



GEOMINES

E.O.D - I.E.D. Consulting

TRAVAUX SOUS-MARINS

Rapport Final : Bois Sacré Bregaillon
Diagnostic de pollution pyrotechnique
La Seyne Sur Mer(83)



GEOMINES S.A.S. - ZA les Playes
142, rue des technologies
83140 Six Fours Les plages - France

Tél : 33. (0)4. 98. 00. 38. 28.
Fax : 33. (0)4. 94. 06. 05. 36.

E-mail : info@geomines.com

Bois Sacré Bregailon
Diagnostic de pollution pyrotechnique

La Seyne Sur Mer(83)

SOMMAIRE

1	RAPPEL DE LA SITUATION	3
1.1	Travaux à réaliser	3
2	DESCRIPTION DE L'OPERATION.....	4
2.1	A terre	4
2.1.1	Une base station.....	4
2.2	Sur le bateau pour la phase d'acquisition	4
2.2.1	Pénétrateur de sédiments.....	4
2.2.2	Side Scan Sonar.....	4
2.2.3	G 882 « détecteur au vapeur de césium ».....	5
3	POST-TRAITEMENT DE DONNEES MAGNETIQUES ET DE PENETRATEUR DE SEDIMENTS.....	6
3.1	CAMPAGNE GÉOPHYSIQUE ET QUALIFICATION DES DONNÉES	6
3.1.1	Localisation de la zone d'étude.....	6
3.1.2	Equipements et format des données brutes recueillies	6
3.1.3	Mesures magnétiques.....	6
3.1.4	Mesures au pénétrateur de sédiments.....	7
4	TRAITEMENT DES DONNÉES, CARTOGRAPHIES ET INTERPRÉTATION	9
4.1	Données magnétiques.....	9
4.1.1	Gestion des fichiers.....	9
4.1.2	Traitement des données magnétiques brutes	9
4.1.3	Cartographies et inversion des données par le procédé Magsalia	9
4.2	Données issues du pénétrateur de sédiments	12
5	INTERPRÉTATION CONJOINTE DES DONNÉES	12
6	CONCLUSION.....	16
7	ANNEXES.....	17
8	MATERIELS UTILISES	32
8.1	Pénétrateur de sédiments	32
8.2	Side Scan Sonar « Klein 3900 ».....	33
8.3	Magnétomètre G882.....	34

CONFIDENTIEL

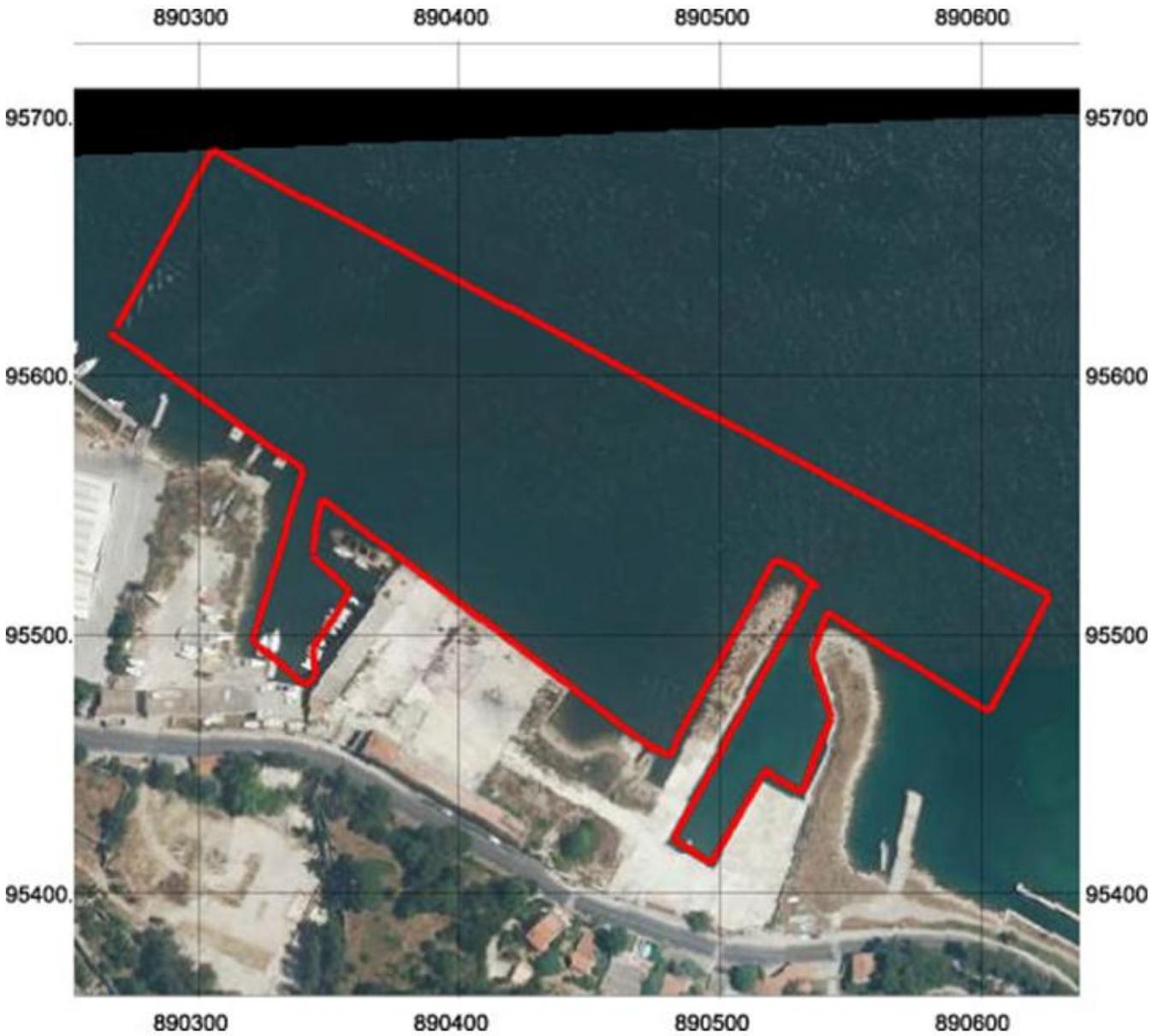
Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation sous quelque forme que ce soit, sont interdits, sauf autorisation du producteur de l'œuvre.

Copyright : GEOMINES

1 RAPPEL DE LA SITUATION

1.1 TRAVAUX A REALISER

Dans le cadre du projet Monaco marine sur le site de Bregailon , GEOMINES a été mandatée par GEOTEC pour une opération de diagnostic de pollution sur une emprise de 3.6 ha sur une profondeur de 10 m.



2 DESCRIPTION DE L'OPERATION

Pour répondre aux objectifs de la mission, il a été mis en place :

2.1 A TERRE

2.1.1 Une base station

Cette base station est constituée d'un détecteur magnétométrique G858 qui enregistre en permanence le champ magnétique terrestre. Les mesures recueillies mettent en évidence les variations du champ magnétique dues à l'activité solaire. Ces variations sont retranchées aux données magnétométriques de la détection magnétométrique.

2.2 SUR LE BATEAU POUR LA PHASE D'ACQUISITION

2.2.1 Pénétrateur de sédiments

Le pénétrateur de sédiment est un instrument de mesure qui permet de sonder les sédiments et propose une cartographie par tranche. Il émet des ondes à basse fréquence qui pénètrent sur plusieurs mètres dans les sédiments avant d'être renvoyés en surface. Habituellement utiliser pour distinguer les différentes couches géologiques, il est possible de détecter des structures enfouies, en particulier les épaves. On obtient des bons résultats pour les faibles profondeurs.

Le pénétrateur de sédiment est particulièrement adapté lorsque le nombre d'objets enfouis est important ou lorsque le contexte environnemental est bruité magnétiquement. La précision du système permet d'être un outil d'aide à la décision complémentaire à la cartographie magnétométrique.

C'est à partir de la passe croisée d'informations entre les cibles magnétiques issues du procédé Magsalia et celles du pénétrateur de sédiment qu'il sera possible de différencier les échos et se diriger vers les cibles d'intérêts. Dans le cas précis des UXO, il est important de coupler différents types d'équipements et de traitements pour offrir à la maîtrise d'ouvrage une cartographie robuste.

Les atouts du pénétrateur de sédiment sont :

- Précision décimétrique de la localisation des objets.
- Adapté au diagnostic d'objets enfouis dans la vase.
- Détection de micro-failles.
- Détection de couches géologiques.

Traitement des données du pénétrateur de sédiment et présentation des résultats :

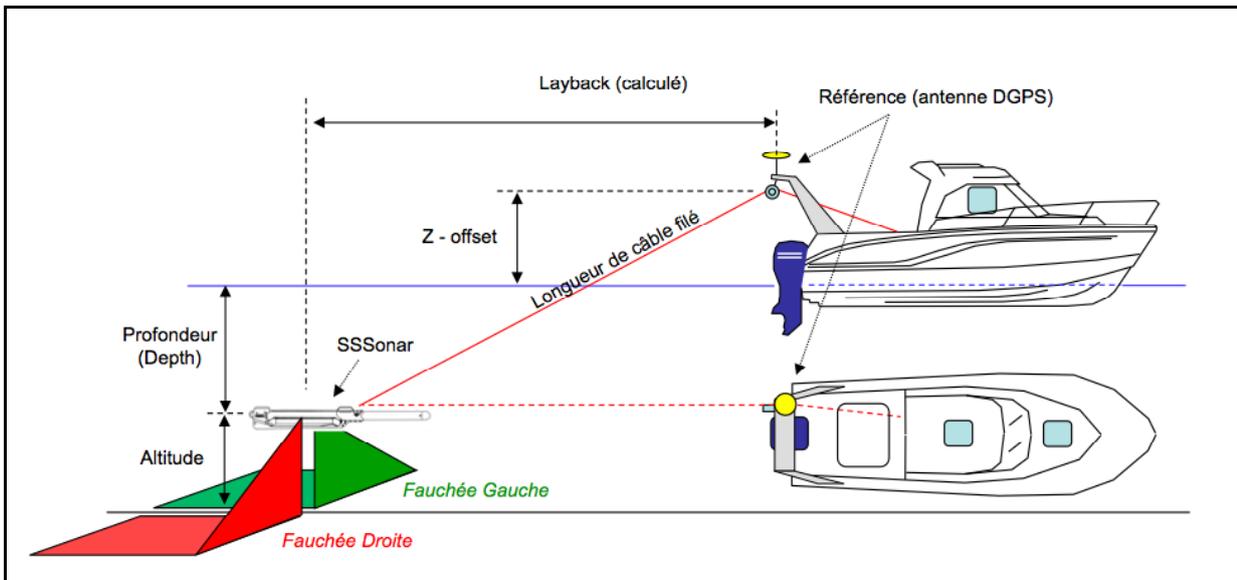
Les données enregistrées par le pénétrateur de sédiment sont exportées en format ASCII et permettent après traitement de localiser des cibles de permittivité diélectrique variée, donc de distinguer aussi des objets discrets. Le recoupement de l'ensemble des données (profils longitudinaux et transversaux) permettent une visualisation en 3D des structures pour une meilleure interprétation des structures sous-jacentes. Des animations en fonction de la profondeur sont également mises en place (décapages horizontaux successifs depuis la surface jusqu'à la profondeur investiguée lors des mesures).

Grace au traitement combiné des données magnétiques, sonar et pénétrateur de sédiment, nous éliminerons les faux échos et les cibles non magnétiques, obtenant des résultats très précis.

2.2.2 Side Scan Sonar

Le sonar latéral (Side Scan Sonar, détecteur acoustique) permet de visualiser les objets qui sont posés sur le fond.

Voici la configuration qui a été adoptée durant la détection.



La zone a été couverte par profils espacés de 15m.

2.2.3 G 882 « détecteur au vapeur de césium »

Le magnétomètre est un appareil passif qui mesure en permanence son environnement magnétique. L'interprétation des données enregistrées permet de réaliser une cartographie et de mettre en évidence les anomalies magnétiques qui sont posées sur le fond et enfouies dans le sédiment jusqu'à 10 mètres de profondeur et de les positionner en X,Y,Z.

Avant toute détection, nous procédons à la calibration de nos détecteurs sur une cible connue. Cette cible est pré positionné avant les opérations et remontée aussitôt après la validation de la calibration.

Les capteurs utilisés sont des Magnétomètres à vapeur de Césium GEOMETRICS Type G-882.

Dans le cas qui nous concerne, faisant état d'une sursaturation, les datas acquises en magnétométrie doivent être les plus complètes possible, soit :

- Une largeur de passe de 5 m.
- Un enregistrement simultané en synchronisation à la seconde près sur 2 magnétomètres dont 1 sous-marins et 1 en station de base à terre en charge d'enregistrer les variations diurnes et les anomalies locales dues aux émissions diverses du site.

Ces datas qui ont été acquises seront nécessaires au traitement Tomographique 3D des mesures en laboratoire spécialisé.



Magnétomètre type G882

3 POST-TRAITEMENT DE DONNÉES MAGNÉTIQUES ET DE PÉNÉTRATEUR DE SÉDIMENTS

L'objectif du travail commandé à TELLUS ENVIRONNEMENT comprend le traitement des données et leur interprétation en réponse aux besoins du client. L'objet du traitement des données est une exploitation des données magnétométriques par le procédé Magsalia, système expert exploité exclusivement par TELLUS ENVIRONNEMENT pour caractériser toutes les cibles répertoriées. L'enjeu est de positionner ces anomalies magnétiques d'intérêt sur la dite surface.

Ce rapport commence par une qualification des données brutes récoltées. Est abordé ensuite le traitement des données brutes et son résultat en termes de cartographie fine et tridimensionnelle des anomalies magnétiques présentes sur la zone prospectée. S'ensuit l'interprétation conjointe des résultats et la conclusion quant à la détection des cibles dites « d'intérêt ».

3.1 CAMPAGNE GÉOPHYSIQUE ET QUALIFICATION DES DONNÉES

3.1.1 Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude concerne le quai des chantiers de Brégaillon.

L'emprise concernée est délimitée en rouge sur la § 1. Elle s'étend globalement de X=890250 à 890650 et de Y=95400 à 95700 (dans ce rapport, les coordonnées sont exprimées en NTF (Paris)/Lambert zone III).

3.1.2 Equipements et format des données brutes recueillies

Trois types de mesures ont été réalisés sur la zone d'étude : des mesures au sonar, au magnétomètre et au pénétrateur de sédiments.

les cibles visibles et non pyrotechniques issues de l'imagerie SSS telles que des pneus ou autres ont permis leur exclusion des cibles potentielles.

3.1.3 Mesures magnétiques

Le matériel utilisé en mer est un magnétomètre à vapeur de césium G882 (Geometrics) dont la fréquence d'enregistrement est de 10 Hz, soit 10 mesures par seconde. Chaque profil est espacé de 5 m. Le positionnement est assuré par un DGPS RTK dont la fréquence d'enregistrement est de 1 Hz, soit 1 mesure par seconde.

Les données brutes nous ont été transmises sous forme de fichiers texte (.RAW) regroupés par profil, soit 50 fichiers au total datés du 13 octobre 2014 et dont la liste est la suivante :

Date survey	Fichier brut
13 octobre 2014	000_1027.RAW 000_1028.RAW 001_1029.RAW 003_1923.RAW 004_1920.RAW 005_1748.RAW 005_1910.RAW 005_1913.RAW 005_1917.RAW 006_1526.RAW 006_1750.RAW 006_1906.RAW 007_1534.RAW 007_1536.RAW 007_1744.RAW 007_1902.RAW 008_1541.RAW 008_1741.RAW 008_1746.RAW 008_1854.RAW 008_1859.RAW

009_1546.RAW
009_1850.RAW
010_1550.RAW
010_1843.RAW
010_1847.RAW
011_1554.RAW
011_1840.RAW
012_1836.RAW
013_1832.RAW
014_1830.RAW
015_1827.RAW
016_1824.RAW
017_1821.RAW
018_1817.RAW
019_1814.RAW
020_1810.RAW
021_1806.RAW
022_1803.RAW
023_1758.RAW
024_1758.RAW
030_1735.RAW
031_1730.RAW
032_1726.RAW
033_1722.RAW
034_1717.RAW
035_1713.RAW
036_1710.RAW
037_1706.RAW
038_1701.RAW

Parmi ces 50 fichiers, cinq ont été éliminés du fait de leur petite taille ou d'un mauvais positionnement en XY, à savoir : 000_1027, 000_1028, 000_1029, 007_1536, 024_1758.

La lecture des fichiers texte fournis se fait comme suit :

SMI 1	69840.284	5	46246.024	20768173.460	1.004	20768174.464	0.110	
POS 0	69840.248	7	36366.037	4776465.725				position du bateau en UTM31
QUA 0	69840.248	7	9.200	0.800	10.000	2.000	0.000	0.000
RAW 0	69840.248	4	430624.31438	55428.33107	50.84000	172403.00000		position du bateau en WGS84 (DM)
MSG 0	69840.248		\$GPGGA,172403.00,4306.24314379,N,00554.28331072,E,2,10,0.8,1.796,M,49.044,M,4.0,0120*4E					
MSG 0	69840.341		\$GPVTG,115.07,T,M,4.08,N,7.55,K,D*31					
POS 2	69840.429	7	36355.341	4776471.462				position du bateau corrigée du layback en UTM31 :
GYR 2	69840.429		122.396					
CAB 2	69840.429	6	15.000	12.150	0.810	0.000	0.000	0.000
EC2 1	69840.384		46246.164 20761280.514					
SMI 1	69840.384	5	46246.164	20761279.460	1.054	20761280.514	0.140	

↑	↑	↑	↑	↑
temps (s) depuis le 31/10/14 à minuit	valeur champ magnétique total (nT)	hauteur de survol (m)	immersion (m)	profondeur (m)

3.1.4 Mesures au pénétrateur de sédiments

Des mesures au pénétrateur de sédiments ont été effectuées le 9 octobre 2014 . Le matériel est un sondeur SES-2000 (Innomar) utilisé à différentes fréquences (de 4 à 15kHz). Les données brutes nous ont été transmises sous forme de sismogrammes au format SEG-Y, le long de 32 lignes espacées de 5 m environ. Pour chaque ligne de survey, des mesures à basse (LF) et haute fréquences (HF) d'émission ont été effectuées. Chaque ligne de survey comprend donc 2 profils. Voici leur liste :

Date survey pénétrateur de sédiments	Fichier brut
9 octobre 2014	Geomines_09102014133704SES_HF Geomines_09102014133704SES_LF Geomines_09102014133948SES_HF Geomines_09102014133948SES_LF Geomines_09102014134254SES_HF Geomines_09102014134254SES_LF Geomines_09102014134517SES_HF Geomines_09102014134517SES_LF Geomines_09102014134702SES_HF Geomines_09102014134702SES_LF Geomines_09102014134834SES_HF Geomines_09102014134834SES_LF Geomines_09102014134955SES_HF Geomines_09102014134955SES_LF Geomines_09102014135108SES_HF Geomines_09102014135108SES_LF Geomines_09102014135238SES_HF Geomines_09102014135238SES_LF Geomines_09102014135359SES_HF Geomines_09102014135359SES_LF Geomines_09102014143021SES_HF Geomines_09102014143021SES_LF Geomines_09102014143315SES_HF Geomines_09102014143315SES_LF Geomines_09102014143629SES_HF Geomines_09102014143629SES_LF Geomines_09102014143911SES_HF Geomines_09102014143911SES_LF Geomines_09102014144209SES_HF Geomines_09102014144209SES_LF Geomines_09102014144507SES_HF Geomines_09102014144507SES_LF Geomines_09102014144854SES_HF Geomines_09102014144854SES_LF Geomines_09102014145149SES_HF Geomines_09102014145149SES_LF Geomines_09102014145546SES_HF Geomines_09102014145546SES_LF Geomines_09102014145837SES_HF Geomines_09102014145837SES_LF Geomines_09102014150231SES_HF Geomines_09102014150231SES_LF Geomines_09102014150524SES_HF Geomines_09102014150524SES_LF Geomines_09102014151140SES_HF Geomines_09102014151140SES_LF Geomines_09102014151432SES_HF Geomines_09102014151432SES_LF Geomines_09102014151815SES_HF Geomines_09102014151815SES_LF Geomines_09102014152123SES_HF Geomines_09102014152123SES_LF Geomines_09102014152508SES_HF Geomines_09102014152508SES_LF Geomines_09102014153226SES_HF Geomines_09102014153226SES_LF Geomines_09102014153628SES_HF Geomines_09102014153628SES_LF Geomines_09102014153852SES_HF Geomines_09102014153852SES_LF Geomines_09102014154145SES_HF Geomines_09102014154145SES_LF Geomines_09102014154434SES_HF

Un exemple de sismogramme brut est montré sur la figure 2 (ligne 09102014144209SES à basse fréquence). Il traduit les variations d'impédance acoustique le long du profil en fonction du nombre d'échantillons utilisé lors de l'acquisition des données qui se traduit en terme de temps d'aller-retour de l'onde émise et donc de profondeur.

4 TRAITEMENT DES DONNÉES, CARTOGRAPHIES ET INTERPRÉTATION

4.1 DONNEES MAGNETIQUES

Les opérations de traitement des données magnétiques brutes ont été définies comme suit :

- Gestion des fichiers,
- Traitement des données,
- Mise en carte et inversion par le procédé Magsalia.

4.1.1 Gestion des fichiers

La première étape du travail effectué concerne la mise en forme des données brutes. Il s'agit d'extraire des fichiers .RAW les données nécessaires à l'élaboration de cartes de champ, à savoir le temps, les coordonnées de la position bateau et du magnétomètre, les valeurs d'altitude et d'immersion du magnétomètre et les valeurs du champ magnétique.

La partie lecture crée donc des fichiers textes dont les coordonnées en X et Y sont exprimés en Lambert zone III. Ces fichiers nous permettent dans un premier temps de tracer les positions du bateau et du magnétomètre comme indiquées sur la figure 3.

Les mesures ayant été effectuées sans USBL, la position du magnétomètre a été recalculée par Hypack à partir de celle du bateau grâce au layback (inférieur à 20 m, avec une moyenne de 15 m sur l'ensemble du survey). La position du bateau est globalement correcte sur l'ensemble du survey mais les lignes perpendiculaires à la côte pour le magnétomètre sont mal calculées et ont nécessité un recalcul de leur position en prenant un layback moyen de 15 m. Les positions du bateau et du magnétomètre après correction sont illustrées sur la figure 4.

4.1.2 Traitement des données magnétiques brutes

La différence d'échantillonnage est différente entre le GPS du bateau et les valeurs de champ issues du magnétomètre (fréquence d'échantillonnage 10 fois plus grande pour le magnétomètre que pour la position). Il a donc été décidé de synchroniser ces deux types de données à l'aide du temps, puis d'interpoler pour caler les positions du magnétomètre sur les valeurs de champ. Chaque fichier enregistré lors de la prise de mesure correspond à une ligne du survey. Le survey magnétique comprend au total 50 lignes dont 5 ne sont pas utilisables (cf 2.2.1).

Les mesures ayant été réalisées dans un environnement perturbé (quais, pontons et bateaux amarrés pour les objets en fer les plus gros), il a été décidé d'éliminer ligne par ligne les valeurs du champ qui croissent et décroissent lentement, et qui font partie de ce que l'on nommera les valeurs aberrantes.

Les calculs de champ sont effectués pour une altitude de 2 m sur l'ensemble du survey, sachant qu'une altitude moyenne de 2,25 m a été calculée à partir des données.

4.1.3 Cartographies et inversion des données par le procédé Magsalia

La gestion des fichiers des données brutes permet d'établir dans un premier temps une carte du champ magnétique brut (Figure 5, avant correction pour la position du magnétomètre pour les lignes perpendiculaires à la côte). Cette carte brute n'est pas bien lisible. Les traitements énoncés ci-dessus sont donc appliqués aux valeurs de champ brut. La carte correspondante est montrée sur la figure 6. Celle-ci est caractérisée par la présence de gros dipôles à proximité des quais, bateaux amarrés et pontons, au sud du survey. Au cœur du survey, certains dipôles plus ponctuels apparaissent, ce sont eux qui nous intéresseront le plus.

Une fois l'établissement de la carte de champ traité et géoréférencé, les données sont inversées via l'utilisation de notre système expert Magsalia. Ce logiciel interne de traitement de données géophysiques est breveté par l'Université de Bretagne Occidentale et exploité exclusivement par TELLUS ENVIRONNEMENT. Il permet, par résolution mathématique du problème inverse, de localiser en 3 dimensions des anomalies à partir d'une mesure magnétique. Il offre l'avantage de fournir une richesse d'informations supplémentaires à la cartographie 2D classiquement utilisée en produisant des tomographies qui permettent d'avoir une information fiable sur la localisation des anomalies positives comme négatives, et leur équivalent de masse de fer pur.

Les indices de localisation et de pesage ont été choisis en fonction des besoins du client, à savoir la recherche de munitions. Cela implique donc des objets ponctuels dans l'espace ainsi qu'une quantité de fer relativement importante. Dans cet objectif, les indices de localisation ont été choisis à 0.80, 0.60 et 0.40, sachant que plus l'indice de localisation est élevé, meilleure est la localisation, c'est-à-dire que plus l'objet est ponctuel, et inversement. Les indices de pesage ont été choisis à 10, 50 et 100 kg de fer pur. Pour la représentation des indices de localisation comme pour ceux de pesage, un code de 3 couleurs est utilisé : plus l'indice est grand, plus il est représenté avec une couleur foncée sur les cartes. Le principe des tomographies est aussi de représenter ces 3 couleurs avec un effet de transparence afin de distinguer les indices les plus faibles mais aussi les plus forts sur la même image.

Les tomographies de localisation et de pesage pour les anomalies positives et négatives sont présentées sur les figures 7 à 10. A partir de ces tomographies, une liste de cibles potentiellement intéressantes a été établie pour un indice de localisation au moins supérieur à 1/3 et une masse de fer pur au moins supérieure à 5 kg. Au total, 102 cibles ont été détectées (Figure 11). Parmi ces 102 cibles, certaines correspondent à la même anomalie du fait de l'automatisation de la sélection des cibles. Un regroupement est alors effectué. Ensuite, les anomalies clairement pollués magnétiquement par la côte (à proximité directe d'un ponton, d'un quai,...) ont été éliminées. Elles sont au nombre de 22. Une liste de 45 cibles a finalement été établie (Figure 12 et tableau ci-dessous)

Remarque : la petite la zone la plus au sud-ouest du survey (petit port) n'a pas montré beaucoup d'anomalies par rapport aux autres zones du survey du fait d'une trop grande étroitesse mais surtout du recalcul de la position du poisson à partir de celle du bateau et d'un layback moyenné à 15 m.

Numéro anomalie	X (Lambert Zone III)	Y (Lambert Zone III)	Profondeur (m) par rapport au fond bathymétrique*	Indice de localisation**	Indice de pesage (kg)
1	890303.929	95595.66	-2.74	0.79	44
2	890318.369	95659.77	-10	-0.59	9
3	890338.317	95549.97	+0.76	0.7	187
4	890344.151	95569.01	-4	-0.42	136
5	890343.498	95529.02	+1	+0.34	17
6	890392.415	95537.44	-3.5	+0.5	9
7	890393.267	95554.44	-4	+0.5	23
8	890400.291	95551.5	-3.16	-0.65	36
9	890405.177	95564.54	-5	+0.63	7
10	890409.297	95550.58	-0.46	+0.64	20
11	890412.348	95544.61	-2.5	+0.64	30
12	890417.425	95535.66	-3.25	+0.56	18
13	890417.208	95560.65	-4	-0.52	12
14	890422.492	95527.7	-4.15	+0.49	8
15	890423.319	95547.7	-1.88	-0.66	28

16	890426.613	95513.74	-1.32	+0.47	26
17	890430.334	95545.77	-4.5	-0.57	24
18	890436.211	95559.81	-3	+0.56	7
19	890439.479	95528.85	-7.5	+0.5	10
20	890437.846	95601.82	-4.5	+0.68	7
21	890440.574	95517.86	-5.61	-0.48	25
22	890445.39	95538.9	-11.5	-0.52	6
23	890450.892	95480.96	+0.37	+0.4	71
24	890460.802	95491.04	-3.04	-0.53	23
25	890459.542	95521.02	-4.08	-0.56	15
26	890461.923	95477.05	+0	-0.36	38
27	890468.757	95496.11	-3.54	-0.62	61
28	890468.661	95507.11	-2.17	+0.6	39
29	890470.877	95482.13	-1.92	-0.54	15
30	890471.825	95488.14	-1.65	+0.45	30
31	890472.591	95515.14	-4.65	-0.77	11
32	890508.346	95542.44	-4.5	-0.47	10
33	890511.178	95446.49	-0.23	-0.46	417
34	890514.09	95456.51	-3.55	+0.45	189
35	890518.959	95471.55	-2.76	-0.38	11
36	890520.045	95461.56	-2	+0.42	14
37	890522.906	95477.58	-1.43	+0.49	20
38	890524.862	95482.6	+0.5	+0.49	20
39	890535.46	95528.68	+0.5	+0.48	22
40	890536.26	95551.68	-5	-0.46	7
41	890542.527	95520.74	+0.41	+0.55	112
42	890542.206	95557.73	-4.51	-0.42	8
43	890545.422	95532.77	-1.1	+0.53	24

44	890557.453	95528.87	+0.5	+0.69	55
45	890569.363	95538.97	-4	-0.5	5

* Le signe « + » (respectivement le signe « - ») indique que la cible se situe au-dessus (respectivement en-dessous) du fond bathymétrique d'autant de mètres verticalement qu'indiqués.

** Le signe « + » (respectivement le signe « - ») indique la polarité de l'anomalie magnétique.

4.2 DONNEES ISSUES DU PENETRATEUR DE SEDIMENTS

La figure 13 présente les lignes de survey réalisées au pénétrateur de sédiments.

Les données brutes issues du pénétrateur de sédiments ont été exploitées en termes d'amortissement et de déphasage d'onde, ainsi que de réflectance. L'ensemble des profils a été assemblé afin de réaliser des « découpes horizontales » de la zone couverte en fonction de la profondeur. Les cartes d'amortissement donnent une meilleure lecture des anomalies présentes. Nous avons donc travaillé essentiellement à partir d'elles.

La détection des objets se fait par contraste avec leur environnement. Typiquement, un matériau qui absorbera davantage les ondes, donc qui montrera un amortissement plus fort, paraîtra en blanc sur les cartes d'amortissement, et inversement pour un matériau qui transmettra davantage les ondes. Un matériau riche en métal, qui plus est en fer telles que des munitions, sera caractérisé par un amortissement plus fort.

5 INTERPRÉTATION CONJOINTE DES DONNÉES

Afin de mieux cibler les objets recherchés, la concaténation des données magnétiques, de pénétrateur de sédiments et de sonar a été effectuée via un SIG.

Notre stratégie a consisté à superposer les cibles magnétiques sur les cartes d'amortissement issues du pénétrateur de sédiments, puis avec les cibles sonar afin de tenter de mieux caractériser les cibles présélectionnées à partir de Magsalia. Le tableau ci-dessous est le résultat de cette concaténation. L'interprétation conjointe des 3 types de mesures en termes d'étendue (indice de localisation issu de Magsalia), de masse de fer pur (indice de pesage issu de Magsalia), de profondeur et d'environnement permet d'estimer si les anomalies considérées sont susceptibles de correspondre ou non aux objets recherchés par le client, à savoir des munitions. Quelques exemples de cibles détectées sur les cartes d'amortissement sont présentées figure 15.

L'interprétation conjointe des données nous a permis de classer les cibles présélectionnées en 2 catégories :

- les cibles classées en « Risque - » : ces cibles sont caractérisées par un environnement relativement pollué (dans cette étude présence entre 10 à 20 m d'infrastructures portuaires) et/ou par leur alignement le long de lignes de survey avec une alternance pôle +/pôle -. C'est typiquement le cas des anomalies 7, 8, 10, 11, 12, 14 alignées le long d'une ligne de survey, ainsi que les anomalies 15 et 17, puis 9 et 13. L'alternance pôle +/pôle - rappelle les anomalies magnétiques aux abords des quais. Ce type de signal se voit aussi généralement lors de la présence de canalisations ou de câbles électriques (alignement entre les cibles 10 et 16 ?). Dans le cas de cibles proches des infrastructures portuaires, la localisation est souvent assez basse (0.35 à 0.4) et la masse peut être importante (exemple de la cible 4). Les cibles alignées le long de profils sont souvent bien localisées (indices autour de 0.65), leur poids est moyen et la profondeur estimée est de l'ordre de 3 à 4 m. Les cibles pouvant correspondre à des obstructions sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

- les cibles classées en « Risque + » : par rapport à leur environnement, ces cibles sont en général mieux isolées par rapport aux infrastructures portuaires. Cela est moins vrai pour les cibles 36 à 38 situées dans la partie sud-est du survey, mais dans ce cas des dipôles bien formés sont visibles sur la carte 2D du champ magnétique, d'où leur sélection. Parmi les cibles sélectionnées dans cette rubrique deux d'entre elles ont été détectées au sonar. Il s'agit des cibles 20 et 41 en magnétisme, qui correspondent respectivement au sonar aux cibles 8 et 11

(Figure 16). La cible 20 est bien isolée, tandis que la cible 41 se trouve au nord-est du survey parmi d'autres dipôles détectés par Magsalia : il s'agit du groupement des cibles 39, 41, 43 et 44. Malgré une certaine proximité de la digue, cet amas de cibles indique clairement la présence d'objets surfaciques, voire dans le premier mètre sous le fond bathymétrique, qui correspondent probablement à des obstructions à prendre en compte par le client.

La figure 17 présente la localisation des cibles classées en « risque - » et « risque + » sur la carte de champ magnétique traité.

Numéro anomalie	X (Lambert Zone III)	Y (Lambert Zone III)	Magsalia (magnétométrie)		Sonar	Pénétrateur de sédiments	Profondeur par rapport au fond bathymétrique**	Environnement***	Interprétation conjointe
			Indice de localisation*	Indice de pesage (kg)					
1	890303.929	95595.66	0.79	44	Non	Hors survey	-2.74	Non loin du quai (15m)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque -
2	890318.369	95659.77	-0.59	9	Non	Faible amortissement	-10	Isolée	Risque -
3	890338.317	95549.97	0.7	187	Non	Hors survey	+0.76	Non loin du quai (15m)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque -
4	890344.151	95569.01	-0.42	136	Non	Hors survey	-4	Non loin du quai (20m)	Risque -
5	890343.498	95529.02	+0.34	17	Non	Hors survey	+1	Non loin d'un bateau amarré (10m)/ Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque -
6	890392.415	95537.44	+0.5	9	Non	Hors survey	-3.5	Non loin du quai (15m)	Risque -
7	890393.267	95554.44	+0.5	23	Non	Hors survey	-4	Moyennement isolée (30m du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
8	890400.291	95551.5	-0.65	36	Non	Hors survey	-3.16	Moyennement isolée (30m du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque- (obstruction ?)
9	890405.177	95564.54	+0.63	7	Non	Hors survey	-5	Assez bien isolée (45m du quai) Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
10	890409.297	95550.58	+0.64	20	Non	Hors survey	-0.46	Moyennement isolée (30m du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
11	890412.348	95544.61	+0.64	30	Non	Hors survey	-2.5	Moyennement isolée (30m)	Risque –

								du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	(obstruction ?)
12	890417.425	95535.66	+0.56	18	Non	Hors survey	-3.25	Moyennement isolée (30m du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
13	890417.208	95560.65	-0.52	12	Non	Hors survey	-4	Assez bien isolée (45m du quai) / Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
14	890422.492	95527.7	+0.49	8	Non	Hors survey	-4.15	Moyennement isolée (25m du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
15	890423.319	95547.7	-0.66	28	Non	Hors survey	-1.88	Moyennement isolée (30m du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
16	890426.613	95513.74	+0.47	26	Non	Hors survey	-1.32	Non loin du quai/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
17	890430.334	95545.77	-0.57	24	Non	Hors survey	-4.5	Moyennement isolée (30m du quai)/Alignement avec d'autres anomalies le long d'une ligne de survey	Risque – (obstruction ?)
18	890436.211	95559.81	+0.56	7	Non	Hors survey	-3	Assez bien isolée (60m du quai)	Risque +
19	890439.479	95528.85	+0.5	10	Non	Hors survey	-7.5	Moyennement isolée (30 du ponton)	Risque -
20	890437.846	95601.82	+0.68	7	Visible	Point brillant, amortissement fort	-2.5	Isolée	Risque +
21	890440.574	95517.86	-0.48	25	Non	Hors survey	-5.61	Moyennement isolée (30 du ponton)	Risque -
22	890445.39	95538.9	-0.52	6	Non	Hors survey	-11.5	Assez bien isolée (50m du quai)	Risque -
23	890450.892	95480.96	+0.4	71	Non	Hors survey	+0.37	Non loin du quai (10m)	Risque -
24	890460.802	95491.04	-0.53	23	Non	Hors survey	-3.04	Non loin du quai (20m)	Risque -
25	890459.542	95521.02	-0.56	15	Non	Hors survey	-4.08	Assez bien isolée (40m du quai)	Risque +

26	890461.923	95477.05	-0.36	38	Non	Hors survey	+0	Non loin du quai (20m)	Risque -
27	890468.757	95496.11	-0.62	61	Non	Hors survey	-3.54	Moyennement isolée (30m du ponton)	Risque +
28	890468.661	95507.11	+0.6	39	Non	Hors survey	-2.17	Moyennement isolée (30m du ponton)	Risque +
29	890470.877	95482.13	-0.54	15	Non	Hors survey	-1.92	Moyennement isolée (30m du ponton)	Risque +
30	890471.825	95488.14	+0.45	30	Non	Hors survey	-1.65	Moyennement isolée (30m du ponton)	Risque +
31	890472.591	95515.14	-0.77	11	Non	Hors survey	-4.65	Assez bien isolée (50m du ponton)	Risque +
32	890508.346	95542.44	-0.47	10	Non	Amortissement moyen	-4.5	Moyennement isolée (30m du ponton)	Risque +
33	890511.178	95446.49	-0.46	417	Non	Amortissement faible	-0.23	Non loin du quai (5m)	Risque -
34	890514.09	95456.51	+0.45	189	Non	Amortissement faible	-3.55	Non loin du quai (10m)	Risque -
35	890518.959	95471.55	-0.38	11	Non	Amortissement faible	-2.76	Non loin du quai (10m)	Risque -
36	890520.045	95461.56	+0.42	14	Non	Amortissement moyen	-2	Non loin du quai (10m)	Risque +
37	890522.906	95477.58	+0.49	20	Non	Amortissement fort	-1.43	Non loin du quai (10m)	Risque +
38	890524.862	95482.6	+0.49	20	Non	Amortissement fort	+0.5	Non loin du quai (10m)	Risque +
39	890535.46	95528.68	+0.48	22	Non	Amortissement fort	+0.5	Non loin du quai (10m)	Risque +
40	890536.26	95551.68	-0.46	7	Non	Amortissement faible	-5	Moyennement isolée (30 du ponton)	Risque -
41	890542.527	95520.74	+0.55	112	Non	Amortissement fort	+0.41	Non loin du quai (10m)	Risque +
42	890542.206	95557.73	-0.42	8	Non	Amortissement faible	-4.51	Assez bien isolée (40m du quai)	Risque -
43	890545.422	95532.77	+0.53	24	Non	Amortissement fort	-1.1	Non loin du quai	Risque +
44	890557.453	95528.87	+0.69	55	Visible	Amortissement fort	+0.5	Moyennement isolée (30m du quai)	Risque +
45	890569.363	95538.97	-0.5	5	Non	Amortissement moyen	-4	Assez bien isolée (40m du quai)	Risque -

* Le signe « + » (respectivement le signe « - ») indique la polarité de l'anomalie magnétique.

** La profondeur est moyennée et arrondie à 50 cm près à partir des données issues de Magsalia et celles issues du pénétrateur de sédiments. Un intervalle est donné dans le cas où la profondeur estimée varie un peu entre les 2 types de mesures. Le signe « + » (respectivement le signe « - ») indique que la cible se situe au-dessus (respectivement en-dessous) du fond bathymétrique d'autant de mètres verticalement qu'indiqués.

*** On considère comme « isolée » une cible située à au moins 50 m d'une infrastructure portuaire de type quai, ponton ou bateau. Entre 20 et 40 m, on considère une cible moyennement isolée. On ne la considère pas isolée quand elle est à moins de 20 m de telles infrastructures.

6 CONCLUSION

Ce rapport présente les résultats du retraitement de données magnétiques acquises le 13 octobre 2014 par la société Géomines et de données de pénétrateur de sédiments acquises le 9 octobre 2014 par la société Acthyd au niveau de la baie de la Seyne-sur-Mer. L'objectif était de détecter la présence de munitions sur une surface de 36000 m², dans un contexte magnétiquement perturbé.

Le processus de post-traitement de TELLUS ENVIRONMENT consiste à :

- qualifier la donnée (mise en forme, ...)
- appliquer les différentes corrections (suppression des valeurs aberrantes, hauteur du capteur par rapport au fond bathymétrique, corrections du diurne...)
- produire les cartes 2D de champ total (mise en exergue de la géologie, du fond marin,...)
- élaborer par le procédé Magsalia les tomographies (calcul d'un indice de localisation et d'un facteur de pesage, visualisation 3D si nécessaire)
- interpréter par autocritique en superposant les résultats de Magsalia et les cartes 2D filtrées
- définir un nombre de cibles en fonction de la localisation en XYZ et du poids équivalent en masse en fer pur : première liste (épurée des anomalies clairement polluées magnétiquement par l'environnement : quais,...)
- traiter la donnée du pénétrateur de sédiment
- interpréter par superposition des résultats de l'ensemble des mesures géophysiques
- définir un nombre de cibles finales en relation avec les besoins du client

Une première liste de cibles présélectionnées est établie après un choix de l'indice minimum de localisation et de pesage.

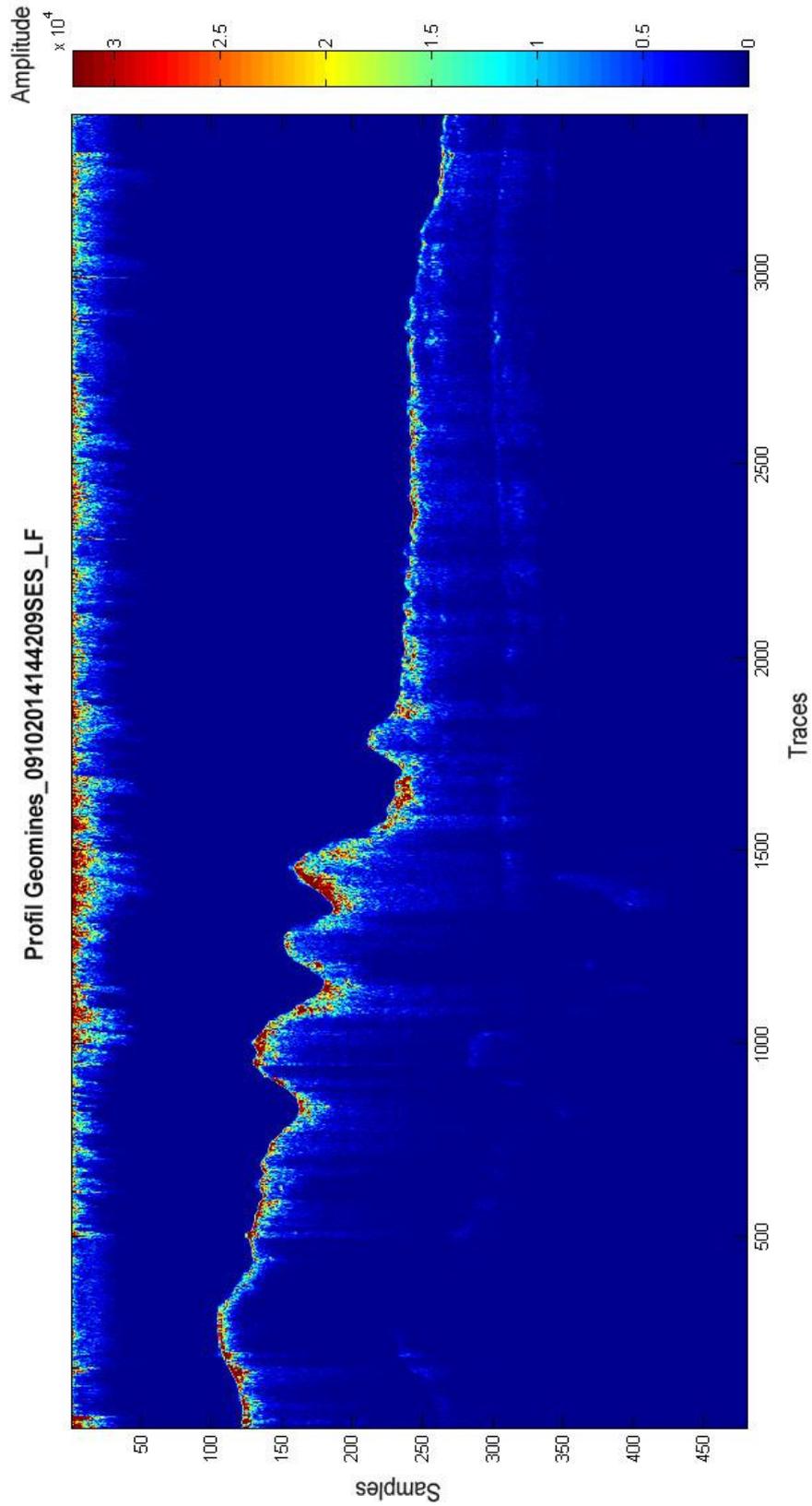
Les données de pénétrateur de sédiments sont venues compléter les données magnétiques.

La concaténation des données magnétiques, de pénétrateur de sédiments et de sonar a permis de catégoriser les cibles présélectionnées par Magsalia en cibles à « risque - » et cibles à « risque + » quant à la présence de munitions.

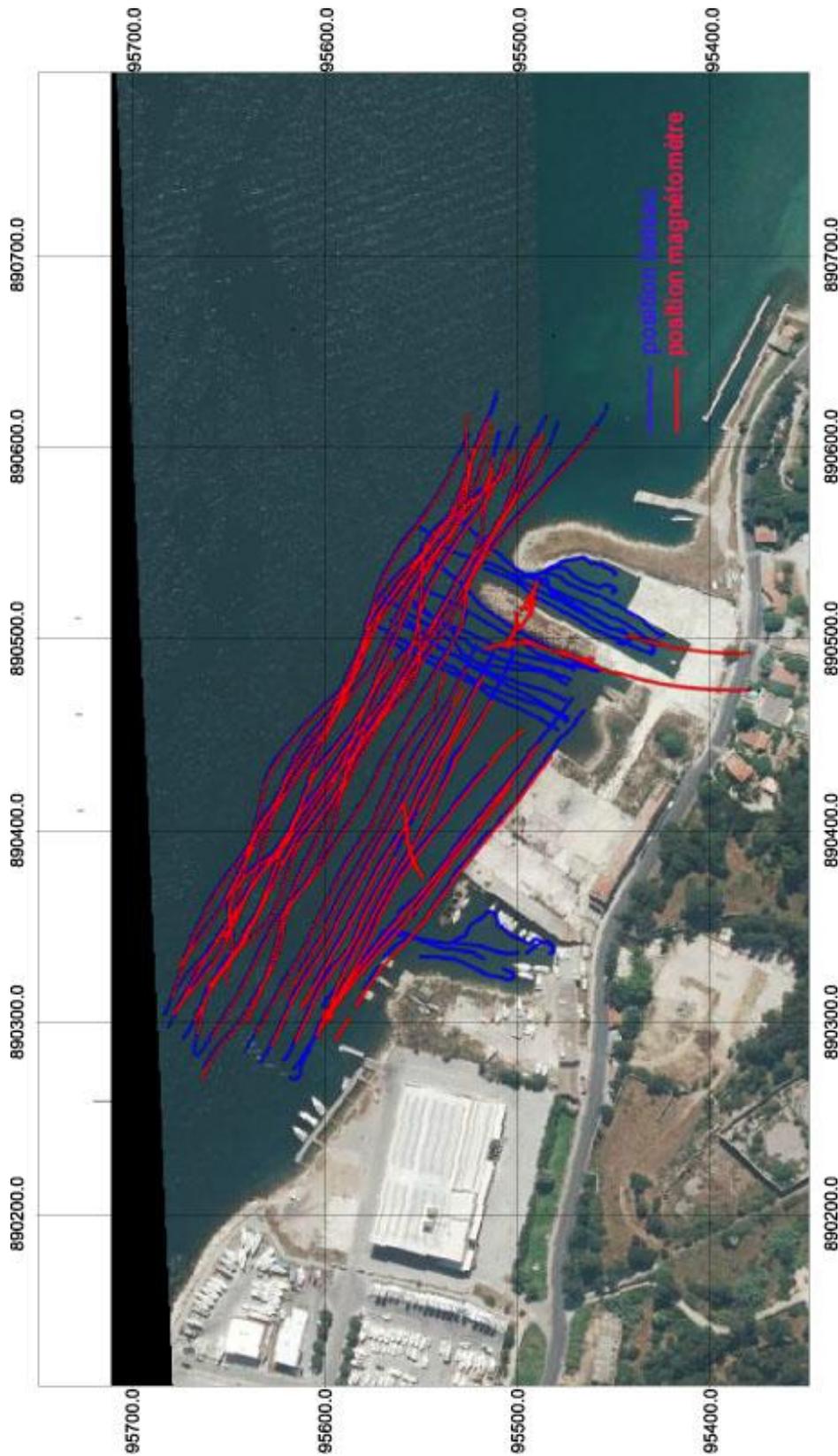
Sur 45 cibles présélectionnées, 29 sont considérées comme à « risque - » et 16 à « risque + ». Nous préconisons une vérification de ces 16 cibles et insistons sur la présence probable d'obstructions au centre et au nord-est du survey comme indiqué dans le tableau-bilan. Au final, on dénombre 12,5 cibles à l'hectare, dont 4 considérées comme étant à risque.

7 ANNEXES

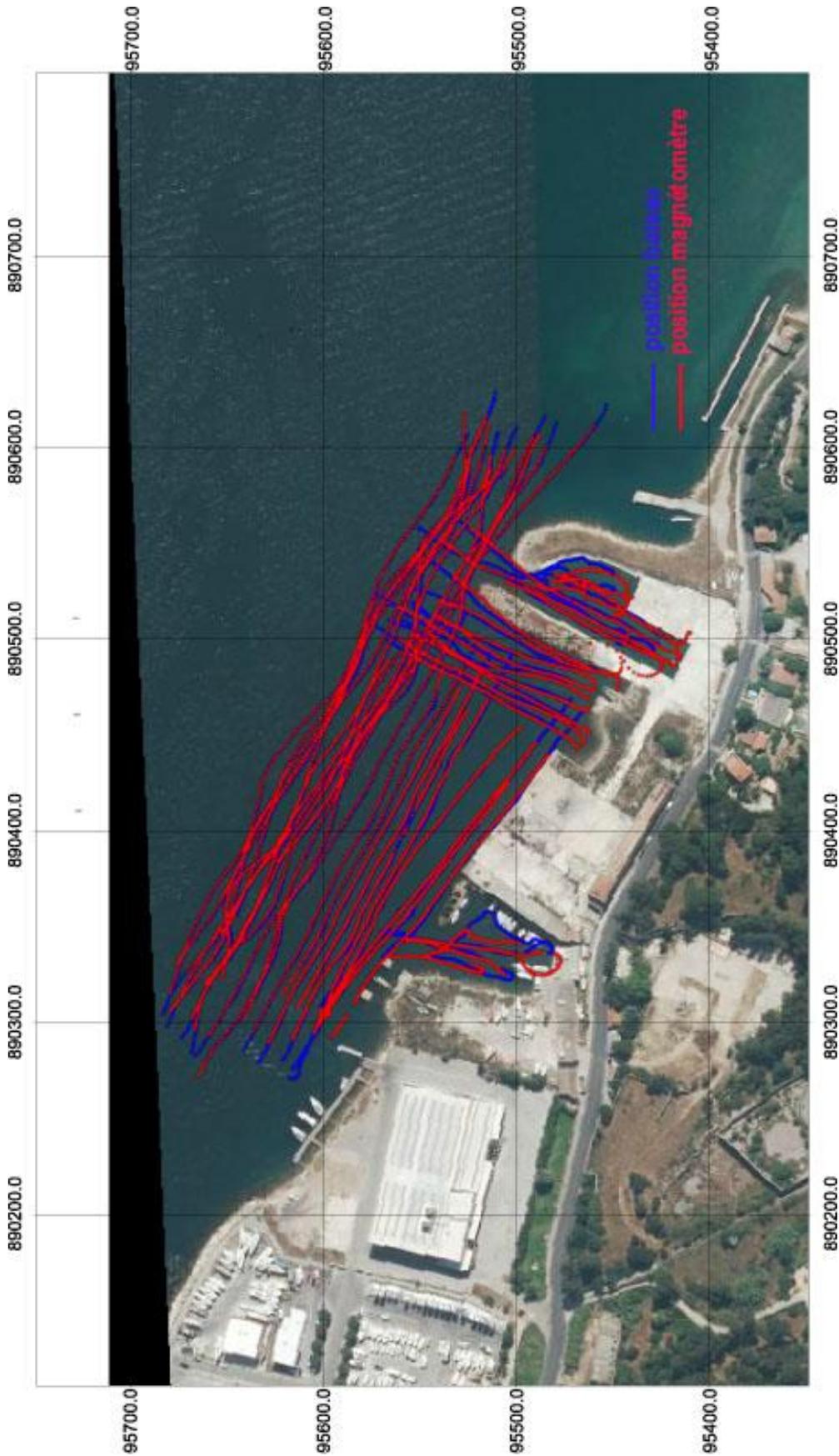
Exemple de sismogramme brut



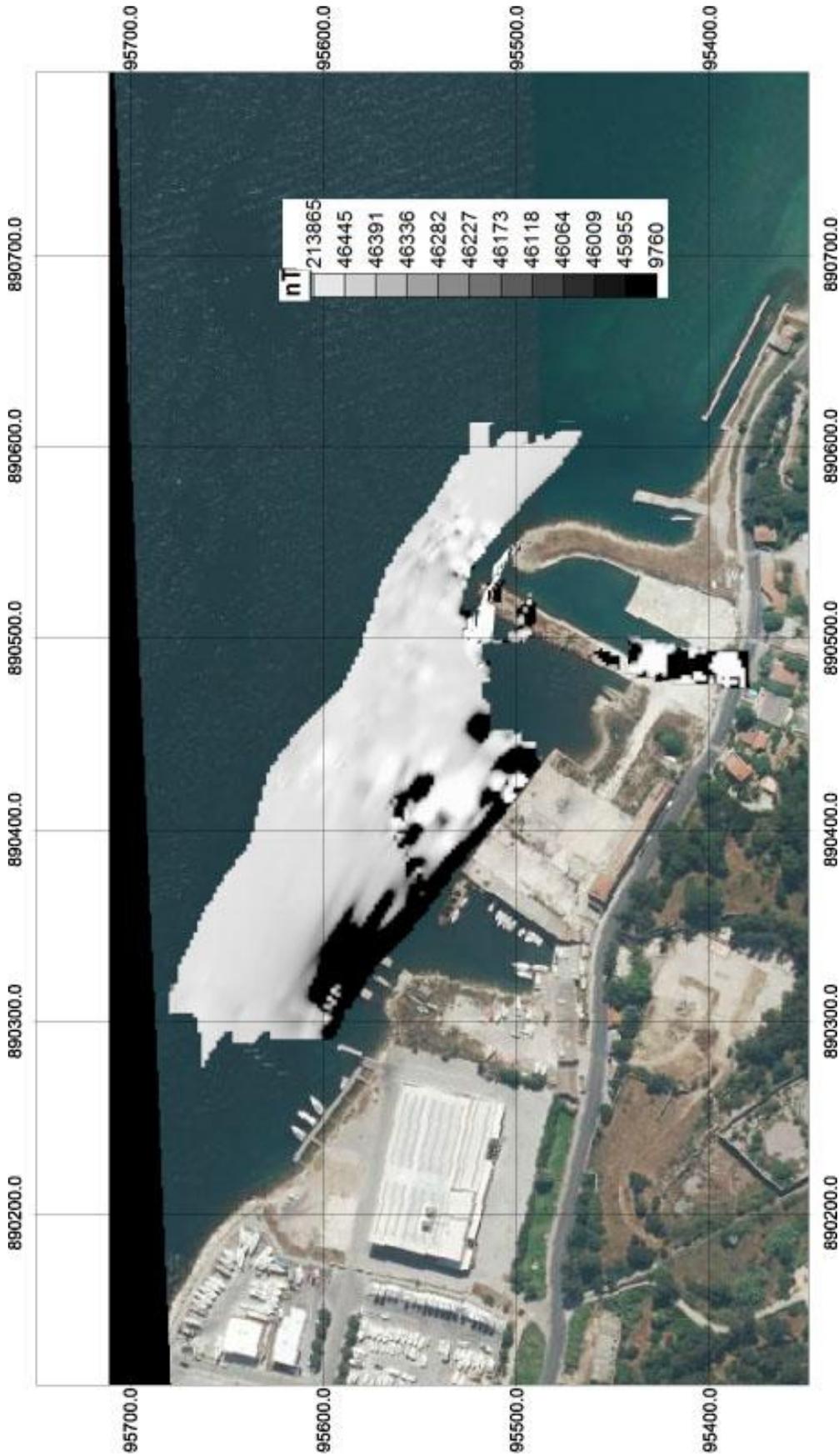
Position non corrigée du bateau et du magnétomètre pour les mesures magnétiques
du 13 octobre 2014



Position finale du bateau et du magnétomètre après correction pour les mesures magnétiques du 13 octobre 2014



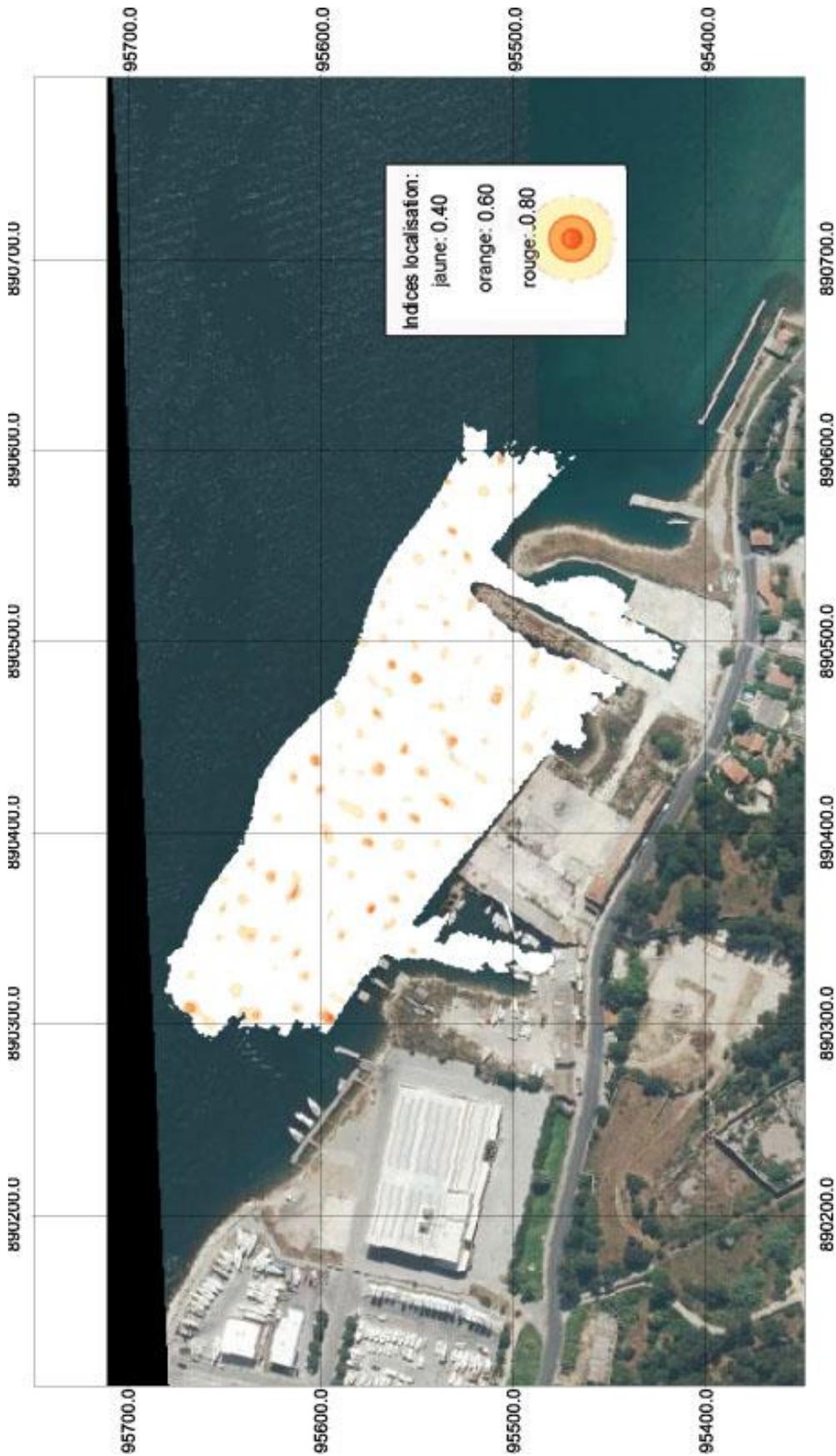
Carte 2D du champ magnétique total brut



Carte 2D du champ magnétique total prétraité



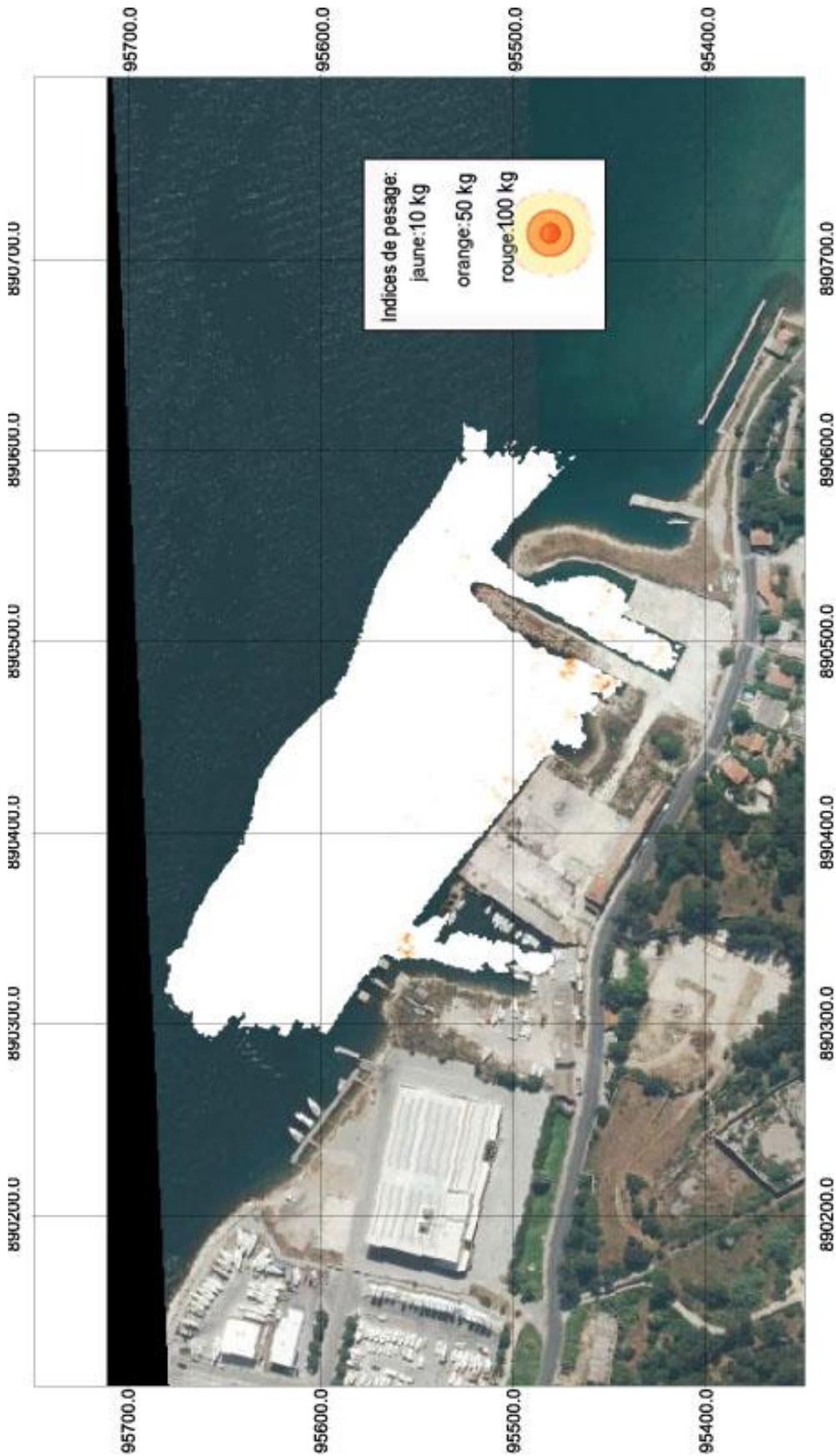
Tomographie de localisation pour les anomalies positives obtenue à partir du champ magnétique total prétraité via Magsalia



Tomographie de localisation pour les anomalies négatives obtenue à partir du champ magnétique total prétraité via Magsalia



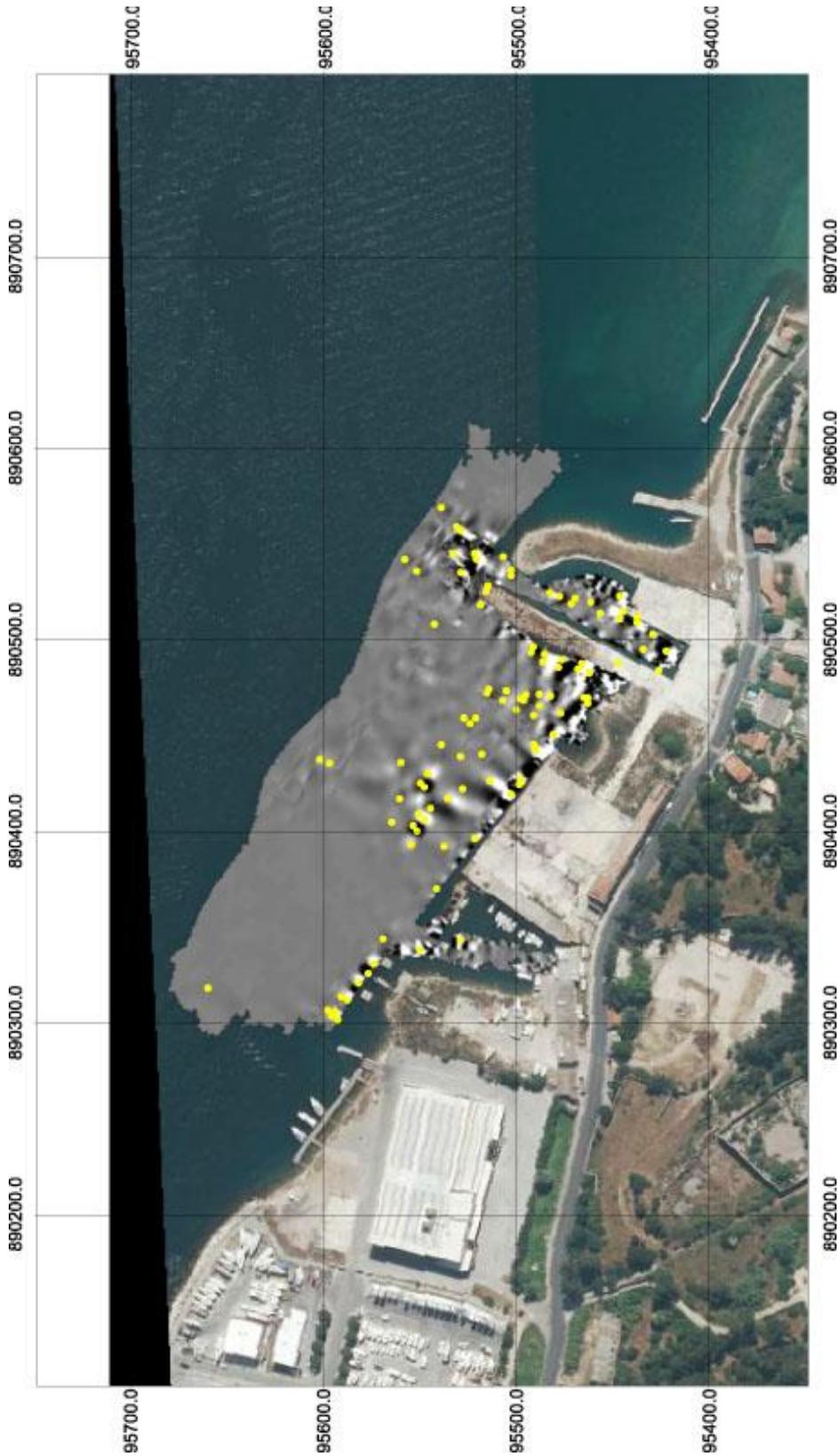
Tomographie de pesage pour les anomalies positives obtenue à partir du champ magnétique total prétraité via Magsalia



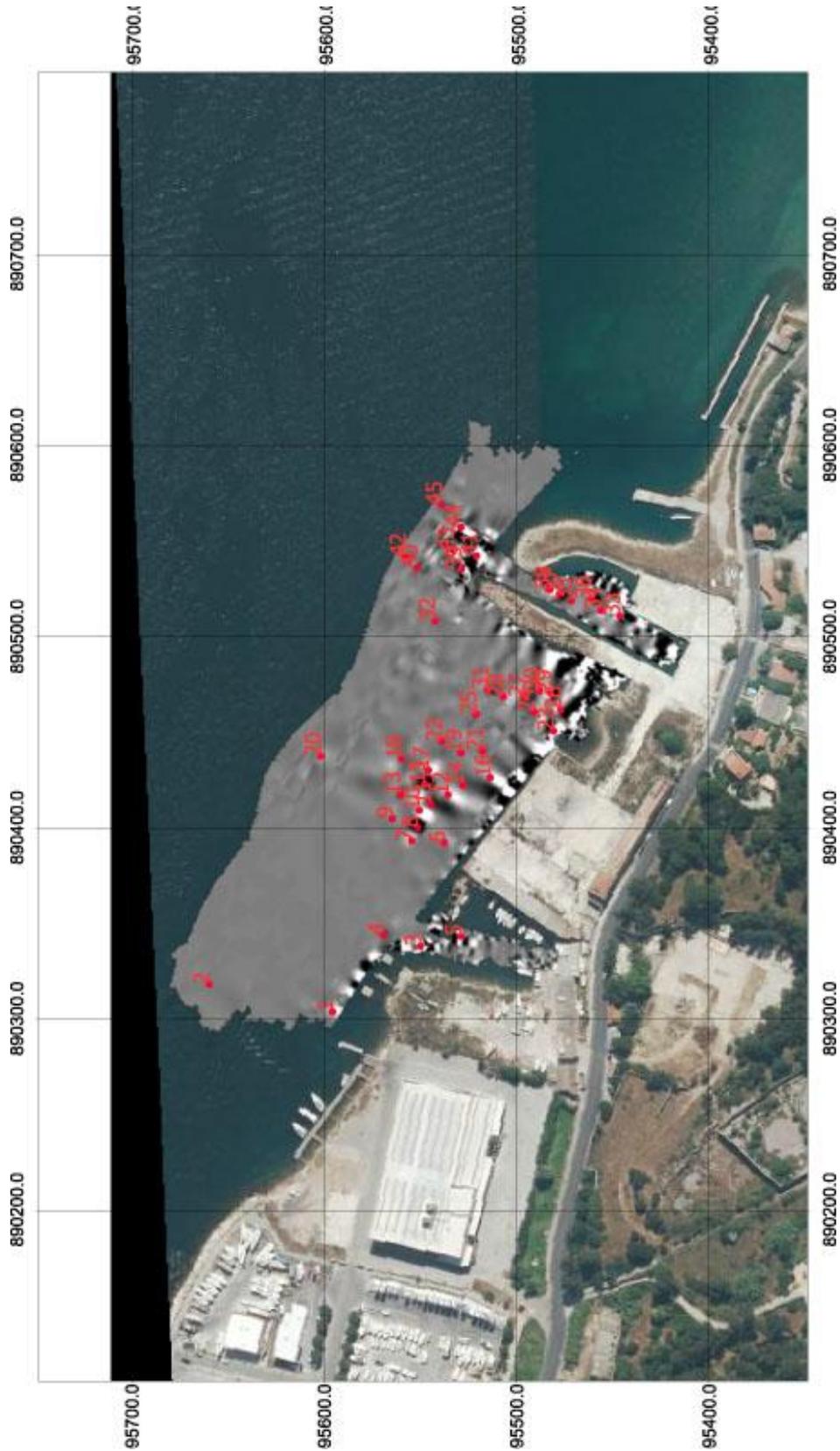
Tomographie de pesage pour les anomalies négatives obtenue à partir du champ magnétique total prétraité via Magsalia



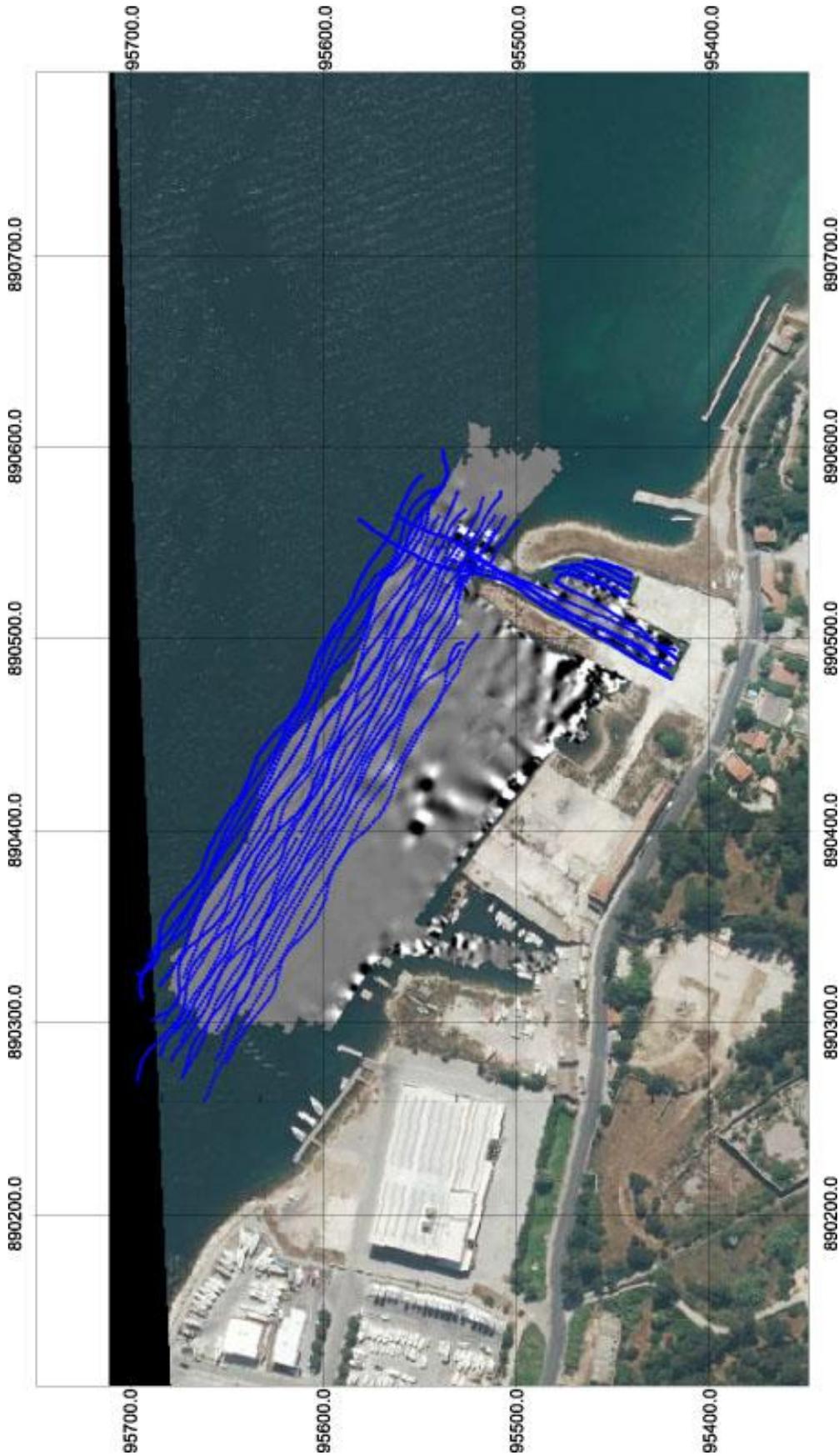
Localisation des cibles magnétiques détectées par Magsalia



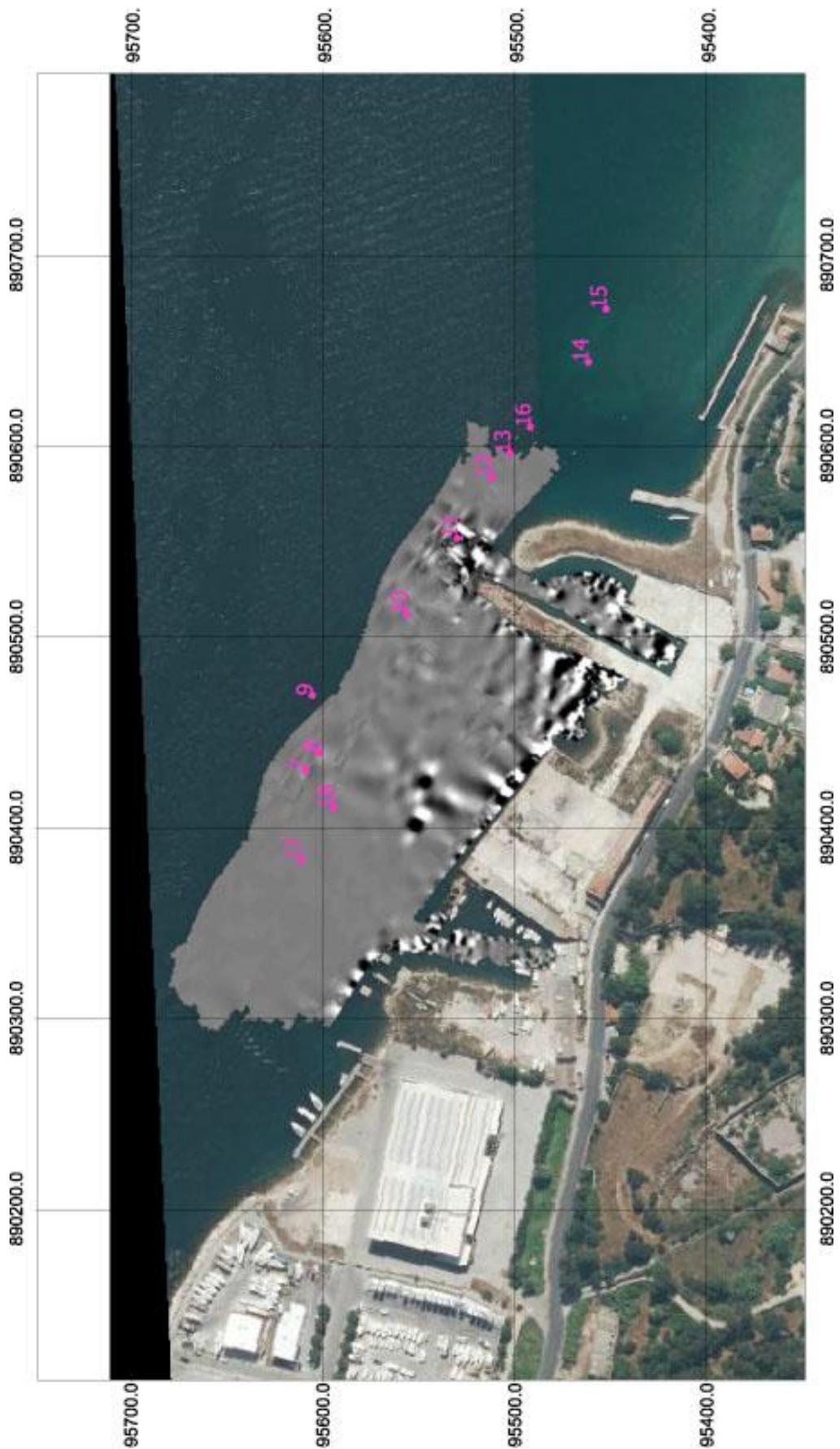
Localisation des cibles magnétiques présélectionnées



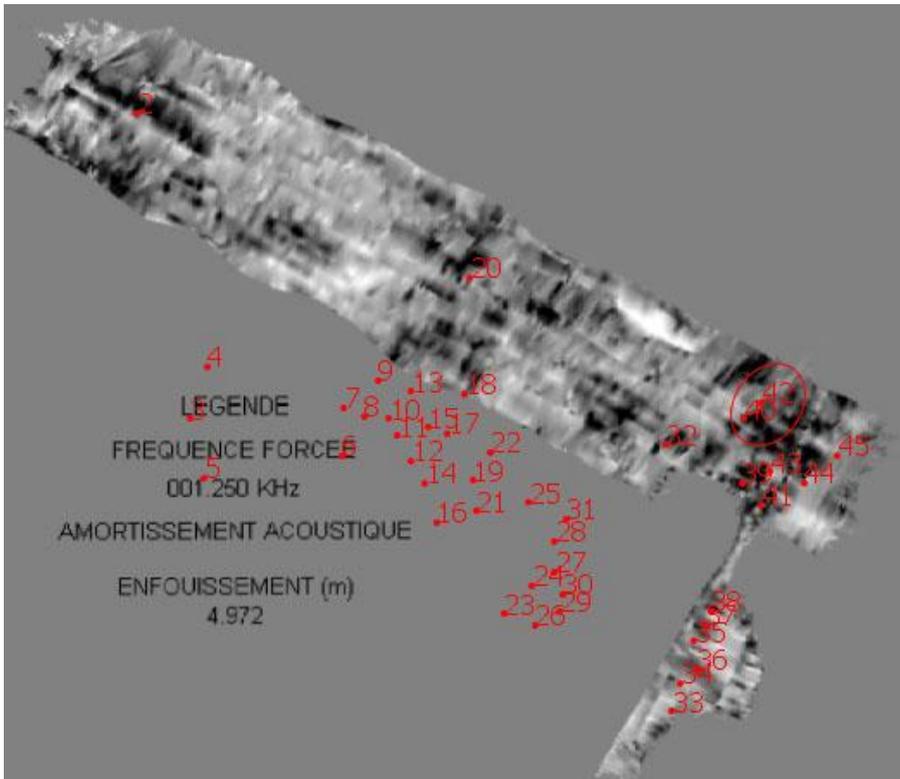
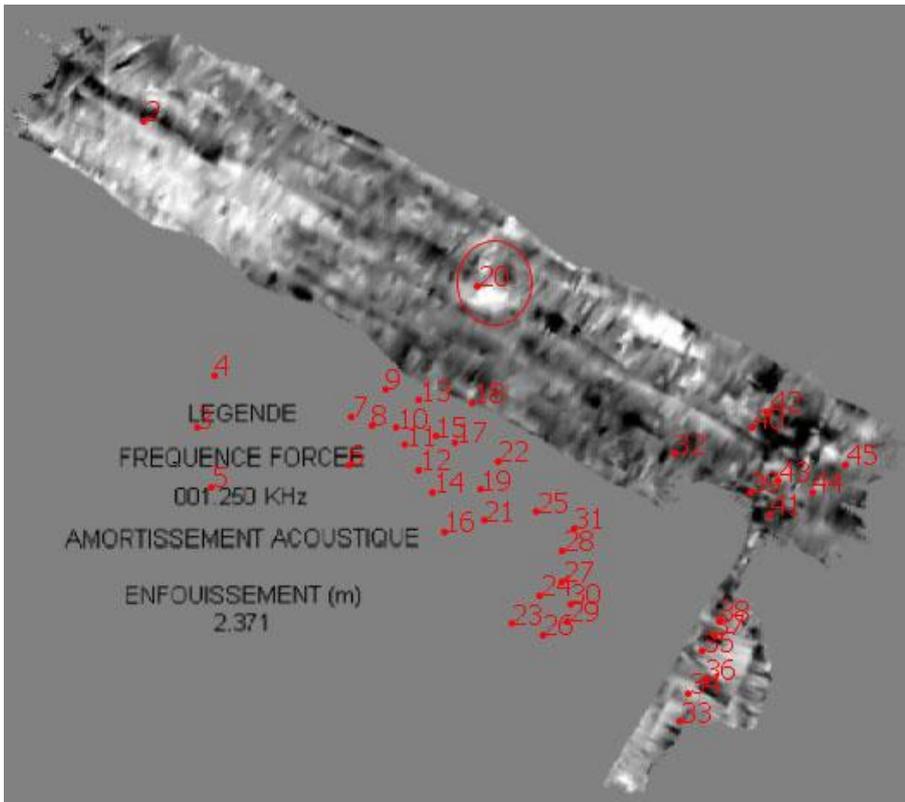
Lignes de survey effectuées au pénétrateur de sédiment (visualisation sur le survey magnétique)



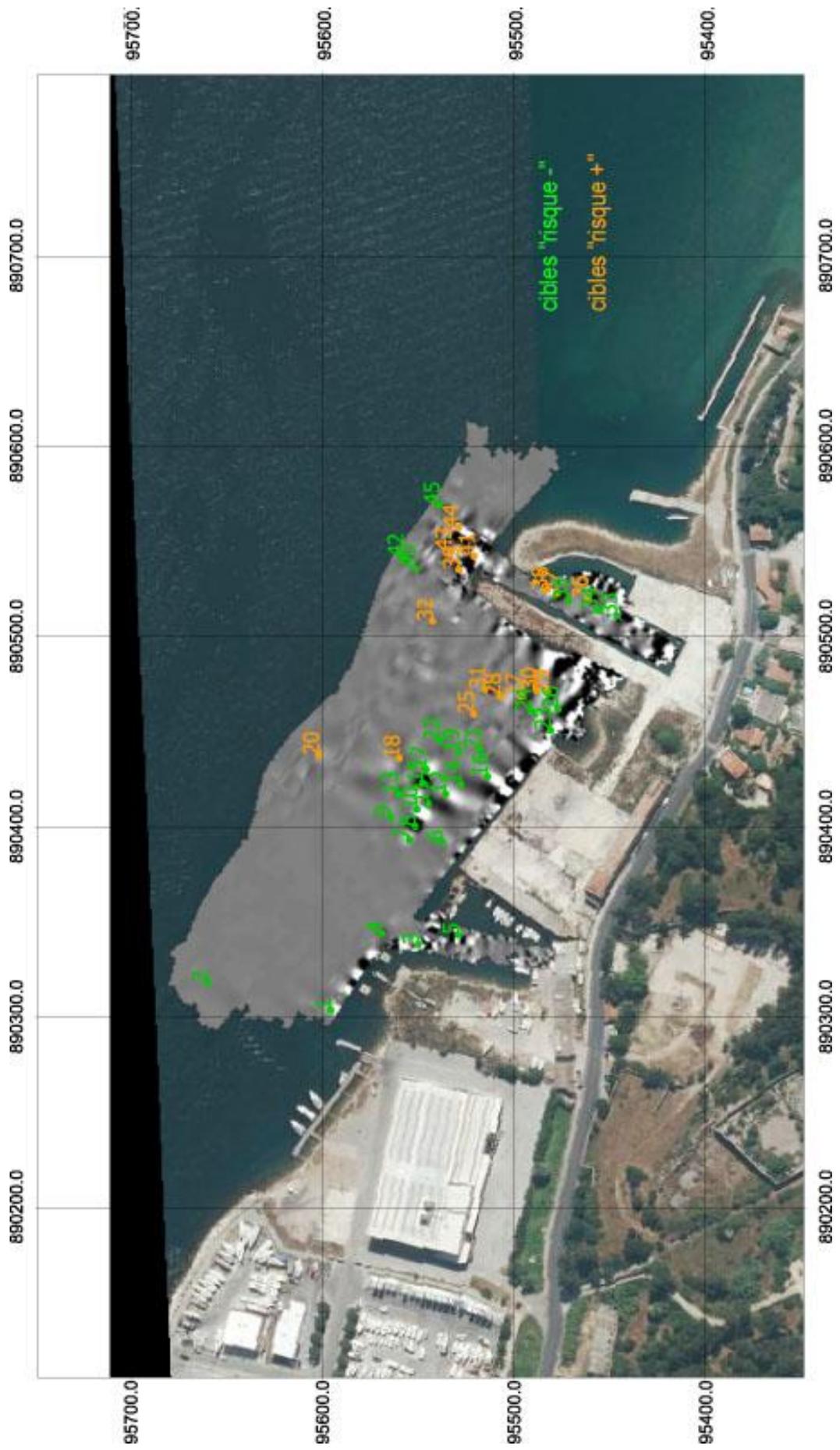
Localisation des cibles sonar



Exemple de cartes d'amortissement issu du pénétrateur de sédiment



Localisation des cibles magnétiques selon leur risque

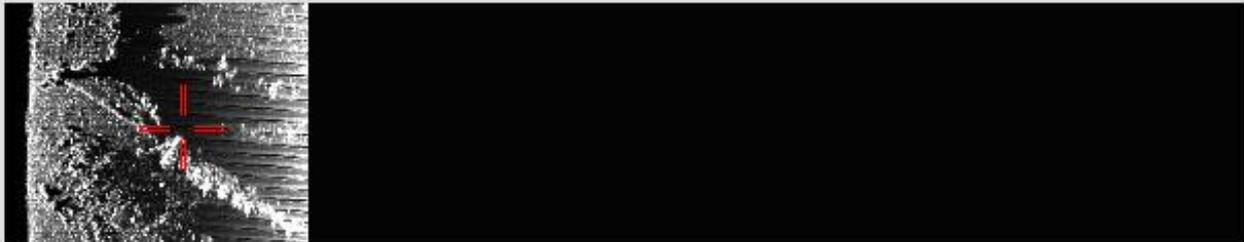


Images correspondant aux cibles sonar 8 et 11



Target Latitude: 43:06.2184 N Target Longitude: 5:54.3277 E
Heading: 118.80 Degrees Ground Range: 8.3 Meters to Starboard
Speed: 3.0 Knots File: Unknown

Cible sonar 8



Target Latitude: 43:06.1771 N Target Longitude: 5:54.4082 E
Heading: 120.90 Degrees Ground Range: 8.7 Meters to Starboard
Speed: 5.6 Knots File: Unknown

Cible sonar 11

8 MATERIELS UTILISES

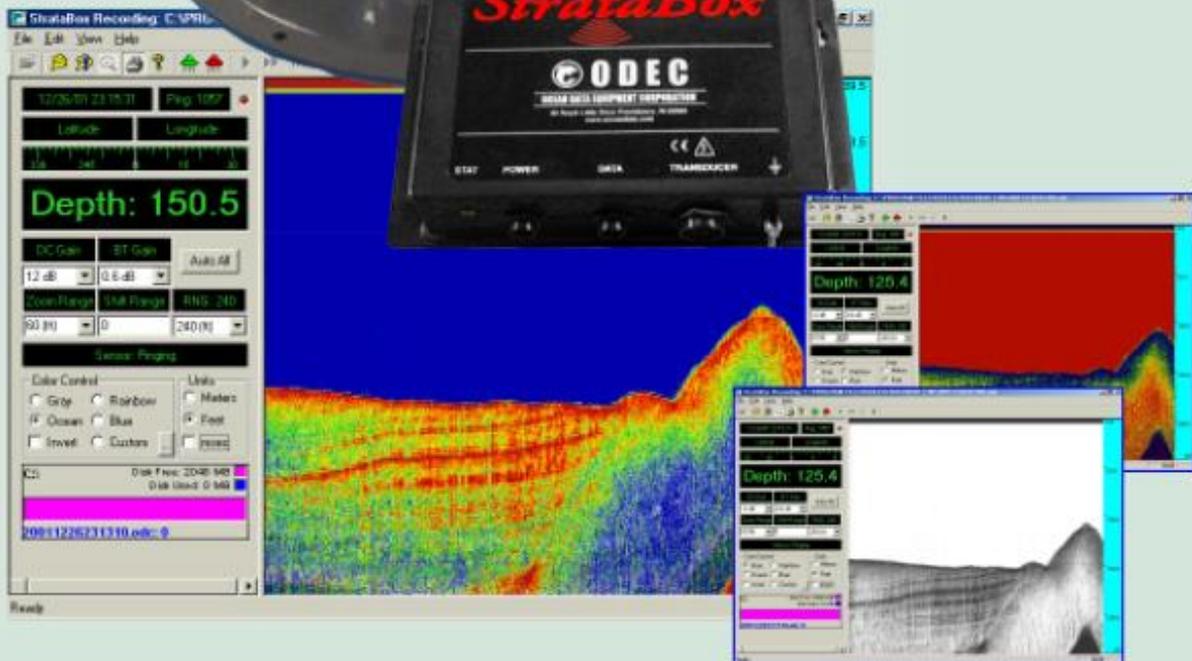
8.1 PÉNÉTRATEUR DE SÉDIMENTS

StrataBox™ Marine Geophysical Instrument

The StrataBox™ is a portable high- resolution marine sediment imaging instrument capable of delivering 6 cm of marine sediment strata resolution with bottom penetration of up to 40 meters. It is designed exclusively for inshore and coastal geophysical marine survey up to 150 meters of water depth.



The sensor is extremely compact, interfaces directly to a standard laptop PC and comes complete with a light- weight and efficient acoustic transducer and PC software.



Extreme ease of use, portability, and cost efficiency make this device a perfect choice for shallow water marine geophysical applications

FEATURES

- ◆ **Strata Resolution:** 6 cm with up to 40 meters bottom penetration.
- ◆ **Depth Accuracy:** ± 0.5%
- ◆ **Geographic Position Input,** NMEA Compatible
- ◆ **Hypack & HydroPro Compatible**
- ◆ **Data Storage & Playback**
- ◆ **Zoom Modes**
- ◆ **Event Marks**
- ◆ **Low Input Power**

 **OCEAN DATA EQUIPMENT CORPORATION**

www.oceandata.com

8.2 SIDE SCAN SONAR « KLEIN 3900 »

SIDE SCAN SONAR - SYSTEM 3900 MATÉRIEL DE DÉTECTION SOUS-MARINE DE GRANDE PROFONDEUR

**MD
05**

Caractéristiques Techniques

Alimentation : 120 watts @ 120/240 VAC, 50/60 Hz (includes towfish)
 Fréquences : 445 kHz ou 900 kHz
 Largeur de détection : Horizontal : 0.21° @ 900 kHz et 445 kHz
 : Vertical : 40°
 Profondeur d'util. : 200 mètres
 Dimensions Long. : 122 cm, Diam. 8.9 cm
 : version courte : 600 mm, version longue : 1 180 mm
 Poids : 29 kg

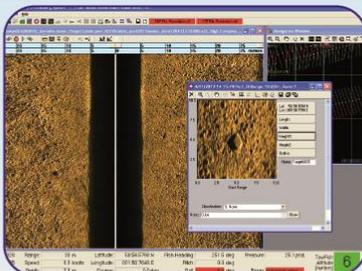


Son faible poids permet à une seule personne une mise en œuvre aisée à partir d'une embarcation légère.

Ce sonar permet de réaliser l'insonification par petits ou grands fonds.

Très grande résolution de l'imagerie sur de larges échelles.

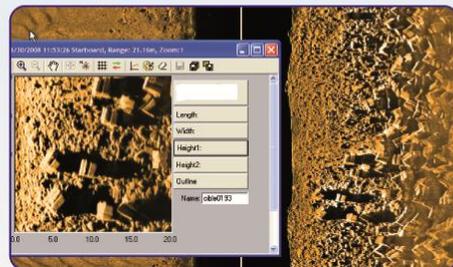
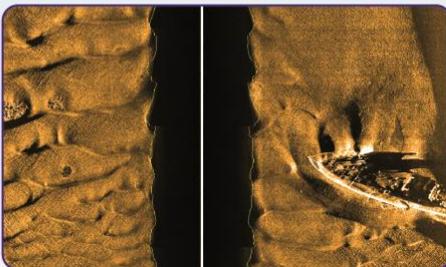
Changement de la fréquence en cours de détection (445 kHz ou 900 kHz).



Le sonar latéral KLEIN3900 à très haute résolution est utilisé en milieu aquatique (eau de mer ou eau douce) pour la localisation d'objets posés sur le fond comme des ancres, des chaînes, des câbles, des épaves, des canalisations et autres objets dépassant du sédiment.

Le système est donc tout particulièrement adapté à la recherche de munitions non explosées (UXO), lors de la dépollution de champs de mines (recherche de mines marines), d'axes d'approche de terrain d'aviation (recherche de bombes d'aviation) ou de zones bombardées.

Le câble "électro-tracteur" gainé de Kevlar à haute résistance se connecte facilement à l'unité de surface (TPU) et au PC chargé de collecter les informations par l'intermédiaire du logiciel HYPACK qui assure également la navigation.



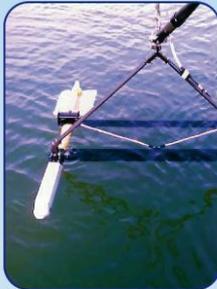
8.3 MAGNÉTOMÈTRE G882

MAGNETOMETRE CESIUM SOUS-MARIN G882 MATÉRIEL DE DÉTECTION SOUS-MARINE DE GRANDE PROFONDEUR

**MD
03**

Caractéristiques Techniques

Alimentation	: 124 à 32 volts continu, 0.5 ampère ou à partir d'une alimentation en 110/220 VCA..
Hauteur d'utilisation	: Altitude max. : 9.000 m
Plage d'utilisation	: 20.000 à 100.000 nT
Sensibilité	: CM-221 / pHz RMS de nT < 0.004
Dim. du poisson	: Diamètre de 0.07m - 1.40m / larg. 0.24m
Poids	: 18 kg
Profondeur détection	: 12 m



Le détecteur G882 à vapeur de Césium est utilisé en milieu aquatique (eau de mer ou eau douce) pour la localisation d'objets ferromagnétiques enfouis ou pas dans le sédiment.

Le système G882 est utilisé pour la détection et la cartographie d'objets ferreux comme des ancrs, des chaînes, des câbles, des épaves, des avions, des canalisations et autres objets susceptibles de générer une anomalie magnétique. Le système est donc tout particulièrement adapté à la recherche de munitions non explosées (UXO), pour la recherche de mines marines ou d'axes d'approche de terrain d'aviation (recherche de bombes d'aviation).



Capacité de détection :

Parmi tous les détecteurs à hautes performances existants sur le marché, il est le plus performant. Sa sensibilité est la plus élevée dans l'industrie : 0.004 nT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ RMS. Les capteurs internes permettent d'optimiser la détection des petite anomalies magnétiques tout en diminuant le bruit.

C'est la nature et la taille de l'objet, sa position dans le sédiment, la nature même du sédiment qui déterminent les possibilités de détection.

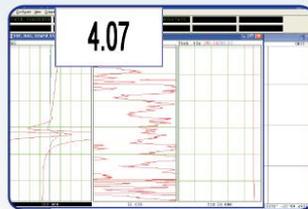
Le détecteur est équipé de deux capteurs qui renvoient vers la surface les informations de profondeur et d'altitude.



Son faible poids permet une mise en œuvre aisée (sans lest et/ou dépresseur) à partir d'une embarcation légère. Ce capteur permet de réaliser des détections par petits ou grands fonds.

Le câble électrotracteur, gainé de Kevlar à haute résistance se connecte facilement au PC chargé de collecter les informations par l'intermédiaire du logiciel MagLog. La navigation quand à elle est assurée par un suivi de profils sous logiciel HYPAK.

Ces deux logiciels reçoivent le flot d'informations envoyées en temps réel par un système de positionnement DGPS TRIMBLE 5700 qui est lui-même autonome.





GEOMINES S.A.S. - ZA les Playes

142, rue des technologies
83140 Six Fours Les plages - France

Tél : 33. (0)4. 98. 00. 38. 28.

Fax : 33. (0)4. 94. 06. 05. 36.

E-mail : info@geomines.com

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification

