

PROSPECȚIUNI GEOFIZICE – MAGNETICE ȘI ELECTRICE – EXPERIMENTALE, APLICATE ÎN PERIME- TRUL ARHEOLOGIC AL CASTRULUI ANTIC DE LA BEROE (PIATRA FRECĂȚEI)

DE

A. PETRE și ing. A. APOSTOL

Prospecțiunile geofizice au început să fie utilizate ca metodă de cercetare în problemele arheologice din țara noastră din anul 1966, în cursul unor campanii geofizice experimentale la Beroe (Piatra Frecăței)¹ (fig. 1a).

În aceste lucrări a fost folosită pe de o parte practica acumulată la Fundația Ing. C. M. Lericci din Milano², care, prin cursurile anuale „Noi metode tehnice aplicate în arheologie” ținute la Roma, a contribuit la răspîndirea acestor metode³ pe plan internațional și pe de altă parte, experiența cîștigată prin aplicarea la noi în țară a metodelor geofizice în rezolvarea unor variate probleme geotehnice de mică adîncime⁴. Dintre metodele geofizice aplicate în arheologie cea mai mare răspîndire o au metodele electrice și magnetice⁵. Aceste metode au fost experimentate la Beroe (Piatra Frecăței) în anii 1966 și 1967, cu scopul de a rezolva o serie de probleme arheologice la scară mică, după următorul program :

¹ Prospecțiunile experimentale s-au executat în zona castrului roman de la Beroe, necercetat încă arheologic. Din marele complex existent la Beroe s-a săpat numai o parte din necropolă, cercetări despre care s-au dat informații în *Materiale*, VIII, 1962, p. 565–589.

² C. M. Lericci, *Alla scoperta delle civiltà sepolte. I nuovi metodi di prospezione archeologica*, Milano, 1960.

³ A. Petre, *Noi metode tehnice de prospecțiuni arheologice*, în *SCIV*, 17, 1966, 1 și *SCIV*, 17, 1966, 3.

⁴ D. Albeanu și A. Apostol, *Aplicarea prospecțiunilor electrometrice în studiile geotehnice din Institutul de proiectări transporturi*, în „Revista transporturilor”, an. 2, nr. 3, martie 1965, p. 114–122.

⁵ A. Hesse, *Prospections géophysiques à faible profondeur. Applications à l'archéologie*, Paris, 1966, p. 4–5; M. I. Aitken, *Physics and Archaeology*, Interscience Publishers, 1961; R. R. Linnington, *The applications of Geophysics to Archaeology*, în *American Scientist*, 51, 1963; I. S. Palmer, *Geoelectrical surveying of archaeological sites*, în *The Prehist. Soc.*, 5, 1960.

1. Alegerea metodelor geofizice de prospecțiune și a metodiceii de lucru, pe baza contrastului între proprietățile fizice ale orizonturilor sterile și orizonturilor arheologice.

2. Cercetarea limitelor unei formațiuni arheologice, vizibile parțial la suprafața terenului.

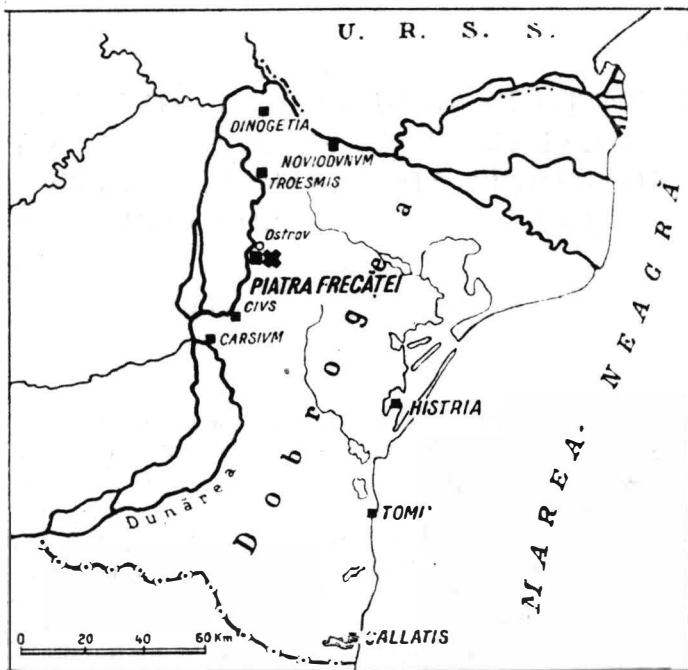


Fig. 1a. — Harta Dobrogei cu localizarea centrului antic de la Beroe (Piatra Frecăței).

3. Localizarea formațiunilor arheologice, în zone unde lipsesc indicii de suprafață.

Prin aplicarea metodelor geofizice în rezolvarea problemelor indicate, s-a urmărit micșorarea volumului total al săpăturilor în zonele sterile, ieftinirea costului campaniei arheologice și micșorarea timpului de lucru. Nu trebuie însă înțeles că prospecțiunile geofizice înlătură și înlocuiesc total cercetarea arheologică propriu-zisă, deoarece sînt necesare sondajele clasice, însă de proporții reduse chiar și în punctele determinate de măsurătorile geofizice ca relativ sterile. Aceste straturi quasi-sterile nu pot fi lăsate în afara cercetării, deoarece datele furnizate de ele sînt necesare la precizarea relațiilor existente între diversele structuri și cronologia lor relativă.

Aplicarea metodelor de prospecțiune trebuie înțeleasă ca o optimizare a lucrărilor arheologice în limitele unor sume de bani afectate săpăturilor, finanțare ce determină volumul de lucru și de personal. Folosirea diverselor metode tehnice printre care se numără și cele geofizice, prin datele pe care

le oferă asupra unui spațiu limitat, permite o abordare convenabilă a structurilor, o ameliorare a rezultatelor științifice ale campaniei, precum și o sensibilă ieftinire a cheltuielilor necesare săpăturilor propriu-zise.

ALEGEREA METODELOR GEOFIZICE DE PROSPECȚIUNE PE BAZA CERCETĂRII CONTRASTULUI EXISTENT ÎNTRE PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE ORIZONTURILOR ARHEOLOGICE ȘI ALE STRATURILOR STERILE

Din punct de vedere geologic, perimetrul arheologic Beroe este situat într-o regiune de depozite de loess care acoperă roci metamorfice de șisturi verzi, situate în platforma dobrogeană pe malul drept al Dunării⁶. Loessurile cu grosimi de 7—30 m⁷ sînt constituite din depunerea eoliană a unor fragmente de roci cu dimensiunile cuprinse între 0,02 și 0,08 mm. Modul de depunere și diametrul particulelor conferă loessurilor o porozitate de 50—60% și o permeabilitate apreciabilă care permit circulația apelor venite din precipitații. Apele se infiltrează în loess pînă la baza lui, astfel încît la suprafață acesta este de obicei uscat, pe cînd la bază umiditatea este ridicată.

Prospecțiunile electrice, spre deosebire de cele magnetice, sînt afectate de variația umidității precum și de alți parametri, fapt care îngreuiază de multe ori interpretarea rezultatelor. În schimb, prospecțiunea electrică utilizează un cîmp electric provocat artificial în teren, față de cîmpul magnetic natural și din acest motiv beneficiază de mai multe posibilități și procedee de cercetare a terenului. Aceste considerații ne obligă să acordăm metodei electrice un spațiu mai larg.

a. PROSPECȚIUNEA ELECTRICĂ

Parametrul fizic care se determină în prospecțiunea electrică este rezistivitatea notată cu ρ . În metodele de teren ale prospecțiunii electrice, se măsoară rezistivitatea electrică aparentă ρ_a , care reprezintă rezistivitatea volumului din teren străbătut de liniile de curent.

Pe baza datelor de rezistivitate aparentă se pot calcula rezistivitățile specifice ale orizonturilor cercetate ρ_s , în cazul nostru ale orizonturilor sterile și ale orizonturilor arheologice. În formațiunile în care se execută prospecțiunile electrice în probleme arheologice, conductivitatea (inversul rezistivității) $\frac{1}{\rho}$ este de natură ionică, datorită soluțiilor care impregnează porii rocilor. Natura componentilor obișnuiți ai orizonturilor cercetate nu influențează rezistivitatea rocilor, deoarece acești componenți în marea

⁶ N. Oncescu, *Geologia R. S. Române*, Editura Tehnică, București, 1957, p. 40—41 și 65—67.

⁷ *Raportul lucrărilor geofizice experimentale din perimetrul arheologic Beroe (Piatra Freceței)*, 1966, pl. 4—10, aflat în arhiva Institutului de arheologie al Academiei.

lor majoritate nu au o conductivitate electronică. O excepție de la această regulă o fac metalele ce apar uneori în orizonturile arheologice și care au o conductivitate electronică, dar aceste metale nu prezintă acumulări importante.

În aceste condiții, rezistivitățile formațiunilor care apar în perimetrul arheologic, depind de umiditate, porozitate, de electrolitul care impregnează porii și de temperatura rocilor.

În figura 1b este redată variația rezistivității unui loess cu umiditatea, după Vlad Gradin⁸. Rezistivitatea loessului scade liniar cu creșterea umidității până la valoarea umidității moleculare maxime, după care, odată cu creșterea umidității, scăderea rezistivității este mai mică, nemai-fiind liniară.

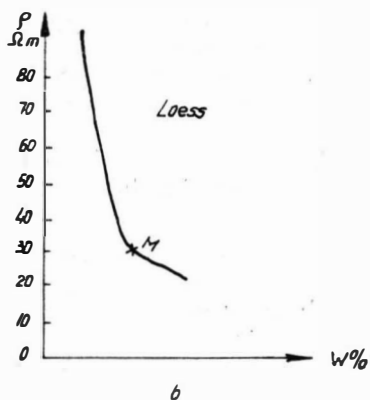


Fig. 1b. — Variația rezistivității unui loess cu umiditatea după Vlad Gradin.

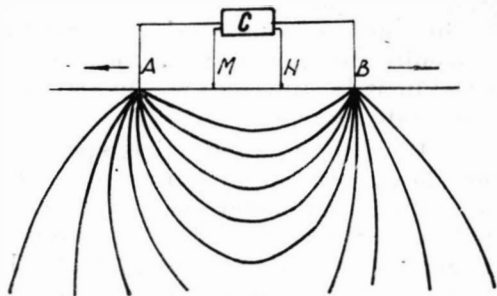


Fig. 2. — Schema de principiu a metodei de prospecțiune electrică.

Umiditatea moleculară maximă reprezintă umiditatea maximă a apei adsorbite legată de particulele coloidale, după care creșterea umidității se face pe seama apei capilare și gravitaționale.

Ordonata punctului M din figura 1b reprezintă valoarea rezistivității electrice a loessului la umiditatea moleculară maximă. Pentru a putea înțelege modul în care variază rezistivitatea electrică în teren, vom arăta sumar principiul și metodele prospecțiunii electrice.

În figura 2 este arătată schema de principiu a metodei de prospecțiune electrică, în care A și B reprezintă electrozii prin care se introduce în teren curentul electric continuu, M și N, electrozii de recepție ai curentului, iar C, aparatul cu ajutorul căruia se măsoară intensitatea I a curentului introdus în teren prin electrozii A și B și diferența de potențial ΔV , măsurată la electrozii de recepție, M și N. Rezistivitatea aparentă

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \text{ (}\Omega\text{m)} \quad \text{unde} \quad [1]$$

⁸ V. Gradin, *Studiul pământurilor și elemente de geotehnică*, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, 1963, p. 129—130.

K = un coeficient care se calculează în funcție de dispunerea electrozilor A, M, N și B. Pe măsură ce mărim distanța între electrozii A și B, liniile de curent care sînt indicate în figura 2, vor cuprinde volume din ce în ce mai mari de teren. Acesta este principiul metodei sondajului electric vertical, în care se determină rezistivitățile aparente ale unor volume succesive din teren din ce în ce mai mari, de la suprafață pînă la o adîncime dorită. Cu ajutorul acestei metode se determină rezistivitățile specifice ale diferitelor orizonturi întîlnite precum și grosimea lor, putîndu-se astfel separa orizonturile arheologice de cele sterile.

O altă metodă de prospecțiune este aceea în care un anumit dispozitiv A, M, N și B de electrozi se mută succesiv în diferite puncte într-o rețea convenabilă. Distanța dintre electrozii A și B se poate calcula astfel încît în această cercetare să se determine rezistivitatea aparentă a unui volum de teren cu o anumită adîncime. În acest mod se pot evidenția diferite formațiuni arheologice perturbatoare care au rezistivități diferite, mai mari sau mai mici comparativ cu terenul în care sînt situate.

Această metodă este cunoscută sub denumirea de *profilare electrică* sau de *sondaj electric orizontal*.

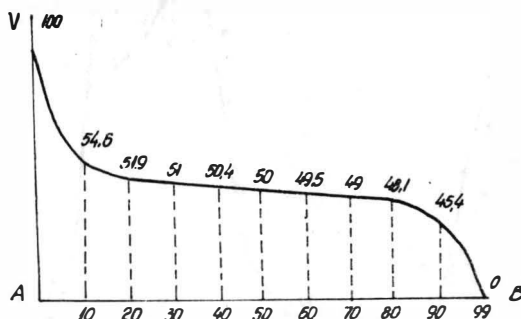


Fig. 3. — Distribuția potențialului între electrozii de emisie A și B în prospecțiunea electrică.

Atît în metoda sondajului electric vertical cît și în metoda profilării electrice, la o anumită distanță între electrozii A și B, electrozii M și N se dispun în treimea centrală a distanței dintre A și B, simetric față de centrul dispozitivului. Dispunerea electrozilor de recepție M și N se face ținînd cont de distribuția potențialului electric între electrozii A și B.

În figura 3, este arătată distribuția potențialului electric între electrozii A și B. Este evident faptul că în treimea centrală variația potențialului este mai lentă. Aceasta înseamnă că o eroare în plasarea electrozilor M și N va modifica mai puțin diferența de potențial ΔV măsurată între acești electrozi, dacă ei sînt dispuși simetric în treimea centrală. Dacă electrozii M și N ar fi plasați simetric dar mai aproape de electrozii A și B, la o eroare egală de dispunere a electrozilor, variația rapidă a potențialului electric va crea o diferență de potențial mai mare între acești electrozi.

În practica prospecțiunilor electrice în arheologie există două procedee, cunoscute sub denumirea de *dispozitivul Wenner* și *dispozitivul Schlumberger*.

În dispozitivul Wenner de sondaj electric vertical sau orizontal distanța $MN = \frac{AB}{3}$ pentru orice punct al măsurătorii.

În dispozitivul Schlumberger distanța MN este mai mică decât $\frac{AB}{3}$ pentru punctele succesive ale măsurătorii.

În figura 4 este arătat un profil electric (sondaj electric orizontal)

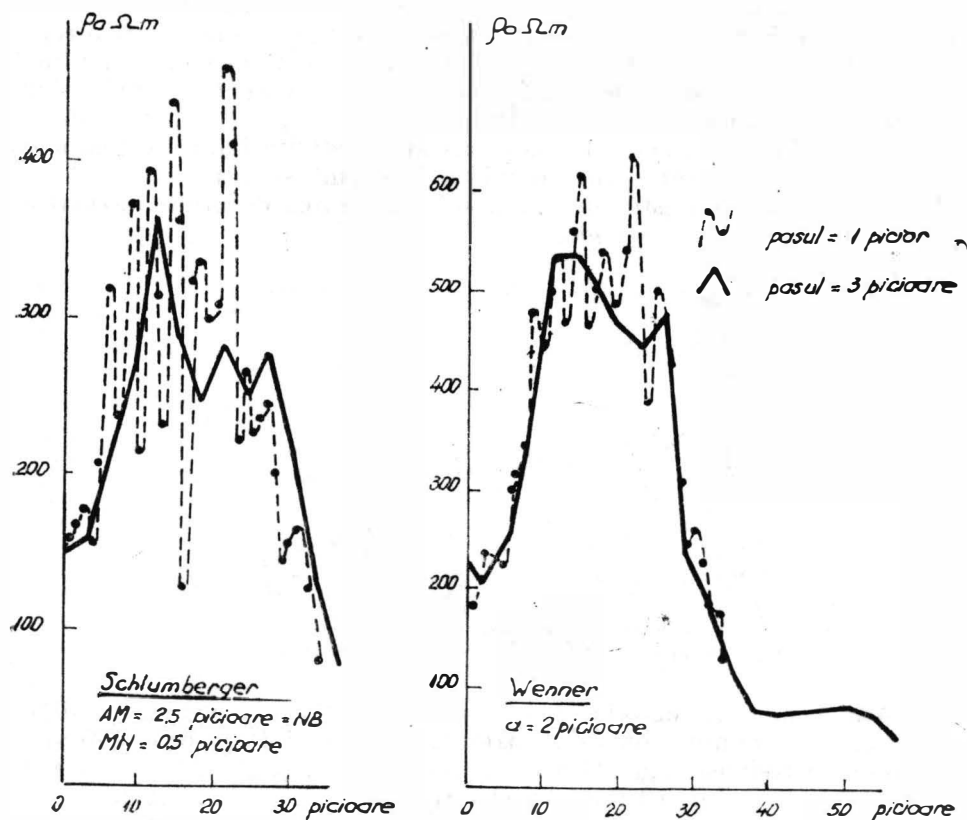


Fig. 4. — Profil electric obținut deasupra unui zid de epocă romană prin două procedee de lucru, Wenner și Schlumberger, în perimetrul arheologic Barnsley Park, după A. I. Rees.

obținut prin ambele procedee Wenner și Schlumberger, în perimetrul arheologic Barnsley Park din Anglia⁹.

Dispozitivul Schlumberger este mai sensibil la cele mai fine detalii ale anomaliei, fapt care necesită alegerea unui pas cât mai mic al măsurătorilor (adică a distanței între punctele de măsurători).

⁹ A. Hesse, *op. cit.*, p. 25; A. I. Rees, *Electrical prospecting methods in archaeology*, în *Antiquity*, 36, 1962.

Alegerea unui pas prea scurt mărește numărul stațiilor și o dată cu aceasta mărește prețul de cost. În figura 4, la un pas mic de 1 picior (0,305 m) anomalia este bine conturată cu dispozitivul Schlumberger, în timp ce la un pas de 3 picioare (0,915 m) anomalia are un alt aspect, pasul fiind prea mare pentru posibilitățile de investigare ale procedurii.

Dimpotrivă, la dispozitivul Wenner atît pasul de 1 picior cit și cel de 3 picioare dau o formă asemănătoare, sigură, a anomaliilor. Prin urmare dispozitivul Wenner de 3 picioare este cel mai economic.

Nu trebuie uitat faptul că o eroare de plasare a electrozilor M și N la dispozitivul Wenner afectează mai mult rezultatele față de aceeași eroare făcută la dispozitivul Schlumberger, fapt ilustrat de distribuția potențialului din fig. 3. Acest inconvenient se poate evita prin procedee practice de teren, care elimină posibilitatea apariției erorilor de plasare a electrozilor. Odată făcută alegerea între dispozitivul Wenner și dispozitivul Schlumberger, trebuie determinată pentru metoda profilării electrice (a sondajului orizontal) distanța AB optimă care pune cel mai bine în evidență anomaliile din perimetrul arheologic considerat.

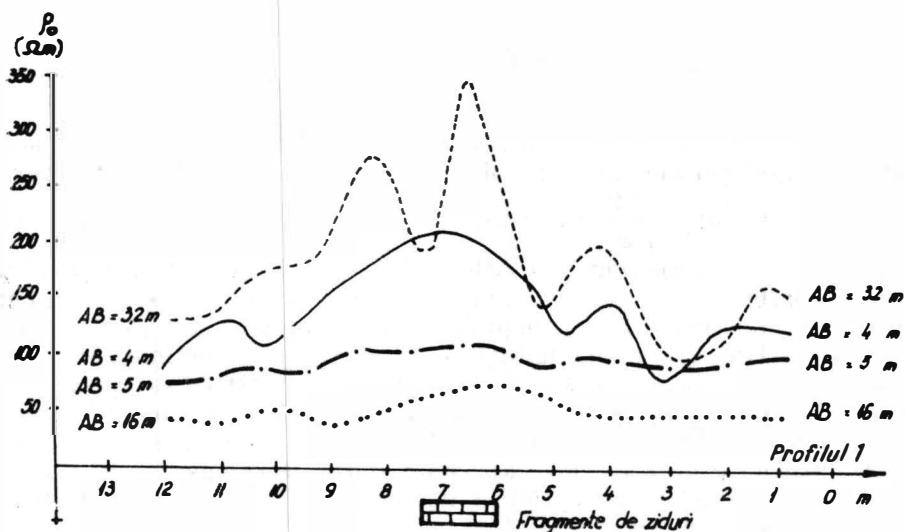


Fig. 5. — Determinarea distanței A—B optime în prospecțiunea electrică prin metoda profilării, în perimetrul arheologic al castrului antic Beroe.

Această determinare se face prin încercări într-o zonă cunoscută a perimetrului arheologic. Dacă se cunoaște grosimea medie a orizontului steril care acoperă formațiunile arheologice, distanța AB optimă se poate calcula. În figura 5 este arătată alegerea distanței AB optime, în metoda profilării electrice în perimetrul arheologic Beroe-Piatra Frecăței. Încercările indică faptul că distanța AB=3 m conturează cel mai bine anomalia provocată de o formațiune arheologică acoperită de un orizont steril. Încercări asemănătoare se fac apoi pentru determinarea pasului optim, care în acest perimetru a fost stabilit la 1 m.

În perimetrul arheologic, înainte de executarea lucrărilor de profilare electrică (metodă de bază în prospecțiunea electrică), se face o cercetare

prealabilă a terenului prin sondajele electrice verticale. Aceste cercetări se fac printre altele cu scopul de a se determina proprietățile orizonturilor sterile, grosimea lor și mărimea contrastului de rezistivitate între aceste orizonturi și orizonturile arheologice.

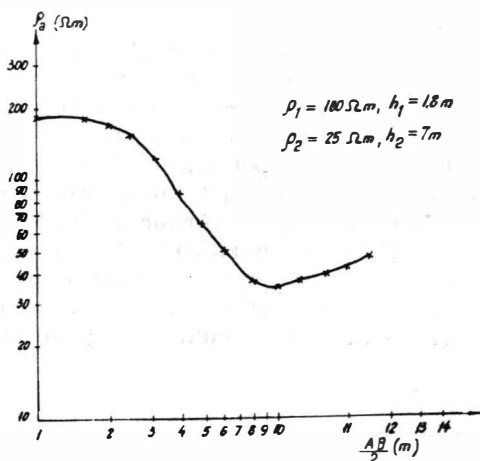


Fig. 6. — Sondaj electric vertical executat în loess în afara limitei perimetrului arheologic al castrului antic de la Beroe.

În figura 6 este arătat un sondaj electric vertical executat în loess în afara limitei perimetrului arheologic Beroe-Piatra Frecăței. În abscisă este indicată distanța $\frac{AB}{2}$ între electrozii de emisie, iar în ordonată va-

loarea rezistivității aparente, ambele la scară dublu logaritmică. Rezistivitatea specifică a loessului la o anumită adâncime se calculează din curba de sondaj electric vertical prin procedee grafico-analitice¹⁰. Pentru curba de sondaj electric vertical din figura 6, executată în afara perimetrului arheologic, s-a calculat pentru loessul de la suprafață o rezistivitate specifică de 180 Ωm (caracteristică loessului uscat), iar pentru loessul umed din bază, de deasupra șisturilor verzi, o rezistivitate specifică de 25 Ωm. Sondajele electrice executate în zona unde apare orizontul arheologic au determinat pentru acesta rezistivități specifice mai mari comparativ cu loessurile, de ordinul 160—600 Ωm.

Variația rezistivității loessului cu umiditatea arată că loessul uscat poate avea uneori valori de rezistivitate apropiate de acelea ale orizonturilor arheologice, ceea ce reduce contrastul de rezistivitate între cele două formațiuni, îngreunând interpretarea măsurătorilor.

Cercetări executate în tot cursul anului la stația permanentă din perimetrul arheologic de la Garchy (Franța) au scos în evidență faptul că, în prospecțiunea electrică utilizată în probleme arheologice, există o perioadă în care contrastul de rezistivitate între orizontul steril și cel arheologic este maxim, favorizând cercetările¹¹.

Pentru perimetrul Beroe (Piatra Frecăței) nu s-au putut face astfel de înregistrări permanente.

¹⁰ L. V. Sorokin, *Prospecțiuni geofizice*, Editura Tehnică, București, 1951, p. 160—176.

¹¹ A. Hesse, *op. cit.*, p. 58—85.

În figura 7 este arătat un profil, măsurat consecutiv la 7 iulie 1966 într-o perioadă mai umedă, iar la 15 august 1967 într-o perioadă mai secetoasă. În perioada umedă din 7 iulie scăderea rezistivității ca urmare a creșterii umidității s-a produs atât pentru loessul steril cât și pentru formațiunea arheologică, atenuând contrastul de rezistivitate și îngreunând interpretarea.

Pentru a explica în aceste condiții posibilitatea pe care o au metodele

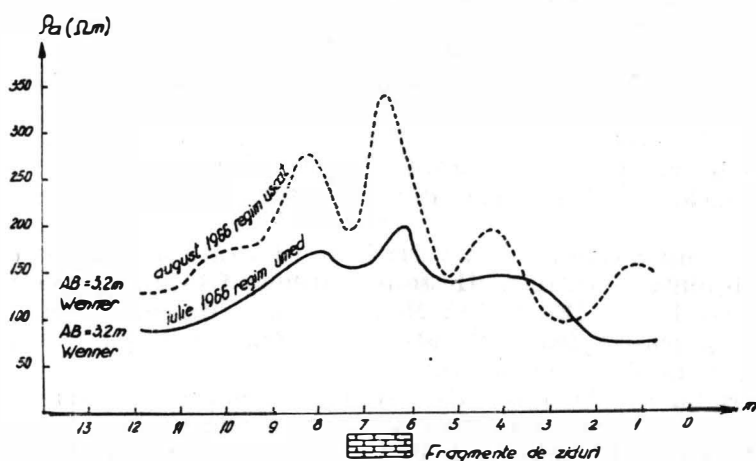


Fig. 7. — Profil electric măsurat în două regimuri diferite, umed și uscat în perimetrul arheologic al castrului de la Beroe.

electrice de a separa anomalii datorate formațiunilor arheologice, trebuie arătat faptul că rezistivitatea electrică variază nu numai cu umiditatea, ci și cu alți parametri dintre care cel mai important este porozitatea.

Considerând ρ_s rezistivitatea specifică a unei roci și ρ_{sa} rezistivitatea specifică a apei din pori, Heyland arată că

$$\rho_s = \alpha \rho_{sa} \quad [2]$$

unde α = un coeficient care depinde de porozitate, avînd valorile din tabelul 1.

Tabelul 1

Valorile coeficientului α în funcție de porozitate pentru formațiunile din perimetrul arheologic Beroe (Piatra Frecăței) după datele laboratorului geotehnic al Institutului de proiectări transporturi.

Nr.	Denumirea formațiunii	Porozitate %	α
1	Loess.	40—75	1,5—4
2	Orizonturi arheologice cu fragmente de ziduri și ceramică în loess.	10—20	15—30
3	Roci metamorfice, șisturi verzi nealterate, compacte.	0,5—2	100

După datele din tabelul 1, se observă că în relația [2] rezistivitatea specifică a rocii scade odată cu creșterea porozității. Loessurile sterile vor

avea în acest mod o rezistivitate mai mică comparativ cu cea a orizonturilor arheologice, în condițiile în care alți parametri, cum ar fi umiditatea, concentrația electrolitului și temperatura, sînt constanți pentru ambele formațiuni. În ceea ce privește concentrația electrolitului C , dacă notăm cu ρ_{sa} rezistivitatea electrolitului și cu A o constantă ce depinde de natura electrolitului, obținem $\rho_{sa} = \frac{A}{C}$ [3], relație care arată că rezistivitatea

electrolitului scade cu creșterea concentrației soluției. O dată cu scăderea rezistivității specifice a electrolitului ρ_{sa} , conform relației [2], scade rezistivitatea formațiunii considerate ρ_a .

Această observație nu prezintă o importanță deosebită în prospecțiunea electrică aplicată în arheologie, unde în general se poate considera că rezistivitatea electrolitului ρ_{sa} nu are variații importante. În schimb, variația rezistivității cu temperatura prezintă importanță în problemele arheologice, spre deosebire de alte domenii în care se neglijează.

În figura 8 este arătată variația rezistivității unei argile cu temperatura obținută de către A. Hesse în stațiunea fixă din perimetrul arheologic de la Garchy (Franța)¹². Menținînd umiditatea, concentrația electrolitului și porozitatea constante, este arătată variația rezistivității la scară logaritmică cu temperatura.

Variația rapidă a rezistivității la temperaturi cuprinse între 0 și -10° indică că în perioada de iarnă nu se pot face prospecțiuni electrice în probleme de arheologie (unde de cele mai multe ori adîncimea cercetată este de același ordin de mărime cu adîncimea de îngheț).

La temperaturi mai mari de 0° , variația rezistivității cu temperatura este liniară, ușurînd eventualele corecții de temperatură care se pot face în scopul obținerii unei precizii cît mai mari a măsurătorilor.

În sfîrșit, o dată cunoscut modul în care variază rezistivitatea electrică în zona perimetrului arheologic Beroe (Piatra Frecăței), precum și factorii care condiționează această variație, în tabelul 2 se dau valorile rezistivității electrice specifice, calculată pentru formațiunile din perimetru.

Tabelul 2

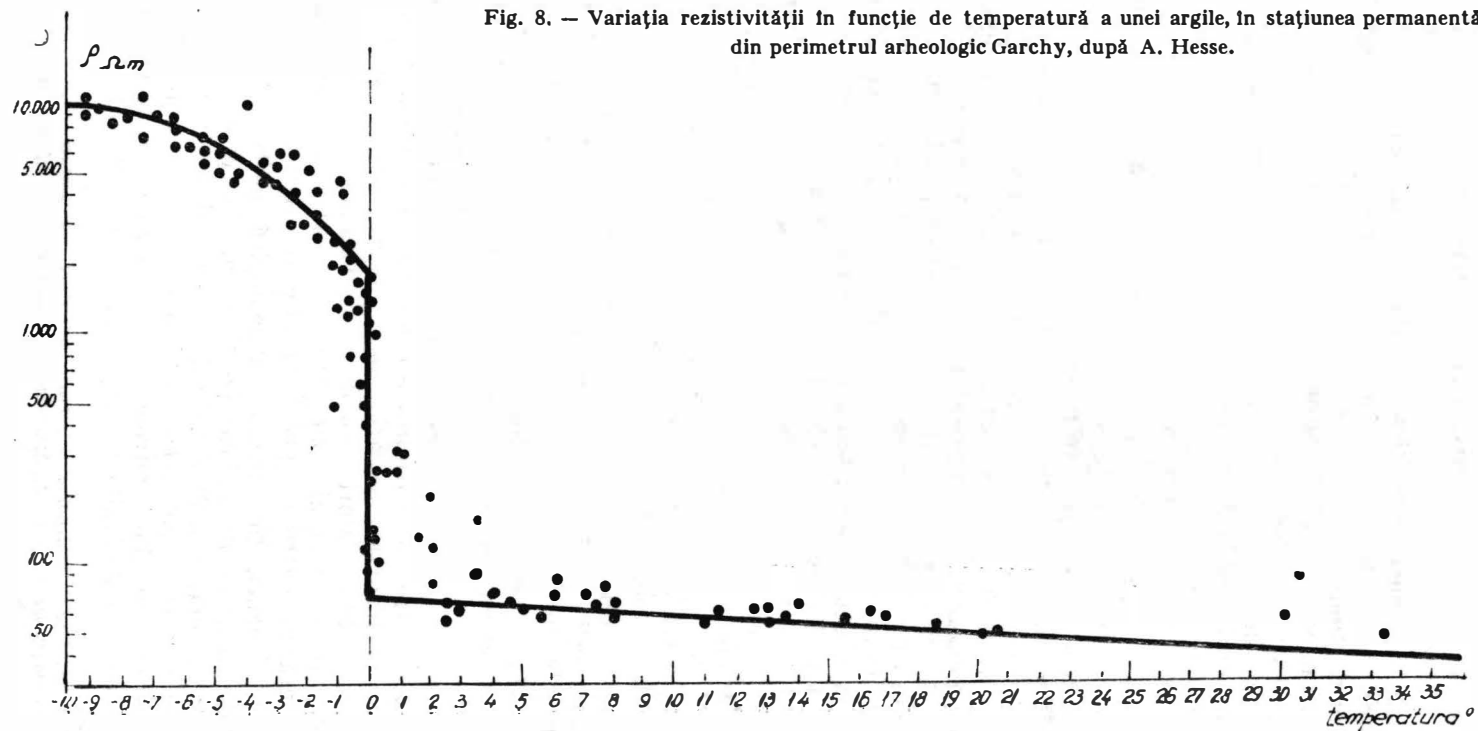
Valorile rezistivităților specifice ale formațiunilor care apar în perimetrul arheologic Beroe (Piatra Frecăței) după datele Institutului de proiectări transporturi.

Nr.	Denumirea formațiunii	Perioada în care s-au executat măsurătorile	Rezistivitatea electrică specifică ρ_a (Ωm)
1	Loess umed.	5—15 iulie 1966	25—40
2	Loess uscat.	5—15 iulie 1966	100—180
3	Orizonturi arheologice cu fragmente de ziduri.	5—15 iulie 1966	160—600
4	Șisturi verzi nealterate.	5—15 iulie 1966	500—1000

După datele din tabelul 2 se poate face observația că orizonturile arheologice pot fi separate de orizonturile sterile prin metode electrice, existînd un contrast de rezistivitate suficient de mare.

¹² Ibidem, p. 68.

Fig. 8. — Variația rezistivității în funcție de temperatură a unei argile, în stațiunea permanentă din perimetrul arheologic Garchy, după A. Hesse.



b. PROSPECTIUNEA MAGNETICĂ

În prospecțiunea magnetică, pe baza măsurătorilor de câmp magnetic natural făcute într-o rețea de puncte convenabilă, se pot scoate în evidență prin anomalii magnetice formațiunile arheologice atunci când proprietățile magnetice ale acestor formațiuni contrastează cu proprietățile magnetice ale orizonturilor sterile.

Deoarece în prospecțiunea magnetică se măsoară valorile câmpului magnetic natural, posibilitățile de cercetare sînt mai reduse comparativ cu metodele electrice în care câmpul electric era creat în mod artificial, după dorința experimentatorului.

În aceste condiții, pentru a obține o eficiență maximă putem acționa numai asupra rețelei de măsurare și a preciziei de măsurare.

Rețeaua de măsurare este în funcție de adîncimea și dimensiunile formațiunilor arheologice perturbatoare. De obicei se lucrează în rețele patratiche cu pasul de 1 m. Pentru a atinge o precizie de măsurătoare maximă, în ultimul timp au fost făcute progrese remarcabile prin construirea magnetometrelor cu precizie nucleară. Magnetometrele utilizate la noi în țară sînt de tipul balanță magnetică cu precizie mult mai mică. Dacă arătăm că în prospecțiunea arheologică anomaliile sînt de multe ori foarte slabe de ordinul $5-10 \gamma$ ($5-10 \cdot 10^{-5}$ u.C.G.S.) și că sensibilitatea balanțelor magnetice are un ordin de mărime asemănător se poate trage concluzia că utilizarea balanțelor magnetice în arheologie este dificilă, uneori practic fără rezultat. Magnetometrul cu precizie nucleară are în mod curent o precizie de 1γ , iar ultimele tipuri au precizii de ordinul zecimilor de γ , fapt care a permis utilizarea lor pe scară largă în problemele arheologice. Pentru a mări precizia balanțelor magnetice, este necesar să se aplice o tehnică specială de lucru și anume prospecțiunea micro-magnetică¹³, metodă care permite efectuarea unor corecții mai bune.

Se fac corecții de temperatură, relief și variație diurnă a câmpului magnetic, corecții care țin cont de construcția aparatului, de natura variabilă a câmpului magnetic terestru și de morfologia terenului.

În ultimul timp, corecțiile și prelucrarea datelor prospecțiunii magnetice se fac cu ajutorul creierelor electronice, iar executarea măsurătorilor cu magnetometre protonice. Anomaliile magnetice evidențiate în problemele arheologiei sînt provocate de cele mai multe ori de existența unui contrast între susceptibilitatea magnetică a orizonturilor sterile, comparativ cu formațiunea arheologică perturbatoare și în astfel de situații anomaliile au valori slabe de ordinul zecilor de γ . Susceptibilitatea magnetică este parametrul fizic care caracterizează magnetizarea corpurilor indusă de către câmpul magnetic terestru.

În alte cazuri, formațiunea arheologică perturbatoare poate să aibă o magnetizare proprie, al cărei ordin de mărime este cu mult mai mare comparativ cu magnetizarea indusă de câmpul magnetic terestru, iar anomaliile înregistrate pot avea valori de ordinul a zeci pînă la sute de γ . Astfel de situații prezintă vetrele de ars sau zonele puternic afectate de incendii, în care rocile argiloase, depășind temperatura limită a punctului

¹³ R. Lauterbach, *Mikromagnetik ein Hilfsmittel geologischer Erkundung*, in *Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe*, 3, 1953—1954.

Curie, se remagnetizează pe direcția cîmpului magnetic al perioadei respective, magnetizare care se menține după răcire și poate fi determinată ulterior. În cazul în care se cunosc caracteristicile cîmpului magnetic din epoca în care au fost arse argilele, prin determinări de laborator se pot data cărămizile din unele construcții¹⁴, sau cuptoarele de ars.

În prospecțiunile magnetice din perimetrul arheologic de la Beroe (Piatra Frecăței) a fost utilizat pentru înregistrarea anomaliilor magnetice variometrul magnetic ΔZ Fanselau, construit în R.D. Germană, care determină variația componentei verticale a cîmpului magnetic terestru. Înregistrările s-au făcut prin procedeul micromagnetic în rețele de stații cu latura de 1 m.

În tabelul 3 sînt date valorile susceptibilității magnetice determinate pentru formațiunile din perimetrul arheologic de la Beroe (Piatra Frecăței).

Tabelul 3

Valorile susceptibilității magnetice ale formațiunilor care apar în perimetrul arheologic Beroe (Piatra Frecăței), după Institutul de protecții transporturi.

Nr. crt.	Denumirea formațiunii	Susceptibilitatea magnetică medie u. C.G.S.10 ⁻⁶
1	Loess.	6—10
2	Orizonturi arheologice.	10—50
3	Ziduri de epocă antică.	50—60
4	Șisturi verzi.	80—100

În tabelul 3, susceptibilitatea magnetică maximă o au șisturile verzi, fapt explicabil prin prezența în această rocă a magnetitului alături de cuarț, albit, olicoclaz și sericit, amestecate într-o pastă de clorit.

Comparativ cu loessul, susceptibilitatea magnetică a orizonturilor arheologice și a zidurilor de epocă antică este mai mare, tocmai datorită prezenței elementelor de șisturi verzi ce constituie roca de construcție a zidurilor, alături de fragmente de ceramică.

Datele din tabelul 3 justifică aplicarea prospecțiunilor magnetice în perimetrul arheologic Beroe (Piatra Frecăței), prin existența contrastului suficient de mare între proprietățile magnetice ale orizonturilor sterile și cele ale orizonturilor arheologice.



REZULTATE OBTINUTE ÎN APLICAREA PROSPECȚIUNILOR GEOFIZICE ÎN PERIMETRUL ARHEOLOGIC BEROE (PIATRA-FRECĂȚEI)

a. CERCETAREA CONTINUĂRII POSIBILE A UNEI FORMAȚIUNI ARHEOLOGICE, VIZIBILE PARȚIAL LA SUPRAFAȚA TERENULUI

În figura 9 este arătată o formațiune arheologică de epocă antică, constituită din blocuri de șisturi verzi legate cu mortar, vizibilă pe o lun-

¹⁴ E. Thellier, *Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques*, Paris, 1938.



Fig. 9. — Formațiune arheologică de epocă romană-bizantină din perimetrul arheologic al castrului de la Beroe.

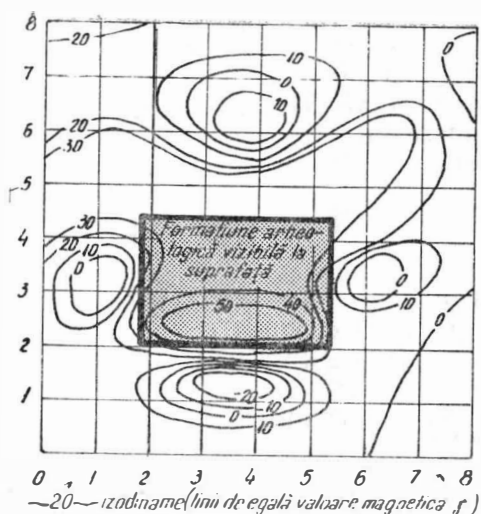


Fig. 10. — Panou micromagnetic executat în zona unei formațiuni arheologice din epoca romană-bizantină, parțial vizibilă la suprafața terenului.

gime de 3,5 m, despre care s-ar putea crede că ar face parte din zidul de incintă al castrului de la Beroe.

În figura 10, este arătat un panou micromagnetic executat în jurul formațiunii arheologice într-o rețea cu pasul de 1m. Formațiunea arheologică este conturată prin izodiname (linii de egală valoare magnetică) de 40 γ , fiind limitată din toate părțile de valori negative, care infirmă presupunerea continuării posibile a formațiunii.

Săpăturile de control executate ulterior au confirmat interpretarea datelor magnetice, formațiunea arheologică reprezentând un turn de epocă romană-bizantină.

b. LOCALIZAREA FORMAȚIUNILOR ARHEOLOGICE ÎN ZONE UNDE LIPSESC INDICIILE DE SUPRAFAȚĂ (FIG. 11a)

Fig. 11a. — Zonă lipsită de indicații arheologice la suprafața terenului.

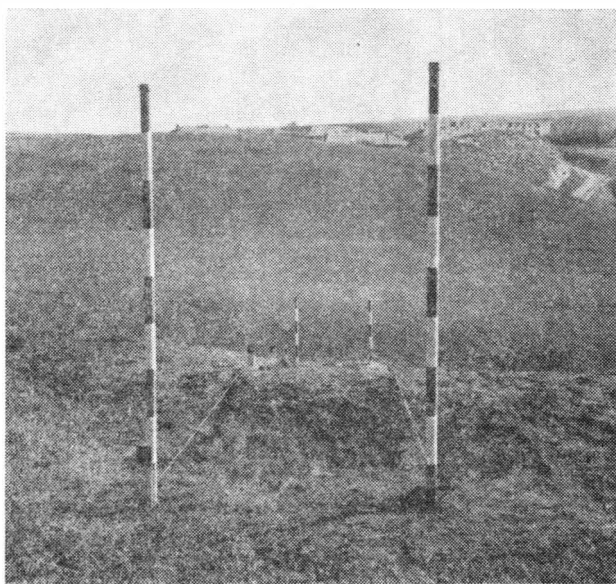
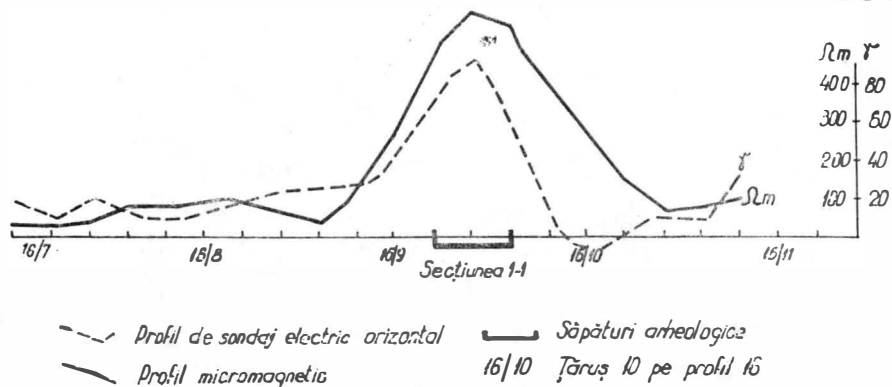


Fig. 11b. — Profil electric și micromagnetic A—B, executat într-o zonă lipsită de indicații de suprafață, asupra existenței posibile a unor formațiuni arheologice.



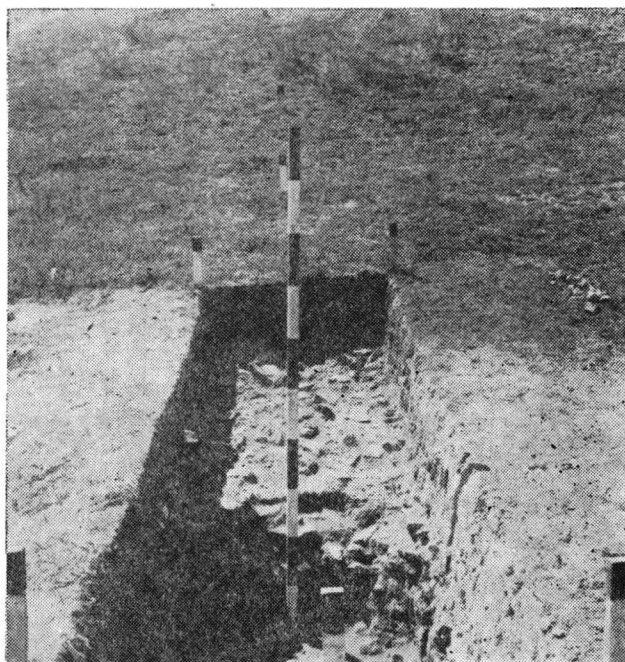
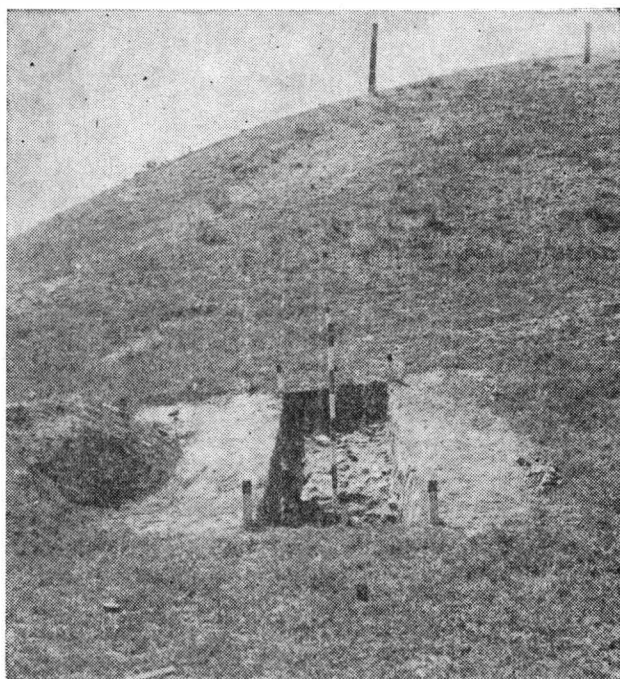


Fig. 11c. — Săpătură arheologică, executată în secțiunea 1-1 de pe profilul A-B.

Pe o astfel de zonă s-a executat un profil electric Wenner cu distanța $AB = 3$ m și un profil micromagnetic, ambele profile (fig. 11 b) avînd pasul de 1 m. Anomalia magnetică cît și cea electrică se suprapun, indicînd un corp perturbator de mică adîncime. Maxima electrică are valori de $500 \Omega\text{m}$ iar cea magnetică de 75γ față de valorile de $100 \Omega\text{m}$ și 20γ determinate în zonele învecinate.

În figura 11c este arătat sondejul arheologic executat în secțiunea 1—1 care a determinat la adîncimea de 0,5 m de la suprafața terenului sursa anomaliilor geofizice — o formațiune de epocă feudală timpurie, în care piatra de construcție o constituie șisturile verzi.

Prospecțiunile geofizice în perimetrul arheologic Beroe (Piatra Frecaței) au fost îngreuiate de faptul că orizontul arheologic de epocă romană este acoperit aproape în totalitate de un orizont arheologic suprapus ulterior, care aparține epocii feudale timpurii. Din acest motiv, primele rezultate obținute au evidențiat în general formațiuni din acest orizont.

CONCLUZII

Prospecțiunile geofizice experimentale executate în perimetrul arheologic de la Beroe (Piatra Frecaței) au permis urmărirea continuării posibile a unor formațiuni arheologice vizibile parțial, precum și localizarea unor formațiuni arheologice în zone lipsite de indicații de suprafață.

Săpăturile de control executate au confirmat interpretările datelor de prospecțiune geofizică. Aceste rezultate au putut fi realizate datorită contrastului între proprietățile electrice și magnetice ale orizonturilor arheologice și orizonturilor sterile. Măsurătorile au scos în evidență formațiunile arheologice perturbatoare, prin anomalii electrice și magnetice. Interpretarea datelor de prospecțiune geofizică este îngreuiată de faptul că în perimetrul arheologic Beroe, formațiunile arheologice de epocă romană sînt acoperite de formațiuni mai recente de epocă feudală timpurie.

Prospecțiunile geofizice experimentale, prin rezultatele obținute, permit în viitor executarea unor campanii sistematice de măsurători geofizice. O premisă pentru reușita lor o constituie permanenta colaborare între arheolog și prospectorul geofizician ¹⁵.

PROSPECTIONS GÉOPHYSIQUES — MAGNÉTIQUES ET ÉLECTRIQUES — EXPÉRIMENTALES, APPLIQUÉES DANS LE PÉRIMÈTRE ARCHÉOLOGIQUE DU CASTRUM ANTIQUE DE BEROE (PIATRA FRECAȚEI)

RÉSUMÉ

Pendant les années 1966 et 1967 on a entrepris, pour la première fois dans les recherches archéologiques roumaines, la mise en pratique des prospections géophysiques électriques et magnétiques, à Piatra Frecaței (fig. 1a).

¹⁵ Prospecțiunile geofizice experimentale de la Beroe (Piatra Frecaței) au fost executate de un colectiv format din autorii studiului de față și tov. A. Șerbu, de la Institutul de proiectări transporturi.

La mise en pratique des nouveaux procédés techniques a été imposée par la nécessité de réduire le volume total des fouilles dans les zones stériles, et par la réduction des frais de la campagne de fouilles archéologiques, d'après un programme établi à échelle réduite, à savoir :

- 1) le choix des méthodes géophysiques de prospection et des meilleurs procédés de travail, sur la base de l'étude des propriétés physiques des horizons stériles et des horizons archéologiques ;
- 2) l'investigation des limites d'une formation archéologique partiellement visible à la surface du terrain ;
- 3) la localisation des formations archéologiques dans les zones où manquent les indices de surface.

Les études sur les lieux et dans le laboratoire ont indiqué l'existence d'un contraste favorable qui se manifeste entre les propriétés électriques et magnétiques des horizons archéologiques et des horizons stériles, ce qui a mené à la découverte d'un fragment de mur appartenant à une tour de l'époque romaine-byzantine, et de restes plus récents, datant du haut Moyen Age (fig. 9, 10, 11a, 11b, 11c).

L'interprétation des prospections géophysiques a été rendue plus difficile du fait que l'horizon archéologique d'époque romaine est sous-jacent, en majeure partie, à un horizon archéologique ultérieur, datant du haut Moyen Age.

Par les résultats obtenus, les prospections géophysiques expérimentales rendent possible l'exécution, à l'avenir, de campagnes systématiques de déterminations géophysiques.

Une prémisses en vue de leur réussite est la collaboration permanente de l'archéologue et du prospecteur géophysicien.

LÉGENDE DES FIGURES

Fig. 1. — a) Carte de la Dobroudja, indiquant la localisation du centre antique de Beroe (Piatra Frecăței).

b) Variation de la résistivité du lœss par rapport à l'humidité, d'après Vlad Gradin.

Fig. 2. — Schéma de principe de la méthode de prospection électrique.

Fig. 3. — Distribution du potentiel entre les électrodes d'émission A et B, dans la prospection électrique.

Fig. 4. — Profil électrique obtenu au-dessus d'un mur d'époque romaine d'après les deux procédés de travail, Wenner et Schlumberger, dans le périmètre archéologique Barnsley Park (d'après A. I. Rees).

Fig. 5. — Détermination de la distance A—B optimale pour la prospection électrique au moyen de la méthode du sondage électrique horizontal dans le périmètre du camp antique de Beroe.

Fig. 6. — Sondage électrique vertical exécuté dans le lœss, au-delà des limites du camp antique de Beroe.

Fig. 7. — Profil électrique mesuré dans deux régimes — humide et sec — dans le périmètre archéologique du camp de Beroe.

Fig. 8. — Variation de la résistivité par rapport à la température, dans la station permanente du périmètre archéologique de Garchy, d'après A. Hesse.

Fig. 9. — Formation archéologique d'époque romaine-byzantine dans le périmètre archéologique du camp antique de Beroe.

Fig. 10. — Panneau micromagnétique exécuté dans la zone d'une formation archéologique d'époque romaine-byzantine partiellement visible à la surface du terrain.

Fig. 11 — a) Zone sans indications archéologiques à la surface du terrain.

b) Profil électrique et micromagnétique A—B, exécuté dans une zone sans indications de surface, afin de détecter l'existence possible d'une formation archéologique.

c) Fouilles dans la section 1—1 du profil A—B.