
Numérisation des données radiométriques de SOQUEM dans le Grenville

PROJET 2007-02 – PARTIE A

PAR SYLVAIN TRÉPANIÉ

AVRIL 2008



AVERTISSEMENT

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minérale) rendus publics pour le bénéfice de l'ensemble de la communauté géologique, ceci après la période de confidentialité prévue aux règlements généraux du CONSOREM.

Bien que ce document ait subi un processus d'évaluation interne, des erreurs ou omissions peuvent s'y retrouver et seul CONSOREM en assume la responsabilité.

Le contenu du document demeure la propriété de son auteur et du CONSOREM et peut être reproduit en totalité ou en partie à des fins non- commerciales en citant la référence suivante :

Trépanier, S. 2008. Numérisation des données radiométriques de SOQUEM dans le Grenville. Rapport du projet CONSOREM 2007-02 – Partie A, # p.

Toutefois, la reproduction multiple de ce document, en tout ou en partie, pour diffusion à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de CONSOREM.

CONSOREM

Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi, QC, G7H 2B1

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

Courriel : consorem@uqac.ca
Site Web: www.consorem.ca

RÉSUMÉ

Le manque de données radiométriques publiques et régionales est un obstacle majeur à l'exploration pour l'uranium dans la Province de Grenville au Québec. Toutefois, des levés radiométriques privés analogiques effectués par SOQUEM entre les années 60 et 70 couvrent des portions significatives de cette province géologique. SOQUEM a fourni ces levés au CONSOREM dans le cadre d'un projet d'évaluation du potentiel minéral en uranium de la Province de Grenville.

Les levés radiométriques étant sous forme analogique, soit sur support papier, il était impossible d'utiliser ceux-ci dans le cadre d'un travail de ciblage régional. De plus, aucune correction des valeurs brutes de radiométrie n'était disponible. Ainsi, un vaste programme de numérisation a été entrepris afin d'obtenir une banque de données radiométriques numériques et corrigées. Celle-ci constitue une nouvelle couche de base qui pourra être utilisée pour cibler de nouveaux secteurs pour l'exploration dans le Grenville.

Ce rapport présente en détail la procédure de numérisation des levés ainsi que les corrections apportées aux données brutes.

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	i
Résumé.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Introduction.....	1
1 Caractéristiques des levés disponibles.....	1
2 Choix des levés à numériser.....	3
3 Facteurs influençant la qualité des données et mises en garde.....	3
3.1 Absence de rapports techniques sur l'acquisition des levés.....	3
3.2 Erreurs de localisation sur les cartes topographiques.....	4
3.3 Erreurs de numérisation.....	5
3.4 Conséquences sur l'utilisation des levés pour l'exploration	5
4 Procédure de numérisation.....	5
4.1 Photographie des levés	6
4.2 Numérisation à l'aide du logiciel ArcGIS.....	7
4.3 Stockage des données brutes et des points de contrôle	8
4.4 Contrôle de la qualité de la numérisation.....	9
5 Correction des données brutes.....	11
5.1 Correction du bruit de fond.....	12
5.2 Correction pour la superposition des spectres (« stripping »).....	13
5.3 Correction pour l'atténuation dans l'air.....	15
5.4 Correction de sensibilité.....	15
5.5 Stockage des corrections dans la base de données	17
6 Production de cartes matricielles de la radiométrie	17
7 Conclusions.....	17
Remerciements.....	18
Références.....	18
Annexe 1 : Liste des levés numérisés et leurs caractéristiques	26
Annexe 2 : Ratios Alpha, Beta, Gamma, A, B et C calculés à partir des calibrations de sources radioactives.....	31
Annexe 3 : Données de sensibilités relatives des levés	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Couverture des levés radiométriques de SOQUEM disponibles dans le cadre de ce projet.....	19
Figure 2. Couverture des levés radiométriques.....	19
Figure 3. Trépied utilisé pour la photographie des levés.....	20
Figure 4. Capture d'écran typique du logiciel de numérisation sur ArcGIS.....	20
Figure 5. Formulaire Ms-Access de vérification des valeurs de radiométrie erronées.	21
Figure 6. Exemple de décalage entre la position réelle d'un plan d'eau le long d'une ligne de vol tel qu'identifié sur une image Landsat-7 (trait blanc) et la signature radiométrique du plan d'eau (trait rouge et jaune).....	21
Figure 7. Fréquence des décalages observés entre la signature radiométrique des lacs et leur position sur les images Landsat-7 (n = 1130).	22
Figure 8. Exemple d'un creux radiométrique créé par la présence d'un plan d'eau.	22
Figure 9. Signature spectrale du potassium obtenu sur un bloc de calibration.	23
Figure 10. Signature spectrale de l'uranium obtenu sur un bloc de calibration.....	23

Figure 11. Signature spectrale du thorium obtenu sur un bloc de calibration..	24
Figure 12. Exemple de calibration à partir de sources radioactives, levé 22C/04 (1979).	24
Figure 13. Rayon de recherche de la méthode d'interpolation des valeurs pour la production des cartes matricielles.	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principaux types de levés disponibles et caractéristiques de la couverture	1
Tableau 2 : Principaux types de levés disponibles, supports physiques et données enregistrées	2
Tableau 3 : Erreurs de localisation (Non corrigé)	11
Tableau 4 : Valeurs de μ utilisées	15

INTRODUCTION

Un obstacle majeur pour l'exploration de l'uranium au Québec est la faible couverture de spectrométrie gamma aérienne. Les levés publics de la Commission Géologique du Canada ne couvrent en effet que le sud-ouest de la province (sud-ouest du Grenville, Basses-Terres et Appalaches) et une très petite portion de la Basse Côte-Nord à l'est de Sept-Îles.

Toutefois, de nombreux levés privés de scintillométrie et de spectrométrie ont été effectués par SOQUEM à la fin des années 60', et surtout durant les années 70' et 80', dans le cadre de campagnes d'exploration pour l'uranium et les métaux rares. Ces levés couvrent l'ensemble des Appalaches du Québec ainsi qu'une portion importante de la Province de Grenville au Québec. Dans le cadre des projets 2005-05, 2006-05 et 2007-02, SOQUEM a mis ces levés à la disponibilité du CONOSREM.

La grande majorité des données de ces levés n'était disponible que sur leur support papier original. Seuls des levés de spectrométrie couvrant la Basse Côte-Nord étaient disponibles en format numérique suite à un travail de numérisation réalisé à l'interne par SOQUEM. Pour être utilisé efficacement, l'ensemble des levés devait être nécessairement numérisé.

Une méthode semi automatisée de numérisation a été développée pour transformer de façon rapide et efficace les profils papier en données numériques utilisables dans les SIG modernes. Vu la quantité considérable de levés et les ressources limitées disponibles, seuls les levés de spectrométrie régionaux de secteurs qui ne sont pas déjà couverts par des levés publics ont été numérisés. Différentes corrections ont ensuite été apportées à ces données brutes pour obtenir de meilleurs signaux.

Ce rapport présente les caractéristiques des levés fournis par SOQUEM, la procédure de numérisation et les différentes corrections apportées aux données brutes.

1 CARACTÉRISTIQUES DES LEVÉS DISPONIBLES

Deux principaux types de levés ont été rendus disponibles par SOQUEM dans le cadre de ce projet : des levés par scintillomètre gamma, qui enregistraient le compte total de la radiation gamma seulement, et des levés par spectromètre gamma, qui enregistraient séparément les fenêtres spectrales de U, K, Th et du compte total et parfois l'altitude ([Figure 1](#)). Selon les caractéristiques de la couverture des levés de spectrométrie ([tableaux 1 et 2](#)), ceux-ci peuvent être subdivisés en quatre.

Tableau 1 : Principaux types de levés disponibles et caractéristiques de la couverture

Type de levés	Période de réalisation	Régions couvertes	Type de couverture	Espacement des lignes
Scintillométrie gamma	Fin 60' - début 70'	Appalaches et sud-ouest du Grenville au Québec	Complète de feuillets 1 : 50 000	1 km
Spectrométrie U-Th-K-Total Local	Fin 60' - début 70'	Appalaches et sud-ouest du Grenville au Québec	Détaillée et locale de petites zones anormales sur les levés de scintillométrie	Variable
Spectrométrie U-Th-K-Total Régional	1975 - 1979	Centre du Grenville (Saguenay - Lac Saint-Jean, Haute Côte-Nord,	Complète de feuillets 1 : 50 000	1 km

		est de Chibougamau)		
Spectrométrie U-Th-K-Total Local	1975 - 1979	Centre du Grenville (Saguenay - Lac Saint-Jean, Haute Côte-Nord, est de Chibougamau)	Secteurs anomaux d'après les levés de spectrométrie régionaux	Variable généralement moins de 1 km
Spectrométrie U-Th-K-Total Régional	1985 - 1989 (?)	Basse Côte-Nord	Complète de feuillets 1 : 250 000	2 km

Tableau 2 : Principaux types de levés disponibles, supports physiques et données enregistrées

Type de levés	Support physique	Rapport papier	Altitude enregistrée	Calibration sources U et Th	Calibration atténuation dans l'air	Numérisé dans ce projet
Scintillométrie gamma	Rouleaux de papier blanc de 20cm de large et carte topographique	Non	Non	N / A	N / A	NON
Spectrométrie U-Th-K-Total Local	Piles de papier millimétrique vert, à profils superposés, de 30 cm de large et carte topographique	Non	Variable	Non	Non	PARFOIS
Spectrométrie U-Th-K-Total Régional – Centre du Grenville	Piles de papier millimétrique vert, à profils superposés, de 30 cm de large et carte topographique	Non	Oui	50% des levés environ	3 ou 4 vols de calibration de mauvaise qualité	OUI
Spectrométrie U-Th-K-Total Local - Centre du Grenville	Piles de papier millimétrique vert, à profils superposés, de 30 cm de large et carte topographique	Non	Oui	Parfois	Non	NON
Spectrométrie U-Th-K-Total Régional - Basse Côte-Nord	Rouleaux de papier blanc de 30 cm de large et carte topographique	Oui	Non	Oui	N / A	NON (DÉJÀ FAIT PAR SOQUEM)

2 CHOIX DES LEVÉS À NUMÉRISER

Par contrainte de ressources et de temps, seule une partie des levés disponibles en format papier a été numérisée. L'objectif du projet ayant mené à cette campagne de numérisation étant d'évaluer le potentiel minéral de la Province de Grenville pour l'uranium, les critères suivants ont été retenus pour déterminer quels levés devraient être numérisés :

- Levés qui sont dans des secteurs non couverts par les levés publics de la Commission Géologique du Canada.
- Levés de spectrométrie U-Th-K et avec altitude enregistrée.
- Levés qui offrent une couverture régionale plutôt que locale, soit couvrant la majeure partie ou la totalité d'un feuillet topographique SNRC 1 : 50 000.
- Levés qui n'ont pas déjà été numérisés par SOQUEM.

Pour les raisons énumérées précédemment, la priorité a été donnée à la numérisation des levés de spectrométrie « U-Th-K-Total Régional – Centre du Grenville ». Ces levés sont localisés par la [Figure 2](#). La liste complète des levés et leurs caractéristiques sont données à l'[annexe 1](#).

Même en limitant de cette façon le nombre de levés à numériser, l'ampleur de la tâche à accomplir restait tout de même considérable. En effet, ce groupe de levés était constitué de 133 levés individuels totalisant environ 56 400 kilomètres de lignes.

3 FACTEURS INFLUENÇANT LA QUALITÉ DES DONNÉES ET MISES EN GARDE

Des efforts considérables ont été mis en œuvre pour assurer la meilleure qualité possible des données radiométriques numérisées et corrigées. Toutefois, il est utile ici de faire quelques observations et mises en garde sur la qualité des données numérisées.

3.1 Absence de rapports techniques sur l'acquisition des levés

Aucun rapport technique n'est disponible concernant l'acquisition des levés. En conséquence, différentes suppositions ont dû être faites concernant l'acquisition des levés. Dans certains cas, ces suppositions pourraient se révéler fausses et causer des erreurs dans les données corrigées. De même, certaines informations de correction et de surveillance de la qualité des levés sont manquantes.

3.1.1 Absence de données de calibration sur le bruit de fond des levés

Les données de bruit de fond pour la correction des levés ont été prélevées lorsque l'appareil est passé au-dessus de plans d'eau. Cette mesure de bruit de fond n'est toutefois qu'une approximation pratique. En réalité d'autres mesures sont effectuées dans les levés modernes, notamment des vols spécifiques pour la correction du radon atmosphérique et des vols en haute altitude pour obtenir le bruit de fond de l'appareil et le bruit de fond cosmique (IAEA, 2003).

3.1.2 Manque d'information sur la surveillance journalière de l'appareillage.

Aucune donnée sur la surveillance journalière de l'appareillage n'est disponible, et il est par conséquent impossible de savoir si des vérifications de la stabilité de l'appareillage ont été

effectuées. Si ces vérifications n'ont pas été effectuées, il est possible dans certains cas que des parties de levés aient des valeurs erronées en raison de dérives possibles de l'appareillage (IAEA, 2003).

3.1.3 Manque d'information sur la nature de l'appareil utilisé d'un levé à l'autre

Dans la correction pour la superposition des spectres et pour la sensibilité relative des levés (voir [sections 6.2](#) et [6.4](#)), il a été supposé que tous les levés réalisés durant une même année ont utilisé le même appareillage. Cette supposition semble plutôt réaliste selon la compilation des calibrations réalisées sur plusieurs levés à partir de sources radioactives pures. Toutefois, il est toujours possible que certains levés aient été faits avec un appareillage différent. Dans ce cas, les corrections apportées pour la superposition et la sensibilité ne seraient pas justes pour ces levés.

3.1.4 Absence de mesures de calibration pour l'atténuation dans l'air

Aucune donnée de bonne qualité pour la calibration de l'atténuation du signal dans l'air n'était disponible. Pour faire cette correction, des coefficients d'atténuation théorique ont été utilisés. Selon la fenêtre spectrale exacte utilisée par l'appareillage, il est toutefois possible que ces coefficients ne soient pas tout à fait appropriés pour les levés numérisés.

3.1.5 Absence de mesures de calibration de sensibilité

Les appareils de mesure de la radiométrie enregistrent chaque spectre en comptes (ou coups) par seconde. Le nombre de coups pour une concentration d'un radio-élément donné au sol dépend entre autres de la sensibilité de l'appareil de mesure, qui est surtout fonction de la taille du cristal. Aucune information sur la sensibilité de l'appareil n'est disponible. Les données n'ont donc pu être transformées en équivalent ppm/% et restent donc qualitatives.

3.1.6 Absence de données de pression et de température

Les valeurs d'altitude doivent normalement être ramenées à une altitude normalisée pour la température et la pression. Ceci est dû au fait que la capacité qu'a l'air d'atténuer le signal radiométrique est influencée par sa température et sa pression. Comme aucune information sur la température et la pression atmosphérique au moment de l'acquisition des levés n'était disponible, l'altitude normalisée n'a pas pu être calculée. Ceci peut causer une variation des valeurs de la radiométrie d'un levé à l'autre ou à l'intérieur d'un même levé réalisé sur plusieurs heures.

3.2 Erreurs de localisation sur les cartes topographiques

Contrairement aux levés modernes, positionnés à l'aide de GPS, ces levés ont été positionnés sur des cartes topographiques par un opérateur, avec des points de contrôle à chaque 3-4 km. Cette méthode de localisation a des conséquences sur la précision de la localisation des données :

- Le tracé des lignes de vol sur les cartes topographiques est idéalisé. Aucune déviation latérale par rapport à la ligne de vol n'y est représentée.
- Des erreurs de localisation sont possibles lors de la prise de points de contrôle par l'opérateur.

- On suppose qu'entre deux points de contrôle, la vitesse de l'avion est constante. Toutefois, en terrain accidenté, il est possible que l'avion ait à prendre ou à perdre de l'altitude, ce qui fait en réalité changer sa vitesse. Ceci peut également causer des erreurs de localisation le long des lignes de vol.

L'erreur de localisation médiane des levés le long des lignes de vol a été calculée à la [section 5.4.2](#). Aucune information sur l'erreur de localisation latéralement aux lignes de vol n'est disponible.

3.3 Erreurs de numérisation

Différentes mesures de contrôle de qualité de la numérisation ont été mises en œuvre (voir [section 5.4](#)). Toutefois, l'ampleur considérable des données numérisées fait en sorte que des erreurs de numérisation peuvent subsister dans les données finales.

3.4 Conséquences sur l'utilisation des levés pour l'exploration

Les considérations précédentes ont deux conséquences importantes pour l'utilisation des données radiométriques numérisées pour l'exploration :

- 1) En raison du manque d'informations techniques concernant leur acquisition, les levés numérisés donnent une évaluation de nature **qualitative** de la quantité de radioéléments au sol. On considère que des levés correctement corrigés donnent une évaluation plutôt semi-quantitative.
- 2) Lors du suivi détaillé d'anomalies sur le terrain, il faut considérer l'incertitude sur la localisation. En conséquence, il est très fortement conseillé de :
 - a) considérer un rayon d'au moins 250m autour de la localisation donnée par les données numérisées pour la recherche de la source de l'anomalie, à l'aide de spectromètres et/ou scintillomètres portatifs.
 - b) et/ou de vérifier les anomalies à l'aide de nouveaux levés radiométriques aériens locaux ou de levés au sol.

4 PROCÉDURE DE NUMÉRISATION

Étant donné les coûts importants que ce genre de service aurait pu occasionner, il était dès le départ peu réaliste de faire appel à une entreprise externe pour effectuer l'ensemble du travail de numérisation des levés. Le choix s'est plutôt porté vers le développement d'une méthode de numérisation à l'interne et de faire appel à des étudiants en géologie ou géographie pour faire le travail de numérisation proprement dit. Puisque la masse de données était importante, la méthode de numérisation développée se devait de rencontrer les critères suivants :

- rapidité d'exécution ;
- Facilité d'utilisation pour un utilisateur ayant une familiarité moyenne avec les systèmes d'information géographique ;
- Utilisation d'outils informatiques logiciels et matériels peu coûteux et disponibles ;

- Possibilité d'effectuer des vérifications en cours de numérisation et une fois les résultats obtenus.

La procédure de numérisation retenue comporte deux principales étapes : d'abord la transformation des levés papier en format informatique matriciel (image), puis l'extraction, par un logiciel semi automatisé, des données matricielles en données numériques X-Y-Z représentant les mesures de la radiométrie dans l'espace. L'utilisation de méthodes passant directement du papier à la donnée numérique (ex. : tables de numérisation) a été considérée comme trop fastidieuse. Voici, de façon simplifiée, les étapes de la procédure retenue (les détails et la justification de chaque méthode sont expliqués dans les sections suivantes) :

- 1) Prise de photos des levés en format papier à l'aide d'une caméra numérique de haute résolution montée sur une table avec trépied et transfert automatique des photos vers un ordinateur personnel à l'aide d'un logiciel de capture de caméra ;
- 2) Rectification des photos à l'aide d'un logiciel de traitement de photos ;
- 3) Extraction manuelle de la localisation des points de contrôle du levé à partir de la carte topographique annexée au levé vers une table MS-Access ;
- 4) Ouverture des photos des levés sur ArcGIS et numérisation semi automatisée des levés à l'aide d'un logiciel de numérisation maison.

4.1 Photographie des levés

La première étape de la numérisation des levés est la prise de photos, effectuée à l'aide d'une caméra numérique de haute résolution (Canon PowerShot A620) montée sur un trépied servant normalement à la photographie de spécimens de roches ([Figure 3](#)). Cette méthode permet de prendre l'équivalent de 3 à 4 feuilles 8.5 x 11 à chaque photo tout en conservant une résolution suffisante pour les profils des levés. L'appareil photo est branché directement à un ordinateur personnel pour accélérer le transfert des photos et faciliter le travail de l'opérateur de la caméra. Un placement soigneux du papier des levés en le gardant toujours au même endroit lors de la photographie permet d'accélérer également considérablement l'étape subséquente. La photographie d'un demi-feuillet 1 :50 000 couvert par des lignes espacées de 1km requiert environ une heure de travail par un opérateur expérimenté.

La prise de photos ainsi décrite a été préférée à la numérisation par numériseur pour trois raisons :

- Les numériseurs de grand format sont très coûteux.
- La prise de photo par appareil numérique est beaucoup plus rapide que la numérisation par numériseur de format 8.5 x 14 standard.
- La possibilité d'obtenir une plus grande surface d'un levé à la fois par la prise de photo que par un numériseur de format standard accélère de façon importante l'étape suivante de numérisation à l'aide du logiciel.

Un désavantage de la prise de photo par rapport à un numériseur est la distorsion causée par la lentille de l'appareil. Toutefois, ces distorsions peuvent être éliminées facilement en connaissant les caractéristiques focales de l'appareil photo. Pour effectuer ces corrections, un logiciel de traitement d'images photographiques (BreezeBrowser Pro) a été utilisé. Ce logiciel permet de rectifier facilement les photos et contient également par défaut les caractéristiques de nombreux

appareils photos, dont celui utilisé dans ce cas. Un autre désavantage de la prise de photo est la nécessité de contrôler soigneusement l'éclairage pour obtenir des photos uniformément éclairées. Toutefois, les désavantages associés à la prise de photos ont été jugés moins importants que ses avantages.

4.2 Numérisation à l'aide du logiciel ArcGIS

L'étape suivante du processus de numérisation est l'extraction des données de radiométrie à partir des photos. Pour ce faire, un logiciel d'extraction semi automatisé a été développé à partir du langage ArcObjects de ArcGIS 9.0 et intégré dans un document ArcMap. L'intégration du logiciel dans ArcGIS plutôt que le développement d'un logiciel externe permet de prendre avantage de toutes les fonctions de visualisation et d'analyse offertes par ArcGIS plutôt que d'avoir à les construire en totalité. Le manuel d'utilisation du logiciel et le document ArcMap contenant le logiciel sont livrés avec le projet. La [figure 4](#) montre une capture d'écran typique de l'utilisation du logiciel.

Le logiciel de numérisation demande les quatre composantes suivantes :

- Les photos d'un levé radiométrique en format JPG ;
- Une série de fichiers vectoriels standardisés en format .SHP représentant les axes horizontaux des profils ainsi que la localisation des points de contrôle, tous sous forme de lignes ;
- Une base de données MS-Access qui comprend la liste et la localisation des points de contrôle du levé (disponible pour environ 70% des levés, voir plus loin);
- Une base de données MS-Access (la même qu'au point #3) qui contient les résultats de l'extraction.

De façon simplifiée, voici les étapes de numérisation d'un levé :

1. À partir de la carte topographique annexée au levé papier, l'opérateur fait l'extraction manuelle des numéros et des localisations des différents points de contrôle du levé. Le logiciel dans ArcGIS permet de créer automatiquement cette table. L'extraction se fait manuellement en mesurant sur la carte à l'aide d'une règle pour l'ensemble du levé. Cette étape prend environ une heure à effectuer pour la moitié d'un levé 1 : 50000 (250 points de contrôle environ).
2. Créer une table sur ArcGIS pour chaque photo du levé qui contiendra les données finales de radiométrie pour le levé (prend environ 7-8 heures pour un levé complet typique de 20 photos couvrant la moitié d'un levé 1 : 50000) :
 - 2.1. Placer les lignes du fichier standardisé de lignes représentant les axes des profils pour les faire correspondre aux axes des profils sur la photo.
 - 2.2. S'assurer que les lignes représentant les axes des profils ont les bonnes valeurs (maximum et minimum de l'échelle des profils).
 - 2.3. Placer des lignes verticales aux endroits où on trouve des points de contrôle sur les profils et inscrire le numéro du point de contrôle.

- 2.4. Démarrer la numérisation automatique. Le logiciel fait apparaître à l'écran, superposé à la photo du levé, les points numérisés et y stocke les attributs nécessaires calculés (X, Y, valeur de la radiométrie, élément).
- 2.5. Vérifier que le logiciel a reconnu les points aux bons endroits sans faire d'erreurs (les points doivent être sur la ligne de profil de la photo). Corriger si nécessaire, en enlevant manuellement les points erronés si un nombre limité de problèmes est apparent, ou reprendre la numérisation en modifiant les paramètres de RGB de reconnaissance des lignes si trop d'erreurs sont présentes.
- 2.6. Sauvegarder les points dans la table finale.

4.2.1 Note sur le traitement des points de contrôle au début de la campagne de numérisation

Le traitement des points de contrôle pour la première série de levés numérisés (environ 30% des levés) a été différent. Plutôt que d'entrer l'ensemble des coordonnées des points de contrôle d'un levé complet dans un fichier distinct au départ de la numérisation, les coordonnées étaient entrées directement sur les lignes verticales dans ArcGIS. De plus, les coordonnées des points de contrôle entrés n'étaient pas stockées de façon permanente. Cette méthode était en réalité plus fastidieuse que celle utilisée par la suite, et par conséquent, il avait été décidé de n'utiliser que la moitié des points de contrôle pour garder une vitesse de production satisfaisante. Des tests réalisés en utilisant cette méthode montraient que l'utilisation de la moitié de points de contrôle entraînait une erreur de localisation d'environ 150m sur les points de contrôle escamotés. En considérant que l'erreur est de 0 sur un point de contrôle entré, et si l'erreur varie de façon linéaire, on a donc une erreur moyenne de localisation d'environ 75m. Cette valeur était considérée minimale étant donné la vitesse de déplacement d'un avion (50 m/s) et l'incertitude probablement plus grande liée au marquage des points de contrôle sur la carte topographique au 1 : 50 000.

La procédure a par la suite été améliorée pour correspondre à celle décrite dans la section précédente. Le fait d'entrer les localisations de tous les points de contrôle simultanément au début du processus est plus rapide et rend plus réaliste l'utilisation de tous les points de contrôle plutôt que 50%.

La conséquence directe de ce changement de procédure est que les coordonnées des points de contrôle ne sont pas stockées dans la banque de données finale pour une partie des levés.

4.3 Stockage des données brutes et des points de contrôle

4.3.1 Stockage de la numérisation des levés individuels

Les données finales de numérisation sont stockées dans une base de données MS-Access. Les données de chaque levé sont stockées dans une table distincte. Au départ, les données de chaque levé comprennent une ligne pour chaque mesure de chaque profil. Chaque ligne contient les coordonnées UTM X et Y sur la carte, le nom du profil (U, Th, Th, Total ou Altitude) ainsi que la valeur extraite. Pour chaque profil, la numérisation effectuée correspond à un intervalle de 5 pixels sur la photo originale, ce qui correspond à une distance d'environ 33 mètres au sol.

4.3.2 Correction de l'erreur de localisation systématique

Une erreur systématique de localisation a été détectée lors du processus de contrôle de qualité de la localisation des levés. En effet, un décalage systématique de 150 mètres est observé dans

le sens du vol de l'avion lors du levé. Ce décalage a été corrigé en compilant la direction de vol de l'appareil sur chaque ligne. Les directions de vol ont été stockées dans la table « *Directions_Vol_Avion* » de la base de données Access du projet. En raison de l'espace important que le stockage des données originales et corrigées aurait causé, seules les données corrigées sont sauvegardées dans la base de données finale.

4.3.3 Fusion des données des levés individuels

Ces données ont par la suite été amalgamées dans une seule table comprenant les données de tous les levés, de même que le nom du levé, les valeurs brutes et corrigées des cinq profils ainsi que la localisation dans l'espace en coordonnées UTM. Les points de cette table finale sont espacés de 50m le long des lignes de vol (soit environ 1 seconde de vol) et sont générés par une interpolation serrée et parallèle aux lignes de vols par la méthode de l'inverse de la distance (avec une puissance de 2), avec un rayon de recherche de 50m. Cette interpolation a été effectuée pour remplir les trous laissés par endroits, lorsque l'opérateur a dû enlever des points dans les cas de mauvaise numérisation par l'analyse photographique.

Pour la majorité des levés (voir la section précédente), une table représentant la localisation des points de contrôle est également stockée dans la base de données.

Les formats de noms des tables de la base de données du projet sont :

- « *Points_<nom du feuillet>_DecalageCorrige* » : données brutes de la radiométrie pour chaque levé, corrigées pour le décalage systématique des valeurs le long des lignes de vol (voir [sections 5.3.2 et 5.4.2](#)).
- « *Points_<nom du feuillet>_Controle* » : points de contrôle d'un levé.
- « *Radio_Total* » : données amalgamées de tous les levés, avec interpolation par inverse de la distance au carré avec rayon de recherche de 50m. Comprend toutes les corrections des mesures radiométriques présentées à la [section 6](#).

4.4 Contrôle de la qualité de la numérisation

4.4.1 Contrôle et corrections des erreurs de manipulation lors de la numérisation

La méthode de numérisation semi-automatisée comporte certaines opérations qui peuvent générer des erreurs de manipulation. Les erreurs possibles sont les suivantes :

- L'opérateur n'a pas correctement effacé les points erronés générés lors de l'analyse de la photo du levé (erreur probablement la plus courante).
- L'opérateur n'a pas inscrit la bonne valeur maximale pour l'échelle d'un profil radiométrique.
- L'opérateur a fait une erreur en entrant les coordonnées d'un point de contrôle. Les données de radiométrie sont alors décalées. Normalement, l'opérateur vérifie que les données forment un réseau cohérent de lignes à la fin de la numérisation d'un levé. Ainsi, les erreurs flagrantes de ce type sont facilement détectées par l'opérateur (exemple : une mauvaise coordonnée X d'un point de contrôle sur un levé N-S). Toutefois, d'autres erreurs dans les points de contrôle peuvent être difficiles à détecter par l'opérateur (par exemple une erreur dans la coordonnée Y d'un point de contrôle sur un levé N-S).

Les méthodes de contrôle de qualité suivantes ont été appliquées pour contrôler les sources d'erreurs précédentes :

- Ce type d'erreur est susceptible de créer des points dont les valeurs sont très différentes de celles des points adjacents. Pour détecter ce type d'erreur, un formulaire MS-Access ([Figure 5](#)) a été construit pour identifier, sur chaque levé et chaque profil, les points individuels qui montrent les valeurs les plus différentes des points immédiatement adjacents. Un opérateur peut alors vérifier sur les profils originaux en format papier ou photo si ces valeurs constituent des erreurs ou non. Pour chaque levé et pour chaque profil, les cinq points montrant les différences les plus importantes avec les points adjacents ont été vérifiés. Au total, environ 400 erreurs de manipulation ont été identifiées et corrigées de cette façon.
- Les erreurs dans les valeurs maximales inscrites sur les échelles des profils vont générer des problèmes de nivellement lors de la création des cartes matricielles finales à partir de l'assemblage des levés. Quelques problèmes de nivellement identifiés ont été reliés à ce type de problème et corrigés.
- Une erreur importante dans l'entrée des coordonnées d'un point de contrôle peut causer des incohérences dans l'ordre de numérotation des points de contrôle sur la carte. En effet, les points de contrôle sont normalement numérotés dans l'ordre de leur apparition géographique sur les cartes topographiques. Il est possible de vérifier que les points de contrôle se trouvent dans le bon ordre par une méthode automatisée comparant la numérotation des points et leurs coordonnées. Les points de contrôle n'étant pas dans l'ordre ont été examinés et corrigés s'il y a lieu. Il faut noter toutefois que cette vérification ne permet pas de détecter les erreurs de localisation des points de contrôle d'ampleur plus faible qui ne changeraient pas l'ordre d'apparition des points sur les cartes.

4.4.2 Évaluation de la précision de la localisation géographique des levés

Ces levés radiométriques ont été réalisés avant l'implantation des systèmes de positionnement par satellite. Les points de contrôle présents sur la carte ont été identifiés visuellement par un opérateur lors de l'acquisition initiale des levés. D'autre part, la méthode de numérisation suppose une vitesse constante de l'avion entre les points de contrôle, ce qui en réalité n'est pas toujours vrai, en particulier dans des secteurs avec une topographie accentuée.

Pour évaluer l'ampleur de l'erreur de positionnement *le long des lignes de vol* causée par ces différents facteurs, on a calculé le décalage entre la position des étendues d'eau telle qu'elle apparaît sur les images Landsat-7 TM et les creux radiométriques associés à ces étendues d'eau. La méthode de calcul des décalages est illustrée à la [figure 6](#). La procédure de mesure de ces décalages est la suivante :

- 1) Sur ArcGIS, faire une carte thématique en 10 catégories du compte total de la radiométrie du levé à vérifier.
- 2) Pour chaque plan d'eau d'une largeur de plus de 500m le long des lignes (maximum 5 lacs par levé) :
 - a) Dessiner avec les outils de dessin une ligne représentant l'intervalle formé par les points ayant la plus basse valeur de la carte thématique.
 - b) Faire une copie de cette ligne.

- c) Déplacer la copie de la ligne parallèlement aux lignes de vol pour qu'elle soit centrée sur le plan d'eau tel qu'il apparaît sur l'image Landsat-7.
- d) Mesurer le décalage entre les deux lignes parallèlement aux lignes de vol et la direction de ce décalage (cette mesure représente le décalage de la radiométrie).

Un total de 1170 mesures de décalage a ainsi été effectué. La distance de décalage ainsi que sa direction ont été compilées. Ces mesures peuvent être consultées dans la table « *Decalages_Lacs* ». Il faut noter que cette méthode ne permet pas de calculer l'ampleur des décalages dus à l'éloignement de l'appareil de sa ligne de vol idéalisée (qui reste inconnu).

Un décalage systématique a été observé lors de cet exercice. Il a été noté que la direction du décalage est systématiquement reliée à la direction du vol de l'appareil. Ce décalage est relativement constant peu importe l'année durant laquelle le levé a été effectué (**Tableau 3**). Des vérifications manuelles sur les profils originaux montrent que ces décalages ne sont pas dus à un vice de procédure lors de la numérisation, mais qu'ils sont causés par la méthode d'acquisition originale des données. La cause de ce décalage reste spéculative.

Tableau 3 : Erreurs de localisation (Non corrigé)

Année	Direction_Vol	Decalage (m)
1975	Nord	173
1975	Sud	-65
1976	Nord	158
1976	Sud	-119
1977	Nord	171
1977	Sud	-116
1979	Nord	77
1979	Sud	-145

Si on corrige cette erreur systématique selon la direction de vol de l'appareil lors de l'acquisition des données, on trouve que l'erreur médiane sur le positionnement des levés se rapproche de 0 (**Figure 7**). On peut calculer que 90% des décalages calculés sont de moins de 200 mètres. L'incertitude sur la localisation des levés *le long des lignes de vol* est donc de cet ordre (**± 200m**).

5 CORRECTION DES DONNÉES BRUTES

Différentes corrections doivent être apportées aux données radiométriques brutes pour obtenir des valeurs se rapprochant des véritables concentrations d'éléments radioactifs au sol. Les quatre principales corrections à appliquer aux données radiométriques sont, dans l'ordre : la correction du bruit de fond, la correction de la superposition des spectres, la correction pour l'altitude et la correction de sensibilité (Grasty et Minty, 1995). Les sections suivantes résument de façon synthétique ces différentes corrections. Les méthodes par lesquelles les corrections ont été appliquées dans le cas spécifique des levés de SOQUEM sont également décrites.

5.1 Correction du bruit de fond

5.1.1 Théorie sur la correction

Il existe trois sources principales de radiation formant le bruit de fond dans le cas d'un levé de radiométrie aéroporté : les produits de désintégration du radon dans l'air, la radioactivité de l'appareil et de l'aéronef, et les rayons cosmiques de haute énergie interagissant avec l'air, l'aéronef, et le détecteur (Grasty et Minty, 1995). Différentes méthodes de calibration existent pour tenir compte de ces trois sources de bruit de fond (Grasty et Minty, 1995; IAEA, 1991). Toutefois, les méthodes décrites par ces auteurs demandent que des informations de calibration particulières soient recueillies, ce qui n'a pas été fait dans le cas présent.

Une méthode plus simple, mais plus approximative consiste à mesurer les comptes de chaque élément radioactif au-dessus d'un plan d'eau de taille importante (voir http://gsc.nrcan.gc.ca/gamma/theory_e.php). Cette méthode a été utilisée pour effectuer la correction du bruit de fond. La formule suivante permet de corriger les valeurs pour le bruit de fond :

$$\text{Compte corrigé pour bruit de fond pour la fen\^etre spectrale X (cps)} = \text{Compte brut pour la fen\^etre X (cps)} - \text{bruit de fond calculé pour la fen\^etre X (cps)}$$

5.1.2 Application de la correction pour les levés de SOQUEM

Les levés radiométriques ont été réalisés en un ou plusieurs *blocs de vols*. On définit ici un bloc de vol comme étant un enregistrement continu de la radiométrie sur le support papier du levé. Différents blocs de vols d'un même levé ont pu être réalisés le même jour (souvent un le matin et un autre en après-midi) ou sur des jours différents. Comme les conditions atmosphériques peuvent varier lors de l'acquisition d'un bloc de vol d'un levé par rapport à un autre, il est important d'effectuer des mesures de bruit de fond distinctes pour les différents blocs de vols d'un même levé. La liste complète de tous les blocs de vols des levés (comprenant la date de vol du bloc) est sauvegardée dans la base de données dans la table « *Blocs_Vol_Leves* ».

Pour chaque bloc de vol de chaque levé et pour chaque fen\^etre spectrale (U, Th, K, Total), des mesures du bruit de fond ont été recueillies sur les profils originaux. Ces mesures ont été prises à des endroits où l'appareil se situait au-dessus d'un plan d'eau de taille suffisante. Un exemple typique de l'effet d'un grand plan d'eau sur un profil est donné à la [Figure 8](#). Les mesures de bruit de fond de chaque bloc de vol sont sauvegardées dans la table « *Calibrations_Blocs_Vol_BruitDeFond* ». Un total de 961 mesures de bruit de fond comprenant chacune le bruit de fond pour U, Th, K et Total a été recueilli. La procédure de calcul du bruit de fond est résumée ci-dessous.

1. Sur les photos numériques, identifier à partir du compte total de la radiométrie les creux radiométriques relativement plats (correspondants à des lacs de taille suffisante pour que le signal du creux radiométrique se stabilise).
2. Dessiner sur la photo numérique une ligne horizontale correspondant à ce creux, sur toute sa longueur. La ligne devrait être placée visuellement pour correspondre à la valeur moyenne de la radiométrie sur cette étendue. Mesurer la valeur de la radiométrie correspondant à la hauteur de la ligne ; cette valeur est le bruit de fond mesuré.
3. Faire une copie de cette ligne et la déplacer sur le profil suivant (Th en général) en prenant soin de ne pas changer la position horizontale de la ligne ni sa longueur (c.-à-d. garder la même localisation dans l'espace). La ligne doit également représenter une moyenne de la radiométrie de Th sur sa longueur. La hauteur de la ligne sur le profil est la mesure du bruit de fond.

4. Répéter sur les profils de K, U.

Pour une fenêtre spectrale donnée d'un bloc de vol d'un levé (c.-à-d. U, K, Total ou Th), le bruit de fond global du levé a été assigné en calculant la moyenne arithmétique des mesures de bruit de fond prises sur le bloc de vol. Chaque mesure de la radiométrie appartenant à ce bloc de vol a ensuite été corrigée par la formule précédemment énoncée.

5.2 Correction pour la superposition des spectres (« stripping »)

5.2.1 Théorie sur la correction

Les fenêtres spectrales utilisées pour mesurer les radioéléments d'intérêt (K, U, Th) se superposent partiellement (Grasty et Minty, 1995; [Figures 9, 10 et 11](#)). Ceci signifie que chaque fenêtre spectrale, en plus de représenter la désintégration radioactive associée à la présence de son radioélément, est également influencée par les deux autres radioéléments. La correction de cet effet se nomme « stripping ». Cette superposition a différentes origines. La dispersion de Compton, qui consiste en la diminution progressive de l'énergie des rayons gamma causée par des absorptions successives par les atomes de l'air, explique en grande partie cet effet.

Pour connaître le degré de superposition des fenêtres spectrales, des calibrations sont effectuées à l'aide de sources radioactives pures placées sous l'aéronef avant le vol. À partir de chaque calibration, il est possible de mesurer une série de ratios représentant la superposition des différentes fenêtres (Grasty et Minty, 1995; IAEA-TECDOC-1363). La notation standardisée pour les ratios est la suivante : les lettres α , β , γ sont les ratios des comptes d'une fenêtre spectrale de plus basse énergie par rapport aux comptes d'une fenêtre spectrale de plus haute énergie (ratios dits « normaux »). Les lettres a, b, g représentent à l'inverse les comptes d'une fenêtre spectrale de plus haute énergie par rapport aux comptes d'une fenêtre spectrale de plus basse énergie (ratios dits « inverses »). Il faut noter qu'avant de calculer ces ratios, il faut soustraire de chaque mesure le bruit de fond causé par les différentes sources entourant l'appareil (l'appareil lui-même, le sol autour des sources radioactives, etc.).

- α (ratio normal) : comptes dans la fenêtre de l'uranium divisés par comptes dans la fenêtre du thorium pour une source pure de thorium.
- a (ratio inverse) : comptes dans la fenêtre du thorium divisés par comptes dans la fenêtre de l'uranium pour une source pure d'uranium.
- β (ratio normal) : comptes dans la fenêtre du potassium divisés par comptes dans la fenêtre du thorium pour une source pure de thorium.
- b (ratio inverse) : comptes dans la fenêtre du thorium divisés par comptes dans la fenêtre du potassium pour une source pure de potassium.
- γ (ratio normal) : comptes dans la fenêtre du potassium divisés par comptes dans la fenêtre de l'uranium pour une source pure d'uranium.
- g (ratio inverse) : comptes dans la fenêtre de l'uranium divisés par comptes dans la fenêtre du potassium pour une source pure de potassium.

Par exemple, pour une source pure de thorium, on mesure 65 cps en Th et 34 cps en U. Si le bruit de fond est de 30 cps pour U et de 8 cps pour Th, on aura alors le ratio suivant : $\alpha = (34 \text{ cps} - 30 \text{ cps}) / (65 \text{ cps} - 8 \text{ cps}) = 0.07$.

Les ratios de superposition normaux sont beaucoup plus élevés que les ratios inverses. Ceci est dû au fait que la dispersion de Compton diminue l'énergie des rayons gamma plutôt que de l'augmenter. Il est alors normal de trouver une superposition beaucoup plus grande du spectre d'un radioélément à grande énergie sur celui d'un radioélément à plus faible énergie que l'inverse.

Les différents ratios « normaux » mentionnés précédemment augmentent avec l'altitude. Ces variations sont connues, et les valeurs utilisées ici sont celles données par IEAE (2003), qui sont les suivantes : $\alpha = 0.00049 / m$, $\beta = 0.00065 / m$, $\gamma = 0.00069 / m$.

Pour calculer la valeur corrigée des différents radioéléments à partir des ratios corrigés pour l'altitude, l'expression matricielle suivante peut être utilisée (tirée de http://gsc.nrcan.gc.ca/gamma/gcalc_e.php) :

$$\begin{bmatrix} K' \\ U' \\ Th' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-a\cdot\alpha & a\cdot\beta-\gamma & \alpha\cdot\gamma-\beta \\ b\cdot\alpha-g & 1-b\cdot\beta & g\cdot\beta-\alpha \\ a\cdot g-b & b\cdot\gamma-a & 1-g\cdot\gamma \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} K \\ U \\ Th \end{bmatrix} / \delta$$

$$\delta = 1 - g\cdot\gamma - a\cdot(\alpha - g\cdot\beta) - b\cdot(\beta - \alpha\cdot\gamma)$$

K, U, et Th sont les valeurs en comptes par seconde corrigées pour le bruit de fond, et K', U' et Th' sont les valeurs corrigées pour la superposition des spectres. Les lettres correspondent aux différents ratios calculés de la façon précédemment énoncée.

5.2.2 Application de la correction aux levés de SOQUEM

Dans le cas des levés de SOQUEM des années 70', de telles calibrations utilisant des sources radioactives au sol ont été réalisées pour une certaine proportion des levés, et sont enregistrées au tout début des profils (ex. : [Figure 12](#)). Toutefois, seules des sources pures d'uranium et de thorium ont été utilisées (pas de source de potassium). En pratique, le fait de ne pas avoir utilisé de sources pures de potassium n'est pas un problème majeur puisque la superposition du spectre du potassium sur les fenêtres de l'uranium et du thorium est très faible. En fait, la fenêtre d'énergie principale du potassium est plus faible que celle de l'uranium et du thorium.

Il est normalement recommandé d'effectuer ce genre de calibration une fois par douze mois, ou lorsque les caractéristiques du système changent (on change le détecteur, l'appareil, etc.) (Grasty et Minty, 1995). Dans le cas présent, l'historique des changements possibles effectués au système n'est pas connu. Toutes ces calibrations ont été compilées dans une base de données, et les différents ratios ont été calculés pour chacune de ces calibrations (27 calibrations au total). Les valeurs du bruit de fond utilisées pour la correction ont été prélevées au début de l'enregistrement de l'appareil, avant que ne soient placées les sources. Les différentes années auxquelles les levés ont été réalisés ont également été compilées. Les données de calibration se trouvent dans la table « *Calibrations_Superposition_Spectrale_Obs* » de la base de données et sont également présentées à l'[annexe 2](#).

On peut noter qu'à l'intérieur des levés réalisés au cours d'une même année, les différents ratios sont relativement comparables (avec tout de même des variations importantes). Cependant, des différences beaucoup plus importantes sont notées entre les différentes années. Ceci implique que les caractéristiques du système ou des sources de calibration ont varié de façon considérable d'une année à l'autre. Comme les ratios ont peu varié à l'intérieur d'une même année, les moyennes arithmétiques des ratios des calibrations effectués la même année ont été calculées (voir l'[annexe 2](#)). Ces moyennes ont par la suite servi à corriger les levés réalisés durant l'année en question.

5.3 Correction pour l'atténuation dans l'air

5.3.1 Théorie sur la correction

L'intensité du signal radiométrique dans un levé aéroporté diminue exponentiellement avec l'augmentation de l'altitude entre le sol et l'appareil. Ceci est dû à l'absorption de la radiation gamma par l'air ambiant. La température et la pression de l'air ont également une certaine influence sur cette absorption. La formule générale est la suivante (Grasty et Minty, 1995) :

$$N_{corr} = N_{obs} e^{-\mu(h_0 - h)},$$

N_{corr} est la valeur corrigée pour l'atténuation dans l'air, N_{obs} est la valeur corrigée pour le bruit de fond et la superposition des spectres, μ est le coefficient d'atténuation, h_0 est l'altitude nominale du levé, et h l'altitude à laquelle l'observation N_{obs} a été effectuée.

Le paramètre à déterminer pour effectuer cette correction est μ . Ce coefficient est normalement calculé en effectuant une série de vols à différentes altitudes au-dessus d'un même secteur. Par la suite, on peut déterminer μ grâce à une régression exponentielle sur les valeurs mesurées à différentes altitudes (Grasty et Minty, 1995).

5.3.2 Application de la correction aux levés de SOQUEM

Aucune donnée suffisante sur les coefficients d'atténuation de la radiométrie dans l'air n'est disponible pour les levés numérisés. Les valeurs des coefficients d'atténuations ont été choisies à partir de valeurs standards pour U, Th, K et Total provenant d'un calculateur de corrections radiométriques en ligne (http://gsc.nrcan.gc.ca/gamma/gcalc_e.php). Les valeurs de μ utilisées sont les suivantes :

Tableau 4 : Valeurs de μ utilisées

	μ
K	0.008255
U	0.007963
Th	0.00645

5.4 Correction de sensibilité

5.4.1 Théorie sur la correction

La dernière correction à appliquer à un levé radiométrique aéroporté vise à transformer les comptes par seconde mesurés par l'appareil en concentrations équivalentes au sol en ppm (U et Th) ou en % (K). La transformation s'effectue par une simple équation linéaire en divisant le compte corrigé avec toutes les corrections précédentes par la sensibilité déterminée par calibration.

La sensibilité se calcule en mesurant la radiométrie en cps d'un terrain dont la concentration en radioéléments est déjà connue. La sensibilité peut alors être calculée sous la forme de cps / ppm ou de cps / %.

5.4.2 Application de la correction aux levés de SOQUEM

Les calibrations pour la sensibilité ne sont pas disponibles pour les levés de SOQUEM numérisés. De plus, en l'absence de superposition de ces levés avec des levés correctement calibrés (ex. : levés fédéraux), il est impossible de connaître la correction de sensibilité. Il est à noter que certains levés (non numérisés) du feuillet 31J se superposent avec les levés fédéraux. Toutefois, ces levés ayant été réalisés à une époque différente des levés numérisés, soit à la fin des années 60', ils ne peuvent être considérés pour une comparaison de la sensibilité des levés numérisés dans le cadre de ce projet.

Pour obtenir un nivellement correct lors de l'assemblage des levés, une correction de sensibilité *relative* a été apportée aux levés. Il a été supposé au départ que tous les levés effectués sur une même année ont une sensibilité semblable ; une mesure de sensibilité relative est donc calculée pour l'ensemble des levés d'une année. Les levés réalisés en 1976 (les plus nombreux dans cette compilation) ont été considérés comme la base ; une sensibilité relative de 1.0 (c.-à-d. aucune correction) a été assignée à ces levés. Il est possible de calculer la sensibilité *relative* des levés des autres années, en comparant leurs données avec ceux de 1976, dans des secteurs où ils sont adjacents ou se superposent avec ceux de 1976. La technique pour calculer la sensibilité relative est la suivante :

- 1) Deux cas possibles :
 - a) Cas de levés adjacents sans superposition : dans chaque levé, sélectionner les points à moins de 1km de la limite entre les deux levés. Il faut s'assurer que la géologie et la physiographie sont semblables de chaque côté de cette limite pour que la comparaison soit valable.
 - b) Cas de levés montrant une superposition : sélectionner les points des deux levés situés dans la zone de superposition.
- 2) Pour calculer la sensibilité relative des levés, faire une régression linéaire à partir des centiles 30 à 80 (intervalles de 10) des points sélectionnés en 1 (pour chaque levé). Normalement, seul un multiplicateur (c.-à-d. la pente) devrait être nécessaire pour effectuer la correction.

En pratique, il y a relativement peu de superposition ou d'adjacence entre des levés réalisés en des années différentes, sauf entre l'année 1976 et 1977. Pour arriver à calculer des sensibilités relatives pour toutes les années, il a fallu faire une série de comparaisons en cascade. Évidemment, la correction de sensibilité finale pour une année située au bout d'une cascade de comparaison (ex : 1975-2) est une composition des comparaisons qui précèdent. Le graphe des calculs de sensibilités en cascade peut être illustré de la façon suivante :

- 1976 → 1977 (trois différentes paires de levés utilisés)
- 1977 → 1975-1 (22C/14-E vs. 22C/14 Détail)
- 1977 → 1979 (22C/14-E vs. 22C/14_C14L2)
- 1979 → 1975-2 (22D02 vs. 22D07-O)

L'[annexe 3](#) donne le détail des sensibilités relatives calculées.

5.4.3 Note pour les valeurs en uranium des levés de 1977

Il a été noté que les valeurs en uranium des levés effectués en 1977 sont en règle générale très proches de la limite de détection de l'appareil utilisé lors de l'acquisition de ces levés. Il est

évident que l'appareillage utilisé en 1977 était différent. La conséquence de ce manque de sensibilité pour le spectre de l'uranium est qu'en général, les valeurs en uranium de ces levés sont incohérentes pour les valeurs moyennes. Ceci peut être facilement observé par le fait qu'on ne peut percevoir sur ces levés les creux radiométriques formés par les cours d'eau. Par contre, les valeurs élevées (anomalies) restent valables. En conséquence, les valeurs en uranium de ces levés n'ont pas été corrigées pour la sensibilité relative. De plus, une carte matricielle séparée pour l'uranium des levés réalisés en 1977 a été produite.

5.5 Stockage des corrections dans la base de données

Les données corrigées de radiométrie sont stockées dans la table « *Radio_Total* » de la base de données :

- <Nom_Du_Profil>_BRUT : données brutes
- <Nom_Du_Profil>_CORRIGE_BG : données corrigées pour le bruit de fond
- <Nom_Du_Profil>_CORRIGE_STRIPING : données corrigées pour le bruit de fond et la superposition des fenêtres spectrales (« stripping »)
- <Nom_Du_Profil>_CORRIGE_AIR : données corrigées pour le bruit de fond, la superposition des fenêtres spectrales et l'atténuation dans l'air
- <Nom_Du_Profil>_CORRIGE_SENSIBILITES_RELATIVES : données corrigées pour le bruit de fond, la superposition des fenêtres spectrales, l'atténuation dans l'air et la sensibilité relative des levés.

6 PRODUCTION DE CARTES MATRICIELLES DE LA RADIOMÉTRIE

Une série de cartes matricielles a été produite à partir des données corrigées pour la sensibilité relative des levés. L'interpolation a été effectuée par la méthode de l'inverse de la distance à l'aide du module « Geostatistical Analyst » du logiciel ArcMap. La méthode de l'inverse de la distance, quoique moins rigoureuse que d'autres méthodes d'interpolation comme le krigeage, a l'avantage important d'être beaucoup plus rapide d'exécution. La quantité importante de données à traiter lors de ce projet a fait que cette dernière considération est devenue la plus importante. Les paramètres suivants ont été utilisés :

- Exposant : 2
- Rayon de recherche de l'interpolation : 1500m
- Nombre maximum de voisins dans le rayon de recherche : 50
- Taille des cellules finale : 250m.

Le rayon de recherche de 1.5 km permet d'obtenir en temps normal (pour les levés espacés à 1km, soit la grande majorité) l'influence d'au moins deux lignes de vol pour le calcul de chaque cellule de la carte interpolée (voir un exemple à la [Figure 13](#)).

Des cartes interpolées ont été produites pour K, U, Th, Total, U / Th, K / Th et K / U.

7 CONCLUSIONS

La mise en valeur de ces données radiométriques, qui étaient jusqu'à maintenant inutilisées, permettra d'identifier des secteurs intéressants pour l'exploration de différentes substances dans le Grenville.

REMERCIEMENTS

Ce projet n'aurait pas pu être réalisé sans la participation essentielle des personnes et organisations suivantes : SOQUEM, pour avoir fourni les copies papier des levés radiométriques utilisés, Rob Shives de la Commission Géologique du Canada pour ses conseils concernant la correction des données radiométriques et Michel Gauthier de l'UQAM, qui a initialement proposé le projet de recherche sur l'uranium dans le Grenville et a été à l'origine de la mise en commun des données de radiométrie de SOQUEM dans le cadre du CONSOREM.

RÉFÉRENCES

- Grasty, R.L., Minty, B.R.S. 1995. A guide to the technical specifications for airborne gamma-rays surveys Australian Geological Survey Organisation, Record 1995/60.
- IAEA, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma-ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363, International Atomic Energy Agency, Vienna

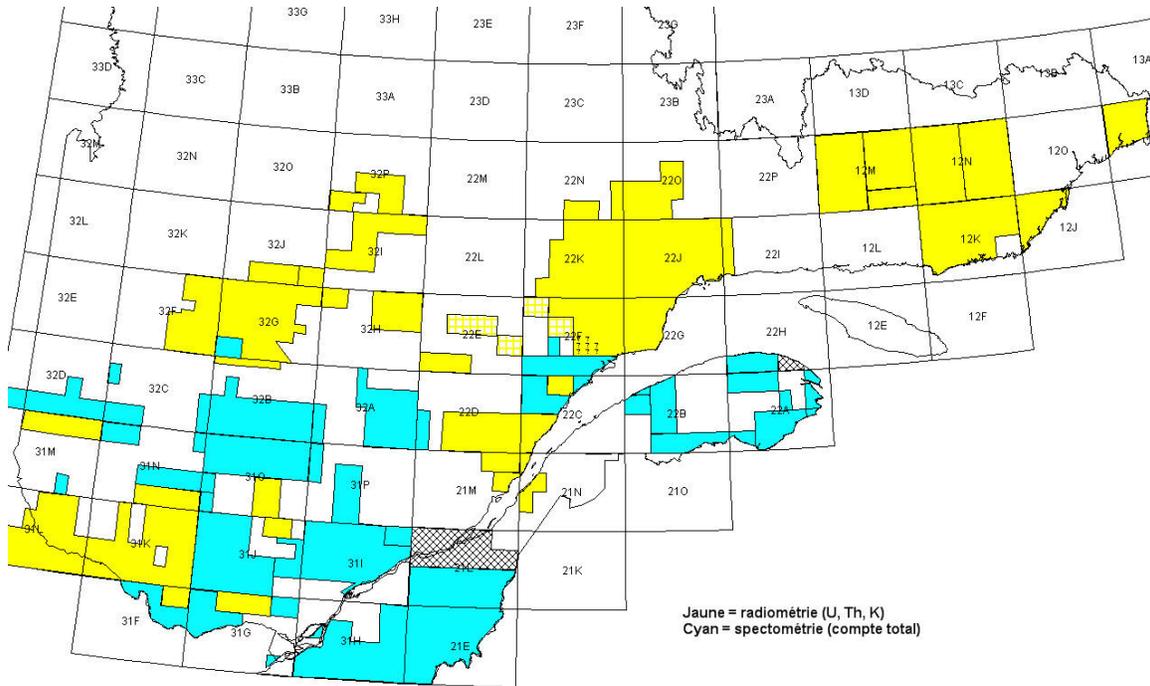


Figure 1. Couverture des levés radiométriques de SOQUEM disponibles dans le cadre du projet. Il est à noter que pour la spectrométrie (U, K, Th), certains des feuillets ne sont couverts que partiellement par les levés. [Retour au texte](#)

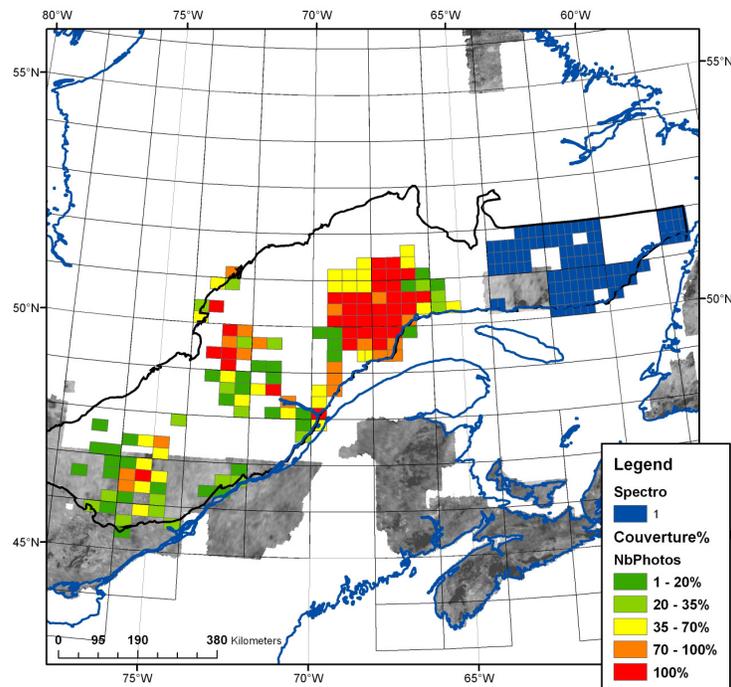


Figure 2. Couverture des levés radiométriques. [Retour au texte](#)



Figure 3. Trépied utilisé pour la photographie des levés. [Retour au texte](#)

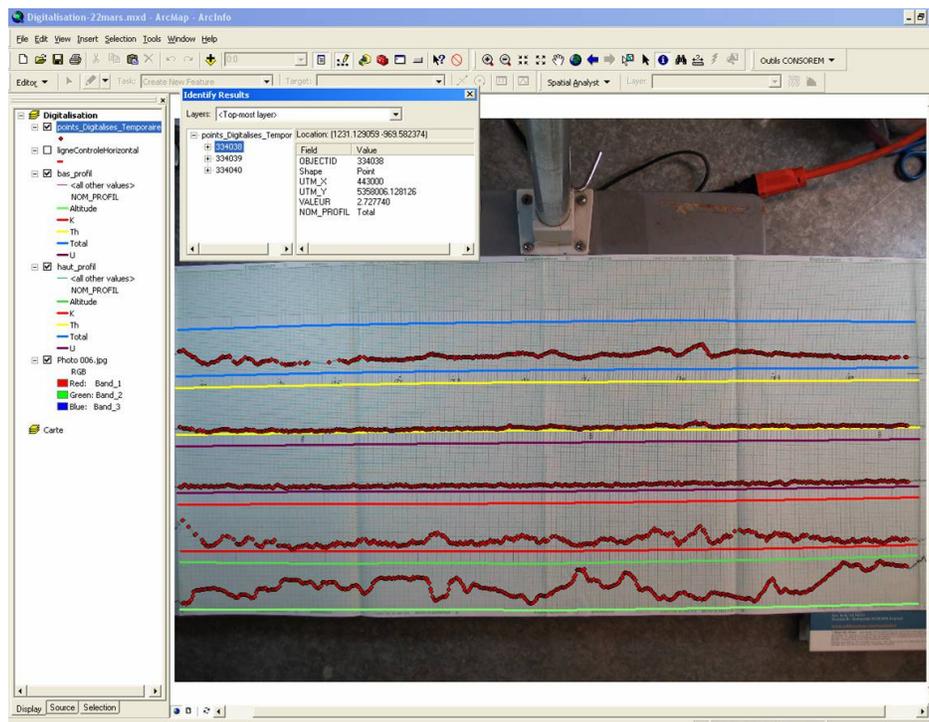


Figure 4. Capture d'écran typique du logiciel de numérisation sur ArcGIS. [Retour au texte](#)

Nom du levé	Profil	Nb d'écart-types pour identification des anomalies					
points_32P04_	K	6	<input type="button" value="OK"/>				
LISTE DES ANOMALIES POSSIBLES DU LEVÉ							
OBJECTID	UTM_X	UTM_Y	VALEUR	DIFFERENCE	NOM_PROFIL	NOM_IMAGE	
55422	600712.5	5676000	168.9	53.9	K	32P04_00020.jpg	
47130	594308.6	5673000	42.7	52.1	K	32P04_00017.jpg	
51451	602241.7	5674000	38.9	66.3	K	32P04_00018.jpg	
46202	595917.3	5672000	36.8	53.7	K	32P04_00016.jpg	

Figure 5. Formulaire Ms-Access de vérification des valeurs de radiométrie erronées. [Retour au texte](#)

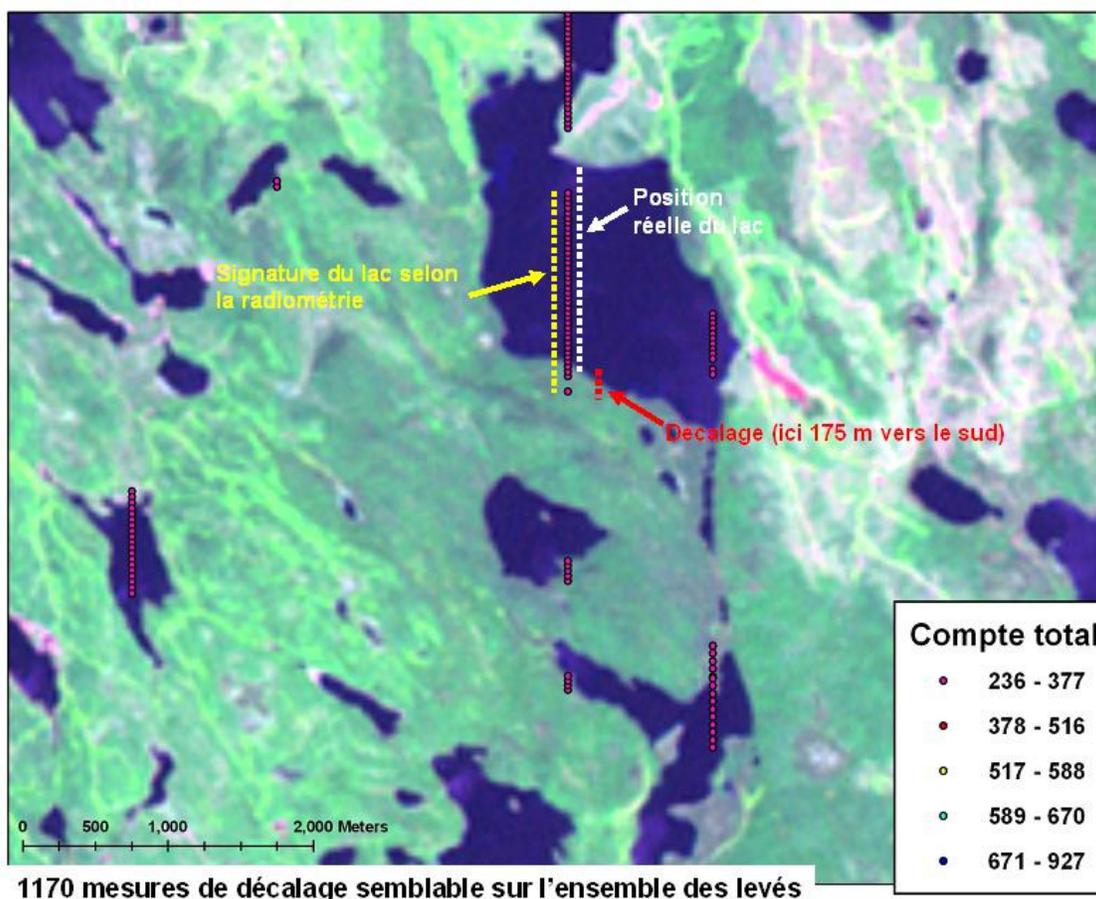


Figure 6. Exemple de décalage le long d'une ligne de vol entre la position réelle d'un plan d'eau (trait blanc) et la signature radiométrique du plan d'eau (trait rouge et jaune). [Retour au texte](#)

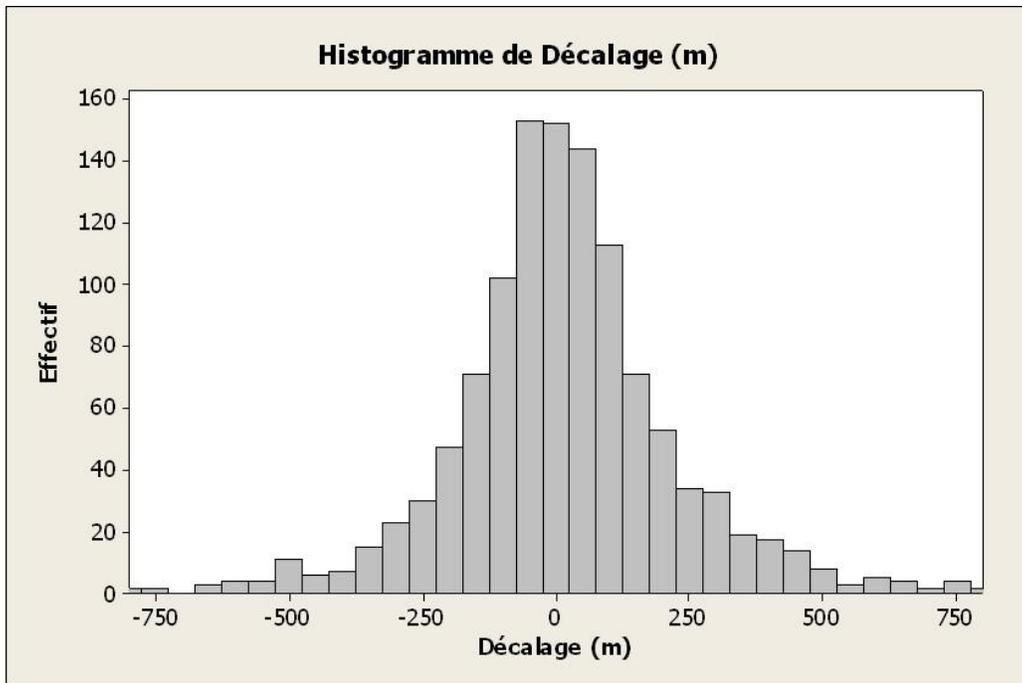


Figure 7. Fréquence des décalages observés entre la signature radiométrique des lacs et leur position sur les images Landsat-7 (n = 1130). [Retour au texte](#)

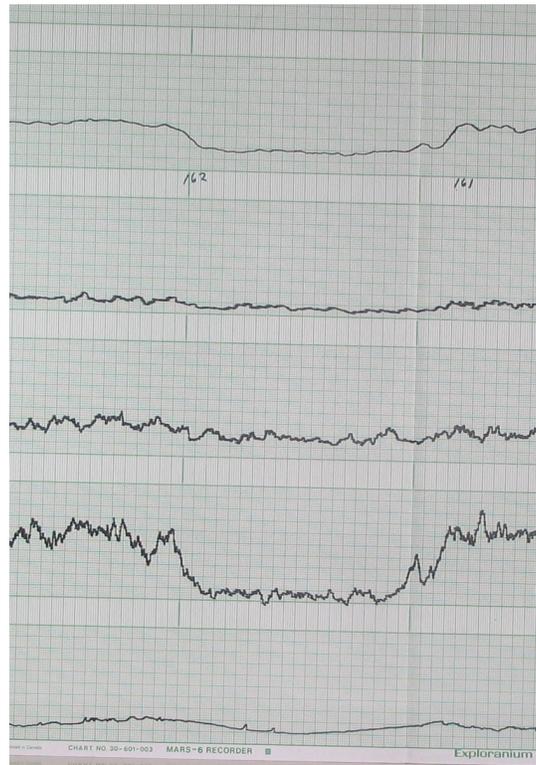


Figure 8. Exemple d'un creux radiométrique créé par la présence d'un plan d'eau. [Retour au texte](#)

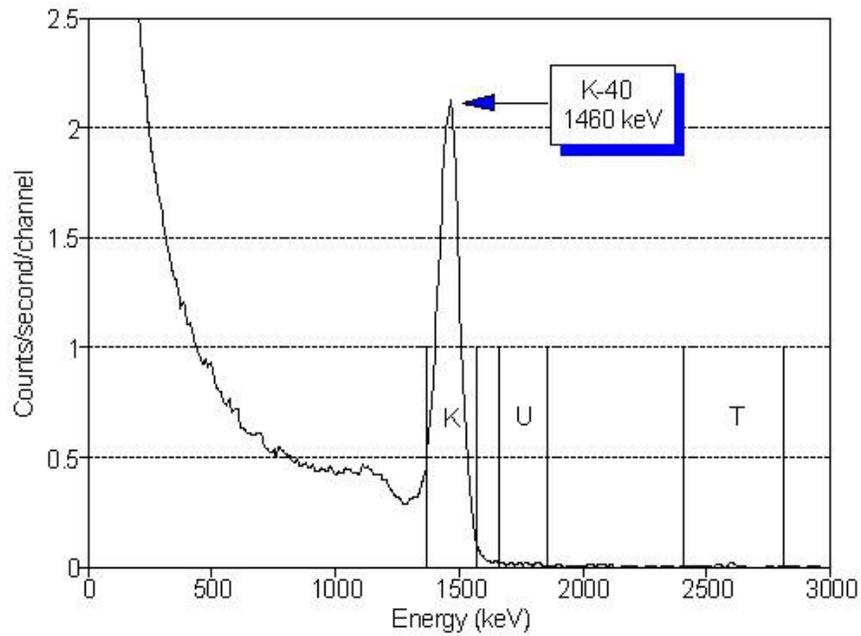


Figure 9. Signature spectrale du potassium obtenu sur un bloc de calibration. Tiré de Grasty et Minty (1995). [Retour au texte](#)

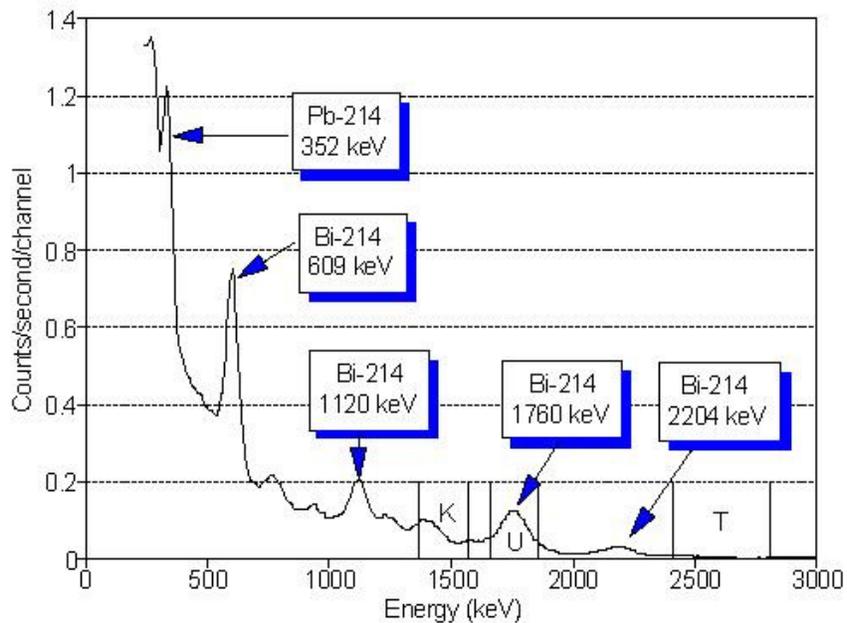


Figure 10. Signature spectrale de l'uranium obtenu sur un bloc de calibration. Noter la superposition importante sur la fenêtre du potassium. Tiré de Grasty et Minty (1995). [Retour au texte](#)

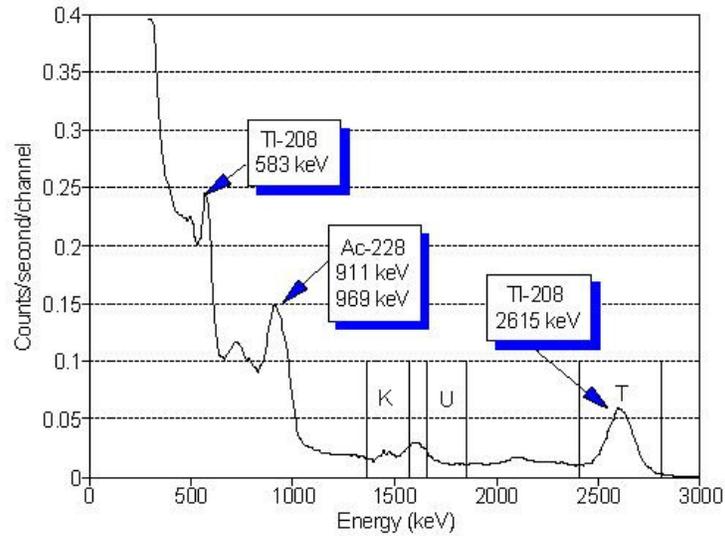


Figure 11. Signature spectrale du thorium obtenu sur un bloc de calibration. Noter la superposition importante sur la fenêtre de l'uranium et du potassium. Tiré de Grasty et Minty (1995). [Retour au texte](#)



Figure 12. Exemple de calibration à partir de sources radioactives, levé 22C/04 (1979). [Retour au texte](#)

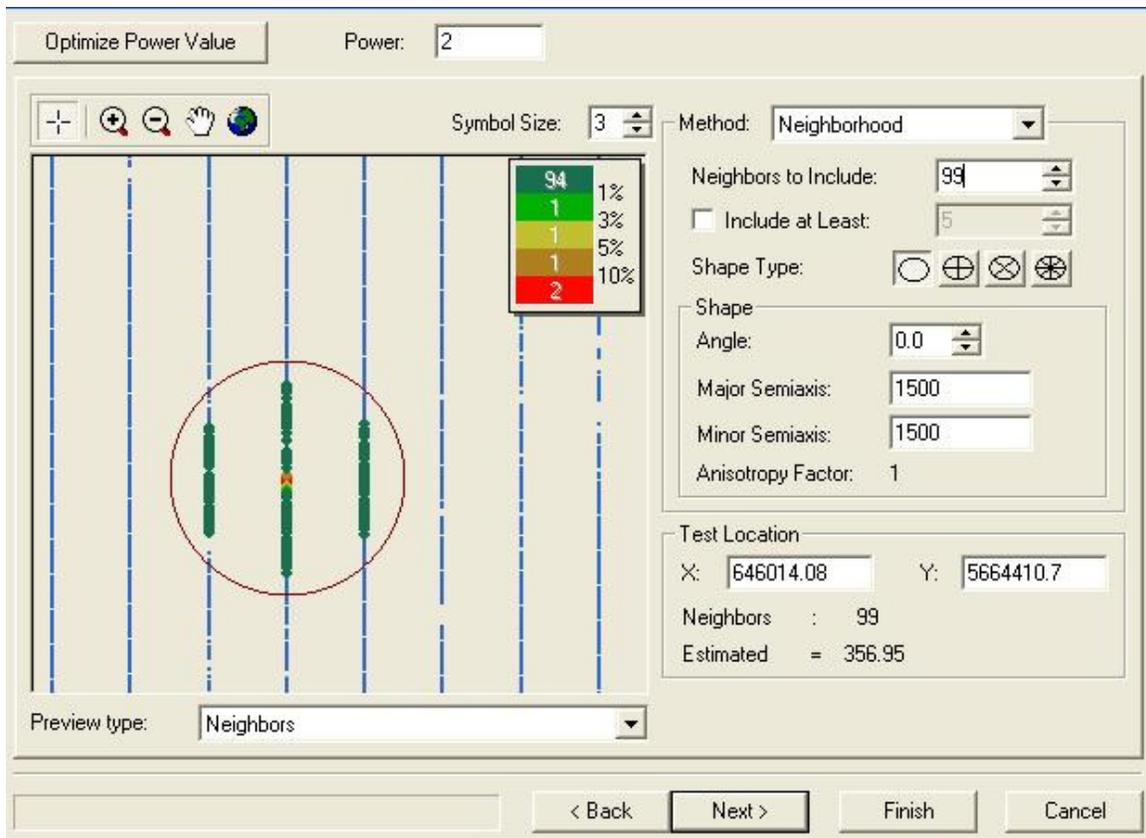


Figure 13. Rayon de recherche de la méthode d'interpolation des valeurs pour la production des cartes matricielles. [Retour au texte](#)

ANNEXE 1 : LISTE DES LEVÉS NUMÉRISÉS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

Leve	Boite	FUSEAU_UTM_ NAD27	DATE_DEBUT	Calibration_ Stripping	Calibration_ Sensibilite	NB_BLOC S_VOL	NB_CALIBRATIONS _BRUITFOND	NB_LIGNES _VOL	NB_PHOTOS
21M/16	Ex-25 (105426)	U19	21/08/1979	Leves_1979	1979	1	1	7	4
21N/13 O	Ex-25 (105426)	U19	16/08/1979	Leves_1979	1979	1	5	24	24
22C/04	Ex-26	U19	17/08/1979	Leves_1979	1979	2	10	31	37
22C/04 S	Ex-26	U19	22/08/1979	Leves_1979	1979	1	5	7	8
22C/05	Ex-26	U19	25/08/1975	Leves_1975	19751	4	6	17	15
22C/11	Ex-26	U19	24/08/1975	Leves_1975	19751	7	17	83	60
22C/12_C12L 1 Anomalies	Ex-26	U19	27/08/1979	Leves_1979	1979	1	5	13	9
22C/12_C13L 1 Anomalies	Ex-26	U19	27/08/1979	Leves_1979	1979	1	1	5	2
22C/12_C13L 2 Anomalies	Ex-26	U19	27/08/1979	Leves_1979	1979	1	5	7	9
22C/12_C13L 3 Anomalies	Ex-26	U19	27/08/1979	Leves_1979	1979	1	1	6	2
22C/14 Detail	Ex-26	U19	28/09/1975	Leves_1975	19751	7	21	83	56
22C/14 E	Ex-26	U19	25/07/1977	Leves_1977	1977	1	5	29	17
22C/14_C14L 1 Anomalies	Ex-26	U19	04/06/1978	Leves_1979	1978	2	9	20	16
22C/14_C14L 2 Anomalies	Ex-26	U19	05/06/1978	Leves_1979	1978	1	1	7	5
22D/01	Ex-26	U19	17/08/1979	Leves_1979	1979	1	5	12	7
22D/02	Ex-26	U19	13/08/1979	Leves_1979	1979	2	6	21	14
22D/03	Ex-26	U19	12/08/1979	Leves_1979	1979	1	1	7	4
22D/07	Ex-26	U19	12/08/1979	Leves_1979	1979	2	8	25	21
22D/07 E	Ex-26	U19	01/08/1975	Leves_1975	19752	1	5	20	9
22D/07 O	Ex-26	U19	01/08/1975	Leves_1975	19752	1	5	17	13
22E/03	Ex-27	U19	09/08/1979	Leves_1979	1979	1	1	10	4
22E/04	Ex-27	U19	10/08/1979	Leves_1979	1979	2	6	12	8
22E/11	Ex-27	U19	08/08/1979	Leves_1979	1979	1	3	19	9

22E/12	Ex-27	U19	07/08/1979	Leves_1979	1979	2	6	27	22
22F/03 A	Ex-27	U19	27/08/1979	Leves_1979	1979	1	4	23	18
22F/03 B	Ex-27	U19	27/08/1979	Leves_1979	1979	1	2	13	7
22F/06 O	Ex-27	U19	26/08/1979	Leves_1979	1979	1	4	8	3
22F/08 E	Ex-27	U19	13/06/1976	Leves_1976	1976	3	13	18	25
22F/08 O	Ex-27	U19	17/06/1976	Leves_1976	1976	2	7	18	25
22F/09 E	Ex-27	U19	13/06/1976	Leves_1976	1976	1	5	18	24
22F/09 O	Ex-27	U19	12/06/1976	Leves_1976	1976	1	5	18	25
22F/10 E	Ex-27	U19	10/06/1976	Leves_1976	1976	2	6	17	26
22F/10 O	Ex-27	U19	09/06/1976	Leves_1976	1976	2	8	18	26
22F/11 O	Ex-27	U19	26/08/1979	Leves_1979	1979	1	5	12	6
22F/13 O	Ex-27	U19	26/08/1979	Leves_1979	1979	1	5	8	5
22F/14 Bloc P	Ex-27	U19	17/06/1977	Leves_1977	1977	1	5	12	7
22F/14 E	Ex-27	U19	10/07/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	24
22F/15 E	Ex-27	U19	03/07/1976	Leves_1976	1976	1	5	18	23
22F/15 O	Ex-27	U19	03/07/1976	Leves_1976	1976	2	10	17	23
22F/16 E	Ex-27	U19	01/07/1976	Leves_1976	1976	2	8	18	24
22F/16 O	Ex-27	U19	01/07/1976	Leves_1976	1976	2	5	18	25
22G/05 E	Ex-27	U19	08/06/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	19
22G/05 O	Ex-27	U19	07/06/1976	Leves_1976	1976	3	12	18	37
22G/06 O	Ex-28	U19	04/06/1976	Leves_1976	1976	1	5	19	17
22G/11 E	Ex-28	U19	18/06/1976	Leves_1976	1976	1	4	6	6
22G/11 O	Ex-28	U19	03/06/1976	Leves_1976	1976	3	8	27	27
22G/12 O	Ex-28	U19	06/06/1976	Leves_1976	1976	3	9	18	26
22G/13 E	Ex-28	U19	30/06/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	25
22G/13 O	Ex-28	U19	30/06/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	20
22G/14 E	Ex-28	U19	18/06/1976	Leves_1976	1976	1	5	18	21
22G/14 O	Ex-28	U19	19/06/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	25
22G/15 O	Ex-28	U19	19/06/1976	Leves_1976	1976	1	4	5	2
22I/05 E	Ex-28	U19	20/07/1977	Leves_1977	1977	1	4	10	13
22I/06 O	Ex-28	U19	05/09/1977	Leves_1977	1977	1	5	18	21
22I/12 O	Ex-28	U19	21/08/1977	Leves_1977	1977	1	5	10	13
22I/13 O	Ex-28	U19	22/08/1977	Leves_1977	1977	1	1	9	7

22J/02 O	Ex-28	U19	19/06/1976	Leves_1976	1976	1	9	36	36
22J/03 E	Ex-28	U19	21/06/1976	Leves_1976	1976	3	3	17	24
22J/03 O	Ex-28	U19	22/06/1976	Leves_1976	1976	2	2	18	25
22J/04 E	Ex-28	U19	22/08/1976	Leves_1976	1976	3	4	18	26
22J/04 O	Ex-28	U19	04/08/1976	Leves_1976	1976	2	8	18	24
22J/05 E	Ex-28	U19	03/09/1976	Leves_1976	1976	2	6	18	24
22J/05 O	Ex-28	U19	18/08/1976	Leves_1976	1976	4	7	17	23
22J/06 E	Ex-28	U19	28/06/1976	Leves_1976	1976	2	9	18	25
22J/06 O	Ex-28	U19	22/06/1976	Leves_1976	1976	3	3	18	26
22J/07 O	Ex-28	U19	28/06/1976	Leves_1976	1976	2	8	17	22
22J/08 E	Ex-29	U19	22/07/1977	Leves_1977	1977	2	4	10	12
22J/08 O	Ex-29	U19	23/07/1977	Leves_1977	1977	2	6	9	11
22J/09 E	Ex-29	U19	03/09/1977	Leves_1977	1977	2	6	18	24
22J/09 O	Ex-29	U19	03/09/1977	Leves_1977	1977	2	3	18	27
22J/10 E	Ex-29	U19	27/08/1977	Leves_1977	1977	3	10	19	27
22J/11 E	Ex-29	U19	23/06/1976	Leves_1976	1976	2	5	18	25
22J/11 O	Ex-29	U19	27/06/1976	Leves_1976	1976	2	8	17	22
22J/12 E	Ex-29	U19	05/07/1976	Leves_1976	1976	2	9	18	24
22J/12 O	Ex-29	U19	12/07/1976	Leves_1976	1976	3	9	18	23
22J/13 E	Ex-29	U19	31/08/1976	Leves_1976	1976	2	10	17	23
22J/14 E	Ex-29	U19	23/06/1976	Leves_1976	1976	2	10	17	24
22J/14 O	Ex-29	U19	26/08/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	23
22J/15 O	Ex-29	U19	08/08/1977	Leves_1977	1977	1	5	4	6
22J/16 E	Ex-29	U19	24/08/1977	Leves_1977	1977	3	9	18	14
22K/01 E	Ex-29	U19	09/09/1976	Leves_1976	1976	3	15	18	21
22K/01 O	Ex-29	U19	10/09/1976	Leves_1976	1976	3	11	18	23
22K/02 E	Ex-29	U19	02/08/1976	Leves_1976	1976	2	4	21	24
22K/02 O	Ex-29	U19	16/07/1976	Leves_1976	1976	3	7	28	25
22K/03 E	Ex-29	U19	15/07/1976	Leves_1976	1976	2	10	28	24
22K/03 O	Ex-29	U19	11/07/1976	Leves_1976	1976	2	10	28	24
22K/04 E	Ex-29	U19	11/07/1976	Leves_1976	1976	1	5	18	24
22K/06 E	Ex-29	U19	30/07/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	24
22K/06 O	Ex-29	U19	15/07/1976	Leves_1976	1976	1	5	18	22

22K/07 O	Ex-29	U19	30/07/1976	Leves_1976	1976	1	5	17	22
22K/08 E	Ex-29	U19	01/09/1976	Leves_1976	1976	3	11	18	24
22K/08 O	Ex-29	U19	09/09/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	24
22K/09 E	Ex-30	U19	12/07/1976	Leves_1976	1976	2	8	17	23
22K/09 O	Ex-30	U19	14/07/1976	Leves_1976	1976	2	4	18	23
22K/10 O	Ex-30	U19	21/08/1976	Leves_1976	1976	2	6	18	23
22K/11 E	Ex-30	U19	18/06/1977	Leves_1977	1977	1	5	17	25
22K/14 E	Ex-30	U19	22/06/1977	Leves_1977	1977	1	4	18	28
22K/15 E	Ex-30	U19	18/08/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	23
22K/15 O	Ex-30	U19	24/06/1977	Leves_1977	1977	1	5	17	24
22K/16 E-O	Ex-30	U19	19/08/1976	Leves_1976	1976	3	15	35	46
22N/01 E	Ex-30	U19	09/08/1976	Leves_1976	1976	1	5	18	24
22N/02 E	Ex-30	U19	01/07/1977	Leves_1977	1977	1	5	6	7
22N/02 O	Ex-30	U19	07/07/1977	Leves_1977	1977	1	2	17	17
22N/03 E	Ex-30	U19	01/07/1977	Leves_1977	1977	1	5	18	22
22N/08 E	Ex-30	U19	07/08/1976	Leves_1976	1976	2	10	18	23
22O/01 O	Ex-30	U19	13/08/1977	Leves_1977	1977	1	5	7	10
22O/02 E	Ex-30	U19	28/08/1977	Leves_1977	1977	3	15	18	26
22O/02 O	Ex-30	U19	17/07/1977	Leves_1977	1977	1	5	18	24
22O/03 E	Ex-30	U19	12/07/1977	Leves_1977	1977	1	5	18	22
22O/03 O	Ex-30	U19	08/08/1976	Leves_1976	1976	3	7	18	25
22O/04	Ex-30	U19	09/08/1976	Leves_1976	1976	6	13	36	50
22O/05 E	Ex-30	U19	08/08/1976	Leves_1976	1976	1	3	17	22
22O/05 O	Ex-30	U19	08/08/1976	Leves_1976	1976	3	7	18	25
22O/06 E	Ex-30	U19	23/07/1977	Leves_1977	1977	3	7	18	24
22O/06 O	Ex-30	U19	29/07/1977	Leves_1977	1977	4	9	17	24
22O/07 O	Ex-30	U19	13/09/1976	Leves_1976	1976	1	7	20	26
22O/10 O	Ex-30	U19	03/08/1977	Leves_1977	1977	2	7	17	23
22O/11 E	Ex-30	U19	28/07/1977	Leves_1977	1977	3	8	18	23
31O/02 E	Ex-35	U18	26/05/1976	Leves_1976	1976	2	8	27	27
31O/02 O A	Ex-35	U18	26/05/1976	Leves_1976	1976	1	3	27	12
31O/02 O B	Ex-35	U18	27/05/1976	Leves_1976	1976	1	4	3	3
31O/06 E	Ex-35	U18	27/05/1976	Leves_1976	1976	2	10	28	22

31O/07 E	Ex-35	U18	28/05/1976	Leves_1976	1976	2	10	28	28
31O/07 O A	Ex-35	U18	27/05/1976	Leves_1976	1976	1	5	28	28
32H/09	Ex-38	U18	05/08/1979	Leves_1979	1979	2	3	12	11
32H/10	Ex-38	U18	31/08/1975	Leves_1975	19752	3	9	30	37
32H/15	Ex-38	U18	18/09/1976	Leves_1976	1976	3	11	27	44
32H/16	Ex-38	U18	08/10/1976	Leves_1976	1976	4	16	27	34
32H/2 E-O	32H-32A-22D	U18	30/08/1975	Leves_1975	19752	5	12	29	53
32I/04	Ex-38	U18	01/06/1979	Leves_1979	1979	2	8	15	17
32I/05	Ex-38	U18	12/08/1977	Leves_1977	1977	2	7	5	8
32I/06	Ex-38	U18	14/08/1977	Leves_1977	1977	3	15	35	47
32I/14	Ex-38	U18	31/07/1977	Leves_1977	1977	3	11	24	29

ANNEXE 2 : RATIOS ALPHA, BETA, GAMMA, A, B ET C CALCULÉS À PARTIR DES CALIBRATIONS DE SOURCES RADIOACTIVES

Calibrations réalisées sur différents levés

Levé	Ensemble	Date	Qualite	K_BF	U_BF	Th_BF	K_Source_U	U_Source_U	Th_Source_U
22C14	Leves_1975	15/08/1975	Bonne à mauvaise	90	24	22	90	90	26
22C11	Leves_1975	23/08/1975	Mauvaise à bonne	58	15	15	70	70	18
22C5	Leves_1975	25/08/1975	Bonne à mauvaise	60	20	14	70	80	18
22C14_2	Leves_1975	28/08/1975	Bonne	160	20	16	160	100	24
32H10	Leves_1975	31/08/1975	Bonne	28	18	12	32	90	22
22G12_E	Leves_1976	01/06/1976	Bonne	10	25	6	20	145	15
22G14_O	Leves_1976	01/06/1976	Bonne	22	30	8	30	170	20
22G6_O	Leves_1976	01/06/1976	Bonne	15	30	7	25	160	15
22J3_E	Leves_1976	01/06/1976	Bonne	20	32	10	30	170	18
22F9_E	Leves_1976	13/06/1976	Bonne	8	24	6	20	170	17
22F8_O	Leves_1976	18/06/1976	Bonne	15	28	7	28	170	18
22J12_E	Leves_1976	02/07/1976	Bonne	10	28	6	20	170	18
22F16_O	Leves_1976	03/07/1976	Bonne	12	24	8	20	170	20
22K4_E	Leves_1976	11/07/1976	Bonne	12	20	5	22	150	16
32H15	Leves_1976	21/09/1976	Excellente	10	26	8	10	160	18
32H16	Leves_1976	30/09/1976	Bonne	15	24	8	30	150	16
22I12_O	Leves_1977	01/08/1977	Excellente	15	30	4	250	360	16
22O1_O	Leves_1977	01/08/1977	Excellente	70	30	16	270	350	20
22O10_O	Leves_1977	01/08/1977	Excellente	60	40	12	240	360	20
22O2_O	Leves_1977	01/08/1977	Excellente	70	40	18	290	400	30
22J15_O	Leves_1977	08/08/1977	Excellente	70	24	12	320	380	20
22E11	Leves_1979	08/08/1979	Excellente	40	32	6	560	680	40
22E3	Leves_1979	09/08/1979	Excellente	40	24	4	540	704	36
22D7	Leves_1979	12/08/1979	Excellente	32	24	4	520	704	36
22C4_O	Leves_1979	17/08/1979	Excellente	32	32	8	512	690	40
22C12	Leves_1979	27/08/1979	Excellente	48	30	8	540	720	42
22F3	Leves_1979	28/08/1979	Excellente	40	32	8	560	720	40

BF: Bruit de fond

Calibrations réalisées sur différents levés (suite)

Levé	K_Source_Th	U_Source_Th	Th_Source_Th	Ratio_Alpha	Ratio_Beta	Ratio_Gamma	Ratio_A	Ratio_B	Ratio_G
22C14	110	30	90	0.088	0.294	0.000	0.061	0.000	0.000
22C11	80	26	70	0.200	0.400	0.218	0.055	0.000	0.000
22C5	80	34	70	0.250	0.357	0.167	0.067	0.000	0.000
22C14_2	160	26	90	0.081	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000
32H10	36	24	100	0.068	0.091	0.056	0.139	0.000	0.000
22G12_E	12	25	55	0.000	0.041	0.083	0.075	0.000	0.000
22G14_O	24	34	65	0.070	0.035	0.057	0.086	0.000	0.000
22G6_O	20	35	55	0.104	0.104	0.077	0.062	0.000	0.000
22J3_E	20	38	55	0.133	0.000	0.072	0.058	0.000	0.000
22F9_E	10	32	60	0.148	0.037	0.082	0.075	0.000	0.000
22F8_O	15	34	60	0.113	0.000	0.092	0.077	0.000	0.000
22J12_E	10	34	55	0.122	0.000	0.070	0.085	0.000	0.000
22F16_O	14	34	55	0.213	0.043	0.055	0.082	0.000	0.000
22K4_E	35	55	110	0.333	0.219	0.077	0.085	0.000	0.000
32H15	10	28	55	0.043	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000
32H16	20	28	55	0.085	0.106	0.119	0.063	0.000	0.000
22I12_O	65	62	110	0.302	0.472	0.712	0.036	0.000	0.000
22O1_O	115	70	120	0.385	0.433	0.625	0.013	0.000	0.000
22O10_O	105	70	115	0.291	0.437	0.563	0.025	0.000	0.000
22O2_O	110	75	130	0.313	0.357	0.611	0.033	0.000	0.000
22J15_O	126	75	135	0.415	0.455	0.702	0.022	0.000	0.000
22E11	140	90	240	0.248	0.427	0.802	0.052	0.000	0.000
22E3	136	88	252	0.258	0.387	0.735	0.047	0.000	0.000
22D7	140	80	240	0.237	0.458	0.718	0.047	0.000	0.000
22C4_O	120	90	240	0.250	0.379	0.729	0.049	0.000	0.000
22C12	150	104	250	0.306	0.421	0.713	0.049	0.000	0.000
22F3	128	96	240	0.276	0.379	0.756	0.047	0.000	0.000

Moyenne des ratios calculés pour chaque année

Ensemble_calibration	MOY_ALPHA	MOY_BETA	MOY_GAMMA	MOY_A	MOY_B	MOY_G
Leves_1975	0.137	0.228	0.088	0.084	0.000	0.000
Leves_1976	0.124	0.053	0.071	0.075	0.000	0.000
Leves_1977	0.341	0.431	0.643	0.026	0.000	0.000
Leves_1979	0.262	0.409	0.742	0.049	0.000	0.000

ANNEXE 3 : DONNÉES DE SENSIBILITÉS RELATIVES DES LEVÉS

Corrections de sensibilités finales appliquées aux levés

Annee	Multiplicateur_K	Multiplicateur_Th	Multiplicateur_U	Addition_U	Multiplicateur_Total
1976	1	1	1	0	1
1977	0.63	0.7	0	0	0.9
1978	0.79	0.65	1.39	3.57	0.6
1979	0.79	0.65	1.39	3.57	1.17
19751	2.5	1.68	1.11	0.35	2.25
19752	1.05	1.15	1.2	0	2.35