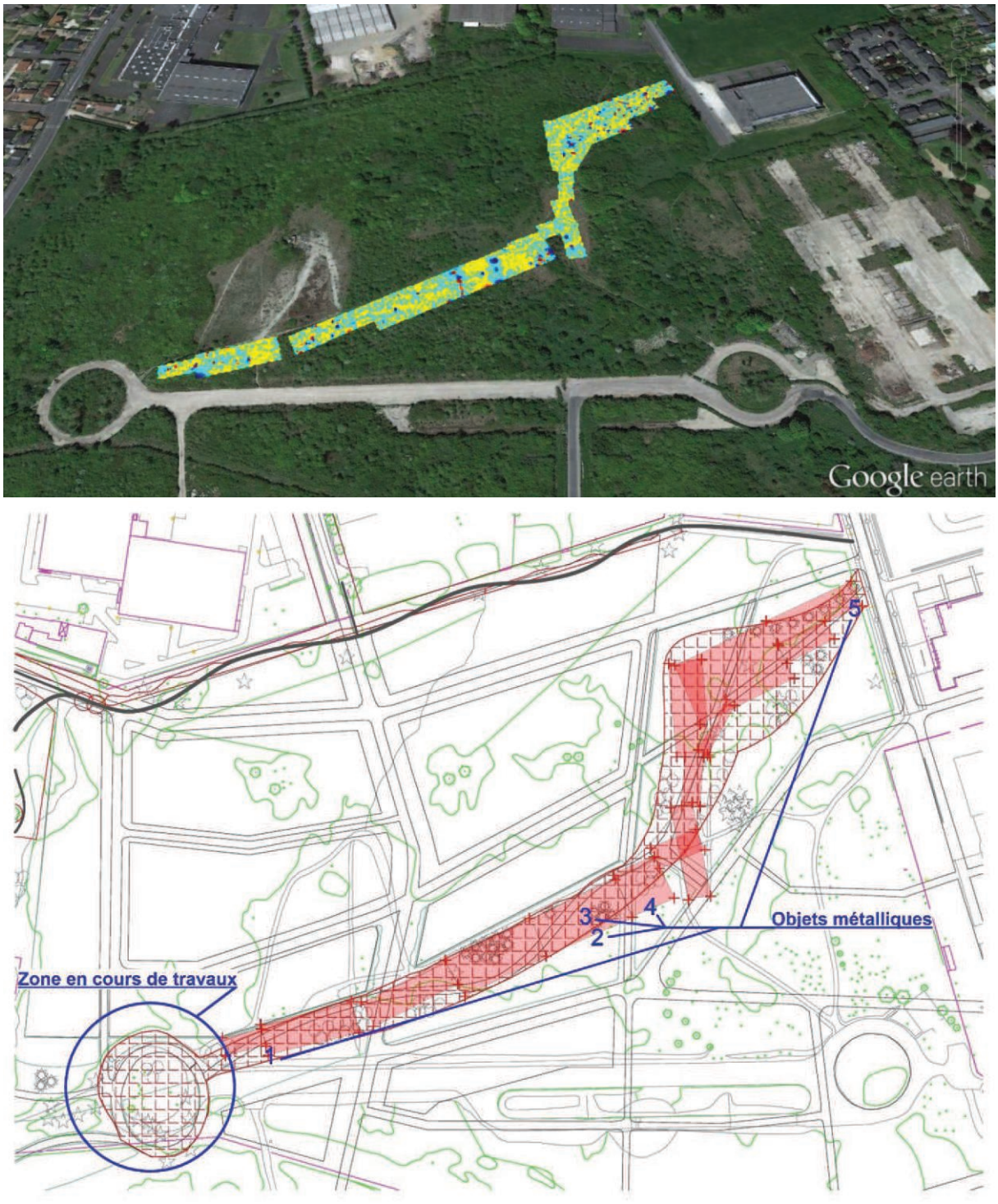


Figure 3 : Zone d'étude, implantation et détails du découpage

Le terrain est composé d'une zone qui vient d'être déboisée. Après une inspection visuelle sur le site, nous n'avons pas remarqué d'objets pyrotechniques mais d'autres éléments susceptibles de perturbé les mesures (annoté sur le plan ci-dessus) :

- Des poteaux métalliques (en place, objet 1, et couché, objet 5)
- Des portiques métalliques (cage de foot) (en surface, objet 2 et enterré, objet 3)
- De nombreuses cannettes et autres petits objets en surface
- Un petit extincteur (objet 4) ;

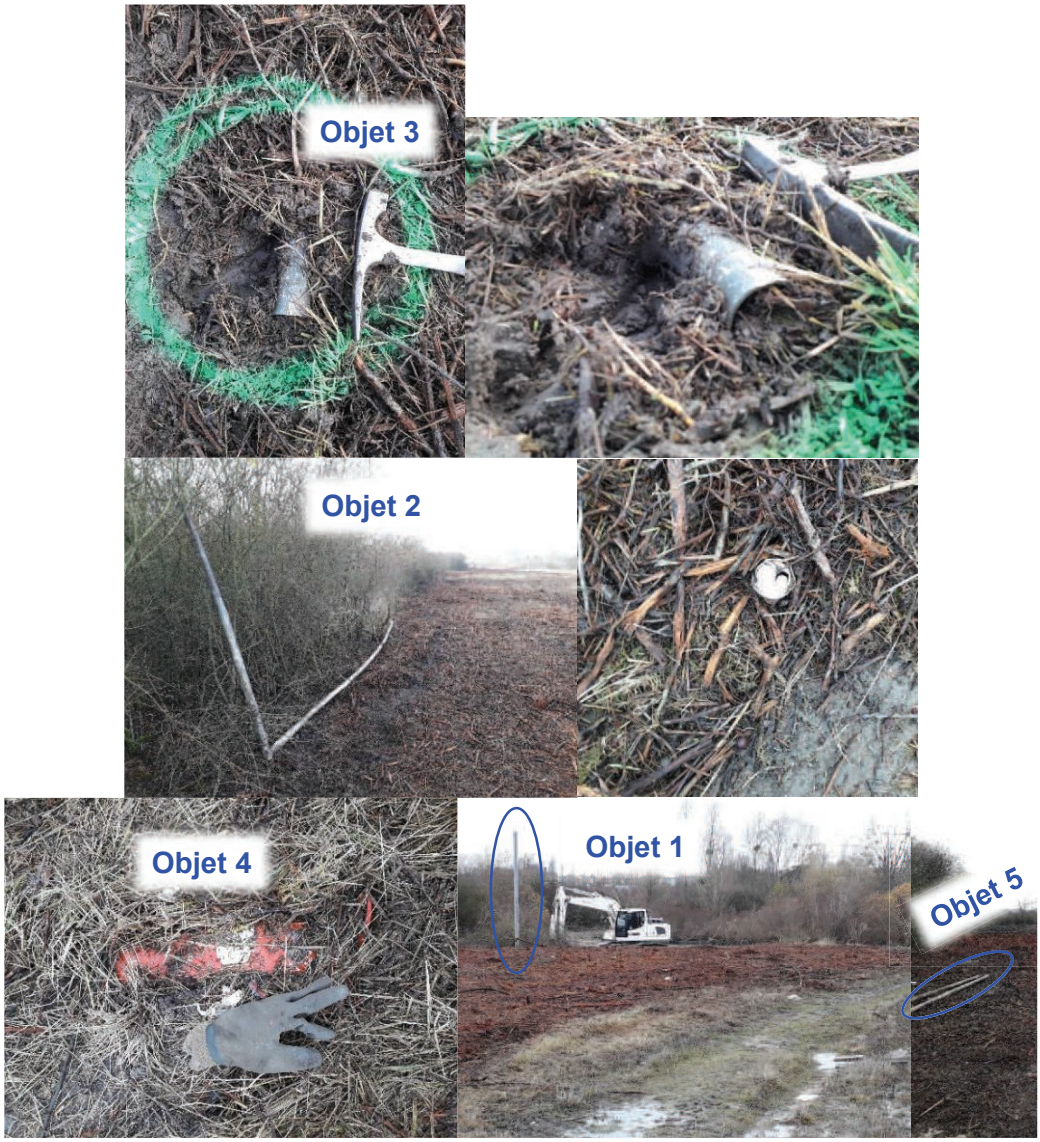


Photo 1 : Eléments métalliques présents sur le site

4 PLANNING DES INTERVENTIONS

Pour la réalisation de cette prestation, la société Navarra TS est intervenue à partir du mardi 27 novembre 2018 et pour une durée de 3 jours.

	Novembre 2018				
	Semaine n°48				
Descriptions des opérations	L	Ma	Me	J	V
1 – Installation de chantier		X			
2 – Implantation des zones d'enregistrement		X			
3 – Enregistrements magnétométriques			X	X	
4 – Levé topographique		X			
5 – Repli				X	
6 – Rapport				X	X

Tableau 1 : Planning des interventions

5 MOYENS MIS EN ŒUVRE

Nos méthodes de travail, les formations de nos personnels aux dernières techniques de mesure, et le suivi de nos matériels répondent aux exigences les plus strictes en matière de sécurité, de qualité et de respect de l'environnement.

5.1 *Personnel*

Notre personnel, Monsieur **Guillaume RENARD** est intervenu en tant qu'ingénieur géophysicien. A ce titre, c'est une personne qualifiée et habilitée par l'annexe 1 du décret du 23 Janvier 2006, certifiant les connaissances nécessaires sur un chantier de diagnostic de pollution ferromagnétique.

5.2 *Matériel de sécurité*

Véhicules de transport	**EPI : Equipement de protection individuelle**
- Véhicule utilitaire	- Casque - Gants - Chaussures de sécurité - Lunettes - Vêtements haute visibilité

5.3 *Matériels de détection*

➢ *Détecteurs magnétomètres 3 et 5 sondes*

Fabricant : Ebinger
Modèle : DLM 98 - 3 sondes
Sondes : Magnex 120 de 650 mm
Interface : DLM 98
Espacement entre sondes : 50 cm
Largeur : 1 m



Figure 4 : DLM98 - Dispositif 3 sondes

Fabricant : Ebinger
Modèle : DLM 98 - 5 sondes
Sondes : Magnex 120 de 650 mm
Interface : DLM 98
Espacement entre sondes : 50 cm
Largeur : 2 m

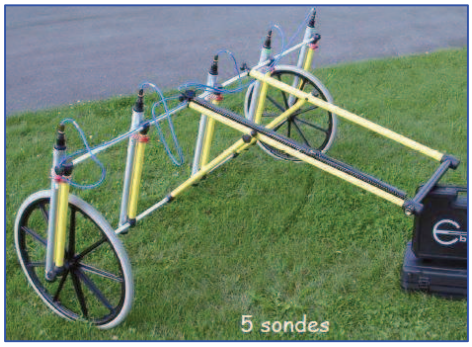


Figure 5 : DLM98 - Dispositif 5 sondes

Les appareils utilisés pour la recherche des objets métalliques enfouis fonctionnent avec un logiciel utilisant l'interface Windows pour un traitement des données de champs magnétiques en couleur.

Il permet la représentation graphique, la documentation et l'exploitation interactive des mesures du champ magnétique.

Le traitement du logiciel permet de localiser les cibles, de déterminer leurs caractéristiques (profondeur d'enfouissement, inclinaison, déclinaison, volume estimé), et de créer une carte des objets.

➢ *Description d'un magnétomètre multi-sondes*

Ce système d'acquisition de données permet l'enregistrement de mesures magnétiques ou électromagnétiques. Il a été développé pour la localisation de munitions non explosées, enterrées.
Ce système permet de réaliser une carte magnétique d'une zone, de localiser les cibles et d'obtenir leurs caractéristiques. Ce matériel permet de couvrir de grandes surfaces en peu de temps, et détecte avec une excellente précision toute pollution métallique et/ou ferromagnétique.
A la fin des opérations de détection, ces données sont transférées en quelques secondes dans un PC, un logiciel permet de faire l'exploitation des mesures.

➢ *Architecture du système 3 sondes (similaire au 5 sondes)*

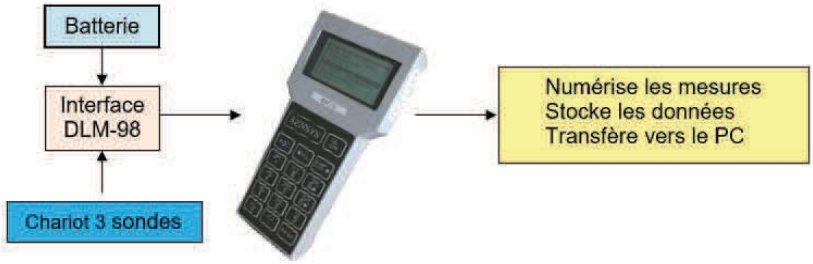
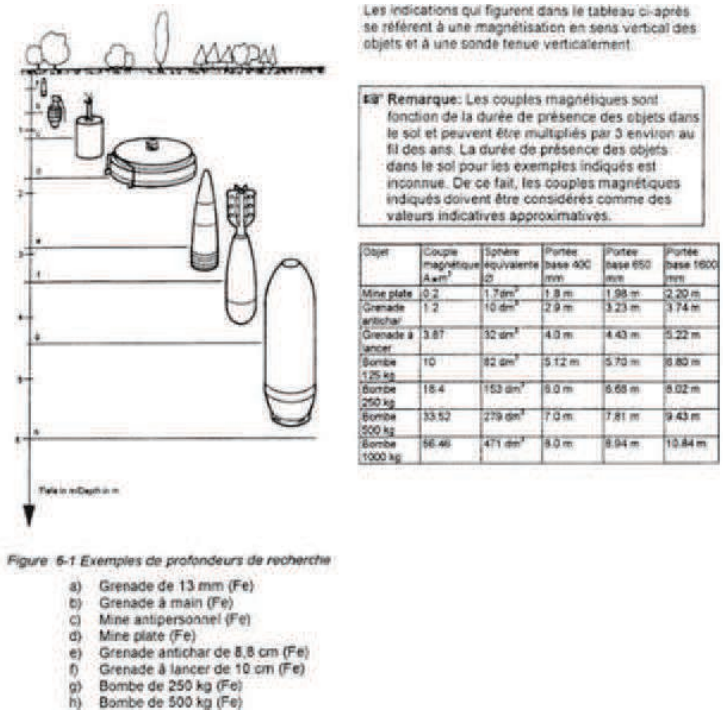


Figure 6 : Architecture du système 3 sondes

➢ *Sensibilité maximale de détection des sondes MAGNEX 120 :*



Les indications qui figurent dans le tableau ci-après se réfèrent à une magnétisation en sens vertical des objets et à une sonde tenue verticalement.

Remarque: Les couples magnétiques sont fonction de la durée de présence des objets dans le sol et peuvent être multipliés par 3 environ au fil des ans. La durée de présence des objets dans le sol pour les exemples indiqués est inconnue. De ce fait, les couples magnétiques indiqués doivent être considérés comme des valeurs indicatives approximatives.

Objet	Couple magnétique A·m²	Sphère équivalente Ø	Portée base 400 mm	Portée base 650 mm	Portée base 1600 mm
Mine plate	0.2	1.7 dm³	1.8 m	1.98 m	2.20 m
Grenade antichar	1.2	10 dm³	2.9 m	3.23 m	3.74 m
Grenade à lancer	3.87	32 dm³	4.0 m	4.43 m	5.22 m
Bombe 125 kg	10	82 dm³	5.12 m	5.70 m	6.80 m
Bombe 250 kg	18.4	153 dm³	6.0 m	6.68 m	8.02 m
Bombe 500 kg	33.52	279 dm³	7.0 m	7.81 m	9.43 m
Bombe 1000 kg	56.46	471 dm³	8.0 m	8.94 m	10.84 m

Figure 6-1 Exemples de profondeurs de recherche

a) Grenade de 13 mm (Fe)
b) Grenade à main (Fe)
c) Mine antipersonnel (Fe)
d) Mine plate (Fe)
e) Grenade antichar de 8,8 cm (Fe)
f) Grenade à lancer de 10 cm (Fe)
g) Bombe de 250 kg (Fe)
h) Bombe de 500 kg (Fe)

Figure 7 : Sensibilité de détection

5.4 *La cartographie*

Après les enregistrements réalisés sur le terrain, les données sont transférées sur un ordinateur pour créer un fichier visuel des anomalies ferromagnétiques appelé cartographie.

Une cartographie exploitable comporte des anomalies isolées rendant l'analyse réalisable.

A chaque cible analysée, un numéro de point lui est attribué.

De cette analyse, nous obtenons ses caractéristiques détaillées comprenant sa profondeur d'enfouissement, son inclinaison, sa déclinaison, son positionnement géo référencé, sa masse volumique ainsi que son diamètre.

Chaque caractéristique de cible est comparée à celle de notre banque de données d'objets pyrotechniques.

Ces informations sont de grande importance pour le suivi des travaux.

En effet, sa profondeur, sa déclinaison, son inclinaison, son diamètre mais aussi son volume sont des informations très utiles pour les mises à jour.

Nous soulignons le fait qu'une anomalie de surface peut cacher une seconde anomalie plus en profondeur. Ce sera une anomalie de superposition.

Pour analyser une cartographie, il est nécessaire de modifier la sensibilité de mesure en fonction de la profondeur définie par le client ou encore pour éliminer une faible pollution ferromagnétique de surface.

Il faut prendre en compte qu'une variation de sensibilité modifie la profondeur d'investigation.

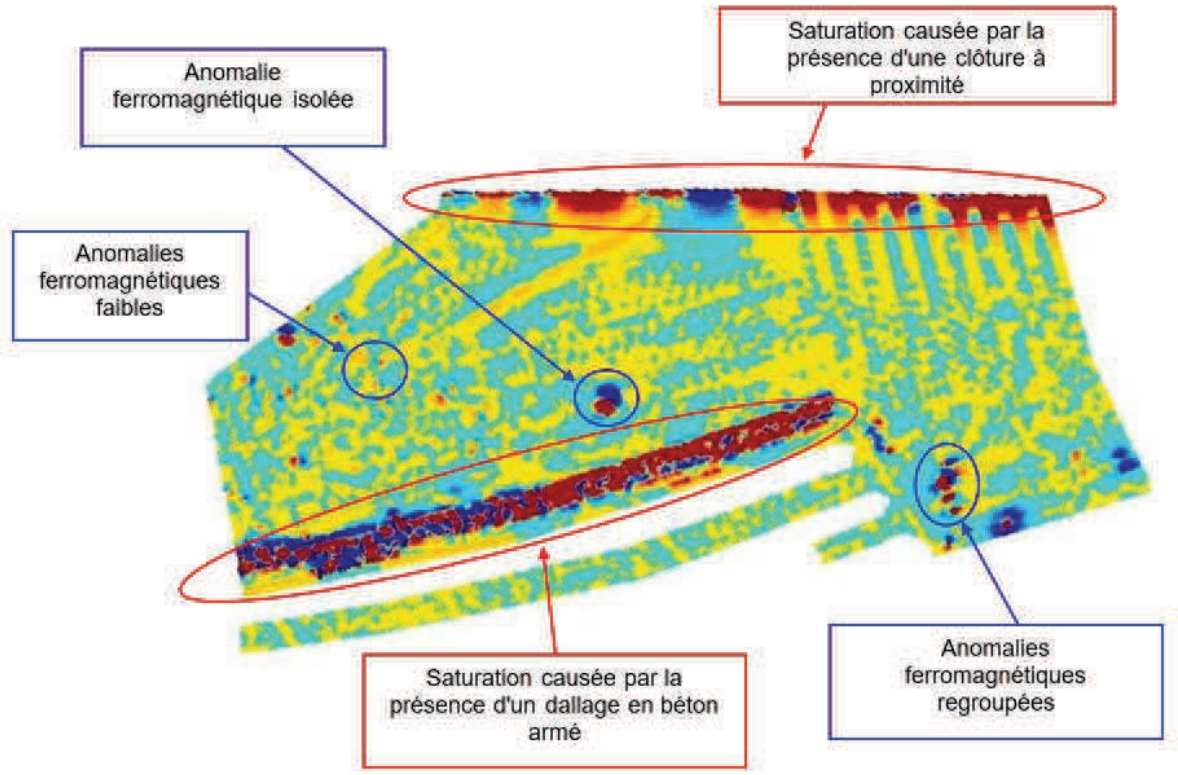
Une cartographie ayant une haute sensibilité de 50 nT (nano tesla) nous permet de visualiser toutes les cibles jusqu'à une profondeur approximative de 8m (sans inclure les cibles superposées qui ne seront toujours pas visibles) alors qu'une basse sensibilité de 1000 nT réduit l'investigation à une profondeur d'un mètre environ voir surfacique.

En aucun cas nous ne pouvons certifier qu'une anomalie ferromagnétique détectée est un objet pyrotechnique ou non.

La seule méthode à ce jour qui nous permet de constater qu'une cible correspond à un objet pyrotechnique est la mise à jour de la dite cible.

La présence de canalisations (de matériaux ferreux) va générer une modification du champ magnétique tout autour d'elle, pouvant cacher une anomalie à proximité ou en superposition.

Exemple de cartographie exploitable

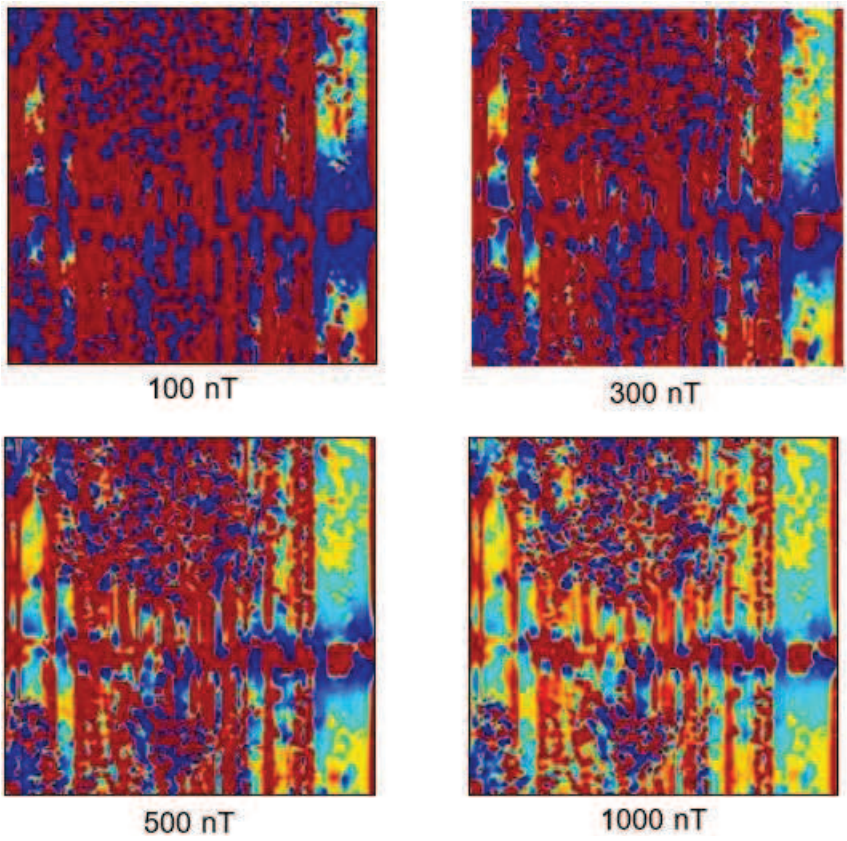


Dans cette configuration-là, nous ne pouvons pas affirmer la présence ou non d'objets ferromagnétiques dans la zone du dallage en béton ainsi que sur la zone saturée par la clôture (effet de bord).
La cartographie actuelle va nous permettre de faire une première analyse des anomalies nettement visibles.
La variation de sensibilité va, par la suite, nous simplifier l'analyse des anomalies de plus faibles volumes. Cela augmentera ou accentuera les anomalies et permettra ainsi une meilleure interprétation et précision.

Exemple de cartographie saturée non exploitable

La présence d'infrastructures et/ou de superstructures génèrent une variation très importante du champ magnétique rendant nos enregistrements ininterprétables.
La présence à proximité de ces "gênes" ferromagnétiques provoque un "effet de bord" rendant la cartographie inexploitable sur une largeur d'environ 2m (à une faible sensibilité) ce qui nous oblige à réaliser nos implantations à une distance d'éloignement de 1m au minimum.
Un sol contenant naturellement une forte concentration de terre magnétique ou cailloux magnétiques peut également engendrer une saturation des enregistrements.

Exemple d'une cartographie saturée à plusieurs sensibilités



Cette forte saturation ne permet aucune analyse de la cartographie. Après les variations de sensibilité, nous constatons que la forte saturation ne permet pas la visibilité d'anomalies. Seule la partie située à droite pourra faire l'objet d'une analyse.

5.5 *Champ de recherche et sensibilité de traitement*

L'analyse d'une cartographie est dépendante du paramètre de la sensibilité du traitement, c'est-à-dire de la variation de champ utilisée.

Cette sensibilité agit comme un filtre qui permet de visualiser les différentes signatures magnétométriques.
Il faut prendre en compte qu'une variation de la sensibilité modifie la profondeur d'investigation. Ainsi l'analyse d'une cartographie pratiquée avec une faible sensibilité, laissera apparaître les fortes signatures, dues à des éléments de surface ou de gros gabarit.

En augmentant la valeur de la sensibilité, il sera possible de visualiser les cibles présentent à des profondeurs plus élevées.

Nous soulignons le fait qu'une anomalie de surface peut cacher une anomalie en profondeur par superposition et un changement de sensibilité ne permet malheureusement pas la résolution de cette problématique.
Le champ de recherche de ce rapport s'est limité à sélectionner des anomalies ayant, après extrapolation, une signature comparable à celle laissée par une bombe d'aviation ou à d'autres projectiles de gros et petit calibre.

La recherche d'anomalies de plus faible diamètre nécessiterait d'augmenter la sensibilité de traitement de la cartographie. Les fortes signatures seraient alors graphiquement plus accentuées, masqueraient d'autres signatures et empêcheraient ainsi toute autre sélection de cibles.

La variation de sensibilité n'a aucune influence sur les caractéristiques des anomalies.

6 METHODOLOGIE

La méthodologie décrite ci-dessous s'applique uniquement pour l'utilisation du magnétomètre Ebinger D.L.M. 98 équipé de 3 sondes. Notre priorité consiste en l'implantation des zones d'enregistrements. Pour cela, nous mesurons le sol afin de marquer à la peinture des rectangles composés d'alignements rectilignes espacés de 1,50 m ce qui correspond à l'espacement entre les sondes de notre appareil.



Photo 2 : Opérateur procédant à l'implantation d'une zone d'enregistrement

Chaque angle a été repéré avec un GPS Trimble 5800 GNSS afin de pouvoir assembler nos enregistrements et avoir sur chaque analyse un positionnement référencé.

Les éléments perturbateurs tels que les regards, poteaux de signalisation et autres éléments font également l'objet d'un levé afin de les dissociés des cibles lors de l'analyse de la cartographie.



Photo 3 : Opérateur procédant au levé d'un angle de zone d'enregistrement

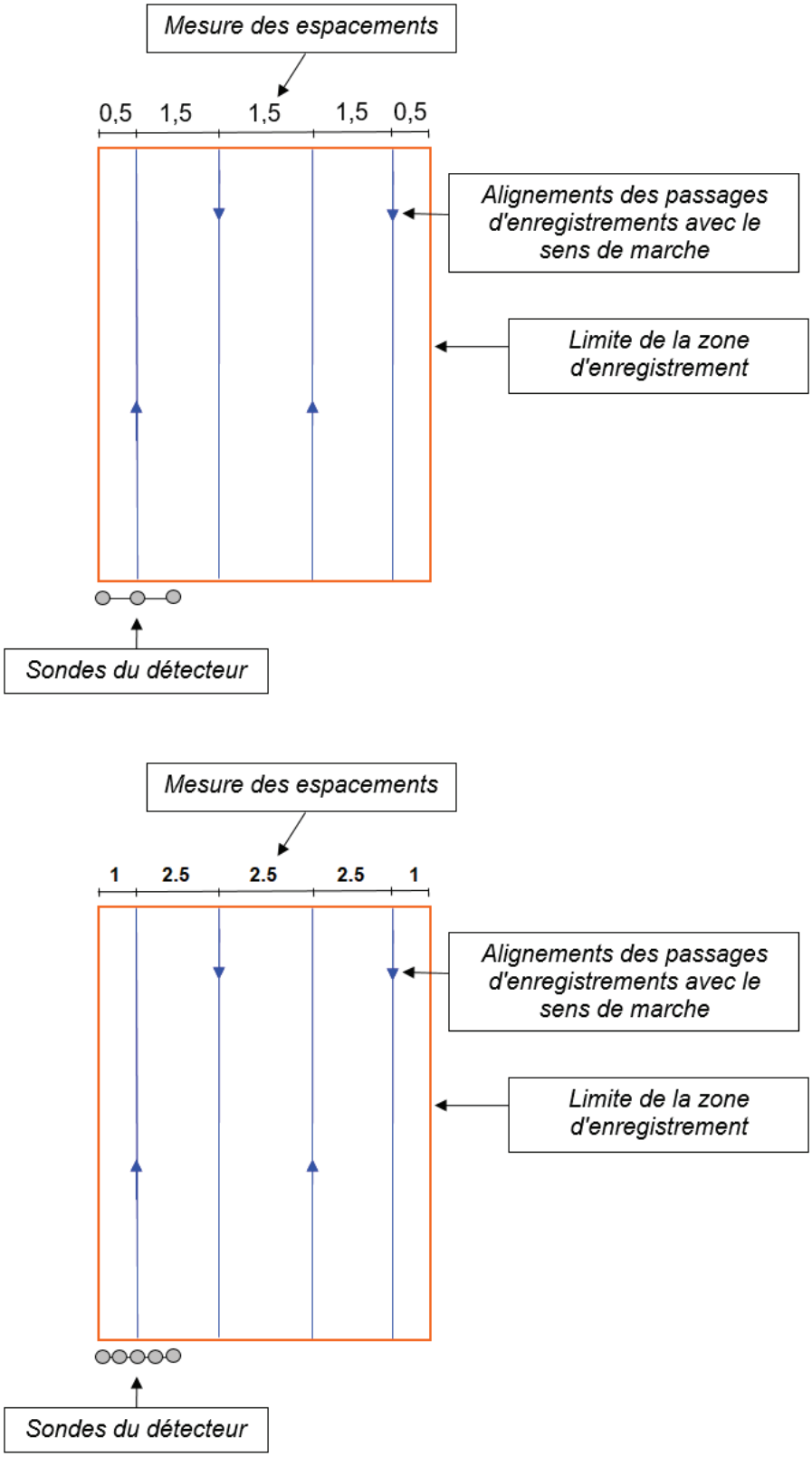


Figure 8 : Illustration des méthodologies d'enregistrements (3 et 5 sondes)

Par la suite, un opérateur en détection, réalise des passages en aller/retour sur chaque rectangle implanté en suivant des alignements rectilignes.

Pour les enregistrements, l'opérateur doit adopter une allure de marche constante et un déplacement de part et d'autre des alignements qui sont matérialisés au sol par des traits de peinture aidé des cônes de signalisation.

Les sondes du magnétomètre quant à elles doivent se situer environ à 20 cm de la surface du sol à enregistrer.

Un plan sur format papier est réalisé pendant le déroulement du diagnostic, mentionnant le numéro d'enregistrement, son sens de départ d'enregistrement, ses dimensions mais aussi l'ordre d'exécution des cartographies afin d'apporter un complément au levé GPS pour un assemblage optimal.

Pour qu'une cartographie soit de qualité, le terrain doit être marchant car l'opérateur doit maintenir une cadence de marche régulière comme il est précisé dans la page précédente



Photo 4 : Opérateur en cours de rédaction du plan

RECONNAISSANCE VISUELLE DE SECURITE

La préparation du diagnostic passe par une reconnaissance visuelle de sécurité.

Nous avons effectué une reconnaissance visuelle de chaque zone afin de s'assurer qu'aucun objet pyrotechnique n'était présent en surface. Cette mesure de sécurité supplémentaire ne nous a pas permis d'identifier, ni de découvrir de munition ou quelque objet pyrotechnique que ce soit, sur la surface à diagnostiquer.

7 RESULTATS OBTENUS

7.1 *Cartographies générales*

A la suite de nos enregistrements, nous avons récupéré les données afin de les assembler pour obtenir une cartographie couleur complète des zones diagnostiquées dont voici le résultat. Ce résultat est obtenu avec une sensibilité de traitement de +100 et – 100 Nt. La surface enregistrée est d'environ 1 ha.

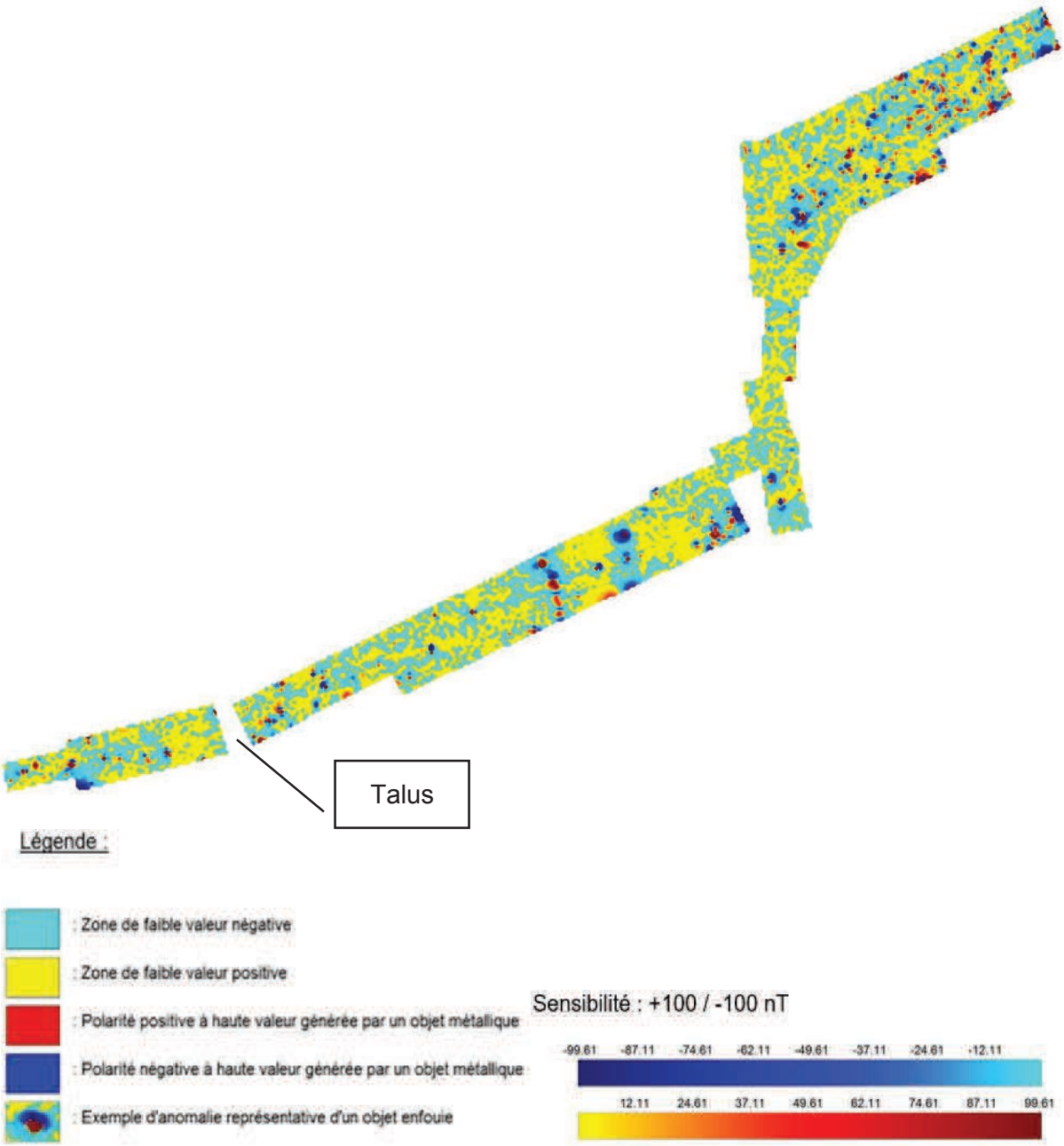


Planche 1 : Cartographie Générale

7.2 *Traitement des cartographies*

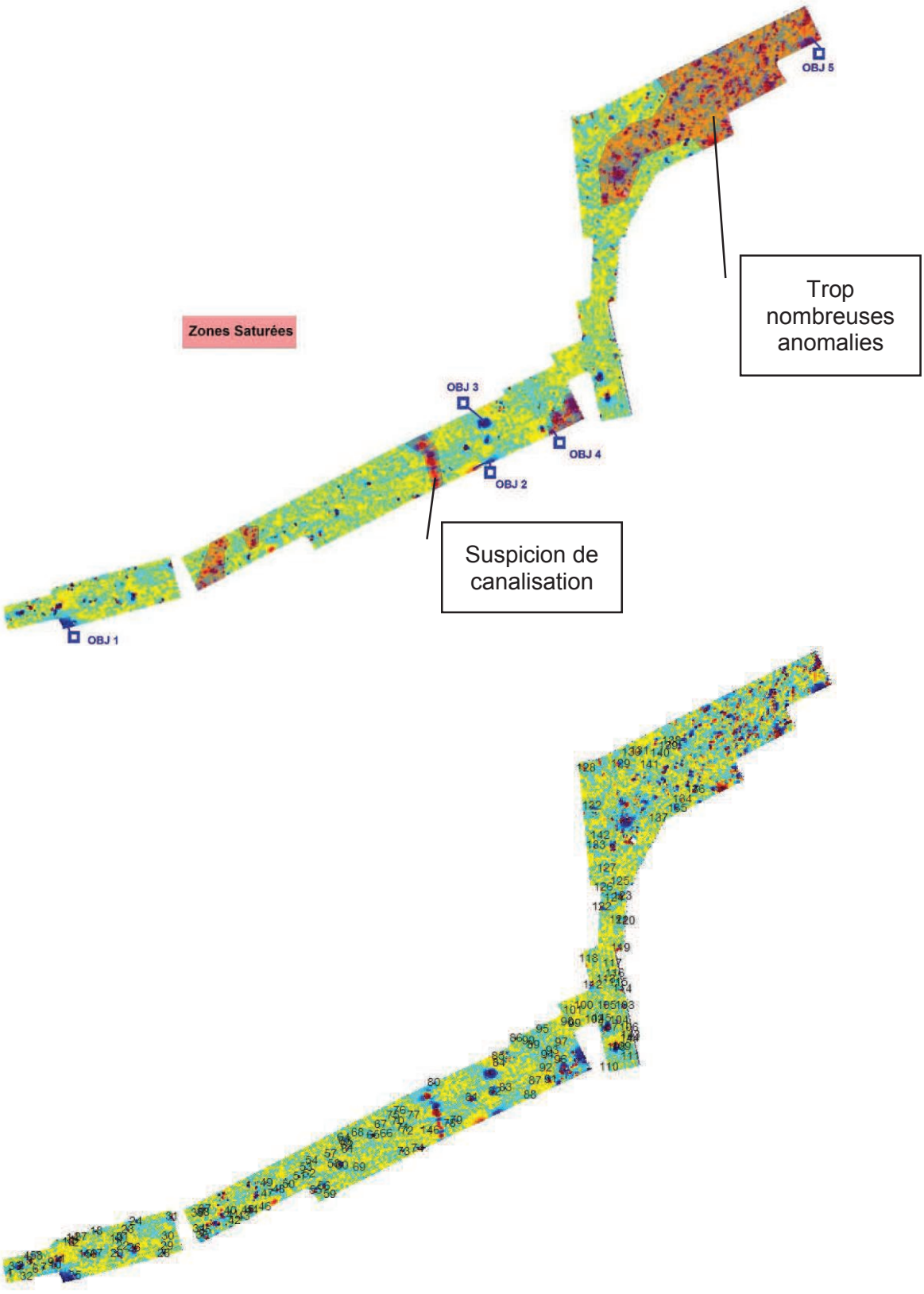


Planche 2 : Zones inexploitables et Ciblages des anomalies

7.3 *Relevage des anomalies*

Les tableaux présents regroupent les caractéristiques des 146 anomalies retenues sur la totalité de cette zone diagnostiquée.
On y retrouve le numéro d'attribution de l'anomalie, son positionnement référencé, sa profondeur, son diamètre ainsi que son volume magnétique.

Nous rappelons que les tableaux concernent uniquement les cibles retenues par rapport à leurs caractéristiques. Les cibles dont les caractéristiques ne correspondent pas avec celles d'un objet pyrotechnique n'ont pas été retenues et n'y figurent pas.

Nous avons attribué à chaque volume d'anomalie une couleur correspondant à un risque pyrotechnique allant du risque très faible (obus de 20 mm) jusqu'au risque fort (bombe).

- Risque très faible pour les anomalies ayant un volume de 0 à 1 litre
- Risque faible pour les anomalies ayant un volume de 1,01 à 5 litres
- Risque moyen pour les anomalies ayant un volume de 5,01 à 10 litres
- Risque fort pour les anomalies ayant un volume supérieur à 10,01 litres

N°	Latitude (WGS84)	Longitude (WGS84)	Prof. (m)	Dia. (m)	Vol. (L)	Estimation du risque
1	47° 55' 2.541600" N	1° 53' 3.342800" E	0.31	0.09	0.42	
2	47° 55' 2.636000" N	1° 53' 3.549100" E	0.57	0.44	45.02	
3	47° 55' 2.707000" N	1° 53' 3.730600" E	0.52	0.36	23.85	
4	47° 55' 2.761900" N	1° 53' 3.667800" E	0.61	0.17	2.39	
5	47° 55' 2.764200" N	1° 53' 3.789900" E	0.52	0.13	1.23	
6	47° 55' 2.593500" N	1° 53' 3.845800" E	0.57	0.15	1.73	
7	47° 55' 2.614600" N	1° 53' 3.999500" E	0.69	0.23	6.08	
8	47° 55' 2.771200" N	1° 53' 3.932500" E	0.31	0.09	0.38	
9	47° 55' 2.683900" N	1° 53' 4.150200" E	0.86	0.25	7.73	
10	47° 55' 2.645100" N	1° 53' 4.231100" E	1.08	0.45	49.2	
11	47° 55' 2.726700" N	1° 53' 4.312000" E	1.11	0.75	219.58	
12	47° 55' 2.940300" N	1° 53' 4.564000" E	0.06	0.04	0.04	
13	47° 55' 2.952500" N	1° 53' 4.488100" E	0.72	0.2	4.49	
14	47° 55' 3.001700" N	1° 53' 4.570700" E	0.33	0.21	4.81	
15	47° 55' 2.787800" N	1° 53' 4.806900" E	0.33	0.15	1.82	
16	47° 55' 2.786900" N	1° 53' 4.926400" E	0.78	0.26	9.63	
17	47° 55' 2.795900" N	1° 53' 5.029300" E	0.93	0.33	18.69	
18	47° 55' 3.089300" N	1° 53' 5.028700" E	0.31	0.12	0.91	
19	47° 55' 2.989800" N	1° 53' 5.419400" E	0.45	0.14	1.33	
20	47° 55' 2.803100" N	1° 53' 5.441000" E	0.37	0.18	3.04	
21	47° 55' 3.018000" N	1° 53' 5.547600" E	0.51	0.13	1.23	
22	47° 55' 2.892200" N	1° 53' 5.550800" E	0.57	0.13	1.21	
23	47° 55' 3.109500" N	1° 53' 5.645900" E	0.52	0.24	7.38	
24	47° 55' 3.224700" N	1° 53' 5.814300" E	0.61	0.22	5.9	
25	47° 55' 2.506200" N	1° 53' 4.616400" E	0.31	0.11	0.76	
26	47° 55' 2.873600" N	1° 53' 5.776000" E	0.35	0.36	24.35	
27	47° 55' 3.011300" N	1° 53' 4.722400" E	0.31	0.08	0.26	
28	47° 55' 2.803100" N	1° 53' 6.356100" E	0.61	0.3	13.79	
29	47° 55' 2.894200" N	1° 53' 6.413500" E	0.37	0.09	0.43	
30	47° 55' 3.030200" N	1° 53' 6.429700" E	0.94	0.2	4.07	
31	47° 55' 3.288800" N	1° 53' 6.521900" E	0.65	0.32	16.79	
32	47° 55' 2.498700" N	1° 53' 3.676200" E	0.37	0.07	0.22	
33	47° 55' 2.629800" N	1° 53' 3.445400" E	0.72	0.19	3.55	
34	47° 55' 3.125500" N	1° 53' 7.038100" E	0.86	0.23	6.21	
35	47° 55' 3.097800" N	1° 53' 7.164900" E	0.61	0.14	1.5	
36	47° 55' 3.032900" N	1° 53' 7.107400" E	0.33	0.13	1.15	
37	47° 55' 3.386400" N	1° 53' 7.160600" E	0.52	0.16	2.22	
38	47° 55' 3.341600" N	1° 53' 7.121300" E	0.52	0.11	0.78	
39	47° 55' 3.328000" N	1° 53' 7.010300" E	1.09	0.26	9.51	
40	47° 55' 3.356600" N	1° 53' 7.659000" E	0.29	0.08	0.25	
41	47° 55' 3.302700" N	1° 53' 7.698900" E	0.31	0.07	0.17	
42	47° 55' 3.234600" N	1° 53' 7.736300" E	0.37	0.07	0.21	
43	47° 55' 3.282800" N	1° 53' 7.913700" E	0.55	0.12	0.86	
44	47° 55' 3.375500" N	1° 53' 8.068000" E	1.29	0.7	176.98	
45	47° 55' 3.377000" N	1° 53' 7.986700" E	0.37	0.08	0.25	
46	47° 55' 3.411600" N	1° 53' 8.327200" E	0.5	0.09	0.42	
47	47° 55' 3.591000" N	1° 53' 8.374000" E	0.86	0.15	1.8	
48	47° 55' 3.647300" N	1° 53' 8.607800" E	0.31	0.13	1.13	

Tableau 2 : Caractéristiques des anomalies

49	47° 55' 3.728000" N	1° 53' 8.368000" E	0.62	0.14	1.55	
50	47° 55' 3.712800" N	1° 53' 8.793100" E	0.33	0.15	1.73	
51	47° 55' 3.814800" N	1° 53' 9.003900" E	0.37	0.18	3.1	
52	47° 55' 3.851100" N	1° 53' 9.194900" E	0.35	0.09	0.32	
53	47° 55' 3.939900" N	1° 53' 9.141100" E	0.37	0.08	0.26	
54	47° 55' 4.024100" N	1° 53' 9.256000" E	0.45	0.11	0.64	
55	47° 55' 3.629300" N	1° 53' 9.336500" E	1.08	0.44	44.07	
56	47° 55' 3.690200" N	1° 53' 9.496400" E	0.37	0.13	1.12	
57	47° 55' 4.103300" N	1° 53' 9.613900" E	0.61	0.15	1.81	
58	47° 55' 3.972800" N	1° 53' 9.678200" E	0.61	0.15	1.75	
59	47° 55' 3.579900" N	1° 53' 9.595400" E	0.94	0.2	4.37	
60	47° 55' 3.952600" N	1° 53' 9.837400" E	0.57	0.48	59.71	
61	47° 55' 4.167100" N	1° 53' 9.951800" E	0.37	0.13	1.04	
62	47° 55' 4.225300" N	1° 53' 9.938700" E	0.61	0.15	1.82	
63	47° 55' 4.284100" N	1° 53' 9.914800" E	0.37	0.09	0.35	
64	47° 55' 4.320000" N	1° 53' 9.867400" E	0.23	0.1	0.48	
65	47° 55' 4.360200" N	1° 53' 10.456400" E	0.14	0.13	1.14	
66	47° 55' 4.373500" N	1° 53' 10.710500" E	0.37	0.08	0.28	
67	47° 55' 4.491600" N	1° 53' 10.603000" E	0.61	0.13	1.15	
68	47° 55' 4.383700" N	1° 53' 10.145600" E	0.51	0.1	0.57	
69	47° 55' 3.935200" N	1° 53' 10.174500" E	1.34	0.28	11.3	
70	47° 55' 4.535900" N	1° 53' 10.931600" E	0.47	0.12	0.95	
71	47° 55' 4.454300" N	1° 53' 11.028000" E	0.37	0.09	0.36	
72	47° 55' 4.411600" N	1° 53' 11.112800" E	0.61	0.13	1.07	
73	47° 55' 4.141700" N	1° 53' 11.046500" E	0.16	0.08	0.28	
74	47° 55' 4.186000" N	1° 53' 11.324300" E	0.16	0.07	0.2	
75	47° 55' 4.617800" N	1° 53' 10.844600" E	0.72	0.15	1.68	
76	47° 55' 4.676300" N	1° 53' 10.967400" E	0.58	0.14	1.37	
77	47° 55' 4.618800" N	1° 53' 11.249500" E	0.61	0.14	1.53	
78	47° 55' 4.503000" N	1° 53' 11.947000" E	0.57	0.15	1.6	
79	47° 55' 4.555300" N	1° 53' 12.077200" E	1.11	0.35	21.87	
80	47° 55' 5.051300" N	1° 53' 11.651100" E	0.4	0.15	1.76	
81	47° 55' 4.849800" N	1° 53' 12.387800" E	0.94	0.57	98.63	
82	47° 55' 4.934400" N	1° 53' 12.832100" E	0.6	0.34	21.1	
83	47° 55' 4.980600" N	1° 53' 13.045100" E	0.54	0.18	2.85	
84	47° 55' 5.306000" N	1° 53' 12.910200" E	0.57	0.15	1.93	
85	47° 55' 5.392800" N	1° 53' 12.891700" E	0.81	0.19	3.75	
86	47° 55' 5.636200" N	1° 53' 13.248600" E	0.72	0.31	15.36	
87	47° 55' 5.071000" N	1° 53' 13.627700" E	0.37	0.08	0.32	
88	47° 55' 4.886600" N	1° 53' 13.527900" E	0.37	0.09	0.35	
89	47° 55' 5.550000" N	1° 53' 13.586500" E	0.31	0.07	0.21	
90	47° 55' 5.595300" N	1° 53' 13.500800" E	0.05	0.03	0.01	
91	47° 55' 5.092200" N	1° 53' 13.922400" E	0.58	0.27	10.19	
92	47° 55' 5.239700" N	1° 53' 13.825400" E	0.57	0.14	1.31	
93	47° 55' 5.468600" N	1° 53' 13.959100" E	0.37	0.09	0.35	
94	47° 55' 5.419300" N	1° 53' 13.867300" E	0.31	0.08	0.28	
95	47° 55' 5.755200" N	1° 53' 13.764200" E	0.35	0.1	0.56	
96	47° 55' 5.351700" N	1° 53' 14.121000" E	0.9	0.28	10.94	
97	47° 55' 5.574400" N	1° 53' 14.139500" E	0.35	0.08	0.3	
98	47° 55' 5.842900" N	1° 53' 14.250400" E	0.94	0.2	4.21	

Tableau 3 : Caractéristiques des anomalies

99	47° 55' 5.822500" N	1° 53' 14.396400" E	0.43	0.1	0.57	
100	47° 55' 6.065200" N	1° 53' 14.578800" E	0.31	0.07	0.22	
101	47° 55' 5.994800" N	1° 53' 14.364400" E	0.69	0.13	1.07	
102	47° 55' 5.883000" N	1° 53' 14.774900" E	0.45	0.13	1.09	
103	47° 55' 6.062000" N	1° 53' 15.378500" E	1.13	0.39	30.73	
104	47° 55' 5.866500" N	1° 53' 15.254500" E	1.42	0.44	45.48	
105	47° 55' 6.064400" N	1° 53' 15.017100" E	0.94	0.25	7.75	
106	47° 55' 5.774100" N	1° 53' 15.453300" E	0.05	0.03	0.02	
107	47° 55' 5.776600" N	1° 53' 15.048000" E	0.94	0.55	87.63	
108	47° 55' 5.510700" N	1° 53' 15.222100" E	0.17	0.17	2.6	
109	47° 55' 5.525700" N	1° 53' 15.316300" E	0.55	0.13	1.21	
110	47° 55' 5.255300" N	1° 53' 15.068000" E	0.6	0.15	1.82	
111	47° 55' 5.392100" N	1° 53' 15.486700" E	1.13	0.32	16.38	
112	47° 55' 6.337400" N	1° 53' 14.752000" E	0.37	0.15	1.64	
113	47° 55' 6.411500" N	1° 53' 15.005200" E	0.37	0.1	0.6	
114	47° 55' 6.281700" N	1° 53' 15.334600" E	0.57	0.18	2.97	
115	47° 55' 6.363500" N	1° 53' 15.245600" E	1.36	0.35	22.06	
116	47° 55' 6.489700" N	1° 53' 15.188600" E	1.36	0.35	23.37	
117	47° 55' 6.615800" N	1° 53' 15.135400" E	0.06	0.03	0.01	
118	47° 55' 6.675900" N	1° 53' 14.667700" E	0.37	0.07	0.21	
119	47° 55' 6.816600" N	1° 53' 15.295300" E	0.86	0.33	18.57	
120	47° 55' 7.173300" N	1° 53' 15.387500" E	0.71	0.28	11.39	
121	47° 55' 7.191400" N	1° 53' 15.256400" E	0.61	0.13	1.25	
122	47° 55' 7.360500" N	1° 53' 14.925400" E	0.61	0.19	3.5	
123	47° 55' 7.505300" N	1° 53' 15.319200" E	0.94	0.25	7.72	
124	47° 55' 7.484800" N	1° 53' 15.166300" E	0.52	0.11	0.78	
125	47° 55' 7.699000" N	1° 53' 15.271400" E	0.52	0.12	0.83	
126	47° 55' 7.625000" N	1° 53' 14.953200" E	1.08	0.25	8.24	
127	47° 55' 7.869000" N	1° 53' 15.019800" E	0.31	0.09	0.33	
128	47° 55' 9.186300" N	1° 53' 14.618300" E	0.61	0.18	2.93	
129	47° 55' 9.244600" N	1° 53' 15.287600" E	1.11	0.34	20.13	
130	47° 55' 9.393500" N	1° 53' 15.498400" E	0.61	0.13	1.24	
131	47° 55' 9.416900" N	1° 53' 15.670200" E	0.5	0.14	1.58	
132	47° 55' 8.686700" N	1° 53' 14.739400" E	0.65	0.2	4.16	
133	47° 55' 8.173000" N	1° 53' 14.807900" E	1.03	0.28	11.32	
134	47° 55' 8.780400" N	1° 53' 16.494800" E	0.52	0.16	2.12	
135	47° 55' 8.662900" N	1° 53' 16.409700" E	0.52	0.21	4.83	
136	47° 55' 8.905300" N	1° 53' 16.757400" E	0.58	0.26	9.71	
137	47° 55' 8.530800" N	1° 53' 16.039800" E	0.72	0.17	2.77	
138	47° 55' 9.542700" N	1° 53' 16.285700" E	0.47	0.17	2.38	
139	47° 55' 9.485100" N	1° 53' 16.230200" E	0.35	0.11	0.78	
140	47° 55' 9.386000" N	1° 53' 16.067900" E	0.37	0.1	0.57	
141	47° 55' 9.233700" N	1° 53' 15.863300" E	0.37	0.09	0.33	
142	47° 55' 8.297600" N	1° 53' 14.898300" E	0.35	0.07	0.21	
143	47° 55' 5.675800" N	1° 53' 15.482200" E	0.26	0.07	0.17	
144	47° 55' 5.630800" N	1° 53' 15.472600" E	0.06	0.04	0.03	
145	47° 55' 5.892900" N	1° 53' 14.928500" E	0.37	0.12	0.89	
146	47° 55' 4.423200" N	1° 53' 11.559900" E	0.03	0.03	0.01	

Tableau 4 : Caractéristiques des anomalies

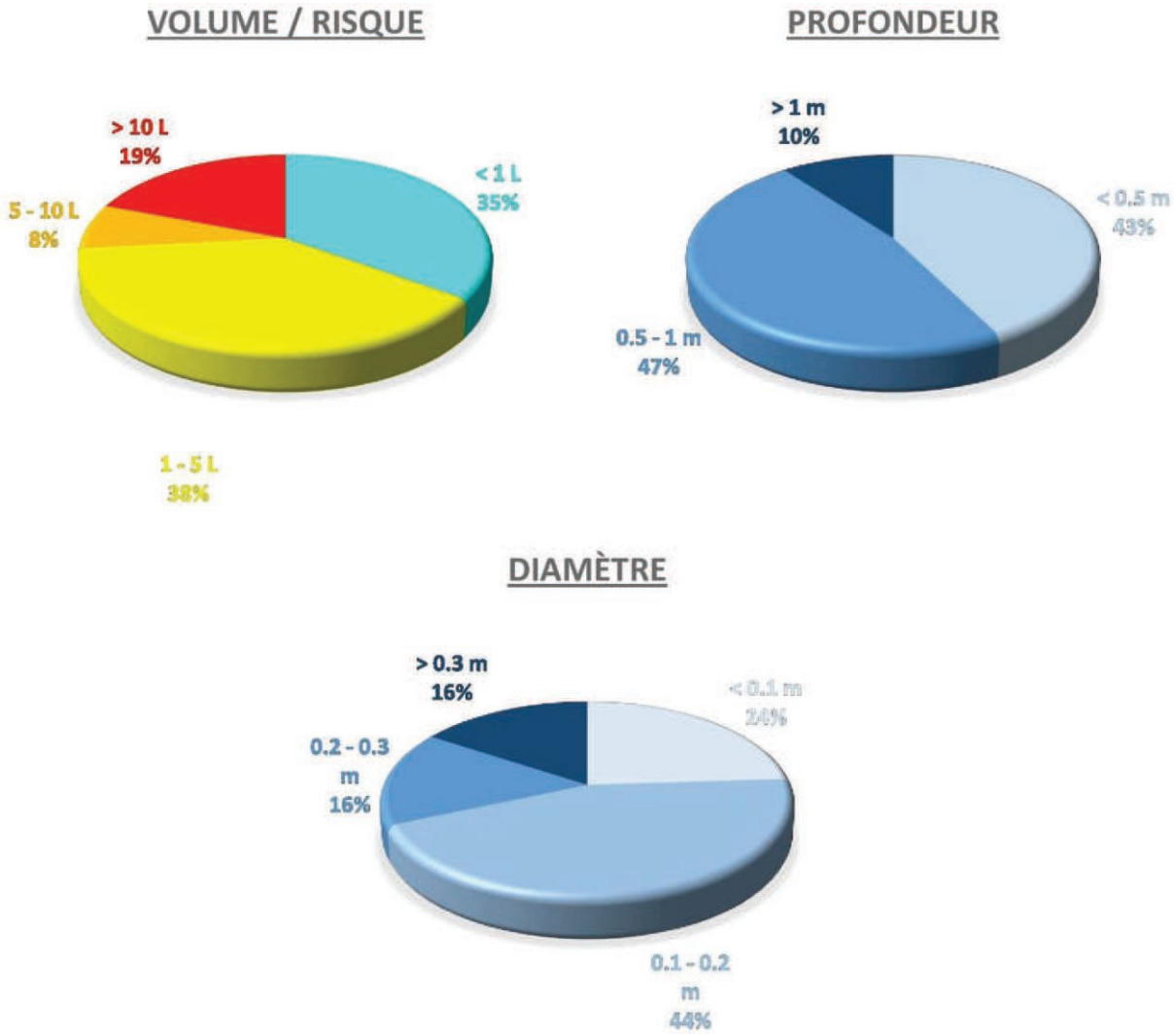


Planche 3 : Synthèses des caractéristiques des anomalies

8 CONCLUSION

L'analyse de l'ensemble des anomalies ferromagnétiques des zones diagnostiquées sont au nombre de 146. Celles-ci ont des caractéristiques correspondantes à celles d'objets pyrotechniques susceptibles d'être découvert sur ce site. Ces cibles ont des volumes allant de 0.01 à 219.58 litres. Ces anomalies se situent à des profondeurs d'enfouissement estimées entre -0,03 m et – 1,42 mètres.

Nous rappelons que la mise au jour de cible ferromagnétique, reste actuellement le seul mode opératoire fiable pour l'identification des objets enfouis. Actuellement aucun moyen technique et/ou matériel ne permet d'affirmer la vraie nature d'une anomalie magnétique.

Les zones considérées comme saturées représentent environ **30%** de la surface diagnostiquée. Dans le cas présent, elles peuvent être liées à la présence de pollution anthropique, de suspicion de canalisation ou bien à la présence de nombreuses cibles resserrées. Ces zones ne peuvent pas être analysées et la présence, ou l'absence, d'objets enfouis ne peut pas être établie.

La présence d'objets pyrotechniques est possible vu le contexte historique du site. Des solutions s'avèrent envisageables pour répondre à la problématique pyrotechnique lors de vos futurs travaux nécessitant une action intrusive dans le sol.

- Pour les cibles retenues :

Une mise au jour de chacune des cibles reste le seul moyen de connaitre la vraie nature de l'objet enfoui. Il conviendrait que cette phase d'opération soit menée par un opérateur compétent dans le domaine et le cadre réglementaire de la dépollution, et devra être traitée au cas par cas en fonction de la nature de l'objet découvert. Il faut également prendre en compte qu'une munition peut être présente sous une cible mise au jour (cible de juxtaposition). Par ailleurs, la superposition de cible n'est pas visible à l'analyse du diagnostic du fait de l'effet de masque.

- Pour les zones saturées :

Nous préconisons que les travaux dans ces zones soient réalisés en présence d'un opérateur pyrotechnique qui assurerait un contrôle visuel en pied de pelle à chaque coup de godet et assurerait ainsi la sécurité des personnes.

Pour tous les travaux et/ou activités et qui seraient initiées sans opération préalable de dépollution pyrotechnique, nous préconisons qu'à minima, une surveillance pyrotechnique soit opérée, par la présence d'un opérateur en dépollution pyrotechnique mis en pied de pelle.

9 ANNEXE 1 : MAGNETOMETRIQUE

9.1 *Détection des éléments métalliques*

La méthode de détection utilisée sur ce chantier est la magnétométrie, basée sur la mesure du champ magnétique terrestre. La présence d'objets ferromagnétiques provoque une anomalie, c'est-à-dire une déviation du champ magnétique terrestre. Le traitement des mesures permet de localiser et éventuellement de caractériser les objets induisant ces anomalies.

Les matériels employés sont présentés ci-après avec leurs caractéristiques.

Couverture des mesures :

Les conditions optimales pour la réalisation d'enregistrements sont :

- un terrain ne possédant aucune superstructure ou infrastructure,
- un terrain exempt de végétation,
- un relief quasi nul,
- aucune présence de véhicule ou engins à proximité,
- une réception satellite maximale,
- l'absence de tous champs électrique,
- l'absence d'orage.

9.2 *Principe de la gradiométrie*

La gradiométrie ici mise en œuvre, consiste à appliquer la magnétométrie avec deux senseurs sur chacune des sondes. On peut ainsi étudier la variation du champ magnétique selon certaines directions. En mesure terrestre, on met le plus souvent en œuvre une gradiométrie verticale, les deux senseurs étant disposés sur le même axe vertical.

Les performances de la gradiométrie peuvent être influencées la nature géologique du substratum. En revanche, une forte densité en petits éléments métalliques épars peut être très pénalisante pour la profondeur maximale de détection d'un objet donné (« bruit de fond » magnétique).

9.3 *Le champ magnétique*

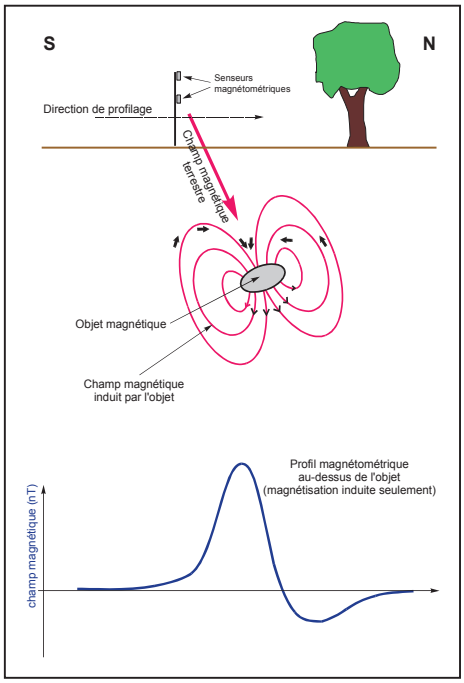
Le champ magnétique terrestre peut être comparé à un aimant. Le champ est un vecteur caractérisé par :

- son intensité, mesurée en nT (nano Tesla) ;
- son inclinaison (angle par rapport à l'horizontale) ;
- sa déclinaison (angle par rapport au Nord géographique).

L'intensité du champ magnétique terrestre est comprise entre 30000 nT environ à l'équateur magnétique et 60000 nT environ au pôle. L'inclinaison varie de 0° à l'équateur à 90° au pôle. Dans la zone étudiée, l'intensité est de l'ordre de 47.000 nT et l'inclinaison environ 60°. La déclinaison est faible.

Le champ ne reste pas constant : il existe de très lentes variations de déclinaison, des variations d'intensité à court terme qui oscillent autour de quelques dizaines de nT durant la journée, ainsi que des orages magnétiques qui produisent des variations de plusieurs centaines de nT, qui peuvent nécessiter le calage fréquent des appareils de mesure.

La figure suivante illustre le principe de la gradiométrie terrestre :



Principe de la gradiométrie terrestre

(Schéma valable sous latitudes de 50°N environ).