



HAL
open science

Étude par prospections magnétique et électromagnétique du site de Klimonas (Chypre)

Christophe Benech, Alain Tabbagh, Jean-Denis Vigne

► **To cite this version:**

Christophe Benech, Alain Tabbagh, Jean-Denis Vigne. Étude par prospections magnétique et électromagnétique du site de Klimonas (Chypre). Nouvelles données sur les débuts du Néolithique à Chypre, Jean-Denis Vigne, François Briois, Margareta Ternberg, Mar 2015, Paris, France. pp.79-94. halshs-01533104

HAL Id: halshs-01533104

<https://shs.hal.science/halshs-01533104>

Submitted on 7 Jun 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



Nouvelles données sur les débuts du Néolithique à Chypre
New data on the beginnings of the Neolithic in Cyprus
Actes de la séance de la Société préhistorique française
Paris, 18-19 mars 2015
Textes publiés sous la direction de Jean-Denis VIGNE,
François BRIOIS et Margareta TENGBERG
Paris, Société préhistorique française, 2017
(Séances de la Société préhistorique française, 9), p. 79-94
www.prehistoire.org
ISSN : 2263-3847 – ISBN : 2-913745-2-913745-69-5

Étude par prospections magnétique et électromagnétique du site de Klimonas (Chypre)

Christophe BENECH, Alain TABBAGH et Jean-Denis VIGNE

Résumé : Les prospections magnétiques et électromagnétiques réalisées sur le site de Klimonas (Chypre) avaient pour objectif d'évaluer les capacités de ces deux méthodes pour détecter et caractériser des structures néolithiques semblables à celles déjà révélées par la fouille. La prospection magnétique a été réalisée au moyen d'un gradiomètre au césium G-858 (Geometrics) ; la prospection électromagnétique, avec un appareil de type Slingram, le CMD Mini-Explorer (Gf Instruments, Brno) qui permet une mesure simultanée de la susceptibilité magnétique et de la conductivité électrique sur trois profondeurs différentes. La surface étudiée couvre un peu moins de 1 ha réparti entre trois terrasses et une petite prairie en contrebas. Une série de sondages archéologiques a ensuite été réalisée, ils ont permis de caractériser l'origine des anomalies géophysiques et d'approfondir l'interprétation des cartes obtenues. Les prospections ont finalement apporté une information plus environnementale qu'archéologique qui permet de restituer le contexte géologique du site. La carte de résistivité différencie clairement une zone conductrice et archéologiquement stérile à l'ouest d'une zone résistante à l'est sur laquelle se sont implantées les installations néolithiques et d'autres, plus tardives. Les cartes de susceptibilité magnétique montrent des variations plus complexes, en partie d'origine pédogéologique pour les plus faibles valeurs, mais aussi anthropique pour les plus fortes valeurs qui se situent dans les secteurs où ont été découverts le plus de vestiges archéologiques. Les vestiges archéologiques visibles sur la carte magnétique sont généralement d'époque plus tardive, et les structures néolithiques sont généralement de trop petite taille pour être individualisées. La réponse du signal magnétique est dominée par des anomalies de grande amplitude liées à la nature du terrain et, pour les plus fortes, à la présence d'éléments de roche ultrabasique. Cette approche environnementale a donc permis de mieux reconnaître les modalités d'occupation du site, avec des installations néolithiques situées dans les zones les plus résistantes où la plaque de « havara » est proche de la surface.

Mots-clés : prospection magnétique, prospection électromagnétique, susceptibilité magnétique, résistivité électrique, Néolithique, Chypre.

Magnetic and electromagnetic surveys of the site Klimonas (Cyprus)

Abstract: Magnetic and electromagnetic surveys carried out on the site of Klimonas (Cyprus) aimed to assess the capabilities of these two methods for the detection and characterization of Neolithic structures similar to those that have already been revealed by excavations. The magnetic survey was conducted using a Cesium gradiometer G-858 (Geometrics) and the electromagnetic survey with a Slingram device, the CMD Mini Explorer (Gf Instruments, Brno) which allows simultaneous measurement of the magnetic susceptibility and electrical conductivity at three different depths. The study area covers a little less than one hectare divided between three terraces and a small meadow below. A series of archaeological surveys was carried out on a series of geophysical anomalies: they allowed characterizing the source of the geophysical anomalies and deepening the interpretation of the magnetic and electromagnetic maps. Surveys finally brought a more environmental than archaeological information which was particularly helpful to restore the pedological and geological context of the site. The resistivity map clearly differentiates a conductive zone in the western part which was archaeologically sterile, and a more resistant area to the East where are located the Neolithic and also more recent installations. The maps of magnetic susceptibility show more complex variations, partly due soil and geological origin for lower values, but also anthropogenic for the highest values that are located in areas where were found the most archaeological remains were found. Archaeological remains visible on the magnetic map are usually from later period and the Neolithic structures are generally too small to be individualized. The response of the magnetic signal is dominated by large amplitude anomalies related to the nature of the soil, and the highest anomalies are due to the presence of ultramafic rock elements. This environmental approach was therefore particularly helpful to recognize the site occupancy arrangements with Neolithic installations in the more resistant areas where Havara plate is close to the surface.

Keywords: magnetic survey, electromagnetic survey, magnetic susceptibility, electric resistivity, Neolithic, Cyprus.

LE SITE DE KLIMONAS (Ayios Tychonas, district de Limassol, Chypre) a livré les restes d'un village de terre crue daté de la fin du Néolithique précéramique A (PPNA, début du IX^e millénaire avant notre ère; Vigne *et al.*, 2012 et ce volume). L'objectif des prospections géophysiques réalisées sur ce site était de cartographier l'organisation spatiale d'éventuelles installations du Néolithique précéramique par la détection des structures affectées à cette période et, plus généralement, de délimiter l'extension de l'occupation sur les différentes terrasses susceptibles de composer le site. Une approche associant les méthodes magnétiques et électromagnétiques a été choisie afin de travailler simultanément à la recherche de structures et à la reconnaissance des formations superficielles à partir des propriétés magnétique et électrique du sol.

L'utilisation de la géophysique pour l'étude de sites néolithiques n'est pas nouvelle : elle fut mise en œuvre dès les années 1960 en Europe (Brézillon et Hesse, 1962; Hesse, 1966), mais possède aussi une longue tradition au Proche-Orient (Hesse, 1973 et 1980), comme à Chypre, sur le site de Khirokitia par exemple (Hesse et Renimel, 1978). Ces premières explorations visaient essentiellement à reconnaître l'extension de l'occupation des sites plutôt qu'à définir leur cartographie détaillée. Les progrès réalisés depuis dans l'instrumentation géophysique permettent aujourd'hui de détecter des structures de petite taille, comme des trous de poteau. En Europe tempérée, le plan de maisons néolithiques a ainsi pu être identifié grâce à des prospections magnétiques (Saile et Posselt, 2002 et 2007). Le problème majeur pour la détection des structures en creux (fosses, fossés, fonds de cabane...), qui peuvent ne présenter qu'un faible contraste magnétique, est la réponse du terrain lui-même sur lequel a été implanté le site. Les structures enfouies auront ainsi d'autant plus de chances de ressortir clairement, sans être masquées par une réponse plus forte du terrain, que le sol sera plus homogène et faiblement magnétique.

Dans le cas de Klimonas, l'existence de terrasses, et donc d'une érosion potentiellement importante, constitue un contexte difficile, mais l'état de conservation des structures observées en fouille auparavant et leur profondeur relativement faible sont les critères qui ont motivé cette exploration par les méthodes géophysiques.

TERRAIN PROSPECTÉ

Les prospections magnétiques et électromagnétiques ont été appliquées à toutes les surfaces dont l'extension était suffisamment importante. La végétation a été enlevée dans certaines parties afin d'étendre la surface de prospection : le sol a été simplement raclé afin de limiter les conséquences, sur les mesures géophysiques, d'un remaniement trop important de la couche superficielle (fig. 1). Les terrasses les plus hautes, au-dessus de la zone fouillée en 2011-2012, n'ont pas pu être explorées car beaucoup trop petites et difficiles d'accès pour réaliser un débroussaillage.



Fig. 1 – Vue générale du site prise vers l'est, après nettoyage des différents secteurs à prospector (cliché J.-D. Vigne).

Fig. 1 – General view of the site in the east direction, after clearing the main part of the vegetation in the different surveyed sectors (photo J.-D. Vigne).

La surface prospectée couvre un peu moins de 1 ha et peut être divisée en trois ensembles (ici : fig. 2; Vigne *et al.*, ce volume, fig. 2) :

- le secteur A correspond à la terrasse la plus haute, dans la partie nord de la parcelle 167, à l'ouest de la zone fouillée en 2011-2012. La présence des déblais de fouille immédiatement à l'ouest de cette zone n'a malheureusement pas permis une continuité entre zone prospectée et zone fouillée. Sur ce secteur, la prospection magnétique a été un peu plus étendue vers l'ouest que la prospection électromagnétique.

- le secteur B-D-E comprend une terrasse intermédiaire (secteur B), au sud de la précédente (parcelle 165), en contrebas de la zone fouillée, à laquelle s'ajoutent, vers l'est, deux petites terrasses de 6 m de large chacune, l'une au même niveau que le secteur B (secteur E); l'autre, plus basse (secteur D).

- le secteur C correspond à une prairie plate située à l'ouest du secteur B et relativement grande, comparée aux terrasses précédentes.

L'ensemble de la zone prospectée ne présentait ni difficultés particulières ni installations récentes qui auraient perturbé la qualité des mesures géophysiques.

MÉTHODES

La prospection magnétique a été réalisée avec un gradiomètre au césium G-858 (Geometrics) (fig. 3). L'acquisition des données se fait en mode continu, avec une prise de mesure toutes les 0,1 s, ce qui équivaut environ à un point tous les 10 cm. Les mesures sont prises le long de profils parallèles espacés de 1 m. Le principe de cette méthode est de mesurer les variations locales du champ magnétique terrestre. Elle peut être utilisée pour la détection d'une grande variété de structures archéologiques (Aspinall *et al.*, 2008) et est particulièrement bien adaptée à la détection de structures en creux, à la condition que le contraste magnétique soit suffisant et que les

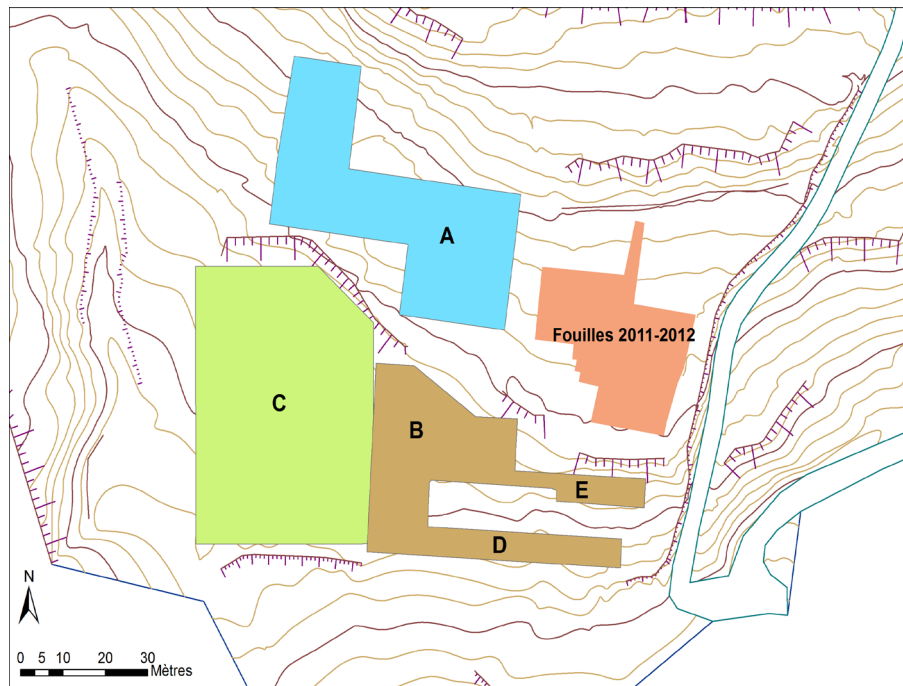


Fig. 2 – Localisation des prospections magnétiques et électromagnétiques sur le site de Klimonas et répartition en cinq secteurs (DAO R. Touquet, INRAP).

Fig. 2 – Location of the magnetic and electromagnetic surveys and of the five sectors on the site of Klimonas (CAD R. Touquet, INRAP).

limites de la structure avec son encaissant soient bien marquées verticalement – les structures de forme lenticulaire seront par conséquent plus difficiles à détecter.

La prospection électromagnétique a été réalisée au moyen d'un appareil de type Slingram, le CMD Mini-Explorer (Gf Instruments, Brno; fig. 4). L'avantage de cette méthode est de pouvoir cartographier simultanément les propriétés électrique et magnétique du sol en mesurant respectivement la conductivité électrique apparente et la susceptibilité magnétique apparente (Tabbagh, 1986). Cet appareil est composé de trois bobines réceptrices, distantes de 0,32 m, 0,71 m et 1,18 m de la bobine

émettrice, qui permettent une cartographie du sous-sol à trois profondeurs différentes (Bonsall *et al.*, 2013). Dans le cas de Klimonas, seuls les deux plus grands écartements ont donné des résultats exploitables. L'appareil a été utilisé en configuration VCP (axe des bobines horizontal); l'acquisition des mesures a été réalisée en mode continu avec une acquisition toutes les 0,2 s, soit environ un point tous les 20 cm, le long de profils parallèles espacés de 0,50 m.

La mesure de la susceptibilité magnétique apparente est particulièrement intéressante car, au-delà de la détection de la structure elle-même qui peut parfois poser



Fig. 3 – Prospection magnétique avec un gradiomètre au césium G-858 (Geometrics; cliché J.-D. Vigne).

Fig. 3 – Magnetic survey with a cesium G-858 gradiometer (Geometrics; photo J.-D. Vigne).



Fig. 4 – Prospection électromagnétique avec un CMD Mini-Explorer (Gf Instruments; cliché J.-D. Vigne).

Fig. 4 – Electromagnetic survey with a CMD Mini-Explorer (Gf Instruments; photo J.-D. Vigne).

problème, elle constitue un marqueur anthropique qui peut mettre en évidence une occupation humaine dont l'activité aurait amplifié les propriétés magnétiques du sol (Le Borgne, 1965; Marmet, 2000). La susceptibilité magnétique est toutefois une propriété du sol dont les variations peuvent aussi avoir une origine naturelle, pédologique ou géologique, qu'il convient de pouvoir caractériser avant d'avancer l'hypothèse d'une origine anthropique.

RÉSULTATS

Prospection électromagnétique

Les cartes de résistivité électrique obtenues pour les écartements de bobines de 71 cm et 118 cm (respectivement fig. 5 et fig. 6) montrent sensiblement les mêmes variations et, donc, une répartition globale de la résistivité électrique homogène sur le premier mètre de profondeur environ. Les deux cartes montrent une zone très conductrice (20 $\Omega.m$ en moyenne) bien délimitée sur une grande partie du secteur C ainsi que sur la partie occidentale du secteur A. Ici aussi, la limite avec la partie plus résistante où se trouve la zone fouillée en 2011-2012 est nettement marquée et celle-ci se placerait sur un terrain plus résistant, même si la prospection électromagnétique n'a pu être étendue jusqu'à la limite de la fouille pour le

confirmer. La résistivité électrique des petites terrasses orientales du secteur B-D-E est plus élevée (entre 70 et 180 $\Omega.m$ environ), les plus fortes valeurs étant observées pour le centre du secteur B qui forme un « îlot résistant » bien délimité.

Les cartes de susceptibilité magnétique (fig. 7 et fig. 8) montrent aussi des résultats similaires pour les deux écartements : les variations de susceptibilité sont cependant plus marquées et mieux délimitées pour la plus grande profondeur avec l'écartement de 118 cm. Les valeurs de plus faible susceptibilité magnétique se localisent dans les secteurs A et C, alors que les plus fortes valeurs sont concentrées dans la partie occidentale du site, surtout sur les secteurs B et E, secondairement sur le secteur D. Ces valeurs sont, par ailleurs, relativement bien corrélées avec celles obtenues pour la résistivité électrique (fig. 9a et b), ce qui laisse supposer a priori une origine géologique plutôt qu'anthropique des anomalies géophysiques repérées. Il reste cependant tout à fait possible, dans le cas du secteur B, que des installations humaines, identifiables sur les cartes électromagnétiques par une forte susceptibilité magnétique, aient été implantées sur des terrains plus résistants, mais la correspondance des interfaces en résistivité et en susceptibilité est trop forte pour être due à la seule activité humaine.

D'après les cartes électromagnétiques, deux milieux se différencient donc très clairement : le premier forme une zone conductrice de faible susceptibilité magnétique

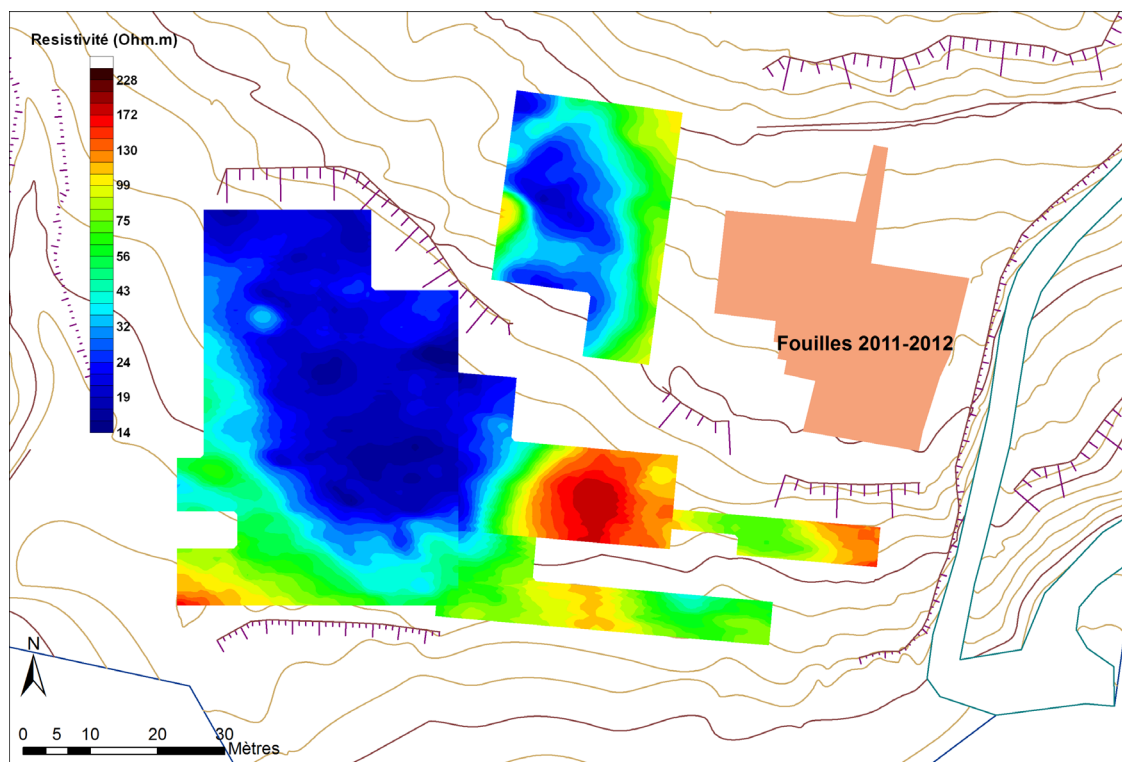


Fig. 5 – Carte de résistivité électrique obtenue en prospection électromagnétique au moyen du CMD Mini-Explorer, pour un écartement de bobine de 71 cm (relevé A. Tabbagh; fond topographique R. Touquet).

Fig. 5 – Electric resistivity map resulting from an electromagnetic survey with a CMD Mini-Explorer for a 71 cm coil gauge (drawing A. Tabbagh; topographic base R. Touquet).

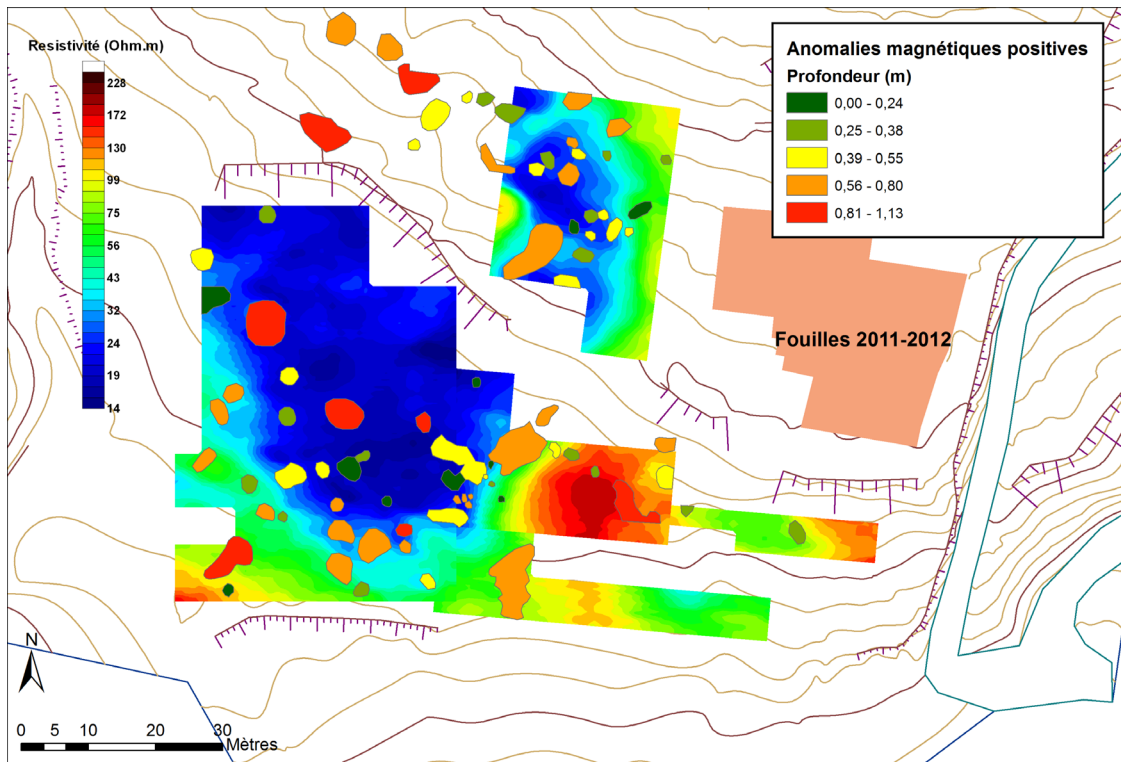


Fig. 6 – Carte de résistivité électrique obtenue en prospection électromagnétique au moyen du CMD Mini-Explorer, pour un écartement de bobine de 118 cm (relevé A. Tabbagh; fond topographique R. Touquet).

Fig. 6 – Electric resistivity map resulting from an electromagnetic survey with a CMD Mini-Explorer for a 118 cm coil gauge (drawing A. Tabbagh; topographic base R. Touquet).

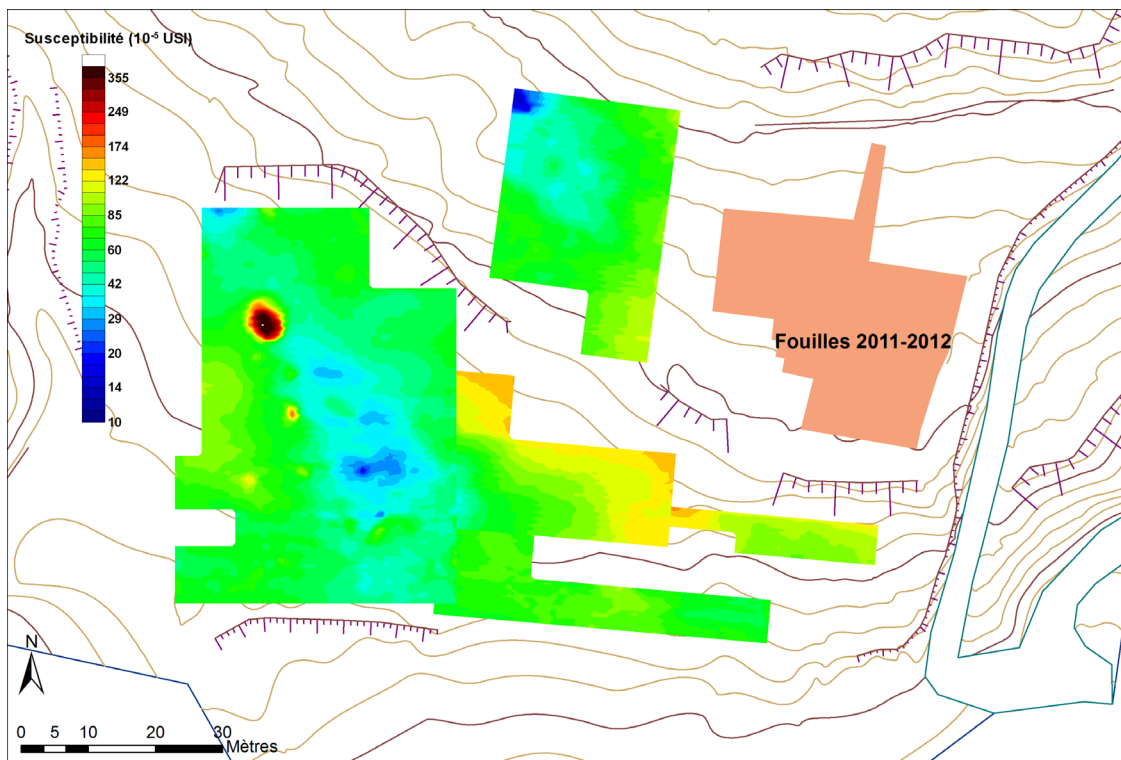


Fig. 7 – Carte de susceptibilité magnétique obtenue en prospection électromagnétique au moyen du CMD Mini-Explorer, pour un écartement de bobine de 71 cm (relevé A. Tabbagh; fond topographique R. Touquet).

Fig. 7 – Magnetic susceptibility map resulting from an electromagnetic survey with a CMD Mini-Explorer for a 71 cm coil gauge (drawing A. Tabbagh; topographic base R. Touquet).

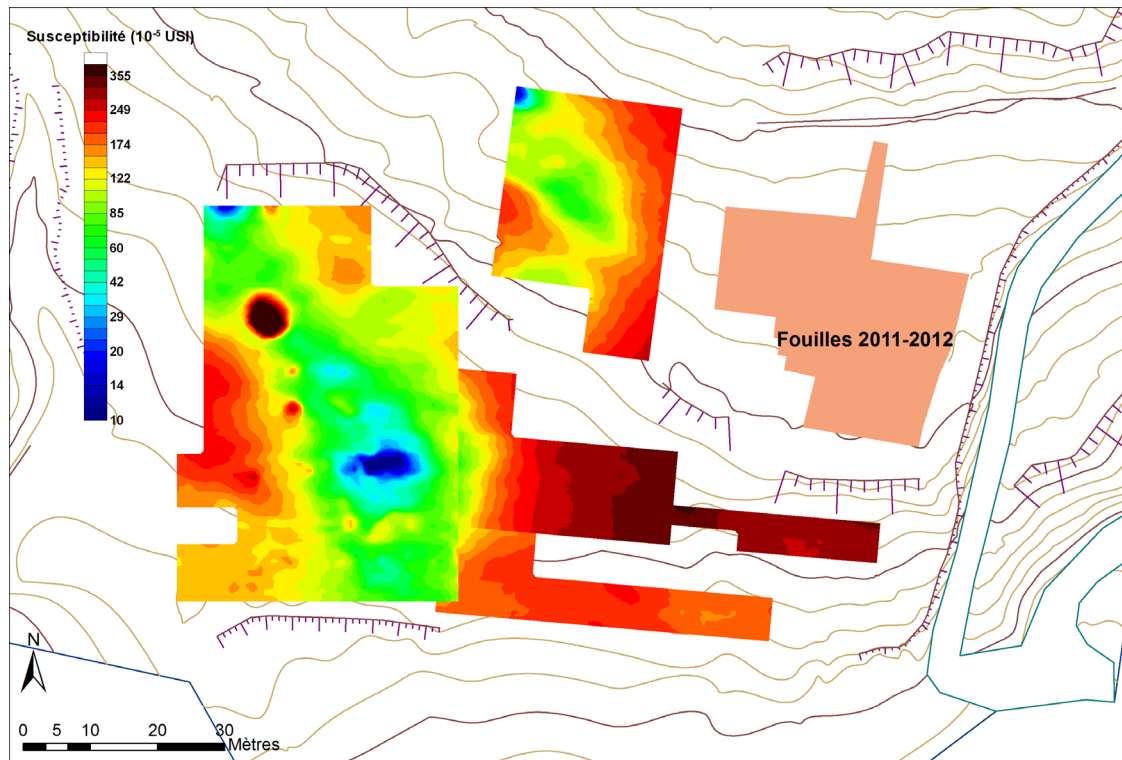


Fig. 8 – Carte de susceptibilité magnétique obtenue en prospection électromagnétique au moyen du CMD Mini-Explorer, pour un écartement de bobine de 118 cm (relevé A. Tabbagh; fond topographique R. Touquet).

Fig. 8 – Magnetic susceptibility map resulting from an electromagnetic survey with a CMD Mini-Explorer for a 118 cm coil gauge (drawing A. Tabbagh; topographic base R. Touquet).

englobant les parties occidentales des secteurs A et C ; le deuxième caractérise les terrasses orientales, avec une plus forte susceptibilité magnétique dans un terrain nettement plus résistant.

INTERPRÉTATION DE LA CARTE MAGNÉTIQUE

D'un point de vue général (fig. 10), la carte magnétique montre un contraste assez net entre le secteur C, où les anomalies se détachent bien sur un « fond » relativement calme et homogène, et les secteurs A et B-D-E, où la réponse du terrain est plus hétérogène. Cette différence est probablement due à une couche superficielle plus perturbée par l'érosion de la pente. Ce « bruit de fond » reste cependant faible et ne masque pas les anomalies magnétiques plus importantes.

L'identification et la délimitation des différentes anomalies magnétiques sont relativement simples (fig. 11), excepté dans les secteurs D et E où l'étroitesse des terrasses limite l'espace nécessaire à une interprétation fiable dans des zones en outre partiellement recouvertes par les produits de l'érosion de la terrasse supérieure. La plupart des anomalies sont positives et signalent donc la présence d'éléments composés de matériaux plus magnétiques que le terrain environnant. Quelques anomalies négatives sont cependant aussi à signaler, en particulier

dans le secteur A où elles sont regroupées dans deux zones bien distinctes.

Forme et taille des anomalies magnétiques

Beaucoup d'anomalies ont une forme presque circulaire et sont probablement dues à la présence de structures bien individualisées et délimitées. Une dizaine possèdent une surface inférieure à 1,5 m² et pourraient donc correspondre à des fosses ; un peu plus d'un tiers ont une surface inférieure à 3 m² ; et 38 % se situent entre 3 et 8 m² (fig. 12 et tabl. 1).

Elles peuvent avoir une origine naturelle, traces d'érosion ou réponse du substrat qui affleure en plusieurs endroits. Dans le secteur C, deux grandes anomalies sont cependant à signaler du fait de leur forme pratiquement circulaire : la plus grande a un diamètre de 6 m et une surface de 34 m² environ ; l'amplitude du signal est relativement forte et, nous le verrons plus loin, sa source magnétique fait partie des plus profondes observées sur le site. La deuxième est située à une dizaine de mètres au sud-est de la précédente ; de forme légèrement ovoïde, elle couvre une surface de 20 m² environ.

Quelques anomalies de forme linéaire sont aussi observables et peuvent parfois être suivies sur de grandes distances. Les plus longues correspondent certainement à des limites naturelles, probablement d'anciennes terrasses, notamment dans le secteur D, mais les plus courtes peuvent signaler la présence de structures

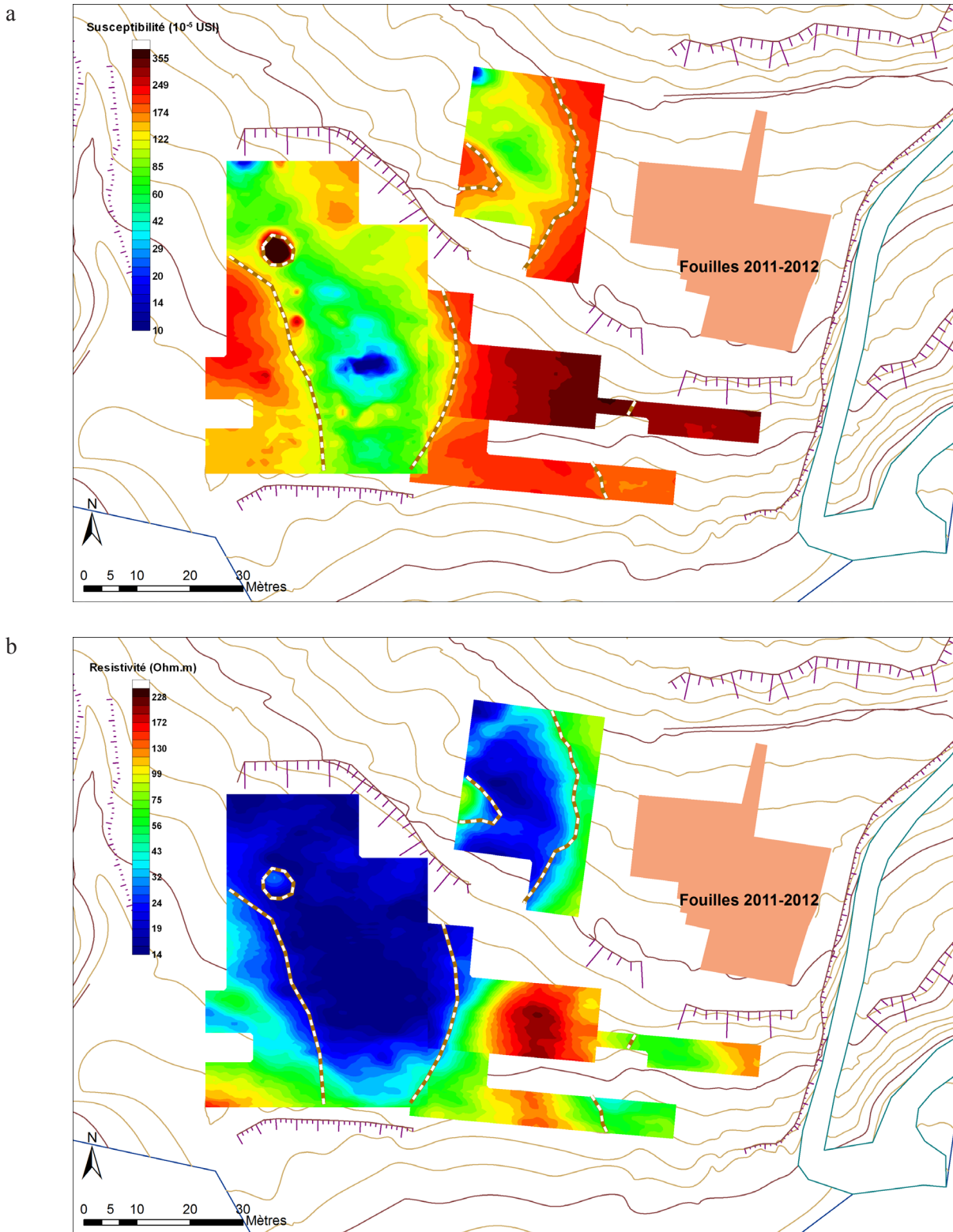


Fig. 9 – a : délimitation des plus importantes variations de la susceptibilité magnétique pour un écartement de 118 cm ; b : superposition des variations de la susceptibilité magnétique à la carte de résistivité électrique pour un écartement de 118 cm, sur la figure 9b l'échelle de gris est en susceptibilité et non en résistivité (fond topographique R. Touquet).

Fig. 9 – a : delimitation of the most important magnetic susceptibility variations for a 118 cm coil gauge ; b : superimposition of the magnetic susceptibility variations and of the electric resistivity map for a 118 cm coil gauge (topographic base R. Touquet).

archéologiques, probablement plus tardives : aucune organisation particulière ne semble apparaître, excepté une certaine orthogonalité pour quelques segments dans

le secteur A. L'amplitude de ces anomalies est cependant très faible et ne peut correspondre qu'à des structures érodées.

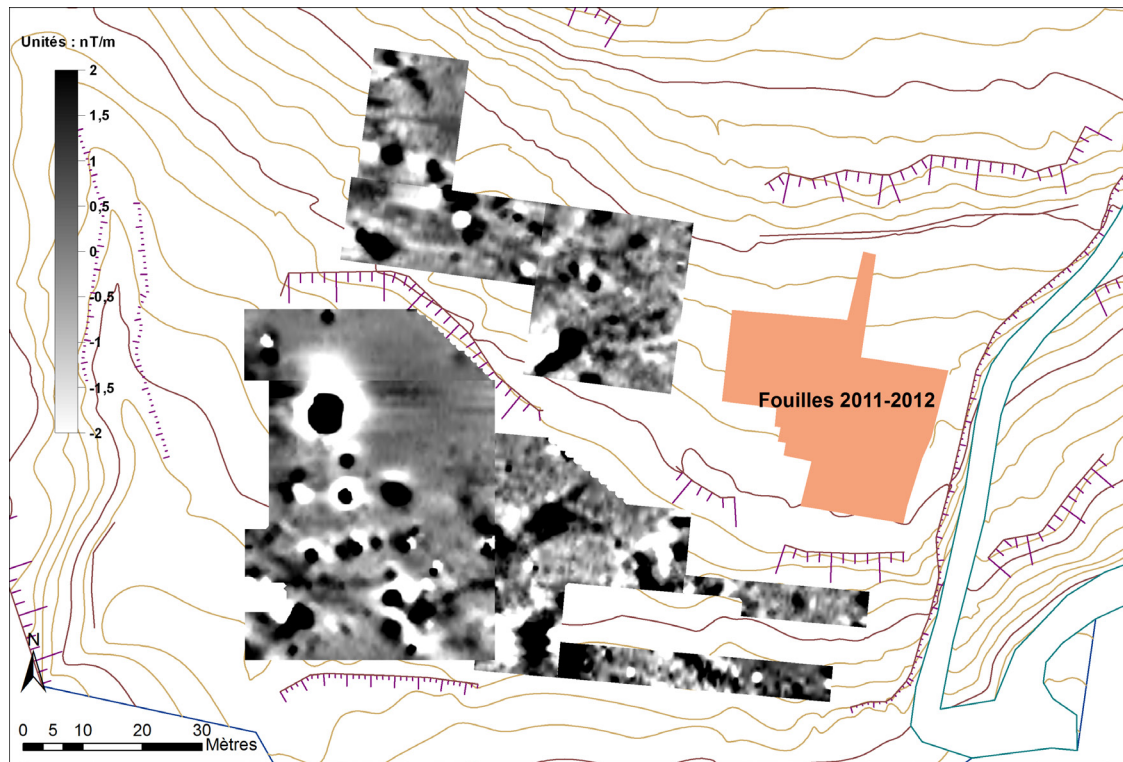


Fig. 10 – Carte magnétique obtenue sur le site de Klimonas au moyen du gradiomètre au césium G-858 (Geometrics ; relevé C. Benech ; fond topographique R. Touquet).

Fig. 10 – Magnetic map of the site Klimonas obtained by the way of a Cesium G-858 gradiometer (Geometrics ; drawing C. Benech ; topographic base R. Touquet).

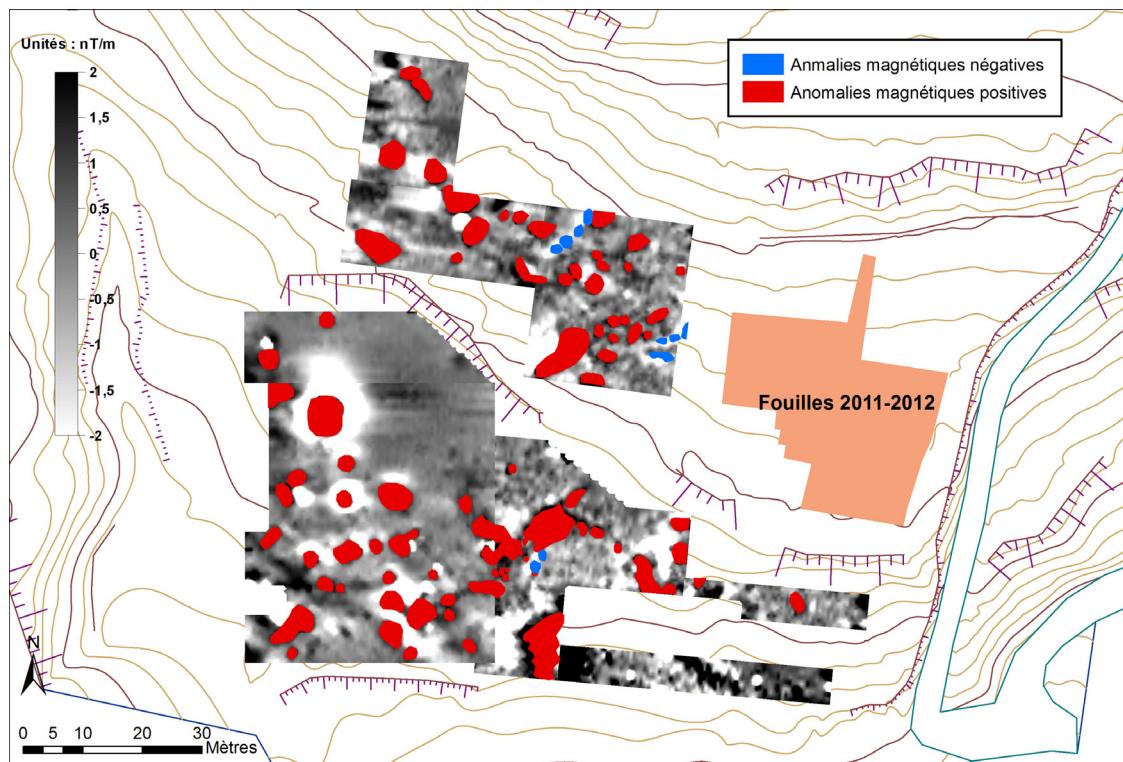


Fig. 11 – Interprétation de la carte magnétique et délimitation des anomalies significatives (DAO C. Benech ; fond topographique R. Touquet).

Fig. 11 – Interpretation of the magnetic map and delimitation of the significant anomalies (CAD C. Benech ; topographic base R. Touquet).

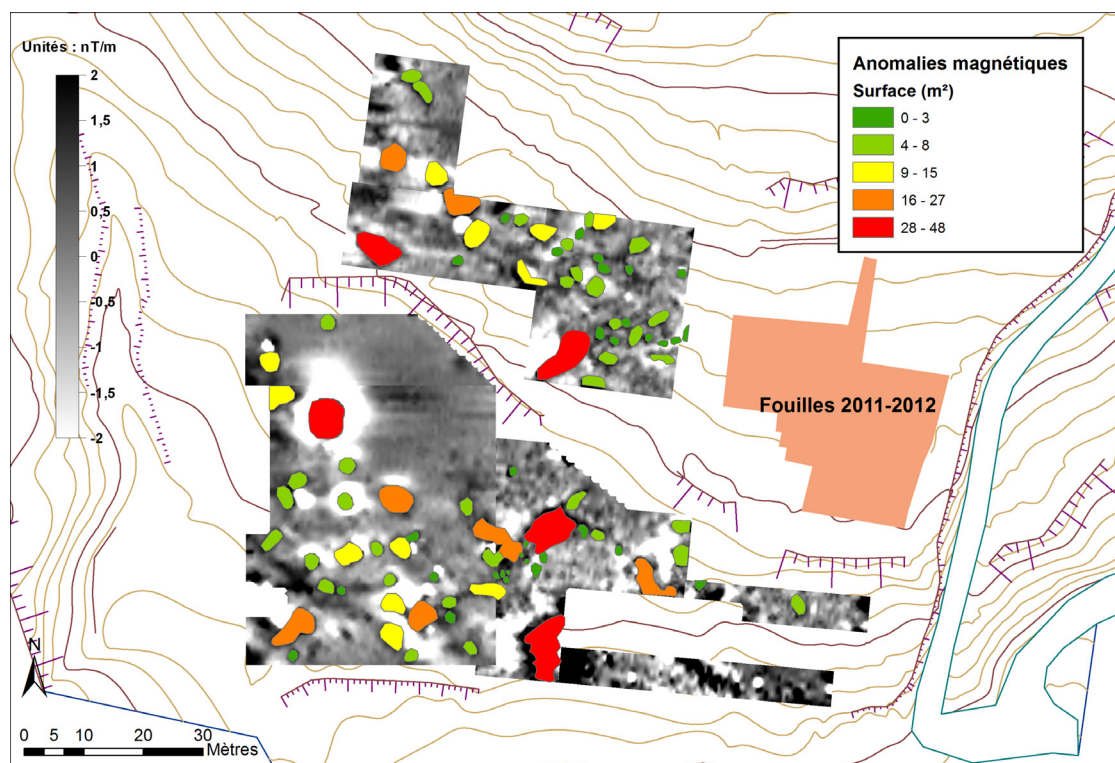


Fig. 12 – Répartition des anomalies magnétiques en fonction de la superficie (DAO C. Benech ; fond topographique R. Touquet).

Fig. 12 – Distribution of the magnetic anomalies according to their surface (CAD C. Benech; topographic base R. Touquet).

Surface (m ²)	Nombre de structures	%
0-1,5	10	10,8
1,5-3	24	25,8
3-8	35	37,6
8-15	12	12,9
15-27	8	8,6
27-45	4	4,3

Tabl. 1 – Distribution des anomalies magnétiques en fonction de leur profondeur.

Table 1 – Distribution of the magnetic anomalies according to their depth.

Répartition spatiale

La répartition spatiale des anomalies magnétiques n'est pas homogène sur l'ensemble de la surface prospectée. Le secteur A offre une vision contrastée entre une partie orientale marquée par une forte densité d'anomalies, majoritairement de taille moyenne, et une partie occidentale avec quelques anomalies seulement, mais de taille plus importante.

Le secteur B est celui qui compte le moins d'anomalies, mais celles qui sont présentes sont d'amplitude magnétique relativement forte et elles sont très étalées. La vision de ce secteur est partiellement biaisée par la difficulté à se prononcer sur les anomalies partiellement visibles à l'est, sur les deux petites terrasses.

Les anomalies du secteur C sont majoritairement situées dans la partie occidentale de la carte magnétique, à proximité du fond du talweg et le long d'une limite marquée par une anomalie magnétique linéaire qui signale certainement la limite d'une ancienne terrasse. Les deux grandes anomalies décrites plus haut occupent la partie centrale de ce secteur. Les autres anomalies, immédiatement au sud-ouest, se rapprochent par leur forme et leur taille de celles observées dans le secteur A, avec cependant une densité légèrement plus faible.

Profondeur des sources magnétiques

La déconvolution d'Euler appliquée aux anomalies magnétiques permet d'avoir une estimation de la profondeur des sources magnétiques à l'origine de ces dernières (Desvignes *et al.*, 1999 ; ici : fig. 13). Dans le cas de Klimonas, quelques sources se situent autour de 1 m de profondeur, mais plus de la moitié se trouvent entre 40 et 80 cm et environ un tiers dans les premiers 40 cm (tabl. 2).

Pour les sources magnétiques les plus profondes, nous retrouvons en particulier les deux grandes anomalies quasi circulaires mentionnées précédemment. Il ne s'agit donc pas dans ces deux cas d'une réponse superficielle, et ces anomalies signalent bien des éléments de grandes dimensions dont la source magnétique se situe à environ 1 m de profondeur.

Pour le reste, les différences restent relativement faibles. Les anomalies les plus superficielles peuvent potentiellement signaler des structures plus récentes,

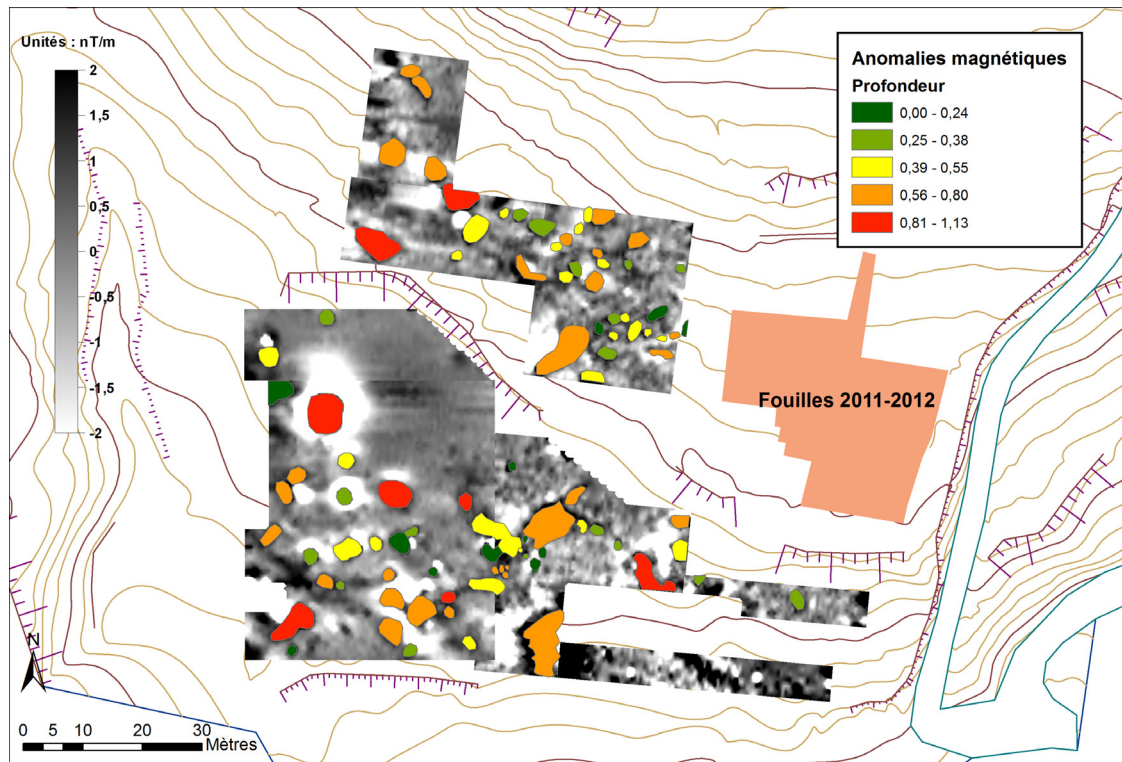


Fig. 13 – Répartition des anomalies magnétiques en fonction de leur profondeur (DAO C. Benech ; fond topographique R. Touquet).

Fig. 13 – Distribution of the magnetic anomalies according to their depth (CAD C. Benech, topographic base R. Touquet).

Profondeur (m)	Nombre de structures	%
0-0,24	13	14,0
0,24-0,38	18	19,4
0,38-0,55	24	25,8
0,55-0,80	30	32,3
0,80-1,13	8	8,5

Tabl. 2 – Distribution du nombre de structures en fonction de leur profondeur.

Table 2 – Distribution of the number of structures according to their depth.

mais aucun phasage clair en fonction de la profondeur n'apparaît dans la répartition spatiale des anomalies.

Décapages mécaniques et sondages archéologiques

Une série de décapages mécaniques réalisés quelques semaines après la prospection géophysique a permis de préciser la nature du régolithe (substrat géologique altéré à partir duquel se réalise la pédogénèse) ainsi que l'origine des anomalies électromagnétiques (fig. 14). Les attributions chronostratigraphiques des formations géologiques impliquées dans le régolithe ont été identifiées et nommées sur la base des descriptions lithologiques de la feuille Pharmakas-Kalavassos de la carte géologique de Chypre (Pantazis, 1978). Les décapages ont permis à l'un

de nous (J.-D. V.) d'en établir une cartographie à l'échelle du versant occupé par le site (fig. 15).

La vaste surface du secteur A, très prometteuse car jouxtant la parcelle fouillée en 2011-2012, au même niveau topographique, a fait l'objet d'une série de quatre décapages mécaniques de 2 à 3 m de large chacun, grossièrement orientés nord-sud, dans le sens de la pente de la terrasse.

– Décapage A1 (TA1) : bande nord-sud de 26 m de long (74 m²) et 40 cm de profondeur en moyenne. Il a mis au jour une succession de formations géologiques, du nord au sud : a) colluvions gris-brun, récentes, très riches en matériel précéramique (silex, fragments de macro-outillage) provenant sans doute de l'érosion des bâtiments du secteur F ; b) langue de « havara » (nom local chypriote des calcrètes) s'étendant sur 3 m vers le sud ; c) marnes gris verdâtre des formations géologiques de Lefkara inférieures (hi1) intercalées avec de petits bancs plus crayeux ; le litage est orienté SE-NO, avec un pendage nord-est d'environ 70° ; d) courte plage (1 m du nord au sud) de colluvions anciennes avec petits blocs centimétriques arrondis et décarbonatés ; e) « havara » en continuité probable avec celle reconnue à la fouille en 2011-2012 dans le secteur central (parcelle 168). Ce décapage a mis au jour trois concentrations de blocs calcaires qui ont fait l'objet de fouilles manuelles. Deux d'entre elles (St 1002 et 1005) se sont révélées archéologiquement stériles. La troisième (St 1004), fouillée par moitié sur 1 m de profondeur, s'est révélée être les restes d'un silo de période Sotira, secondairement comblé de

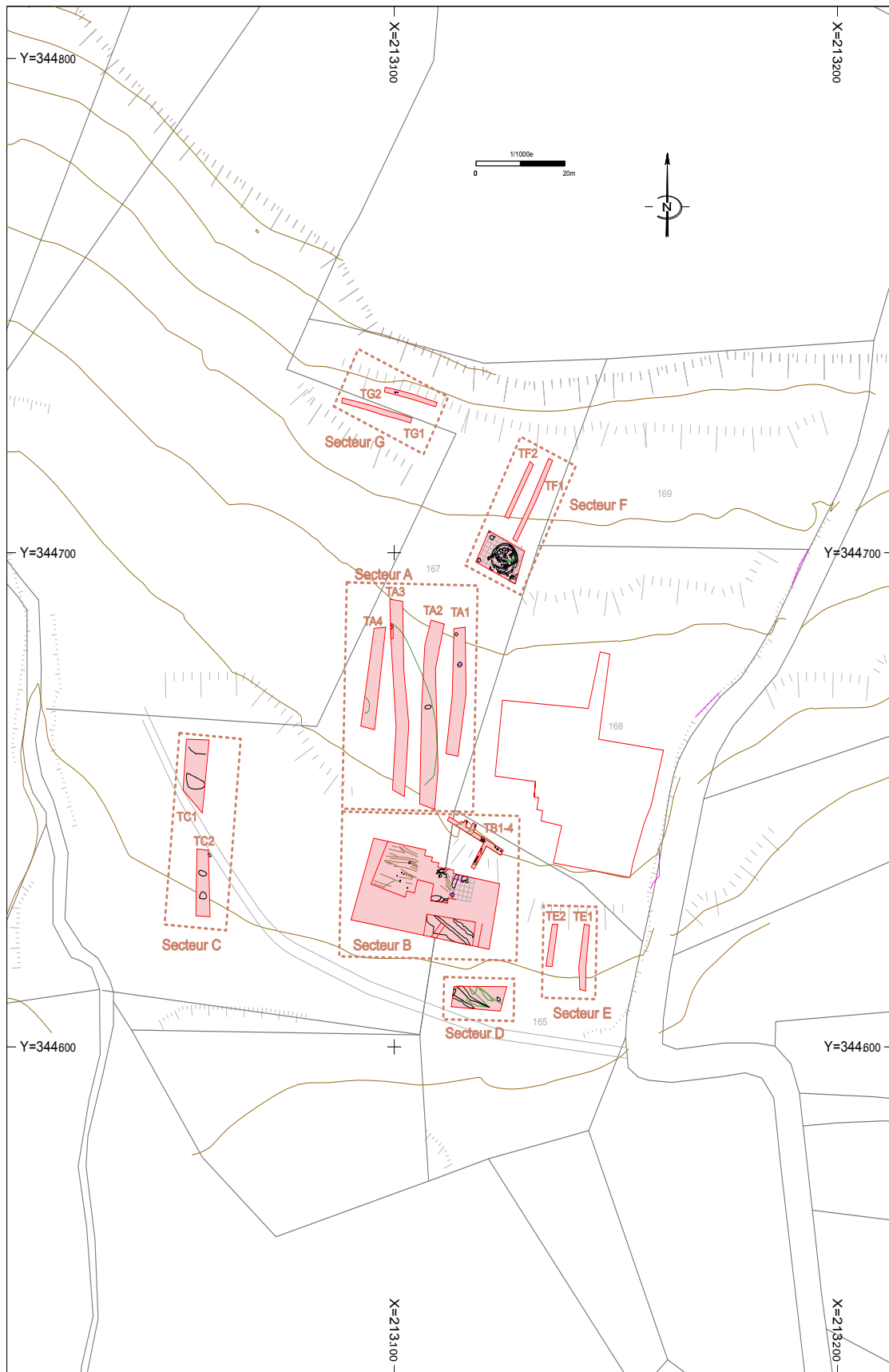


Fig. 14 – Relevé des décapages mécaniques et des sondages réalisés durant la campagne de 2014, quelques semaines après la prospection géophysique (DAO R. Touquet).

Fig. 14 – Drawing of the mechanical clearings and trenches excavated during the 2014 excavation season, a few weeks after the geophysical survey (CAD R. Touquet).

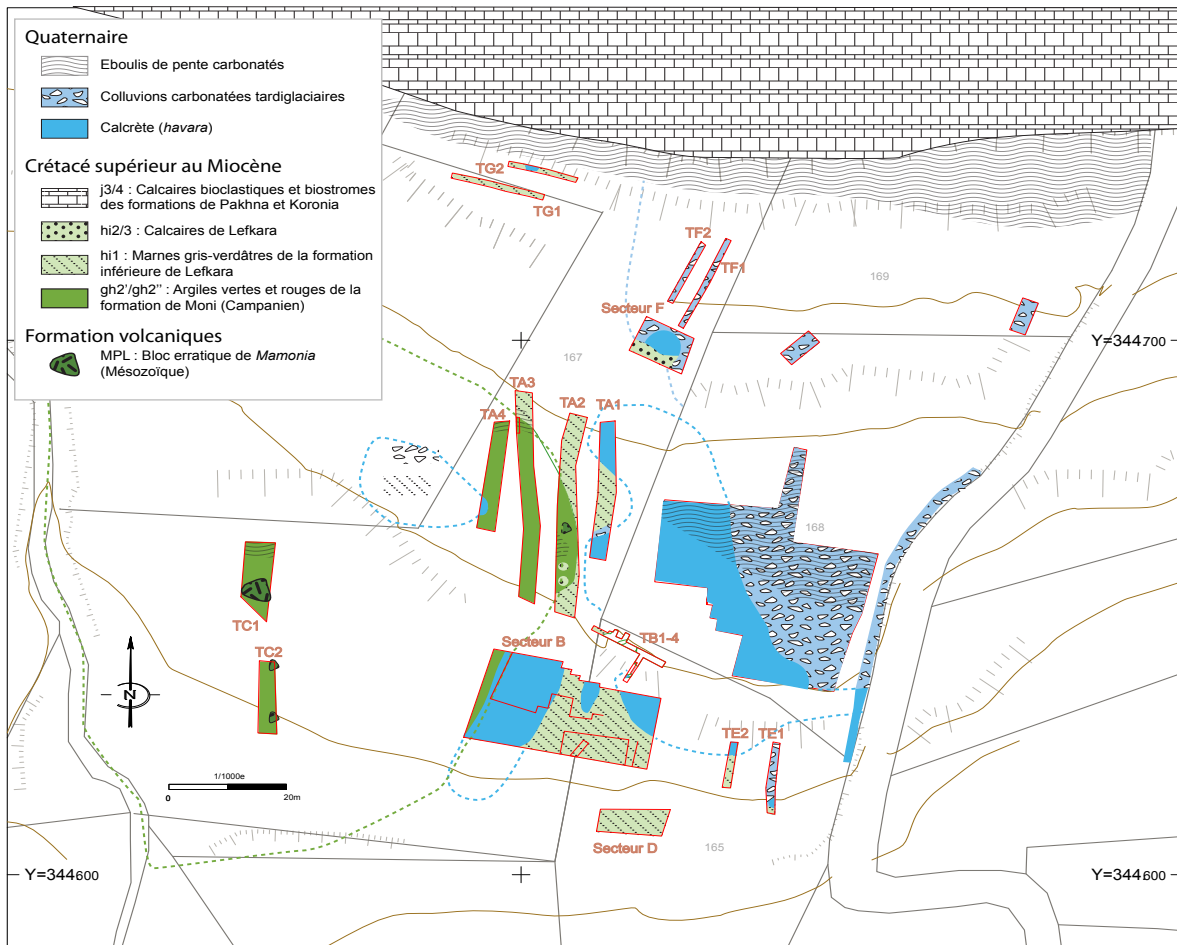


Fig. 15 – Cartographie du régolithe atteint par les décapages et des formations géologiques correspondantes, telles qu'elles sont décrites, sur la carte géologique au 1:31 680, par Pantazis (Pantazis, 1978; relevé J.-D. Vigne; DAO R. Touquet et J.-D. Vigne).

Fig. 15 – Map of the regolith cleared by the clearings and trenches, and of the corresponding geological formations, according to their description in the 1:31,680 geological map by Pantazis (Pantazis, 1978; drawing J.-D. Vigne; CAD R. Touquet and J.-D. Vigne).

pierres. Elle correspond à une des nombreuses anomalies magnétiques relevées dans ce secteur.

– Décapage A2 (TA2) : bande nord-sud de 38 m de long (128 m²) et 50 cm de profondeur en moyenne, offrant un large éventail d'affleurements de régolithe. Du nord au sud : a) marnes gris verdâtre des formations inférieures de Lefkara, alternant avec des passées marneuses beige (même litage et pendage qu'en TA1); b) argiles vertes massives, à débitage prismatique de la formation géologique de Moni (gh2'/gh2'', Crétacé supérieur moyen); elles enrobent, au sud, deux blocs fortement altérés de craie de Lefkara, ainsi qu'un bloc erratique de Manonia (MPL, formation volcano-sédimentaire mésozoïque) individualisé sous le numéro de structure St 1003; c) nappe diffuse de dépôts de pente carbonatés quaternaires, reposant çà et là sur les argiles de Moni; d) de nouveau, marnes gris verdâtre de la formation de Lefkara. Ce décapage n'a livré aucun vestige archéologique.

– Décapage A3 (TA3) : décapage nord-sud de 40 m de long (108 m²) et 50 cm de profondeur en moyenne.

Toute la partie sud ouvre sur les argiles crétacées de Moni, vert sombre avec de larges plages rouge brique. L'extrémité nord est occupée par les marnes gris verdâtre de Lefkara, comportant des nodules silicifiés. Le contact entre les deux formations est coiffé d'un fin dépôt de pente carbonaté comparable à celui de TA2. Ce décapage recoupe partiellement une tranchée d'époque antique (St 1001), à profil en « V ». Fouillée en coupe sur toute sa hauteur (un peu plus de 1 m), elle a livré des portions de drain en céramique d'époque antique, comparables à ceux observés en 2009 dans la coupe de la route, et datés du III^e au I^{er} siècle avant notre ère (Vigne *et al.*, 2011). Cette structure pourrait correspondre à une des anomalies magnétiques mises en évidence dans cette région, mais aucune de ces dernières n'offre le profil linéaire qu'on pourrait attendre compte tenu des observations archéologiques.

– Décapage A4 (TA4) : décapage nord-sud de 21 m de long (59 m²) et 60 cm de profondeur. Le substrat géologique apparaît immédiatement sous la terre végétale.

Il est composé partout des argiles vertes de la formation de Moni, excepté à l'extrémité sud-ouest, où affleure la terminaison orientale du pointement de « havara » qui émerge à quelques mètres de là, vers l'ouest. À la terminaison septentrionale du décapage affleure à peine un dépôt de pente carbonaté pierreuse. Aucune structure archéologique n'a été mise en évidence.

Deux décapages orientés nord-sud ont été pratiqués dans le secteur C afin de préciser la nature des principales anomalies géophysiques reconnues. Dans cette zone, ces dernières correspondent systématiquement à des blocs erratiques ou à des affleurements de roches ultrabasiques mésozoïques (Mamonia, MPL) ennoyés dans les argiles de Moni du Crétacé (gh2'/gh2'') :

– TC1 : sous une quinzaine de centimètres de terre végétale comportant quelques tessons historiques, ce décapage de 15 m de long sur 5 m de large (62 m²) et 80 cm de profondeur fait apparaître, dans sa partie centrale, un affleurement massif de roche ultrabasique (Mamonia), ennoyé dans les argiles géologiques vertes et rouges de la formation de Moni. Cette observation explique la plus grande anomalie magnétique de ce secteur, d'ailleurs repérable aussi par les signaux électromagnétiques. Au nord du décapage apparaît une nappe carbonatée, riche en pierres décimétriques. Il s'agit probablement d'un dépôt de pente issu de l'érosion des colluvions et des calcaires situés en amont du versant. Il pourrait expliquer pourquoi les signaux magnétiques sont absents dans cette région.

– TC2 : décapage de 13,5 sur 3 m (39 m²), pratiqué sur une profondeur de 60 cm. Sous une terre végétale livrant des tessons antiques et modernes, il met au jour un épais affleurement d'argiles vertes de la formation de Moni, dans la continuité de l'affleurement atteint par TC1. Deux grandes fosses, remplies de blocs calcaires pluridécimétriques et d'un sédiment carbonaté issu de l'érosion des formations géologiques situées en amont du versant, ont livré quelques tessons antiques (amphore, sigillée). Elles n'ont pas été fouillées plus avant. Leur localisation ne correspond à aucun des deux forts signaux magnétiques enregistrés sur le tracé de ce décapage. Ces derniers, en revanche, se superposent à deux blocs de Mamonia ennoyés dans les argiles de Moni.

La fenêtre ouverte en secteur B couvre 471 m² (32 m nord-sud sur 17 m est-ouest; fig. 14). Le décapage mécanique, puis manuel, a rapidement mis en évidence, presque partout et sous une faible à très faible couche de terre arable, un substrat géologique composé des marnes gris verdâtre de Lefkara (hi1) surmontées, à l'ouest, par une dalle de « havara » compacte et épaisse d'une quarantaine de centimètres sur sa bordure occidentale. Les vestiges archéologiques se concentrent dans quatre zones (fig. 14) :

– au nord-ouest de la fenêtre, sur la grande plaque de « havara », on a relevé une série de sillons de labour (périodes historiques) ainsi que six trous de poteau de datation incertaine ;

– au bord de la limite nord de la fenêtre, une petite langue de « havara » de 2 × 2 m montre une série de fos-

sés (St 601 et 602), de fosses (St 603 et 604) et de trous de piquet attribuables sans ambiguïté au Néolithique précéramique, et correspondant aux restes très érodés de deux bâtiments circulaires dont les murs de terre, aujourd'hui disparus, reposaient dans des tranchées de fondation (Vigne *et al.*, ce volume, fig. 16) ; rien n'annonçait ces structures dans les enregistrements géophysiques ;

– cinq mètres plus à l'ouest, la fouille a rencontré une série d'aménagements d'époque antique, sous la forme de restes de murs (St 609, 614, 615, 616) et d'un chapelet de fosses larges et profondes, grossièrement orienté SSO-NNE (St 630-33, St 617) ; seules ces dernières fosses se superposent à des anomalies magnétiques observées ;

– dans l'angle sud-est de la fenêtre sont apparus deux murs de terrasse probablement antiques (St 618 et 620) ainsi que les produits de leur démantèlement (St 619), le tout orienté NO-SE ; les anomalies magnétiques observées dans cette région ne s'y superposent pas de manière stricte.

La fenêtre décapée dans le secteur D couvre 53 m² (12 m est-ouest, 4,5 m nord-sud). Elle a été implantée sur les fortes anomalies magnétiques. Le décapage a rapidement mis en évidence la présence d'une fosse, probablement antique, à l'extrémité orientale (St 703) et de deux murs de terrasse de la même époque (St 700 et 701), orientés parallèlement à ceux de la moitié méridionale du secteur B (s.s.), c'est-à-dire NO-SE. Bien qu'ils ne s'y superposent pas de façon stricte, ils expliquent sans doute l'anomalie magnétique linéaire de même orientation.

Le secteur E a fait l'objet de deux tranchées nord-sud, pratiquées sur 1 m de largeur chacune et sur des longueurs respectives de 13 m (TE1) et 8,6 m (TE2). Leur implantation a été guidée par le double souci de disposer de coupes géomorphologiques des petites terrasses qui jouxtent au sud la surface fouillée en 2011-2012 et de vérifier la nature de deux anomalies magnétiques localisées dans cette région. Les deux tranchées se sont révélées archéologiquement stériles. En voici la description :

– TE1 : sous la terre végétale riche en matériaux précéramiques érodés, on trouve, sur 90 cm d'épaisseur, la succession de colluvions tardiglaciaires qui a déjà été mise en évidence dans la coupe de la route en 2009 (Vigne *et al.*, 2011). Elle couvre un petit pointement de havara à l'extrémité sud de la tranchée, qui surmonte lui-même un affleurement de marnes gris verdâtre de Lefkara.

– TE2 : sous la terre végétale et les colluvions récentes issues du tas de déblais des fouilles de 2011-2012, on atteint directement la « havara » sur les 3 m les plus septentrionaux de la tranchée. Vers le sud, elle fait place aux marnes gris verdâtre de Lefkara.

Implantées sans l'aide d'un théodolite, ces tranchées ne se superposent qu'imparfaitement aux deux signaux magnétiques. Il serait donc hâtif de conclure que ces derniers ne correspondent à aucune discontinuité géologique ou archéologique. Il est cependant difficile d'imaginer, ici encore, que si les signaux avaient traduit des faits archéologiques significatifs, aucune des deux tranchées n'en ait enregistré ne serait-ce que les bordures.

DISCUSSION

Les décapages mécaniques permettent de préciser les résultats des prospections géophysiques et d'évaluer les performances vis-à-vis des témoins archéologiques, dans ce contexte particulier d'un versant très érodé au substrat très contrasté.

C'est en premier lieu la cartographie du substrat géologique du versant, déduite de la caractérisation du réolithite mis au jour par les décapages (fig. 15), qui montre le plus de ressemblance avec la cartographie électromagnétique. La zone conductrice, bien délimitée, qui couvre l'essentiel des secteurs A et C correspond à la présence d'argiles vertes ou rouges de la formation dite de Moni (gh2¹/gh2²) qui a recouvert, au Crétacé supérieur moyen (Campagnien; 83-70 millions d'années), les formations ultrabasiques, d'origine effusive, du plancher océanique mésozoïque (Pantazis, 1978). Comme l'ont montré les décapages TC1 et TC2, les signaux de forte susceptibilité magnétique qui ponctuent ces espaces à forte conductivité correspondent à des pointements du socle ultrabasique mésozoïque ou à des blocs erratiques de ce même substrat emballés dans les argiles de Moni (fig. 15). Ces formations volcano-sédimentaires fortement tectonisées ont été décrites sous le terme de « Mamonia » (MPL : Pantazis, 1978; Lapierre *et al.*, 2007). Les zones résistantes bordent les secteurs A à l'est et C au sud, et s'étendent aux secteurs B-D-E. Elles sont principalement associées à la couverture de marnes gris verdâtre de la formation inférieure de Lefkara (hi1), déposées entre le Crétacé final et le Tertiaire moyen, et moins riches en oxydes de fer (Maher, 1998). Elles correspondent aussi, ponctuellement à l'ouest du secteur A, mais aussi sur une importante part du secteur B, à la présence de calcifications pédologiques datant du Dernier Pléniglaciaire (calcrètes nommées « havara »; Schirmer, 1998) et, secondairement, de colluvions moins carbonatées, comparables à celles décrites dans la coupe de la route, à l'est du secteur fouillé en 2011-2012 (Vigne *et al.*, 2011). La présence, à la base de ces formations colluviales, d'un paléosol daté de la fin du Dernier Pléniglaciaire (Mylona, Devillers *et al.*, ce volume) confirme que, comme la « havara », ces formations sont antérieures au Tardiglaciaire. On remarque que les plus fortes résistivités sont observées au centre du secteur B et qu'elles correspondent à une formation de « havara » très carbonatée, et probablement localement très épaisse, qui pourrait résulter du comblement d'un paléo-talweg formé avant le Dernier Pléniglaciaire.

Il est intéressant de noter que la zone conductrice est, dans l'ensemble, archéologiquement stérile, les rares structures archéologiques révélées par la fouille se concentrant sur les zones résistantes. Cette situation peut résulter du fait que le village PPNA a préférentiellement été implanté sur les substrats carbonatés, mieux adaptés à supporter une architecture d'adobe sur armature de poteaux de bois (Vigne *et al.*, 2012 et ce volume; Mylona, Wattez *et al.*, ce volume). Elle peut tout autant refléter une intense érosion, responsable à la fois de

l'affleurement des formations géologiques profondes, les plus riches en fer, et de la disparition des structures archéologiques néolithiques.

Les faibles valeurs de susceptibilité magnétique dans ces mêmes secteurs ont donc elles aussi une origine pédogéologique, les milieux argileux étant généralement pauvres en oxydes de fer magnétiques. Les plus fortes valeurs observées dans la partie occidentale du secteur B peuvent cependant être aussi en partie dues à l'occupation humaine, puisque c'est là qu'a été trouvé le plus grand nombre de structures archéologiques.

Comme les pointements de Mamonia du secteur C mentionnés ci-dessus, la plupart des anomalies visibles sur la carte magnétique semblent elles aussi correspondre à des éléments géologiques du terrain : ces anomalies se trouvent en effet dans la zone conductrice révélée en prospection électromagnétique; leur taille est par ailleurs peu compatible avec les dimensions des structures néolithiques recherchées. Une seule anomalie magnétique correspond à une structure archéologique bien individualisée : il s'agit d'un silo de la période Sotira (St 1004). Quelques autres anomalies de la même taille, mentionnées plus haut, ont été repérées sur la carte magnétique, mais elles ne semblent pas forcément signaler ce même type de structure : certaines d'entre elles, situées notamment dans la tranchée TA2, n'en ont révélé aucune.

La fouille des secteurs B et D a par ailleurs montré que beaucoup de structures archéologiques, correspondant au Néolithique précéramique ou à des époques postérieures, ne sont pas visibles sur la carte magnétique, ou du moins n'y sont pas individualisées (fig. 16). Seuls les murs de terrasse antiques du secteur D (St 630-633) semblent correspondre à des anomalies magnétiques, sans qu'on puisse réellement préciser si le signal vient de l'aménagement anthropique ou de l'affleurement de matériaux plus ferromagnésiens (marnes gris verdâtre) que le creusement des fondations du mur a mis au jour en bordure de terrasse. Cette seconde hypothèse pourrait être confortée par le fait que les murs de terrasse du secteur B (St 618 et 620), très comparables aux précédents mais dont l'implantation n'a pas entraîné la remontée de matériaux pédogéologiques profonds, ne sont traduits par aucun signal magnétique. Certaines des grandes fosses antiques découvertes à la fouille dans le secteur B correspondent bien à un signal magnétique (St 630-33), mais d'autres pas (St 616). Les petites structures, de type trou de poteau, sont « noyées » dans la réponse globale du terrain : si la détection de ce type de structure reste possible, elle nécessite cependant un environnement pédologique moins perturbé et, aussi, une résolution de mesure magnétique plus fine.

CONCLUSION

Les résultats obtenus à la fois par prospection magnétique et électromagnétique ont donc été plus instructifs sur un plan environnemental que sur un plan archéologique. En effet, si quelques éléments anciens, comme le

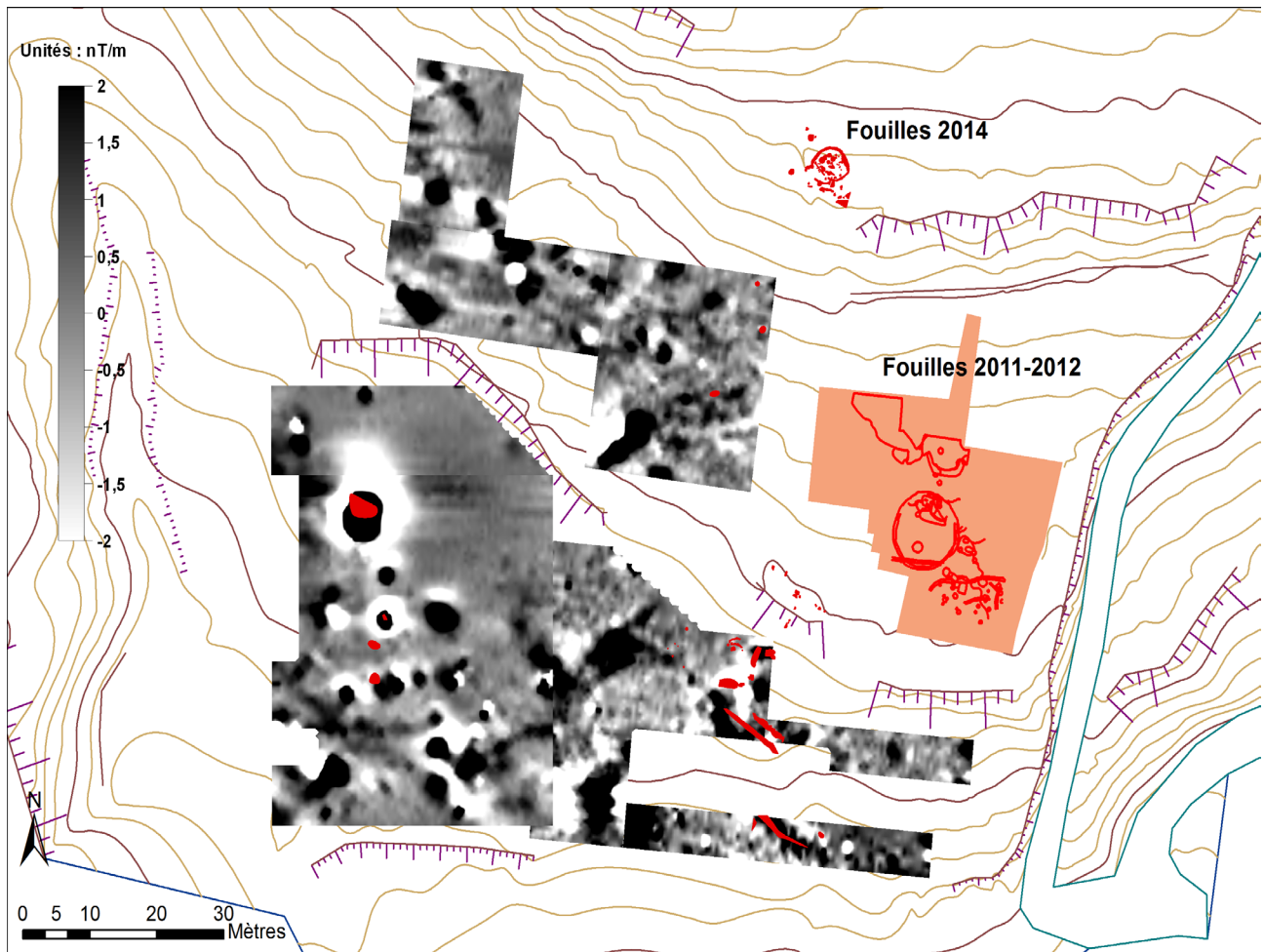


Fig. 16 – Superposition des anomalies magnétiques et des principales structures archéologiques observées à Klimonas durant les campagnes 2011, 2012 et 2013, en rouge (DAO R. Touquet et C. Benech).

Fig. 16 – Superimposition of the magnetic anomalies and of the main archaeological features observed at Klimonas during the 2011, 2012 and 2013 seasons, in red (CAD R. Touquet and C. Benech).

silos d'époque Sotira, sont identifiables après coup sur la carte magnétique, la réponse magnétique de ces structures est trop faible en amplitude et trop réduite en dimensions pour être facilement reconnaissable sur la carte magnétique parmi les fortes réponses enregistrées liées à la présence de marnes, de colluvions, de « havara » ou, pour les plus magnétiques, d'argiles et de roches ultrabasiqes. Les mesures de susceptibilité magnétique ont partiellement contribué à caractériser les zones les plus anthropisées mais là aussi l'influence de la géologie est importante.

Il faut aussi observer que la plus grande partie de la zone couverte par la prospection s'est révélée archéologiquement stérile : les fouilles réalisées au printemps 2014 ont montré que l'occupation néolithique du site s'étendait préférentiellement sur les terrasses supérieures du site qui n'avaient pas pu être explorées en raison de leur exigüité.

Cette répartition de l'occupation s'accorde bien avec les données environnementales obtenues à partir de la carte de résistivité électrique qui montre clairement que les installations néolithiques sont implantées sur les zones les plus résistantes où la plaque de « havara » est proche de la surface, plutôt que dans les zones conductrices correspondant à des milieux plus argileux.

Remerciements : La mission de prospection géophysique de Klimonas a bénéficié du soutien de la mission « Néolithisation de Chypre » (resp. F. Briois) du ministère des Affaires étrangères et de la Coopération, de l'École française d'Athènes, et du Site d'étude en écologie globale « Limassol » (CNRS, INEE). Nous témoignons également notre reconnaissance à Régis Touquet (INRAP, Centre – Île-de-France), à Isabelle Carrère (EHESS, Toulouse) et à Pantelitsa Mylona (MNHN, Paris).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASPINALL A., GAFFNEY C., SCHMIDT A. (2008) – *Magnetometry for Archaeologists*, Lanham, AltaMira Press, 208 p.
- BONSALL J. *et al.* (2013) – Assessment of the CMD Mini-Explorer, a New Low-frequency Multi-Coil Electromagnetic Device, for Archaeological Investigations, *Archaeological Prospection*, 20, 3, p. 219-231.
- BRÉZILLON M., HESSE A. (1962) – Néolithique danubien et Bronze récent à Champs (Yonne), *Gallia Préhistoire*, 5, 1, p. 157-172.
- DESIGNES G., TABBAGH A., BENECH C. (1999) – The Determination of the Depth of Magnetic Anomaly Sources, *Archaeological Prospection*, 6, 2, p. 85-105.
- HESSE A. (1966) – Perfectionnement des applications archéologiques de la prospection électrique, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 63, 1, p. 15-19.
- HESSE A. (1973) – Applications de méthodes géophysiques de prospection à l'étude de sites préhistoriques et protohistoriques, *Paléorient*, 1, 1, p. 11-20.
- HESSE A. (1980) – La prospection des vestiges préhistoriques en milieu proche-oriental : une douzaine d'années d'expériences géophysiques, *Paléorient*, 6, 1, p. 45-54.
- HESSE A., RENIMEL S. (1978) – Reconnaissance des limites du site néolithique de Khirokitia (Chypre), d'après les distributions superficielles de vestiges et la résistivité du sol, *Revue d'archéométrie*, 2, 1, p. 5-18.
- LAPIERRE H., BOSCH D., NARROS A., MASCLE G. H., TARDY M., DEMANT A. (2007) – The Mamonía Complex (SW Cyprus) Revisited: Remnant of Late Triassic Intra-Oceanic Volcanism along the Tethyan Southwestern Passive Margin, *Geological Magazine*, 144, p. 1-19.
- LE BORGNE E. (1965) – Les propriétés magnétiques du sol. Application à la prospection des sites archéologiques, *Archaeo-Physica*, 1, p. 1-20.
- MAHER B. A. (1998) – Magnetic Properties of Modern Soils and Quaternary Loessic Paleosols: Paleoclimatic Implications, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 137, 1-2, p. 25-54.
- MARMET E. (2000) – *Cartographie à large maille de la susceptibilité magnétique du sol pour une évaluation archéologique sur les grands tracés*, thèse de doctorat, université Pierre-et-Marie-Curie, Paris.
- PANTAZIS T. (1978) – *Geological Map of Cyprus, Pharmakas-Kalavassos Section*, 1:31,680, Nicosie, Geological survey department of Cyprus (Geological Memoir, 8).
- SAILE T., POSSELT M. (2002) – Durchblick in Diemarden. Geomagnetische Prospektion einer bandkeramischen Siedlung, *Germania*, 80, p. 23-46.
- SAILE T., POSSELT M. (2007) – Un maître d'œuvre qualifié pour le Néolithique ancien de Basse-Saxe ? Prospections magnétiques sur les places centrales du Rubané, in F. Le Brun-Ricalens, F. Valotteau et A. Hauzeur (dir.), *Relations interrégionales au Néolithique entre Bassin parisien et bassin rhénan*, actes du 26^e Colloque interrégional sur le Néolithique (Luxembourg, 2003), *Archaeologia Mosellana*, 7, p. 55-64.
- SCHIRMER W. (1998) – Havara on Cyprus. A Superficial Calcareous Deposit, *Eiszeitalter und Gegenwart*, 48, p. 110-117.
- TABBAGH A. (1986) – Applications and Advantages of the Slingram Electromagnetic Method for Archaeological Prospecting, *Geophysics*, 51, 3, p. 576-584.
- VIGNE J.-D., BRIOIS F., ZAZZO A., CARRÈRE I., DAUJAT J., GUILAINE J. (2011) – Preliminary Data on a New Early Pre-Pottery Neolithic Site on Cyprus (Ayios Tychonas-Klimonas, ca. 9000 cal. BC), *Neo-Lithics*, 1/11, p. 3-18.
- VIGNE J.-D., BRIOIS F., ZAZZO A., WILLCOX G., CUCCHI T., THIÉBAULT S., CARRÈRE I., FRANEL Y., TOUQUET R., MARTIN C., MOREAU C., COMBY C., GUILAINE J. (2012) – First Wave of Cultivators Spread to Cyprus at Least 10,600 y Ago, *Proceedings of the National Academy of Science of USA*, 109, 22, p. 8445-8449.

Christophe BENECH

UMR 5133 Archéorient

Maison de l'Orient et de la Méditerranée

7, rue Raulin, F-69365 Lyon cedex 07

Alain TABBAGH

UMR 7619 METIS

Université Pierre-et-Marie-Curie

– CNRS – Sorbonne Universités

Case 105 – 4, place Jussieu,

F-75252 Paris cedex 05

Jean-Denis VIGNE

UMR 7209 Archéozoologie, archéobotanique :

sociétés, pratiques, environnements

CNRS – Muséum national d'histoire naturelle

– Sorbonne Universités

CP 56 – 55, rue Buffon, F-75005 Paris

vigne@mnhn.fr