

RAPPORT LOGISTIQUE ET TECHNIQUE

LEVÉ AÉROPORTÉ DE MESURES MAGNÉTIQUES ET RADIOMÉTRIQUES DANS LE SECTEUR DE PUVIRNITUQ AU QUÉBEC, CANADA

BLOC DE LA RIVIÈRE PUVIRNITUQ (BLOC A)

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



Références MERN:

Projet : 117840512-20160330-01

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 C16113 (\$160526)

Novatem Inc.

1087 Chemin de la Montagne

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

Chef de projet : Pascal Mouge

Courriel : mouge@Novatem.com

Tel : +1 450 464 1655

*Période de réalisation du levé : juillet - septembre 2016
Date de livraison des données et du rapport : novembre 2016*

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	5
2	LOCALISATION ET SPÉCIFICATIONS DU LEVÉ	6
2.1	LOCALISATION DU LEVÉ	6
2.2	ÉTENDUE DU LEVÉ	8
2.3	PARAMÈTRES DE VOL ET D'ACQUISITION DES DONNÉES	9
2.3.1.	ESPACEMENT ET ORIENTATION DES LIGNES DE VOL	9
2.3.2.	HAUTEUR DE VOL AU-DESSUS DE L'EAU ET DU SOL	9
2.3.3.	VITESSE	9
2.3.4	TOLÉRANCES SUR LA NAVIGATION	10
2.3.5	TOLÉRANCE SUR LE NIVEAU DE BRUIT DES MESURES	10
2.3.6	TOLÉRANCE SUR LES VARIATIONS TEMPORELLES DU CHAMP MAGNÉTIQUE (DIURNE ET SPHÉRIQUES)	10
2.4	KILOMÉTRAGE	10
2.5	PLAN DE VOL THÉORIQUE ET LIGNES DE VOL RESTITUÉES À L'ISSUE DES VOLS	11
2.6	DISTANCE CUMULÉE DES LIGNES DE VOL	12
4	TESTS ET CALIBRATIONS	12
4.1	TESTS ET CALIBRATIONS DES INSTRUMENTS DE MESURES MAGNÉTIQUES	12
4.2	TESTS ET CALIBRATIONS DES INSTRUMENTS DE MESURES SPECTROMÉTRIQUES	14
4	LOGISTIQUE	15
4.1	SERVICES GÉOPHYSIQUES ET LOGISTIQUES	15
4.2	BASE D'OPÉRATION ET STATIONS DE BASE	15
4.3	RESSOURCES HUMAINES AFFECTÉES AUX TRAVAUX GÉOPHYSIQUES	16
4.4	RESSOURCES HUMAINES AFFECTÉES AU PILOTAGE DES AVIONS	16
4.5	CALENDRIER DES TRAVAUX	16
5	INSTRUMENTATION	17
5.1	AÉRONEFS	17
5.2	MAGNÉTOMÈTRES	18
5.2.1	MAGNÉTOMÈTRE SCALAIRE EN VOL	18
5.2.2	MAGNÉTOMÈTRE VECTORIEL	18
5.2.3	SPECTROMÈTRES DE MESURE DU RAYONNEMENT GAMMA	19
5.2.3	STATION DE BASE MAGNÉTOMÉTRIQUE	19
5.3	SYSTÈME DE POSITIONNEMENT	19
5.3.1	NAVIGATION	19
5.3.2	SYSTEME DGPS EN VOL	20
5.3.3	STATION DE BASE DGPS	20
5.4	MESURES INERTIELLES ('INERTIAL MEASUREMENT UNIT')	21
5.5	SONDE BAROMÉTRIQUE	21
5.6	ALTIMÈTRE RADAR	21
5.7	SYSTÈME D'ACQUISITION ET D'ENREGISTREMENT DES DONNÉES	22
5.8	SYSTEME D'ACQUISITION VIDEO	22

5.9	CALCULATEURS DE TERRAIN	22
5.10	PIÈCES DE RECHANGE	23
6	CONTRÔLES DE LA QUALITÉ DES DONNÉES	23
6.1	CONTRÔLE DES SPÉCIFICATIONS DE VOL	23
7	TRAITEMENTS DES DONNÉES	24
7.1	CORRECTIONS DIFFÉRENTIELLES DU POSITIONNEMENT	24
7.2	CORRECTION DES MESURES DE HAUTEUR RADAR ET BAROMÉTRIQUE	24
7.3	TRAITEMENT DES DONNÉES MAGNÉTIQUES	24
7.3.1	RÉSUMÉ DES TRAITEMENTS APPLIQUÉS AUX MESURES MAGNÉTIQUES	24
7.3.2	COMPENSATION	24
7.3.3	CORRECTION DES VARIATIONS TEMPORELLES (VARIATIONS DIURNES)	25
7.3.4	CORRECTION DU RETARD INSTRUMENTAL (LAG)	25
7.3.5	NIVELLEMENT	25
7.3.6	CHAMPS RÉSIDUEL	26
7.4	TRAITEMENT DES DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES	27
7.4.1	RÉSUMÉ DES CORRECTIONS APPLIQUÉES AUX MESURES DE SPECTROMÉTRIE GAMMA	27
7.4.2	ANALYSE SPECTRALE ET LISSAGE PAR LA MÉTHODE NASVD	27
7.4.3	CORRECTION DU TEMPS D'ACQUISITION PAR SECONDE	27
7.4.4	CORRECTION DU RAYONNEMENT COSMIQUE ET DU BRUIT DE FOND DE L'AVION	28
7.4.5	SUPPRESSION DU RADON	28
7.4.6	RÉDUCTION À PRESSION ET TEMPÉRATURE STANDARDS (STP)	29
7.4.7	CORRECTION DE LA DIFFUSION COMPTON	29
7.4.8	CORRECTION DE L'ATTÉNUATION DE L'AIR	30
7.4.9	CONVERSION EN CONCENTRATION DE RADIOÉLÉMENTS	30
7.4.10	MICRO-NIVELLEMENT	30
7.4.11	CALCUL DES RATIOS	31
8	DONNÉES FINALES	32
8.1	PRODUITS FINAUX DÉLIVRÉS	32
8.2	BASE DE DONNÉES MAGNÉTIQUES	33
8.3	BASE DE DONNÉES DES COEFFICIENTS DE KEATING	34
8.5	BASE DE DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES	35
9	RÉFÉRENCES DU PROJET	37
10	ATTESTATION DE QUALIFICATION	38
	ANNEXES	39
	ANNEXE A : PARAMÈTRES GÉODÉSIQUES UTILISÉS DANS LES PROJECTIONS	39
	ANNEXE B : PARAMÈTRES DES GRILLES	39
	ANNEXE C : TESTS DE CALIBRATIONS	40
	TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNETIQUES ET DU POSITIONNEMENT GPS	40
	TEST DYNAMIQUE DES SYSTEME EMBARQUES	42
	ÉTALONNAGE DES MAGNETOMETRES EMBARQUES (TEST DE MOREWOOD)	43
	TEST DE PARALLAXE	45
	ÉTALONNAGE DE L'ALTIMETRE RADAR ET BAROMETRIQUE	46

TEST DE COMPENSATION	47
COEFFICIENTS D'ATTENUATION ET SENSIBILITE DU SYSTEME (BRECKENRIDGE)	57
COEFFICIENTS DE DÉPOUILLEMENT COMPTON	59
ÉTALONNAGE DE LA FENÊTRE COSMIQUE ET BRUIT DE L'AVION	63
COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON	69
ANNEXE D : COMPILATION DES LIVRES DE BORD	74
ANNEXE E : AVIONS MIS EN ŒUVRE	79

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : AVIONS C-FNME SUR LE TARMAC DE L'AÉROPORT DE PUVIRNITUQ	5
FIGURE 2 : LOCALISATION DU LEVÉ, AU NORD DE LA PROVINCE DU QUÉBEC SUR FOND D'IMAGES SATELLITES.	7
FIGURE 3 : LOCALISATION DU BLOC DE LA RIVIÈRE PUVIRNITUQ SUR FOND TOPOGRAPHIQUE SRTM30 ÉTENDU	8
FIGURE 4 : PLAN DE VOL DU BLOC DE LA RIVIÈRE PUVIRNITUQ	11
FIGURE 5 : SYSTÈME DE NAVIGATION EMBARQUÉ	19
FIGURE 6 : NAVIGATION LORS D'UNE PHASE D'APPROCHE (EN HAUT) ET D'ACQUISITION (EN BAS)	20
FIGURE 7 : STATISTIQUES SUR LES DIFFÉRENCES DE HAUTEURS DE VOL AUX INTERSECTIONS	26
FIGURE 8 : TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNÉTIQUE ET MAGNÉTOMÈTRES EMBARQUÉS (FNME)	40
FIGURE 9 : TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNÉTIQUE ET MAGNÉTOMÈTRES EMBARQUÉS (FDGW)	41
FIGURE 10 : RÉSULTATS DES MESURES DES SYSTÈMES EMBARQUÉS SUR LIGNE 1000770 (FNME)	42
FIGURE 11 : RÉSULTATS DES MESURES DES SYSTÈMES EMBARQUÉS SUR LIGNE 1000770 (FDGW)	42
FIGURE 12 : CALIBRATION BAROMÉTRIQUE DE L'AVION C-FNME	46
FIGURE 13 : CALIBRATION RADAR DE L'AVION C-FNME	46
FIGURE 14 : CALIBRATION BAROMÉTRIQUE DE L'AVION C-FDGW	46
FIGURE 15 : CALIBRATION RADAR DE L'AVION C-FDGW	46
FIGURE 16 : PROFILS N 0° MESURÉS POUR C-FNME	48
FIGURE 17 : PROFILS N 90° MESURÉS POUR C-FNME	49
FIGURE 18 : PROFILS N 180° MESURÉS POUR C-FNME	50
FIGURE 19 : PROFILS N 270° MESURÉS POUR C-FNME	51
FIGURE 20 : PROFILS N 0° MESURÉS POUR C-FDGW	52
FIGURE 21 : PROFILS N 90° MESURÉS POUR C-FDGW	53
FIGURE 22 : PROFILS N 180° MESURÉS POUR C-FDGW	54
FIGURE 23 : PROFILS N 270° MESURÉS POUR C-FDGW	55
FIGURE 24 : ATTÉNUATION EXPONENTIELLE AVEC LA HAUTEUR POUR LES QUATRE FENÊTRES (FNME)	58
FIGURE 25 : ATTÉNUATION EXPONENTIELLE AVEC LA HAUTEUR POUR LES QUATRE FENÊTRES (FDGW)	58
FIGURE 26 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR LE COMPTE TOTAL (FNME)	64
FIGURE 27 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR LE POTASSIUM (FNME)	64
FIGURE 28 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR L'URANIUM (FNME)	65
FIGURE 29 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR LE THORIUM (FNME)	65
FIGURE 30 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR L'URANIUM VERS LE HAUT (FNME)	66
FIGURE 31 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR LE COMPTE TOTAL (FDGW)	66
FIGURE 32 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR LE POTASSIUM (FDGW)	67
FIGURE 33 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR L'URANIUM (FDGW)	67
FIGURE 34 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR LE THORIUM (FDGW)	68
FIGURE 35 : COEFFICIENTS COSMIQUES POUR L'URANIUM VERS LE HAUT (FDGW)	68
FIGURE 36 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR LE COMPTE TOTAL (FNME)	70
FIGURE 37 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR LE POTASSIUM (FNME)	70
FIGURE 38 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR LE THORIUM (FNME)	71
FIGURE 39 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR L'URANIUM VERS LE HAUT (FNME)	71
FIGURE 40 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR LE COMPTE TOTAL (FDGW)	72
FIGURE 41 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR LE POTASSIUM (FDGW)	72
FIGURE 42 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR LE THORIUM (FDGW)	73
FIGURE 43 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON POUR L'URANIUM VERS LE HAUT (FDGW)	73
FIGURE 44 : AVIONS CESSNA C208 CARAVAN MIS EN ŒUVRE POUR CE LEVÉ	79

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES NAD83 DU PÉRIMÈTRE DU BLOC DE LA RIVIÈRE PUVIRNITUQ	6
TABLEAU 2 : PÉRIMÈTRE ET SURFACE DU BLOC DE LA RIVIÈRE PUVIRNITUQ.	8
TABLEAU 3 : PARAMÈTRES DE VOL UTILISÉS.	9
TABLEAU 4 : ESPACEMENTS MOYENS, EN DEGRÉS	9
TABLEAU 5 : KILOMÉTRAGE CALCULÉ EN COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES	10
TABLEAU 6 : DISTANCES LINÉAIRES PRÉVISIONNELLES ET RÉELLEMENT VOLÉES	12
TABLEAU 7 : SPÉCIFICATIONS DES AVIONS	17
TABLEAU 8 : SPÉCIFICATIONS DU MAGNÉTOMÈTRE EN VOL G-822A	18
TABLEAU 9 : SPÉCIFICATIONS DU MAGNÉTOMÈTRE VECTORIEL FLUXGATE	18
TABLEAU 10 : SPÉCIFICATIONS DES SPECTROMÈTRES RSI RSX-5	19
TABLEAU 11 : SPÉCIFICATIONS DES MAGNÉTOMÈTRES DES STATIONS SOL	19
TABLEAU 12 : SPÉCIFICATIONS DU SYSTÈME DGPS	20
TABLEAU 13 : SPÉCIFICATIONS DE LA STATION DE BASE GPS	21
TABLEAU 14 : SPÉCIFICATIONS DU SYSTÈME DE MESURES INERTIELLES	21
TABLEAU 15 : SPÉCIFICATIONS DES ALTIMÈTRES RADAR	21
TABLEAU 16 : SPÉCIFICATIONS DU SYSTÈME VIDÉO	22
TABLEAU 17 : PROCÉDURE DE NIVELLEMENT	26
TABLEAU 18 : TOLÉRANCES SUR LES INTERSECTIONS	26
TABLEAU 19 : RÉSUMÉ DES CORRECTIONS APPLIQUÉES AUX DONNÉES SPECTROMÉTRIQUES	27
TABLEAU 20 : PRODUITS DÉLIVRÉS	32
TABLEAU 21 : CONTENU DE LA BASE DE DONNÉES MAGNÉTIQUE	34
TABLEAU 22 : CONTENU DE LA BASE DE DONNÉES DES COEFFICIENTS DE KEATING	34
TABLEAU 23 : PARAMÈTRES UTILISÉS POUR LE CALCUL DES COEFFICIENTS DE KEATING	34
TABLEAU 24 : CONTENU DE LA BASE DE DONNÉES SPECTROMÉTRIQUE	36
TABLEAU 25 : PARAMÈTRES GÉODÉSIQUES UTILISÉS DANS LES PROJECTIONS PLANES	39
TABLEAU 26 : PARAMÈTRES DES GRILLES	39
TABLEAU 27 : TEST STATIQUE DE POSITIONNEMENT GPS	40
TABLEAU 28 : EMBLEMES DES STATIONS DE BASE MAGNETIQUE	40
TABLEAU 29 : TEST DE PARALLAXE C-FNME	45
TABLEAU 30 : TEST DE PARALLAXE C-FDGW	45
TABLEAU 31 : ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR ET BAROMETRIQUE POUR L'AVION C-FNME	46
TABLEAU 32 : ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR ET BAROMETRIQUE POUR L'AVION C-FDGW	46
TABLEAU 33 : RÉSULTATS DE LA FOM. AVION C-FNME	47
TABLEAU 34 : RÉSULTATS DE LA FOM. AVION C-FDGW	47
TABLEAU 35 : COEFFICIENTS D'ATTÉNUATION ET SENSIBILITÉ À 80M (FNME)	57
TABLEAU 36 : COEFFICIENTS D'ATTÉNUATION ET SENSIBILITÉ À 80M (FDGW)	57
TABLEAU 37 : COMPTES CORRIGÉS DU BRUIT DE FOND ET DE L'EFFET COMPTON (FNME)	57
TABLEAU 38 : COMPTES CORRIGÉS DU BRUIT DE FOND ET DE L'EFFET COMPTON (FDGW)	57
TABLEAU 39 : DONNÉES MOYENNÉES DES DEUX PALIERS (FNME)	63
TABLEAU 40 : DONNÉES MOYENNÉES DES DEUX PALIERS (FDGW)	63
TABLEAU 41 : COEFFICIENTS DE BRUITS DE FOND (FNME)	63
TABLEAU 42 : COEFFICIENTS DE BRUITS DE FOND (FDGW)	63
TABLEAU 43 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON (FNME)	71
TABLEAU 44 : COEFFICIENTS DE CORRECTION DU RADON (FDGW)	73
TABLEAU 45 : COMPILATION DES LIVRES DE BORD	78

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 Puvirnituk, au Nunavik, dans le nord du Québec. Le projet comprenait trois blocs appelés A, B et C. Novatem a réalisé les blocs A et C, entre le 22 juillet et le 7 septembre 2016. Ce rapport décrit la réalisation du bloc A, dit de la rivière Puvirnituk, totalisant 54 927 km linéaires.

En réponse à la demande du MERN, Novatem a mis en œuvre deux systèmes aéroportés complets, comprenant notamment chacun 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 ('stinger'); 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 de navigation et de compensation magnétique développés par Novatem; un altimètre radar TRA 4000, fabriqué par Free Flight Systems; un système de positionnement GPS différentiel Novatel Propack; une caméra digitale Commander Recorder Rugged Video.

En raison de l'absence de carburant AVGAS, Novatem a utilisé pour ce projet deux avions Cessna Caravan à turbine C208 immatriculés respectivement C-FNME et C-FDGW entièrement modifiés pour les vols de géophysique de très haute résolution.

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 : Avions C-FNME sur le tarmac de l'aéroport de Puvirnituk

2 LOCALISATION ET SPÉCIFICATIONS DU LEVÉ

2.1 LOCALISATION DU LEVÉ

Le projet est localisé au Québec, dans le Nunavik au nord du 60^{ème} parallèle, sur la côte Est de la Baie d'Hudson.

Les coordonnées géographiques des points définissant le périmètre du bloc sont les suivantes :

Bloc A – Rivière Puvirnituk		
Coin	Longitude Nad83	Latitude Nad83
0	-76,000	60,200
1	-77,525	60,200
2	-77,525	60,265
3	-77,625	60,265
4	-77,625	60,360
5	-77,780	60,360
6	-77,780	60,435
7	-77,700	60,435
8	-77,700	60,600
9	-77,850	60,600
10	-77,850	60,680
11	-77,735	60,680
12	-77,735	60,760
13	-77,500	60,760
14	-77,500	60,800
15	-77,400	60,800
16	-77,400	60,875
17	-77,200	60,875
18	-77,200	60,950
19	-77,040	60,950
20	-77,040	61,070
21	-76,910	61,070
22	-76,910	61,135
23	-76,800	61,135
24	-76,800	61,205
25	-76,430	61,205
26	-76,430	61,295
27	-76,300	61,295
28	-76,300	61,400
29	-76,000	61,400

Tableau 1 : Coordonnées géographiques Nad83 du périmètre du bloc de la rivière Puvirnituk

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

- Bloc de la rivière Puvirnituk (20 feuillets) : 34C01 à 34C16, 35F01 à 35F03, 35F08.

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

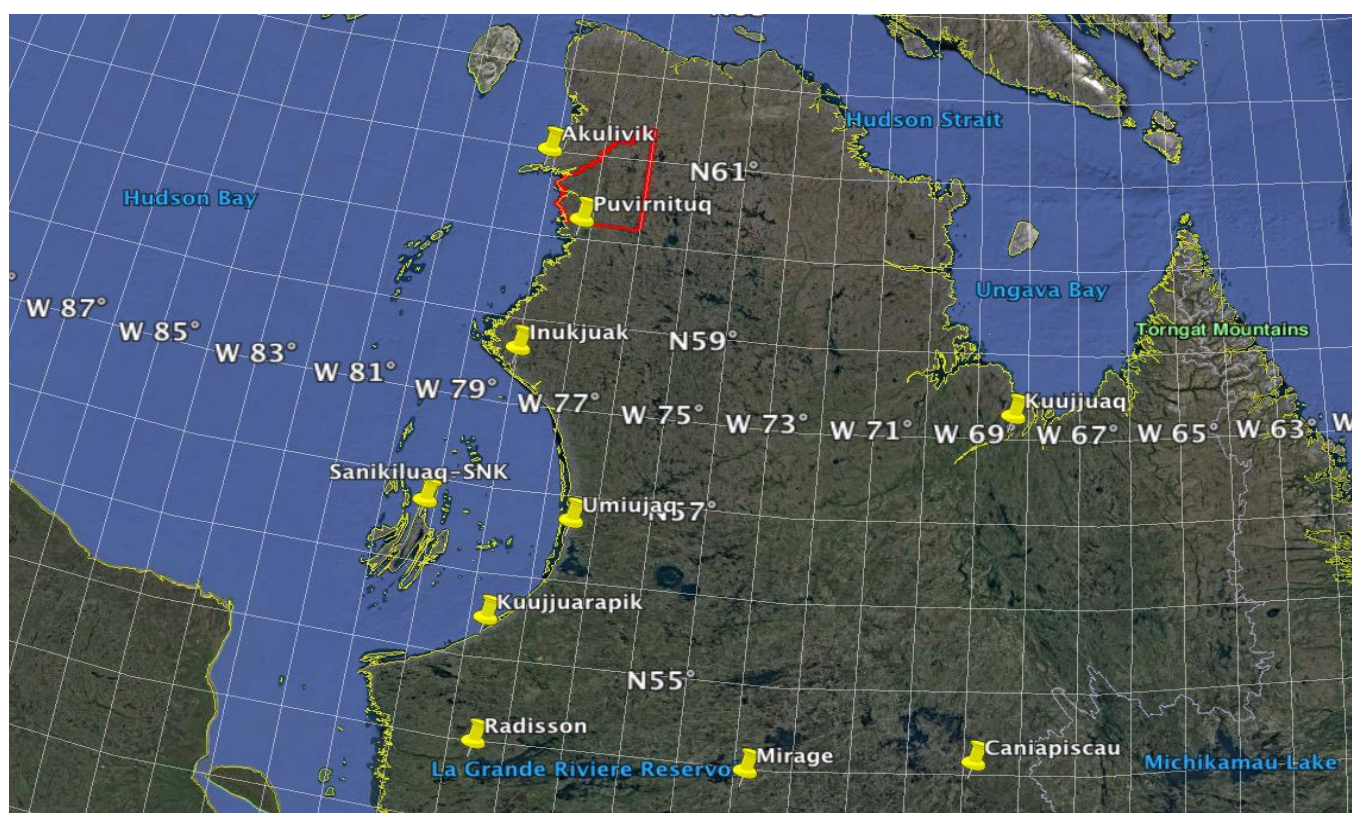


Figure 2 : Localisation du levé, au nord de la Province du Québec sur fond d'images satellites.

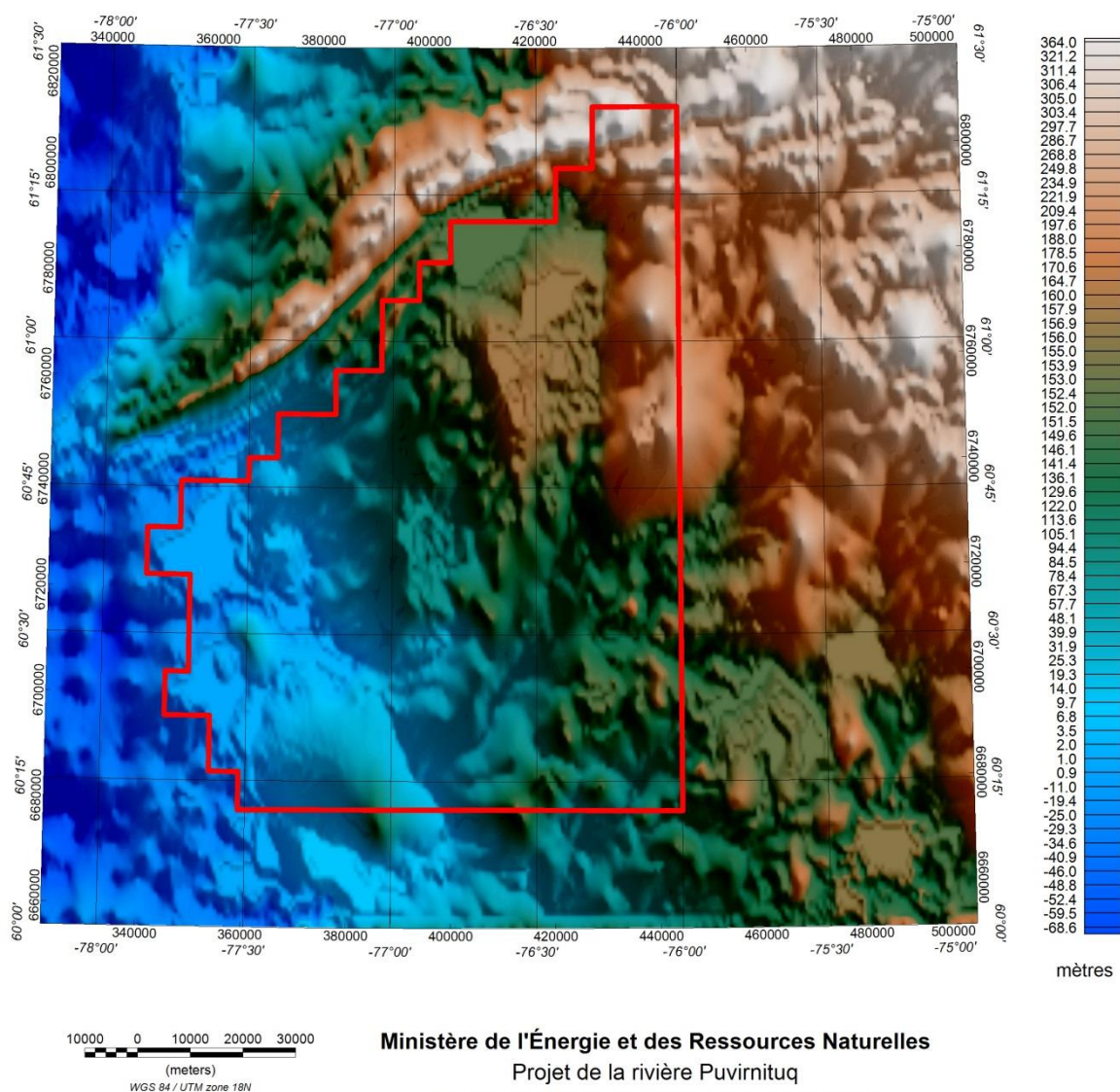


Figure 3 : localisation du bloc de la rivière Puvirnituk sur fond topographique SRTM30 étendu

2.2 ÉTENDUE DU LEVÉ

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

Bloc	Périmètre	Surface
Rivière Puvirnituk	479 km	9 187 km ²

Tableau 2 : Périmètre et surface du bloc de la rivière Puvirnituk.

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.

Paramètre	
Espacement entre les traverses à la latitude moyenne du levé	200 m
Direction des traverses	Est-ouest (latitude constante)
Espacement entre les lignes de contrôle	1 200 m
Direction des lignes de contrôle	Nord-sud (longitude constante)

Tableau 3 : Paramètres de vol utilisés.

Pour tenir compte de la demande du **MERN**, une extension de **500m** a été ajoutée aux deux extrémités de chaque profil (traverses et lignes de contrôle). Les segments de traverse ont été volés de manière à recouper au moins deux lignes de contrôle. Dans tous les cas les segments de traverses sont dans le prolongement l'une de l'autre.

Les plans de vol ont été calculés en tenant compte de l'extension importante des blocs en latitude et de la découpe des blocs selon des coordonnées géographiques. Compte tenu de la demande du **MERN** de voler ces blocs à latitude constante pour les traverses (direction EW) et à longitude constante pour les lignes de contrôle (direction NS), les espacements entre les lignes de vol, exprimés dans une projection rectangulaire (en mètres) dans l'appel d'offre, ont été convertis en degrés géographiques. Les espacements moyens équivalents sont ainsi :

Bloc	Espacement en latitude (entre les traverses)	Espacement en longitude (entre les lignes de contrôle)
Rivière Puvirnituq	0.00179511381250987	0.0215541815443921

Tableau 4 : Espacements moyens, en degrés

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

La hauteur de vol demandée par le MERN était de **80 m (262 pieds)** au-dessus du sol en suivant une surface drapée, vérifiée et autorisée par le chargé de projet du MERN avant le levé.

2.3.3. VITESSE

La vitesse moyenne de l'avion était voisine de **280 km/h** (78m/s, soit 151 kt).

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 **+/- 75 m** dans le plan horizontal, et à **+/-15 m** sur l'altitude, mesurés sur une ligne d'au moins 1 km. 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 20 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 géographiques.

<i>Kilométrage</i>	<i>Traverses</i>	<i>Lignes de contrôle</i>	<i>Total</i>
Sans extension	46 225	7 942	54 167
Extensions de 500m avant et après chaque ligne de vol	669	91	760
Total avec les extensions	46 894	8 033	54 927

Tableau 5 : Kilométrage calculé en coordonnées géographiques

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 avec les extensions de 500 m. Le périmètre du levé est figuré par le polygone rouge.

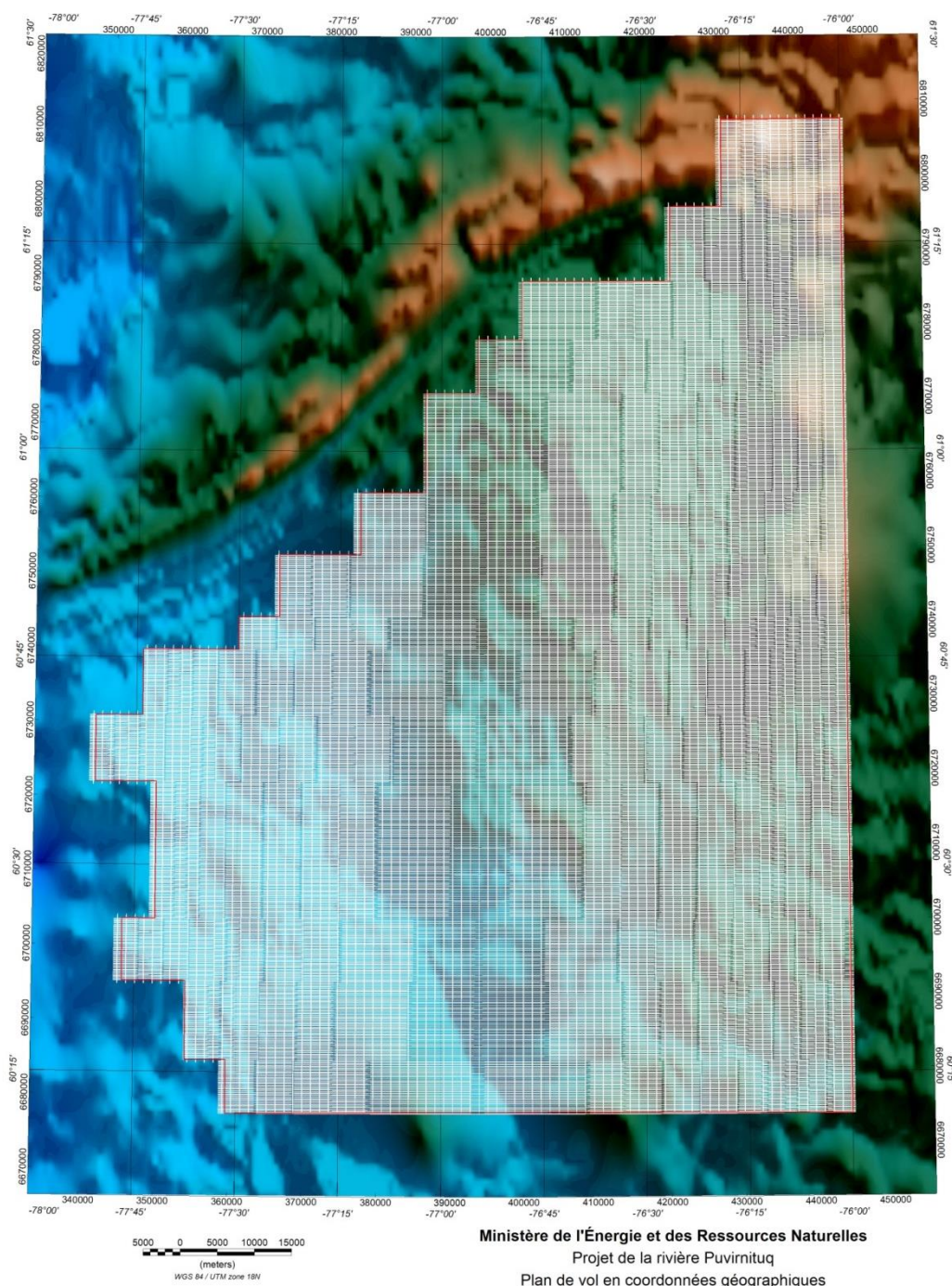


Figure 4 : Plan de vol du bloc de la rivière Puvirnituk pour des lignes de vol dirigées EW (à latitude constante) et NS (à longitude constante) incluant des extensions de 50m

2.6 DISTANCE CUMULÉE DES LIGNES DE VOL

Le plan de vol théorique tel que présenté sur la figure précédente cumule 54 927 km, incluant les extensions. Après retrait de la ligne la plus au sud par le MERN, le nombre total théorique était de 54 842 km. Le nombre de kilomètres effectivement volés est finalement le suivant :

	<i>Traverses</i>	<i>Lignes de contrôle</i>	<i>Total</i>
Réel	46 859	8 063	54 922
Théorique	46 808.5	8 033.5	54 842
Différence	50.5	29.5	80

Tableau 6 : Distances linéaires prévisionnelles et réellement volées

4 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 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*).

4.1 TESTS ET CALIBRATIONS DES INSTRUMENTS DE MESURES MAGNÉTIQUES

4.1.1. Test statique des stations magnétiques et du positionnement GPS

Avant le début du levé et avant le déploiement des stations de base magnétiques à leur emplacement final, des enregistrements des magnétomètres au sol et en vol ont été effectués pendant au moins 20 minutes. Les données magnétiques ont été enregistrées simultanément par les magnétomètres des stations de base et les magnétomètres embarqués dans les avions, alors que les avions étaient immobiles au sol, et les stations étaient à proximité des avions.

Ce test a été fait à la fin de la calibration des altimètres et un test de positionnement GPS a été réalisé simultanément. Ainsi, alors que les systèmes embarqués sont en fonction et que les stations de base GPS au sol sont en fonction, pendant au moins 20 minutes, les données GPS sont également enregistrées alors que les avions sont statiques sur le tarmac.

4.1.2. Test dynamique des systèmes embarqués

Chaque avion a volé une même ligne d'au moins 50 km et les données ont été comparées pour s'assurer que tous les systèmes produisent des résultats similaires. Cette ligne de comparaison a été effectuée au début du levé et répétée chaque fois que des modifications ont été apportées aux avions.

4.1.3 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 et à la fin des opérations.

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

Les résultats de ces essais sont présentés sous le même format graphique que celui qui a été 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 avant de se rendre sur la zone du levé.

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.

4.1.4. 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.

4.1.5. 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 bien définie (un pont métallique) dans des directions opposées et à la hauteur nominale du levé. En raison de l'emplacement de l'antenne DGPS le long de l'axe de l'avion, la position GPS est d'abord corrigée de la position du magnétomètre dans la queue. Le décalage temporel résiduel est alors la conséquence d'un retard électronique. Ce retard, s'il est observé, est ensuite corrigé lors du traitement des données.

Le système d'acquisition développé par Novatem est basé sur une synchronisation GPS généralement bien meilleure qu'un dixième de seconde, soit une erreur inférieure à une fiduce. Cette correction n'est donc généralement pas nécessaire.

4.1.6. Étalonnage des altimètres radar et barométrique

Une ligne test d'environ 2 km de long a été utilisée près de la zone du levé, près de l'aéroport où étaient basés les avions. 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 couvrant de part et d'autre la hauteur nominale du levé ont été utilisées. Des droites d'étalonnage ont été déterminées en utilisant les hauteurs enregistrées et les mesures GPS concordantes.

Les mesures barométriques ont été enregistrées avant et après chaque vol au même endroit, sur un point de l'aéroport où l'avion pouvait facilement accéder avant et après chaque vol. Les pressions fournies par l'altimètre barométrique ont été consignées dans le livre de bord de chaque avion, avant et après chaque vol, afin de déceler toute dérive barométrique. Des corrections de dérive ont été apportées aux altitudes barométriques lors des traitements.

4.1.7. Vols de calibration des perturbations magnétiques de l'avion à haute altitude (FOM)

La FOM de chaque 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, choisie avec le représentant du MERN. 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 nord, sud, est et ouest. 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.

4.2 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 sont 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 approuvés par le **MERN** 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) sont effectués sur des paliers constants aux 25 mètres, entre 50 et 225 m AGL, pour mesurer l'effet des variations de hauteur à partir de concentrations connues de sources radioactives (coefficients d'atténuation de l'air et constantes de sensibilité). Des mesures au sol sont effectuées simultanément à l'aide d'un spectromètre calibré fourni par la CGC. Ce test est répété à la fin du levé ou si des changements sont apportés au système de spectrométrie.

Les tests et les vols de calibrations suivants sont 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 3500 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 5 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.
- La ligne test est localisée à proximité d'un plan d'eau afin de réaliser des vols quotidiens, d'au moins 200 secondes au-dessus de l'eau, avant et après chaque journée de vol, afin de procéder à la calibration du détecteur regardant vers le haut des effets du radon atmosphérique. 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 des avions (AGSO Record 1995/60). Les coefficients pour la contribution du sol dans le spectre du détecteur regardant vers le haut sont déterminés par une analyse des données obtenues en soustrayant les sections de 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

4.2 BASE D'OPÉRATION ET STATIONS DE BASE

L'aérodrome de Puvirnituk, situé à deux kilomètres de la ville, a été utilisé pour ce projet.

Aéroport de Puvirnituk	IATA code: YPX; ICAO code: CYPX (Lat, Long) = (60° 03' 08" N, 77° 17' 15" W) Altitude = 83 ft. (25 m) Longueur de la piste: 6 300 ft (1 920 m) Surface : gravel Carburant : JET
------------------------	--

Une base d'opération a été installée dans les locaux de la coopérative où le personnel était hébergé. 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. Les avions étaient par ailleurs équipés d'un système de communication et de suivi par téléphone satellite. Tous les outils nécessaires aux prétraitements des données étaient disponibles sur place.

Deux stations de base magnétique et GPS ont été installées à proximité de la piste d'atterrissage. Le responsable technique de Novatem récupérait les données chaque semaine. Les lieux d'implantations 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 sont les suivantes :

Base 1 :

Longitude : 77.2828996 O
 Latitude : 60.0423055 N
 Moyenne mesurée pendant la durée du levé : 57946.03

Base 2 :

Longitude : 77.2850754 O
 Latitude : 60.0429249 N
 Moyenne mesurée pendant la durée du levé : 57840.22

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.** assisté de **Erwan Pau-Corfa, M.Sc.**

4.4 RESSOURCES HUMAINES AFFECTÉES AU PILOTAGE DES AVIONS

Tous les pilotes ayant travaillé sur ce projet sont titulaires d'un permis commercial valide pour les avions Cessna Caravan C208 et Piper PA-31 Navajo, délivré par Transport Canada.

Pour des raisons de sécurité, les avions ont été pilotés par un pilote commandant de bord, assisté d'un pilote en second. Le co-pilote était également en charge de surveiller les indices de qualité délivrés par le système d'acquisition : 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.

Novatem a réalisé le projet à l'aide de six pilotes au total, dont quatre ayant les qualifications de commandant de bord expérimentés pour les vols de géophysique à basse hauteur.

Équipage en rotation sur C-FNME

- **Alexandre Lafortune**, Commandant
- **André Beaupré**, Commandant
- **Jean-François Côté**, Co-pilote

Équipage en rotation sur C-FDGW

- **Martin Forget**, Commandant
- **Vincent Lemay**, Commandant
- **Jean-Marie Goyette**, Co-pilote

4.5 CALENDRIER DES TRAVAUX

La production a débuté le **22 juillet 2016** et s'est terminée le **11 août 2016**. Des revols pour cause d'agitation magnétique ont été réalisés entre le 2 et le 7 septembre. Les données préliminaires ont été produites sur le terrain 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 des avions, résumant les principales dates du levé ainsi que l'avancement des travaux, sont joints en annexe du présent rapport.

5 INSTRUMENTATION

5.1 AÉRONEFS

Compte tenu de l'absence d'essence AVGAS à l'aéroport de Puvirnituq, Novatem a mis en œuvre **deux avions à turbine Cessna Caravan C208** équipés chacun d'une perche magnétométrique, pour réaliser ce projet.

Spécifications		
Immatriculation	C-FNME	C-FDGW
Modèle	Cessna Caravan	Cessna Caravan
Numéro de série	20800318	20800272
Type	C208	C208
Moteur	Pratt & Whitney PT6A-114A	Pratt & Whitney PT6A-114A
Carburant	JET	JET
Hélice	Hartzel 3 pales en composite	Hartzel 3 pales en composite
Type d'immatriculation	Commerciale	Commerciale

Tableau 7 : Spécifications des avions

Chaque avion était muni d'une perche magnétométrique (« stinger ») validée par un STC délivré par Transport Canada. Ces « stingers » ont une longueur hors tout de 12 pieds (3.66 m). Les équipements de mesure géophysique montés à bord de chacun des avions pour cette campagne incluait 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 « drapée », 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 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;

- 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 des avions pour le calcul des corrections différentielles de positionnement à l'aide du logiciel Waypoint GrafNav de Novatel.
- Une caméra digitale Commander Recorder fabriquée par Rugged Video utilisant une optique à vision grand angle HDX, synchronisée avec le système de positionnement.

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

5.2 MAGNÉTOMÈTRES

5.2.1 MAGNÉTOMÈTRE SCALAIRE EN VOL

Les avions étaient équipés 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	20 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 8 : 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 (2015) 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 9 : 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 ($16.72 \text{ litres} = 1024 \text{ in}^3$), et un cristal regardant vers le haut ($4.18 \text{ litres} = 256 \text{ in}^3$). 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 10 : Spécifications des spectromètres RSI RSX-5

5.2.3 STATION DE BASE MAGNÉTOMÉTRIQUE

Deux stations de base magnétiques **GEM** GSM19, équipées 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 11 : Spécifications des magnétomètres des stations sol

5.3 SYSTÈME DE POSITIONNEMENT

5.3.1 NAVIGATION

Un système de navigation développé par Novatem, spécifiquement pour les levés géophysiques aéroportés, a été utilisé. Le pilote dispose 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

Les figures ci-dessous montrent la navigation lors d'une phase d'approche. Puis, lors d'une phase d'acquisition une fois l'avion arrivé sur sa ligne (les deux lignes rouges représentent la distance latérale permise pour rester dans la tolérance).

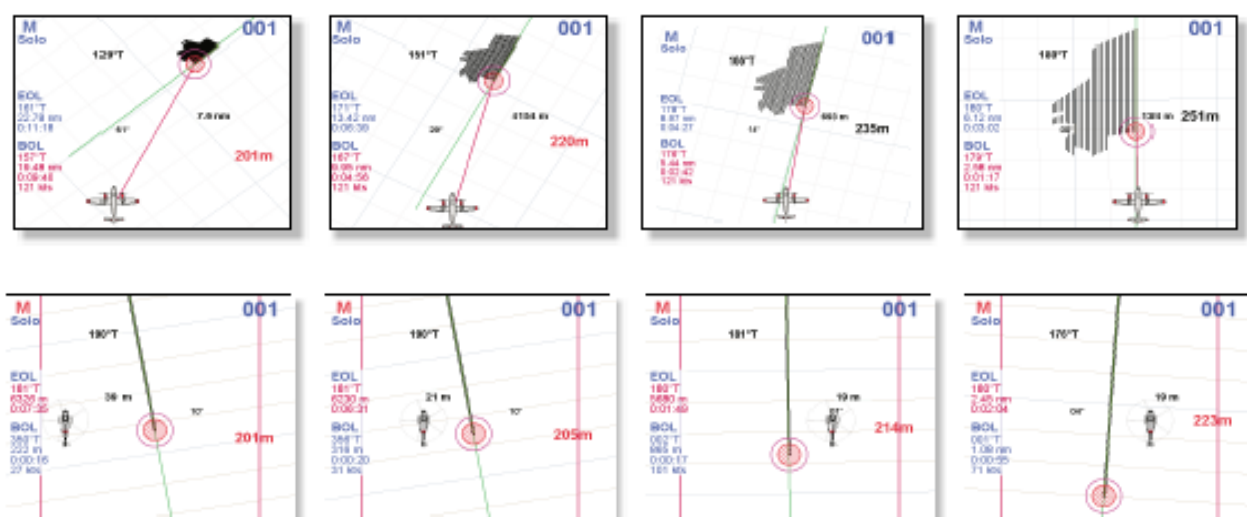


Figure 6 : Navigation lors d'une phase d'approche (en haut) et d'acquisition (en bas)

5.3.2 SYSTEME 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 12 : Spécifications du système DGPS

5.3.3 STATION DE BASE DGPS

Une station de base DGPS utilisant un capteur **Novatel** similaire à celui embarquée à bord des avions 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 13 : 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 14 : 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 : $\leq 3\text{ft}$ Entre 100 et 500 pieds : $\leq 3\%$ Entre 500 et 2 500 pieds : $\leq 5\%$
Gamme de températures	-55 à +70 °C

Tableau 15 : Spécifications des altimètres radar

5.7 SYSTÈME D'ACQUISITION ET D'ENREGISTREMENT DES DONNÉES

Un système d'acquisition développé par Novatem a été utilisé. Toutes les données sont synchronisées en temps réel avec le récepteur DGPS. Cette synchronisation est ensuite vérifiée après les vols par fusion des fichiers de chaque instrument. Les données sont enregistrées et sauvegardées à l'issue de chaque vol. Les données suivantes sont enregistrées :

- Numéro de ligne
- Temps GPS
- Fiduce
- 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 VIDEO

Une caméra digitale Commander Recorder fabriquée par Rugged Video, utilisant une optique à vision grand angle HDX, était installée à la base inférieure 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) est incrusté 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 16 : 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 pourront être 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'aérodrome CPM3) à des hauteurs successives : de 100, 150, 200, 250 et 300m 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 les senseurs magnétiques et la position de l'antenne (placée entre les ailes) 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 inertielles 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 inférieure à 1nT pour le magnétomètre de queue (stinger). 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 **57946.03** nT lors des mesures faites de juillet à septembre 2016.

Une moyenne glissante de période équivalente à 600 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 les avions. 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 toujours en dessous d'une fiduce (soit moins de 0.1 s), voir *Rapport de calibration*. L'erreur résiduelle est donc négligeable et il n'a pas été nécessaire de procéder à cette correction.

7.3.5 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 le 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. Cette méthode est généralement bien adaptée aux levés par avion, où la surface drapée est relativement lisse. Un nivellement plus local du second ordre est ensuite appliqué.

Le tableau suivant explique la méthode utilisée.

Nivellement	
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 17 : Procédure de nivellement

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

Spécifications			
Nombre total d'intersection	Nombre d'intersection ayant une différence inférieure à 15m	Nombre d'intersection ayant un gradient inférieur à 5nT	Nombre d'intersection utilisé pour le nivellement
39 896 (100%)	39 803 (99.8%)	28 855 (72.3%)	28 845 (72.3%)

Tableau 18 : Tolérances sur les intersections

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

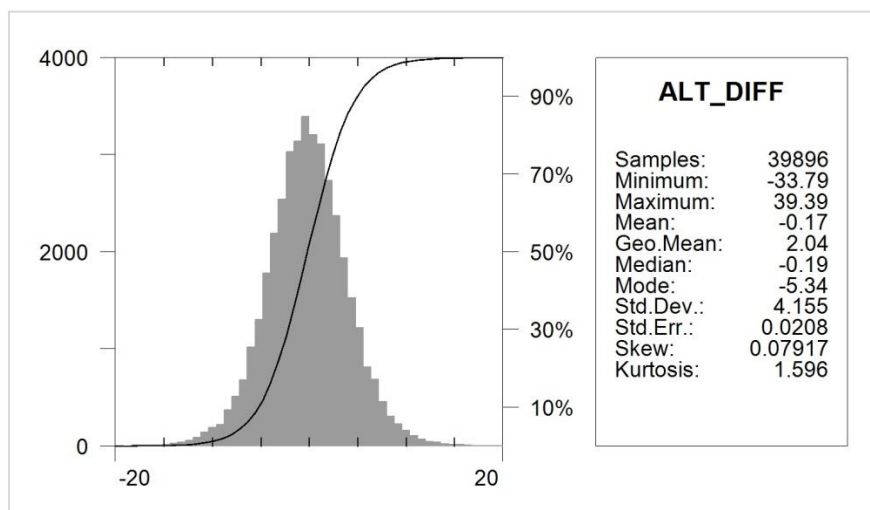


Figure 7 : Statistiques sur les différences de hauteurs de vol aux intersections

Les données livrées n'ont subi aucun « micro-nivellement » (ou filtrage directionnel tel que proposé par exemple par Minty, Exploration Geophysics, 1991, 22, 591-592).

7.3.6 CHAMPS RÉSIDUEL

L'intensité du champ magnétique total est corrigé du terrestre en lui soustrayant l'IGRF à une hauteur constante de 215 m. L'IGRF 2015, extrapolé à la date du 06/08/2016 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 25 points	Lissage
Pré-filtrage	Rayonnement cosmique	Moyenne sur 15 points	Réduction du bruit statistique
Pré-filtrage	Température Pression	Moyenne sur 20 et 6 points	Lissage
Pré-filtrage	Les fenêtres de tous les nucléides	AUCUN	Lissage
Suppression du radon	Uranium Haut/Bas corrigé	Moyenne sur 500 points	Réduction du bruit statistique
Reconstitution du spectre	Tout le spectre	NASVD	Lissage

Tableau 19 : Résumé des corrections appliquées aux données spectrométriques

7.4.2 ANALYSE SPECTRALE ET LISSAGE PAR LA MÉTHODE NASVD

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, la méthode d'analyse en composante principale (NASVD), qui est beaucoup plus fiable, est utilisée pour reconstituer les spectres (lissage) à l'aide du logiciel **Praga** de **Geosoft**. 9 vecteurs propres ont été nécessaires pour reconstituer l'ensemble des données.

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 donc pas, par conséquent, 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 :

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

où :

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

N_{NASVD} est la fenêtre reconstituée par analyse en composante principale (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 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 regardant 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 de 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-FNME	C-FDGW
Alpha	0.270	0.269
Beta	0.419	0.416
Gamma	0.775	0.773
A	0.047	0.050
B	0.001	0.002
G	0.007	-0.001

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 des 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 :

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

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

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

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 lever, 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 MICRO-NIVELLEMENT

Nous avons noté un bruit directionnel résiduel causé par les estimations sur les différents coefficients de corrections, particulièrement dans le cas de l'uranium. Dans le but de corriger ces erreurs, une procédure propriétaire de décorrugation adapté à la spectrométrie, basée sur un filtre Butterworth et un cosinus directionnel, a été appliquée sur les résultats finaux des quatre fenêtres traitées. Les paramètres utilisés sont

décrits dans le tableau suivant. Finalement, aucun seuil sur les hauteurs de vol n'a été appliqué, ces dernières étant en-deçà des tolérances standard.

<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>
1200 m	8	90°N	0.5

7.4.11 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 considérés. Ces points correspondent généralement aux lacs et rivières sur le bloc.

Ensuite, 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 11 ppm. Finalement, de ces nouvelles grilles les ratios sont calculés en faisant le rapport de chacune d'elle, 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 ¹	- Champ magnétique total résiduel - 1^{ère} dérivée verticale (GV) du champ total - 2^{ème} dérivée verticale du champ total - Modèle Numérique de Terrain (MNT) - Taux d'absorption naturel - Équivalent Uranium (en ppm) - Équivalent Thorium (en ppm) - Potassium (en %) - Rapport eq U / eq Th - Rapport eq Th / K - Image ternaire des radioéléments	Oasis Montaj GRD – Nad83
Rapport	Logistique, traitements et documentation des produits	pdf

Tableau 20 : Produits délivrés

¹ Les grilles finales ont été recalculées par le MERN en utilisant ses propres standards.

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	AVION	Immatriculation de l'avion	
2	VOL	Numéro de vol	
3	LIGNE_NO	Numéro complet de la ligne de vol	
4	FIDUCE	Fiduce	
5	TEMPS.UTC	Temps universel UTC	Seconde
6	DATE	Date locale	AAAA/MM/JJ
7	GPS_LONG_BRUT	Longitude GPS WGS84 temps réel	Degré décimal
8	GPS_LAT_BRUT	Latitude GPS WGS84 temps réel	Degré décimal
9	GPS_ALT_BRUT	Altitude GPS WGS84 temps réel	Mètre ASL
10	GPS_X_BRUT	Coordonnées X UTM NAD83 temps réel	Mètre
11	GPS_Y_BRUT	Coordonnées Y UTM NAD83 temps réel	Mètre
12	LONG_WGS84	Longitude GPS WGS84 corrigée différentielle	Degré décimal
13	LAT_WGS84	Latitude GPS WGS84 corrigée différentielle	Degré décimal
14	ALT_WGS84	Altitude GPS WGS84 corrigée différentielle	Mètre ASL
15	X_NAD83	Coordonnées X UTM NAD83 corrigée différentielle	Mètre
16	Y_NAD83	Coordonnées Y UTM NAD83 corrigée différentielle	Mètre
17	X_LAG	Coordonnées X UTM NAD83 corrigée de la position du magnétomètre par rapport à l'antenne GPS	Mètre
18	Y_LAG	Coordonnées Y UTM NAD83 corrigée de la position du magnétomètre par rapport à l'antenne GPS	Mètre
19	DRAPE	Hauteur de vol théorique	Mètre ASL
20	VITESSE	Vitesse de vol	Km/h
21	COG	Direction de vol (Course Over Ground)	Degré
22	RADAR_BRUT	Hauteur radar brute	Mètre
23	RADAR_FINAL	Hauteur radar filtrée (25 fid), corrigée de la calibration	Mètre
24	DEM	Modèle digital d'élévation (alt_wgs84 – radar_final)	Mètre ASL
25	BARO_BRUT	Pression barométrique brute	hPa
26	BARO_FINAL	Altitude barométrique corrigée de la calibration	Mètre ASL
27	TEMP_BRUT	Température brute	Celsius
28	TEMP_FINAL	Température filtrée (200 fid)	Celsius
29	MAG_BASE_BRUT_1	Données brutes de la station de base 1	nanoTesla
30	MAG_BASE_BRUT_2	Données brutes de la station de base 2	nanoTesla
31	MAG_BASE_FILT_1	Données filtrées de la station de base 1 (6000 fid)	nanoTesla
32	MAG_BASE_FILT_2	Données filtrées de la station de base 2 (6000 fid)	nanoTesla
33	MAG_BASE_COR	Modèle de variations du champ externe (correction diurne appliquée)	nanoTesla
34	MAG_BRUT	Champ magnétique total brut	nanoTesla

35	MAG_COMP	Champ magnétique compensé	nanoTesla
36	MAG_BASE	Mag_comp corrigé de la base	nanoTesla
37	NIV_COR	Correction de nivellement	nanoTesla
38	MAG_NIV	Mag_base corrigé du nivellement	nanoTesla
39	IGRF_215	Valeur du champ IGRF local (altitude = 215 m) le 06/08/2016	nanoTesla
40	MAG_RES	Champ magnétique final résiduel (corrigé de l'IGRF)	nanoTesla

Tableau 21 : Contenu de la base de données magnétique

8.3 BASE DE DONNÉES DES COEFFICIENTS DE KEATING

	Nom du champ	Description	Unité
1	x_nad83	Coordonnée X UTM NAD83	mètre
2	y_nad83	Coordonnée Y UTM NAD83	mètre
3	long_wgs84	Longitude WGS84	degré décimal
4	lat_wgs84	Latitude WGS84	degré décimal
5	cor_coeff	Coefficient de corrélation	Pourcent
6	pos_coeff	Coefficient de corrélation positif	Pourcent
7	neg_coeff	Coefficient de corrélation négatif	Pourcent
8	Susc_x1000	Susceptibilité magnétique x 1000	(sans dimension)
9	norm_error	Erreur standard normalisée par rapport à l'amplitude	Pourcent
10	amplitude	Amplitude de l'anomalie pic-à-pic	nanoTesla

Tableau 22 : Contenu de la base de données des coefficients de Keating

Paramètre	Valeur utilisée
<i>Paramètres du champ normal (IGRF)</i>	
Inclinaison	80.4 degrés
Déclinaison	- 21.2 degrés
Intensité	57 740 nT
<i>Paramètres du modèle (cylindre infini vers le bas)</i>	
Rayon	100 m
Distance au capteur	130 m (hauteur de vol + 30m de mort terrain)
<i>Contraintes</i>	
Taille de la fenêtre de convolution	600m
Corrélation retenue	> 0.9

Tableau 23 : Paramètres utilisés pour le calcul des coefficients de Keating

8.5 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</i>	<i>Description</i>	<i>Unité</i>
1	AVION	Immatriculation de l'avion	
2	VOL	Numéro de vol	
3	LIGNE_FINAL	Numéro complet de la ligne de vol	
4	TEMPS_UTC	Temps universel UTC	secondes
5	DATE	Date locale	AAAAMMJJ
6	X_NAD83	Coordonnées X UTM NAD83 corrigée différentiel	mètres
7	Y_NAD83	Coordonnées Y UTM NAD83 corrigée différentiel	mètres
8	GPS_Z_FINAL	Coordonnées Z UTM NAD83 corrigée différentiel	mètres ASL
9	LONG_NAD83	Longitude GPS WGS84	degré décimal
10	LAT_NAD83	Latitude GPS WGS84	degré décimal
11	RADAR_RAW	Hauteur radar brute filtré à 2.5 sec et corrigé de la calibration	mètres au-dessus du sol
12	RADAR_COR	Hauteur radar déduit du DEM micronivellé	mètres au-dessus du sol
13	DEM	Modèle digital d'élévation (alt_wgs84 – radar_final)	mètres ASL
14	TEMP_RAW	Température brute	degré Celsius
15	PRESSION_RAW	Pression brute	mBar
16	TEMP	Température filtrée (100 fid)	degré Celsius
17	PRESSION	Pression filtrée (6 fid)	mBar
18	HSTP	Hauteur aux conditions standards de température et de pression, calculée à partir du radar_final, Pression et Temp	mètres
19	LIVETIME	Temps de vie	millisecondes
20	SPEC_DN	Spectre brut vers le bas	cps
21	SPEC_UP	Spectre brut vers le haut	cps
22	COSRAW	Compte cosmique brut downward	cps
23	UPCOSRAW	Compte cosmique brut upward	
24	UPURAW	Compte Uranium upward brut	cps
25	TCRAW	Compte total brut	cps
26	KRAW	Compte Potassium brut	cps
27	URAW	Compte Uranium brut	cps
28	THRAW	Compte Thorium brut	cps
29	FILCOS	Compte cosmique avec un filtre de 15s	cps
30	FILUPCOS	Compte cosmique avec un filtre de 15s	cps
31	FILTC	Compte total filtré (corrigé pour le lag, NASVD, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
32	FILK	Compte Potassium filtré (corrigé pour le lag, NASVD, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
33	FILU	Compte Uranium filtré (corrigé pour le lag, NASVD, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
34	FILTH	Compte Thorium filtré (corrigé pour le lag, NASVD, livetime et recalibration de l'énergie)	cps
35	BAKTC	Compte total filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
36	BAKK	Compte Potassium filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
37	BAKU	Compte Uranium filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
38	BAKTH	Compte Thorium filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps

39	BAKUPU	Compte Uranium upward filtré et corrigé du cosmic et du bruit de l'avion	cps
40	RADU	Niveau de base du Radon brut	cps
41	RADUFIL	Niveau de base du Radon filtré avec un filtre de 1000s	cps
42	RADTC	Niveau de base du Radon dans le compte total	cps
43	RADK	Niveau de base du Radon dans le Potassium	cps
44	RADTH	Niveau de base du Radon dans le Thorium	cps
45	RNRTC	Compte total corrigé du Radon	cps
46	RNRK	Compte Potassium corrigé du Radon	cps
47	RNRU	Compte Uranium corrigé du Radon	cps
48	RNRTH	Compte Thorium corrigé du Radon	cps
49	STRIPK	Compte Potassium après application du "Compton stripping"	cps
50	STRIPU	Compte Uranium après application du "Compton stripping"	cps
51	STRIPTH	Compte Thorium après application du "Compton stripping"	cps
52	ATTTC	Compte total corrigé de l'atténuation	cps
53	ATTK	Compte Potassium corrigé de l'atténuation	cps
54	ATTU	Compte Uranium corrigé de l'atténuation	cps
55	ATTTH	Compte Thorium corrigé de l'atténuation	cps
56	CONTC	Compte total du taux d'absorption	nGy/h
57	CONK	Concentration de Potassium	%
58	CONU	Concentration équivalente d'Uranium	ppm
59	CONTH	Concentration équivalente de Thorium	ppm
60	CONTC_L	Compte total du taux d'absorption nivelé	nGy/h
61	CONK_L	Concentration de Potassium nivelée	%
62	CONU_L	Concentration équivalente d'Uranium nivelée	ppm
63	CONTH_L	Concentration équivalente de Thorium nivelée	Ppm
64	UTHratio	rapport de concentration équivalente Uranium et concentration équivalente Thorium	ppm/ppm
65	UKratio	rapport de concentration équivalente Uranium et concentration Potassium	ppm/%
66	THKratio	rapport de concentration équivalente Thorium et concentration Potassium	ppm/%

Tableau 24 : Contenu de la base de données spectrométrique

9 RÉFÉRENCES DU PROJET

<i>Références Client</i>	
Projet	117840512-20160330-01
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	C16113 (S160526)
Adresse	1087 Chemin de la Montagne Mont-Saint-Hilaire, Québec, Canada, J3G 4S6
Chef de projet	Pascal Mouge
Courriel	mouge@novatem.com
Téléphone	+1 450 464 1655
<i>Références Projet</i>	
Localisation	Secteur de la rivière Puvirnituq – Québec, 2016
Méthode	Levé aéromagnétique et spectrométrie
Période du levé	Du 22 juillet au 9 septembre 2016
Date de livraison des données et du rapport	Novembre 2016
Gestionnaire du projet et responsable de la qualité des données	Pascal Mouge, Géo.numéro 1727, Ph.D.
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
Pilotes commandant de bord	Alexandre Lafortune André Beaupré Martin Forget Vincent Lemay Jean-Marie Goyette Jean-François Côté

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, Géo. numéro 1727, Ph.D.



ANNEXES

ANNEXE A : PARAMÈTRES GÉODÉSIQUES UTILISÉS DANS LES PROJECTIONS

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

Système de référence local:	WGS84
Ellipsoïde:	WGS84
Projection:	MTU
Zone:	18N
Lat0, Lon0,	0, -69
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	298.25772
Méridien de référence	0

Tableau 25 : 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:	50
Séparation entre deux points le long de l'axe Y, en m:	50
Nombre de points le long de l'axe X :	2675
Nombre de points le long de l'axe Y:	2079
Origine de la grille (min X, min Y):	X = 343 150 Y = 6 674 300
Système de coordonnées planes	NAD83/UTM zone 18 N
Azimut des colonnes:	0

Tableau 26 : Paramètres des grilles

ANNEXE C : TESTS DE CALIBRATIONS

TEST STATIQUE DES STATIONS MAGNETIQUES 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.

C208 Caravan Immatriculation	Altitude GPS brute (m)	Écart-type brut	Altitude GPS corrigée (m)	Écart-type corrigé	Altitude CYPX (m)
C-FNME	20.461	0.421	19.748	0.080	25,298
C-FDGW	27.911	0.145	28.112	0.037	25.298

Tableau 27 : Test statique de positionnement GPS

Des mesures simultanées des magnétomètres embarqués et des stations de base, installées à proximité de la piste d'atterrissage de Puvirnituk ont été effectuées avant le début des travaux. Les données ont été enregistrées alors que les avions étaient statiques 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
Caravan C-FNME	77.2845849 O ; 60.0441814 N	23:42:15.30 - 00:02:30.90
Caravan C-FDGW	77.2922681 O ; 60.0608624 N	14:32:32.30 - 14:45:12.80
MB1 (S/N : 8082873)	77.2828996 O ; 60.0423055 N	Juillet - Septembre
MB2 (S/N : 7052351)	77.2850754 O ; 60.0429249 N	Juillet - Septembre

Tableau 28 : Emplacements des stations de base magnétique

Les figures suivantes montrent les corrélations entre les magnétomètres embarqués et les stations au sol. Notons que les petites variations magnétiques des magnétomètres embarqués sont de sources culturelles, étant donné les activités à proximité de l'aérodrome.

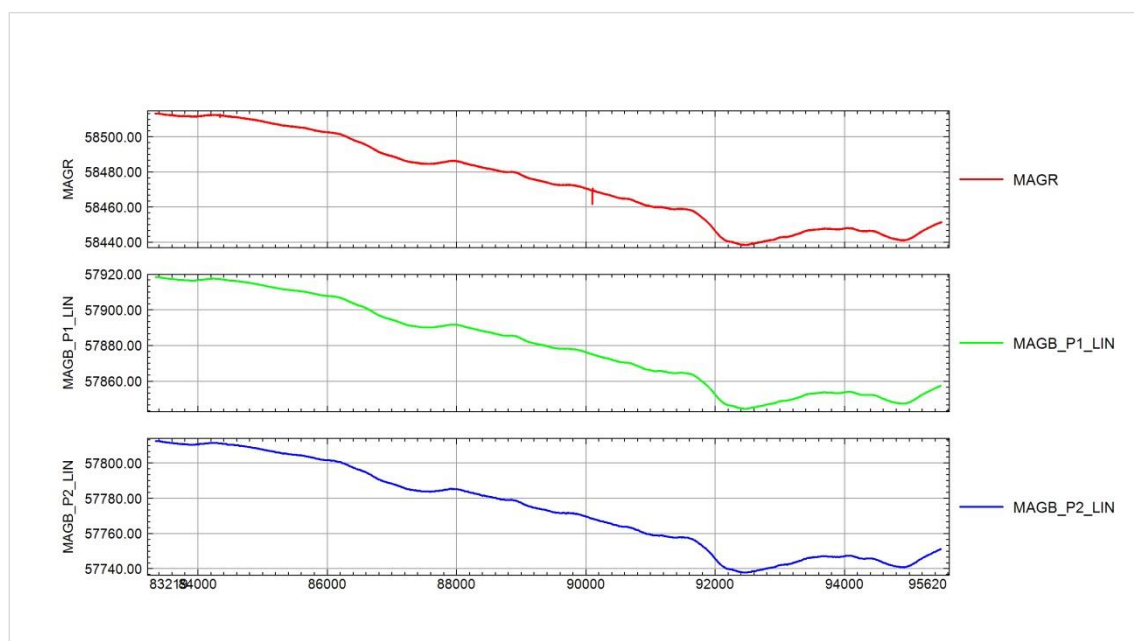


Figure 8 : Test statique des stations magnétique et magnétomètres embarqués (FNME)

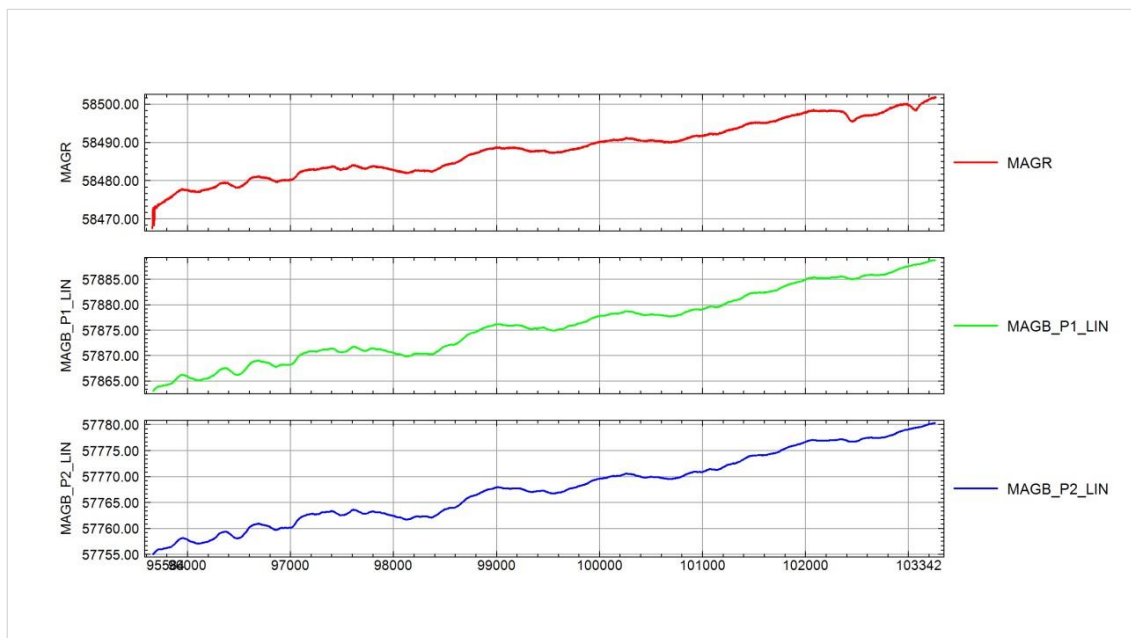


Figure 9 : Test statique des stations magnétique et magnétomètres embarqués (FDGW)

TEST DYNAMIQUE DES SYSTEME EMBARQUES

Les vols ont été effectués à quelques jours d'intervalles, dans la direction Nord, et dans des conditions de vols similaires (vols le long d'une ligne drapée). Les figures suivantes montrent la cohérence des différents instruments de mesures embarqués après corrections respectives.

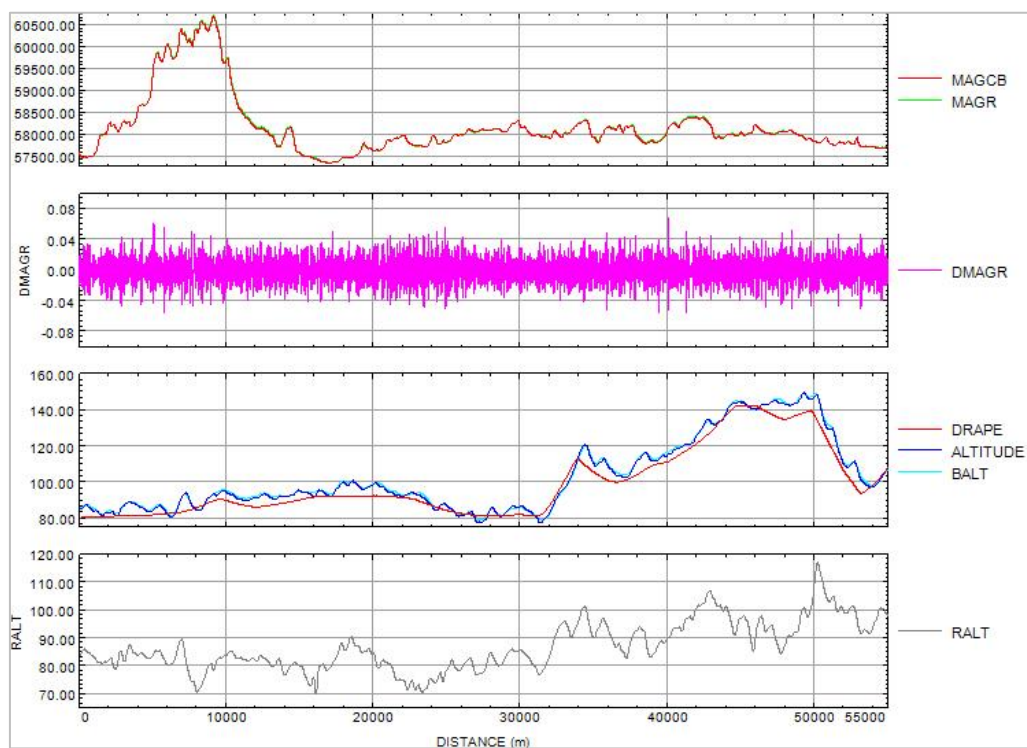


Figure 10 : Résultats des mesures des systèmes embarqués sur ligne 1000770 (FNME)

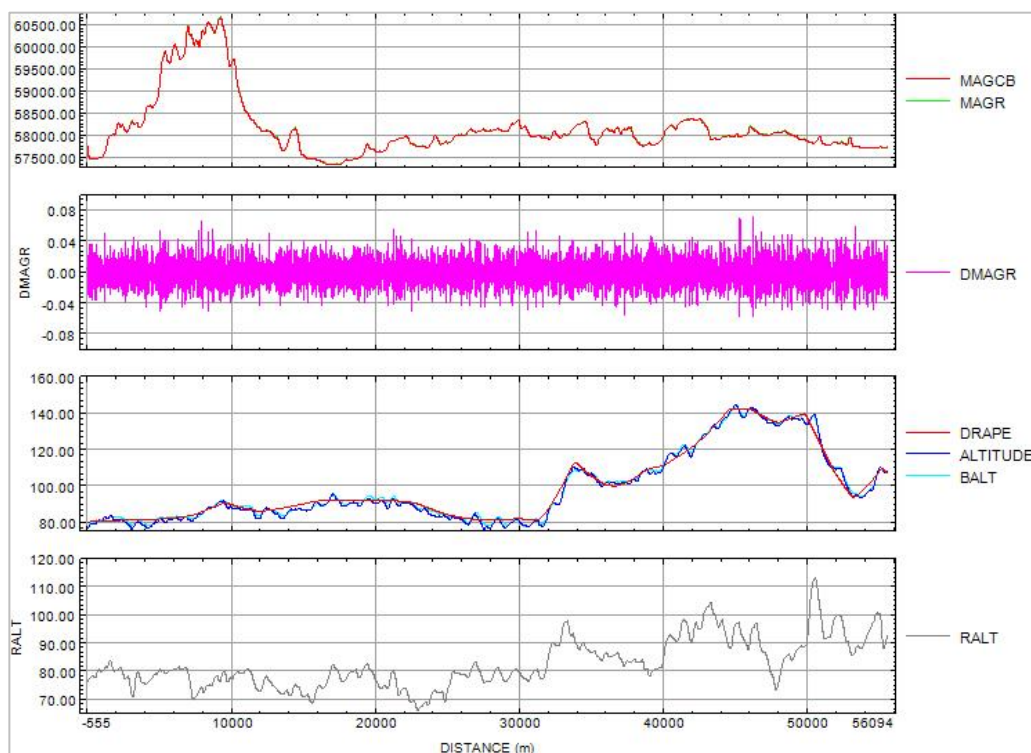


Figure 11 : Résultats des mesures des systèmes embarqués sur ligne 1000770 (FDGW)

ÉTALONNAGE DES MAGNETOMETRES EMBARQUES (TEST DE MOREWOOD)

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

AIRCRAFT TYPE AND REGISTRATION: C208 Caravan **C-FNME**

ORGANIZATION (COMPANY): Novatem Inc.

MAGNETOMETER TYPE: Geometrics, G-823 10Hz

MAGNETOMETER SERIAL NUMBER:

COMPILED BY: Novatem Inc.

DATE: 2016-02-01

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
NORTH	12:13:40.60	53716.05	54355.09	54353.91	54354.29	53714.19	1.86
SOUTH	12:01:43.30	53719.88	54358.00	54357.58	54357.70	53717.60	2.28
EAST	12:19:01.00	53715.77	54353.93	54352.43	54353.91	53713.81	1.96
WEST	12:08:25.10	53715.11	54355.29	54354.92	54355.14	53715.04	0.07
NORTH	12:34:13.70	53712.74	54351.63	54351.22	54351.54	53711.44	1.30
SOUTH	12:24:12.10	53712.78	54352.05	54351.55	54351.95	53711.85	0.93
EAST	12:39:27.60	53708.97	54348.55	54348.51	54348.53	53708.43	0.54
WEST	12:29:19.20	53711.56	54351.89	54352.16	54351.98	53711.88	-0.32

*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 :

Meanook(O)/Meanook(B), Alberta :

Baker Lake(O)/Baker(B), Nunavut :

1500 Feet, C = (O-B) = 640.1 nT;

1000 Feet, C = (O-B) = 0.0 nT;

1000 Feet, C = (O-B) = 75.0 nT;

Number of Passes for Average = _____ 2 _____ nT

Average North-South Heading Error (T6 North - T6 South) = _____ -0.025 _____ nT

Average East-West Heading Error (T6 East - T6 West) = _____ 1.375 _____ nT

The completed document must be forwarded to the GSC Project Leader prior to the start of field operations and a copy must be attached to the next weekly report.

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

AIRCRAFT TYPE AND REGISTRATION: C208 Caravan **C-FDGW**
 ORGANIZATION (COMPANY): Novatem Inc.
 MAGNETOMETER TYPE: Geometrics, G-823 20Hz
 MAGNETOMETER SERIAL NUMBER:
 COMPILED BY: Novatem Inc.

DATE: 2016-02-02
 HEIGHT FLOWN (AGL): 1500 FEET
 SAMPLING RATE: 20 / 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
NORTH	12:13:40.60	53716.05	54355.09	54353.91	54354.29	53714.19	1.86
SOUTH	12:01:43.30	53719.88	54358.00	54357.58	54357.70	53717.60	2.28
EAST	12:19:01.00	53715.77	54353.93	54352.43	54353.91	53713.81	1.96
WEST	12:08:25.10	53715.11	54355.29	54354.92	54355.14	53715.04	0.07
NORTH	12:34:13.70	53712.74	54351.63	54351.22	54351.54	53711.44	1.30
SOUTH	12:24:12.10	53712.78	54352.05	54351.55	54351.95	53711.85	0.93
EAST	12:39:27.60	53708.97	54348.55	54348.51	54348.53	53708.43	0.54
WEST	12:29:19.20	53711.56	54351.89	54352.16	54351.98	53711.88	-0.32

*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 nT
 Average North-South Heading Error (T6 North - T6 South) = 1.102 nT
 Average East-West Heading Error (T6 East - T6 West) = -0.692 nT

The completed document must be forwarded to the GSC Project Leader prior to the start of field operations and a copy must be attached to the next weekly report.

TEST DE PARALLAXE

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps (hhmmss)	X_COR (m)	Y_COR (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L1:0	33	158.59	12:44:41.60	492641.93	5017982.47	263.87	55135.83
L2:0	213	161.28	12:46:27.10	492638.50	5017981.20	290.32	55129.54

Vitesse moyenne = 76.971 m/s

Distance = 3.658 m

Décalage = 0.048 sec

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps (hhmmss)	X_COR (m)	Y_COR (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L3:0	33	161.72	12:48:21.40	492643.03	5017981.33	254.94	55137.03
L4:0	213	160.15	12:49:59.40	492637.64	5017981.66	281.85	55132.94

Vitesse moyenne = 74.554 m/s

Distance = 5.400 m

Décalage = 0.072 sec

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps (hhmmss)	X_COR (m)	Y_COR (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L5:0	33	158.19	12:51:53.20	492641.25	5017980.94	254.05	55144.28
L6:0	213	158.08	12:53:14.20	492639.21	5017984.09	280.32	55133.41

Vitesse moyenne = 74.218 m/s

Distance = 3.753 m

Décalage = 0.051 sec

Tableau 29 : Test de Parallaxe C-FNME

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps (hhmmss)	X_COR (m)	Y_COR (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L1:0	33	160.69	21:15:03.00	492638.23	5017986.32	225.14	55149.84
L2:0	213	161.93	21:17:11.00	492644.13	5017979.70	207.78	55151.94

Vitesse moyenne = 60.128 m/s

Distance = 8.868 m

Décalage = 0.147 sec

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps (hhmmss)	X_COR (m)	Y_COR (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L3:0	33	161.20	21:19:05.90	492641.05	5017982.95	235.67	55154.13
L4:0	213	158.91	21:21:01.20	492643.38	5017984.81	213.70	55159.05

Vitesse moyenne = 62.413 m/s

Distance = 2.981 m

Décalage = 0.048 sec

Ligne	Cap (°)	Altitude (m)	Temps (hhmmss)	X_COR (m)	Y_COR (m)	Vitesse (km/h)	Mag (nT)
L5:0	33	161.19	21:22:56.80	492640.70	5017981.86	235.95	55155.38
L6:0	213	159.59	21:25:12.00	492639.58	5017981.08	216.14	55153.53

Vitesse moyenne = 62.790 m/s

Distance = 1.365 m

Décalage = 0.022 sec

Tableau 30 : Test de Parallaxe C-FDGW

ÉTALONNAGE DE L'ALTIMÈTRE RADAR ET BAROMÉTRIQUE

Altitude GPS (m)	Altitude GPS corrigée (m)	Altitude radar (m)	Altitude barométrique (m)
134.98	70.68	70.95	82.11
161.04	96.74	97.66	108.25
184.48	120.18	121.55	127.92
212.34	148.04	149.97	159.29
237.45	173.15	175.89	181.86

Tableau 31 : Étalonnage de l'altimètre radar et barométrique pour l'avion C-FNME

Altitude GPS (m)	Altitude GPS corrigée (m)	Altitude radar (m)	Altitude barométrique (m)
134.88	70.58	71.71	109.14
160.68	96.38	98.42	139.60
186.01	121.71	124.44	164.21
211.13	146.83	150.31	188.75
236.24	171.94	176.39	209.48

Tableau 32 : Étalonnage de l'altimètre radar et barométrique pour l'avion C-FDGW

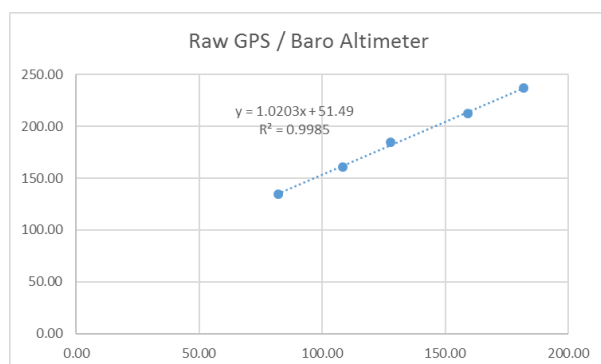


Figure 12 : Calibration barométrique de l'avion C-FNME

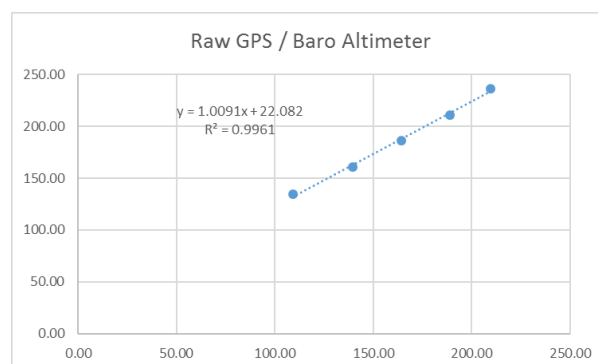


Figure 14 : Calibration barométrique de l'avion C-FDGW

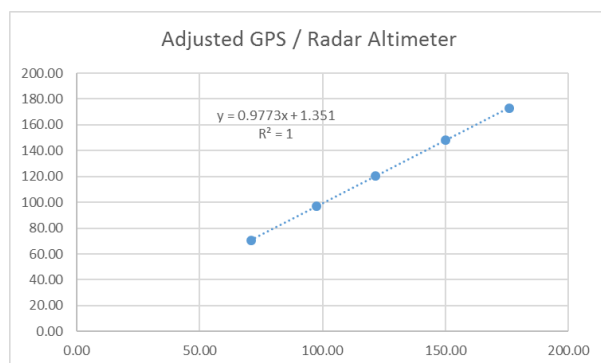


Figure 13 : Calibration radar de l'avion C-FNME

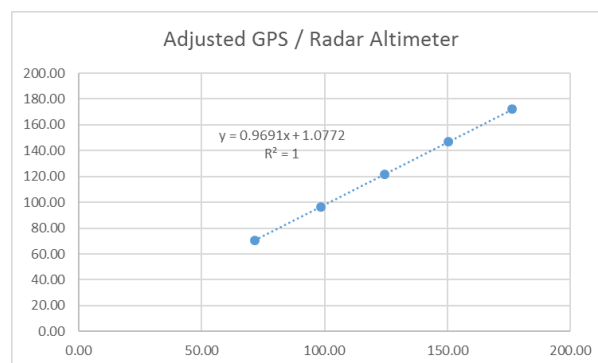


Figure 15 : Calibration radar de l'avion C-FDGW

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, le plus loin possible des perturbations magnétiques générées par la croûte terrestre. Comme le levé se fait suivant les directions cardinales Nord-Sud et Est-Ouest, 4 directions ont été volées.

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 les magnétomètres Fluxgate, est faite lors des traitements.

Les résultats des FOM sont illustrés dans les tableaux et graphiques suivants.

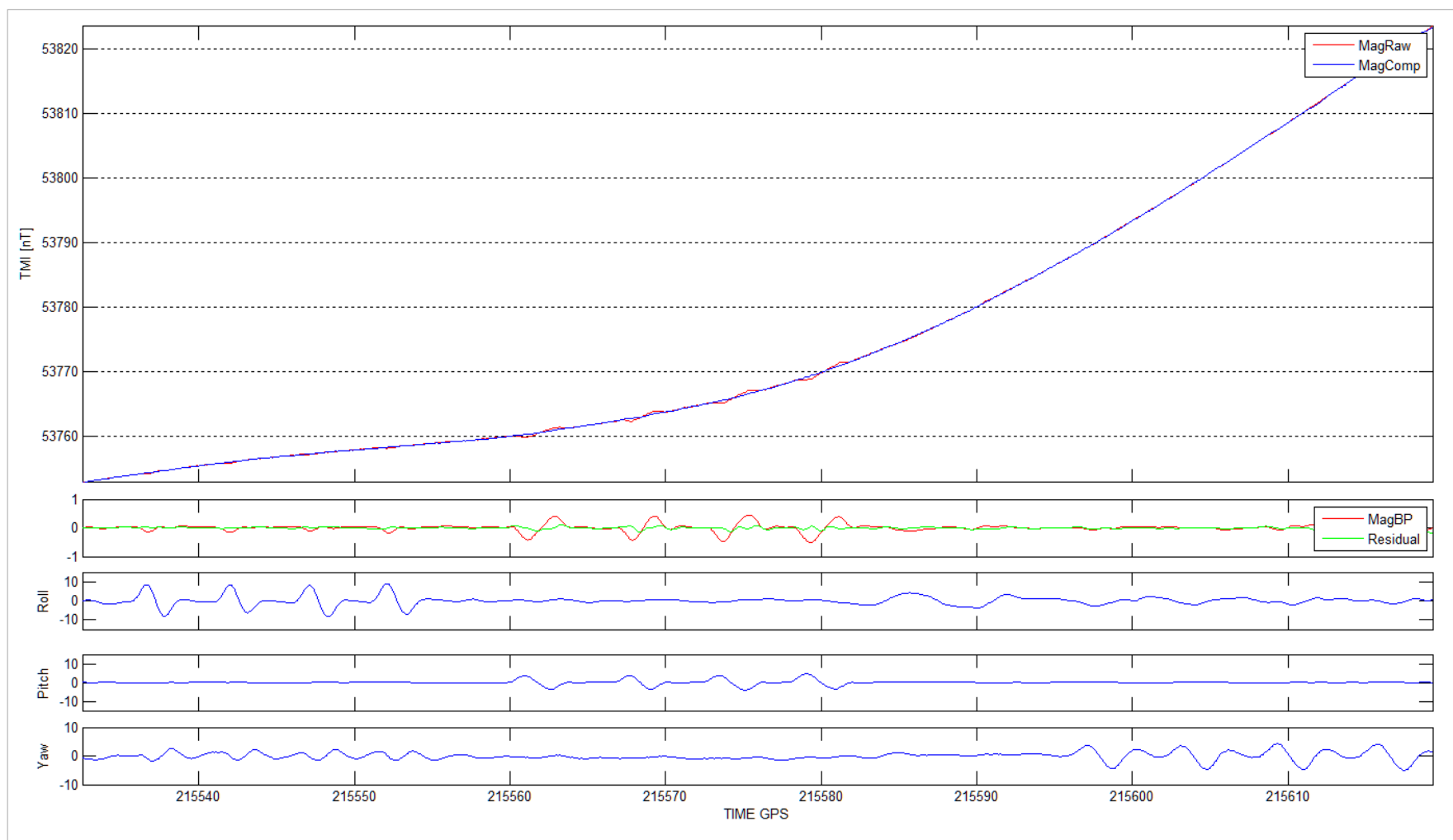
	0°N	90°N	180°N	270°N	Sum
Roll	0.047	0.056	0.055	0.052	0.210
Pitch	0.104	0.055	0.062	0.053	0.274
Yaw	0.032	0.047	0.036	0.057	0.172
Sum	0.183	0.158	0.153	0.162	0.656

Tableau 33 : Résultats de la FOM. Avion C-FNME

	0°N	90°N	180°N	270°N	Sum
Roll	0.074	0.029	0.058	0.056	0.217
Pitch	0.058	0.036	0.072	0.065	0.231
Yaw	0.019	0.035	0.062	0.089	0.205
Sum	0.151	0.100	0.192	0.210	0.653

Tableau 34 : Résultats de la FOM. Avion C-FDGW

Figure 16 : Profils N 0° mesurés pour C-FNME



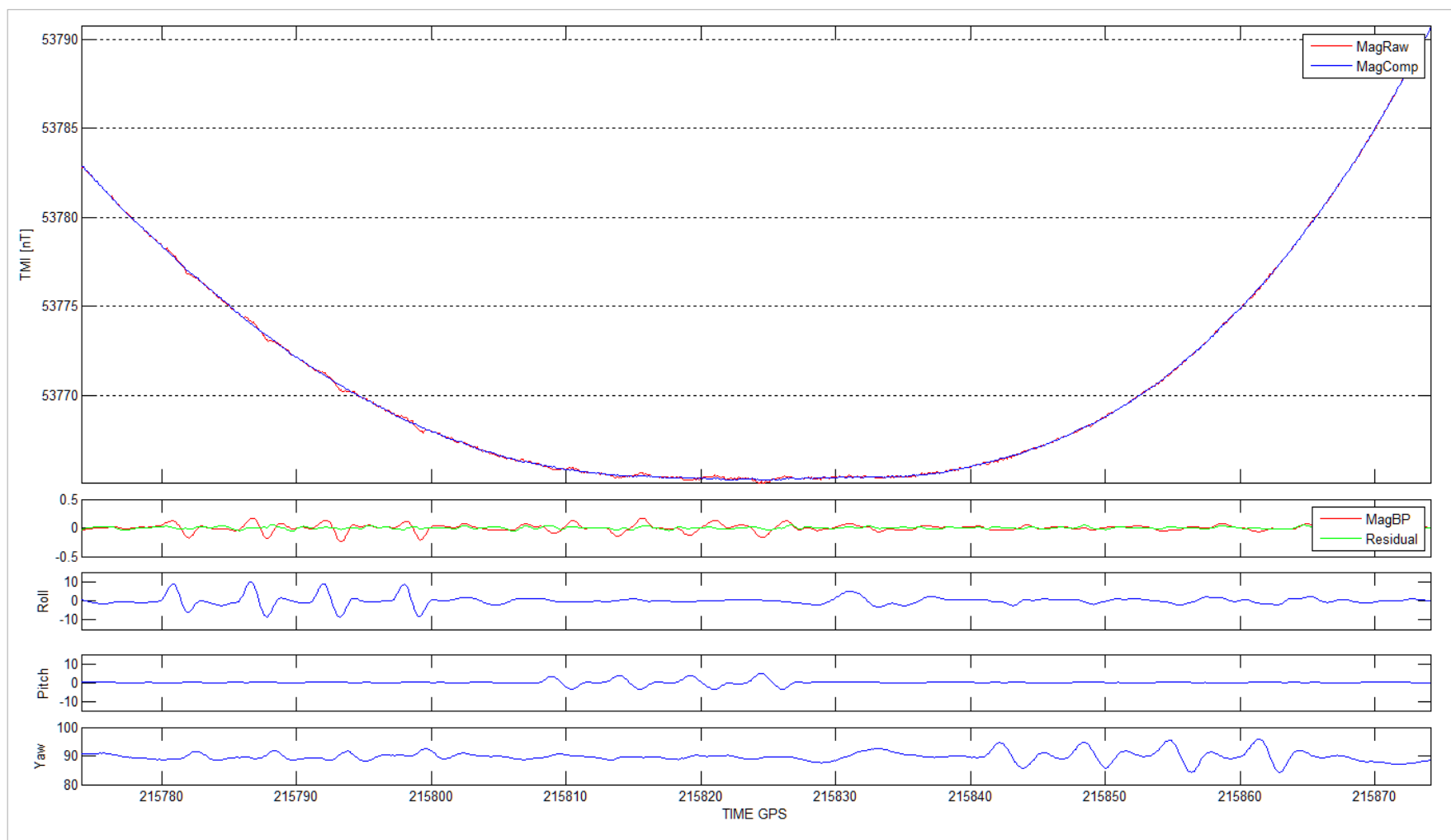
— MagR
Données brutes (Raw data);

— MagC
Données compensées

— MagBP
Champ généré par l'avion

— Residual
Résidu après compensation

Figure 17 : Profils N 90° mesurés pour C-FNME



— MagR
Données brutes (Raw data);

— MagC
Données compensées

— MagBP
Champ généré par l'avion

— Residual
Résidu après compensation

Figure 18 : Profils N 180° mesurés pour C-FNME

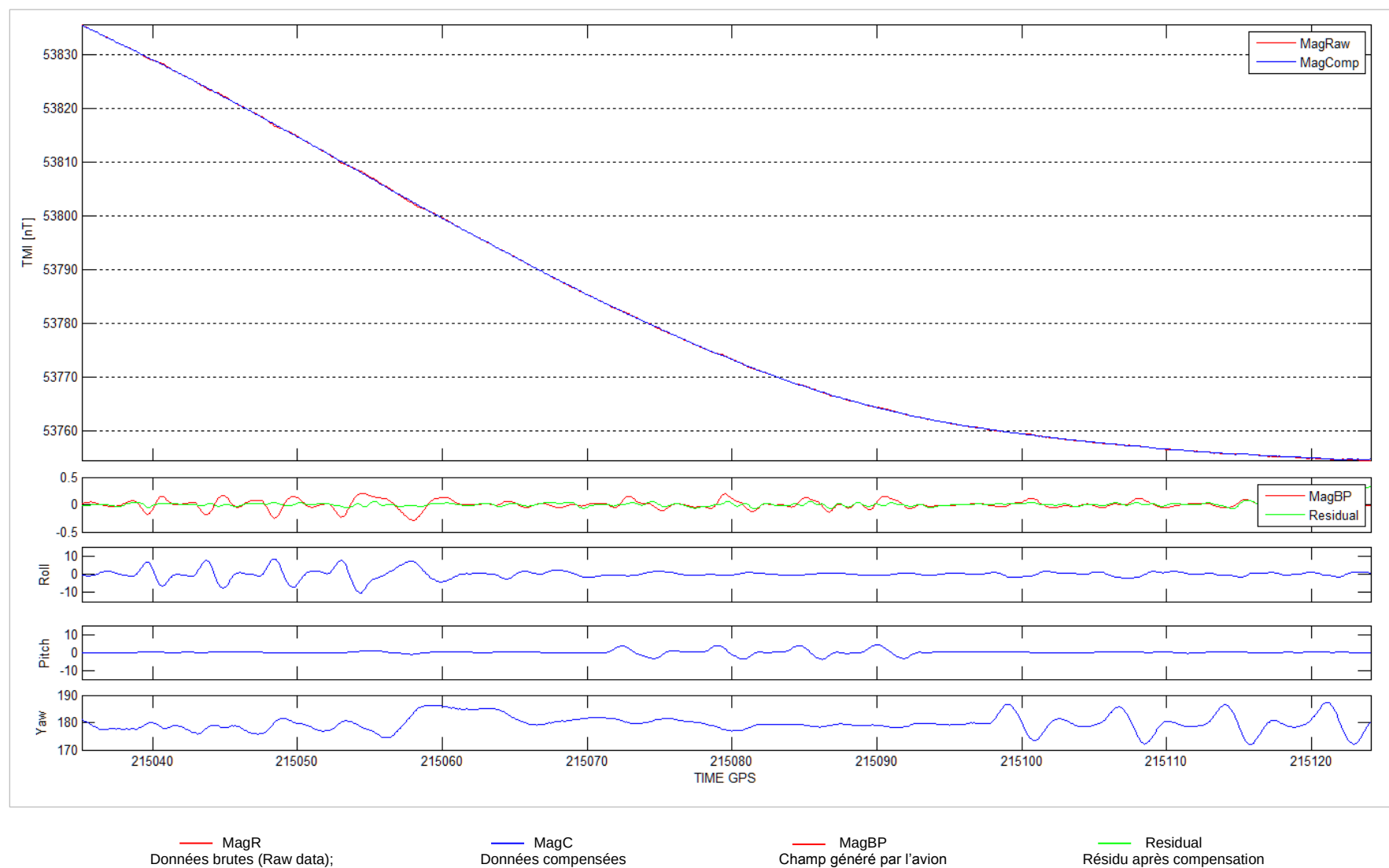
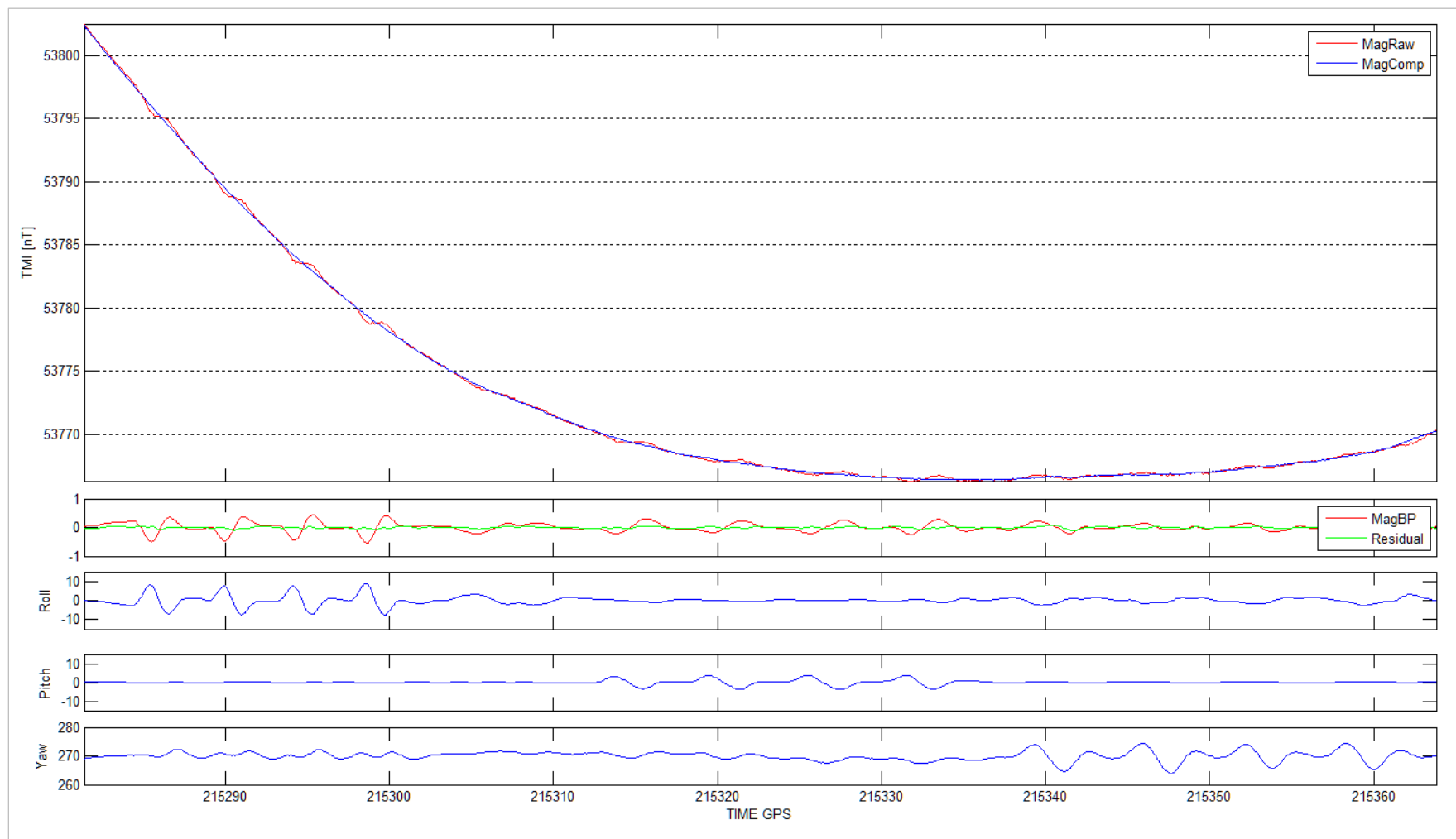


Figure 19 : Profils N 270° mesurés pour C-FNME



— MagR
Données brutes (Raw data);

— MagC
Données compensées

— MagBP
Champ généré par l'avion

— Residual
Résidu après compensation

Figure 20 : Profils N 0° mesurés pour C-FDGW

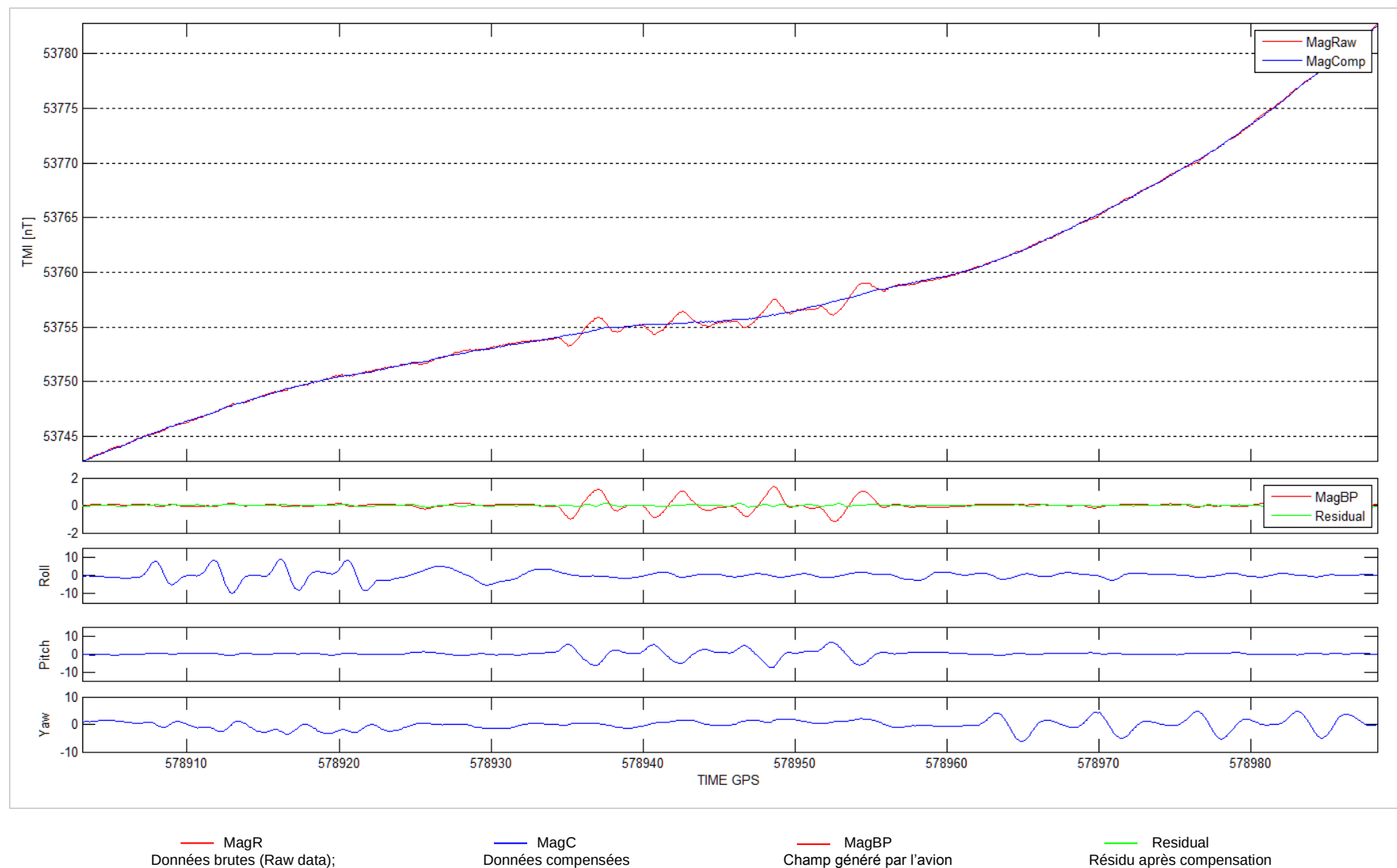
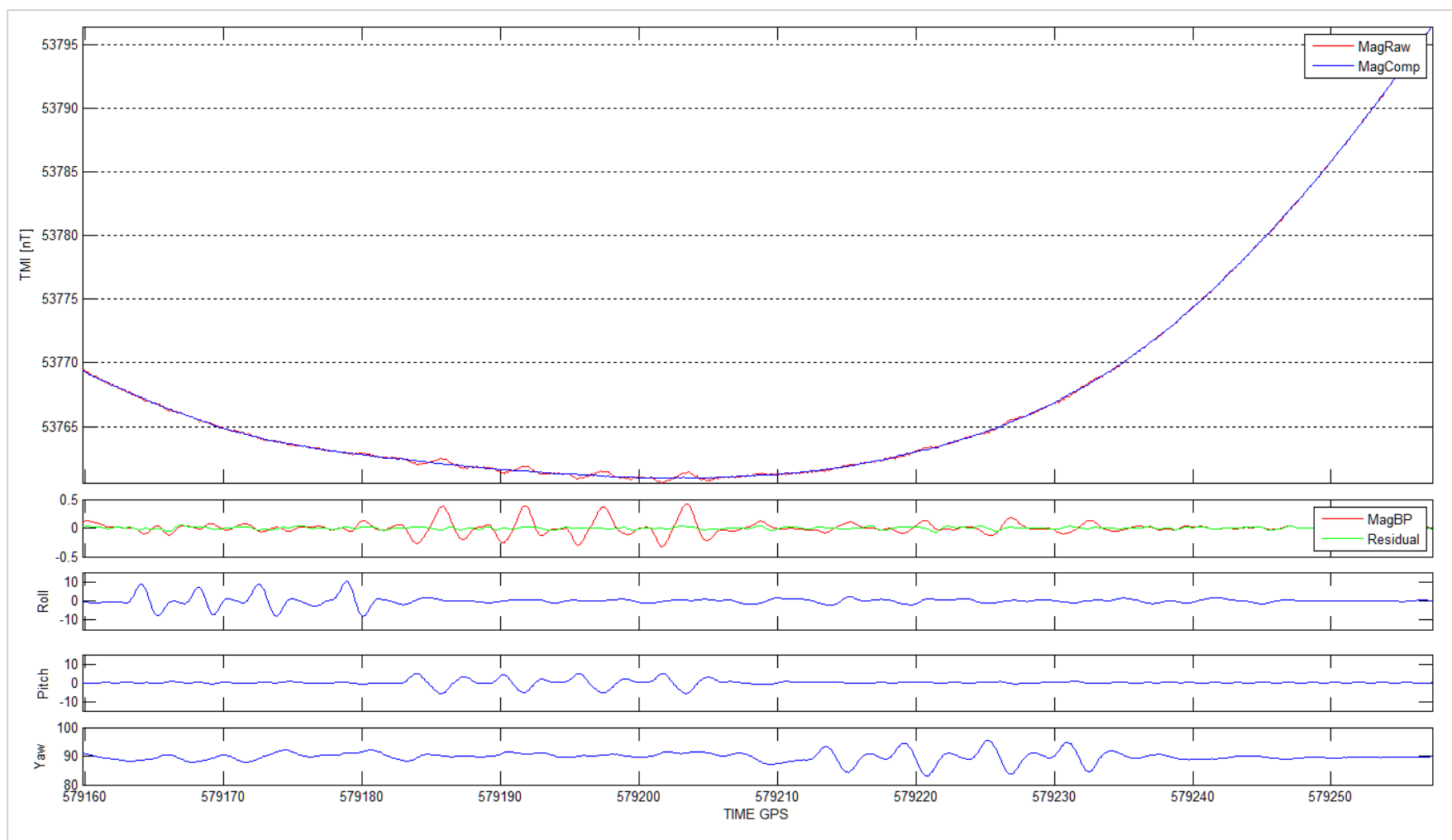


Figure 21 : Profils N 90° mesurés pour C-FDGW



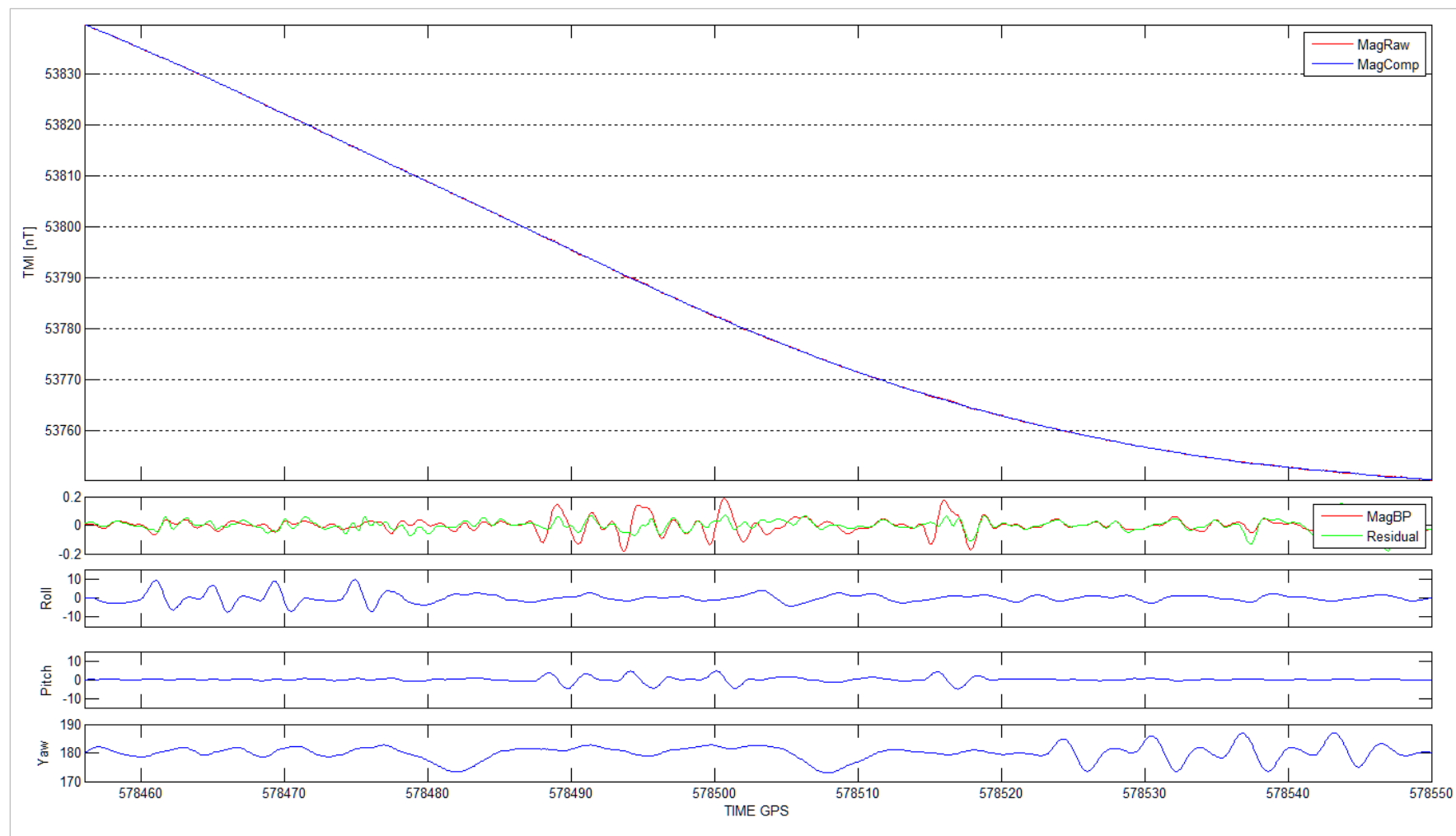
— MagR
Données brutes (Raw data);

— MagC
Données compensées

— MagBP
Champ généré par l'avion

— Residual
Résidu après compensation

Figure 22 : Profils N 180° mesurés pour C-FDGW



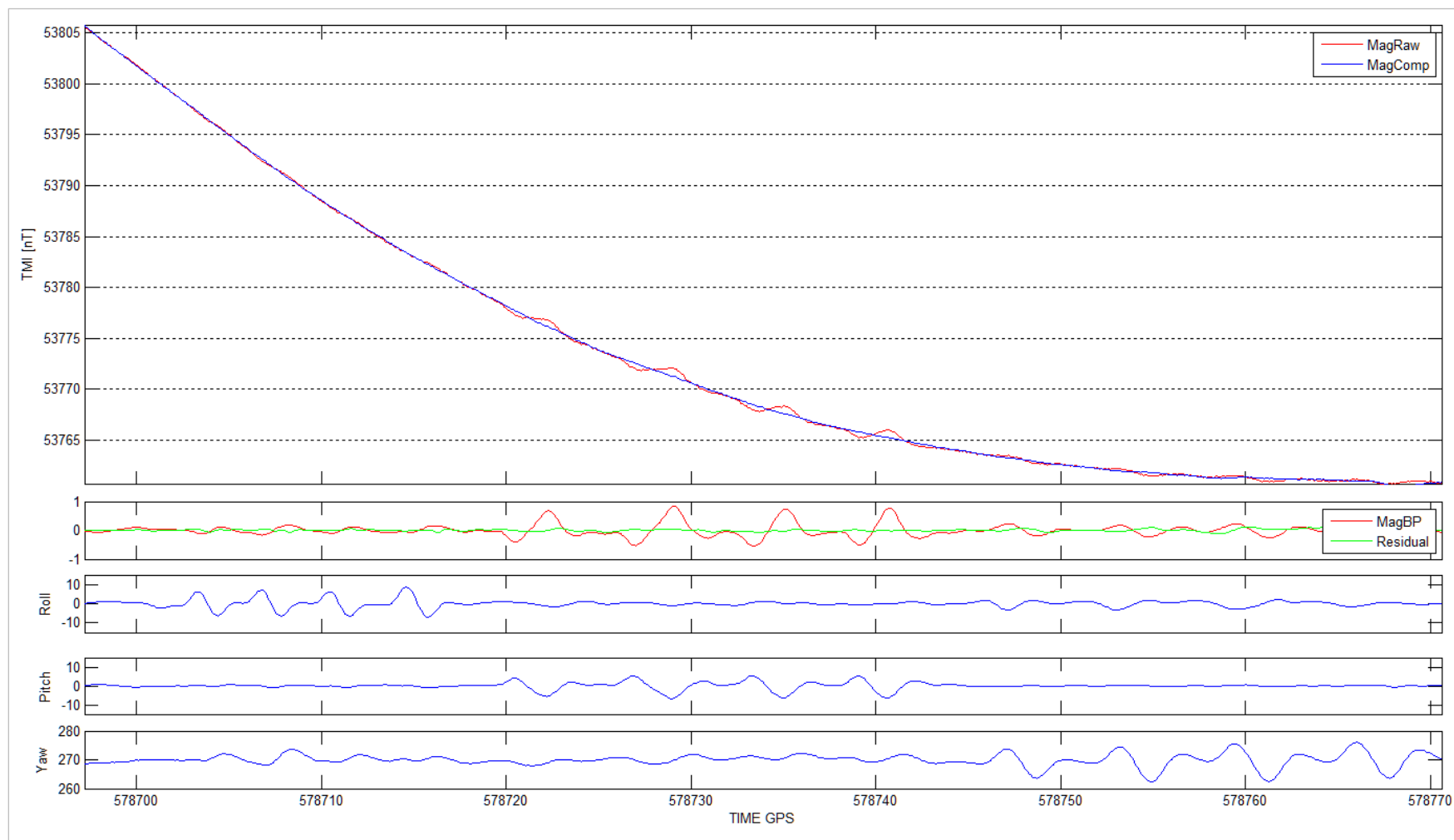
— MagR
Données brutes (Raw data);

— MagC
Données compensées

— MagBP
Champ généré par l'avion

— Residual
Résidu après compensation

Figure 23 : Profils N 270° mesurés pour C-FDGW



— MagR
Données brutes (Raw data);

— MagC
Données compensées

— MagBP
Champ généré par l'avion

— Residual
Résidu après compensation

Lignes test #1
Valeur moyenne du thorium **56.12 cps**

VOL	RALT	BAKTH	%
D2016072215:0	75,13	54,31	3,22
D2016072215:1:0	73,94	56,14	-0,04
D2016072221:0	75,21	56,22	-0,19
D2016072309:0	75,67	52,95	5,64
D2016072315:0	69,13	57,73	-2,88
D2016072321:0	73,61	55,76	0,63
D2016072407:0	68,21	57,45	-2,38
D2016072419:0	68,24	56,73	-1,09
D2016072510:0	68,29	56,87	-1,34
D2016072510:1:0	72,45	57,05	-1,66
D2016072521:0	74,19	57,36	-2,22
D2016072608:0	71,95	56,95	-1,49
D2016072608:1:0	73,6	57,53	-2,52
D2016072620:0	76,38	56,26	-0,26
D2016072708:0	72,19	57,21	-1,95
D2016072720:0	76,39	56,99	-1,56
D2016072911:0	70,91	57,08	-1,72
D2016072919:0	74,63	56,01	0,19
D2016073010:0	72,57	57,37	-2,23
D2016073017:0	70	59,33	-5,73
D2016073109:0	67,38	60,58	-7,96
D2016073116:0	72,85	57,43	-2,34
D2016080109:0	67,28	59,99	-6,90
D2016080116:0	71,13	59,36	-5,78
D2016080209:0	71,24	57,96	-3,29
D2016080209:1:0	69,79	58,96	-5,07
D2016080308:0	70,33	60,38	-7,60
D2016080416:0	67,4	61,31	-9,26
D2016080509:0	69,53	59,67	-6,33
D2016080721:0	70,69	57,04	-1,65
D2016080721:1:0	75,11	55,74	0,67
D2016080809:0	68,41	58,2	-3,71
D2016080820:0	75,06	56,23	-0,20
D2016081110:0	71,04	55,39	1,29
D2016081121:0	74,88	55,34	1,38
D2016081214:0	69,65	58,18	-3,68
D2016081313:0	73,86	55,32	1,42
D2016081322:0	76,66	55,52	1,06
D2016081414:0	76,3	55,23	1,58
D2016081420:0	76,79	55,6	0,92
D2016081516:0	75,96	57,11	-1,77
D2016081516:1:0	73,9	57,15	-1,84
D2016081717:0	74,03	56,97	-1,52
D2016081717:1:0	71,72	58,8	-4,78
D2016090219:0	72,75	56,56	-0,79
D2016090219:1:0	74,67	55,34	1,38
D2016090317:0	70,49	56,72	-1,08
D2016090317:1:0	73,72	56,41	-0,52
D2016090517:0	71,17	56,71	-1,06
D2016090517:1:0	73,16	56,26	-0,26
D2016090612:0	71,57	56,09	0,05
D2016090618:0	75,76	53,86	4,02
D2016090712:0	75,11	55,11	1,79
L2016080317:0	76,55	53,51	4,64
L2016080416:0	68,84	55,7	0,74
L2016080517:0	74,55	54,79	2,36
L2016080521:0	73,1	56,93	-1,45
L2016080721:0	71,06	53,8	4,13
L2016080721:1:0	74,69	54,82	2,31
L2016080809:0	70,41	53,16	5,27
L2016080820:0	74,93	54,86	2,24
L2016080913:0	66,85	53,51	4,64
L2016081009:0	68,31	52,48	6,48
L2016081021:0	73,54	53,28	5,05
L2016081110:0	71,77	51,37	8,46
L2016081121:0	73,61	55,15	1,72
L2016081214:0	76,47	52,94	5,66
L2016081220:0	78	54,5	2,88
L2016081310:0	72,63	52,24	6,91
L2016081320:0	77,72	54,91	2,15
L2016081415:0	78,57	51,58	8,08
L2016081420:0	72,82	54,47	2,93
L2016081718:0	74,4	53,76	4,20
L2016081718:1:0	76,04	55	1,99

Lignes test #2
Valeur moyenne du thorium **25.71 cps**

VOL	RALT	BAKTH	%
D2016081809:0	84,95	26,14	-1,68
D2016081820:0	88,15	27,04	-5,18
D2016082020:0	86,05	25,37	1,32
D2016082020:1:0	87,81	26,64	-3,62
D2016082118:0	83,81	27,37	-6,46
D2016082118:1:0	85,82	26,51	-3,12
D2016082410:0	85,32	25,82	-0,43
D2016082810:0	83,67	25,09	2,41
D2016082815:0	84,22	25,78	-0,28
D2016082910:0	83,76	24,96	2,91
D2016082916:0	82,60	27,91	-8,56
D2016083010:0	83,39	26,47	-2,96
D2016083016:0	83,46	27,26	-6,04
D2016083110:0	82,32	26,29	-2,26
D2016083116:0	84,51	26,83	-4,36
D2016090112:0	82,51	26,78	-4,17
D2016090213:0	85,41	25,49	0,85
L2016081809:0	87,81	25,66	0,19
L2016081820:0	94,73	24,82	3,46
L2016081910:0	77,04	27,30	-6,19
L2016081910:1:0	87,08	24,82	3,46
L2016082021:0	93,06	23,31	9,33
L2016082021:1:0	88,96	24,58	4,39
L2016082118:0	82,18	24,76	3,69
L2016082118:1:0	85,16	25,18	2,06
L2016082411:0	87,70	24,00	6,65
L2016082718:0	85,49	24,51	4,66
L2016082718:1:0	85,03	26,26	-2,15
L2016082810:0	86,47	23,59	8,24
L2016082816:0	88,55	25,43	1,08
L2016082910:0	85,39	24,47	4,82
L2016082915:0	88,40	25,65	0,23
L2016083010:0	86,08	24,63	4,19
L2016083016:0	87,06	26,27	-2,18
L2016083110:0	88,43	24,04	6,49
L2016083115:0	88,43	25,79	-0,32
L2016090112:0	77,12	27,73	-7,86
L2016090117:0	88,69	26,37	-2,57

COEFFICIENTS D'ATTENUATION ET SENSIBILITE DU SYSTEME (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, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 300, 500 et 700 mètres.

	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium
ATTENUATION	-0.00731 m ⁻¹	-0.00884 m ⁻¹	-0.00903 m ⁻¹	-0.00675 m ⁻¹
CONCENTRATION AU SOL	50,14 nGy/h	1.88 %	1.46 ppm	7.24 ppm
SENSITIVITY	29.65 cps/nGy/h	75.02 cps/%	10.48 cps/ppm	5.21 cps/ppm

Tableau 35 : Coefficients d'atténuation et sensibilité à 80m (FNME)

	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium
ATTENUATION	-0.00734 m ⁻¹	-0.0955 m ⁻¹	-0.00685 m ⁻¹	-0.00705 m ⁻¹
CONCENTRATION AU SOL	45.84 nGy/h	1.78 %	1.21 ppm	6.66 ppm
SENSITIVITY	29.77 cps/nGy/h	79.31 cps/%	9.72 cps/ppm	5.41 cps/ppm

Tableau 36 : Coefficients d'atténuation et sensibilité à 80m (FDGW)

Hauteur sol (m)	Hauteur stp (m)	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium
58.62	54.12	1826.39	180.33	18.98	46.07
80.83	73.60	1565.17	148.77	17.25	38.55
104.17	94.48	1327.64	123.42	13.29	34.27
128.47	116.00	1125.08	101.64	10.51	29.67
152.40	136.99	970.33	82.95	8.95	24.89
180.17	161.34	818.55	68.83	7.35	21.56
204.74	182.62	704.35	55.21	6.35	19.46
228.95	203.74	610.88	48.89	4.91	16.30
306.28	270.24	386.29	26.91	3.34	10.77
508.38	438.87	123.77	7.66	-0.02	3.09
696.16	589.28	39.91	1.92	0.05	0.82

Tableau 37 : Comptes corrigés du bruit de fond et de l'effet Compton (FNME)

Hauteur sol (m)	Hauteur stp (m)	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium
55.33	47.02	1767.32	195.14	15.02	46.49
80.20	69.11	1475.77	158.49	12.17	39.16
107.22	92.84	1226.43	124.26	10.33	32.05
132.26	115.82	1042.98	98.96	9.55	27.99
159.48	138.35	887.48	80.50	8.47	23.68
181.73	158.53	756.48	66.58	6.31	20.71
206.72	180.60	655.72	55.30	6.98	17.12
232.49	202.85	559.77	43.63	4.50	15.81
310.70	270.41	348.61	26.26	2.88	9.24
511.47	435.89	109.05	7.42	0.45	3.16
700.44	590.63	36.40	0.45	0.71	1.05

Tableau 38 : Comptes corrigés du bruit de fond et de l'effet Compton (FDGW)

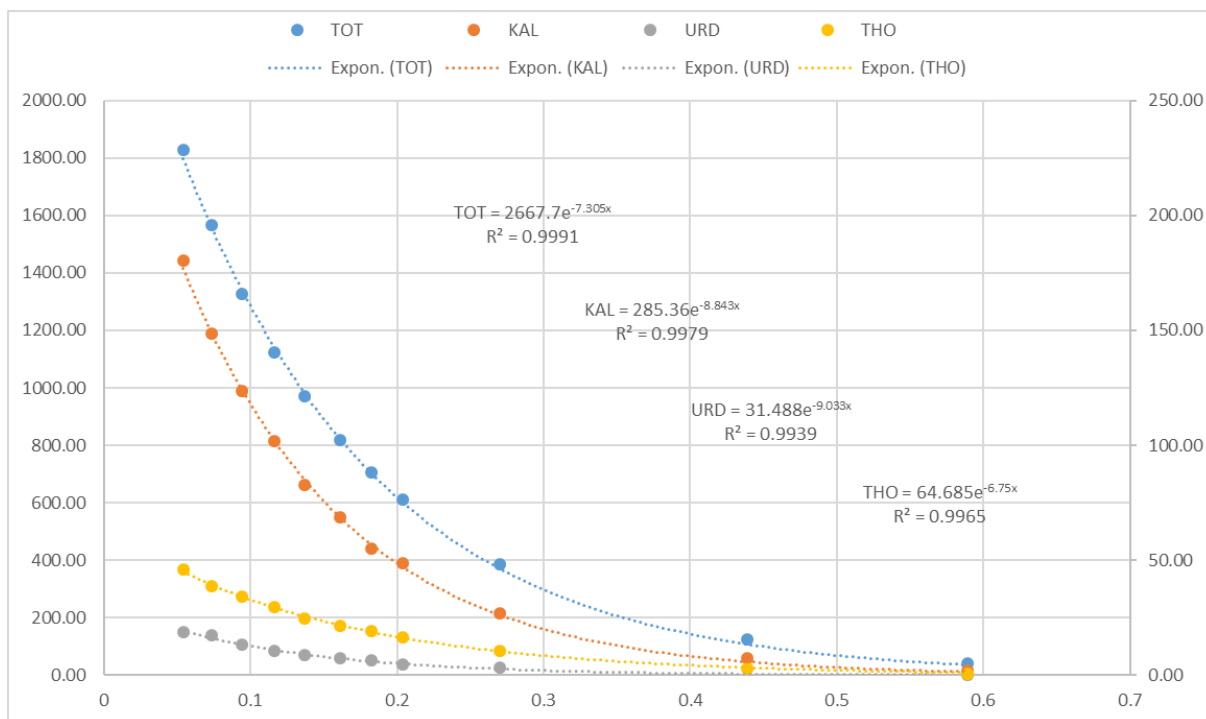


Figure 24 : Atténuation exponentielle avec la hauteur pour les quatre fenêtres (FNME)

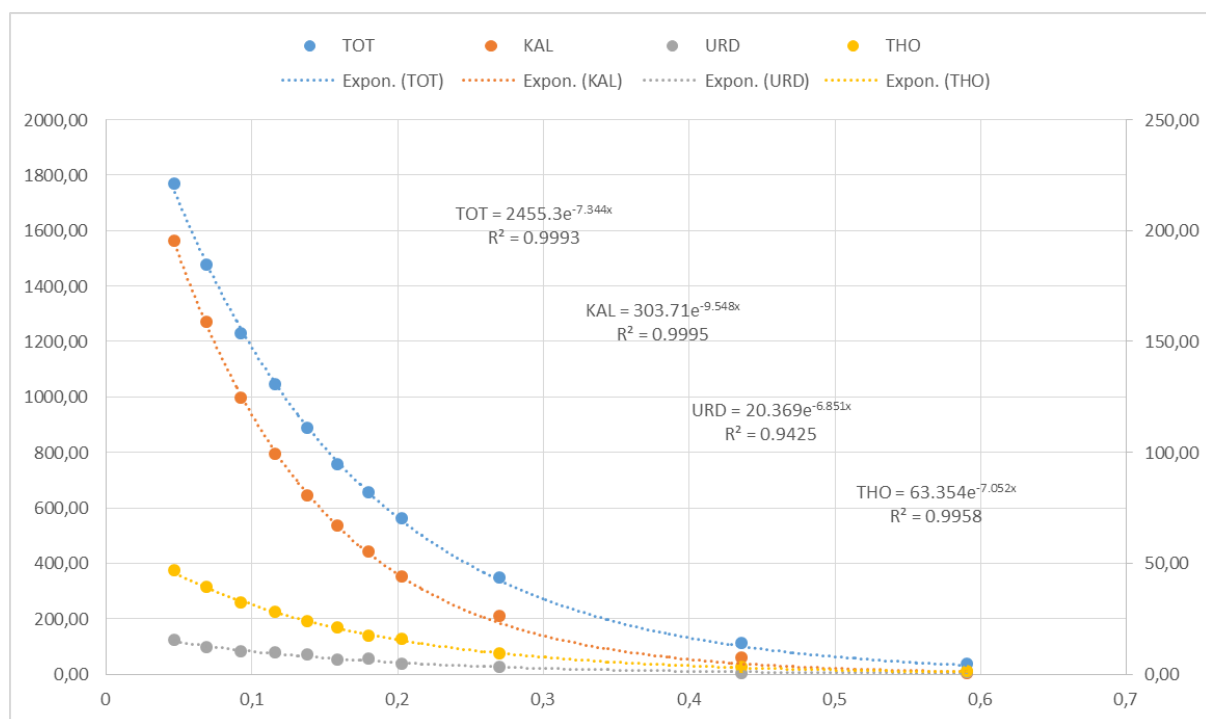


Figure 25 : Atténuation exponentielle avec la hauteur pour les quatre fenêtres (FDGW)

COEFFICIENTS DE DÉPOUILLEMENT COMPTON

Avion C-FNME



RADIATION SOLUTIONS INC

CALIBRATION SHEET

Instrument: **RSX-5**

Customer: NOVATEM
 Contact: Morten Skovgaard
 Console : N/A
 Detector 1: 5629
 Detector 2: N/A

Date: July 7, 2016
 Tech.: J.C
 RMA #: 10686
 Customer PO PO#

Channels: 1024 ADC Offset: N/A

	A1	A2	A3	A4	A5
High Voltages	640	672	736	627	666

Stripping Constant	"this system"	"normal"
Alpha	0.306	0.250
Beta	0.430	0.400
Gamma	0.775	0.810
a	0.044	0.060
b	0.002	0.000
g	0.004	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	219.86	7.43	872.97	4.26
A2	219.81	8.52	871.96	5.53
A3	219.82	8.79	872.33	6.16
A4	220.12	7.51	872.86	4.34
Sum Dn	219.93	7.98	872.59	4.99
Sum Up	220.13	9.38	872.74	6.60

5875 Whittle Rd. Mississauga ♦ Ontario Canada L4Z 2H4 ♦ Tel (905) 890 1111 ♦ Fax (905) 890 1964 ♦ e-mail sales@radiationsolutions.ca



RADIATION SOLUTIONS INC

CALIBRATION SHEET

Instrument: **RSX-5**

Customer: NOVATEM
 Contact: Morten Skovgaard
 Console : N/A
 Detector 1: 5630
 Detector 2: N/A

Date: July 7, 2016
 Tech.: J.C
 RMA #: 10875
 Customer PO: N/A

Channels: 1024 ADC Offset: N/A

	A1	A2	A3	A4	A5
High Voltages	653	659	648	656	726

Stripping Constant	"this system"	"normal"
Alpha	0.233	0.250
Beta	0.407	0.400
Gamma	0.774	0.810
a	0.049	0.060
b	-0.001	0.000
g	0.009	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	219.66	9.02	871.45	6.35
A2	220.11	8.11	872.90	5.14
A3	220.40	7.60	873.16	4.65
A4	219.71	7.78	873.02	4.77
Sum Dn	220.02	8.05	872.97	5.18
Sum Up	220.46	9.63	871.42	6.97

5875 Whittle Rd. Mississauga ♦ Ontario Canada L4Z 2H4 ♦ Tel (905) 890 1111 ♦ Fax (905) 890 1964 ♦ e-mail sales@radiationsolutions.ca

Avion C-FDGW



RADIATION SOLUTIONS INC

CALIBRATION SHEET

Instrument: **RSX-5**

Customer: NOVATEM
 Contact: Morten Skovgaard
 Console : N/A
 Detector 1: 5577
 Detector 2: N/A

Date: July 6, 2016
 Tech.: J.C
 RMA #: 10686
 Customer PO: N/A

Channels: 1024 ADC Offset: N/A

	A1	A2	A3	A4	A5
High Voltages	674	678	717	694	721

Stripping Constant	"this system"	"normal"
Alpha	0.277	0.250
Beta	0.422	0.400
Gamma	0.787	0.810
a	0.051	0.060
b	0.004	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	220.20	7.34	873.22	4.15
A2	220.22	7.42	871.73	4.25
A3	220.64	8.05	872.75	4.70
A4	219.08	7.27	873.04	4.05
Sum Dn	220.01	7.51	872.70	4.24
Sum Up	220.60	8.87	872.17	5.02

5875 Whittle Rd. Mississauga • Ontario Canada L4Z 2H4 • Tel (905) 890 1111 • Fax (905) 890 1964 • e-mail sales@radiationsolutions.ca



RADIATION SOLUTIONS INC

CALIBRATION SHEET

Instrument: **RSX-5**

Customer: NOVATEM
Contact: Morten Skovgaard
Console : N/A
Detector 1: 5578
Detector 2: N/A

Date: July 6, 2016
Tech.: J.C
RMA #: 10686
Customer PO: N/A

Channels: 1024 **ADC Offset:** N/A

High Voltages	A1	A2	A3	A4	A5
	667	691	655	712	690

Stripping Constant	"this system"	"normal"
Alpha	0.261	0.250
Beta	0.409	0.400
Gamma	0.758	0.810
a	0.049	0.060
b	0.000	0.000
g	-0.003	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	220.13	7.15	872.21	4.23
A2	219.01	7.45	872.02	4.28
A3	219.66	7.41	872.04	4.13
A4	220.08	7.38	872.72	4.56
Sum Dn	219.72	7.38	872.23	4.27
Sum Up	219.67	9.01	872.20	5.98

5875 Whittle Rd. Mississauga ♦ Ontario Canada L4Z 2H4 ♦ Tel (905) 890 1111 ♦ Fax (905) 890 1964 ♦ e-mail sales@radiationsolutions.ca

ÉTALONNAGE DE LA FENÊTRE COSMIQUE ET BRUIT DE L'AVION

Altitude (m)	Cosmic Dn	Cosmic Up	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium	Up Uranium
1502.87	252.10	68.98	343.91	28.03	14.75	14.22	3.82
2004.34	315.14	86.81	416.49	31.54	18.18	18.56	4.63
2506.76	398.92	110.57	516.79	38.39	22.69	24.12	5.85
3006.46	513.31	141.80	647.38	44.79	29.11	32.05	7.46
3505.95	662.89	184.06	824.54	54.87	38.09	42.44	9.64

Tableau 39 : Données moyennées des deux paliers (FNME)

Altitude (m)	Cosmic Dn	Cosmic Up	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium	Up Uranium
1503.38	260.25	71.53	369.03	36.65	14.76	15.17	3.53
2006.15	325.61	89.58	444.88	41.01	18.31	19.86	4.42
2505.56	412.85	114.59	549.65	47.36	23.06	25.62	5.78
3005.02	528.85	146.78	695.22	55.51	30.64	33.98	7.57
3503.72	676.81	188.20	883.16	66.03	39.41	44.59	9.79

Tableau 40 : Données moyennées des deux paliers (FDGW)

Background	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium	Up Uranium
Aircraft	48.840	11.448	0.266	-3.136	0.2575
Cosmic	1.1692	0.0655	0.0567	0.0686	0.0508

Tableau 41 : Coefficients de bruits de fond (FNME)

Background	Total Count	Potassium	Uranium	Thorium	Up Uranium
Aircraft	43.036	18.130	-1.076	-3.240	-0.378
Cosmic	1.237	0.0707	0.0597	0.0705	0.0540

Tableau 42 : Coefficients de bruits de fond (FDGW)

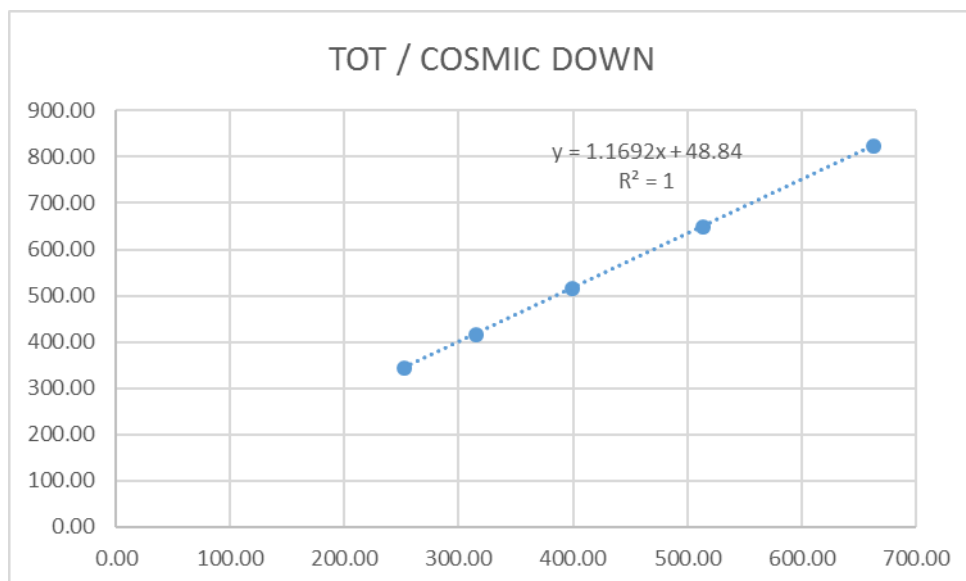


Figure 26 : Coefficients cosmiques pour le compte total (FNME)

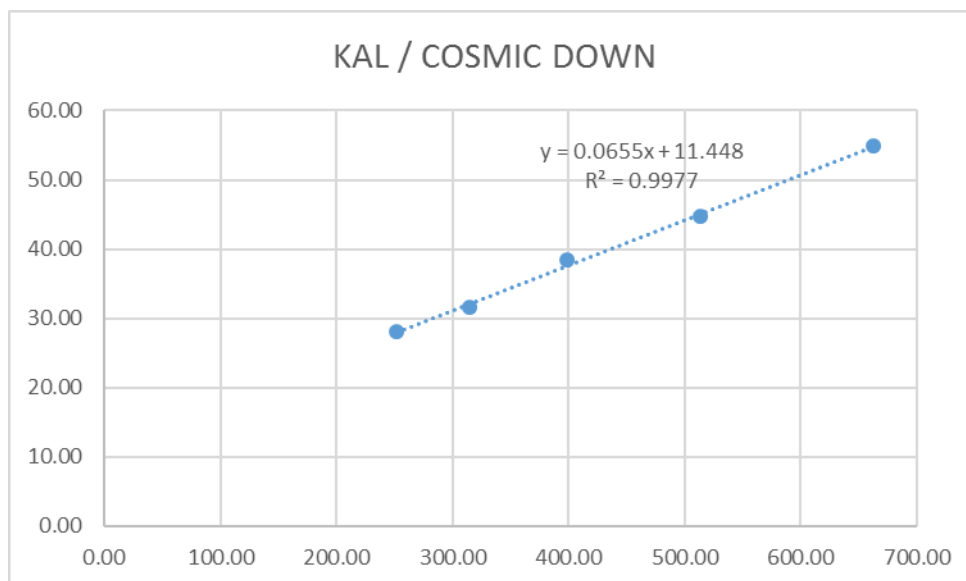


Figure 27 : Coefficients cosmiques pour le potassium (FNME)

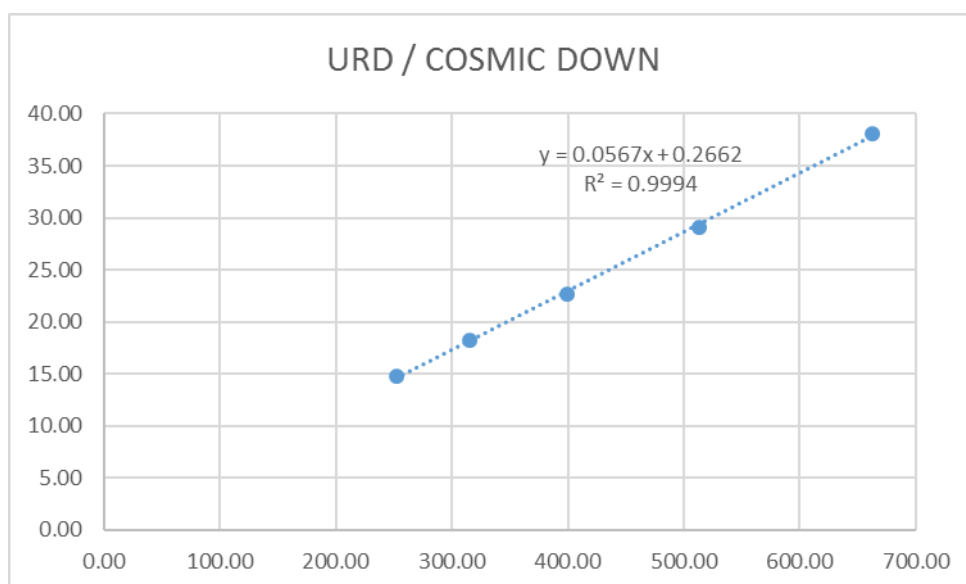


Figure 28 : Coefficients cosmiques pour l'uranium (FNME)

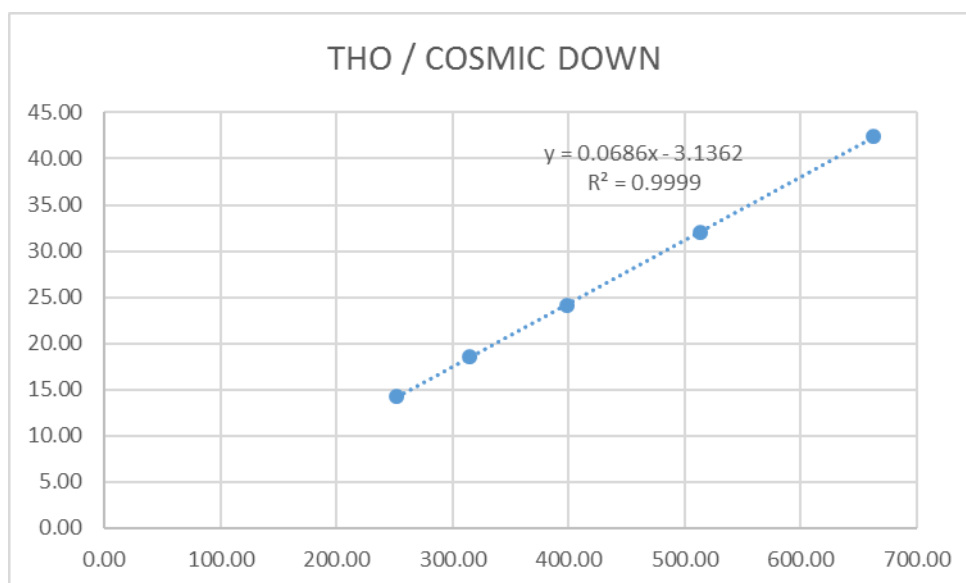


Figure 29 : Coefficients cosmiques pour le thorium (FNME)

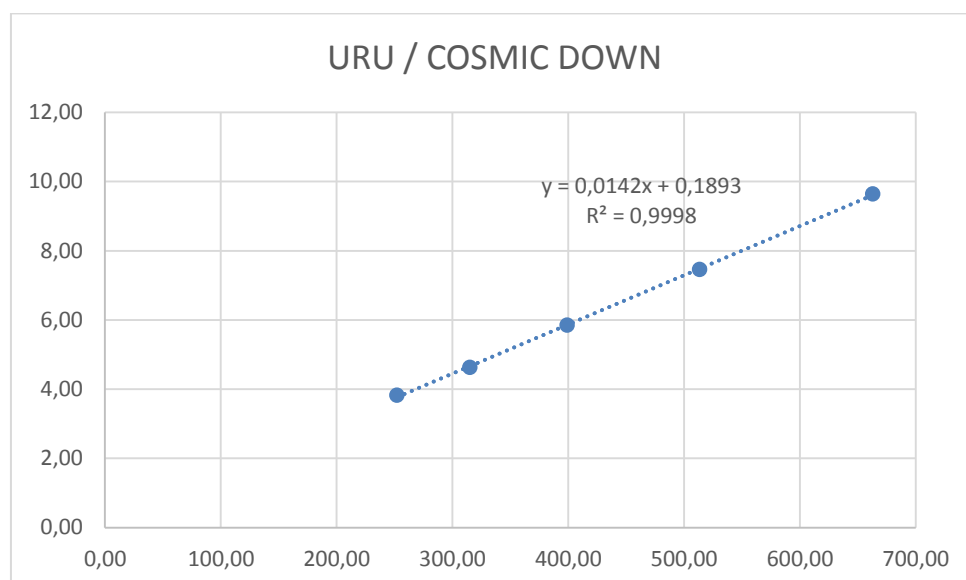


Figure 30 : Coefficients cosmiques pour l'uranium vers le haut (FNME)

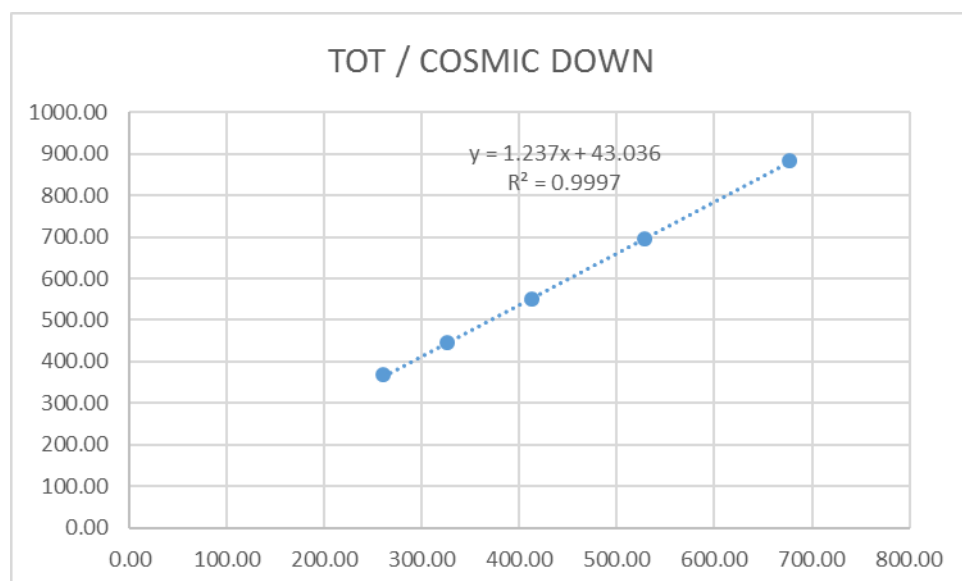


Figure 31 : Coefficients cosmiques pour le compte total (FDGW)

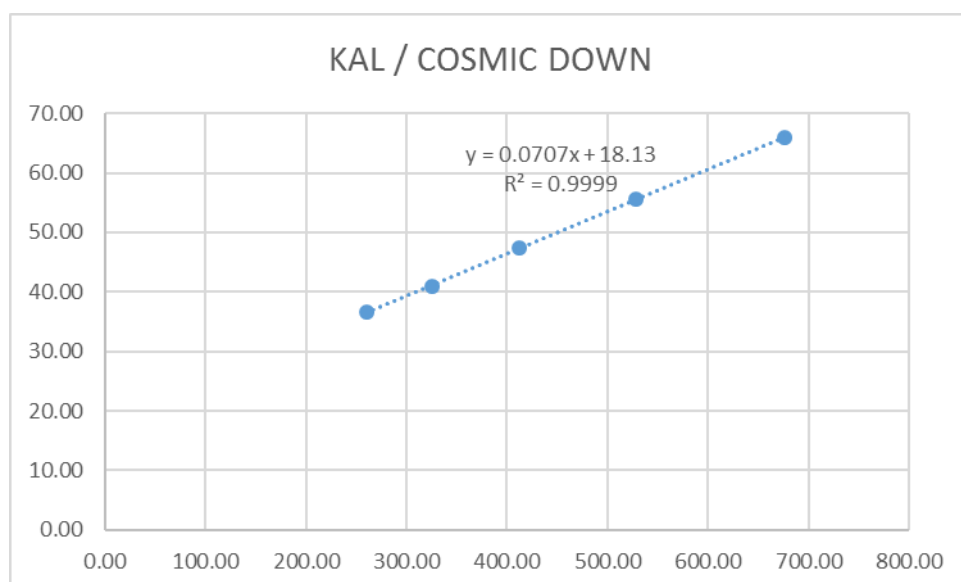


Figure 32 : Coefficients cosmiques pour le potassium (FDGW)

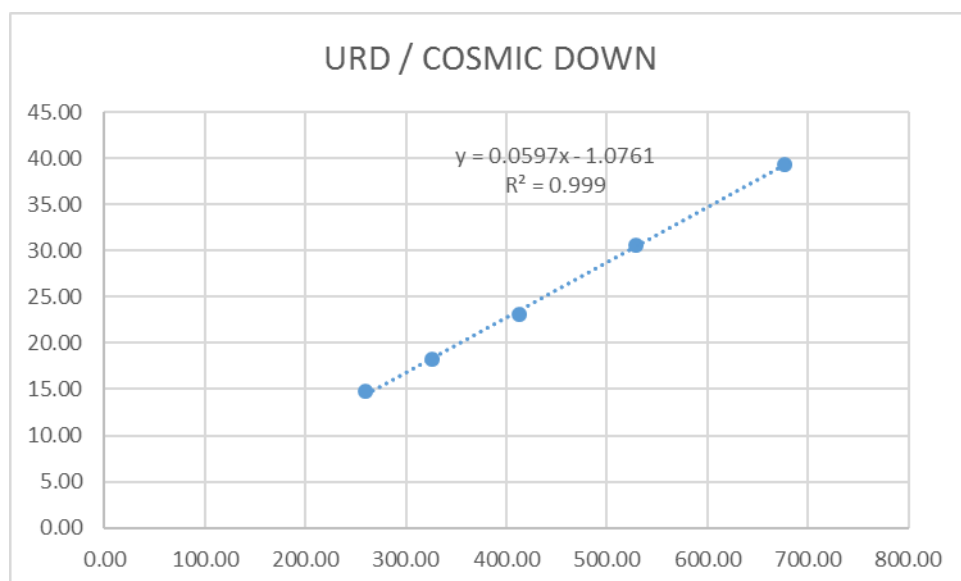


Figure 33 : Coefficients cosmiques pour l'uranium (FDGW)

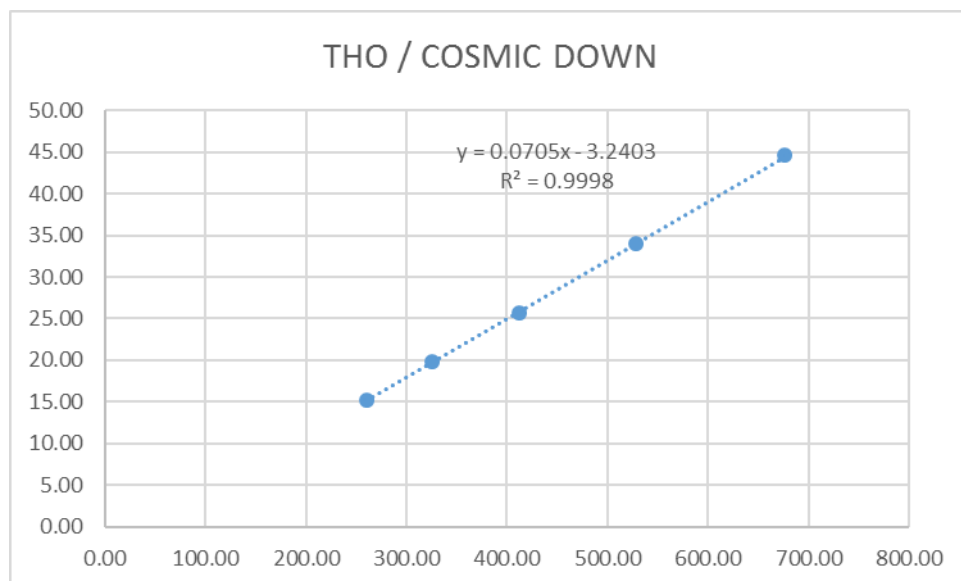


Figure 34 : Coefficients cosmiques pour le thorium (FDGW)

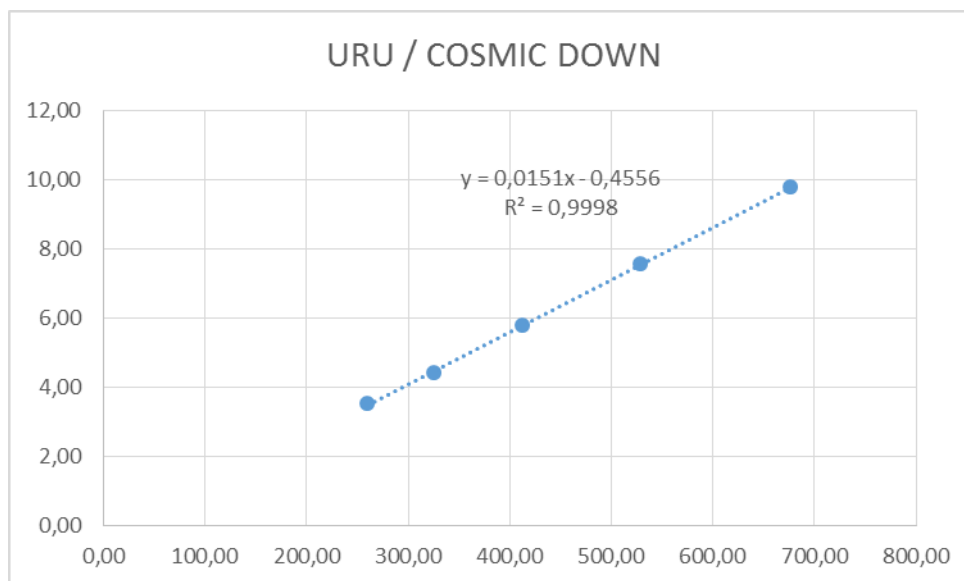


Figure 35 : Coefficients cosmiques pour l'uranium vers le haut (FDGW)

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.

	FNME	FDGW
a_1	0.049	0.044
a_2	0.034	0.034

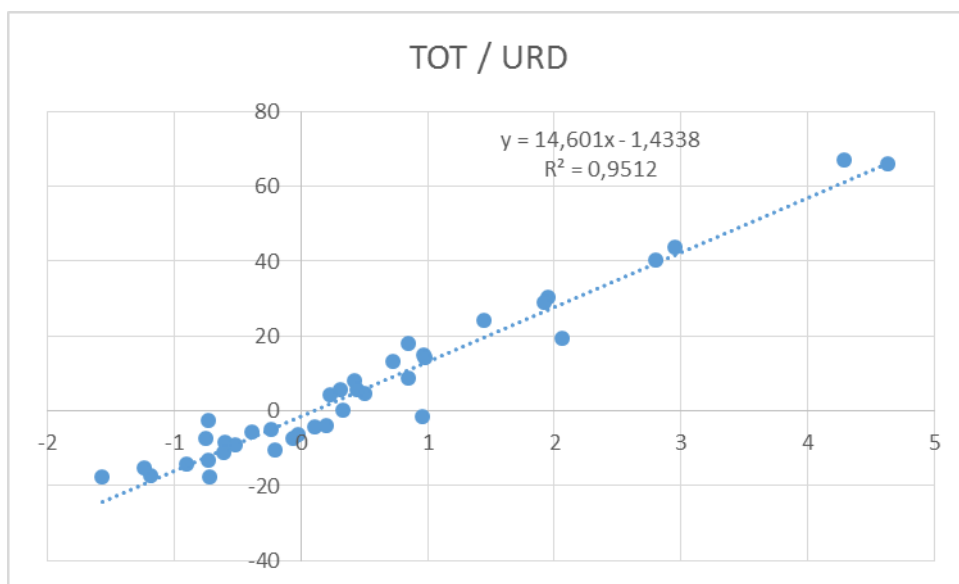


Figure 36 : Coefficients de correction du radon pour le compte total (FNME)

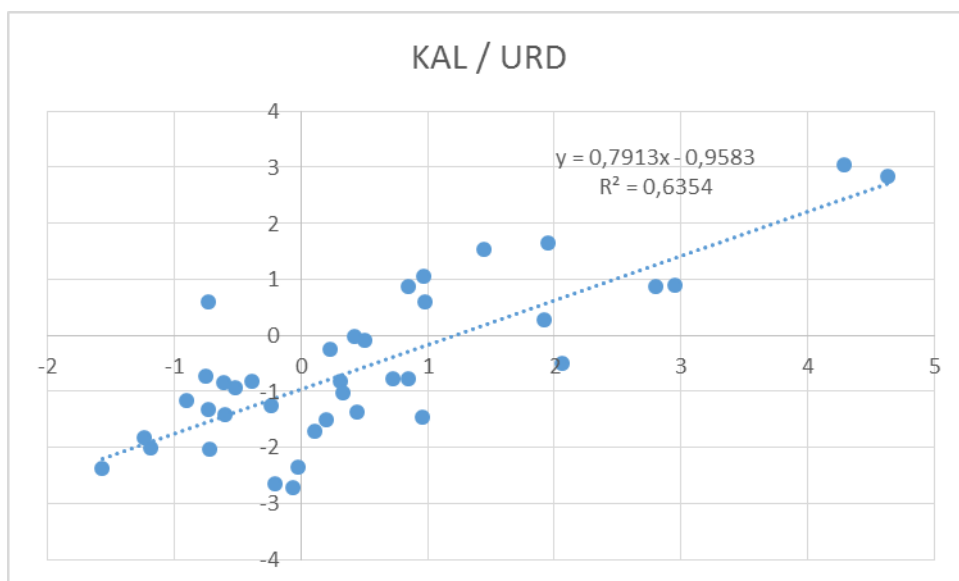


Figure 37 : Coefficients de correction du radon pour le potassium (FNME)

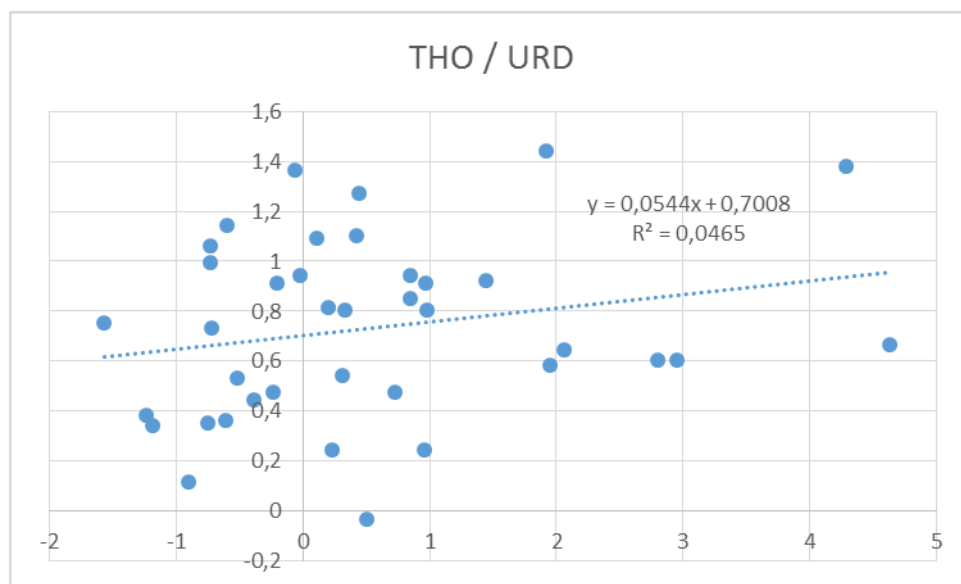


Figure 38 : Coefficients de correction du radon pour le thorium (FNME)

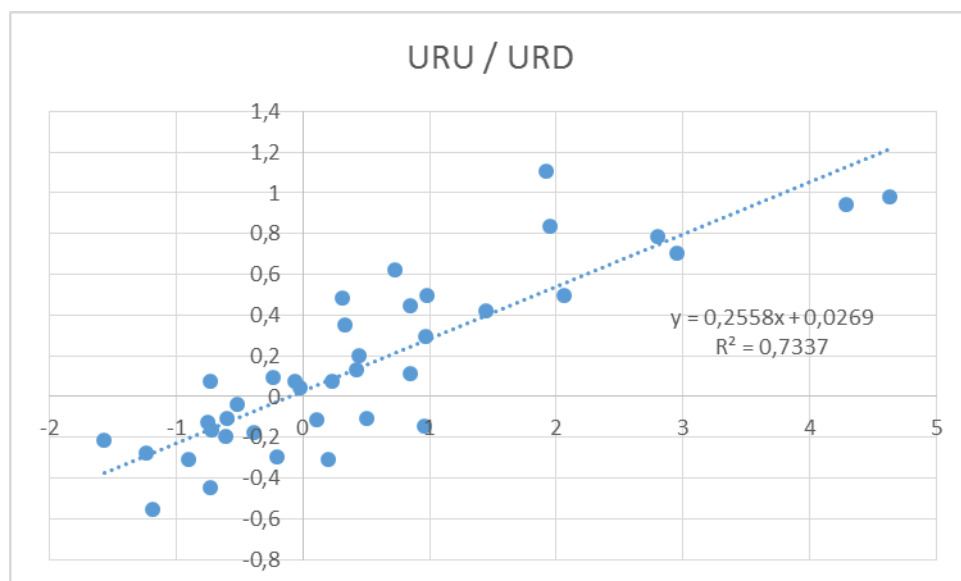


Figure 39 : Coefficients de correction du radon pour l'uranium vers le haut (FNME)

Coefficient	Total Count	Potassium	Thorium	Up Uranium
a_n	14.601	0.791	0.054	0.256
b_n	-1.434	-0.958	0.701	0.027

Tableau 43 : Coefficients de correction du radon (FNME)

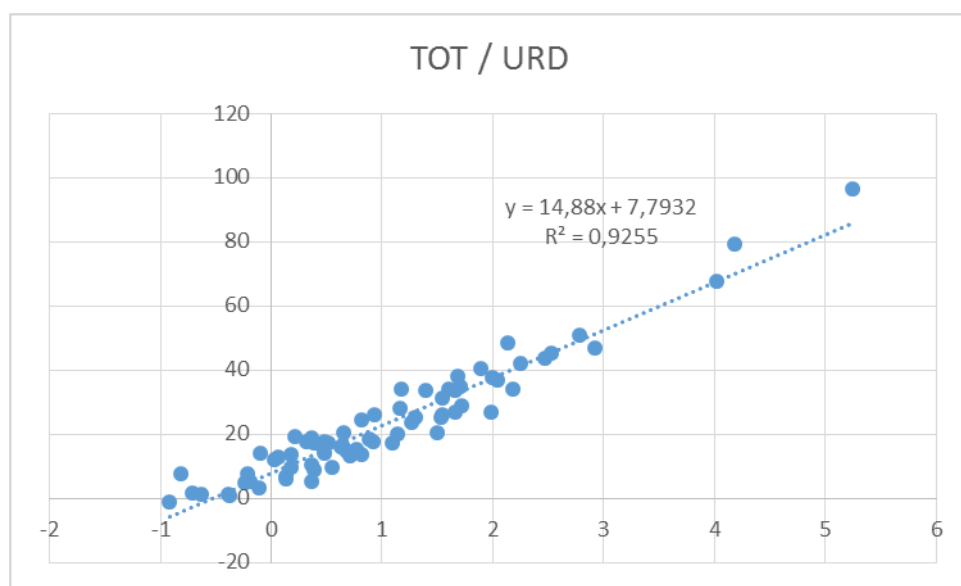


Figure 40 : Coefficients de correction du radon pour le compte total (FDGW)

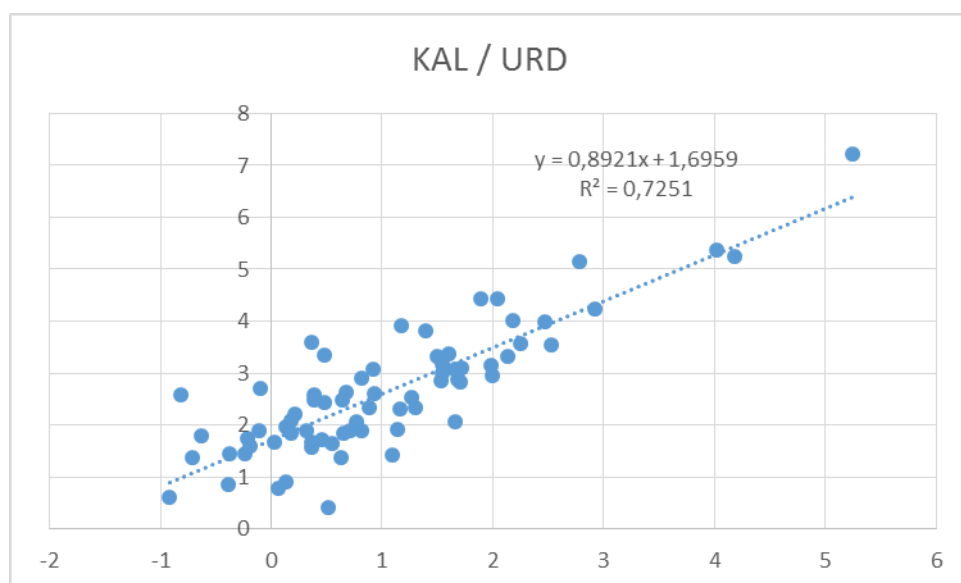


Figure 41 : Coefficients de correction du radon pour le potassium (FDGW)

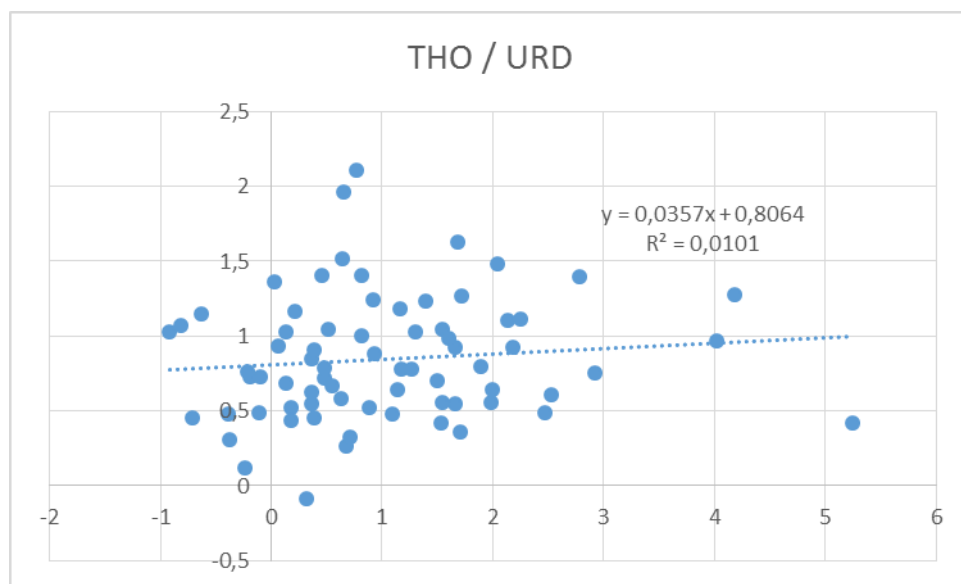


Figure 42 : Coefficients de correction du radon pour le thorium (FDGW)

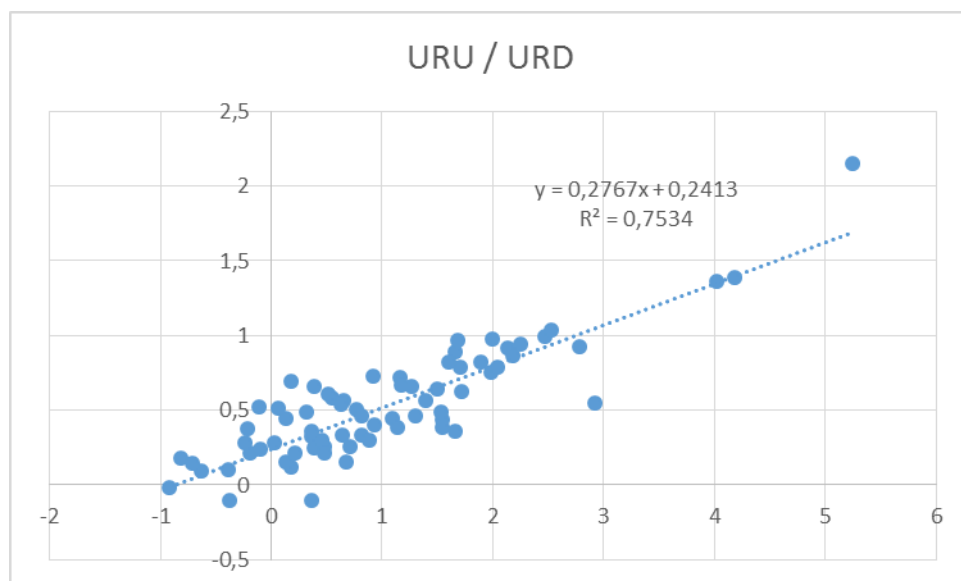


Figure 43 : Coefficients de correction du radon pour l'uranium vers le haut (FDGW)

Coefficient	Total Count	Potassium	Thorium	Up Uranium
a_n	14.880	0.892	0.036	0.277
b_n	7.793	1.696	0.806	0.024

Tableau 44 : Coefficients de correction du radon (FDGW)

ANNEXE D : COMPILATION DES LIVRES DE BORD



NAVIGATION

Date	Weather Conditions & Comments	Flight #	Pilot's Name	Time Takes off (hrs)	Time Flown (hrs)	Block Flown	Aircraft	Lines	Km Black Flown *	% Black Flown *	Km Black C Flown *	% Black C Flown *	Linea Refly - Name	Linea Refly - Km
7/13/2016	TEST EL AVIATO II	1		0.2	0.2		C-190W							
7/16/2016	COP-3 QATM EN/30M FOI, MOI ENVOI D. SRE KERRIDGE LAG, RABAS TEST	2 3 4	2016071616 2016071620 2016071620	1.1 3.7 1.7	0.8 3.5 1.5		C-190W C-190W C-190W							
7/17/2016														
7/18/2016	FERRY FERRY FERRY	5 6 7		1.3 1.8 2.7	1.1 1.7 2.5		C-190W C-190W C-190W							
7/18/2016	C-190W TEST TAILER, SIKKOS	8		0.6	0.6		C-190W							
7/20/2016	FOG													
7/20/2016	FOG													
7/21/2016														
7/23/2016	C-190 K, C-190W TEST	9 10 11	2016072211 2016072215 2016072221	3.2 5.1 5.0	2.6 4.8 4.8		C-190W C-190W C-190W	1000851, 4980-4870, 1000861 1000831, 4980-4750, 1000841	1152.32 1057.12	2.1 % 1.9 %				
7/23/2016	C-190 K	12 13 14	2016072309 2016072315 2016072321	5.3 5.2 4.9	5.2 4.9 4.7		C-190W C-190W C-190W	4740-4630 4620-4510 6880-6550	1132.32 1131.68 1201.20	2.1 % 2.1 % 2.2 %				
7/24/2016	C-190 K FERRY MIRAGE	15 16 17	2016072407 2016072419 2016072419	6.2 2.5 5.1	6.0 2.4 5.0		C-190W C-190W C-190W	4500-4430 6540-6410	786.88 1200.32	1.4 % 2.2 %			6460, 6490 10-170, 230, 6400, 100090, 100040	171.62 862.76
7/24/2016	C-190 K	18 19 20	2016072510 2016072515 2016072520	5.3 5.3 5.2	5.1 5.2 5.1		C-190W C-190W C-190W	6400, 1000030, 10-300, 1000040, 6390 6380, 1000050, 310-620, 1000060, 6370 6360, 1000070, 630-610, 1000080, 6330	953.88 1002.00 1066.36	1.7 % 1.8 % 1.9 %			10-170, 230, 6400, 100090, 100040	862.76
7/26/2016	C-190 K	21 22 23	2016072608 2016072614 2016072620	5.5 5.4 5.3	5.2 5.3 5.2		C-190W C-190W C-190W	1000810-1000890, 4430-4370, 1000820 6340, 1000090, 390-1130, 1000100, 6390 1000910, 1480-1390, 1000960	1034.24 1083.08 1103.78	1.9 % 2.0 % 2.0 %			10-170, 230, 6400, 100090, 100040	862.76
7/27/2016		24 25 26	2016072708 2016072714 2016072720	5.3 5.5 5.2	5.3 5.2 5.0		C-190W C-190W C-190W	1000790, 4940-4370, 1000780 1000890, 1280-1180, 120-1480, 1000880 1000710, 4240-4130	1125.68 1125.94 1079.68	2.1 % 2.1 % 2.0 %			10-170, 230, 6400, 100090, 100040	862.76
	FERRY MAINTENANCE	27		4.2	4.2		C-190W							

[illegible]

CAVO K - FERRY	T0	5.1	4.9	A	C-FLOW	100050, 1260390, 1000300 1000170, 1000180, 1000190, 1000200, 1000210, 1000220, 1000230, 1000240, 1000250, 1000260, 1000270, 1000280, 1000290, 1000300, 1000310, 1000320, 1000330, 1000340, 1000350, 1000360, 1000370, 1000380, 1000390, 1000400, 1000410, 1000420, 1000430, 1000440, 1000450, 1000460, 1000470, 1000480, 1000490, 1000500, 1000510, 1000520, 1000530, 1000540, 1000550, 1000560, 1000570, 1000580, 1000590, 1000600, 1000610, 1000620, 1000630, 1000640, 1000650, 1000660, 1000670, 1000680, 1000690, 1000700, 1000710, 1000720, 1000730, 1000740, 1000750, 1000760, 1000770, 1000780, 1000790, 1000800, 1000810, 1000820, 1000830, 1000840, 1000850, 1000860, 1000870, 1000880, 1000890, 1000900, 1000910, 1000920, 1000930, 1000940, 1000950, 1000960, 1000970, 1000980, 1000990, 1001000, 1001010, 1001020, 1001030, 1001040, 1001050, 1001060, 1001070, 1001080, 1001090, 1001100, 1001110, 1001120, 1001130, 1001140, 1001150, 1001160, 1001170, 1001180, 1001190, 1001200, 1001210, 1001220, 1001230, 1001240, 1001250, 1001260, 1001270, 1001280, 1001290, 1001300, 1001310, 1001320, 1001330, 1001340, 1001350, 1001360, 1001370, 1001380, 1001390, 1001400, 1001410, 1001420, 1001430, 1001440, 1001450, 1001460, 1001470, 1001480, 1001490, 1001500, 1001510, 1001520, 1001530, 1001540, 1001550, 1001560, 1001570, 1001580, 1001590, 1001600, 1001610, 1001620, 1001630, 1001640, 1001650, 1001660, 1001670, 1001680, 1001690, 1001700, 1001710, 1001720, 1001730, 1001740, 1001750, 1001760, 1001770, 1001780, 1001790, 1001800, 1001810, 1001820, 1001830, 1001840, 1001850, 1001860, 1001870, 1001880, 1001890, 1001900, 1001910, 1001920, 1001930, 1001940, 1001950, 1001960, 1001970, 1001980, 1001990, 1002000, 1002010, 1002020, 1002030, 1002040, 1002050, 1002060, 1002070, 1002080, 1002090, 1002100, 1002110, 1002120, 1002130, 1002140, 1002150, 1002160, 1002170, 1002180, 1002190, 1002200, 1002210, 1002220, 1002230, 1002240, 1002250, 1002260, 1002270, 1002280, 1002290, 1002300, 1002310, 1002320, 1002330, 1002340, 1002350, 1002360, 1002370, 1002380, 1002390, 1002400, 1002410, 1002420, 1002430, 1002440, 1002450, 1002460, 1002470, 1002480, 1002490, 1002500, 1002510, 1002520, 1002530, 1002540, 1002550, 1002560, 1002570, 1002580, 1002590, 1002600, 1002610, 1002620, 1002630, 1002640, 1002650, 1002660, 1002670, 1002680, 1002690, 1002700, 1002710, 1002720, 1002730, 1002740, 1002750, 1002760, 1002770, 1002780, 1002790, 1002800, 1002810, 1002820, 1002830, 1002840, 1002850, 1002860, 1002870, 1002880, 1002890, 1002900, 1002910, 1002920, 1002930, 1002940, 1002950, 1002960, 1002970, 1002980, 1002990, 1003000, 1003010, 1003020, 1003030, 1003040, 1003050, 1003060, 1003070, 1003080, 1003090, 1003100, 1003110, 1003120, 1003130, 1003140, 1003150, 1003160, 1003170, 1003180, 1003190, 1003200, 1003210, 1003220, 1003230, 1003240, 1003250, 1003260, 1003270, 1003280, 1003290, 1003300, 1003310, 1003320, 1003330, 1003340, 1003350, 1003360, 1003370, 1003380, 1003390, 1003400, 1003410, 1003420, 1003430, 1003440, 1003450, 1003460, 1003470, 1003480, 1003490, 1003500, 1003510, 1003520, 1003530, 1003540, 1003550, 1003560, 1003570, 1003580, 1003590, 1003600, 1003610, 1003620, 1003630, 1003640, 1003650, 1003660, 1003670, 1003680, 1003690, 1003700, 1003710, 1003720, 1003730, 1003740, 1003750, 1003760, 1003770, 1003780, 1003790, 1003800, 1003810, 1003820, 1003830, 1003840, 1003850, 1003860, 1003870, 1003880, 1003890, 1003900, 1003910, 1003920, 1003930, 1003940, 1003950, 1003960, 1003970, 1003980, 1003990, 1004000, 1004010, 1004020, 1004030, 1004040, 1004050, 1004060, 1004070, 1004080, 1004090, 1004100, 1004110, 1004120, 1004130, 1004140, 1004150, 1004160, 1004170, 1004180, 1004190, 1004200, 1004210, 1004220, 1004230, 1004240, 1004250, 1004260, 1004270, 1004280, 1004290, 1004300, 1004310, 1004320, 1004330, 1004340, 1004350, 1004360, 1004370, 1004380, 1004390, 1004400, 1004410, 1004420, 1004430, 1004440, 1004450, 1004460, 1004470, 1004480, 1004490, 1004500, 1004510, 1004520, 1004530, 1004540, 1004550, 1004560, 1004570, 1004580, 1004590, 1004600, 1004610, 100462
----------------	----	-----	-----	---	--------	---

8/20/2016	109	2016082020	3.4	3.3	C	C-F BOW	1001040, 12300, 12310, 12320, 12330, 1001010			558.40	1.1 %
	110	2016082021	1.9	1.7	C	C-F FME	12100, 12110			250.56	0.5 %
8/21/2016	111	2016082118	5.7	5.6	C	C-F BOW	1008821, 14580, 14590, 1000919, 1000881, 1000911, 1000181, 1000191, 1000196, 1000902, 1000912, 1000982			1107.18	2.3 %
	112	2016082118	5.0	4.7	C	C-F FME	1001040, 12760, 12780, 12790, 12740, 12730, 12720, 12710, 1000950, 1001000, 1001010			824.56	1.7 %
8/22/2016											
8/23/2016											
8/24/2016	113	2016082410	5.0	4.8	C	C-F BOW	1000882, 14640, 14650, 14660, 14670, 14680, 14690, 1000973, 1000101, 1000911			551.54	1.1 %
	114	2016082411	5.5	5.3	C	C-F FME	1000960, 13590-13600, 1000950			831.92	1.7 %
8/25/2016											
8/26/2016											
8/27/2016	115	2016082718	5.0	4.8	C	C-F FME	12120-12160, 12250, 12620, 12610			1010.32	2.1 %
8/28/2016	116	2016082810	5.1	5.0	C	C-F BOW	12340-12410			1032.96	2.1 %
	117	2016082810	5.6	5.5	C	C-F FME	12350-12700, 12710, 12780			1293.20	2.6 %
	118	2016082817	5.7	5.5	C	C-F BOW	12420-12480, 11930, 1000921, 1000911, 1000940, 1000930			1173.92	2.4 %
	119	2016082818	5.0	4.9	C	C-F FME	12580, 13260-13360, 1000970			1094.08	2.2 %
	120	2016082910	4.7	5.2	C	C-F FME	14090-14160, 1000762, 1000772			1019.06	2.1 %
	121	2016082910	5.1	4.9	C	C-F BOW	12530-12600			1034.00	2.1 %
	122	2016082915	5.3	5.2	C	C-F FME	13480, 13560-13580, 14030-14080, 1000981			1182.87	2.4 %
	123	2016082916	5.3	5.2	C	C-F BOW	12480-12520, 14640-14660, 14770, 1000862, 1000960			1052.56	2.1 %
8/30/2016	124	2016083010	5.1	4.9	C	C-F BOW	12960-13030			1036.16	2.1 %
	125	2016083010	5.4	5.3	C	C-F FME	13360-13460			1166.56	2.4 %
	126	2016083016	5.2	5.0	C	C-F BOW	13040-13110			1036.80	2.1 %
	127	2016083016	5.1	5.0	C	C-F FME	13460-13470, 13610-13670, 1000940			1097.36	2.2 %
	128	2016083110	5.0	4.8	C	C-F FME	13600, 13680-13760, 1000930			1088.02	2.2 %
8/31/2016	129	2016083110	5.2	5.0	C	C-F BOW	13480, 13200-13270			1052.32	2.1 %
	130	2016083115	5.1	5.0	C	C-F FME	13160-13660			1114.48	2.3 %
	131	2016083116	5.1	4.9	C	C-F BOW	13120-13190			1024.72	2.1 %
	132	2016090112	5.2	5.0	C	C-F BOW	1000650-1000180			1027.69	2.1 %
9/1/2016	133	2016090112	5.1	4.9	C	C-F FME	1000350-1000440, 1000470-1000520			1167.10	2.4 %
	134	2016090117	5.1	5.0	C	C-F FME	1000530-1000611, 1000752			1167.10	2.4 %
	135	2016090118	5.3	5.2	C	C-F BOW	1000190-1000340			1167.09	2.4 %
	136	2016090213	5.2	5.1	C	C-F BOW	13660-13660, 813160			1110.24	2.3 %
9/2/2016	137	2016090219	4.9	4.7	A	C-F BOW	10-170140160, 820-880, 6460, 6460, 1000030, 1000090	948.20	1.7 %		

[illegible]

ANNEXE E : AVIONS MIS EN ŒUVRE



Figure 44 : Avions Cessna C208 Caravan mis en œuvre pour ce levé