

## **ETUDE COMPARATIVE D'UNE CARTOGRAPHIE MAGNETIQUE AU SOL ET EN DRONE : APPORT POUR LA CARACTERISATION LOCALE DE LA CARTE GEOLOGIQUE**

**LE MAIRE P.<sup>1,2</sup>, MUNSCHY M.<sup>2</sup>, BERTRAND L.<sup>3</sup>, BRAHIMI S.<sup>2</sup>, CALOU P.<sup>2,4</sup>, GAVAZZI B.<sup>2</sup>, MERCIER DE LEPINAY J.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Cardem, 7 rue de l'uranium, 67800 Bischheim, Pauline.Lemaire@unistra.fr

<sup>2</sup> Université de Strasbourg/EOST, CNRS, Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Strasbourg

<sup>3</sup> Université de Lorraine, CNRS, CREGU, GeoRessources lab., 2 rue du Doyen Marcel Roubault, Vandoeuvre-lès-Nancy, F-54518, France

<sup>4</sup> ECA-EN, Groupe ECA, Coueron, France.

### **RÉSUMÉ**

*Dans les différents projets de cartographie magnétique au sol, on est souvent confronté à l'impossibilité de réaliser des mesures pour des raisons pratiques : présence de végétation, ruisseaux ou étendues d'eau, terrain accidenté, habitations, clôtures, ... C'est pourquoi, depuis une dizaine d'années l'IPGS s'intéresse et pratique des tests en mesure magnétique en drone afin de dépasser les limites techniques actuelles. Dans cette présentation, une description du matériel et de la méthode est faite. Les procédures de traitement des données et les cartes magnétiques sont présentées sur un cas d'étude situé autour d'un hameau de la commune de Grendelbruch où l'utilisation du drone a permis de cartographier l'ensemble de la zone comprenant de la forêt et des habitations. Afin de valider les mesures magnétiques en drone, nous avons comparé ces données avec celles acquises au sol. Cette comparaison met en valeur l'intérêt de cette technologie pour la cartographie géologique.*

**Mots clés :** *méthode potentielle magnétique, drone, multi-échelle*

### **ABSTRACT**

#### **COMPARATIVE STUDY BETWEEN GROUND AND UAV MAGNETIC SURVEY: CONTRIBUTION TO THE LOCAL CHARACTERIZATION OF THE GEOLOGICAL MAP**

*In various ground magnetic mapping projects, it is often impossible to perform measurements for practical reasons: presence of vegetation, streams or bodies of water, steep slopes, houses, fences, etc. For this reason, since ten years the IPGS is carrying out magnetic measurement tests using UAVs in order to overtake current technical limits. In this presentation, we describe the material and method applied during those tests. The case study showing the data processing*

*and the resulting magnetic maps is close to a hamlet in the township of Grendelbruch where open fields, forest and houses were overflowed. In addition to validate our UAV measurements we perform, a comparison with data acquired on the ground, which showcase the high value of this technology for geological mapping.*

**Key words:** *magnetic potential field, UAV, Multi-scale*

## **.1 INTRODUCTION**

Parmi les différentes méthodes géophysiques, la méthode magnétique est la seule, avec la méthode gravimétrique qui n'a pas de facteur d'échelle. En effet, que l'objectif soit la compréhension d'objets métriques tels que la détection de munitions ou d'objets kilométriques pour la caractérisation géologique d'un dyke, les développements théoriques, les traitements et les interprétations des données sont les mêmes. Seuls les supports et les paramètres d'acquisition changent. Pour la cartographie magnétique au sol, le plus souvent les systèmes sont portés ou tractés par une personne. La hauteur des capteurs varie de 2 m à 10 cm, avec une gamme d'espacement entre les capteurs du même ordre de grandeur. Pour cartographier les structures plus grandes, les capteurs sont placés sur un avion, ULM ou hélicoptère. Dans le cas de prospections pour l'exploration minière, les pilotes d'avion peuvent descendre jusqu'à 50 m du sol pour faire des acquisitions. Le problème qui se pose est l'impossibilité de faire des mesures à des hauteurs intermédiaires entre le sol et l'aérien, l'inaccessibilité de certaines zones pour les mesures au sol et la lenteur des mesures au sol. Depuis une dizaine d'années, la technologie des drones s'est fortement développée et démocratisée permettant une meilleure fiabilité de ces engins, une facilité accrue dans le pilotage et une diminution du prix d'achat. Ce nouveau porteur a le potentiel de permettre de répondre à des projets de cartographie géophysique en zones inaccessibles où de levé trop bas pour un avion. L'objet de cette présentation est de présenter une étude comparative entre des mesures magnétiques acquises au sol et en drone sur un site localisé en Alsace en zone semi-montagneuse.

## **.2 MATÉRIELS ET MÉTHODES**

### **2.1. Matériels**

Dans le cas de l'étude, les capteurs magnétiques utilisés sont des capteurs magnétiques vectoriels de type fluxgate. Ils sont légers et mesurent de façon relative le vecteur champ magnétique en un point. Pour l'acquisition des données, l'IPGS a développé ses propres électroniques pouvant être très légères et permettant l'enregistrement des mesures magnétiques de 1 à 8 capteurs à des fréquences allant de 1 à 300 Hz. La géolocalisation à l'aide de mesures GNSS ou D-GNSS fait également partie de ce système d'acquisition (Gavazzi et al. 2016).

Pour les acquisitions au sol, le système est placé sur un support de type sac-à-dos. Quatre à huit capteurs sont fixés à un intervalle de 50 cm dans une perche à l'avant du sac (Figure 1). Pour l'acquisition en drone, l'électronique monocapteur est placée sur un drone M210 RTK de marque DJI. Le capteur magnétique fluxgate est placé 42 cm à l'avant du drone par rapport à son centre. Lors des acquisitions, une base GNSS est installée sur le terrain, afin de fournir des corrections temps réel aux deux antennes GNSS du drone.

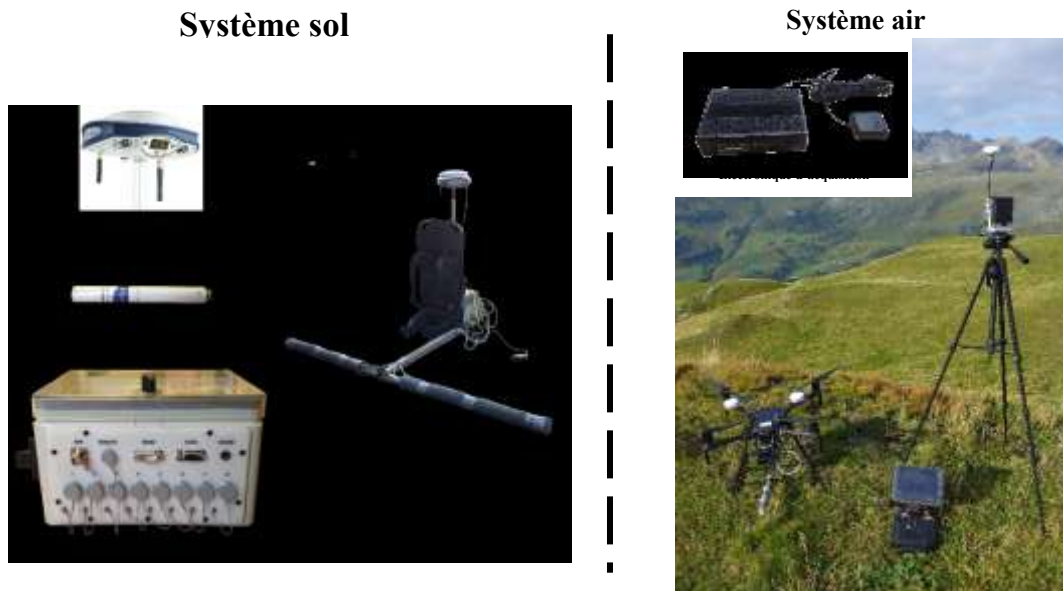


Fig. 1 - Systèmes de mesure et support pour l'acquisition au sol et en l'air.

## 2.2. Acquisitions

### *Sol*

Les opérateurs couvrent les profils prévus avec un espacement de 2 m, la perche étant équipée de quatre capteurs et la cadence des mesures est de 25 Hz. La surface couverte avec un espacement des profils magnétiques de 50 cm est de 2 ha en sept heures d'acquisition.

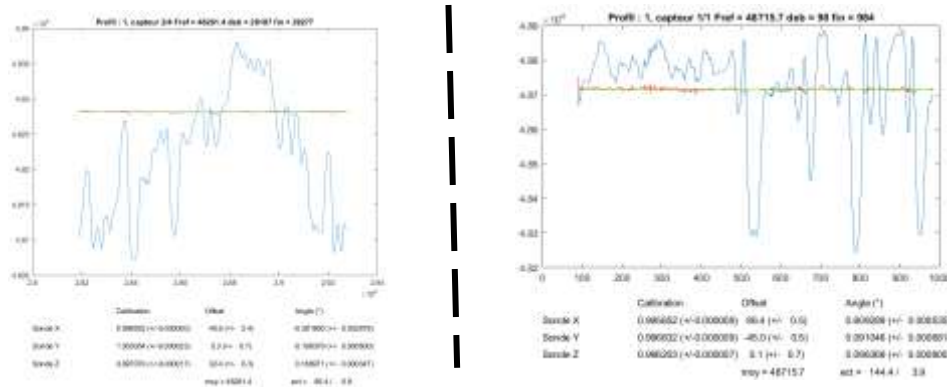
### *Drone*

La cadence des mesures est aussi de 25 Hz. Pour le vol à 2 m de hauteur, il s'agit d'un vol manuel drapant la topographie du terrain. Pour le vol à 5 m, il s'agit d'un vol automatique planifié à partir d'un programme informatique (PLUMM) développé sous Matlab. Le vol est à altitude constante par rapport au point de décollage et les profils sont espacés de 5m.

## 2.3. Traitement des données

Les mesures étant faites avec des capteurs relatifs de type fluxgate, il faut effectuer une correction des mesures, c'est-à-dire étalonner les capteurs. Pour ce faire, en début et fin d'acquisition, l'opérateur fait varier au maximum l'attitude du capteur dans une zone où l'intensité du champ magnétique est constante. Cette procédure permet également de compenser l'effet « magnétique » du support tel que les connectiques, les moteurs, les batteries... Sur la figure 2, on présente les

résultats du calcul des neuf paramètres permettant l'étalonnage et la compensation de l'ensemble des données (Munsch et al., 2007).



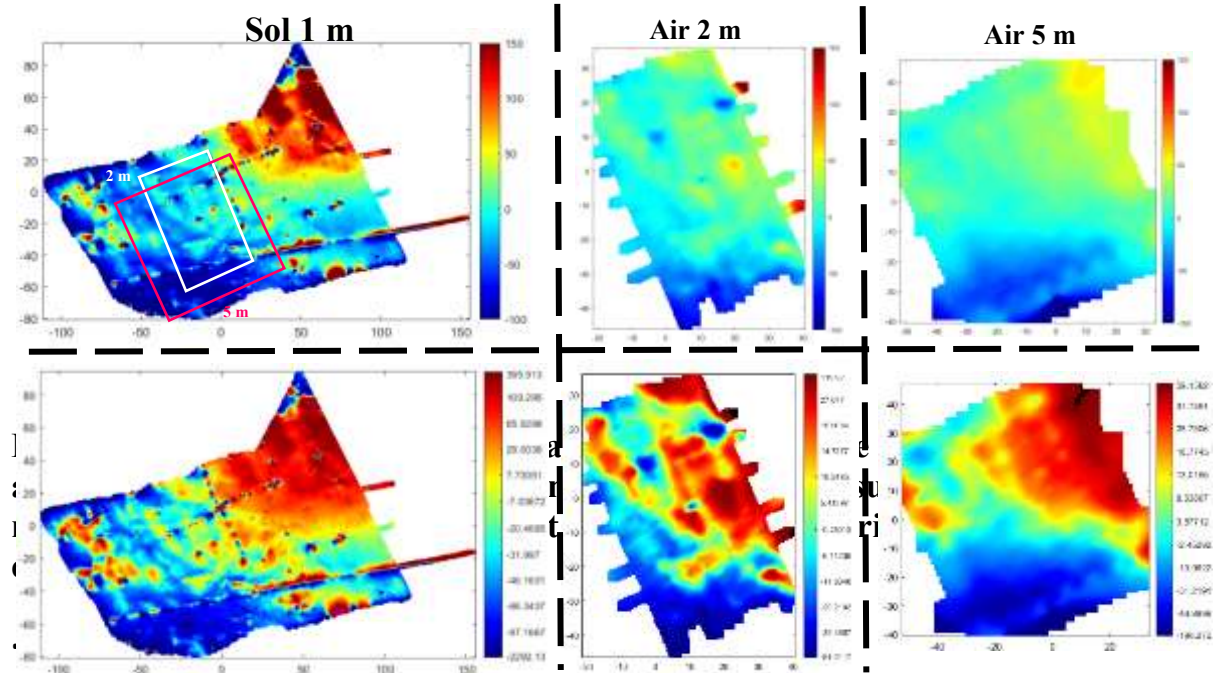
**Fig. 2 - Résultat de l'étalonnage au sol (à gauche) et en l'air (à droite). La courbe bleue donne l'intensité du champ magnétique avant étalonnage et celle en rouge après inversion des données. L'écart-type avant étalonnage est de 85,4 nT et après étalonnage de 0,9 nT pour les mesures au sol. Il est de 144,4 nT avant étalonnage et de 3,9 nT après étalonnage pour les mesures en drone.**

Les cartes de l'intensité de l'anomalie magnétique sont calculées en utilisant les données étalonnées et en respectant les procédures de traitement habituellement utilisées en magnétisme.

### .3 PREMIERS RESULTATS ET CONCLUSIONS

La figure 3 présente les cartes de l'intensité de l'anomalie magnétique pour les acquisitions au sol et en l'air (1, 2 et 5 m). Les trois cartes inférieures sont en représentation en couleur équi-réparties, cette représentation permettant de mieux observer les anomalies de plus faibles intensités comparées à celles de forte amplitude. Sur la carte au sol, de nombreuses anomalies magnétiques sont visibles. L'amplitude du signal est d'environ 300 nT. Les anomalies magnétiques de petites longueurs d'onde formant une croix dont le centre est placé aux coordonnées (5,10). Elles ont vraisemblablement pour origine un système de drainage. Par contre les anomalies magnétiques de plus grande longueur d'onde sont certainement liées à la géologie du site. Sur les levés en drone à 2 et 5 m, on n'observe pas de problème particulier comme, par exemple, le levelling assez fréquent en cartographie magnétique, ce qui indique une bonne compensation de l'effet magnétique du drone. Sur la carte à 2 m d'altitude, on voit encore les anomalies de courte longueur d'onde essentiellement due aux systèmes de drainages, alors que pour le levé à 5 m, elles disparaissent et les anomalies sont de plus grandes longueurs d'onde et correspondent à la géologie. Ceci est tout à fait cohérent avec la théorie qui nous indique une décroissance en  $1/r^3$  pour des aimantations sphériques. L'étude de la carte géologique indique des directions de structure différentes (nord-sud), à la direction qui se dessine sur les cartes

magnétiques (est-ouest) et l'utilisation des données magnétiques pour réviser la carte géologique est en cours avec des collègues de l'Université de Lorraine (laboratoire GeoRessources, UMR 7359). Enfin, les acquisitions au sol et en drone se poursuivent afin d'avoir une vision complète des avantages et inconvénients de la mesure magnétique en drone et de mieux évaluer son potentiel. L'ensemble des données et leur interprétation qui auront été acquises seront présentées au colloque.



GAVAZZI B., LE MAIRE P., MUNSCHY M., DECHAMP A., 2016 – Fluxgate vector magnetometers: A multisensor device for ground, UAV, and airborne magnetic surveys. *The Lead. Edge*, 35(9), 765-797. doi: 10.1190/tle35090795.1.

MUNSCHY M., BOULANGER D., ULRICH P., BOUFLANE M., 2007 – Magnetic mapping for the detection and characterization of UXO: Use of multi-sensor fluxgate 3-axis magnetometers and methods of interpretation. *J. of Appl. Geophys.*, 61, 168-183. doi: 10.1016/j.jappgeo.2006.06.004.