

Les méthodes magnétiques

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Cahiers d'archéologie romande**

Band (Jahr): **3 (1975)**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Chapitre 3 — Les méthodes magnétiques

3.1 Introduction

Les méthodes magnétiques sont souvent employées en archéologie, surtout depuis l'apparition d'appareils très précis mis au point ces dernières années.

Ce sont des méthodes rapides, de coût modéré et de mise en œuvre facile. Malheureusement, le paramètre mesuré est influencé par de nombreux facteurs, ce qui rend l'interprétation souvent délicate.

3.2 Principe de la méthode

En exécutant des cartes ou des profils de mesures, on localise des perturbations du champ magnétique terrestre. Perturbations qui se produisent quand un corps aimantable A , archéologique ou non, est soumis ou a été soumis à l'action du champ magnétique terrestre T .

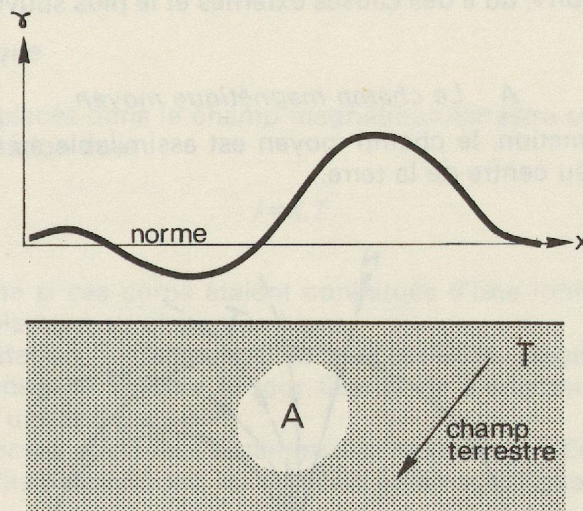


Figure 6

Pour comprendre la signification de ces anomalies, il faut au préalable étudier brièvement, d'une part le champ terrestre, et, d'autre part, la nature des corps aimantables.

3.2.1 Le champ magnétique terrestre

En un point O , à un instant donné, le champ magnétique terrestre peut être représenté par un vecteur T que l'on définit ordinairement par rapport aux axes géographiques du lieu.

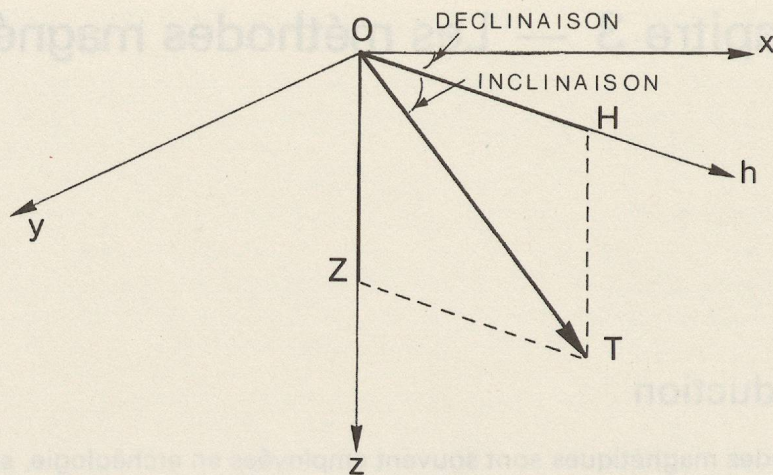


Figure 7

La longueur du vecteur T est proportionnelle à l'intensité du champ. Cette intensité s'exprime en œersteds ou en gammas, et vaut pour nos régions environ 46 000 gammas.

Avec les appareils très précis que sont les magnétomètres à protons, on peut atteindre à l'heure actuelle une précision d'un centième de gamma, mais plus couramment on mesure T au gamma près.

Tous les éléments du champ (grandeur, direction, composantes) peuvent être mesurés mais, pour la prospection, on se contente de mesurer un seul élément, en général le champ total (T).

Le champ magnétique terrestre peut être considéré comme la résultante de :

- A Le champ moyen, dû à des causes internes du globe terrestre.
- B « Le champ de variation », dû à des causes externes et le plus souvent lié à des phénomènes solaires.

A Le champ magnétique moyen

En première approximation, le champ moyen est assimilable au champ que fournirait un dipôle magnétique placé au centre de la terre.

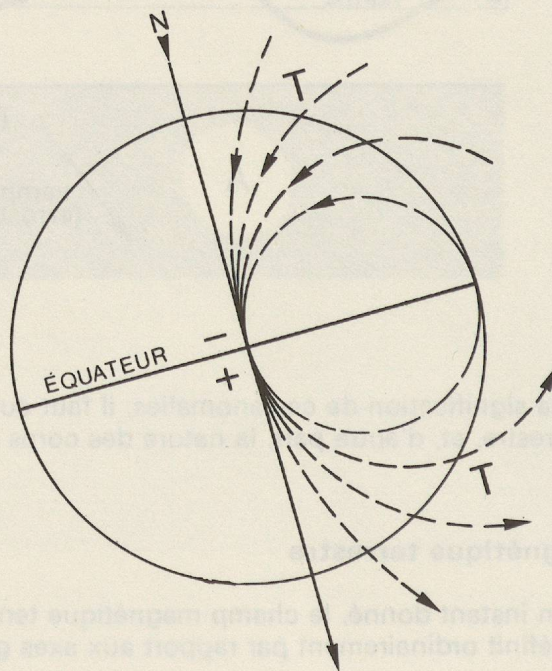


Figure 8

En fait, à ce champ dipôle s'ajoute une série de champs secondaires régionaux. L'ensemble constitue le champ moyen qui, bien qu'il varie lentement, peut, à l'échelle de nos études, être considéré comme stable.

B « Le champ de variation »

Ce champ supplémentaire instantané est dû à des causes externes au globe terrestre. Il est à l'origine de variations rapides du champ mesuré. Nous reviendrons sur ce point plus loin.

3.2.2 Nature des corps aimantables

L'aimantation des solides

Nous avons vu que les anomalies sont dues à la présence de corps aimantables dans le champ magnétique terrestre.

L'aimantation d'un corps placé dans un champ T peut s'exprimer par la relation suivante :

$$I = K.T + I_p$$

I = Intensité d'aimantation, c'est une grandeur vectorielle exprimée en gammas. Cette intensité est proportionnelle au champ T , le facteur de proportionnalité est K , la susceptibilité magnétique du corps. I_p représente la part d'aimantation qui peut avoir été acquise par le corps à un certain moment de son histoire. C'est l'aimantation rémanente qui peut être oblique par rapport à la direction actuelle du champ inducteur.

La susceptibilité magnétique

Nous avons vu que placés dans le champ magnétique terrestre certains corps s'aimantent, et que l'intensité d'aimantation vaut :

$$I = K.T$$

Tout se passe comme si ces corps étaient constitués d'une infinité de petits dipôles qui tendent à s'aligner parallèlement au champ ambiant.

Dans cette représentation, le facteur K , la susceptibilité magnétique, caractériserait le nombre de dipôles par unité de volume et leur faculté de s'orienter sous l'action du champ extérieur. K se mesure en unités c.g.s 10^{-6} .

On peut classer les corps selon leur susceptibilité magnétique. En se bornant à l'essentiel, on distingue les matières diamagnétiques, les matières paramagnétiques et les matières ferromagnétiques.

Ces dernières sont les plus importantes pour la prospection. Elles sont caractérisées par une très forte susceptibilité.

Dans le groupe ferromagnétique, pris au sens large, on peut citer :

Le fer	$K = 10^7 \text{ à } 10^9 \cdot 10^{-6}$
La magnétite	$K = 100.000 \cdot 10^{-6}$
L'ilménite	$K = 30.000 \cdot 10^{-6}$
L'hématite	$K = 150 \cdot 10^{-6}$

Ces valeurs sont des valeurs moyennes.

La présence de ces minéraux ferromagnétiques, et en particulier la présence de magnétite, a une influence prépondérante sur la susceptibilité des roches, comme le montre la figure 9.

Relation entre l'intensité d'aimantation
et la teneur en magnétite

D'après T. Nagata

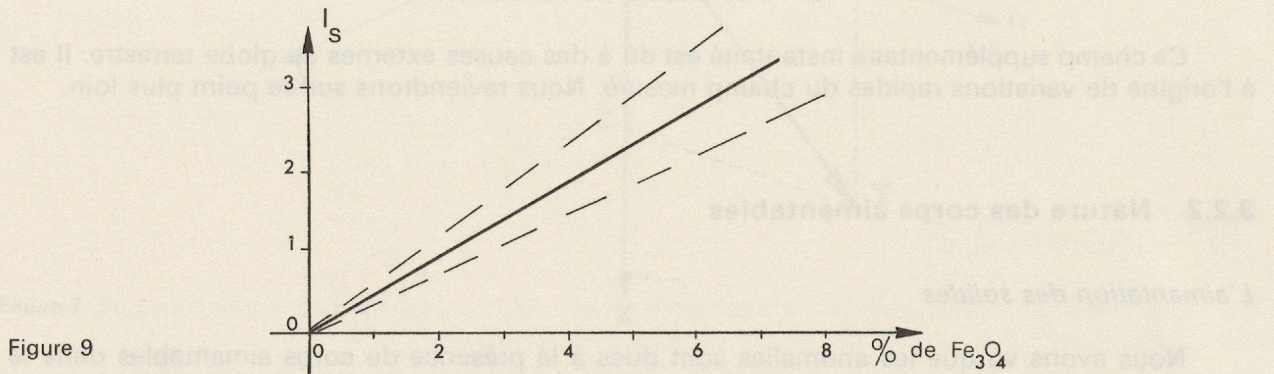


Figure 9

Conséquences archéologiques

D'après ce que nous venons de voir, des anomalies intéressantes pourront apparaître lorsque les structures archéologiques présentent des susceptibilités magnétiques nettement plus fortes ou nettement plus faibles que le milieu ambiant.

Anomalies magnétiques sur diverses structures archéologiques

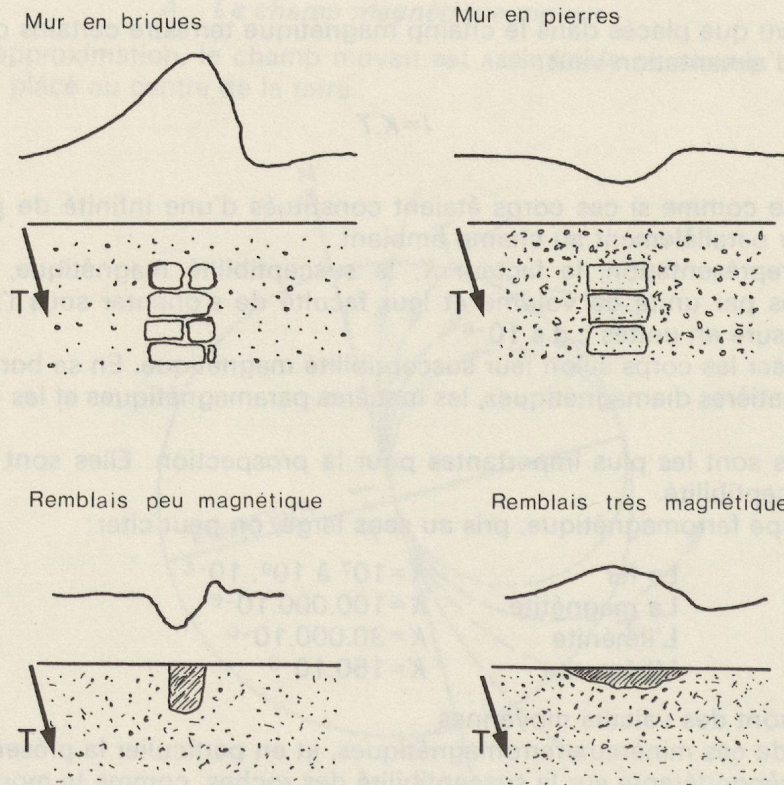


Figure 10

Dans nos régions et dans les terrains superficiels qui intéressent l'archéologue, les susceptibilités magnétiques relativement élevées sont associées à un nombre restreint d'objets.

Parmi ceux-ci, il faut mentionner tout d'abord les objets en fer qui peuvent aller du couteau aux scories accompagnant les fonderies. Les briques et les tuiles cuites sont elles aussi souvent aimantables et aimantées. Certains blocs erratiques (roches vertes, ...) présentent des susceptibilités magnétiques assez fortes. Enfin, et ceci est très important pour l'archéologue, les sols superficiels acquièrent parfois des susceptibilités magnétiques élevées, sous l'effet d'oxydo-réductions dues à l'humidité, à des fermentations organiques et surtout au feu (effet Le Borgne).

A la longue, par le jeu des travaux agricoles, se forme une couche superficielle de 20 à 30 centimètres d'épaisseur, présentant une forte susceptibilité. Cette dernière est d'autant plus forte que le sol a été très occupé et soumis à des feux répétés. Les valeurs de K peuvent varier dans ces sols de 10 à $1000 \cdot 10^{-6}$.

La figure 10 souligne l'importance pour la prospection de la susceptibilité magnétique non négligeable des terres superficielles. Ce sont les irrégularités dans la répartition de ces terres qui, souvent, servent à déceler des structures archéologiques.

L'aimantation rémanente — I_p

L'aimantation rémanente est une aimantation qui subsiste après la disparition de tout champ magnétique extérieur. Il existe plusieurs aimantations de ce type, celle qui nous intéresse plus particulièrement est l'aimantation thermorémanente *A.T.R.*

Les chercheurs ont observé que les corps contenant des éléments ferromagnétiques s'aimantent progressivement lorsqu'ils sont refroidis à partir d'une haute température, supérieure au point de Curie, en présence d'un champ magnétique. L'aimantation ainsi figée est dite thermorémanente, elle peut être représentée par un vecteur dont la direction est celle du champ lors du refroidissement.

Le matériel ainsi affecté, les terres cuites en particulier, semble avoir en quelque sorte acquis une « mémoire magnétique ».

Conséquences archéologiques

Le magnétisme rémanent de certains corps est intéressant à deux points de vue : d'une part, cette aimantation « fossile » peut, sous certaines conditions, perturber le champ et provoquer des anomalies repérables en prospection. D'autre part, elle peut être utilisée comme moyen de datation. Nous avons vu que les éléments du champ moyen sont affectés d'une lente variation. Si, pour une région donnée et une période historique donnée on connaît la variation de ces éléments, on peut par comparaison situer dans le temps le matériel archéologique étudié. Ceci en déterminant sur les échantillons la direction et l'intensité de l'aimantation rémanente qui correspond à celle du champ terrestre au moment du dernier refroidissement.

Il est clair que cette méthode ne peut s'appliquer qu'à des objets qui n'ont pas été déplacés depuis l'époque de leur cuisson ; il peut s'agir, par exemple, de foyers, de parois de fours, de fours contenant des pots, des briques ou des tuiles. Les fragments isolés, les tessons ne sauraient se prêter à ce type d'étude.

D'autre part, pour plus de sûreté, il faut disposer d'un grand nombre d'échantillons et il est indispensable d'éliminer d'éventuelles aimantations parasites.

3.3 Nature et forme des anomalies

Après avoir examiné, dans leurs grandes lignes, les interactions dans le sous-sol du champ terrestre et du corps aimantable, il convient d'étudier l'influence de ces interactions sur des mesures faites en surface.

En prospection archéologique, on utilise généralement des magnétomètres à protons qui permettent de mesurer l'intensité du champ total F .

Ce dernier peut être représenté par un vecteur qui résulte de l'addition du vecteur champ terrestre T et d'un ou de plusieurs vecteurs anomaux A dus à la présence du corps perturbateur (figure 11).

Lorsque F mesuré sur le terrain est plus long que le vecteur champ terrestre normal, l'anomalie est dite positive, alors qu'elle est négative lorsque F est plus court que T .

De nombreux facteurs influencent la longueur et l'orientation du vecteur anomal et en définitive l'allure de l'anomalie repérée en surface. Parmi ces facteurs, il faut mentionner en premier lieu l'orientation, surtout l'inclinaison, du champ magnétique terrestre dans la région étudiée. Le contraste des susceptibilités et un éventuel magnétisme rémanent jouent aussi un rôle important. Enfin, la forme et les dimensions du corps perturbateur affectent notablement l'allure de l'anomalie.

Il est indispensable lors d'une prospection de prévoir, du moins grossièrement, l'allure des anomalies d'origine archéologique pour pouvoir les distinguer de celles d'origine géologique.

Fort heureusement, on a presque toujours une idée de la forme des structures recherchées, fossés, remblais, ... si bien que toutes les anomalies repérées ne présentent pas a priori un intérêt égal.

D'autre part l'expérience a montré que les anomalies d'origine archéologique présentent généralement des amplitudes variant entre quelques gammas et une centaine de gammas.

Enfin, dans les cas difficiles, il est toujours possible de construire des modèles, dont un exemple figure ci-dessous, qui permettent de prévoir l'anomalie susceptible de prendre naissance sur une structure donnée.

Si une certaine connaissance préliminaire approximative de l'effet magnétique des corps recherchés est indispensable, une bonne connaissance des variations de la norme (bruit de fond) ne l'est pas moins.

Les variations de la norme, le bruit de fond.

Perturbations dans l'espace.

A côté des bruits d'origine géologique, il existe dans nos régions fortement habitées, de très nombreuses causes de perturbations. On peut mentionner tous les objets de fer tels que tuyaux, clôtures et débris divers.

En outre, les lignes électriques, principalement celles porteuses de courant continu, sont une grave source de perturbations.

Dans certains cas, le bruit est tel qu'il faut abandonner toute prospection magnétique.

Perturbations dans le temps

La principale de ces perturbations est la variation diurne. Due à des causes extra-terrestres elle est heureusement assez régulière et son effet peut être soustrait des mesures de terrain.

Divers procédés permettent cette élimination, tous appliquent le même principe et nécessitent la mesure simultanée ou presque simultanée du champ en deux points. D'une part le point de référence où seule la variation diurne affecte les mesures successives, d'autre part les points de prospection affectés à la fois par la variation diurne et les variations spatiales.

3.4 L'interprétation

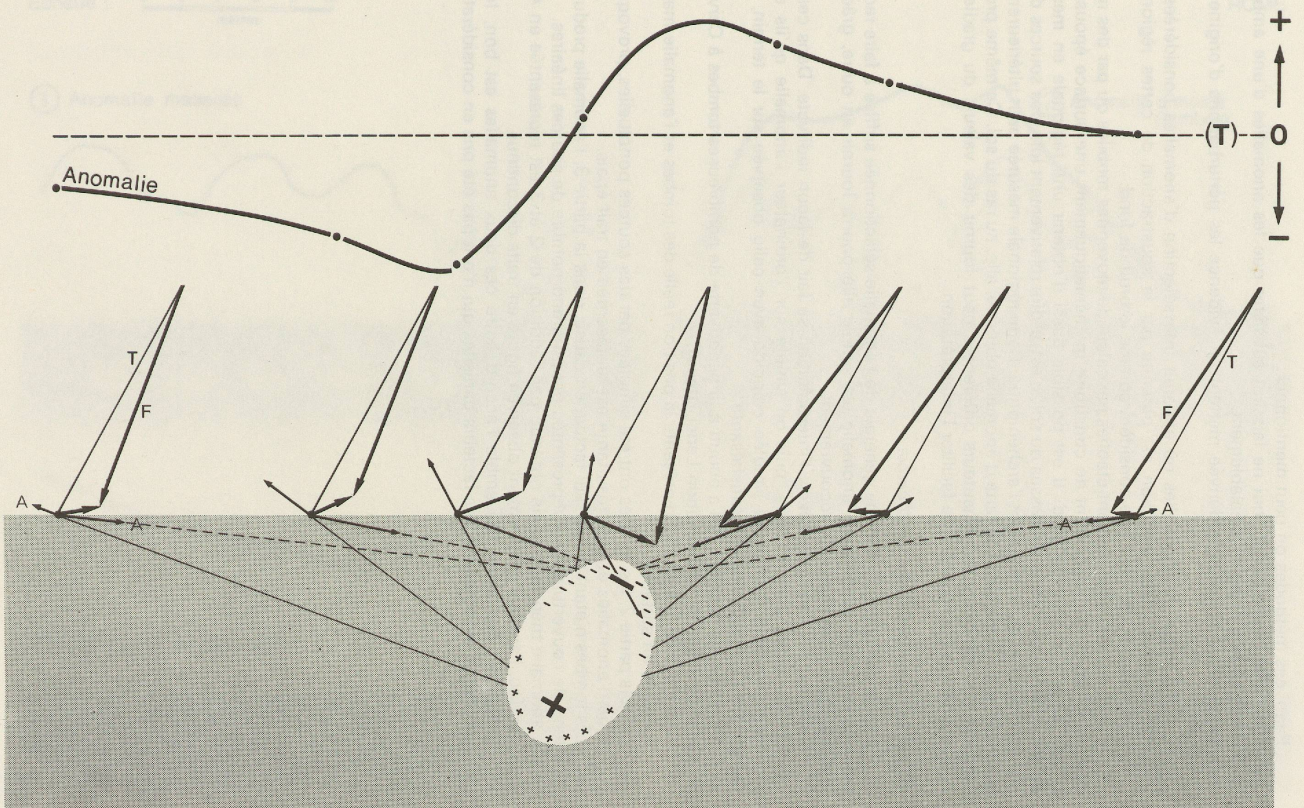
La mise en évidence des anomalies significatives

Lorsque l'on a obtenu une carte ou des profils magnétiques, il est indispensable de les débarrasser de toutes les variations du champ dont l'allure et les dimensions ne sont pas compatibles avec celles des anomalies causées par des vestiges archéologiques.

Pour obtenir ce résultat, il faut filtrer les données recueillies lors de la prospection.

Il existe de très nombreuses méthodes de filtrage, certaines nécessitant l'emploi de l'ordinateur, mais toutes doivent laisser une large place au sens critique et à l'expérience de l'interprète.

Figure 11 Champ terrestre normal (T) et champ perturbé (F) en présence d'un corps magnétique



Parmi ces méthodes on peut mentionner :

- Les filtres passe-bande, qui ne laissent subsister que les anomalies d'une amplitude et d'une largeur choisies préalablement.
- La première et seconde dérivée mettent en évidence les perturbations d'origine superficielle.
- La production de résiduelles où apparaît une sélection d'anomalies considérées comme intéressantes; cette sélection est obtenue par la soustraction de cartes régionales qui englobent ce qui peut être considéré comme le bruit de fond.

Ces régionales sont souvent établies par calcul de moyennes mobiles ou par des méthodes dites analytiques qui permettent de construire mathématiquement une surface épousant celle constituée par le bruit de fond. Il est possible aussi d'obtenir une régionale en mesurant le champ à quelques mètres au-dessus du sol ; c'est-à-dire relativement loin des sources d'anomalies superficielles qui intéressent l'archéologue. Cette régionale mesurée peut ultérieurement être soustraite point par point à la carte d'anomalie obtenue, elle, au ras du sol. Ce même procédé de mesures simultanées à deux hauteurs différentes peut fournir des valeurs du gradient ($T_{h1} - T_{h2} / \Delta h$) parfois susceptibles de faciliter l'interprétation.

L'analyse d'une anomalie significative

Il n'est pas rare que la forme générale de l'anomalie sélectionnée suffise à faire reconnaître le corps perturbateur. Si cette anomalie est simple elle pourra fournir en outre, grâce à une analyse rapide, l'épaisseur du recouvrement.

Dans les cas plus complexes, l'interprétation se fait de façon indirecte. Dans ces cas, on imagine les corps perturbateurs, puis on simule sur l'ordinateur l'anomalie qu'ils devraient provoquer. Lorsque l'anomalie simulée coïncide avec celle observée sur le terrain, on peut penser que l'interprétation est satisfaisante.

L'exemple ci-dessous, qui a abouti à la découverte de nombreuses tombes à Cerveteri, est dû aux chercheurs de la Fondation Lerici (Italie).

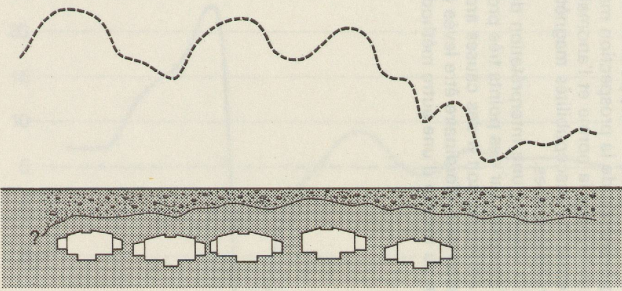
- La partie 1 de la figure 12 représente la position réelle des tombes et l'anomalie magnétique mesurée en surface.
- Dans la partie 2, les tombes ont été simulées par des sources ponctuelles, provoquant une série d'anomalies dont la résultante est représentée en trait épais.
- Les tombes n'étant pas le seul facteur en cause, dans la partie 3, l'anomalie produite par la terre de couverture a été représentée par un grand nombre de sources linéaires.
- L'anomalie théorique finale obtenue par l'addition de 2 et 3 est représentée en 4 en trait continu, l'anomalie réellement observée figure en traits discontinus.
- Il apparaît que dans l'ensemble l'accord entre ces deux anomalies est bon, les écarts pouvant être imputés à des facteurs parasites qui n'ont pas été pris en considération.

Anomalies magnétiques sur des tombes étrusques à Cerveteri.

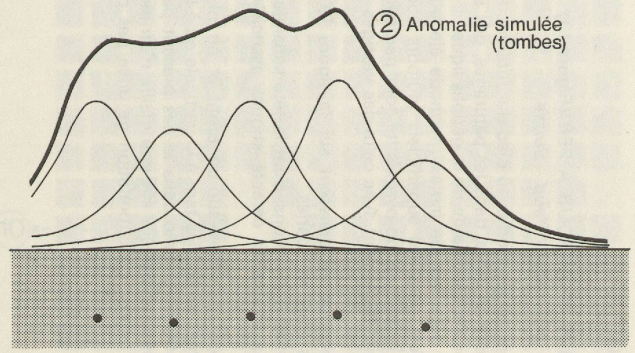
D'après R.E. Lington
Fondation LERICI
ROME

Echelle : 0 2 4 6 8 10
mètres

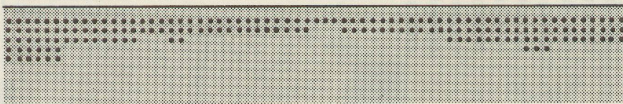
① Anomalie mesurée



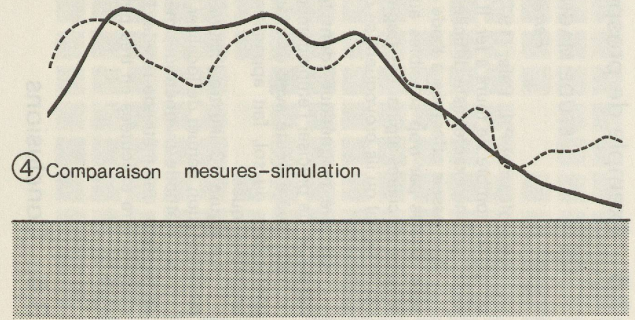
② Anomalie simulée (tombes)



③ Anomalie simulée (sol)



④ Comparaison mesures-simulation



3.5 Exemple de prospection

ÉTUDE MAGNÉTIQUE D'UN FOUR À FER (Figure 13)

Ferreyres - Morandin - Vaud - Suisse

Le professeur P. L. Pelet (1973), lors de ses études au pied du Jura vaudois, a pu localiser un grand nombre de fours à fer. Il a repéré en outre, dans les pâturages, des scories dispersées dont l'origine exacte reste difficile à préciser sans l'aide de la géophysique.

Des essais effectués à l'aide d'un détecteur de mines (méthode électro-magnétique) se sont révélés par trop sensibles aux effets parasites superficiels toujours abondants dans les terrains glaciaires alpins. Les fragments erratiques de pyroxénite sont particulièrement gênants car le signal qu'ils provoquent se confond facilement avec celui des vestiges d'une métallurgie ancienne.

Le levé magnétique, dont les résultats apparaissent sur la figure 13, permet, lui, au contraire, de préciser l'emplacement des amas de scories.

Ce levé exécuté avec un magnétomètre à protons, dont la tête sensible était tenue à 50 centimètres du sol, fait apparaître deux anomalies caractéristiques associées à des vestiges archéologiques.

La figure 13 illustre l'allure de ces anomalies sur un profil et en plan. Cette double représentation permet de localiser les amas de scories tant à la verticale qu'à l'horizontale.

La méthode magnétique, même utilisée comme dans le cas présent pour une étude de détail, reste une méthode rapide. Les mesures placées sur une maille d'un mètre par un mètre peuvent être exécutées en très peu de temps. L'interprétation ne pose pas de problème bien ardu.

3.6 Conclusions

L'examen de ces quelques exemples nous conduit à rappeler divers faits essentiels :

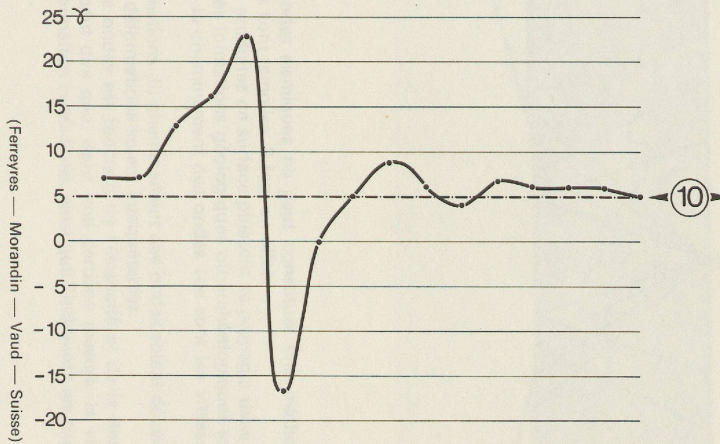
- Les résultats des prospections géophysiques, de la prospection magnétique en particulier, dépendent principalement du contraste entre la norme et l'anomalie; c'est-à-dire, dans le cas du magnétisme, du contraste entre les susceptibilités magnétiques des terrains environnants et celles des structures archéologiques.
- La complexité des anomalies interdit souvent une interprétation détaillée. Dans ce cas, le rôle de la prospection est d'attirer l'attention sur des points très probablement intéressants.
- Nombre d'anomalies peuvent être attribuées soit à des causes archéologiques, soit à des causes parasites; cette indétermination peut d'ordinaire être levée grâce à une prospection complémentaire restreinte effectuée au moyen d'une autre méthode géophysique (électricité, sismique, ...).

FERREYRES ~ MORANDIN (Four à fer) ETUDE MAGNETIQUE

Figure 13

VALEURS EN GAMMAS

1 à +9		0 à -9	
+10 à +19		-10 à -30 γ	
+20 à +39			



Echelle : 1m

