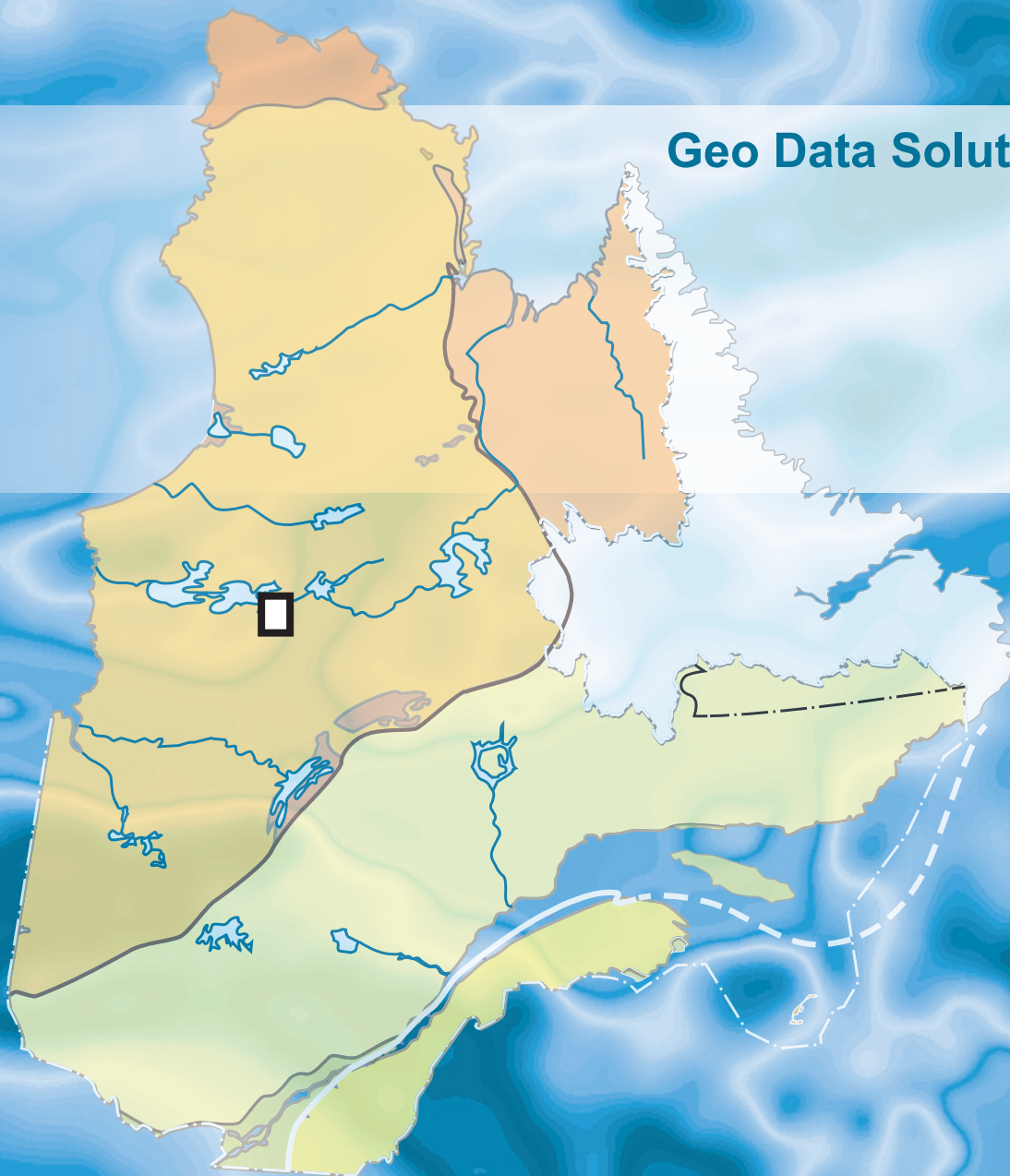


Levé aéromagnétique sur le territoire de la Baie-James – blocs SE du secteur LG-4

Geo Data Solutions GDS inc.

DP 2009-03

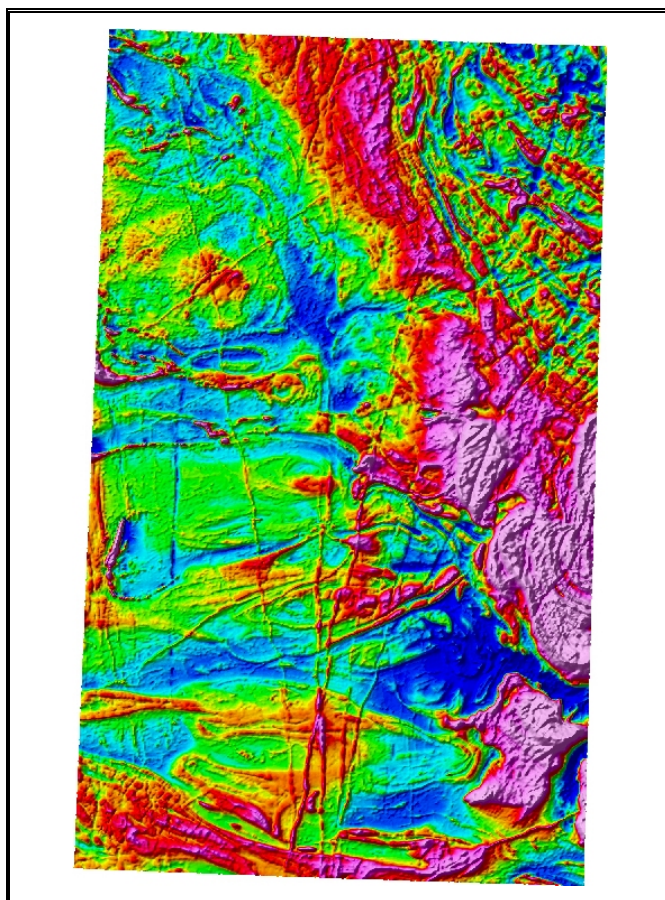


**MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES
ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC
DIRECTION DES RESSOURCES MATÉRIELLES**

**LEVÉ MAGNÉTIQUE AÉROPORTÉ
DANS LE SECTEUR DE LG4
BAIE JAMES, QUÉBEC**

Projet: 111840079-07c-2008

31 mars 2009



**MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES
ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC
DIRECTION DES RESSOURCES MATÉRIELLES**

**LEVÉ MAGNÉTIQUE AÉROPORTÉ
DANS LE SECTEUR DE LG4
BAIE JAMES, QUÉBEC**

Projet: 111840079-07c-2008

RAPPORT TECHNIQUE FINAL

Par

GEO DATA SOLUTIONS GDS INC.

1054 Des Pervenches
Laval, Québec, H7Y 2C7
Tel.: (450) 689-3153
Fax: (450) 689-1013

31 mars 2009

TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION.....	1
2.0	RECONNAISSANCE DU PROJET.....	3
3.0	TESTS ET ÉTALONNAGE.....	3
3.1	ÉTALONNAGE DU MAGNÉTOMÈTRE	3
3.2	ÉTALONNAGE DES ALTIMÈTRES RADAR ET BAROMÉTRIQUE	4
3.3	TEST DE DÉCALAGE (LAG TEST)	4
4.0	CALENDRIER DES TRAVAUX	5
5.0	CONTRÔLE DE QUALITÉ SUR LE TERRAIN	5
5.1	CONTRÔLE QUOTIDIEN DES DONNÉES	5
5.2	SPÉCIFICATIONS DU LEVÉ	6
5.3	DÉRIVES DIURNES	7
5.4	VITESSE DE L'AVION ET TAUX D'ÉCHANTILLONNAGE	7
5.5	DONNÉES MAGNÉTIQUES.....	8
6.0	TRAITEMENT FINAL DES DONNÉES	8
7.0	PERSONNEL IMPLIQUÉ.....	10
8.0	AERONEF ET EQUIPEMENT.....	11
8.1	AÉRONEF	11
8.2	MAGNÉTOMÈTRE ET SYSTÈME D'ENREGISTREMENT DE DONNÉES	12
8.2.1	<i>Magnétomètre en vol</i>	<i>12</i>
8.2.2	<i>Compensateur magnétique et système d'enregistrement de données</i>	<i>12</i>
8.3	STATION DE RÉFÉRENCE AU SOL.....	13
8.4	SYSTÈME DE NAVIGATION ET DE POSITIONNEMENT	15
8.4.1	<i>Système vidéo.....</i>	<i>15</i>
8.4.2	<i>Système de positionnement GPS différentiel.....</i>	<i>15</i>
8.4.3	<i>Altimètre radar</i>	<i>16</i>
8.4.4	<i>Altimètre barométrique.....</i>	<i>16</i>
9.0	PRODUITS FINAUX.....	17
9.1	PARAMÈTRES UTILISÉS.....	17
9.2	PRODUITS FINAUX	17
10.0	CONCLUSIONS	19

LISTE DES ANNEXES

Annexe A: Étalonnage et Tests

LISTE DES TABLEAUX

Table 1: Coordonnées Géographiques (NAD83).....	1
Table 2: Nombre total de kilomètre survolés.....	1
Table 3: Nivellement par ligne de contrôle	9
Table 4: Personnel Impliqué	10
Table 5: Spécifications de l'enregistrement digital des données.....	14
Table 6: Liste des champs de la base de données principale	18
Table 7: Liste des champs de la base de données des coefficients de Keating.....	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Topographie de la région étudiée	2
Figure 2: Statistique des différences d'altitude aux intersections	7
Figure 3: Avion Piper Navajo PA-31 Bimoteur Turbocharge	11

1.0 INTRODUCTION

Le 8 septembre 2008, GEO DATA SOLUTIONS GDS INC. (**GDS**) signait le contrat 08-031 avec le Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec (**MRNF**). Ce contrat avait pour but l'exécution et la compilation d'un levé magnétique aéroporté dans la région de LG-4, Baie James, Québec.

L'orientation des traverses était N0°E suivant une longitude constante et un espacement de 250 mètres tandis que les lignes de contrôle étaient orientées N90°E avec une latitude constante et un espacement de 2 500 mètres. Le bloc de lignes survolé est illustré à la figure 1 tandis que le tableau 1 présente ses coordonnées.

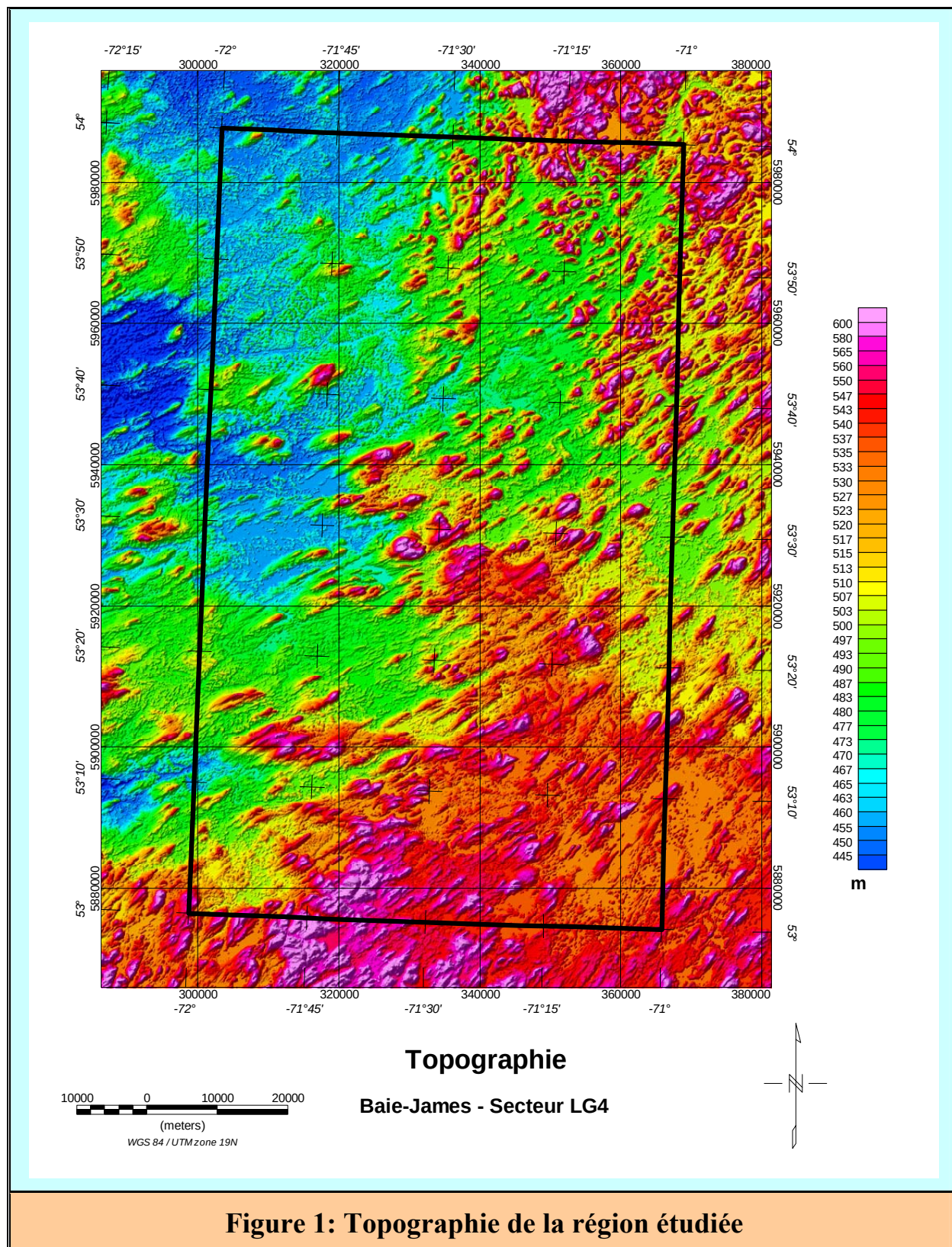
Excluant les vols de calibration et de test, au total 33 vols furent nécessaires pour couvrir le secteur demandé. Le premier vol de production a été réalisé le 5 novembre 2008 tandis que le dernier vol a eu lieu le 29 janvier 2009. Le levé a été réalisé en deux étapes. Une première mobilisation de l'équipe de terrain à la Pourvoirie Mirage s'est effectuée le 26 octobre 2008. Toutefois, dû à de mauvaises conditions météo, à des difficultés instrumentales et au congé des fêtes, l'équipe fut démobilisée le 16 décembre 2008 pour ne revenir que le 9 janvier 2009.

Un avion Piper Navajo PA-31 appartenant à la compagnie Oracle Geosciences Inc. fut utilisé lors de la période d'acquisition des données. Tel que présenté au tableau 2, le nombre total de kilomètres linéaires nécessaires pour couvrir tout le bloc est de 33 457 km-l.

Ce rapport présente les différentes procédures d'acquisition et de vérification des données sur le terrain et le traitement final des données qui s'en est suivi au bureau de Laval de GDS.

Table 1: Coordonnées Géographiques (NAD83)	
Latitude	Longitude
53° 00'	-72° 00'
54° 00'	-72° 00'
54° 00'	-71° 00'
53° 00'	-71° 00'

Table 2: Nombre total de kilomètre survolés	
Type de ligne	Km linéaire
Traverse	30 359
Ligne de contrôle	3 098
Total	33 457



2.0 RECONNAISSANCE DU PROJET

Une météo instable (vent, pluie, neige et froid intense) a caractérisé toute la période d'acquisition des données. Pendant cette période, la durée du jour a varié entre 7.5 et 9 heures.

Le relief topographique de la région peut être qualifié de relativement doux. Lors du levé, GDS a utilisé un système de navigation 3D permettant de suivre une surface de vol optimale calculée à l'aide d'un logiciel développé à l'interne. Le taux de descente et de remontée de l'avion fut fixé à 5%. Cette technique permet entre autre de minimiser les différences d'élévations aux points d'intersection entre les traverses et les lignes de contrôle au risque de ne pas obtenir la hauteur de vol optimale dans les secteurs où le relief topographique est plus accentué.

Aucune zone périlleuse ou interdite au vol n'était présente sur le bloc et aucun permis spécial n'était requis.

La base d'opération de GDS fut établie à la Pourvoirie Mirage, laquelle est située à l'est de LG4 et approximativement à 95 km du centre du bloc. Grâce à l'autonomie du Piper Navajo PA-31, il fut donc possible de faire l'acquisition de grands volumes de données au cours de chaque vol.

Des stations de bases magnétiques et un récepteur GPS furent installés dans un environnement magnétiquement calme et non loin de la base d'opération afin que le géophysicien de terrain puisse en faire facilement la surveillance et la collecte de données.

3.0 TESTS ET ÉTALONNAGE

Cette section présente un résumé de tous les tests et calibrations réalisés avant et pendant la période d'acquisition des données. Ces tests et calibrations sont détaillés à l'annexe A.

3.1 Étalonnage du magnétomètre

L'étalonnage du magnétomètre de vol a été effectué le 30 août 2008 sur la base d'étalonnage de la Commission Géologique du Canada, à Bourget (Ontario). Cet étalonnage comprend également une mesure de l'erreur de cap. L'avion a effectué deux (2) passages dans chacune des directions – nord, sud, est et ouest. Les résultats de cet essai sont présentés à l'annexe A sous la forme d'un tableau.

Les données au sol du champ magnétique total pendant la durée de ce vol d'étalonnage ont été obtenues auprès de l'Observatoire magnétique d'Ottawa, Division de la géologie du continent (DGC), Commission géologique du Canada.

Lors de l'étalonnage, une figure de compensation (FOM, Figure of Merit) fut aussi obtenue. Cette procédure a pour but d'éliminer l'influence des manœuvres de l'avion (roulis, tangage et direction) qui induisent des champs magnétiques altérant ainsi la qualité des données. Les

résultats furent présentés, pour approbation, avant la mobilisation sur le terrain, par l'Autorité Scientifique du MRNF, Mr. Camille St-Hilaire. Le test fut réalisé à haute altitude dans un secteur magnétiquement calme. Les manœuvres de l'avion impliquaient des mouvements de roulis de $\pm 10^\circ$, de tangage de $\pm 5^\circ$ et de direction (lacet) de $\pm 5^\circ$ suivant les orientations nord, sud, est et ouest durant un temps d'enregistrement du champ magnétique total de 4-5 secondes. La figure de compensation est évaluée en calculant la somme des amplitudes pic-à-pic des 12 signatures ainsi obtenues. Le FOM fut inférieur à 1.5 nT, tel que requis par les spécifications contractuelles. Les résultats de ce test sont présentés à l'annexe A.

3.2 Étalonnage des altimètres radar et barométrique

L'étalonnage de l'altimètre radar a été effectué au-dessus de la piste d'atterrissage de l'aéroport de Timmins, Ontario, le 21 octobre 2008, soit avant la mobilisation du personnel sur le terrain. Des vols furent réalisés à différentes hauteurs, représentatives des conditions de terrain du bloc, i.e. couvrant une gamme d'élévation se situant entre les altitudes minimale et maximale qui devraient être rencontrées. Six altitudes différentes furent sélectionnées par sauts successifs et égaux. Les hauteurs de vol ont été déterminées à partir des données GPS en temps réel et par les données provenant des altimètres radar et barométrique.

Les données de l'altimètre barométrique ont été vérifiées et corrigées à l'aide des coordonnées Z obtenues du GPS et auxquelles furent appliquées les corrections différentielles et de hauteur orthométrique. Les résultats sont présentés en annexe A sous la forme d'un tableau et d'un graphique indiquant l'altitude radar par rapport à l'altitude GPS, et l'altitude GPS par rapport à l'altitude barométrique.

3.3 Test de décalage (lag test)

Dans le but d'évaluer le décalage spatial entre les données du système de navigation (i.e. les coordonnées X-Y) et les données du champ magnétique total, un test de décalage fut réalisé le 10 juillet 2008. Ce test impliquait l'enregistrement des données X, Y et du champ magnétique total lors de deux passages dans des directions opposées au-dessus d'une structure métallique produisant une anomalie magnétique étroite et bien définie. Les résultats sont présentés à l'annexe A et ceux-ci ont figuré dans le rapport hebdomadaire présenté à l'Autorité Scientifique du MRNF.

4.0 CALENDRIER DES TRAVAUX

Les tests et calibrations furent réalisés à la fin du mois d'août 2008. Le premier vol de production a été réalisé le 5 novembre 2008 tandis que le dernier vol a eu lieu le 29 janvier 2009. Le levé a été réalisé en deux étapes. Une première mobilisation de l'équipe de terrain à la Pourvoirie Mirage s'est effectuée le 26 octobre 2008. Toutefois, dû à de mauvaises conditions météo, à des difficultés instrumentales et au congé des fêtes, l'équipe fut démobilisée le 16 décembre 2008 pour ne revenir que le 9 janvier 2009. Pendant toute la période d'acquisition des données, des résultats préliminaires furent remis hebdomadairement à l'autorité Scientifique du MRNF. Les cartes et données finales furent remises à la fin du mois de mars 2009.

5.0 CONTRÔLE DE QUALITÉ SUR LE TERRAIN

Tout le levé fut réalisé suivant les spécifications techniques contractuelles et à la satisfaction de l'Autorité Scientifique du MRNF. Une copie de ces spécifications techniques était en possession de chacun des membres du personnel de GDS présent sur le terrain.

Le système de traitement des données sur le terrain était composé d'un ordinateur équipé des logiciels appropriés, commerciaux ou créés par les spécialistes de GDS, incluant :

- WayPoint: pour le traitement des données GPS
- GEOSOFT Montaj: pour le tracé des profils et du plan de vol,
- des logiciels utilitaires: pour le calcul des intersections, le nivellement et le gridage préliminaire des données magnétiques

Les données digitales étaient vérifiées quotidiennement afin de se conformer aux spécifications techniques contractuelles. La précision des données de positionnement GPS, corrigées de façon différentielle à l'aide de la station de base, et le respect du plan de vol furent rigoureusement vérifiés sur le terrain.

5.1 Contrôle quotidien des données

Le système de navigation et de positionnement électronique comportait un récepteur GPS bi-fréquentiel (L1/L2) à 12 canaux de marque Septentrio PolaRx2e. Ce système présente une résolution de 0.1 mètre et une erreur de localisation inférieure à 1 mètre.

Un deuxième GPS (Novatel DL-V3) servant de station de base fut installé près de la base d'opération. Le logiciel WayPoint, spécialement conçu par le manufacturier, permet de traiter quotidiennement les données de positionnement, de contrôler la qualité du plan de vol et de s'assurer du respect des normes contractuelles.

Après chaque vol, les données du champ magnétique total, du radar, du baromètre, incluant les données GPS différentielles et les données de la station de base magnétométrique, étaient cumulées

dans une base de données GEOSOFTE-OASIS. Les données brutes étaient vérifiées, mises en ordre par numéro de ligne de vol, éditées, corrigées et, lorsque nécessaire, filtrées. Les profils du champ magnétique total étaient examinés en détail en utilisant la puissance de visualisation, de traçage et de changement d'échelle du logiciel OASIS. Les principaux points de vérification et de contrôle concernaient surtout les sauts de vitesse dans les données GPS, les variations diurnes, les données altimétriques (hauteur de vol, intersections avec les lignes de contrôle) et les profils magnétiques. Le plan de vol était vérifié et comparé au plan de vol théorique et un modèle digital d'élévation était calculé. Toute erreur était notée et des reprises de vol étaient réalisées si nécessaire.

5.2 Spécifications du levé

GDS s'est assuré que les spécifications suivantes soient rencontrées. Dans le cas contraire, GDS a, à ses frais, survolé à nouveau les traverses ou les segments de traverse non-conformes aux spécifications contractuelles.

Traverses:

- Direction: 0° (longitude constante)
- Espacement: 250 m
- Séparation minimale permise: 185 m
- Séparation maximale permise: 315 m
- Extension minimale au delà des limites du levé: 500 m

Lignes de contrôle:

- Direction: 90° (latitude constante)
- Espacement: 2 500 m
- Extension minimale au delà des limites du levé: 500 m

L'altitude de vol du levé a été moulée selon une surface de vol prédéfinie. La hauteur de vol nominale était de 100 mètres MTC (altitude moyenne au-dessus du sol) sauf aux endroits où les règlements de Transport Canada l'interdisent, et dans les régions de topographie accentuée où le jugement du pilote prévalait. Les traverses et les lignes de contrôle ont été volées en essayant de respecter le plus possible une tolérance maximale de 15 mètres de différence à leur intersection. La figure 2 présente un histogramme des intersections obtenues sur l'ensemble du levé.

Les segments de ligne qui ont été revolés dans le but de compléter ou reprendre une traverse ont recoupé des lignes de contrôle à chacune de leur extrémité et ont rejoint la traverse originale suivant un angle faible, à un point où les données sont conformes aux spécifications techniques. Réciproquement, les segments de lignes de contrôle ont débuté et terminé en recoupant une quelconque traverse.

Afin que l'information soit valide au-delà des limites du levé, deux traverses ont été réalisées en dehors des limites du bloc, là où ces limites sont parallèles aux traverses. Toutes ces traverses ont aussi débuté et se sont terminées en recoupant une ligne de contrôle.

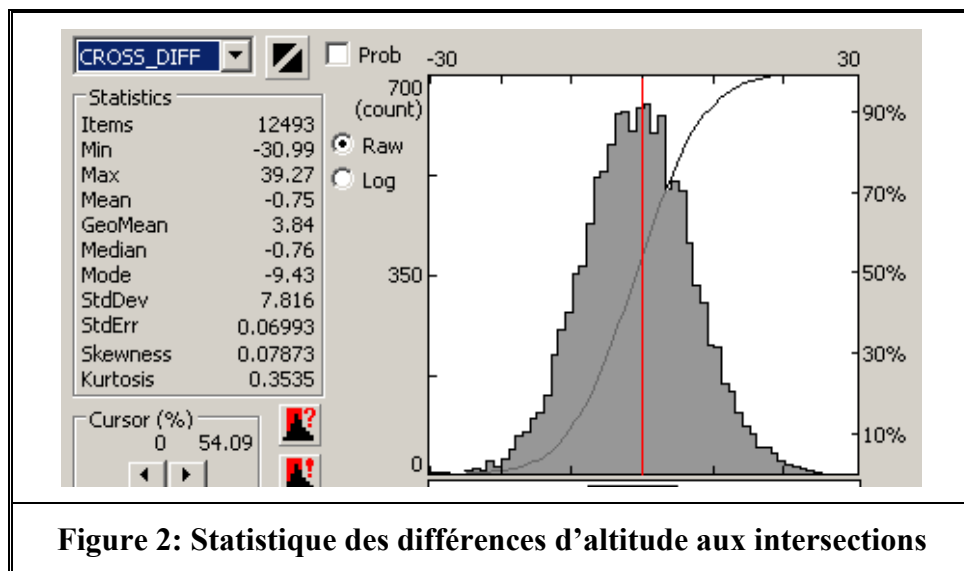


Figure 2: Statistique des différences d'altitude aux intersections

Lors de chaque vol, les lignes adjacentes ont été survolées successivement et dans des directions opposées. Le circuit de vol en « hippodrome » n'a pas été utilisé.

5.3 Dérives diurnes

La station de base magnétique enregistrait les variations du champ magnétique total à toutes les secondes et ses données furent utilisées sur une base quotidienne afin d'appliquer les corrections diurnes et ainsi contrôler la qualité du levé magnétique. Les lectures du champ magnétique total à bord de l'avion et à la station de base étaient enregistrées de façon synchrone via le temps GPS.

La déviation maximale tolérée d'une longueur de corde équivalant à une minute pour chaque station de base était de 3,0 nT (crête à crête). Afin de limiter les ondes ULF (micropulsations), une déviation maximale tolérée d'une longueur de corde équivalant à 15 secondes pour chaque station de base de 0,5 nT (crête à crête) a été ajoutée. Cette spécification a été vérifiée sur le terrain avant la démobilisation.

Les stations de base magnétique et GPS étaient situées aux coordonnées suivantes:

Station de base magnétique: Lat: 53.7962941° Lon: -72.8558744°
 Station de base GPS: Lat: 53.7748744° Lon: -72.8768830° Z: 396.2 m (msl)

5.4 Vitesse de l'avion et taux d'échantillonnage

Lors du levé, le pilote maintenait une vitesse de croisière faible réduisant, de ce fait, la consommation de carburant et le temps nécessaire pour se repositionner entre deux traverses tout en augmentant le taux d'échantillonnage des données. La vitesse de l'avion fut maintenue entre 250 et 290 km/h, correspondant à une distance de 6.9 à 8.1 mètres entre les données du champ

magnétique total.

5.5 Données magnétiques

Le niveau de bruit des données du champ magnétique total fut vérifié au moyen d'une inspection de la trace de la quatrième différence. La quatrième différence est calculée à partir de l'équation suivante :

$$4X_I = X_{I+2} - 4X_{I+1} + 6X_I - 4X_{I-1} + X_{I-2}$$

Où X_I est la $I^{\text{ème}}$ lecture du champ magnétique total. Sous cette forme, les unités de la quatrième différence sont des nanoTesla. Le bruit à haute fréquence devait être de telle sorte que la quatrième différence divisée par 16 soit inférieure à ± 0.2 nT. L'examen minutieux de la quatrième différence a permis de corriger les éventuels pics (spikes) présents sur les données magnétiques.

Les valeurs du champ magnétique obtenues aux intersections des traverses et des lignes de contrôle furent comparées et un nivellement préliminaire fut réalisé. Des cartes préliminaires de contours et de gridages des données furent produites pour fin de vérification de la qualité du levé.

6.0 TRAITEMENT FINAL DES DONNÉES

La compilation et le traitement final des données ont été réalisés au bureau de **GDS** situé à Laval, sous la supervision de Mr Mouhamed Moussaoui. Toutes les étapes du traitement réalisées lors des travaux de terrain ont été vérifiées avant de poursuivre plus à fond. Ceci impliquait :

- a) Vérification complète des différents champs de données (X, Y, Z, temps GPS, altitudes radar, lectures barométriques et données magnétiques).
- b) Vérification complète des profils du champ magnétique et élimination des pics
- c) Correction du décalage (Lag).
- d) Élimination du bruit à basses fréquences présent sur les données de la station de base (filtre passe-bas) et application de la correction diurne.
- e) Soustraction du champ géomagnétique international de référence (IGRF) défini à une altitude de 390 mètres pour l'année 2008.25. La soustraction de l'IGRF, qui représente le champ magnétique terrestre modélisé, a permis d'obtenir le champ résiduel essentiellement relié à l'aimantation de la croûte terrestre.
- f) Nivellement du champ magnétique total à partir des intersections et en suivant les étapes présentées au tableau 3. Les valeurs du champ magnétique total, de l'altitude et du gradient aux points d'intersection, ont été déterminées sur les lignes transversales et sur les lignes de contrôle. Les différences relevées en ces points ont été compilées et imprimées sous forme de tableau. Les différences relevées aux intersections ont été soigneusement analysées et réparties le long des lignes de contrôle et des lignes transversales pour obtenir ainsi une valeur identique du champ magnétique total à une

intersection donnée. Des corrections ont été apportées pour supprimer les écarts dus à l'altitude. **GDS** a utilisé les données de positionnement électronique (GPS) pour s'assurer que ces écarts étaient minimaux.

Table 3: Nivellement par ligne de contrôle			
Passe	Filtre	Contrôle	Traverse
1	Trend(0)	x	x
2	Trend(0)	x	x
3	Trend(0)	x	x
4	Trend(1)	x	x
5	Trend(1)	x	x
6	Butterworth(5000,4)	x	
7	Butterworth(7500,4)		x
8	Butterworth(2500,4)	x	
9	Butterworth(2500,4)		x

Des valeurs finales ont été attribuées aux traverses à chacune des intersections retenues. Ces valeurs ont été utilisées comme correction. Dans les zones caractérisées par un gradient magnétique prononcé ou par une topographie escarpée, les ajustements d'intersection ont été supprimés ou une correction judicieuse a été attribuée à la ligne transversale.

- g) Maillage des données suivant une maille régulière de 60 mètres en utilisant la routine « Minimum Curvature » de Geosoft, laquelle respecte autant les données des traverses et des lignes de contrôle tout en produisant une surface pour laquelle la courbure totale est minimale.
- h) Calcul de la première dérivée vertical.
- i) Application d'un éclairage artificiel avec une inclinaison de 45° et une déclinaison de 315°.
- j) Calcul des coefficients de Keating

Les cibles potentielles de cheminées verticales (kimberlite) ont été identifiées à partir des anomalies magnétiques présentant un patron anomal plus ou moins circulaire observées sur la carte du champ magnétique total résiduel. Le processus automatique d'identification a fait intervenir un algorithme mathématique mis au point par Pierre Keating en 1995. (Keating, P., 1995. A simple technique to identify magnetic anomalies due to kimberlite pipes. Exploration and Mining Geology, vol 4, no. 2, p.35-41). Le modèle utilisé est celui d'un cylindre vertical et toutes les anomalies magnétiques présentant un coefficient de corrélation supérieur à une certaine limite, fixée au départ, sont ainsi retenues. Ces cibles sont présentées sur la carte de la dérivée première verticale par des cercles dont le rayon est proportionnel au coefficient de corrélation.

Les paramètres utilisés sont comme suit:

Rayon du cylindre:	100 m
Longueur du cylindre:	infinie
Profondeur du cylindre:	hauteur de vol nominale de 100 m
Dimension de la fenêtre:	9 x 9 cellules (450m x 450m)
Intensité relative du champ:	100 nT
Nombre de passes (filtre):	0
Inclinaison du champ magnétique:	75.0°
Déclinaison du champ magnétique:	-20.0°
Coefficient de corrélation minimal:	0.90 (90%)

- k) Production des cartes et documents à fournir suivant l'entente contractuelle.

7.0 PERSONNEL IMPLIQUÉ

Mr Mouhamed Moussaoui, président de **GDS**, était responsable de la coordination et de la gestion générale du projet. Le chargé de projet sur le terrain et opérateur des instruments était Mr. Peter Moore. Mrs José Martinez et Saleh Elmoussaoui étaient responsable du contrôle de la qualité et du traitement des données de terrain, en consultation avec Mr. Camille St-Hilaire, représentant du MRNF. Tout le personnel de terrain et de bureau impliqué dans la réalisation du projet est présenté au tableau 4.

Table 4: Personnel Impliqué	
Fonction	Nom
Gérant de projet	Mr. Mouhamed Moussaoui
Contrôle de qualité	Mr. Saleh Elmoussaoui Mr. José Martinez
Responsable de terrain	Mr. Peter Moore
Opérateur	Mr. Peter Moore
Pilote	Mr. Rick Lebell
Traitement final des données	Mr. François Caty Mr. Mouhamed Moussaoui
Spécialiste Autocad	Mr. Albert Sayegh
Rapport final	Mr. Mouhamed Moussaoui

8.0 AERONEF ET EQUIPEMENT

8.1 Aéronef

Le levé a été effectué à l'aide d'un avion bimoteur turbocharge Piper Navajo PA-31 (C-GSVM) de Oracle Geoscience dont la puissance, le taux de remontée et la flexibilité de manœuvre étaient adaptés au climat rigoureux de la région étudiée. Cet avion était approuvé par Transport Canada pour la réalisation de levés géophysiques aéroportés.



Figure 3: Avion Piper Navajo PA-31 Bimoteur Turbocharge

Les principales caractéristiques techniques de l'avion sont:

Type :	Piper Navajo PA-31
Puissance du moteur:	2 310 HP
Poids à vide:	1710 kg
Charge max.:	2950 kg
Plafond:	8320 mètres
Taux de remontée:	7.1 mètre/sec.
Gradient de remonté:	12.8%
Vitesse des levés:	75 m/sec.
Intervalle d'échantillonnage:	7.5 m
Type de carburant:	AVGAS
Consommation de carburant:	110 litres/hr.
Consommation huile:	Négligeable
FOM Compensé:	inférieur à 1.5 nT

8.2 Magnétomètre et système d'enregistrement de données

8.2.1 Magnétomètre en vol

GDS a utilisé un magnétomètre à pompage optique, constitué d'un senseur et d'une console fabriqués par la firme **Geometrics**, modèle G822. Ce senseur possède une gamme dynamique de 20 000 à 100 000 nanoTeslas (nT), une sensibilité et une résolution de 0.005 nT, et une enveloppe de bruit inférieure à 0.05 nT. Le taux d'échantillonnage du magnétomètre était de 10 lectures par seconde. Le senseur magnétique était incorporé à l'intérieur d'un rostre en kevlar fixée à la queue de l'aéronef.

Manufacturier:	Geometrics
Modèle:	G822
Plage ambiante:	20 000 – 100 000 nT
Sensibilité:	± 0.005 nT
Précision absolue:	± 10 nT
Enveloppe de bruit:	0.05 nT
Intervalle d'échantillonnage:	0.1 sec
Erreur de cap:	<2.0 nT

8.2.2 Compensateur magnétique et système d'enregistrement de données

Un compensateur et un système d'acquisition de données ont été utilisés. Le compensateur magnétique, inclus dans le système d'acquisition de données DAARC500 de RMS, utilise 3 magnétomètres de type fluxgate. Ceux-ci permettent de suivre les manœuvres de l'avion par rapport au champ magnétique ambiant. En mode de calibration (durée approximative de 6 à 8 minutes), les données de positionnement et les lectures du champ magnétique sont utilisées afin d'établir une solution comprenant environ 30 termes et permettant de compenser les mouvements de l'avion. Cette solution constitue un modèle mathématique qui décrit précisément les interférences magnétiques de l'avion en mouvement.

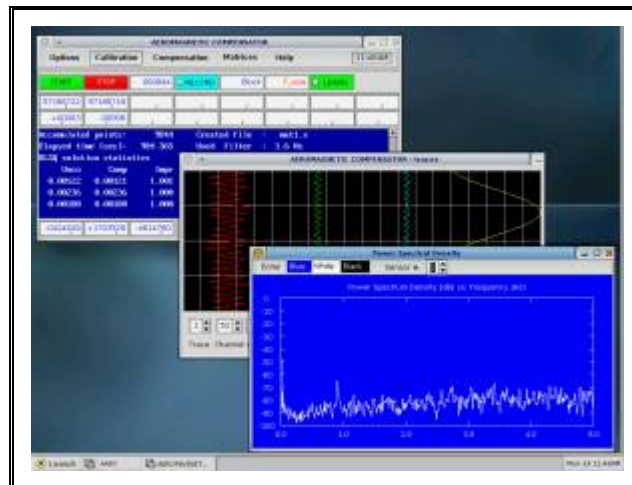
Le DAARC500 utilise une technique de traitement du signal très sophistiquée qui permet au système de compensation de recueillir les données de façon continue à partir du signal d'entrée, ce qui permet ainsi d'améliorer la solution pour obtenir une compensation optimale.



En complément au système de compensation, le DAARC500 possède un système d'acquisition de

données très flexible. Les instruments et senseurs externes, avec système de sortie digitale ou analogique, peuvent être connectés directement au DAARC500. L'instrument possède 8 sorties et entrées RS232 à haute vitesse et complètement isolées et 16 entrées analogiques différentielles.

Les données reçues sont traitées en temps réel. Les données de sortie sont disponibles rapidement avec des fréquences aussi élevées que 40 Hz, 115.2 kbps via des ports séries, pour enregistrement sur mémoire USB, ou visible sur écran couleur de 6.5 po. En plus des données brutes et compensées, des sorties séries comprennent les composantes vectorielles triaxiales du champ magnétique, le nombre de fiducie et la quatrième différence du magnétomètre.



En résumé, pour le traitement informatique ultérieur du levé, toutes les données des magnétomètres, des altimètres, du positionnement GPS, de la caméra ainsi que le temps ont été enregistrées sur support magnétique de façon synchrone. Le tableau 5, ci-après, présente les intervalles minimums de sensibilité et les intervalles d'échantillonnage de chacun des paramètres qui ont été enregistrés.

8.3 Station de référence au sol

Une station de référence magnétique était continuellement disponible à la base d'opération où était effectué la compilation, le traitement et le contrôle de qualité des données. Le site de la station magnétique a présenté un gradient magnétique de moins de 1 nT/m et a été exempt de tout objet métallique, installation électrique et route à l'intérieur d'un rayon de 100 mètres.

Un magnétomètre GSM-19 fabriqué par la firme GEM System a été utilisé. L'instrument avait une gamme dynamique de 20 000 à 100 000 nT, une sensibilité de 0.01 nT et un niveau de bruit inférieur à 0.10 nT. Les lectures du champ magnétique total ont été enregistrées de façon synchrone avec le magnétomètre de bord grâce à une référence temporelle provenant d'un GPS interne.

Table 5: Spécifications de l'enregistrement digital des données		
DONNÉES AÉROPORTÉES		
ENREGISTREMENT	SENSIBILITÉ	INTERVALLE D'ÉCHANTILLONNAGE
Magnétisme (Champ Total)	0.005 nT	0.1 sec
Altimètre Radar	3 mètres	0.2 sec
Altimètre barométrique	3 mètres	1.0 sec
Temps de fiducie	0.01 sec	0.1 sec
GPS	3 mètres	0.2 sec
DONNÉES AU SOL		
ENREGISTREMENT	SENSIBILITÉ	INTERVALLE D'ÉCHANTILLONNAGE
Magnétisme (champ total)	0.01 nT	1.0 sec
Temps	1.0 sec	1.0 sec
Positionnement GPS	1.0 mètres	1.0 sec

Les spécifications techniques du GSM-19 sont:

Manufacturier:	GEM System
Type:	Overhauser
Modèle:	GSM-19
Plage ambiante:	20 000 - 100 000 nT
Sensibilité:	± 0.01 nT
Intervalle d'échantillonnage:	1 sec
Enveloppe de bruit:	0.10 nT



GSM-19 v7.0

Overhauser
Magnetometer /
Gradiometer / VLF

8.4 Système de navigation et de positionnement

8.4.1 Système vidéo

Une caméra vidéo couleur de marque PANASONIC, modèle WVCO484 avec possibilité d'enregistrement audio, filmait la trajectoire de vol sous l'avion en format NTSC couleur. Cette caméra avec objectif à grand-angle et posemètre automatique assurait une bonne mise au point sans nécessiter d'ajustements de la part de l'opérateur. Pendant un vol horizontal, l'angle de vue de la caméra était inférieur à 2° de la verticale. La caméra vidéo enregistrait dans la partie supérieure de chacune des images les données suivantes en format alphanumérique: le numéro de la ligne de vol, les numéros de fiducie, l'heure et la position X,Y-GPS de l'avion. Le tableau suivant présente les spécifications techniques du système vidéo installé dans l'aéronef:

Fabricant et modèle de la caméra:	Panasonic WVCO484
Installation:	Vertical
Enregistreur video:	Enregistreur vidéo
Format:	NTSC Couleur
Vitesse d'enregistrement:	Normale (SP)
Résolution:	S-VHS
Angle de prise de vue:	62° par 48°
Exposition:	Automatique

8.4.2 Système de positionnement GPS différentiel

Le système de navigation et de positionnement électronique comportait un récepteur GPS bi-fréquentiel (L1/L2) à 12 canaux de marque Septentrio PolaRx2e. Ce système présente une résolution de 0.1 mètre et une erreur de localisation inférieure à 1 mètre. L'antenne était fixée au cockpit de l'avion. Les caractéristiques techniques du récepteur GPS sont:

GPS:	Septentrio receiver
Modèle:	PolaRx2e bi-fréquence (L1/L2)
Fréquence:	5 hertz
Précision:	1 m
Nombre de canaux:	12
Intervalle d'enregistrement:	1/sec à 10/sec
Système de navigation:	AGNAV (LiNAV)

Toutes les données provenant du récepteur GPS furent corrigées de façon différentielle après vol grâce aux données enregistrées à la station de base GPS.

8.4.3 Altimètre radar

Un altimètre radar à haute résolution de marque Free Flight, modèle TRA 3000, avec gamme dynamique de 12 à 800 mètres (portée), précision de 2% sur un champ de 30 à 160 mètres et sensibilité de 10 millivolts par mètre a été utilisé (résolution digitale d'au moins 0.3 mètre). Les données altimétriques ont été enregistrées sous forme digitale. Le taux d'échantillonnage de l'altimètre radar était de 5 lectures par seconde. Le tableau suivant présente ses caractéristiques techniques:

Fabricant:	Free Flight
Modèle:	TRA 3000
Gamme dynamique:	12 à 800 m
Précision:	5%
Sensibilité:	10 mV/m
Résolution digitale:	0.3 m
Taux d'échantillonnage:	5 Hz
Gamme de température:	-54° + 71°C

8.4.4 Altimètre barométrique

Un altimètre barométrique de marque Honeywell, model PPT avec gamme dynamique située entre le niveau de la mer et 6 000 mètres, une précision relative de 2%, une sensibilité de 3.0 mV par mètre et une résolution supérieure à 0.3 mètre, a complété le système altimétrique de l'aéronef. L'intervalle d'échantillonnage du baromètre était de 1 lecture par seconde. Le tableau suivant décrit l'altimètre barométrique à sortie digitale installé dans l'aéronef:

Fabricant/modèle:	Setra 270
Gamme de pression:	600 à 1100 hPa/mb
Précision:	0.05 %
Résolution:	1 mV/ft
Sensibilité:	3 mV/m
Taux d'échantillonnage:	1.0 second
Resolution:	0.3 m

La pression barométrique était notée au début et à la fin de chaque vol et inscrite sur les flight logs pour évaluer la dérive barométrique.

9.0 PRODUITS FINAUX

Tous les documents et cartes exigés par l'entente contractuelle furent remis au MRNF à la fin du mois de mars 2009.

9.1 Paramètres utilisés

Les données ont été compilées et mise en plan en utilisant les paramètres suivants:

Échelles des cartes :	1 :50 000
Projection:	NAD83, compatible avec le système mondial WGS 84 UTM Zone 19
Fond de carte disponible:	1:50 000 (NAD83 UTM Zone 19)
Cellule de maille:	60 mètres
Surface de référence géodésique :	Ellipsoïde GRS 80

9.2 Produits finaux

Cartes

Cinq (5) copies papier des cartes finales suivantes à l'échelle 1 :50 000 ont été livrées. Toutes ces cartes ont également été fournies sous forme numérique en format Geosoft Map et PDF avec une résolution suffisante pour fin de reproduction.

- Composante résiduelle du champ magnétique total couleur, base planimétrique, coefficients de corrélation de Keating et habillage de la carte;
- Carte ombragée de la dérivée première verticale du champ magnétique total, coefficients de Keating, base planimétrique et habillage de la carte;

Archives

Ont aussi été produit et remis cinq copies d'un DVD comprenant:

- Tous les fichiers digitaux des cartes mentionnées ci haut dans un format compatible pour impression à partir d'un traceur à jet d'encre HP 750
- Une base de données comprenant les canaux présentés aux tableaux 6 et 7 dans un format standard (i.e. ASCII Geosof).

Rapport final

Le présent rapport technique représentant un compte-rendu complet des opérations sur le terrain, la description de la compilation des données et l'inventaire des produits finaux, fut remis en format numérique (MS-Word) et papier (5 copies).

Table 6: Liste des champs de la base de données principale

Champ	Description	Unité
UTC	Temps UTC	seconde
Line	Numéro de ligne	
Flt	Numéro de vol	
Date	Date du vol	aaaa/mm/jj
Lon83	Longitude (datum NAD83)	degré
Lat83	Latitude (datum NAD83)	degré
X83	Coordonnées X NAD83 UTM Z19	mètre
Y83	Coordonnées Y NAD83 UTM Z19	mètre
Z	Altitude GPS (ASL)	mètre
X27	Coordonnées X NAD27(Canada East) UTM Z19	mètre
Y27	Coordonnées Y NAD27(Canada East) UTM Z19	mètre
Drape	Surface de vol prédéfinie	mètre
Radaro	Altimètre Radar original	mètre
Radarlc	Altimètre Radar corrigé	mètre
Balto	Altimètre Barométrique original	mètre
Baltlc	Altimètre Barométrique corrigé	mètre
DTM	Modèle digital de terrain	mètre
Base	Station de base magnétique originale	nT
Basef	Station de base magnétique corrigée	nT
MBU	Données magnétiques non-compensées	nT
MBC	Données magnétiques compensées	nT
MBCLC	Données magnétiques éditées et liguées	nT
Drift	Correction de la diurne	nT
Magbc	Données magnétiques corrigées de la diurne	nT
IGRF	Valeurs IGRF	nT
Mag_IGRF	Données magnétiques corrigées IGRF	nT
Magcor	Correction de nivellement	nT
Maglvl	Données magnétiques nivelées	nT
MagTotal	Données magnétiques ajustées (moyenne IGRF ajoutée 56795.0)	nT

Table 7: Liste des champs de la base de données des coefficients de Keating

Champ	Description	Unité
Lon83	Longitude (datum NAD83)	degré
Lat83	Latitude (datum NAD83)	degré
X83	Coordonnées X NAD83 UTM Z19	mètre
Y83	Coordonnées Y NAD83 UTM Z19	mètre
X27	Coordonnées X NAD27(Canada Est) UTM Z19	mètre
Y27	Coordonnées Y NAD27(Canada Est) UTM Z19	mètre
Corr_coeff	Coefficient de corrélation	%
Norm_error	Erreur normalisée	%
Amplitude	Amplitude	nT

10.0 CONCLUSIONS

Un levé aéromagnétique à haute résolution fut réalisé entre le 5 novembre 2008 et le 29 janvier 2009 dans la région de LG-4, Baie James, par GEO DATA SOLUTIONS GDS INC. pour le compte du Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec. Au total 33 457 kilomètres linéaires de données magnétiques furent acquises sur un réseau de traverses espacées de 250 mètres, orientées Nord-Sud, et des lignes de contrôles espacées de 2 500 mètres et orientées Est-Ouest.

Dû à de mauvaises conditions météorologiques, les travaux de terrain furent réalisés en dehors du temps limite initialement prévu à cet effet mais tous les produits exigés par l'entente contractuelle furent remis au MRNF dans les délais requis.

Toutes les données enregistrées à bord de l'avion et par les stations de base magnétique et GPS sont d'excellente qualité. Les données du champ magnétique total ont été acquises lors de périodes d'activité diurne favorables et aucune ligne ne respectant pas les critères exigés ne fut retenue.

La surface de vol prédéfinie fut très bien suivie permettant ainsi un nivellement facile et optimal des données magnétiques. Quant au niveau de bruit du champ magnétique total observé à partir de la quatrième différence, il fut bien en dessous de l'enveloppe acceptable de 0.2 nT.

Les données de positionnement GPS sont de grande qualité, le plan de vol fut bien respecté et les données ne démontrent aucun saut anormal.

Il est à espérer que l'information présentée dans ce rapport, ainsi que sur les cartes qui l'accompagnent, s'aura orienter les prochaines campagnes d'exploration et sera utile dans l'interprétation des données géologiques qui peuvent y être reliées.

Respectueusement présenté,

Mouhamed Moussaoui, *Ing.*

ANNEXE A

TESTS ET ÉTALONNAGE

TEST DE BOURGET

AIRCRAFT TYPE AND REGISTRATION: C-GSVM
 ORGANIZATION (COMPANY): Géo Data Solutions
 MAGNETOMETER TYPE: Geometrics

DATE: 30 août 2008.
 HEIGHT FLOWN: 1000 FEET
 SAMPLING RATE: 10 / SECOND
 DATA ACQUISITION SYSTEM: RMS DAARC500

Direction of flight across the Crossroads	Time that Survey Aircraft was over the Crossroads (HH/MM/SS) Greenwich Mean Time	Total Field Value (nT) Recorded in Survey Aircraft over Crossroads (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	18:57:25.00	54685.259	55231.800	55232.000	55231.883	54681.883	3.38
SOUTH	19:10:57.10	54686.113	55233.700	55233.800	55233.795	54683.795	2.32
EAST	19:36:12.10	54687.688	55234.800	55234.800	55234.800	54684.800	2.89
WEST	19:33:26.80	54687.327	55234.100	55234.200	55234.145	54684.145	3.18
NORTH	19:05:31.20	54686.086	55232.600	55232.800	55232.704	54682.704	3.38
SOUTH	19:28:36.30	54687.429	55235.100	55234.800	55234.919	54684.919	2.51
EAST	19:44:36.60	54688.344	55235.600	55235.500	55235.539	54685.539	2.80
WEST	19:40:58.50	54688.459	55234.800	55235.000	55234.995	54684.995	3.46

*C is the difference in the total field between the Blackburn or Meanook Observatory value (O) and the value (B) at the point above the crossroads at a given height.

Blackburn Observatory: 1000 Feet, C = (O-B) = 550 nT; 500 Feet, C = 556 nT

Meanook Observatory: 1000 Feet, C = (O-B) = 0 nT; 500 Feet, C = 0 nT

Total = 23.92 nT

Average North-South Heading Error (T6 North - T6 South) = 0.97 nT

Average East-West Heading Error (T6 East - T6 West) = -0.48 nT

Number of Passes for Average = 8 2.99 nT

FOM Test

Location: Mirage - LG4
Pilot: Pete/Richard
Operator: Peter
Compiled by: Carlos Cortada

Date: 06-Nov-08
Aircraft: C-GSVM
Configuration: Tail Sensor
Altitude: 8000 feet

Sensor3 - Tail Stinger

NORTH (360°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	68830.9 to 68837.5	0,115	0,086	1,330
ROLL	68845 to 68852.5	0,939	0,033	28,277
YAW	68860.6 to 68867.4	0,082	0,038	2,127
TOTAL		1,135	0,158	7,193

EAST (90°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	68908.6 to 68912.9	0,277	0,042	6,587
ROLL	68919.9 to 68925.3	1,157	0,024	47,252
YAW	68934.8 to 68940.4	0,084	0,040	2,113
TOTAL		1,518	0,106	14,301

SOUTH (270°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	68986.3 to 68989.9	0,549	0,022	24,999
ROLL	68997 to 69000.4	0,640	0,017	37,938
YAW	69015.9 to 69017	0,146	0,009	15,524
TOTAL		1,335	0,048	27,675

WEST (180°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	69052.9 to 69060.5	0,133	0,119	1,117
ROLL	69066.9 to 69074.8	0,654	0,040	16,503
YAW	69081 to 69088.9	0,048	0,031	1,531
TOTAL		0,835	0,190	4,391

Uncomp. mag (nT)	Comp. mag (nT)	Improv. Ratio
4,822	0,502	9,600

FOM Test

Location: Mirage - LG4
Pilot: Pete/Richard
Operator: Peter
Compiled by: Saleh Elmoussaoui

Date: 20-Nov-08
Aircraft: C-GSVM
Configuration: Tail Sensor
Altitude: 8000 feet

Sensor3 - Tail Stinger

NORTH (360°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	53868.7 to 53881.00	0,159	0,089	1,789
ROLL	53883.8 to 53898.00	0,940	0,035	27,138
YAW	53899.70 to 53910.00	0,105	0,031	3,429
TOTAL		1,204	0,154	7,815

EAST (90°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	53957.900 to 53970.70	0,385	0,096	4,012
ROLL	53973.40 to 53984.70	0,872	0,032	27,521
YAW	53988.200 to 53993.100	0,066	0,058	1,141
TOTAL		1,323	0,185	7,132

SOUTH (270°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	54033.40 to 54042.6	0,722	0,062	11,709
ROLL	54046.00 to 54046.00	0,815	0,081	10,049
YAW	54061.000 to 54069.50	0,137	0,049	2,817
TOTAL		1,673	0,191	8,750

WEST (180°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	54119.20 to 54128.6	0,163	0,049	3,351
ROLL	54133.300 to 54145.7	0,797	0,013	62,761
YAW	54146.50 to 54154.7	0,090	0,034	2,618
TOTAL		1,050	0,096	10,981

Uncomp. mag (nT)	Comp. mag (nT)	Improv. Ratio
5,250	0,626	8,382

FOM Test

Location: Mirage - LG4
Pilot: Pete/Richard
Operator: Peter
Compiled by: Saleh Elmoussaoui

Date: 27-Jan-09
Aircraft: C-GSVM
Configuration: Tail Sensor
Altitude: 8000 feet

Sensor3 - Tail Stinger

NORTH (90°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	57211 to 57219	0,480	0,084	5,699
ROLL	57227 to 57238	1,234	0,023	52,663
YAW	57244 to 57252	0,089	0,048	1,852
TOTAL		1,803	0,156	11,584

EAST (180°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	57284 to 57295	0,869	0,028	30,886
ROLL	57300 to 57310	0,915	0,031	29,920
YAW	57314 to 57323	0,183	0,024	7,668
TOTAL		1,967	0,083	23,819

SOUTH (270°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	57356 to 57365	0,415	0,065	6,354
ROLL	57368 to 57379	0,274	0,055	4,943
YAW	57383 to 57393	0,609	0,023	26,412
TOTAL		1,298	0,144	9,026

WEST (360°)	Fid range	Uncompensated mag (nT)	Compensated mag (nT)	Improv. Ratio
PITCH	57133.7 to 57145.6	0,175	0,019	9,079
ROLL	57149 to 57161.4	1,063	0,035	30,490
YAW	57166.7 to 57174.6	0,111	0,032	3,421
TOTAL		1,349	0,087	15,591

Uncomp. mag (nT)	Comp. mag (nT)	Improv. Ratio
6,417	0,469	13,696

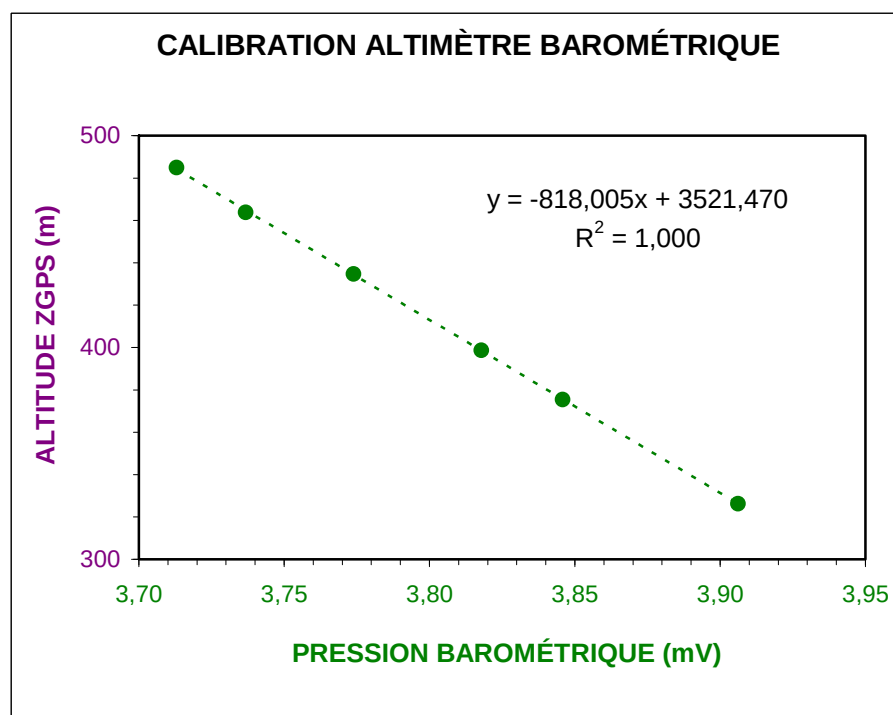
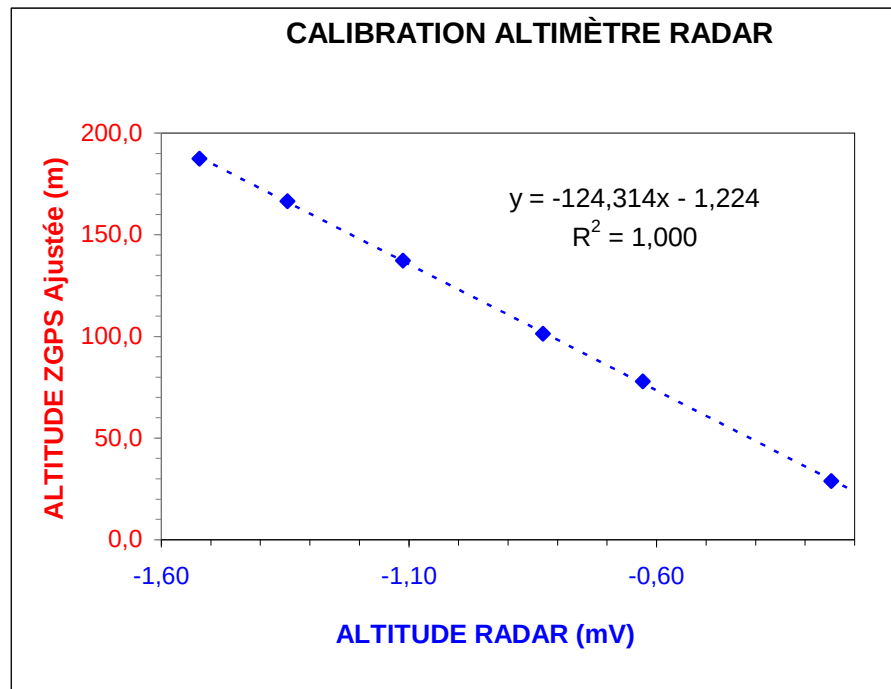
L'altimètre radar et le baromètre furent calibrés par l'acquisition de données provenant de plusieurs vols réalisés à différentes hauteurs au dessus de la piste d'atterrissage de Timmins. Les différentes altitudes radar/baro obtenues démontrent une linéarité pratiquement parfaite avec les données altimétrique du GPS et un calcul de régression linéaire a permis d'obtenir les paramètres de calibration.

TEST ALTIMÈTRES RADAR & BAROMÉTRIQUE

Project #: P08031
Client: Ministère des Ressources Naturelles
Date: 10/21/2008
Location: Timmins, ON
Aircraft: Piper Navajo PA-31 C-GSYM
Radar Type: Free flight TRA 3000
Data Acquisition System: RMS DAARC500

Pilot: Richard Pegoraro
Operator: Peter Moore
Geophysicist: Carlos Cortada

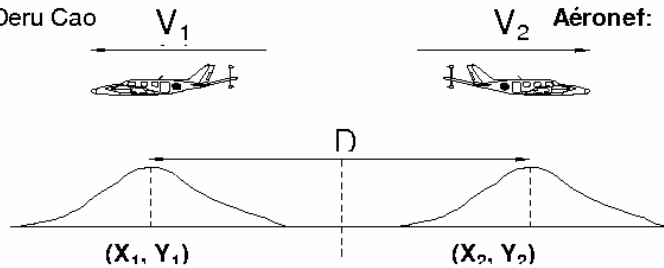
Altitude ZGPS (m)	Z - altitude aéroport (m)	Altitude Radar (mV)	Altitude Radar (m)	Error Radar (m)	Altitude Barom. (mV)	Altitude Barom. (m)	Error Barom. (m)
326,27	28,90	-0,247	29,49	0,59	3,906	326,19	-0,08
375,34	77,97	-0,628	76,86	-1,11	3,846	375,56	0,22
398,69	101,31	-0,830	101,94	0,63	3,818	398,49	-0,20
434,65	137,27	-1,112	136,99	-0,28	3,774	434,40	-0,25
463,84	166,46	-1,345	165,98	-0,48	3,737	464,79	0,95
484,86	187,48	-1,523	188,12	0,64	3,713	484,21	-0,64



GDS MAG LAG TEST

Pilote: R.Lebell
 Operateur: P.Moore
 Geophysicien: Deru Cao

Date: 10-Jul-08
 Location: Cochrane ON
 Aéronef: C-GSVM



LINE #	HEADING (°)	RADAR (m)	FIDUCIAL (sec)	X (m)	Y (m)	SPEED (m/sec)	Magnetic field (nT)
S901	90	142,0	62687,053	484137,2	5433622,9	81,4	56743,77
S2701	270	121,8	63045,953	484026,3	5433617,0	74,8	56789,78

$$\text{MEAN SPEED} = (V_1 + V_2) / 2$$

$$\text{DISTANCE} = \{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2\}^{1/2}$$

$$\text{LAG} = (\text{DISTANCE} / 2) / \text{MEAN SPEED}$$

$$\text{MEAN SPEED} = 78,10 \text{ m/sec}$$

$$\text{DISTANCE} = 111,06 \text{ m}$$

$$\text{LAG} = + 0,71 \text{ sec}$$

LINE #	HEADING (°)	RADAR (m)	FIDUCIAL (sec)	X (m)	Y (m)	SPEED (m/sec)	Magnetic field (nT)
S902	90	127,3	62926,153	484138,7	5433619,0	80,9	56782,70
S2701	270	121,8	63045,953	484026,3	5433617,0	74,8	56789,78

$$\text{MEAN SPEED} = 77,85 \text{ m/sec}$$

$$\text{DISTANCE} = 112,42 \text{ m}$$

$$\text{LAG} = + 0,72 \text{ sec}$$

LINE #	HEADING (°)	RADAR (m)	FIDUCIAL (sec)	X (m)	Y (m)	SPEED (m/sec)	Magnetic field (nT)
S1801	180	129,4	63318,653	484080,0	5433559,9	79,0	56778,10
S3601	360	129,7	63183,753	484074,1	5433669,7	76,7	56776,26

$$\text{MEAN SPEED} = 77,85 \text{ m/sec}$$

$$\text{DISTANCE} = 109,96 \text{ m}$$

$$\text{LAG} = + 0,71 \text{ sec}$$

LINE #	HEADING (°)	RADAR (m)	FIDUCIAL (sec)	X (m)	Y (m)	SPEED (m/sec)	Magnetic field (nT)
S1802	180	120,0	63583,003	484082,0	5433557,4	80,1	56788,44
S3602	360	119,7	63457,053	484075,9	5433666,2	76,0	56784,20

$$\text{MEAN SPEED} = 78,05 \text{ m/sec}$$

$$\text{DISTANCE} = 108,97 \text{ m}$$

$$\text{LAG} = + 0,70 \text{ sec}$$

