



**HAL**  
open science

## Le géomagnétisme à la recherche des vestiges archéologiques

Bruno Gavazzi, Paul Calou

► **To cite this version:**

Bruno Gavazzi, Paul Calou. Le géomagnétisme à la recherche des vestiges archéologiques. 2016.  
hal-01625616

**HAL Id: hal-01625616**

**<https://hal.science/hal-01625616>**

Submitted on 27 Oct 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Le géomagnétisme à la recherche des vestiges archéologiques

---

Bruno Gavazzi<sup>1</sup>, Paul Calou<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> UMR 7516, Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS), École et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST), Université de Strasbourg, Bâtiment Blessig, 1 rue Blessig, F-67084 Strasbourg cedex, France.

<sup>2</sup> ECA EN, filiale du groupe ECA. ZAC des Hauts de Couëron, 24 rue Jan Palach – 44220 Couëron - France

## Introduction

Très fréquemment l'archéologue est confronté à des vestiges partiellement ou totalement enfouis. Il peut alors faire appel à des méthodes géophysiques d'imagerie de la sub-surface, à la fois dans un souci de diagnostic pour positionner la fouille (qui offre des détails fins sur une zone précise) mais également pour obtenir une échelle d'étude plus large que cette dernière.

La géophysique consiste en l'étude du sous-sol à partir de mesures de certaines de ses propriétés physiques, et ce à travers différentes méthodes : gravimétrie, géomagnétisme, sismique, sismologie, radar, tomographie électrique, etc.. Toutes ces méthodes, qui ont la particularité d'être non intrusives puisque l'on mesure les propriétés depuis la surface de la terre, peuvent être classées en deux grandes catégories : les méthodes passives basées sur la mesure d'une variable physique naturelle, et les mesures actives où l'on induit une perturbation dans le milieu, pour mesurer ensuite la réponse de ce dernier à ladite perturbation. Parmi toutes ces méthodes, le géomagnétisme, méthode passive, est sans doute la plus fréquemment utilisée en archéologie (Linford, 2006 ; Gaffney, 2008).

## Le Géomagnétisme

La méthode géomagnétique est une méthode basée sur la mesure en surface de légères variations spatiales du champ magnétique terrestre liées à des variations d'aimantations dans le sous-sol, comme c'est souvent le cas entre vestiges archéologiques et leur encaissant. On parle alors d'anomalies magnétiques, que l'on mesure en nano-teslas (nT). Il est important de noter que le magnétisme résulte de mouvements électriques à un niveau atomique qui sont à l'origine de la notion de dipôles. Cela signifie que sur un plan de mesure au-dessus des sources, toute anomalie possède toujours une partie positive ainsi qu'une partie négative pouvant être asymétriques, tel que montré par la Figure 1. La forme dépend alors de la direction du champ magnétique régional ainsi que des propriétés magnétiques des sources. Il n'est donc pas possible de connaître directement la position horizontale de la source, située entre les pôles positifs et négatifs. Il existe plusieurs dispositifs basés sur différents principes permettant l'acquisition et le traitement des mesures magnétiques. Depuis plusieurs années, l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS)

développe un système de mesure innovant à base de magnétomètres vectoriels dans un souci de portabilité, précision et intégration à différentes échelles de mesure (Gavazzi et al., 2016).

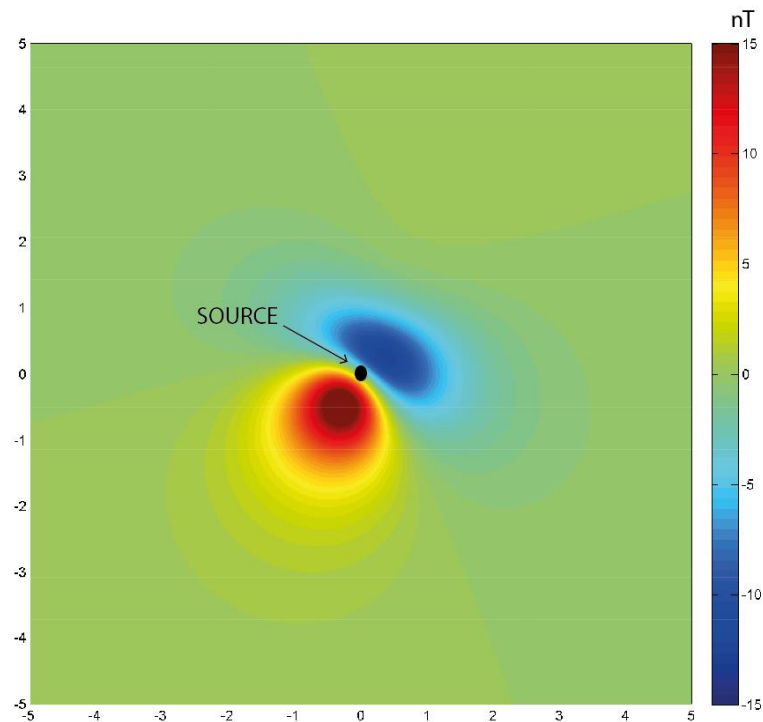


Figure 1 : Anomalie magnétique due à une source ponctuelle à 1 m sous le plan de mesure pour un champ régional et une aimantation arbitraires.

## Dispositif développé par l'IPGS

### Matériel :

Le système de mesure complet est intégrable facilement et comprend :

1. Des capteurs fluxgate à trois composantes (Bartington Mag-03 MC)
2. Une électronique pour la numérisation
3. Un GPS pour le positionnement

Le capteur fluxgate est léger, robuste et disponible à prix modéré. De plus, étant un capteur vectoriel, il est le seul type de magnétomètre permettant la compensation magnétique, c'est-à-dire la correction des perturbations dues au dispositif de mesure lui-même. Tout ceci permet d'en utiliser plusieurs simultanément sur le même dispositif. Le système développé sur sac à dos par l'EOST peut ainsi embarquer de 4 à 8 capteurs (Figure 2).

Le cœur du système est constitué par l'électronique de numérisation. Il s'agit d'un développement de l'IPGS et dont la réalisation est confiée à une société Française, DIEFI, qui permet la numérisation des données des huit capteurs fluxgate, ainsi que d'une antenne de positionnement par satellite GNSS à une fréquence définissable par l'opérateur. Cette électronique a été spécifiquement conçue autour d'un PC embarqué qui permet d'afficher en temps réel sur un écran monoculaire fixé devant l'œil de l'opérateur la route suivie par l'opérateur et les données magnétiques enregistrées.

L'antenne GNSS peut être utilisée seule ou en combinaison avec une base (mode différentiel) pour obtenir une meilleure précision, de l'ordre de quelques centimètres.



Figure 2 : Dispositif de mesure huit capteurs développé par l'IPGS et monté sur un sac à dos

### **Procédure d'étalonnage :**

Les magnétomètres à vanne de flux (fluxgate) sont peu utilisés en prospection magnétique au sol car ils sont considérés comme peu précis. En effet, chaque sonde directionnelle possède certaines erreurs intrinsèques par construction. On estime que ces erreurs empêchent la mesure d'un signal d'amplitude inférieure à 100 nT. Ce problème peut néanmoins être résolu par un étalonnage, qui consiste à calculer des corrections à appliquer à chaque sonde directionnelle de chaque magnétomètre, ce qui permet d'obtenir une précision de mesure meilleure que 1 nT (Munsch et al., 2007). Cette même procédure permet également la compensation magnétique des divers éléments aimantés du système de mesure lui-même. Concrètement, sur le terrain, la procédure d'étalonnage consiste en la rotation du dispositif de mesure autour d'un point fixe où le champ ne varie pas. Les variations enregistrées sont donc dues seulement aux différents types d'erreur que l'on peut ainsi calculer.

### **Méthodologie d'acquisition :**

Dans le système multi-capteurs évoqué plus haut, chaque capteur est espacé de 0,5 m. L'opérateur effectue alors des profils de marche tous les 4 m tout en acquérant des profils magnétiques tous les 0,5 m à une fréquence de 25 Hz. Ceci permet d'obtenir une densité de données généralement suffisamment importante pour identifier la majorité des structures archéologiques (Gavazzi et al., in press). Cette distance entre capteurs est modulable en fonction de la rapidité d'acquisition et de la précision souhaitées.

## Applications dans la région Nord

Depuis 2015 plusieurs interventions ont eu lieu avec différents acteurs de l'archéologie de la région Nord, dans le cadre d'actions préventives et programmées. Ces dernières ont permis de produire des cartes de l'anomalie dans de multiples contextes. Des méthodes de traitement du signal adaptées à chacun de ces contextes ont ensuite permis de mettre au jour des sources enfouies ne présentant en général aucun indice de surface, comme on peut le voir sur l'exemple de la figure 3 sur le site de Lewarde où deux interventions ont été conduites.

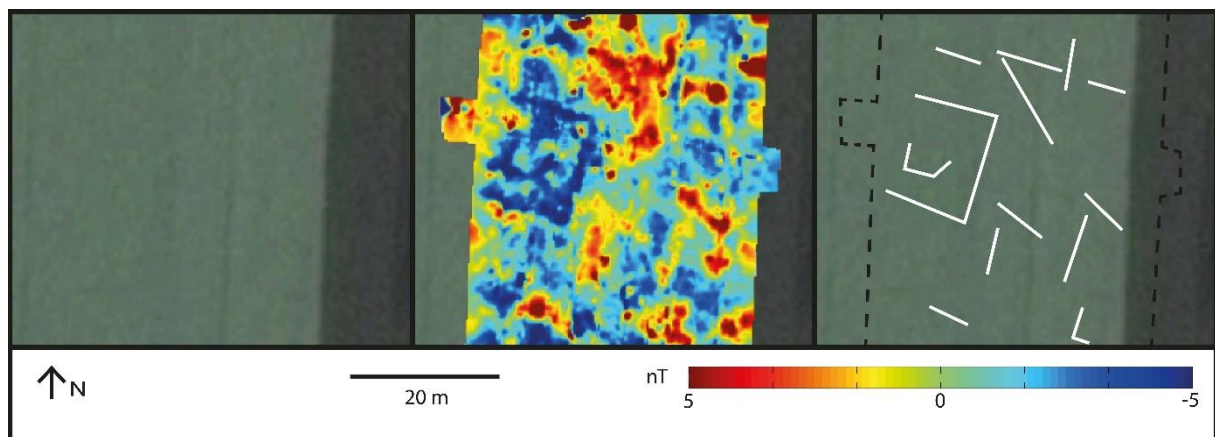


Figure 3 : Exemple d'application de prospection magnétique sur le site de Lewarde. À gauche, image satellite (DigitalGlobe). Au centre anomalie après double réduction au pôle : ce traitement permet de placer les maxima de l'anomalie à l'aplomb des sources. À droite interprétation des principales linéations par pointage des maxima de l'anomalie.

## Conclusion

Les résultats positifs des différentes interventions dans la région nous encouragent à poursuivre et renforcer les actions conjointes avec les archéologues. Dans ce but, différentes collaborations sont en préparation dans une démarche similaire, mais également sur la mise en place d'autres dispositifs expérimentaux, notamment à base de mesure en drones ultralégers.

## Bibliographie

Gaffney C. 2008. Detecting Trends in the Prediction of the Buried Past: A Review of Geophysical Techniques in Archaeology. *Archaeometry* 50: pp. 313–336. DOI: 10.1111/j.1475-4754.2008.00388.x

Gavazzi B, Alkhatib-Alkontar R, Munsch M, Colin F, Duvette C. In press. On the use of fluxgate 3-axis magnetometers in archaeology: application with a multi-sensor device on the site of Qasr 'Allam in the Western Desert of Egypt. *Archaeological Prospection*.

Gavazzi B, Le Maire P, Munsch M, Dechamp A. 2016. Fluxgate vector magnetometers: A multisensor device for ground, UAV, and airborne magnetic surveys. *The Leading Edge* 35(9): pp. 795-797. DOI: 10.1190/tle35090795.1

Linford N. 2006. The application of geophysical methods to archaeological prospection. *Reports on Progress in Physics* 69: pp. 2205–2257. DOI: 10.1088/0034-4885/69/7/R04

Munschy M, Boulanger D, Ulrich P, Bouiflane M. 2007. Magnetic mapping for the detection and characterization of UXO: Use of multi\_sensor fluxgate 3-axis magnetometers and methods of interpretation. *Journal of Applied Geophysics* 61: pp. 168-183. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2006.06.004