

RAPPORT LOGISTIQUE ET TECHNIQUE

*LEVÉ AÉROPORTÉ
DE MESURES MAGNÉTIQUES ET RADIOMÉTRIQUES
DANS LE SECTEUR DE LA RIVIÈRE DU PETIT MÉCATINA
AU QUÉBEC, CANADA*

réalisé pour le
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES



Références MERN:

Projet : 117840512-20210415-01

Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles

5700, 4e Avenue Ouest, bureau D 413

Québec (Québec) G1H 6R1

Chef de projet : Rachid Intissar

Courriel : rachid.intissar@mern.gouv.qc.ca

Tel : +1 819-354-4514 poste 270

Références Novatem :

Contrat C21150 (S210428)

Novatem Inc.

1087 Chemin de la Montagne

Mont-Saint-Hilaire, Québec, Canada, J3G 4S6

Chef de projet : Pascal Mouge

Courriel : mouge@Novatem.com

Tel : +1 514 966 8000

*Période de réalisation du levé : juillet- octobre 2021
Date de livraison des données et du rapport : octobre 2021*

TABLE DES MATIÈRES

1	<u>INTRODUCTION</u>	5
2	<u>LOCALISATION ET SPÉCIFICATIONS DU LEVÉ</u>	6
2.1	LOCALISATION DU LEVÉ	6
2.2	ÉTENDUE DU LEVÉ	12
2.3	PARAMÈTRES DE VOL ET D'ACQUISITION DES DONNÉES	12
2.3.1.	ESPACEMENT ET ORIENTATION DES LIGNES DE VOL	12
2.3.2.	HAUTEUR DE VOL AU-DESSUS DE L'EAU ET DU SOL	12
2.3.3.	VITESSE	12
2.3.4	TOLÉRANCES SUR LA NAVIGATION	13
2.3.5	TOLÉRANCE SUR LE NIVEAU DE BRUIT DES MESURES	13
2.3.6	TOLÉRANCE SUR LES VARIATIONS TEMPORELLES DU CHAMP MAGNÉTIQUE (DIURNE ET SPHÉRIQUES)	13
2.4	KILOMÉTRAGE	13
2.5	PLAN DE VOL THÉORIQUE ET LIGNES DE VOL RESTITUÉES À L'ISSUE DES VOLS	14
3	<u>TESTS ET CALIBRATIONS</u>	15
3.1	TESTS ET CALIBRATIONS DES INSTRUMENTS DE MESURES MAGNÉTIQUES	15
3.1.1.	TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNÉTIQUES ET DU POSITIONNEMENT GPS	15
3.1.2	ÉTALONNAGE DES MAGNÉTOMÈTRES EMBARQUÉS (TEST DE MOREWOOD)	15
3.1.3.	TEST DE LA NAVIGATION ÉLECTRONIQUE (FAIT AVEC LE TEST DE MOREWOOD)	15
3.1.4.	TEST DE PARALLAXE	15
3.1.5.	ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR	15
3.1.6.	VOLS DE CALIBRATION DES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES DE L'AVION À HAUTE ALTITUDE (FOM)	16
3.2	TESTS ET CALIBRATIONS DES INSTRUMENTS DE MESURES SPECTROMÉTRIQUES	16
4	<u>LOGISTIQUE</u>	17
4.1	SERVICES GÉOPHYSIQUES ET LOGISTIQUES	17
4.2	BASE D'OPÉRATION ET STATIONS DE BASE	17
4.3	RESSOURCES HUMAINES AFFECTÉES AUX TRAVAUX GÉOPHYSIQUES	18
4.4	RESSOURCES HUMAINES AFFECTÉES AU PILOTAGE DE L'AVION	18
4.5	CALENDRIER DES TRAVAUX	18
5	<u>INSTRUMENTATION</u>	19
5.1	AÉRONEFS	19
5.2	MAGNÉTOMÈTRES	20
5.2.1	MAGNÉTOMÈTRE SCALAIRE EN VOL	20
5.2.2	MAGNÉTOMÈTRE VECTORIEL	20
5.2.3	SPECTROMÈTRES DE MESURE DU RAYONNEMENT GAMMA	21
5.2.3	STATION DE BASE MAGNÉTOMÉTRIQUE	21
5.3	SYSTÈME DE POSITIONNEMENT	21
5.3.1	NAVIGATION	21
5.3.2	SYSTÈME DGPS EN VOL	22
5.3.3	STATION DE BASE DGPS	22
5.4	MESURES INERTIELLES ('INERTIAL MEASUREMENT UNIT')	23
5.5	SONDE BAROMÉTRIQUE	23

5.6	ALTIMÈTRE RADAR	23
5.7	SYSTÈME D'ACQUISITION ET D'ENREGISTREMENT DES DONNÉES	23
5.8	SYSTÈME D'ACQUISITION VIDÉO	24
5.9	CALCULATEURS DE TERRAIN	24
5.10	PIÈCES DE RECHANGE	24
6	<u>CONTRÔLES DE LA QUALITÉ DES DONNÉES</u>	25
6.1	CONTRÔLE DES SPÉCIFICATIONS DE VOL	25
7	<u>TRAITEMENTS DES DONNÉES</u>	26
7.1	CORRECTIONS DIFFÉRENTIELLES DU POSITIONNEMENT	26
7.2	CORRECTION DES MESURES DE HAUTEUR RADAR ET BAROMÉTRIQUE	26
7.3	TRAITEMENT DES DONNÉES MAGNÉTIQUES	26
7.3.1	RÉSUMÉ DES TRAITEMENTS APPLIQUÉS AUX MESURES MAGNÉTIQUES	26
7.3.2	COMPENSATION	26
7.3.3	CORRECTION DES VARIATIONS TEMPORELLES (VARIATIONS DIURNES)	27
7.3.4	CORRECTION DU RETARD INSTRUMENTAL (LAG)	27
7.3.5	CORRECTION DE L'EFFET DE L'ALTITUDE	27
7.3.6	NIVELLEMENT	27
7.3.7	MICRO-NIVELLEMENT	28
7.3.8	CHAMPS RÉSIDUEL	28
7.4	TRAITEMENT DES DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES	29
7.4.1	RÉSUMÉ DES CORRECTIONS APPLIQUÉES AUX MESURES DE SPECTROMÉTRIE GAMMA	29
7.4.2	FILTRAGE DES DIFFÉRENTES RÉGIONS D'INTÉRÊTS	29
7.4.3	CORRECTION DU TEMPS D'ACQUISITION PAR SECONDE	29
7.4.4	CORRECTION DU RAYONNEMENT COSMIQUE ET DU BRUIT DE FOND DE L'AVION	29
7.4.5	SUPPRESSION DU RADON	30
7.4.6	RÉDUCTION À PRESSION ET TEMPÉRATURE STANDARDS (STP)	31
7.4.7	CORRECTION DE LA DIFFUSION COMPTON	31
7.4.8	CORRECTION DE L'ATTÉNUATION DE L'AIR	32
7.4.9	CONVERSION EN CONCENTRATION DE RADIOÉLÉMENTS	32
7.4.10	NIVELLEMENT	32
7.4.11	MICRO-NIVELLEMENT	33
7.4.12	CALCUL DES RATIOS	33
8	<u>DONNÉES FINALES</u>	34
8.1	PRODUITS FINAUX DÉLIVRÉS	34
8.2	BASE DE DONNÉES MAGNÉTIQUES	35
8.3	BASE DE DONNÉES DES COEFFICIENTS DE KEATING	36
8.4	BASE DE DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES	37
9	<u>RÉFÉRENCES DU PROJET</u>	39
10	<u>ATTESTATION DE QUALIFICATION</u>	40
	<u>ANNEXES</u>	41
	ANNEXE A : PARAMÈTRES GÉODÉSQUES UTILISÉS DANS LES PROJECTIONS	41
	ANNEXE B : PARAMÈTRES DES GRILLES	41

ANNEXE C : TESTS DE CALIBRATIONS	42
TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNÉTIQUES ET DU POSITIONNEMENT GPS	42
ÉTALONNAGE DES MAGNÉTOMÈTRES EMBARQUÉS (TEST DE MOREWOOD)	43
TEST DE PARALLAXE	44
ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR ET BAROMÉTRIQUE	45
TEST DE COMPENSATION	46
LIGNE TEST	47
COEFFICIENTS D'ATTÉNUATION ET SENSIBILITÉ DU SYSTÈME (BRECKENRIDGE)	48
COEFFICIENTS DE DÉPOUILLEMENT COMPTON	49
ÉTALONNAGE DE LA FENÊTRE COSMIQUE ET BRUIT DE L'AVION	51
COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON	52
ANNEXE D : LIVRE DE BORD	53

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : AVIONS SUR LE TARMAC DE L'AÉROPORT	5
FIGURE 2 : LOCALISATION DU BLOC DU SECTEUR DE LA RIVIÈRE DU PETIT MÉCATINA	10
FIGURE 3 : LOCALISATION DU BLOC DE LA RIVIÈRE DU PETIT MÉCATINA SUR FOND TOPOGRAPHIQUE SRTM1	11
FIGURE 4 : PLAN DE VOL DU BLOC DU SECTEUR DE LA RIVIÈRE DU PETIT MÉCATINA	14
FIGURE 5 : SYSTÈME DE NAVIGATION EMBARQUÉ	22
FIGURE 6 : STATISTIQUES SUR LES DIFFÉRENCES DE HAUTEURS DE VOL AUX INTERSECTIONS	28
FIGURE 7 : TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNÉTIQUES ET MAGNÉTOMÈTRES EMBARQUÉS (FWNG)	42

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES WGS84 DU PÉRIMÈTRE DU BLOC DE LA RIVIÈRE DU PETIT MÉCATINA	9
TABLEAU 2 : PÉRIMÈTRE ET SURFACE DU BLOC	12
TABLEAU 3 : PARAMÈTRES DE VOL UTILISÉS	12
TABLEAU 4 : KILOMÉTRAGE CALCULÉ SUR LES PLANS DE VOL EN COORDONNÉES PROJÉTÉES	13
TABLEAU 5 : SPÉCIFICATIONS DU MAGNÉTOMÈTRE EN VOL G-822A	20
TABLEAU 6 : SPÉCIFICATIONS DU MAGNÉTOMÈTRE VECTORIEL FLUXGATE	20
TABLEAU 7 : SPÉCIFICATIONS DES SPECTROMÈTRES RSI RSX-5	21
TABLEAU 8 : SPÉCIFICATIONS DES MAGNÉTOMÈTRES DES STATIONS SOL	21
TABLEAU 9 : SPÉCIFICATIONS DU SYSTÈME DGPS	22
TABLEAU 10 : SPÉCIFICATIONS DE LA STATION DE BASE GPS	22
TABLEAU 11 : SPÉCIFICATIONS DU SYSTÈME DE MESURES INERTIELLES	23
TABLEAU 12 : SPÉCIFICATIONS DES ALTIMÈTRES RADAR	23
TABLEAU 13 : SPÉCIFICATIONS DU SYSTÈME VIDÉO	24
TABLEAU 14 : PROCÉDURE DE NIVELLEMENT	27
TABLEAU 15 : TOLÉRANCES SUR LES INTERSECTIONS	28
TABLEAU 16 : PARAMÈTRES DE MICRO-NIVELLEMENT	28
TABLEAU 17 : RÉSUMÉ DES CORRECTIONS APPLIQUÉES AUX DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES	29
TABLEAU 18 : CORRECTION DE LA DIFFUSION COMPTON	31
TABLEAU 19 : PROCÉDURE DE NIVELLEMENT	33
TABLEAU 20 : PARAMÈTRES DE MICRO-NIVELLEMENT	33
TABLEAU 21 : PRODUITS DÉLIVRÉS	34
TABLEAU 22 : CONTENU DE LA BASE DE DONNÉES MAGNÉTIQUES	36
TABLEAU 23 : CONTENU DE LA BASE DE DONNÉES DES COEFFICIENTS DE KEATING	36
TABLEAU 24 : PARAMÈTRES UTILISÉS POUR LE CALCUL DES COEFFICIENTS DE KEATING	36
TABLEAU 25 : CONTENU DE LA BASE DES DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES	38
TABLEAU 26 : PARAMÈTRES GÉODÉSIQUES UTILISÉS DANS LES PROJECTIONS PLANES	41
TABLEAU 27 : PARAMÈTRES DES GRILLES	41
TABLEAU 28 : TEST STATIQUE DE POSITIONNEMENT GPS	42
TABLEAU 29 : EMPLACEMENTS DES STATIONS DE BASE MAGNÉTIQUE	42
TABLEAU 30 : TEST DE PARALLAXE (FWNG)	44
TABLEAU 31 : ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR (FWNG)	45
TABLEAU 32 : RÉSULTATS DE LA FOM (FWNG)	46
TABLEAU 33 : COEFFICIENTS D'ATTÉNUATION ET SENSIBILITÉ À 80M (FWNG)	48
TABLEAU 34 : COMPTES CORRIGÉS DU BRUIT DE FOND ET DE L'EFFET COMPTON (FWNG)	48
TABLEAU 35 : DONNÉES MOYENNÉES DES DEUX PALIERS (FWNG)	51
TABLEAU 36 : COEFFICIENTS DE BRUITS DE FOND (FWNG)	51
TABLEAU 37 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR FWNG	52

1 INTRODUCTION

Novatem Inc. a été mandatée par le Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles (MERN) pour réaliser un levé aéroporté de mesures magnétiques et radiométriques dans la région de la rivière du Petit Mécatina, sur la Basse-Côte-Nord, dans l'est du Québec. Le projet comprenait un seul bloc. Novatem a réalisé les vols entre le 24 juillet et le 06 octobre 2021. Ce rapport décrit la réalisation du projet, totalisant 46 279 km linéaires.

En réponse à la demande du MERN, Novatem a mis en œuvre un système aéroporté complet, comprenant notamment un capteur magnétique scalaire de très haute résolution à pompage optique de vapeur de césium fabriqué par Geometrics, monté à l'extrémité d'une perche magnétométrique ('tail boom'); deux spectromètres de mesure du rayonnement gamma RSX5 fabriqués par Radiation Solutions; un capteur magnétique vectoriel, fabriqué par Billingsley; une centrale d'attitude, fabriquée par Microstrain; un système SAMM de navigation et de compensation magnétique développé par Novatem; un altimètre radar TRA 4000, fabriqué par Free Flight Systems; un système de positionnement GPS différentiel Novatel Propack; une caméra digitale Commander Video Recorder fabriquée par Rugged Video.

Ce rapport décrit le déroulement des opérations lors du levé, les équipements utilisés, les modes opératoires de l'acquisition et résume le traitement des données.

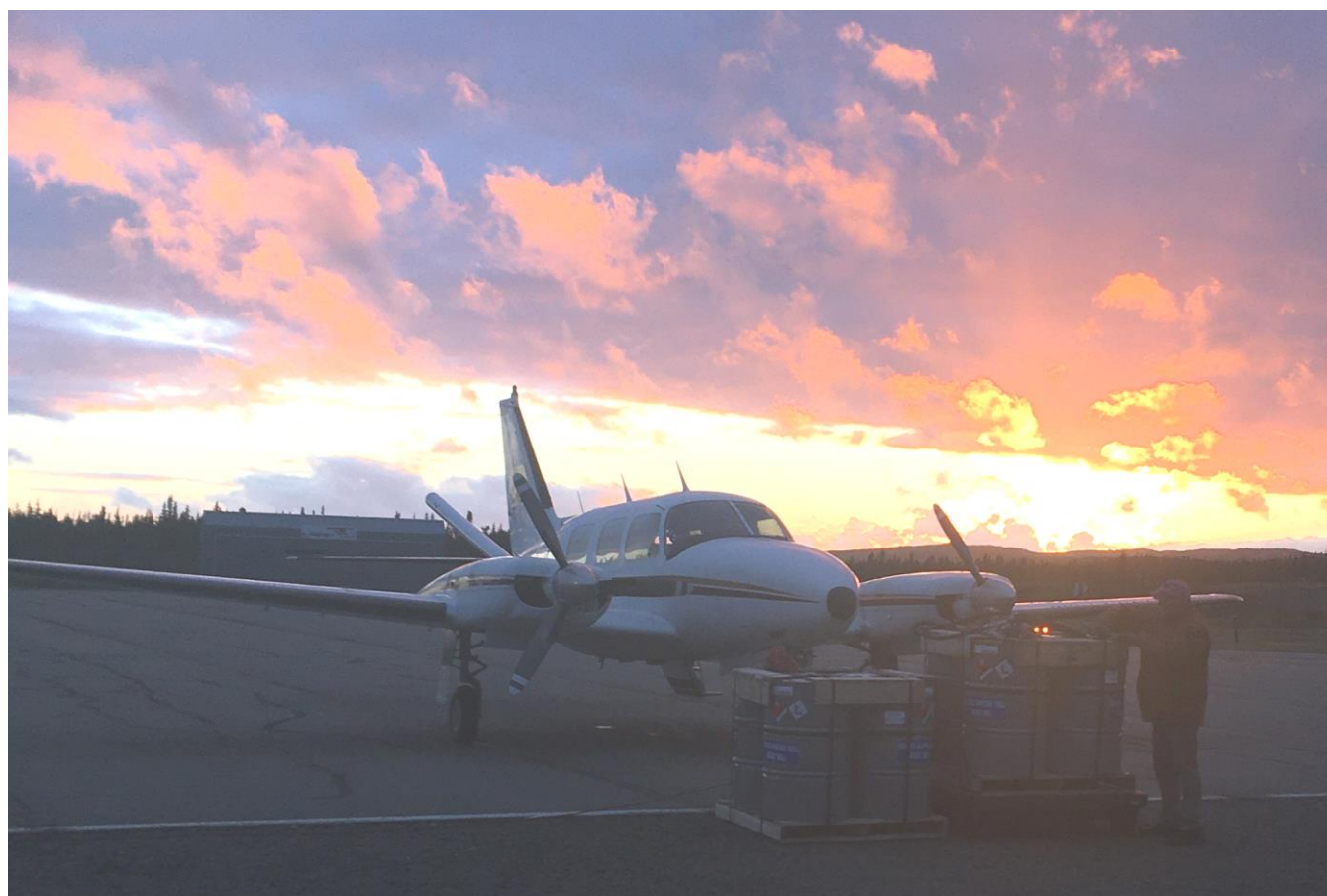


Figure 1 : Avion C-FWNG sur le tarmac de l'aéroport de Chevery

2 LOCALISATION ET SPÉCIFICATIONS DU LEVÉ

2.1 LOCALISATION DU LEVÉ

Le levé comprend un seul bloc, situé à environ 30 km au nord de l'aéroport Chevery. Le bloc a été défini par le MERN à l'aide des coordonnées géographiques des limites du polygone reproduites dans le tableau qui suit.

<i>Rivière Du Petit Mécatina</i>		
<i>Sommet</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>
1	-60,40899	51,28124
2	-60,35822	51,31096
3	-60,34020	51,29802
4	-60,29363	51,32479
5	-60,27439	51,31161
6	-60,21620	51,34485
7	-60,19717	51,33235
8	-60,15521	51,35618
9	-60,13594	51,34349
10	-60,08250	51,37374
11	-60,06333	51,36046
12	-60,01646	51,38712
13	-59,99803	51,37412
14	-59,94050	51,40687
15	-59,92113	51,39351
16	-59,87848	51,41797
17	-59,89868	51,43154
18	-59,83475	51,46691
19	-59,85336	51,48024
20	-59,77544	51,52498
21	-59,79437	51,53868
22	-59,72230	51,58030
23	-59,74346	51,59367
24	-59,71555	51,60902
25	-59,81265	51,67550
26	-59,79321	51,68621
27	-59,85185	51,72618
28	-59,84574	51,72966
29	-59,88370	51,75646
30	-59,87599	51,76057
31	-59,91396	51,78689
32	-59,90553	51,79164
33	-59,98140	51,84240
34	-60,02199	51,82051
35	-60,04178	51,83394
36	-60,10627	51,79685
37	-60,12492	51,80958
38	-60,16330	51,78762

39	-60,18325	51,80129
40	-60,20882	51,78619
41	-60,22781	51,79950
42	-60,24748	51,78836
43	-60,26737	51,80214
44	-60,31613	51,77351
45	-60,33591	51,78616
46	-60,37634	51,76365
47	-60,39582	51,77700
48	-60,43854	51,75215
49	-60,45824	51,76587
50	-60,50130	51,74035
51	-60,52067	51,75359
52	-60,55380	51,73424
53	-60,57747	51,74950
54	-60,56850	51,75463
55	-60,58924	51,76789
56	-60,58302	51,77151
57	-60,60117	51,78337
58	-60,59412	51,78743
59	-60,69437	51,85280
60	-60,67334	51,86552
61	-60,73274	51,90425
62	-60,71753	51,91288
63	-60,77576	51,95451
64	-60,75861	51,96371
65	-60,79875	51,98988
66	-60,76075	52,01190
67	-60,74107	51,99927
68	-60,72868	52,00680
69	-60,70874	51,99370
70	-60,68551	52,00727
71	-60,66525	51,99398
72	-60,63889	52,00850
73	-60,61841	51,99495
74	-60,59324	52,00990
75	-60,57307	51,99650
76	-60,55123	52,00952
77	-60,53307	51,99705
78	-60,51133	52,00818
79	-60,49135	51,99512
80	-60,46690	52,00887
81	-60,44856	51,99646
82	-60,42047	52,01246
83	-60,40077	51,99903
84	-60,38239	52,00972
85	-60,36306	51,99660
86	-60,33822	52,01056
87	-60,31831	51,99718
88	-60,29320	52,01156

89	-60,27370	51,99879
90	-60,25595	52,00888
91	-60,23596	51,99542
92	-60,21267	52,00830
93	-60,19337	51,99524
94	-60,18241	52,00159
95	-59,88187	51,79859
96	-59,79728	51,74226
97	-59,61357	51,61775
98	-59,39994	51,47048
99	-59,26181	51,37475
100	-59,16145	51,30497
101	-59,07424	51,24447
102	-59,00934	51,19907
103	-58,95278	51,15922
104	-58,82145	51,06758
105	-58,86901	51,04043
106	-58,90692	51,06792
107	-58,93908	51,04959
108	-58,99977	51,09194
109	-58,97812	51,10463
110	-58,99698	51,11774
111	-58,98402	51,12504
112	-59,00304	51,13819
113	-58,98802	51,14660
114	-59,00752	51,16005
115	-58,99268	51,16857
116	-59,06574	51,21973
117	-59,17037	51,16122
118	-59,15050	51,14801
119	-59,18922	51,12613
120	-59,16987	51,11237
121	-59,25461	51,06471
122	-59,27377	51,07797
123	-59,32050	51,05147
124	-59,30058	51,03749
125	-59,32445	51,02464
126	-59,28654	50,99845
127	-59,33108	50,97322
128	-59,29187	50,94577
129	-59,36266	50,90391
130	-59,45850	50,97110
131	-59,54159	50,92416
132	-59,61870	50,97751
133	-59,71791	50,92110
134	-59,62084	50,85406
135	-59,66949	50,82632
136	-59,45820	50,67977
137	-59,51278	50,64782
138	-59,78038	50,83425

139	-59,93446	50,74592
140	-59,91603	50,73355
141	-59,94021	50,71810
142	-59,92102	50,70498
143	-59,93936	50,69418
144	-59,92117	50,68124
145	-59,93769	50,67189
146	-59,91837	50,65830
147	-59,93522	50,64865
148	-59,91658	50,63485
149	-59,93022	50,62667
150	-59,91196	50,61368
151	-59,92805	50,60357
152	-59,90917	50,59098
153	-59,92203	50,58346
154	-59,90100	50,56941
155	-59,94901	50,54126
156	-61,03957	51,28027
157	-61,01079	51,29726
158	-60,97139	51,27163
159	-60,95099	51,28406
160	-60,93064	51,27080
161	-60,90635	51,28508
162	-60,88712	51,27231
163	-60,86419	51,28571
164	-60,84510	51,27182
165	-60,82010	51,28655
166	-60,80069	51,27334
167	-60,78233	51,28386
168	-60,76320	51,27110
169	-60,73995	51,28458
170	-60,72075	51,27154
171	-60,69758	51,28525
172	-60,67803	51,27196
173	-60,65193	51,28741
174	-60,63241	51,27388
175	-60,60707	51,28850
176	-60,58779	51,27577
177	-60,56561	51,28863
178	-60,54609	51,27566
179	-60,52485	51,28795
180	-60,50517	51,27468
181	-60,47293	51,29305
182	-60,45403	51,27991
183	-60,42872	51,29457
184	-60,40899	51,28124

Tableau 1 : Coordonnées géographiques WGS84 du périmètre du bloc de la Rivière du Petit Mécatina

La région couvre en totalité ou en partie les feuillets SNRC au 1 : 50 000 suivants :

Bloc de la rivière du Petit Mécatina (22 feuillets) : 12 N15, 12N16, 12O11 à 12O13, 12N06 à 12N08, 12O05, 12O06, 12O02 à 12 O04, 12N01 à 12N03, 12J14, 12J13, 12K16, 12K15, 12K09, 12J12, 12J11

Les figures qui suivent présentent les limites du plan de vol prévisionnel en utilisant les coordonnées précédentes fournies par le MERN.

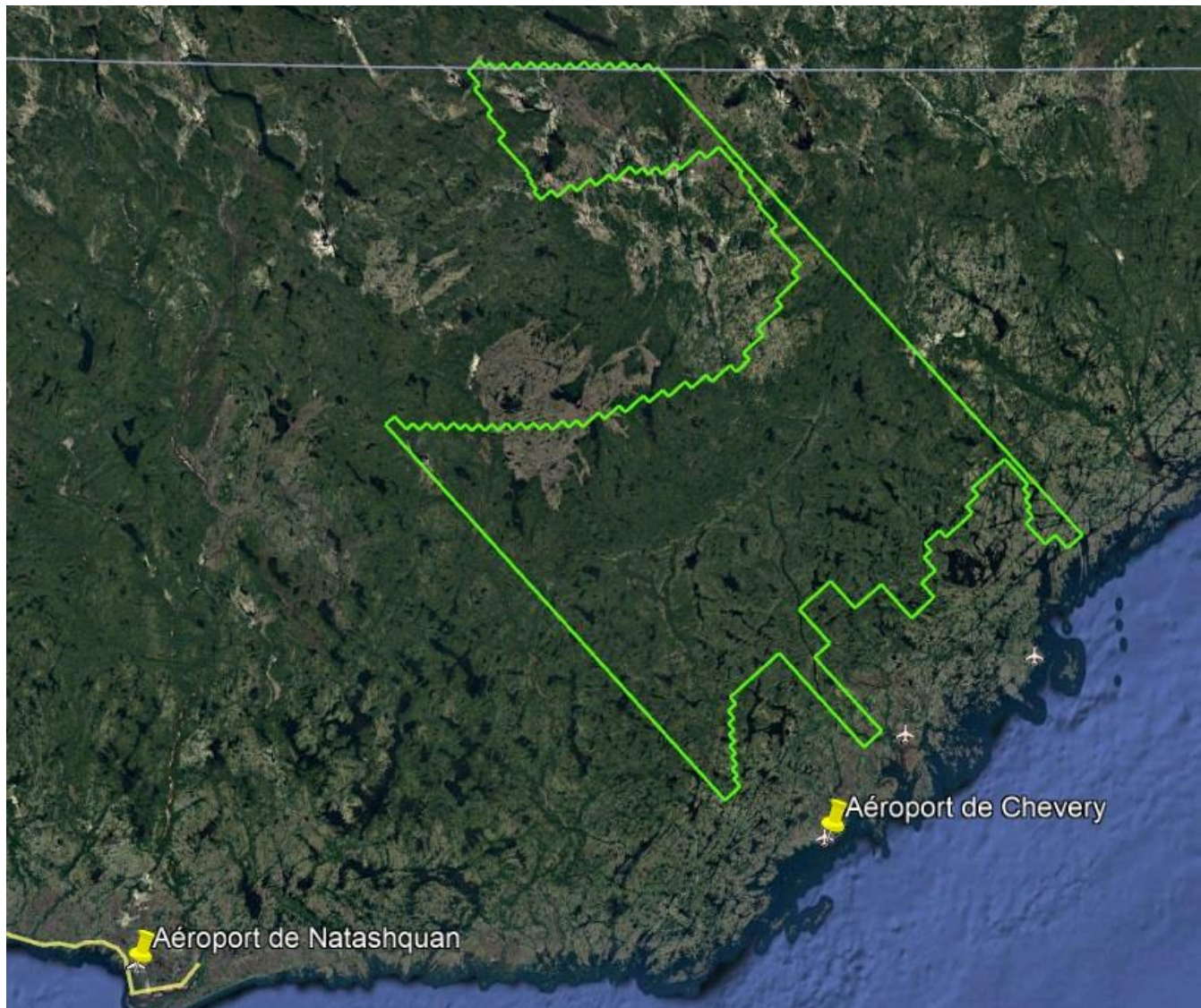


Figure 2 : Localisation du bloc du secteur de la Rivière du petit Mécatina

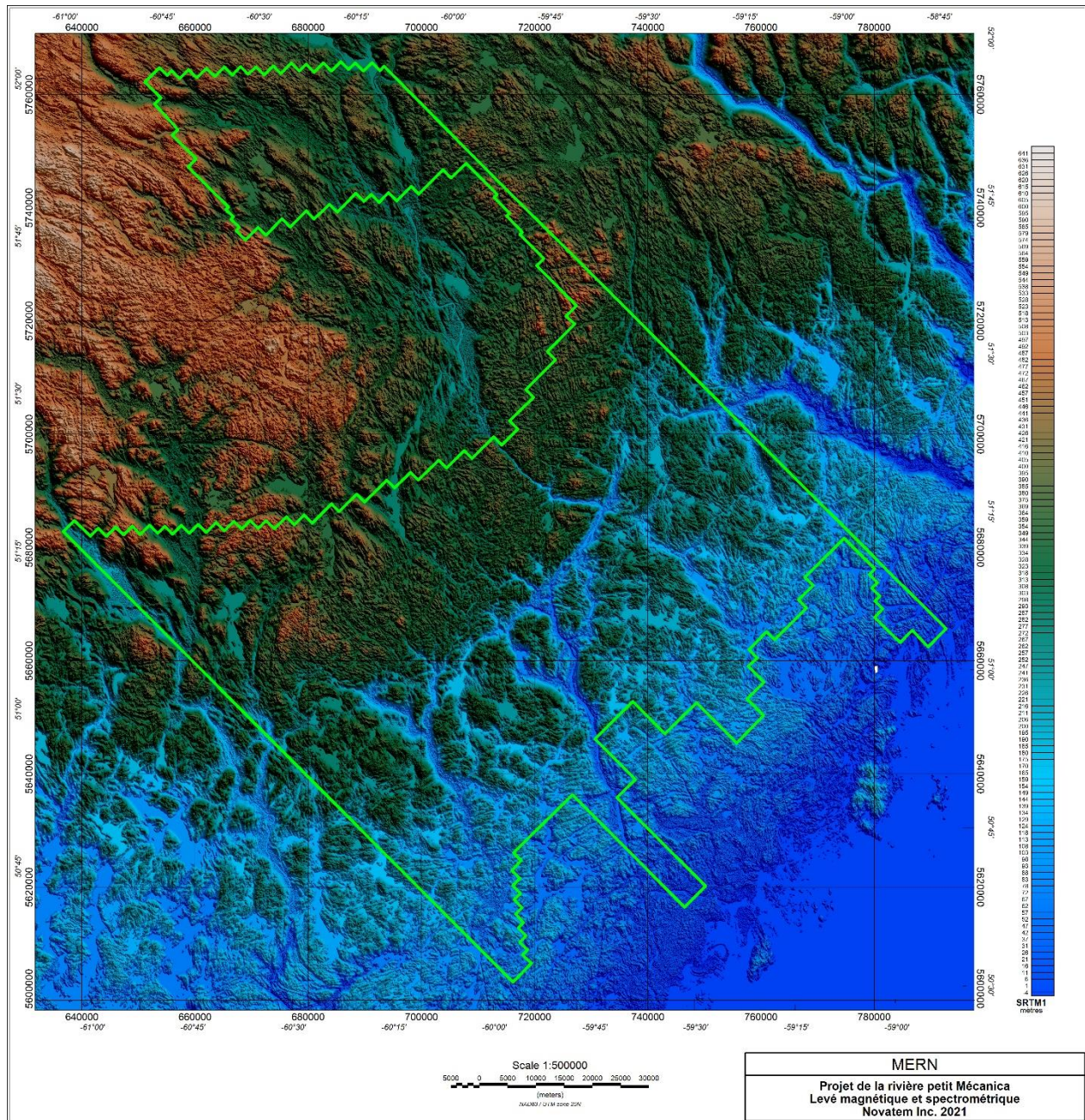


Figure 3 : Localisation du bloc de la Rivière Du petit Mécatina sur fond topographique SRTM1

2.2 ÉTENDUE DU LEVÉ

L'étendue du levé est résumée ici à l'aide des périmètres et surfaces mesurés en coordonnées géographiques en utilisant les coordonnées fournies par le **MERN** :

<i>Bloc</i>	<i>Périmètre</i>	<i>Surface</i>
Rivière du Petit Mécatina	832 km	8 404 km ²

Tableau 2 : Périmètre et surface du bloc

2.3 PARAMÈTRES DE VOL ET D'ACQUISITION DES DONNÉES

2.3.1. ESPACEMENT ET ORIENTATION DES LIGNES DE VOL

Les paramètres de vol utilisés pour le projet sont résumés dans le tableau qui suit.

<i>Paramètre</i>	
Espacement entre les traverses à la latitude moyenne du levé	200 m
Direction des traverses	N135°
Espacement entre les lignes de contrôle	2 000 m
Direction des lignes de contrôle	N45°

Tableau 3 : Paramètres de vol utilisés

2.3.2. HAUTEUR DE VOL AU-DESSUS DE L'EAU ET DU SOL

La hauteur de vol demandée par le MERN était fixée à **80m (263 pieds)** au-dessus du sol et la tolérance sur les écarts d'altitude aux points de croisement est de **± 15m**. La différence d'altitude entre la surface drapée et la surface volée ne devait pas dépasser **± 15m** sur une distance continue de **1 km** le long des traverses et des lignes de contrôle.

2.3.3. VITESSE

La vitesse moyenne de l'avion était voisine de **255 km/h** (70 m/s), sans excéder **285 km/h** (80 m/s).

Les pilotes se sont efforcés de suivre ces spécifications au mieux de leurs possibilités. Ces paramètres ont pu être modifiés temporairement par les pilotes, seuls juges de la sécurité des vols, en fonction des conditions locales de vol (proximité des zones habitées, lignes électriques, constructions industrielles, etc). En outre, la facilité pour les pilotes de suivre ces paramètres a pu varier, principalement en fonction de la topographie des lieux et des courants d'air.

2.3.4 TOLÉRANCES SUR LA NAVIGATION

La déviation acceptable, par rapport aux lignes de vol théoriques, a été fixée à **+/- 50 m** dans le plan horizontal, et à **+/-15 m** sur l'altitude, mesurés sur une ligne d'au moins 1 km. Deux traverses adjacentes sont ainsi séparées au plus de **250m** et au moins de **150m** et deux lignes de contrôle adjacentes sont séparées au plus de **2 050m** et au moins de **1 950m**. Toutefois ces valeurs ont pu être localement dépassées en fonction de la végétation, des habitations, des lignes électriques, etc.

Les segments de traverse revolés recoupent les lignes de contrôle à chaque extrémité en rejoignant les traverses préexistantes, avec un angle faible. De même, les lignes de contrôle revolées recoupent les traverses à chaque extrémité et rejoignent les traverses préexistantes, avec un angle faible. Toutes les traverses commencent et se terminent en recoupant une ligne de contrôle.

2.3.5 TOLÉRANCE SUR LE NIVEAU DE BRUIT DES MESURES

Les mesures brutes ont été filtrées des perturbations parasites anthropiques lorsque nécessaire. Le niveau de bruit des mesures résiduelles magnétiques, mesuré sur la quatrième différence est normalement en dessous de **± 0.1 nT** pour un échantillonnage de 10 mesures par secondes.

2.3.6 TOLÉRANCE SUR LES VARIATIONS TEMPORELLES DU CHAMP MAGNÉTIQUE (DIURNE ET SPHÉRIQUES)

La déviation maximum à chaque station de base sur les variations temporelles du champ magnétique a été fixée par le MERN, soit : une variation de **3 nT** crête à crête sur une période d'une minute ; **0.5 nT** crête à crête sur une période de 15 secondes. Le bruit des sphériques a été filtré des données et les lignes de vols affectées par un niveau trop important ont été refaites. Les mesures ont été faites en continue, à la cadence d'une mesure par seconde, avec une extension d'au moins une heure de mesure avant et après chaque vol.

2.4 KILOMÉTRAGE

Le tableau qui suit donne le kilométrage du plan de vol théorique, calculé en coordonnées projetées UTM 20N.

<i>Kilométrage</i>	<i>Traverses</i>	<i>Lignes de contrôle</i>	<i>Total</i>
<i>Rivière du Petit Mécatina</i>	41 990 km	4 289 km	46 279 km

Tableau 4 : Kilométrage calculé sur les plans de vol en coordonnées projetées

2.5 PLAN DE VOL THÉORIQUE ET LIGNES DE VOL RESTITUÉES À L'ISSUE DES VOLS

La figure qui suit présente le plan de vol du bloc du secteur de la Rivière du Petit Mécatina dans le système de projection UTM 20N.

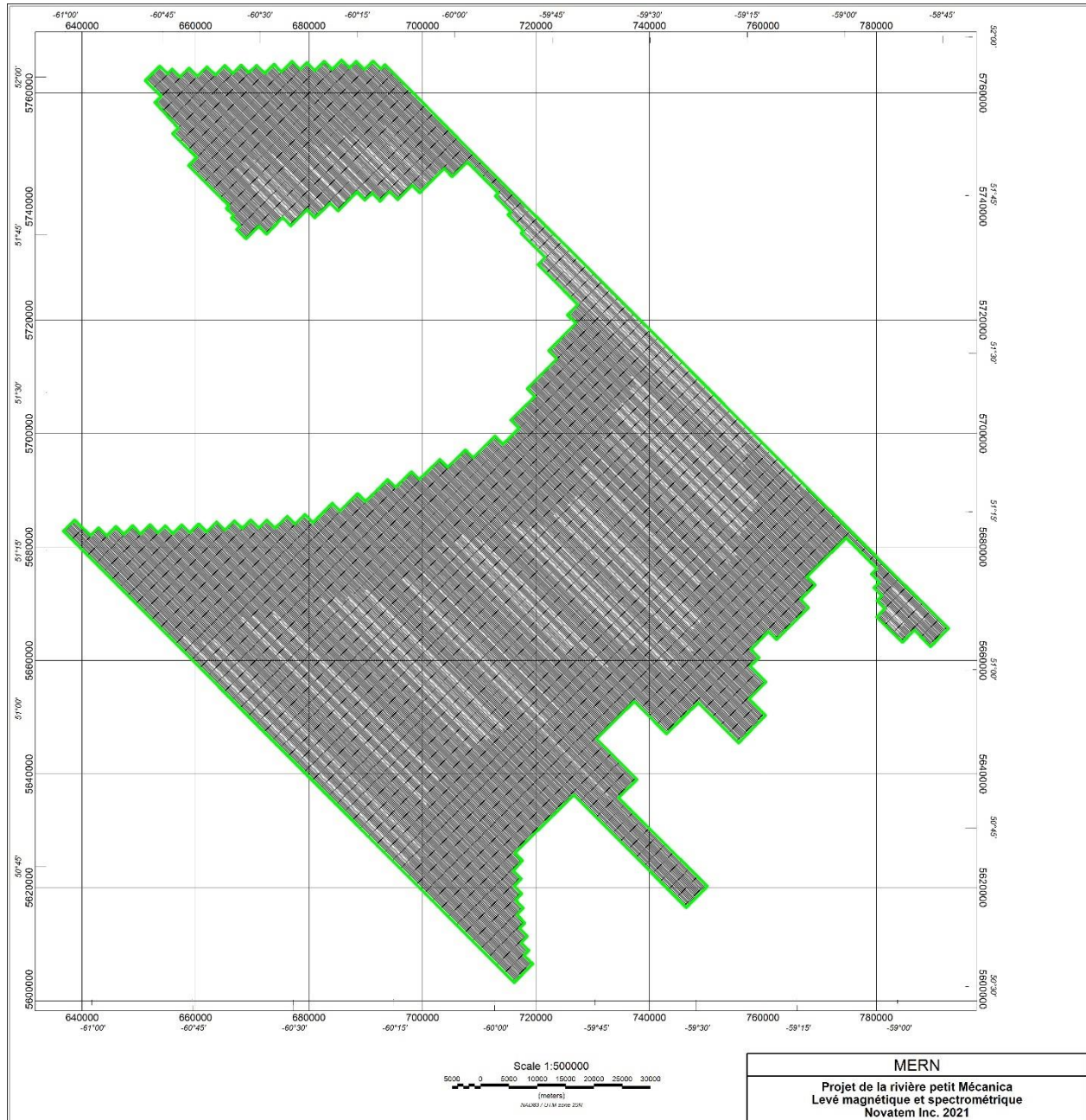


Figure 4 : Plan de vol du bloc du secteur de la Rivière du Petit Mécatina

3 TESTS ET CALIBRATIONS

Tous les instruments, y compris ceux de rechange, ont été testés et calibrés avant la mobilisation. La configuration a ensuite été testée à nouveau sur le lieu du levé. Les tests suivants ont été complétés avant le début des travaux et ont fait l'objet d'un rapport complémentaire compilant l'ensemble des résultats (*Rapport de Calibration*).

3.1 TESTS ET CALIBRATIONS DES INSTRUMENTS DE MESURES MAGNÉTIQUES

3.1.1. TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNÉTIQUES ET DU POSITIONNEMENT GPS

Des enregistrements des magnétomètres embarqués et au sol ont été effectués pendant au moins 10 minutes le 17 août 2021. Les données magnétiques ont été enregistrées simultanément par les magnétomètres des stations de base et le magnétomètre embarqué, alors que l'avion était immobile au sol, et les stations

3.1.2 ÉTALONNAGE DES MAGNÉTOMÈTRES EMBARQUÉS (TEST DE MOREWOOD)

L'étalonnage des magnétomètres embarqués a été réalisé sur la nouvelle base d'étalonnage de la CGC, à Morewood (Ontario), au début des opérations.

Cet étalonnage comprenait notamment une mesure de l'erreur de cap. Chaque avion a effectué deux passages dans chaque direction nord, sud, est et ouest.

Les résultats de ces essais sont présentés sous le même format graphique que celui utilisé au cours de la production du levé, et sous le format numérique prévu pour archiver les données. La même précision (deux décimales) est utilisée pour les deux présentations. Les résultats des essais, ainsi que la couverture vidéo de la trajectoire de vol, ont été soumis au chargé de projet pour approbation.

Les valeurs du champ magnétique total enregistrées à l'observatoire d'Ottawa (Ontario) ont été utilisées comme référence pendant la durée de ces vols d'étalonnage.

3.1.3. TEST DE LA NAVIGATION ÉLECTRONIQUE (FAIT AVEC LE TEST DE MOREWOOD)

Simultanément, un test de navigation électronique a été effectué. La qualité des mesures de positionnement DGPS du système embarqué a été validée par comparaison des mesures survolées au-dessus d'un point de mesure établi au sol.

3.1.4. TEST DE PARALLAXE

Les systèmes de synchronisation du temps et des enregistrements ont été vérifiés avant le début des opérations en survolant une source magnétique intense et isolée (un pont ferroviaire métallique) dans des directions opposées et à la hauteur nominale du levé. Ce retard, s'il est observé, est ensuite corrigé lors du traitement des données.

3.1.5. ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR

Une ligne test d'environ 1.5 km de long a été utilisée sur la piste d'atterrissage de l'aéroport de Bromont. L'emplacement a été choisi en accord avec le représentant du MERN.

Les altimètres ont été calibrés en survolant une bande d'altitude connue (la piste de l'aéroport). Cinq hauteurs réparties au-dessus de la hauteur nominale du levé ont été utilisées. Des droites d'étalonnage ont été

déterminées en utilisant les hauteurs radar et les altitudes GPS synchrones.

3.1.6. VOLS DE CALIBRATION DES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES DE L'AVION À HAUTE ALTITUDE (FOM)

La FOM de l'avion a été volée dès que les conditions météorologiques ont été favorables. Elles ont été volées à haute altitude, au-dessus d'une zone de faible gradient magnétique. La FOM comprenait au moins : 3 roulis de $\pm 10^\circ$; 3 tangages de $\pm 5^\circ$; 3 lacets de $\pm 5^\circ$ et ce dans chaque direction des lignes de vol du levé, soit N45, N225, N135, et N315. Chaque manœuvre a été effectuée sur une période d'au moins 45 secondes. La FOM a été calculée en additionnant les amplitudes crête à crête des 12 réponses magnétiques créées par les manœuvres de l'avion.

3.2 TESTS ET CALIBRATIONS DES INSTRUMENTS DE MESURES SPECTROMÉTRIQUES

La méthodologie d'analyse spectrométrique du rayonnement gamma mise en œuvre par Novatem est rigoureusement conforme aux recommandations de l'**AIEA**. Les spectromètres ont été entièrement recalibrés avant le démarrage des travaux, puis les tests suivants sont effectués avant la mobilisation sur le site des travaux:

- Calibration sur un ensemble de blocs appartenant au manufacturier Radiation Solution Inc. afin de déterminer les rapports de corrélation (stripping ratios)
- Des vols au-dessus de la zone d'étalonnage de la Commission Géologique du Canada (Breckenridge) ont été effectués sur des paliers constants aux 25 mètres, entre 50 et 225 m AGL. Ces paliers sont utilisés pour évaluer l'effet des variations de hauteur (coefficients d'atténuation de l'air et constantes de sensibilité) à partir de concentrations connues de sources radioactives au sol. Des mesures au sol sont ainsi effectuées simultanément aux vols, à l'aide d'un spectromètre calibré fourni par la CGC. Ce test est répété si des changements sont apportés au système de mesures spectrométriques.

Les tests et les vols de calibrations suivants ont été effectués à proximité de la zone du levé avant le début des opérations:

- Afin de déterminer les coefficients du bruit cosmique ainsi que le bruit de fond de l'avion, cinq paliers de calibration équidistants, entre 1500 et 3000 m AGL, sont réalisés au-dessus d'un plan d'eau et à plus de 5 kilomètres de la côte. Sur chaque palier, le système enregistre au moins 10 minutes de données lors de son ascension, puis 10 autres minutes lors de sa descente, pour un total de 20 minutes sur chacun des 4 paliers.
- Afin de vérifier la sensibilité du système, détecter tout changement du niveau de radioactivité de l'avion, et enfin suivre l'effet des variations d'humidité du sol sur le levé (variation de la concentration du Thorium inférieure à 10% après correction), des survols quotidiens d'une même ligne test à proximité de la base d'opération, à la hauteur nominale du levé et d'une durée d'au moins 200 secondes, sont réalisés au début et à la fin de chaque journée de vol.
- Afin de procéder à la calibration du détecteur regardant vers le haut des effets du radon atmosphérique, la ligne test est localisée à proximité d'un plan d'eau permettant de réaliser des vols quotidiens, d'au moins 200 secondes au-dessus de l'eau, avant et après chaque journée de vol. Le pilote effectue tous ses vols à la même altitude pour minimiser l'erreur sur les variations du taux de compte. Étant donné que l'humidité du sol est contrôlée dans la fenêtre du thorium, les variations résiduelles ne sont dues qu'à des changements quotidiens dans le radon atmosphérique, une fois corrigées du rayonnement cosmique et du bruit de fond de l'avion (AGSO Record 1995/60). Les coefficients destinés à corriger la contribution du sol dans le spectre du détecteur regardant vers le haut sont obtenus en soustrayant les sections des lignes adjacentes (AIEA 1991).

4 LOGISTIQUE

4.1 SERVICES GÉOPHYSIQUES ET LOGISTIQUES

Novatem Inc. a pris en charge les éléments suivants du projet :

- Obtention des autorisations de vol
- Mise à disposition du personnel qualifié nécessaire au bon déroulement du levé jusqu'à son terme
- Fourniture des équipements techniques nécessaires ainsi que des pièces de rechange pour réaliser le levé dans les meilleurs délais
- Fourniture des avions et du carburant
- Fourniture du gîte et du couvert des employés
- Maintenance et supervision du bon fonctionnement des avions
- Traitements préliminaires et contrôles de la qualité des données géophysiques sur le site
- Préparation et fourniture des produits préliminaires et finaux

Remarque : compte tenu de la contamination de la cuve à carburant à l'aéroport de Natasquan, tout le carburant utilisé pour ce projet a été livré par bateau à l'aéroport de Chevery : 156 barils de 205 litres chaque, soit 31 980 litres de carburant AVGAS, ont été livrés et utilisés en totalité pour ce projet.

4.2 BASE D'OPÉRATION ET STATIONS DE BASE

L'aéroport de Chevery, situé à 30 kilomètres du levé, a été utilisé comme base pour ce projet.

Aéroport de Chevery	Code IATA: YHR; Code ICAO : CYHR (Lat, Long) = (50°28.13' N, 59°38.20' O) Altitude = 39 ft. (12 m) Longueur de la piste : 4 500 ft (1 370 m) Surface : Asphalte
---------------------	--

Compte tenu des difficultés d'hébergement à Chevery, le personnel a été hébergé dans une maison privée, louée pour la durée du levé. Cette base était équipée d'une connexion internet. Une liaison par téléphone était disponible durant toute la durée du levé avec le chef de mission d'une part et par radio télécommunication avec les pilotes d'autre part. L'avion était par ailleurs équipé d'un système de communication et de suivi en temps réel **Spydertracks**. Tous les outils nécessaires aux prétraitements des données étaient disponibles sur place.

Deux stations de base magnétique et une station GPS ont été installées à proximité de la base d'opération. Le responsable technique de Novatem récupérait les données chaque semaine. Les lieux d'implantation ont été choisis selon les spécifications du MERN : localisation loin des perturbations anthropiques ; faible gradient local. Ces mesures de validation ont été effectuées à l'aide de la station-sol (GSM 19).

Les coordonnées géographiques des stations-de-base magnétique et GPS, ainsi que la moyenne de chaque base, sont les suivantes :

Base 1 :	Base 2 :
Longitude : 59.61511137 O	Longitude : 59.61511137 O
Latitude : 50.46772551 N	Latitude : 50.46772551 N
Moyenne mesurée pendant la durée du levé : 53 057 nT	Moyenne mesurée pendant la durée du levé : 53 070 nT

4.3 RESSOURCES HUMAINES AFFECTÉES AUX TRAVAUX GÉOPHYSIQUES

Le personnel suivant était affecté aux prétraitements, aux contrôles de la qualité et aux traitements finaux des données de géophysique :

- Gestionnaire du projet et responsable de la qualité des données : **Pascal Mouge, Geo., Ph. D.** Membre de l'Ordre des Géologues du Québec.
- Gestionnaire scientifique et responsable du traitement des données : **Olivier Savignet, Ing.** Membre de l'Ordre des Ingénieurs du Québec.
- Responsable de l'acquisition et des équipements sur le terrain : **Morten Skovgaard, M.Sc.**

4.4 RESSOURCES HUMAINES AFFECTÉES AU PILOTAGE DE L'AVION

Tous les pilotes ayant travaillé sur ce projet sont titulaires d'un permis commercial valide pour les avions Piper Navajo PA31-310, délivré par Transport Canada.

Pour des raisons de sécurité, l'avion a été piloté par un pilote commandant de bord assisté d'un copilote. Chaque instrument était scruté en temps réel à l'aide d'indices de qualité ; si la valeur d'un de ces indices passait en dessous des spécifications, le voyant correspondant passait du vert au rouge sur l'écran du pilote qui cessait immédiatement son vol et rentrait à sa base. Ce cas de figure ne s'est jamais produit.

Novatem a réalisé ce projet avec l'aide de quatre pilotes au total, tous ayant les qualifications de commandant de bord expérimenté pour les vols de géophysique à basse hauteur, et deux mécaniciens (AME) certifiés et expérimentés pour le type d'avion mis en œuvre.

- **Alain Tremblay**, Commandant
- **Pierre Pelletier**, Commandant
- **Antoine Couture**, Commandant
- **Mathieu Bernier**, Commandant
- **Alain Guillemette**, AME
- **Hugo Meloche**, AME

4.5 CALENDRIER DES TRAVAUX

La production a débuté le **24 juillet 2021** et s'est terminée le **06 octobre 2021**. Les données préliminaires ont été produites à Mont-Saint-Hilaire au fur et à mesure de la progression du travail. Toutes les phases du levé, en particulier de planification et le suivi de la production ont été coordonnées avec le représentant du Ministère.

Le livre de bord de l'avion, résumant les principales dates du levé ainsi que l'avancement des travaux, sont joints en annexe du présent rapport.

5 INSTRUMENTATION

5.1 AÉRONEFS

Novatem a mis en œuvre pour ce projet deux avions bimoteurs **Piper Navajo PA31-310** respectivement immatriculés C-FWNG et C-GTIW. Compte tenu du manque de logement à Chevery, l'avion C-GTIW est resté en attente durant toute la durée du contrat.

Chaque avion était muni d'une perche magnétométrique (« tail boom ») validée par un STC, délivré par Transport Canada. Les perches magnétométriques ont une longueur hors tout de 4 m. Les équipements de mesure géophysique montés à bord de l'avion pour cette campagne incluaient principalement :

- Un capteur magnétique scalaire de très haute résolution à pompage optique de vapeur de césium, fabriqué par Geometrics, monté à l'extrémité de la perche magnétométrique.
- Un capteur magnétique vectoriel fluxgate de très haute résolution, fabriqué par Billingsley, monté à l'extrémité de la perche magnétométrique.
- Deux spectromètres digitaux de mesure du rayonnement gamma RSX-5 fabriqués par Radiation Solutions Inc. (RSI). Chaque spectromètre comprenait 5 cristaux de NaI, soit 41.8 litres par avion au total.
- Un système de navigation SAMM « drapée » développé par Novatem, permettant de suivre une surface de vol continue, calculée à l'avance, et donc de minimiser les écarts aux intersections des traverses et des lignes de contrôle;
- Un altimètre radar TRA 4000, fabriqué par Free Flight Systems, dont la calibration est faite par des mesures conjointes barométriques et DGPS;
- Un système de mesure des angles d'attitude (Inertial Measurement Unit), fabriqué par Microstrain, pour la compensation magnétique;
- Un système de compensation SAMM développé par Novatem pour la très haute résolution utilisant conjointement les composantes fournies par le magnétomètre vectoriel fluxgate, les angles mesurés par la centrale d'attitude, et des algorithmes d'inversion très performants pour le calcul des coefficients;
- Un système de positionnement GPS différentiel double fréquence Novatel Propack. Ce système est précis en temps réel à un mètre dans le plan horizontal et un centimètre après corrections à l'aide des mesures de la station sol;
- Une caméra digitale Commander Recorder Video fabriquée par Rugged Video utilisant une optique à vision grand angle HDX, synchronisée avec le système de positionnement.

La base d'opération à Chevery était équipée de :

- Deux stations de base magnétométriques GEM GSM-19, chacune équipée d'un capteur de haute résolution pour la correction des variations temporelles du champ magnétique externe;
- Une station de base DGPS utilisant un capteur Novatel similaire à celui embarqué à bord de l'avion pour le calcul des corrections différentielles de positionnement à l'aide du logiciel Waypoint GrafNav de Novatel.

Avant le démarrage des opérations, les équipements ont tous été testés au sol afin de s'assurer que les paramètres d'acquisition étaient dans les spécifications du contrat. Tout au long du projet, des contrôles de la qualité ont été réalisés quotidiennement sur les données.

5.2 MAGNÉTOMÈTRES

5.2.1 MAGNÉTOMÈTRE SCALAIRE EN VOL

L'avion était équipé d'un capteur scalaire G822A à pompage optique de vapeur de Césium, fabriqué par **Geometrics**, mesurant le champ total avec une sensibilité de 0.0005 nT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ et un "heading error" inférieur à 0.1 nT. Ces magnétomètres sont opérationnels y compris sur les zones de fort gradient sur une gamme de 20 000 – 120 000 nT.

Spécifications	
Taux d'échantillonnage	10 Hz
Précision en vol	< 0.1 Nt
Sensibilité	< 0.002 nT à 10 Hz
Résolution	0.0001 Nt
Plage de fonctionnement	20 000 à 100 000 Nt
"Heading error"	± 0.15 Nt

Tableau 5 : Spécifications du magnétomètre en vol G-822A

5.2.2 MAGNÉTOMÈTRE VECTORIEL

Un capteur magnétique vectoriel fabriqué par **Billingsley**, mesurant les trois composantes du champ magnétique total a été utilisé sur chaque avion. Ce magnétomètre de dernière génération à vanne de flux est le plus performant des magnétomètres vectoriels existants.

Spécifications	
Échantillonnage	125 Hz
Orthogonalité des axes	Meilleure que 0.2 degrés
Précision	0.1 Nt
Sensibilité	< 0.3 Nt
Résolution	0.1Nt
Fonctionnement	> 65 000 Nt
'Heading error'	± 1 Nt

Tableau 6 : Spécifications du magnétomètre vectoriel fluxgate

5.2.3 SPECTROMÈTRES DE MESURE DU RAYONNEMENT GAMMA

Deux spectromètres digitaux de mesure du rayonnement gamma RSX-5 fabriqués par Radiation Solutions Inc. (RSI) ont été utilisés pour ce projet. Chaque spectromètre comprenait 5 cristaux de NaI, dont 4 dirigés vers le bas (16.72 litres = 1024 in³), et un cristal regardant vers le haut (4.18 litres = 256 in³). Chaque avion disposait donc de 33.44 litres dirigés vers le bas et 8.36 litres dirigés vers le haut, soit 41.8 litres par avion au total.

Spécifications	
Taux d'échantillonnage	1 Hz
Canaux	1024
Non linéarité différentielle	Moins de 0.2% sur 99.5%
Non linéarité intégrale	Moins de 0.1% sur 99.5%
Résolution	Mieux que 8.5%

Tableau 7 : Spécifications des spectromètres RSI RSX-5

5.2.3 STATION DE BASE MAGNÉTOMÉTRIQUE

Deux stations de base magnétiques **GEM** GSM19, équipée chacune d'une carte d'acquisition et d'une antenne GPS ont enregistré les variations du champ magnétique externe durant toute la période du levé. Une des deux stations a été laissée fixe durant toute la durée des travaux (station de référence). Chaque station était équipée d'une batterie résistante aux très basses températures, elle-même alimentée par un panneau solaire.

Spécifications	
Taux d'échantillonnage	1 Hz
Précision	0.2 Nt
Résolution	0.01 Nt

Tableau 8 : Spécifications des magnétomètres des stations sol

5.3 SYSTÈME DE POSITIONNEMENT

5.3.1 NAVIGATION

Un système de navigation SAMM développé par Novatem, spécifiquement pour les levés géophysiques aéroportés, a été utilisé. Le pilote disposait face à lui de toutes les informations nécessaires pour suivre ses lignes de vol et sa surface drapée ; d'une part sur un écran de haute luminosité, et d'autre part sur un 'barre graphe' constitué de diodes lumineuses et de quatre fenêtres digitales l'informant des principaux paramètres de navigation. Le système fournit en outre au pilote des indices sur la qualité des mesures : si un au moins de ces indices passe au rouge, le pilote cesse immédiatement son vol et rentre à sa base.



Figure 5 : Système de navigation embarqué

5.3.2 SYSTÈME DGPS EN VOL

Un GPS différentiel **Novatel Propack**, temps réel bi-fréquences, a été utilisé pour le positionnement en vol.

Spécifications	
Échantillonnage	10 Hz
OmniSTAR L1 et L2 GPS + GLONASS	0.15 - 0.6 m
Nombre de canaux	72
Réacquisition L1 0.5 s	0.5 s
Réacquisition L2 1 s	1 s
Précision du temps	20 ns
Plage de températures	-40°C à +75 °C

Tableau 9 : Spécifications du système DGPS

5.3.3 STATION DE BASE DGPS

Une station de base DGPS utilisant un capteur **Novatel** similaire à celui embarqué à bord de l'avion a été installée à proximité immédiate du levé. Les positions différentielles sont recalculées après les vols à l'aide du logiciel **Waypoint GrafNav** de **Novatel**. À l'issue des traitements différentiels, une précision d'environ un centimètre est généralement observée.

Spécifications	
Échantillonnage	10 Hz
OmniSTAR L1 et L2 GPS + GLONASS	0.15 - 0.6 m
Nombre de canaux	72
Réacquisition L1 0.5 s	0.5 s
Réacquisition L2 1 s	1 s
Précision du temps	20 ns
Plage de températures	-40°C à +75 °C

Tableau 10 : Spécifications de la station de base GPS

5.4 MESURES INERTIELLES ('INERTIAL MEASUREMENT UNIT')

Une centrale inertielle **Microstrain**, a été utilisée pour la mesure des angles d'attitude (roulis, tangage et lacet) nécessaires à la correction des gradients magnétiques. Les trois angles d'attitude sont mesurés avec une très grande vitesse d'échantillonnage (entre 100 et 600Hz) puis ramenés à la même cadence que les autres mesures (10Hz).

Spécifications	
Échantillonnage	10 Hz (600Hz max)
Précision (roulis, tangage, lacet)	0.001 degré

Tableau 11 : Spécifications du système de mesures inertielles

5.5 SONDE BAROMÉTRIQUE

Chaque avion était muni d'une sonde de température et de pression fabriquée par **Honeywell** ayant une résolution respectivement de 0.1 °C et de 0.1 mbars.

5.6 ALTIMÈTRE RADAR

Chaque avion était équipé d'un altimètre radar **TRA-4000** fabriqué par **Free Flight Systems**. Cet altimètre est étalonné par des vols au-dessus d'une bande de terrain d'altitude connue (piste d'aéroport de préférence).

Spécifications	
Modèle	TRA-4000
Échantillonnage	10 Hz
Gamme d'altitude	0 – 2 600 pieds
Gamme de précision	Entre 0 et 100 pieds : ≤ 3ft Entre 100 et 500 pieds : ≤ 3% Entre 500 et 2 500 pieds : ≤ 5%
Gamme de températures	-55 à +70 °C

Tableau 12 : Spécifications des altimètres radar

5.7 SYSTÈME D'ACQUISITION ET D'ENREGISTREMENT DES DONNÉES

Un système d'acquisition SAMM développé par Novatem a été utilisé. Toutes les données sont synchronisées en temps réel avec le récepteur DGPS. Les données sont enregistrées et sauvegardées à l'issue de chaque vol.

Les données suivantes sont enregistrées :

- Numéro de ligne
- Temps GPS
- Fiduice
- Facteurs de qualité (GDOP, etc)
- Latitude, longitude, altitude DGPS (WGS84)
- Hauteur radar
- Angles d'attitude (roulis, tangage, lacet)
- Composantes du champ magnétique (X, Y, Z) mesurées par le fluxgate
- Surface drapée théorique (SRTM, 90m)
- Surface de vol réelle

- Mesures du champ magnétique total pour le capteur Césium
- Mesures du champ compensées en temps réel

Les mesures des deux stations sol et des coordonnées rectangulaires (UTM) sont intégrées lors des traitements préliminaires. Le retard instrumental du système d'acquisition est normalement inférieur à une fiduce (0.05s).

5.8 SYSTÈME D'ACQUISITION VIDÉO

Une caméra digitale Commander Recorder Video fabriquée par Rugged Video, utilisant une optique à vision grand angle HDX, était installée dans la base inférieure de l'emplanture du stinger. Les images sont synchronisées avec le système de positionnement DGPS. Le défilement sous l'avion est enregistré en continu au format mp4. Le positionnement et l'heure (temps universel, en heures, minutes et secondes après minuit) sont incrustés sur chaque image.

Spécifications	
CAMERA	HDX
Image Sensor	1/3" Panasonic CMOS
Pixels	1,956 x 1,266 2.48 Megapixel
Output Resolution	1080p30
Shutter Speed	AUTO 1/60 - 1/50,000

Tableau 13 : Spécifications du système vidéo

5.9 CALCULATEURS DE TERRAIN

Au moins trois calculateurs PC dédiés aux mesures de terrain ont servi à l'analyse de la qualité des données, au tracé de la navigation et des mesures brutes ainsi qu'à l'archivage immédiatement après les vols. Le contrôle de la qualité est fait quotidiennement et le rapport d'avancement et de production est mis à jour des dernières données. À l'issue des contrôles, les grilles préliminaires sont recalculées puis un tracé est produit à l'échelle de la compilation afin de s'assurer de la qualité des données magnétiques et de positionnement.

5.10 PIÈCES DE RECHANGE

Un jeu normal de pièces de rechange et d'instrumentation nécessaires au bon fonctionnement et à la vérification des appareils était disponible sur le terrain. Un jeu complet de pièces de rechange était disponible dans les locaux de Novatem, à Mont-Saint-Hilaire.

6 CONTRÔLES DE LA QUALITÉ DES DONNÉES

Pendant le levé, le contrôle de la qualité des données est effectué par le Chef des opérations sur le terrain. Les contrôles sur la qualité des données sont intégrés dans le processus normal d'acquisition et commencent dès l'établissement des plans de vol pour se terminer avec la livraison des produits finis au client.

Avant le levé, les contrôles servent à s'assurer notamment que :

- Les spécifications sont appropriées pour les cibles considérées
- Les spécifications sont sécuritaires pour le personnel et les équipements
- La navigation est sécuritaire compte tenu de la topographie et des conditions météorologiques locales
- Les équipements et les instruments sont conformes au cahier des charges (y compris pour les logiciels)
- Les pièces détachées et l'instrumentation sont en quantité suffisante pour réaliser le levé dans les délais attendus
- Les outils de maintenance et les pièces détachées de l'avion sont disponibles
- La maintenance des aéronefs sera faite dans des conditions sécuritaires et dans les meilleurs délais

En vol, les données sont analysées en temps réel. Le pilote est informé par des diodes lumineuses du bon fonctionnement des appareils afin qu'il puisse suspendre son vol et retourner à la base si nécessaire, où les modifications appropriées sont faites.

6.1 CONTRÔLE DES SPÉCIFICATIONS DE VOL

Après chaque vol, les données brutes sont inspectées afin de s'assurer d'une part de la qualité des données et d'autre part que toutes les données attendues sont présentes, puis sauvegardées sur un support indépendant et sécuritaire. Pour chaque vol, les traitements suivants sont réalisés sur le terrain :

- Reconstitution de la trajectoire de l'aéronef
- Contrôle de la trajectoire volée par rapport au plan théorique
- Détermination des lignes à revoler
- Vérification des données brutes de la station DGPS de référence

Les contrôles sont ensuite effectués en priorité, pour s'assurer de :

- L'espacement entre les points de mesure (vitesse de l'avion)
- La déviation de part et d'autre des lignes de vol
- La déviation des lignes de vol en altitude
- La continuité des profils
- Le niveau de bruit des données

On s'assure en particulier que chaque ligne de vol recoupe proprement au moins deux lignes de contrôle et que les tronçons éventuels se rejoignent suivant un angle faible, sans discontinuité.

Toutes les données digitales sont fusionnées dans un fichier au format Geosoft. Les profils sont ensuite édités pour s'assurer que toutes les données attendues sont présentes et que leur qualité est conforme à la demande. Les données sont finalement archivées, traitées puis délivrées dans une base de données compatible avec les logiciels du client.

7 TRAITEMENTS DES DONNÉES

7.1 CORRECTIONS DIFFÉRENTIELLES DU POSITIONNEMENT

Les positions successives fournies par le système DGPS en coordonnées géographiques sont d'abord converties en coordonnées rectangulaires UTM lors des prétraitements afin de procéder au contrôle de la navigation.

À l'issue du levé, la première phase des traitements consiste à calculer les corrections différentielles à l'aide des données de la station de référence ou des stations locales lorsqu'elles sont disponibles.

Les corrections GPS différentielles sont calculées à l'aide du logiciel Waypoint de Novatel. Les positions de l'avion ont été recalculées en utilisant les données de la station de base GPS. En outre, des éphémérides précises et des données d'horloge ont été téléchargées pour toute la période du levé afin d'améliorer la précision des données de position recalculées.

7.2 CORRECTION DES MESURES DE HAUTEUR RADAR ET BAROMÉTRIQUE

Les altimètres radar et barométriques ont été étalonnés en survolant une bande de terrain (piste de l'aéroport) à des hauteurs successives au-dessus du sol. Une droite de calibration a ainsi été construite en traçant les hauteurs de l'altimètre radar en fonction de l'altitude DGPS corrigée du SRTM. Les résultats sont présentés dans le *Rapport de calibration*.

7.3 TRAITEMENT DES DONNÉES MAGNÉTIQUES

7.3.1 RÉSUMÉ DES TRAITEMENTS APPLIQUÉS AUX MESURES MAGNÉTIQUES

Les données mesurées en vol sont éditées quotidiennement puis archivées dans une base de données *Geosoft Oasis Montaj*. Les profils sont ensuite dessinés et contrôlés. Un décalage spatial entre le capteur magnétique scalaire et la position de l'antenne est d'abord appliqué aux coordonnées DGPS. Les mesures magnétiques sont ensuite corrigées des perturbations dues à l'avion (compensation) à l'aide des informations vectorielles fournies par le Fluxgate et inertielle fournies par l'IMU. Les mesures compensées sont ensuite corrigées des variations du champ magnétique externe (variations diurnes principalement et pulsations si ces variations sont acceptables) à l'aide des mesures de la station de base magnétométrique. L'erreur directionnelle intrinsèque de chaque magnétomètre (« heading error ») est ensuite estimée et retranchée des mesures de chaque magnétomètre et ce pour chaque direction de vol. Enfin, une procédure de nivellement est appliquée, d'abord sur les lignes de contrôle, puis sur les lignes régulières, afin d'éliminer les erreurs résiduelles engendrées principalement par les variations de hauteur de l'avion.

7.3.2 COMPENSATION

Un vol de calibration, obéissant à une géométrie précise et reproductible (FOM), a été réalisé par temps clair sans vent à très haute altitude, loin des perturbations magnétiques générées par la croûte terrestre. Un ensemble de coefficients a été calculé par inversion, sur la base du modèle physique des perturbations magnétiques de l'avion (le modèle est une combinaison linéaire de 18 termes, construits à partir des cosinus des angles d'orientation et du champ terrestre et des variations de gradients inhérents au déplacement du capteur dans le champ terrestre). L'inversion est faite sur chaque direction. Un jeu de coefficients est donc obtenu pour chaque direction. Ces coefficients sont ensuite utilisés pour reconstruire le champ des perturbations magnétiques de l'avion à partir des angles d'attitude fournis par la centrale inertielle et du magnétomètre Fluxgate.

Les bruits magnétiques de l'avion (aimantation induite, permanente et courants de Foucault) sont mesurés et corrigés en temps réel.

La FOM de chaque avion est d'environ 1nT. Tous les résultats sont présentés dans le *Rapport de calibration*.

7.3.3 CORRECTION DES VARIATIONS TEMPORELLES (VARIATIONS DIURNES)

Les données mesurées aux stations de base (1Hz) ont été éditées puis archivées dans un fichier ASCII, puis interpolées linéairement aux instants de l'acquisition en vol (10Hz). Les stations de base étant fixe et loin de toutes variations parasites artificielles, les variations enregistrées sont supposées être les variations temporelles dues à l'activité solaire (variation diurne, pulsations, etc.).

La constante magnétique du lieu, estimée avec la moyenne de l'ensemble des enregistrements sur toute la durée du projet, sert de niveau de référence. Les données de la station 1 ont été utilisées pour corriger les données. Cette constante est ensuite retirée à l'ensemble des mesures. Lors de ce levé, la moyenne enregistrée jour et nuit à la station de base était de **53 057 nT** lors des mesures faites de juillet à octobre 2021.

Une moyenne glissante de période équivalente à 120 secondes a été appliquée aux données brutes afin d'éliminer les pulsations de hautes fréquences et généralement de faible amplitude. La station de base utilisée étant à plusieurs dizaines de kilomètres du levé, ces pulsations sont en effet généralement déphasées et d'amplitude différente de celles mesurées par l'avion. Un tel filtre permet ainsi de limiter ce bruit qui pourrait dégrader la qualité des données mesurées en vol.

7.3.4 CORRECTION DU RETARD INSTRUMENTAL (LAG)

Des erreurs résiduelles de positionnement, principalement engendrées par le 'retard de temps' (lag) entre l'instant où la position est mesurée et celle où elle est assignée au magnétomètre, peuvent engendrer un décalage systématique dans chacune des directions de vol. Les résultats des tests de 'lag' conduits préalablement au levé montrent que cet écart reste généralement minime (voir *Rapport de calibration*).

7.3.5 CORRECTION DE L'EFFET DE L'ALTITUDE

Une procédure de correction d'altitude basée sur une expansion de Taylor au second degré a été appliquée sur les données magnétiques corrigées.

7.3.6 NIVELLEMENT

Une procédure de nivellement, basée sur les différences observées à l'intersection des traverses et des lignes de contrôle a été appliquée, d'abord sur les lignes de contrôle puis sur les lignes régulières.

À chaque étape du nivellement, la table des intersections aux points de croisement est recalculée. Une vérification rigoureuse de la table est alors réalisée afin d'éliminer tout point d'intersection dont le gradient serait trop important, ce qui aurait pour conséquence d'altérer l'ensemble du profil.

Le nivellement des lignes de contrôles utilise les traverses comme base du nivellement puis une correction de tendance du premier ordre est appliquée.

La procédure précédente est ensuite répétée en rabattant les traverses sur les lignes de contrôle. Un nivellement plus local du second ordre est ensuite appliqué. Le tableau suivant décrit la méthode utilisée.

<i>Nivellement</i>	
Correction des lignes	Ordre des corrections
Lignes de contrôle	1 ^{er} degré
Traverses	1 ^{er} degré
Lignes de contrôle	2 ^{ième} degré
Traverses	2 ^{ième} degré

Tableau 14 : Procédure de nivellement

Le tableau suivant résume les seuils de tolérances sur les intersections utilisés pour chaque itération de nivellement.

<i>Spécifications</i>			
Nombre total d'intersections	Nombre d'intersections ayant une différence inférieure à 15m	Nombre d'intersections ayant un différence inférieur à 50 nT	Nombre d'intersections utilisé pour le nivellement
21 449 (100%)	21 422 (99.9%)	21 295 (99.3%)	21 313 (99.4%)

Tableau 15 : Tolérances sur les intersections

La figure suivante montre les statistiques sur les différences de hauteurs de vol aux intersections.

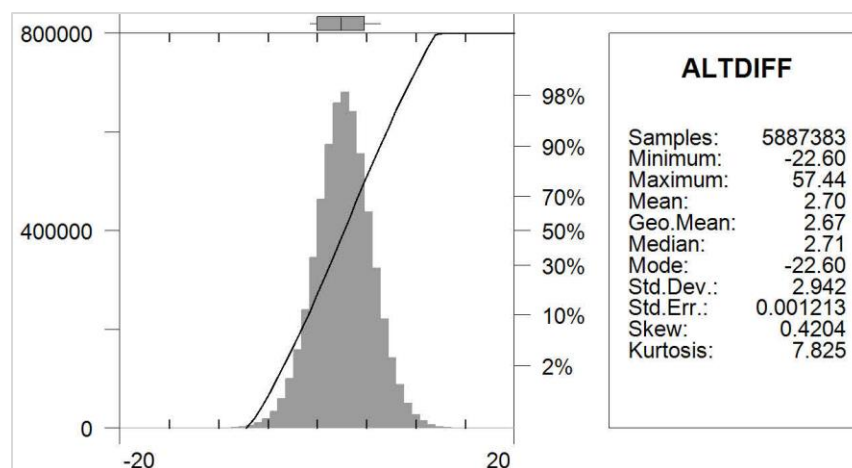


Figure 6 : Statistiques sur les différences de hauteurs de vol aux intersections

7.3.7 MICRO-NIVELLEMENT

En raison des fortes variations topographiques de la région survolée, un bruit résiduel directionnel causé par les variations de hauteur locales entre les lignes de contrôle a été observé. Dans le but de corriger ces erreurs, une procédure propriétaire de micro-nivellement a été appliquée aux résultats précédents. Les paramètres utilisés sont décrits dans le tableau suivant.

<i>Filtre Buttworth</i>		<i>Filtre directionnel</i>	
<i>Seuil max.</i>	<i>Ordre du filtre</i>	<i>Direction</i>	<i>Ordre du filtre</i>
400 m	4	135°N	0.5

Tableau 16 : Paramètres de micro-nivellement

7.3.8 CHAMPS RÉSIDUEL

Les anomalies du champ magnétique total ont été calculées en retranchant un modèle d'IGRF calculé à une hauteur constante de 300 m. L'IGRF 2020, extrapolé à la date du 01/09/2021 a été utilisé pour ce levé.

7.4 TRAITEMENT DES DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES

7.4.1 RÉSUMÉ DES CORRECTIONS APPLIQUÉES AUX MESURES DE SPECTROMÉTRIE GAMMA

Le tableau suivant résume les corrections appliquées au cours du traitement des données de spectrométrie.

<i>Correction</i>	<i>Paramètre traité</i>	<i>Type de filtre</i>	<i>Effet</i>
Pré-filtrage	Altimètre radar	Passe-bas sur 2 sec	Lissage
Pré-filtrage	Rayonnement cosmique	Moyenne sur 15 sec	Réduction du bruit statistique
Pré-filtrage	Température Pression	Moyenne sur 60 sec	Lissage
Suppression du radon	Uranium Haut/Bas corrigé	Moyenne sur 300 points	Réduction du bruit statistique

Tableau 17 : Résumé des corrections appliquées aux données spectrométriques

7.4.2 FILTRAGE DES DIFFÉRENTES RÉGIONS D'INTÉRÊTS

La stabilité des spectres est vérifiée, et si nécessaire, un décalage du spectre peut être appliqué durant le post-traitement afin que les énergies des radionucléides soient cohérentes. Aucune sommation des spectres n'est appliquée aux données brutes, excepté pour la détermination des coefficients. D'autre part, aucun pré-filtrage n'a été effectué pour réduire le niveau de bruit des régions d'intérêts compte tenu des très bons indices obtenus sur la qualité des données.

La méthode d'analyse en composante principale (NASVD), n'a pas été utilisée pour reconstituer les spectres (lissage). L'utilisation du logiciel **Praga** de **Geosoft** n'a pas permis de déterminer suffisamment de vecteurs propres pour reconstituer l'ensemble des données de façon rigoureuse.

7.4.3 CORRECTION DU TEMPS D'ACQUISITION PAR SECONDE

Comme les spectromètres ont besoin d'un temps fini pour traiter les comptes des détecteurs, le temps d'accumulation n'est pas une seconde complète. Les spectromètres RS500 possèdent un système de traitement performant qui réduit le temps d'inactivité à 1 ms en moyenne. Néanmoins, le spectromètre enregistre de manière automatique ce temps d'activité, qui est utilisé pour augmenter et normaliser les comptes pour une seconde entière à l'aide de la formule suivante :

$$N_L = \frac{N_{FILT}}{L}$$

où :

- N_L est la fenêtre corrigée du temps d'activité (cps)
- N_{FILT} est la fenêtre reconstituée par filtrage (cps)
- L est le temps d'activité du détecteur (sec)

7.4.4 CORRECTION DU RAYONNEMENT COSMIQUE ET DU BRUIT DE FOND DE L'AVION

Les variations du rayonnement cosmique qui atteint la Terre, accroissent artificiellement les taux de comptes dans toutes les fenêtres spectrales. Les spectromètres utilisés enregistrent une fenêtre cosmique pour toute les particules incidentes de niveau d'énergie supérieur à 3 MeV; niveau à partir duquel il n'existe pas de rayonnement gamma d'origine terrestre. Comme les comptes dus au rayonnement cosmique dans les différentes

fenêtres dépendent linéairement du rayonnement cosmique, on peut donc utiliser l'approximation linéaire suivante pour la correction :

$$N_{ac} = N_L - (a_N + b_N C)$$

où :

N_{ac} est la fenêtre corrigée du cosmique et du bruit de fond de l'avion (cps)

N_L est la fenêtre corrigée du temps d'activité (cps)

C est la fenêtre de cosmique après sommation (cps)

a_N est le coefficient du bruit de fond de l'avion pour cette fenêtre

b_N est le coefficient du cosmique pour cette fenêtre

Notons que pour le détecteur orienté vers le haut, il est plus rigoureux d'utiliser les valeurs supérieures à 3 MeV pour ce même détecteur plutôt que les résultats de ceux vers bas, puisque chaque détecteur possède ses propres caractéristiques physiques.

7.4.5 SUPPRESSION DU RADON

Puisque la contamination par le radon est plus significative dans la fenêtre de l'uranium, en raison de la corrélation de leur niveau d'énergie, un détecteur orienté vers le haut est utilisé pour mesurer les variations dues au radon dans la fenêtre de l'uranium. On peut ainsi évaluer les variations de niveau de radon dans la fenêtre de l'uranium avec la formule suivante :

$$U_r = \frac{u_{ac} - a_1 U_{ac} - a_2 Th_{ac}}{a_u - a_1 - a_2 a_{Th}}$$

où :

U_r est la composante due au radon dans la fenêtre U orientée vers le bas (cps)

U_{ac} est la fenêtre U vers le bas, corrigée du cosmique et de l'avion (cps)

u_{ac} est la fenêtre U vers le haut, corrigée du cosmique et de l'avion (cps)

Th_{ac} est la fenêtre Th, corrigée du cosmique et de l'avion (cps)

a_u, a_{Th} sont les coefficients de normalisation haut/bas de l'uranium et du thorium

a_1, a_2 sont les coefficients de calibration des composantes observées au sol

La composante due au radon dans la fenêtre de l'uranium est ensuite filtrée par une moyenne glissante sur 300 fiduces afin de réduire le bruit statistique. La méthode employée est conforme aux recommandations du rapport #323 de l'IAEA.

La prochaine étape du traitement consiste à déterminer les composantes dues au radon dans les quatre autres fenêtres à l'aide des équations linéaires suivantes :

$$u_r = a_u U_r + b_u$$

$$K_r = a_k U_r + b_k$$

$$Th_r = a_{Th} U_r + b_{Th}$$

$$TC_r = a_{TC} U_r + b_{TC}$$

où :

u_r est la composante due au radon dans la fenêtre de l'uranium du détecteur vers le haut

TC_r, K_r, U_r and Th_r sont les composantes dues au radon dans les différentes fenêtres des détecteurs regardant vers le bas.

a, b sont les coefficients de linéarité

Finalement, les taux de comptes obtenus sont ensuite soustraits aux comptes des fenêtres des radionucléides respectives.

7.4.6 RÉDUCTION À PRESSION ET TEMPÉRATURE STANDARDS (STP)

L'altimètre radar est utilisé pour la correction de la hauteur. Comme les propriétés d'atténuation du rayonnement gamma dans l'air sont affectées par sa densité, la hauteur doit être corrigée de la température et de la pression ambiante :

$$h_{STP} = h_{obs} \times \frac{273.15}{T + 273.15} \times \frac{P}{1013.25}$$

où :

h_{STP} est la hauteur équivalente à STP (mètres)
 h_{obs} est la hauteur mesurée par l'altimètre laser (mètres)
 T est la température de l'air (°C)
 P est la pression barométrique (mbar)

7.4.7 CORRECTION DE LA DIFFUSION COMPTON

La correction de la diffusion Compton consiste à supprimer les chevauchements des spectres après les corrections de bruit de fond. Les rapports d'enlèvement ou « stripping ratio » sont mesurés sur des blocs de calibration. Les résultats sont présentés dans le rapport de calibration. Ces valeurs correspondent au ratio des comptes d'un radionucléide détecté dans une autre fenêtre que celui-ci, pour des sources pures de K, U et Th.

Dépouillement Compton	
Coefficients	C-FWNG
Alpha	0.271
Beta	0.415
Gamma	0.759
A	0.048
B	0.001
G	0.001

Tableau 18 : Correction de la diffusion Compton

En raison de la diffusion dans l'air, les rapports d'enlèvement augmentent avec l'altitude. Ils sont donc préalablement ramenés à une hauteur STP grâce à la relation linéaire suivante :

$$\alpha_{STP} = \alpha + h_{STP} \times 0.00049[\text{m}^{-1}]$$

$$\beta_{STP} = \beta + h_{STP} \times 0.00065[\text{m}^{-1}]$$

$$\gamma_{STP} = \gamma + h_{STP} \times 0.00069[\text{m}^{-1}]$$

où :

α , β , γ sont de coefficients de diffusion Compton
 α_{STP} , β_{STP} , γ_{STP} sont les rapports d'enlèvement corrigés à une hauteur STP
 h_{STP} est la hauteur équivalente STP (mètres)

A l'aide des six rapports d'enlèvement, les taux de comptes corrigés du bruit de fond peuvent être corrigés de l'effet Compton à l'aide des formules suivantes :

$$K_{strip} = \frac{Th_{rc}(\alpha\gamma - \beta) + U_{rc}(\alpha\beta - \gamma) + K_{rc}(1 - \alpha\alpha)}{1 - g\gamma - a(\gamma - gb) - b(\beta - \alpha\gamma)}$$

$$U_{strip} = \frac{Th_{rc}(g\beta - \alpha) + U_{rc}(1 - b\beta) + K_{rc}(b\alpha - g)}{1 - g\gamma - a(\gamma - gb) - b(\beta - \alpha\gamma)}$$

$$Th_{strip} = \frac{Th_{rc}(1 - g\gamma) + U_{rc}(b\gamma - a) + K_{rc}(ag - b)}{1 - g\gamma - a(\gamma - gb) - b(\beta - \alpha\gamma)}$$

7.4.8 CORRECTION DE L'ATTÉNUATION DE L'AIR

Les taux de comptes corrigés de l'effet Compton sont ensuite ramenés à la hauteur nominale du levé à l'aide de l'équation suivante:

$$N_{cor} = N_{strip} e^{\mu(H-h_{STP})}$$

où :

N_{cor} est les taux de comptes pour une fenêtre, corrigé de l'altitude (cps)

N_{strip} est les taux de comptes pour une fenêtre, corrigé de l'effet Compton (cps)

μ est le coefficient d'atténuation (mètres⁻¹)

h_{STP} est la hauteur équivalente STP (mètres)

H est la hauteur nominale du levé, utilisée comme niveau de référence (mètres)

7.4.9 CONVERSION EN CONCENTRATION DE RADIOÉLÉMENTS

L'étape finale consiste à convertir les taux de comptes corrigés de chaque fenêtre, en valeur de concentration de ce radioélément dans le sol, avec la formule :

$$eN = \frac{N_{cor}}{S}$$

où :

eN est la concentration en % pour K ou la concentration équivalente en ppm pour U, Th

N_{cor} est les taux de comptes pour une fenêtre corrigée de l'altitude (cps)

S est la sensibilité de la source pour la fenêtre spécifiée

Le taux naturel d'absorption de l'air est déterminé par le compte total.

7.4.10 NIVELLEMENT

Une procédure de nivellement, basée sur les différences observées à l'intersection des traverses et des lignes de contrôle a été appliquée, d'abord sur les lignes de contrôle puis sur les lignes régulières.

Afin de réduire les différences aux intersections dues au bruit radiométrique, le nivellement est appliqué sur les données filtrées avec une médiane glissante de 10 sec. La correction obtenue est ensuite appliquée sur les données non filtrées.

Cette procédure, au premier ordre uniquement, permet de corriger efficacement les erreurs résiduelles dues principalement au radon atmosphérique et aux différences d'humidité du sol. Par conséquent, la table des intersections aux points de croisements est recalculée à chaque étape du nivellement.

Le nivellement des lignes de contrôles utilise les traverses comme base du nivellement puis une correction de tendance du premier ordre est appliquée.

La procédure précédente est ensuite répétée en rabattant les traverses sur les lignes de contrôle. Un nivellement plus local du second ordre est ensuite appliqué. Le tableau suivant décrit la méthode utilisée.

<i>Nivellement</i>	
Correction des lignes	Ordre des corrections
Lignes de contrôle	1 ^{er} degré
Traverses	1 ^{er} degré

Tableau 19 : Procédure de nivellement

7.4.11 MICRO-NIVELLEMENT

Un bruit directionnel résiduel causé par les erreurs dans l'estimation des différents coefficients de corrections, particulièrement dans le cas de l'uranium, a été observé. Dans le but de corriger ces erreurs, une procédure propriétaire de micro-nivellement adapté à la spectrométrie, a été appliquée sur les résultats finaux des quatre fenêtres traitées.

<i>Filtre Buttworth</i>		<i>Filtre directionnel</i>	
<i>Seuil max.</i>	<i>Ordre du filtre</i>	<i>Direction</i>	<i>Ordre du filtre</i>
800 m	4	135°N	1

Tableau 20 : Paramètres de micro-nivellement

7.4.12 CALCUL DES RATIOS

Pour le calcul des ratios, des grilles ont été produites pour les concentrations d'uranium, de thorium et de potassium. Afin de réduire le bruit statistique seuls les points où la valeur de potassium est inférieure à 0.25% ont été retenus. Ces points sont généralement localisés sur les lacs et les rivières du bloc.

Finalement, tel que recommandé par l'IAEA, les cellules adjacentes à un point sont sommées de manière itérative jusqu'à ce que le niveau d'uranium atteigne 21 ppm. Puis les ratios sont calculés en faisant le rapport de chacune de ces grilles, soit uranium/ thorium, uranium / potassium et thorium / potassium.

8 DONNÉES FINALES

8.1 PRODUITS FINAUX DÉLIVRÉS

Les produits finaux délivrés sont résumés dans le tableau suivant :

<i>Produit</i>	<i>Données</i>	<i>Format - projection</i>
Base de données du champ magnétique total	Données magnétiques	GDB – Nad83
Base de données des anomalies	Coefficients de Keating	GDB – Nad83
Base de données spectrométriques	Données spectrométriques	GDB – Nad83
Grilles	<ul style="list-style-type: none"> - Champ magnétique total résiduel - 1^{ère} dérivée verticale (GV) du champ total - 2^{ème} dérivée verticale du champ total - Modèle Numérique de Terrain (DEM) - Taux d'absorption naturel - Équivalent Uranium (en ppm) - Équivalent Thorium (en ppm) - Potassium (en %) - Rapport U / Th - Rapport U / K - Rapport Th / K 	Oasis Montaj GRD – Nad83
Rapport	Logistique, traitements et documentation des produits	pdf

Tableau 21 : Produits délivrés

8.2 BASE DE DONNÉES MAGNÉTIQUES

Les données ont été archivées dans le format Geosoft Oasis Montaj (fichier *.gdb). Les canaux dans ces fichiers sont les suivants :

	<i>Nom du champ</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>
1	X_NAD83	Coordonnées X UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre
2	Y_NAD83	Coordonnées Y UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre
3	Z_NAD83	Coordonnées Z UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre ASL
4	LONG_NAD83	Longitude GPS WGS84	degré décimal
5	LAT_NAD83	Latitude GPS WGS84	degré décimal
6	AVION	Immatriculation de l'avion	
7	VOL	Numéro de vol	
8	LIGNE	Numéro de la ligne de vol	
9	DEM	Modèle numérique de terrain (déduit du radar)	mètre ASL
10	SRTM	Modèle numérique de terrain SRTM	mètre ASL
11	DRAPE	Hauteur de vol théorique	mètre ASL
12	FIDUCIAL	Fiduce	
13	TEMPS.UTC	Temps universel UTC	seconde
14	DATE	Date locale	AAAA/MM/JJ
15	RADAR_RAW	Hauteur radar brute	mètre AGL
16	RADAR_COR	Hauteur radar filtrée	mètre AGL
17	RADAR_ALT	Hauteur radar corrigé de l'erreur de dérive	mètre AGL
18	GPS_ALT	Hauteur radar (déduit du Z_NAD83 et du SRTM)	mètre AGL
19	TEMP	Température brutes	degré Celsius
20	TEMPFIL	Température filtrée (60 fid)	degré Celsius
21	PRESSION	Pression brutes	mBar
22	PRESSIONFIL	Pression filtrée (60 fid)	mBar
23	MAG_BASE_RAW1	Données brutes de la station de base 1	nanoTesla
24	MAG_BASE_RAW2	Données brutes de la station de base 1	nanoTesla
25	MAG_BASE_FINAL1	Données filtrées de la station de base 1 (1200 fid)	nanoTesla
26	DRIFT_LF	Modèle de variations du champ externe	nanoTesla
27	MAG_U	Champ magnétique total brut	nanoTesla
28	MAG_COMP	Champ magnétique total compensé	nanoTesla
29	MAG_COMP_LAG	Champ magnétique total compensé, corrigé du lag	nanoTesla
30	MAG_CORR_DIURNE	Champ magnétique total compensé, corrigé du lag et des variations externes	nanoTesla
31	CORR_ALT	Correction d'altitude (expansion de Taylor au second degré)	nanoTesla
32	MAG_CORR_ALT	Données magnétiques corrigées de l'effet de l'altitude	nanoTesla
33	CORR_LVL	Correction de nivellement (sans correction diurne)	nanoTesla
34	MAG_LVL	Champ magnétique total corrigé, nivelé (sans correction diurne)	nanoTesla
35	CORR_MICRO_NIVEL	Correction de micro-nivellement	nanoTesla
36	MAG_MICRO_NIVEL	Champ magnétique total corrigé, nivelé, et micro-nivelé	nanoTesla

37	IGRF	Valeur du champ IGRF local	nanoTesla
38	MAG_RES	Anomalies du champ magnétique total (utilisant l'IGRF)	nanoTesla

Tableau 22 : Contenu de la base de données magnétiques

8.3 BASE DE DONNÉES DES COEFFICIENTS DE KEATING

	<i>Nom du champ</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>
1	X_NAD83	Coordonnées X UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre
2	Y_NAD83	Coordonnées Y UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre
3	LONG_NAD83	Longitude GPS WGS84	degré décimal
4	LAT_NAD83	Latitude GPS WGS84	degré décimal
5	CORR_COEFF	Coefficient de corrélation	Pourcent
6	SUSC_X1000	Susceptibilité magnétique x 1000	(sans dimension)
7	NORM_ERROR	Erreur standard normalisée par rapport à l'amplitude	Pourcent
8	AMPLITUDE	Amplitude de l'anomalie pic-à-pic	nanoTesla

Tableau 23 : Contenu de la base de données des coefficients de Keating

Les coefficients de Keating ont été obtenus en considérant une taille de fenêtre de 1000 m sur la grille de la première dérivée verticale.

<i>Paramètre</i>	<i>Valeur utilisée</i>
<i>Paramètres du champ normal (IGRF)</i>	
Inclinaison	70.0 degrés
Déclinaison	-19.1 degrés
Intensité	53 442 nT
<i>Paramètres du modèle (cylindre infini vers le bas)</i>	
Rayon	100 m
Distance au capteur	130 m (hauteur moyenne de vol)
<i>Contraintes</i>	
Taille de la fenêtre de convolution	1000 m
Corrélations retenues	>0.75

Tableau 24 : Paramètres utilisés pour le calcul des coefficients de Keating

8.4 BASE DE DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES

Comme les données magnétiques, les données ont été archivées dans le format Geosoft Oasis Montaj (fichier *.gdb). Les canaux dans ces fichiers sont les suivants :

	<i>Nom du champ</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>
1	X_NAD83	Coordonnées X UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre
2	Y_NAD83	Coordonnées Y UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre
3	Z_NAD83	Coordonnées Z UTM NAD83 (corrections différentielles appliquées)	mètre ASL
4	LONG_NAD83	Longitude GPS WGS84	degré décimal
5	LAT_NAD83	Latitude GPS WGS84	degré décimal
6	AVION	Immatriculation de l'avion	
7	VOL	Numéro de vol	
8	LIGNE	Numéro de la ligne de vol	
9	DEM	Modèle numérique de terrain (déduit du radar)	mètre ASL
10	SRTM	Modèle numérique de terrain SRTM	mètre ASL
11	DRAPE	Hauteur de vol théorique	mètre ASL
12	FIDUCIAL	Fiduce	
13	TEMPS.UTC	Temps universel UTC	seconde
14	DATE	Date locale	AAAA/MM/JJ
15	RADAR_RAW	Hauteur radar brute	mètre AGL
16	RADAR_COR	Hauteur radar filtrée	mètre AGL
17	RADAR_ALT	Hauteur radar corrigé de l'erreur de dérive	mètre AGL
18	GPS_ALT	Hauteur radar (déduit du Z_NAD83 et du SRTM)	mètre AGL
19	TEMP	Température brutes	degré Celsius
20	TEMPFIL	Température filtrée (60 fid)	degré Celsius
21	PRESSION	Pression brutes	mBar
22	PRESSIONFIL	Pression filtrée (60 fid)	mBar
23	HSTP	Hauteur aux conditions standard de température et de pression	mètre AGL
24	LIVETIME	Temps de vie	millisecondes
25	COSDRAW	Compte cosmique brut vers le bas	cps
26	COSURAW	Compte cosmique brut vers le haut	cps
27	TCRAW	Compte total brut	cps
28	KRAW	Compte Potassium brut	cps
29	URAW	Compte Uranium brut	cps
30	THRAW	Compte Thorium brut	cps
31	UPURAW	Compte Uranium vers le haut	cps
32	FILCOSD	Compte cosmique avec un filtre de 15s	cps
33	FILCOSU	Compte cosmique avec un filtre de 15s	cps
34	FILTC	Compte total filtré (corrigé pour le lag, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
35	FILK	Compte Potassium filtré (corrigé pour le lag, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
36	FILU	Compte Uranium filtré (corrigé pour le lag, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
37	FILTH	Compte Thorium filtré (corrigé pour le lag, livetime et recalibration de l'énergie)	cps

38	FILUPU	Compte Uranium filtré (corrigé pour le lag, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
39	BAKTC	Compte total filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
40	BAKK	Compte Potassium filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
41	BAKU	Compte Uranium filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
42	BAKTH	Compte Thorium filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
43	BAKUPU	Compte Uranium vers le haut filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
44	RADU	Niveau de base du Radon brut	cps
45	RADUFIL	Niveau de base du Radon filtré avec un filtre de 300s	cps
46	RADTC	Niveau de base du Radon dans le compte total	cps
47	RADK	Niveau de base du Radon dans le Potassium	cps
48	RADTH	Niveau de base du Radon dans le Thorium	cps
49	RNRTC	Compte total corrigé du Radon	cps
50	RNRK	Compte Potassium corrigé du Radon	cps
51	RNRU	Compte Uranium corrigé du Radon	cps
52	RNRTH	Compte Thorium corrigé du Radon	cps
53	STRIPK	Compte Potassium après application du "Compton stripping"	cps
54	STRIPU	Compte Uranium après application du "Compton stripping"	cps
55	STRIPTH	Compte Thorium après application du "Compton stripping"	cps
56	ATTTC	Compte total corrigé de l'atténuation	cps
57	ATTK	Compte Potassium corrigé de l'atténuation	cps
58	ATTU	Compte Uranium corrigé de l'atténuation	cps
59	ATTH	Compte Thorium corrigé de l'atténuation	cps
60	CONTC	Compte total du taux d'absorption	nGy/h
61	CONK	Concentration de Potassium	%
62	CONU	Concentration équivalente d'Uranium	ppm
63	CONTH	Concentration équivalente de Thorium	ppm
64	DOSE	Taux d'absorption naturelle déduit des radioéléments	nGy/h
65	CONTC_LEV	Compte total du taux d'absorption nivelée (shift)	nGy/h
66	CONK_LEV	Concentration de Potassium nivelée (shift)	%
67	CONU_LEV	Concentration équivalente d'Uranium nivelée (shift)	ppm
68	CONTH_LEV	Concentration équivalente de Thorium nivelée (shift)	ppm
69	DOSE_LEV	Taux d'absorption naturelle nivelée (shift) déduit des radioéléments	nGy/h
70	CONTC_F	Compte total du taux d'absorption micronivelé	nGy/h
71	CONK_F	Concentration de Potassium micronivelée	%
72	CONU_F	Concentration équivalente d'Uranium micronivelée	ppm
73	CONTH_F	Concentration équivalente de Thorium micronivelée	ppm
74	DOSE_F	Taux d'absorption naturelle micronivelée déduit des radioéléments	nGy/h
75	UTHratio	Rapport de concentration équivalente Uranium et concentration équivalente Thorium	ppm/ppm
76	UKratio	Rapport de concentration équivalente Uranium et concentration Potassium	ppm/%
77	THKratio	Rapport de concentration équivalente Thorium et concentration Potassium	ppm/%
78	SPEC_DN	Spectre vers le bas (512 canaux)	cps
79	SPEC_UP	Spectre vers le haut (512 canaux)	cps

Tableau 25 : Contenu de la base des données spectrométriques


9 RÉFÉRENCES DU PROJET

<i>Références Client</i>	
Projet	117840512-20210325-01
Adresse	Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles 5700, 4e Avenue Ouest, bureau D 413 Québec (Québec) G1H 6R1
Chef de projet	Rachid Intissar
Courriel	rachid.intissar@mern.gouv.qc.ca
Téléphone	+1 819-354-4514 poste 270
<i>Références Novatem</i>	
Contrat	C21150 (S210428)
Adresse	1087 Chemin de la Montagne Mont-Saint-Hilaire, Québec, Canada, J3G 4S6
Chef de projet	Pascal Mouge
Courriel	mouge@novatem.com
Téléphone	+1 514 966 8000
<i>Références Projet</i>	
Localisation	Secteur de la rivière du Petit Mécatina – Québec
Méthode	Levé aéroporté magnétique et spectrométrie
Période du levé	Du 24 juillet au 06 octobre 2021
Date de livraison des données et du rapport	Octobre 2021
Gestionnaire du projet et responsable de la qualité des données	Pascal Mouge, Ph.D., Géo.numéro 1727
Gestionnaire scientifique et responsable du traitement des données	Olivier Savignet, Ing.
Responsable de l'acquisition et des équipements sur le terrain	Morten Skovgaard, M.Sc
Commandants et AME	<ul style="list-style-type: none"> - Alain Tremblay, Commandant - Pierre Pelletier, Commandant - Antoine Couture, Commandant - Mathieu Bernier, Commandant - Alain Guillemette, AME - Hugo Meloche, AME

10 ATTESTATION DE QUALIFICATION

Je soussigné Pascal Mouge, certifie que :

- Je suis membre en règle de l'Ordre des Géologues du Québec
- Je suis titulaire d'un doctorat en géophysique, délivré par l'Institut de Physique du Globe de Paris
- Je travaille dans le domaine de la géophysique depuis 1985
- Je suis présentement Président de la compagnie Novatem
- J'ai supervisé et contribué activement au travail décrit dans ce rapport et déclare qu'il a été réalisé selon les règles et pratiques de l'industrie
- Les données livrées sont exactes et n'ont subi aucun traitement autre que les traitements décrits au présent rapport



Pascal Mouge, Geo., Ph.D.

Pascal Mouge, Ph.D., Géo. Numéro 1727

ANNEXES

ANNEXE A : PARAMÈTRES GÉODÉSIQUES UTILISÉS DANS LES PROJECTIONS

Le tableau ci-dessous résume les paramètres géodésiques utilisés pour la projection plane. Ces paramètres ont été appliqués pour toutes les transformations de coordonnées.

Système de référence local:	NAD83
Ellipsoïde:	NAD83
Projection:	UTM
Zone:	20N
Lat0, Lon0,	0, -63
Coordonnées de l'origine des abscisses	500 000
Coordonnées de l'origine des ordonnées	0
Facteur d'échelle:	0.9996
Rayon du grand axe	6 378 137
Inverse de l'aplatissement	298.25722
Méridien de référence	0

Tableau 26 : Paramètres géodésiques utilisés dans les projections planes

ANNEXE B : PARAMÈTRES DES GRILLES

Le tableau suivant résume les paramètres des grilles :

Type des valeurs	FLOAT
Séparation entre deux points le long de l'axe X, en m:	37.5
Séparation entre deux points le long de l'axe Y, en m:	37.5
Nombre de points le long de l'axe X :	4 159
Nombre de points le long de l'axe Y:	4 336
Origine de la grille (min X, min Y):	X = 636 712.5 Y = 5 603 325
Système de coordonnées planes	NAD83/UTM zone 20 N
Azimut des colonnes:	0

Tableau 27 : Paramètres des grilles

ANNEXE C : TESTS DE CALIBRATIONS

TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNÉTIQUES ET DU POSITIONNEMENT GPS

Le tableau suivant montre les résultats avant et après post-traitement en comparaison avec l'élévation connue de la piste. Notons qu'il n'existe aucune donnée officielle de cette valeur.

Piper Navajo Immatriculation	Altitude GPS brute (m)	Écart-type brut	Altitude GPS corrigée (m)	Écart-type corrigé	Altitude CYNA / (m)
C-FWNG	9.329	0.241	11.787	0.019	11.89

Tableau 28 : Test statique de positionnement GPS

Des mesures simultanées des magnétomètres embarqués et des stations de bases, installées à proximité de la piste d'atterrissage de Natashquan ont été effectuées avant le début des travaux. Les données ont été enregistrées alors que l'avion était statique sur le tarmac simultanément au test statique de positionnement GPS. Le tableau suivant résume les positions géographiques ainsi que la période sur laquelle les tests ont été réalisés.

Instruments	Emplacements	Périodes
C-FWNG	59.6439512 O ; 50.4636557 N	Juillet - Octobre
MB1 (S/N : 8082873)	59.61511137 O ; 50.46772551 N	Juillet - Octobre
MB2 (S/N : 6082063)	59.61511137 O ; 50.46772551 N	Juillet - Octobre

Tableau 29 : Emplacements des stations de base magnétique

Les figures suivantes montrent les corrélations entre les magnétomètres embarqués et les stations au sol. *Notons que les variations magnétiques de haute fréquence des magnétomètres embarqués ont des sources culturelles, générées par l'activité à l'aéroport. Le faible taux d'échantillonnage de la station de base (1Hz) ne permet pas de visualiser ces variations.*

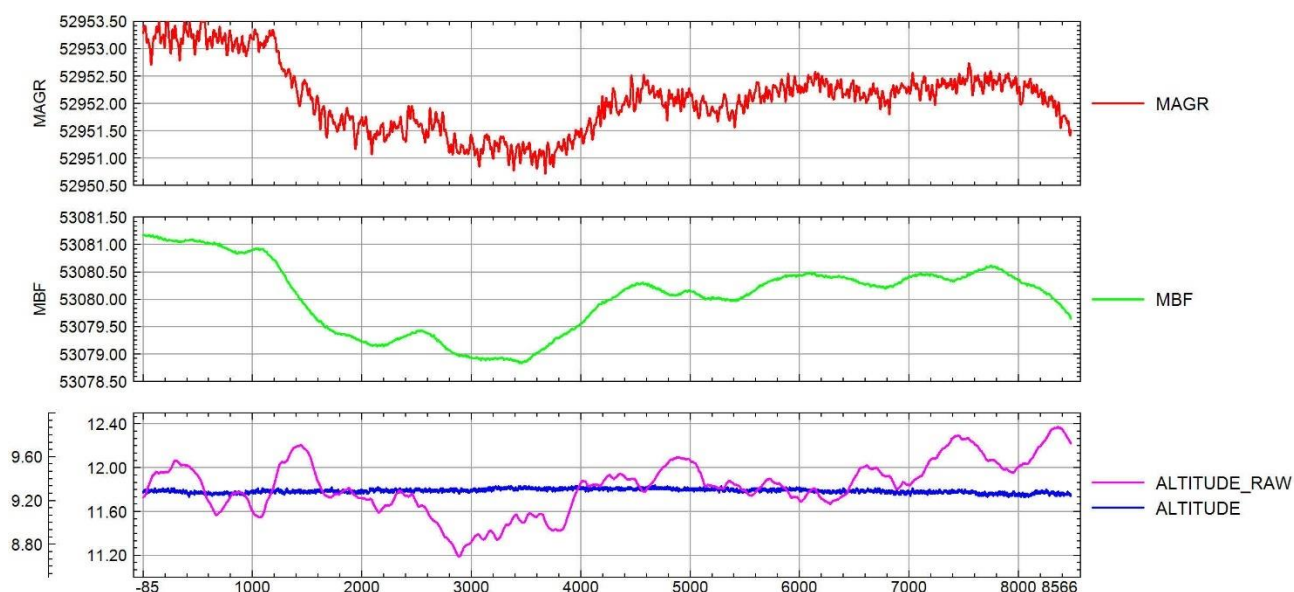


Figure 7 : Test statique des stations magnétiques et magnétomètres embarqués (FWNG)

ÉTALONNAGE DES MAGNÉTOMÈTRES EMBARQUÉS (TEST DE MOREWOOD)

**AEROMAGNETIC SURVEY SYSTEM CALIBRATION TEST RANGES
AT MOREWOOD, ONTARIO, MEANOOK, ALBERTA, and BAKER LAKE, NUNAVUT**

AIRCRAFT TYPE AND REGISTRATION: C-FWNG
 ORGANIZATION (COMPANY): Novatem Inc.
 MAGNETOMETER TYPE: Geometrics, G-823 10Hz
 MAGNETOMETER SERIAL NUMBER:
 COMPILED BY: Novatem Inc.

DATE: 2021-07-19
 HEIGHT FLOWN (AGL): 1500 FEET
 SAMPLING RATE: 10 / SECOND
 DATA ACQUISITION SYSTEM: Novatem Inc.
 GSC 11/2015

Direction of flight across the intersection point	Time that Survey Aircraft was over the intersection point (HH/MM/SS) Greenwich Mean Time	Total Field Value (nT) Recorded in Survey Aircraft over the intersection point (T1)	Observatory Diurnal Reading at Previous Minute i.e. Hours + Minutes (T2) from Printout	Observatory Diurnal Reading at Subsequent Minute i.e. H hours + (M + 1) mins. (T3) from Printout	Interpolated Observatory Diurnal Reading at Time H hours + M mins + S sec T4 = T2 + S (T3 - T2) / 60	Calculated Observatory Value T5 = T4 - C*	Error Value T6 = T1 - T5
45N	16:39:38,9	53264,57			53910,03	53269,93	-5,35
135N	16:28:03,6	53263,24			53910,70	53270,60	-7,36
225N	16:31:39,0	53263,61			53910,37	53270,27	-6,66
315N	16:36:13,7	53265,64			53910,17	53270,07	-4,43
45N	16:24:13,3	53263,72			53909,66	53269,56	-5,85
135N	16:12:49,7	53261,56			53908,85	53268,75	-7,19
225N	16:16:53,9	53263,57			53910,01	53269,91	-6,35
315N	16:20:46,1	53265,00			53909,08	53268,98	-3,99

*C is the difference in the total field between the Blackburn, Meanook and Baker Observatories (O) and the value (B) at the test site intersection point above the designated height.

Ottawa(O)/Morewood(B), Ontario : 1500 Feet, C = (O-B) = 640.1 nT;
 Meanook(O)/Meanook(B), Alberta : 1000 Feet, C = (O-B) = 0.0 nT;
 Baker Lake(O)/Baker(B), Nunavut : 1000 Feet, C = (O-B) = 75.0 nT;

Number of Passes for Average = 2 .
 Average North-South Heading Error (T6 North - T6 South) = 0.902 nT
 Average East-West Heading Error (T6 East - T6 West) = -3.065 nT

The Diurnal interpolation was done directly in the database included with this report.

TEST DE PARALLAXE

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps UTC (SS.s)	X (m)	Y (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L1:0	32,14	159,86	16:44:15,2	492645,69	5017992,9	270,5	54662,98
L2:0	212,51	155,74	16:46:34,1	492629,99	5017962,45	236,65	54669,14

Vitesse moyenne = 70,438 m/s
 Distance = 34,259 m
 Décalage = 0,486 Sec

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps UTC (SS,s)	X (m)	Y (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L3:0	34,79	154,5	16:49:42,0	492649,32	5017992,34	245,75	54679,93
L4:0	214,77	159,56	16:53:13,1	492622,18	5017967,22	230,65	54651,37

Vitesse moyenne = 66,167 m/s
 Distance = 36,981 m
 Décalage = 0,559 sec

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps UTC (SS,s)	X (m)	Y (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L5:0	31,99	157,07	16:56:50,1	492651,15	5017987,26	247,17	54670,57
L6:0	211,81	160,27	16:59:49,3	492626,1	5017954,62	242,73	54659,12

Vitesse moyenne = 68,042 m/s
 Distance = 41,145 m
 Décalage = 0,605 sec

Tableau 30 : Test de Parallaxe (FWNG)

ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR ET BAROMÉTRIQUE

Pour déterminer les coefficients d'étalonnage des altimètres radar et barométrique, des mesures sont effectuées à 5 hauteurs différentes, représentatives des hauteurs sur le levé et réparties entre 80 m et 480 m au-dessus du sol. La surface utilisée est la piste de l'aéroport de Gatineau d'une longueur de 3 km.

Les différentes altitudes enregistrées montrent une linéarité parfaite avec l'altitude GPS post-traitée. L'élévation officielle¹ de l'aéroport (115m) a été retirée de l'altitude moyenne enregistrée pour obtenir la hauteur.

Altitude GPS (m)	Altitude GPS corrigée (m)	Altitude radar (m)
192,09	77,09	82,17
294,47	179,47	188,67
391,56	276,56	291,94
498,01	383,01	402,42
591,83	476,83	507,04

Tableau 31 : Étalonnage de l'altimètre radar (FWNG)

Les courbes d'ajustement de l'avion figurent à la page 8 du rapport de calibration.

¹ <https://skyvector.com/>

TEST DE COMPENSATION

Un vol de calibration, obéissant à une géométrie précise et reproductible (FOM), a été réalisé par temps clair sans vent, à très haute altitude et le plus loin possible des perturbations magnétiques générées par la croûte terrestre. Les 4 directions du levé ont été mesurées.

Les bruits magnétiques de l'avion (aimantation induite, permanente et courants de Foucault) sont mesurés en temps réel. Une compensation après vols utilisant les meilleurs paramètres des variations d'attitudes, mesurés par la centrale inertielle et le magnétomètre Fluxgate, est refaite lors des traitements finaux.

Les résultats des FOM sont illustrés dans les tableaux suivants.

	45°N	135°N	225°N	315°N	Sum
Roll	0,08	0,07	0,05	0,10	0,30
Pitch	0,17	0,08	0,08	0,14	0,47
Yaw	0,11	0,04	0,08	0,08	0,31
Sum	0,36	0,19	0,21	0,32	1,08

Tableau 32 : Résultats de la FOM (FWNG)

LIGNE TEST

RIVIÈRE DU PETIT MÉCATINA – Ligne test

VOL	RALT	RTHO	%
D2107291331:0	102,66	20,43	-1,55
D2107291331,1:0	103,08	21,03	-4,54
D2107301243:0	101,58	20,92	-3,99
D2108021025:0	101,24	20,33	-1,06
D2108031400:0	103,49	20,38	-1,30
D2108041243:0	102,63	20,08	0,19
D2108051120:0	101,98	20,71	-2,94
D2108081645:0	104,62	20,10	0,09
D2108091014:0	103,26	19,83	1,43
D2108152147:0	104,46	21,25	-5,63
D2108161144:0	102,47	20,96	-4,19
D2108171128:0	100,37	21,60	-7,37
D2108201525:0	103,05	21,13	-5,03
D2108211058:0	100,93	21,33	-6,03
D2108221040:0	102,81	21,04	-4,58
D2108231245:0	102,86	21,28	-5,78
D2108251439:0	104,03	19,89	1,13
D2108271506:0	109,28	20,09	0,14
D2108281208:0	103,33	20,18	-0,31
D2108291058:0	101,37	20,16	-0,21
D2108301251:0	102,29	20,48	-1,80
D2109021126:0	105,57	19,39	3,62
D2109051102:0	102,24	19,58	2,67
D2109051640:0	104,40	19,94	0,88
D2109081118:0	102,26	19,67	2,23
D2109081713:0	105,15	20,22	-0,51
D2109141157:0	105,09	19,28	4,16
D2109151115:0	104,06	19,65	2,32
D2109161155:0	103,58	18,90	6,05
D2109161708:0	104,82	20,00	0,58
D2109171110:0	102,08	19,12	4,96
D2109171633:0	105,31	19,69	2,13
D2109191053:0	101,69	19,42	3,47
D2109191606:0	103,91	20,54	-2,10
D2109201039:0	103,26	19,19	4,61
D2109201543:0	102,29	19,82	1,48
D2109211039:0	101,25	19,81	1,53
D2109212105:0	103,69	20,56	-2,20
D2109221040:0	102,24	20,32	-1,01
D2109221834:0	104,53	20,51	-1,95
D2109241029:0	101,38	19,76	1,78
D2109241641:0	102,47	20,09	0,14
D2109271650:0	102,30	19,92	0,98
D2109281559:0	101,82	19,61	2,52
D2109291114:0	123,76	18,96	5,75
D2109292016:0	101,06	19,62	2,47
D2110031420:0	101,82	19,29	4,11
D2110051119:0	102,78	19,11	5,01
D2110051645:0	104,05	20,17	-0,26
D2110061205:0	102,90	20,31	-0,96
D2110061733:0	104,15	20,35	-1,15
MOYENNE	103,48	20,12	0,00

COEFFICIENTS D'ATTÉNUATION ET SENSIBILITÉ DU SYSTÈME (BRECKENRIDGE)

Les coefficients d'atténuation et la sensibilité du système spectrométrique sont déterminés en volant au-dessus du site de calibration de Breckenridge. Les mesures spectrométriques sont obtenues à des altitudes de 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210 et 230 mètres.

	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium
ATTENUATION	-0.00737 m ⁻¹	-0.00930 m ⁻¹	-0.00762 m ⁻¹	-0.00714 m ⁻¹
CONCENTRATION AU SOL	59.84 nGy/h	2.06 %	2.66 ppm	7.98 ppm
SENSITIVITY	24.69 cps/ nGy/h	75.42 cps/%	4.75 cps/ppm	4.88 cps/ppm

Tableau 33 : Coefficients d'atténuation et sensibilité à 80m (FWNG)

Hauteur sol (m)	Hauteur stp (m)	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium
50,02	46,22	1908,08	214,26	16,34	49,98
71,5	65,83	1642,56	176,83	13,68	44,20
96,6	88,58	1377,50	141,83	12,05	36,18
112,6	102,98	1241,82	126,10	10,61	31,90
143,31	130,52	1017,45	97,66	9,62	25,97
170,92	155,05	847,72	76,72	6,37	24,28
198,46	179,29	711,70	62,14	5,71	19,08
223,66	201,36	606,19	50,27	5,27	16,28

Tableau 34 : Comptes corrigés du bruit de fond et de l'effet Compton (FWNG)

COEFFICIENTS DE DÉPOUILLEMENT COMPTON

Avion C-FWNG



RADIATION SOLUTIONS INC

CALIBRATION SHEET

Instrument: **RSX-5**

Customer: Novatem
 Contact: Morten Skovgaard
 Console :
 Detector 1: 5577
 Detector 2:

Date: Aug 21, 2020
 Tech.: Jim C
 Job Order: RMA#11641
 Customer PO: PO#

Channels: 1024 ADC Offset: N/A

	A1	A2	A3	A4	A5
High Voltages	671	637	724	692	662

Stripping Constant	"this system"	"normal"
Alpha	0.269	0.250
Beta	0.423	0.400
Gamma	0.754	0.810
a	0.050	0.060
b	0.002	0.000
g	0.001	0.003

ROI#	Channel	IAEA Specification [keV]	Label
1	137-937	410-2810	Total Count
2	457-523	1370-1570	Potassium K
3	553-620	1660-1860	Uranium U
4	803-937	2410-2810	Thorium Th
5			
6			
7			
8	553-620	1660-1860	Uranium Upper U

Det#	Peak Cs	Cs FWHM	Peak Th	Th FWHM
A1	220.22	7.32	872.47	4.22
A2	219.99	7.91	872.23	4.71
A3	220.24	8.17	872.10	4.60
A4	218.80	7.42	872.34	4.10
Sum Dn	219.76	7.74	872.30	4.35
Sum Up	219.80	8.24	872.01	4.73



RADIATION SOLUTIONS INC

CALIBRATION SHEET

Instrument: **RSX-5**

Customer: Novatem
 Contact: Morten Skovgaard
 Console :
 Detector 1: 5578
 Detector 2:

Date: Aug 25, 2020
 Tech.: Jim C
 Job Order: RMA#11641
 Customer PO: PO#

Channels: 1024 ADC Offset: N/A

High Voltages	A1	A2	A3	A4	A5
	668	692	654	712	652

Stripping Constant	"this system"	"normal"
Alpha	0.269	0.250
Beta	0.409	0.400
Gamma	0.757	0.810
a	0.045	0.060
b	0.000	0.000
g	0.000	0.003

ROI#	Channel	IAEA Specification [keV]	Label
1	137-937	410-2810	Total Count
2	457-523	1370-1570	Potassium K
3	553-620	1660-1860	Uranium U
4	803-937	2410-2810	Thorium Th
5			
6			
7			
8	553-620	1660-1860	Uranium Upper U

Det#	Peak Cs	Cs FWHM	Peak Th	Th FWHM
A1	219.78	7.25	872.42	4.25
A2	218.85	7.53	871.65	4.15
A3	219.36	7.37	872.01	4.31
A4	219.92	7.29	872.48	4.39
Sum Dn	219.49	7.37	872.18	4.28
Sum Up	220.13	8.04	871.80	4.73

ÉTALONNAGE DE LA FENÊTRE COSMIQUE ET BRUIT DE L'AVION

Altitude (m)	Cosmic Dn	Cosmic Up	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium	Up Uranium
1503,74	253,53	68,98	336,93	31,43	13,56	14,53	3,45
2003,25	318,17	88,16	405,92	35,21	16,79	18,52	4,39
2503,23	407,11	112,65	505,49	40,75	21,53	24,52	5,57
3003,03	519,12	144,52	639,06	48,66	27,94	32,44	7,22
3503,66	673,11	187,81	816,28	58,88	36,34	42,52	9,41

Tableau 35 : Données moyennées des deux paliers (FWNG)

Background	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium	Up Uranium
Aircraft	42.163	14.339	-0.495	-2.701	-0.050
Cosmic	1.148	0.066	0.055	0.067	0.050

Tableau 36 : Coefficients de bruits de fond (FWNG)

COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON


La composante du taux de compte du détecteur regardant vers le haut et provenant du sol, U_g , dépendra de la concentration de U et Th dans le sol, de même que les composantes des taux de compte des fenêtres regardant vers le bas U et Th, U_g et Th_g , qui proviennent du sol. Afin de minimiser les erreurs statistiques, les trois composantes ont été calculées en soustrayant les vols au-dessus de l'eau de la ligne test aux valeurs adjacentes sur le sol ferme. Enfin, à partir de la série des valeurs calculées de U_g , U_g et Th_g , les coefficients de calibration, a_1 et a_2 , sont déterminés selon la méthode des moindres carrés décrite dans la série de rapports techniques n ° 323 de l'AIEA.

	FWNG
a_1	0.045
a_2	0.036

Coefficient	Total Count	Potassium	Thorium	Up Uranium
a_n	14.498	0.846	0.118	0.298
b_n	6.883	1,562	0.431	0.058

Tableau 37 : Coefficients de correction du radon pour FWNG

ANNEXE D : LIVRE DE BORD

		Rapport journalier											
Aircrafts		Project	Area & Client							Project Manager:		Pascal Mouge	
Code:	CFWNG	C21150	MERN - Petit Mécatina							Pilots:		Antoine Couture, Alain Tremblay, Pierre Pelletier, Mathieu Bernier	
Type:	Piper Navajo PA-31									AME:		Alain Guillemette, Hugo Meloche	
FBO:	Chevery									Field manager:		Morten Skovgaard, Alain Tremblay	
Inst:	Tail Mag/Gamma Spectro									Processors:		Olivier Savignet, Pascal Mouge	
Planned Kms		46076,00											
Total flown Kms		46076,00											
Total accepted Kms													
Total survey hours		262,70											
Total test-training hours		11,20											
Total ferry hours		25,40											
Total aircraft hours		289,70											
Total aircraft days		39,00											
Average kms/day (total)		1181,44											
Average kms/hour (survey)		175,39											
Project Completion		100,0											
Flight information					Aircraft hours				Kilometrage		Daily activity report		Comments
Date	Project no.	AC	Flt	Crew	Ferry	Test Train	Survey	Total	Flown	%	Lines flown		
15-jul-21	21150	WNG		AC, PP		0,8		0,8					Radar Altimeter Test Bromont
19-jul-21	21150	WNG		AC, PP		4,2		4,2					Morewood, FOM, Lag Test
22-jul-21	21150	WNG		AC, PP		3,4		3,4					Breckenridge
23-jul-21	21150	WNG			4,6			4,6					Ferry Bromont-Chevery
24-jul-21	21150	WNG		AC, PP			5,1	5,1	1124,29	2,44		4820-4910	Installation base, 1st production flight
25-jul-21													AOG, left engine
26-jul-21													AOG, left engine, AME on site
27-jul-21													A/C repaired am.
28-jul-21													Wx, FOG
29-jul-21	21150	WNG		AC, PP			3,3	3,3	666,63	1,45		4760-4810	
30-jul-21	21150	WNG		AC, PP			3,2	3,2	650,86	1,41		4700-4750	
31-jul-21													Wx
1-août-21													Wx
2-août-21	21150	WNG		AC, PP		2,8	4,6	7,4	730,17	1,58		2030-2140	2nd Flight, FOM, Cosmic and Static test
3-août-21	21550	WNG		AC, PP, AT			8,5	8,5	1643,14	3,57		4540-4690	
4-août-21	21550	WNG		AC, PP, AT			9,3	9,3	1905,73	4,14		4340-4530	
5-août-21	21550	WNG		AC, PP, AT			8,1	8,1	1556,43	3,38		4160-4330	
6-août-21													FOG
7-août-21													FOG
8-août-21	21550	WNG		AC, PP			4,1	4,1	770,13	1,67		3300-3370	FOG am, flight pm
9-août-21	21550	WNG		AC, PP, AT			8,3	8,3	1603,89	3,48		3960-4150	
10-août-21													Wx
11-août-21													Wx
12-août-21													Wx
13-août-21													Wx

