

## CÂTEVA OBSERVAȚII CU PRIVIRE LA UTILIZAREA DATELOR RADIOCARBON

de NONA PALINCAȘ

Pomind de la două lucrări recent apărute în România, articolul discută o serie de aspecte metodologice privitoare la utilizarea probelor **radiocarbon** în scopul **datării absolute**.

Deși adesea literatura de specialitate nu este nici în totalitate și nici ușor accesibilă, iar dificultățile de a finanța analize ale probelor din săpături proprii sunt aproape insurmontabile, în ultimii ani au apărut, printr-un efort personal meritoriu, câteva articole care se ocupă în exclusivitate de datarea unor grupuri culturale, culturi și chiar și epoci prin metoda radiocarbon. În acest sens, în mod deosebit atrag atenția articolul semnat de A. László, *Dates radiocarbone et chronologie de la civilisation Noua-Sabatinovka-Coslogeni*, apărut în *Cultură și civilizație la Dunărea de Jos* 10, 1993, p. 23–41 și cel publicat de M. C. Mantu, *Câteva considerații privind cronologia absolută a neoneoliticului din România*, în *SCIVA* 46, 1995, 3–4, p. 213–235.

Interesul pe care cele două teme îl suscită în lumea specialiștilor și, în consecință, importanța acestor lucrări, abia dacă mai trebuie subliniate. Cu toate acestea cred că unele precizări și observații sunt necesare, deoarece am remarcat o serie de ezitări de ordin teoretic și, implicit, metodologic în folosirea acestei mai noi metode de datare, iar acestea trebuie înlăturate mai înainte de a accepta sau respinge o cronologie sau alta.

1. În ambele articole și nu numai în ele se oscilează între folosirea datelor radiocarbon „convenționale” (în sensul de dată radiocarbon BP–1950, din care rezultă o dată notată cu „b.c.”, ca semn că scăderea s-a făcut)<sup>1</sup> și a celor calibrate („cal BC”, dar care în unele lucrări mai vechi au fost notate simplu ca „BC”). Având în vedere că arheologia ca și istoria și viața cotidiană, de altfel, folosesc datele în ani solari, singurele rezultate ale metodei <sup>14</sup>C care sunt de

<sup>1</sup> Atragem atenția asupra faptului că notația „b.c.” folosită de cei doi autori citați nu înseamnă același lucru cu notația „bc” asupra căreia s-a convenit în revista „Antiquity” și care – ca și „ad” – era menită să desemneze datele necalibrate (fără scăderea lui 1950). Convenția nu este acceptabilă deoarece, dacă datele calibrate s-ar fi exprimat, în mod corespunzător, în „BC/AD”, atunci acestea ar putea fi confundate cu datele obținute prin metoda istorico-astronomică (Sh. Bowman, *Radiocarbon Dating*, British Museums Publications, Londra, 1990, p. 49). În prezent se recomandă renunțarea la această siglă și notarea datelor convenționale cu „BP” și a celor calibrate cu „cal BC” (*Ibidem*, p. 49; M. J. Aitken, *Science-based dating in archaeology*, Londra–New York, 1990, p. 103).

luat în considerare în stabilirea oricărei cronologii absolute sunt datele *calibrate*<sup>2</sup>. De ce? Pentru că anii radiocarbon *nu* sunt egali ca durată cu anii solari, și, de fapt, *nu* sunt ani propriu-ziși<sup>3</sup>. Cauza este variația naturală a concentrației de <sup>14</sup>C din atmosferă și, implicit, din biosferă și faptul că această variație, care nu poate fi exprimată algebric, nu este integrată în formula de calcul a vârstei radiocarbon (= necalibrate) a probelor. Pentru claritate vom relua pe scurt bazele teoretice ale datării pe bază de <sup>14</sup>C, precum și principalele etape ale calculării vârstei – mai întâi radiocarbon și apoi calendaristice – a probelor.

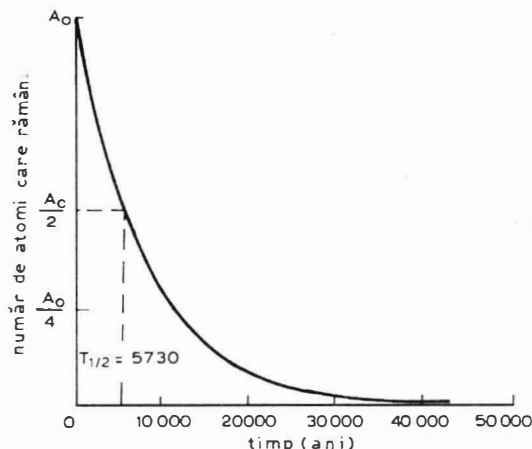


Fig. 1. Curbă exponențială reprezentând dezintegrarea elementelor radioactive (după Sh. Bowman).

La aprox. 15 km depărtare de pământ, în partea inferioară a stratosferei și partea superioară a troposferei, din interacțiunea neutronilor produși de radiația cosmică cu atomi de azot, ia naștere izotopul radioactiv al carbonului: <sup>14</sup>C. Acesta se combină rapid cu atomi de oxigen, formând dioxidul de carbon de tipul <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, care nu se deosebește din punct de vedere chimic de dioxidul de carbon conținând ceilalți izotopi, neradioactivi, ai carbonului: <sup>13</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>12</sup>CO<sub>2</sub>. <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> se răspândește rapid în întreaga atmosferă, se dizolvă în apele oceanice și pătrunde prin fotosinteză și lanțul trofic în întreaga biosferă; conținutul de atomi de <sup>14</sup>C al diverselor părți ale mediului înconjurător devine în scurt timp practic același. Dacă producția de <sup>14</sup>C s-ar afla într-un echilibru dinamic cu dezintegrarea radioactivă a <sup>14</sup>C, atunci concentrația de <sup>14</sup>C în atmosferă – și implicit în biosferă și în apele oceanice de suprafață<sup>4</sup> – ar fi constantă<sup>5</sup>. În realitate însă, din diverse cauze, între care activitatea petelor solare pare să fie

<sup>2</sup> Aitken, *op. cit.*, p. 92–93; Bowman, *op. cit.*, p. 43–49.

<sup>3</sup> Bowman, *op. cit.*, p. 49, arată că ar fi fost mai bine dacă pentru rezultatele măsurătorilor radiocarbon nu s-ar fi folosit niciodată termenii de „ani” sau „dată” [radiocarbon – n.n.].

<sup>4</sup> Nua același lucru se întâmplă cu apa din adâncul oceanului (Aitken, *op. cit.*, p. 64–65) asupra căreia nu insistăm aici, pentru că nu prezintă importanță pentru arheologie.

<sup>5</sup> Bowman, *op. cit.*, p. 10.

cea mai importantă, producția de  $^{14}\text{C}$  este supusă unor variații semnificative, care împiedică realizarea acestui echilibru. În consecință, concentrația de  $^{14}\text{C}$  variază, iar aceste variații nu pot fi cuantificate. În calcularea vârstei probelor  $^{14}\text{C}$ , într-o primă etapă, s-a pornit de la ipoteza potrivit căreia concentrația de  $^{14}\text{C}$  în atmosferă a fost constantă de-a lungul timpului. De variațiile acestei concentrații s-a ținut cont mai târziu, prin introducerea calibrării.

Conform principiului de bază, la moartea unei plante sau a unui animal schimbul de carbon (sub formă de  $^{12}\text{CO}_2$ ,  $^{13}\text{CO}_2$  și  $^{14}\text{CO}_2$ ) cu mediul înconjurător încetează. Din acel moment singurul factor care influențează concentrația de  $^{14}\text{C}$  a resturilor plantei sau animalului respectiv este dezintegrarea radioactivă. Din legea dezintegrării radioactive rezultă:

$$(1) \quad A = A_0 e^{-\lambda t},$$

unde

–  $A$  - numărul de atomi  $^{14}\text{C}$  rămași după un timp ( $t$ ) oarecare (de fapt în momentul datării probei);

–  $A_0$  - numărul de atomi de  $^{14}\text{C}$  conținuți de materialul folosit ca probă în momentul morții (momentul  $t_0$ );

–  $\lambda$  - o constantă egală cu reciproca lui  $\tau$ ;

–  $\tau$  - durata medie de viață a unui atom de  $^{14}\text{C}$  (8033 ani după Libby, 8267 după recalcularea timpului de înjumătățire<sup>6</sup>);

–  $t$  - timpul scurs între momentul morții materialului de datat și momentul datării lui (= data care ne interesează în arheologie).

O mărime mai bine cunoscută este timpul de înjumătățire  $t_{1/2}$ , calculat inițial de Libby ca fiind de 5568 ani și corectat apoi la 5730 de ani solari<sup>7</sup>.

$$t_{1/2} = (\ln 2) \tau \quad \text{sau}$$

$$t_{1/2} = 0.693 \tau.$$

Aceasta înseamnă că timpul scurs între momentul morții materialului folosit pentru datare și momentul datării lui în laborator se poate calcula ca:

$$(2) \quad t = -\tau \ln(A/A_0) \quad \text{sau}$$

$$(3) \quad t = -8033 \ln(A/A_0).$$

Aceste două formule sunt echivalente cu cea de la care am pornit (formula 1), iar reprezentarea grafică este redată în fig. 1<sup>8</sup>.

Dacă concentrația de  $^{14}\text{C}$  din atmosferă ar fi constantă, atunci toate materialele organice (deci toate probele) ar avea în momentul morții lor aceeași concentrație de  $^{14}\text{C}$ :  $A_0$  din anul curent ar fi egal cu  $A_0$  din 1950 și cu  $A_0$  din, să zicem, 1950 a.Chr., 2040 a.Chr. etc. și ar fi determinabil o dată pentru totdeauna. „ $A$ ” ar putea fi măsurat în laborator, după care, pentru a obține datarea dorită, nu ar trebui decât să înlocuim aceste valori în formula (3). Dar  $A_0$  nu este constant. Se crează astfel trei posibilități (fig. 2):

a. – Probele A și B au vârste reale diferite. Proba A este mai veche și s-a format într-un moment de concentrație crescută a  $^{14}\text{C}$  în atmosferă, respectiv

<sup>6</sup> Aitken, *op. cit.*, p. 59.

<sup>7</sup> *Ibidem*, p. 93; Bowman, *op. cit.*, p. 11.

<sup>8</sup> Bowman, *op. cit.*, p. 11, după care am rezumat descrierea calculării vârstei radiocarbon.

biosferă. Din cauze complet independente de proba A, concentrația de  $^{14}\text{C}$  din atmosferă scade, ajungând, întâmplător, ca în momentul formării probei B ea să fie egală cu concentrația de  $^{14}\text{C}$  a probei A, așa cum a rezultat din procesul de dezintegrare radioactivă. Din acel moment cele două curbe sunt identice<sup>9</sup> și nu există nici o șansă de diferențiere temporală a probelor: A și B, având vârste reale diferite, au aceeași vârstă radiocarbon. Aceasta înseamnă că „timpul radiocarbon încetează să se mai scurgă în raport cu timpul real atunci când scăderea concentrației de  $^{14}\text{C}$  în atmosferă este sincronă cu rata dezintegrării radioactive a  $^{14}\text{C}$ ”<sup>10</sup>.

b. – La data formării probei F, concentrația de  $^{14}\text{C}$  în atmosferă era mai scăzută decât concentrația de  $^{14}\text{C}$  a probei – mai vechi – E. Cauza este, evident, concentrația mai mare de carbon radioactiv din atmosferă în momentul formării probei E. Efectul este *inversiunea* vârstelor radiocarbon: în momentul analizei, proba E conținând un număr mai mare de atomi de  $^{14}\text{C}$ , deși în realitate este *mai veche*, va apărea ca fiind *mai recentă* decât proba F (care conține un număr mai mic de atomi de  $^{14}\text{C}$ ).

c. – În cazul foarte rar al unei concentrații constante a  $^{14}\text{C}$  în atmosferă – cazul probelor C și D – *diferența* de vârstă reală dintre cele două probe este reflectată de *diferența* de vârstă radiocarbon. Acesta este modelul teoretic de la care s-a pornit la începuturile dezvoltării metodei radiocarbon. Valabilitatea sa nu este însă generală.

Așadar, logica particulară a datării prin metoda radiocarbon este determinată de faptul că nu există o relație causală între fluctuațiile naturale ale  $^{14}\text{C}$  din atmosferă și proprietățile nucleare ale  $^{14}\text{C}$ <sup>11</sup>.

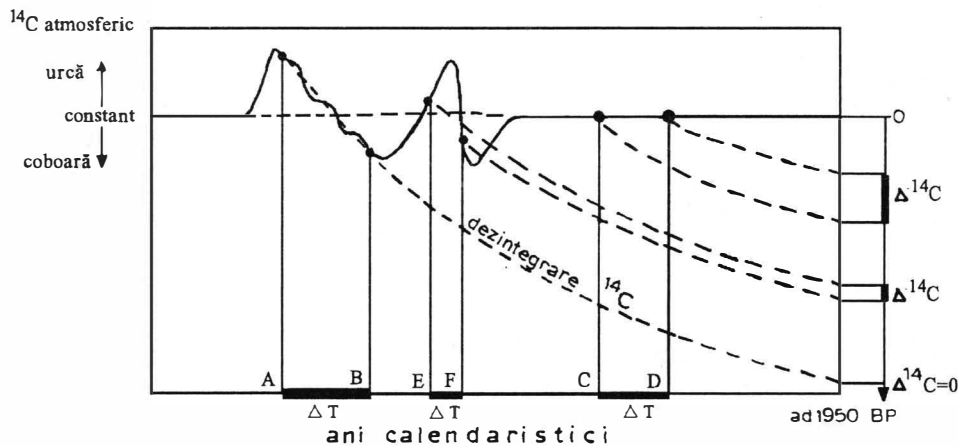


Fig. 2. Schemă reprezentând consecințele variației concentrației de  $^{14}\text{C}$  în atmosferă asupra „timpului” radiocarbon (după B. Weninger).

<sup>9</sup> Caracteristica fundamentală a procesului de dezintegrare radioactivă este aceea că numărul de atomi care se dezintegrează în unitatea de timp este constant (Bowman, *op. cit.*, explicația la fig. 1).

<sup>10</sup> B. Weninger, *Acta Interdisciplinaria Archaeologica* 4, 1986, p. 15.

<sup>11</sup> *Ibidem*, p. 16.

În arheologie ne interesează mai puțin câți atomi de  $^{14}\text{C}$  conține o probă în momentul analizării sale în laborator. Important este să-i cunoaștem vârsta reală. Ori, chiar și din cele prezentate până acum, este evident că scăzând pur și simplu 1950 de ani calendaristici din vârsta radiocarbon (obținută în laborator) *nu* putem determina vârsta *reală* (în ani solari) a probelor și nici măcar nu putem ști dacă probele se află, una în raport cu cealaltă, într-o situație de tipul *a*, *b* sau *c*: vârstele probelor A și B vor fi doar 1950 de „unități” mai mici, dar tot egale, iar proba E va rămâne în continuare (aparent) mai recentă decât proba F, pentru că  $\Delta^{14}\text{C}$  (= concentrația de  $^{14}\text{C}$  a probei E în raport cu concentrația de  $^{14}\text{C}$  a probei F) nu se modifică prin scăderea constantei 1950. Așadar, concentrația de  $^{14}\text{C}$  în atmosferă variază, iar această variație nu poate fi exprimată algebric și nici măsurată pentru epocile trecute.  $A_0$ , postulat inițial ca având valoare constantă, este variabil și încă într-un mod complet necunoscut. Consecința este aceea că în formula:

$$t = -8033 \ln(A/A_0)$$

există două necunoscute ( $t$  și  $A_0$ ), deci ecuația nu mai poate fi rezolvată. Ce-i de făcut ?

1.1. Primul pas s-a reprezentat înlocuirea lui  $A_0$  din formula inițială cu un standard din 1950. Aceasta prezenta avantajul de a înlocui o mărime necunoscută – numărul de atomi de  $^{14}\text{C}$  conținuți de materialul folosit ca probă în momentul morții sale – cu o mărime cunoscută – numărul de atomi de  $^{14}\text{C}$  conținuți de proba preparată în 1950 asupra căreia s-a convenit că va avea rolul de standard. Ecuația poate fi rezolvată, dar urmarea este aceea că „ $t$ ” nu mai reprezintă numărul de ani solari scurși de la încetarea din viață a materialului de datat și până în momentul analizei, ci reprezintă o combinație între durata medie de viață a unui atom de  $^{14}\text{C}$ , pe de o parte, și raportul dintre conținutul de  $^{14}\text{C}$  (în momentul analizei) al probei analizate și conținutul de  $^{14}\text{C}$  al probei-standard din 1950, pe de altă parte<sup>2</sup>. Aceasta este ceea ce s-a numit *vârsta radiocarbon*. Marja de eroare asociată vârstei radiocarbon<sup>13</sup>

<sup>12</sup> De aici și anul 1950 ca an „0” al datei *radiocarbon*. Cauza pentru care 1950 rămâne anul „zero” este aceea că și proba-standard este supusă procesului de dezintegrare radioactivă în aceeași măsură ca și proba de datat (radioactivitatea lor scăzând cu 0,012% pe an). Deci:  $A/A_m = A/A_0$ , unde:  $A_0$  – nu mai semnifică numărul de atomi de  $^{14}\text{C}$  conținuți de materialul utilizat ca probă în momentul morții sale, ci reprezintă radioactivitatea probei-standard în anul 1950;

$A_m$  – radioactivitatea standard modernă sau – altfel spus – numărul de atomi de  $^{14}\text{C}$  pe care proba-standard preparată în 1950 îi mai conține la vremea analizării probei de datat.

Adică:

$$\frac{\text{numărul de atomi de } ^{14}\text{C} \text{ conținuți de proba de datat în momentul datării}}{\text{numărul de atomi de } ^{14}\text{C} \text{ conținuți de proba-standard în momentul datării}}$$

este egal cu

$$\frac{\text{numărul de atomi de } ^{14}\text{C} \text{ pe care proba de datat i-a conținut în anul 1950}}{\text{numărul de atomi de } ^{14}\text{C} \text{ pe care proba-standard i-a conținut în anul 1950}}$$

Numărul de atomi de  $^{14}\text{C}$  din  $A_m$  a fost egal cu numărul de atomi de  $^{14}\text{C}$  din  $A_0$  numai în 1950 (Aitken, *op. cit.*, p. 109–110, nota 9).

Astfel, formula de calcul a vârstei radiocarbon devine:

$$(4) \quad t = -8033 \ln(A/A_m) \quad (\text{Ibidem, p. 94}).$$

<sup>13</sup> Marja de eroare este alcătuită din deviația standard, rezultată din calculele statistice și din multiplicatorii de eroare cum sunt: limitele capacității de măsurare a aparatului folosit în laborator, mici inexactități în cântărirea probei sau în evaluarea fracționării izotopice etc. (Bowman, *op. cit.*, p. 38–41).

reprezintă de fapt eroarea cu care s-a măsurat conținutul de  $^{14}\text{C}$  al probei de datat în raport cu conținutul de  $^{14}\text{C}$  al probei standard<sup>14</sup>. A scădea 1950 de ani solari dintr-o cifră care semnifică un conținut relativ de atomi de  $^{14}\text{C}$  este o operație fără sens. De aceea, a afirma, de exemplu, că faza A–B<sub>1</sub> a culturii Cucuteni, conform datelor radiocarbon, se „plasează în jur de 3200 b.c.”<sup>15</sup> înseamnă a afirma ceva care nu poate să existe.

1.2. Introducerea standardului din 1950 nu rezolvă încă complet problema, pentru că, revenind la exemplele a–c, conținutul de atomi de  $^{14}\text{C}$  al probei A în raport cu standardul va fi același cu conținutul probei B în raport cu același standard, deci vârstele lor radiocarbon rămân egale; în mod corespunzător, conținutul de  $^{14}\text{C}$  al probei E în raport cu standard-ul va continua să fie mai mare decât cel al probei F în raport cu standardul, deși știm că ar trebui să fie invers. Soluția pentru ieșirea din impas a oferit-o dendrocronologia. Cele mai multe specii de arbori produc, în condiții normale, un inel de creștere în fiecare an solar. Formarea acestuia începe în primăvară și se încheie spre sfârșitul toamnei. Inelul absoarbe din atmosferă, prin fotosinteză, atomi de  $^{14}\text{C}$ , iar absorbția încetează odată cu încheierea procesului de formare a inelului. În acest fel, un inel de copac conține un număr de atomi de  $^{14}\text{C}$  care este *reprezentativ* pentru conținutul de  $^{14}\text{C}$  al atmosferei din anul solar în care acesta s-a format. Odată scala dendrocronologică constituită, s-a determinat vârsta radiocarbon a inelelor de creștere, care de această dată, proveneau din ani calendaristici cunoscuți. Urmarea a fost *calibrarea*, adică transformarea anilor radiocarbon în ani solari prin compararea vârstei radiocarbon a probei analizate cu vârsta radiocarbon a inelelor de copac cu dată cunoscută (din curba de calibrare). O situație similară probelor A și B din exemplul a este reprezentată în fig. 3.

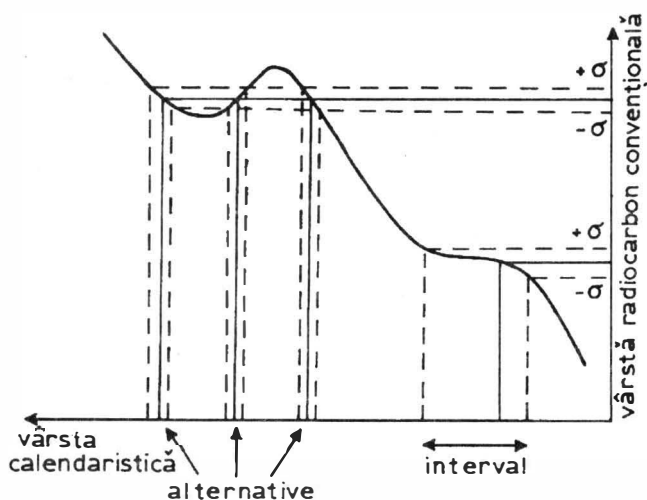


Fig. 3. Representare grafică din care rezultă că unei probe radiocarbon îi pot corespunde uneori o singură dată în ani solari, altelei mai multe (după M. J. Aitken).

<sup>14</sup> *Ibidem*, p. 39.

<sup>15</sup> Mantu, *op. cit.*, p. 218.

Probele 2 și 3 din fig. 4, stânga, se află într-o situație similară cu cea a probelor E și F din exemplul *b*: în urma calibrării devine clar că deși vârsta radiocarbon a probei 3 este mai mare decât cea a probei 2, în realitate proba 3 poate fi mai recentă.

Așadar, soluția este *calibrarea*. Folosirea datelor „b.c.” ca dată BP – 1950 nu corespunde stadiului actual al cercetării<sup>16</sup>, iar folosirea datelor radiocarbon (BP) este inoperantă<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Compară Mantu, *op. cit.*, fig. 1, în care sunt reprezentate datele „b. c.”, cu fig. 3, unde sunt reprezentate aceleași date, dar calibrate. Autoarea este de părere că cele două reprezentări ar fi echivalente, dar această afirmație nu se verifică. Câteva exemple:

- fig. 1: proba 9 este mai veche decât 7 și 8; fig. 3: proba 9 este mult mai recentă decât celelalte două;
- fig. 1: data nr. 75 este mai veche decât 74 și 76; fig. 3: 74 și 75 sunt aprox. contemporane și ambele mai vechi decât 76;
- fig. 1: nr. 88 este mai veche decât 90, care este aprox. contemporană cu 92; fig. 3: 88 este parțial mai veche, parțial contemporană cu 90, care este parțial mai veche și parțial contemporană cu 92;
- fig. 1: data 96 este parțial mai veche decât 97; fig. 3: data 96 este contemporană cu 97;
- fig. 1: 103 este contemporană cu 109; fig. 3: 109 este mai veche decât 103;
- fig. 1: 112 este mult mai veche decât 119; fig. 3: 112 este practic contemporană cu 119; în plus poziția probei 119 față de celelalte din jur (comp. cu datele 115, 117) este total diferită în cele două figuri;
- fig. 1: cea de a doua dată cu numărul curent 119 (corect fiind probabil nr. 111 – Bln-2015 –, aparținând grupului Celei) este aprox. contemporană cu 122; fig. 3: 119 (111 ?) este mai veche decât 122 (intervalele în care ele s-ar putea data nu par să se suprapună deloc).

În fig. 1 există, de asemenea din greșeală, două probe cu același număr curent: 105. Deoarece conform anexei 2 proba cu nr. curent 105 ar trebui să aparțină grupului Horodiștea, iar conform tabelului din fig. 1 cele două probe cu acest număr ar trebui să aparțină fie culturii Cernavoda I, fie grupului Celei și deoarece prin calibrare poziția probelor se schimbă mult, este foarte greu de determinat numărul curent corect al datelor în discuție.

Ar fi de notat, de asemenea, că dacă folosirea numerelor curente din anexa articolului în cazul figurilor în discuție se justifică din motive de spațiu, nu același lucru se poate spune despre text (*Ibidem*, *passim*; László, *op. cit.*, *passim*), unde ar fi trebuit ca numele corect al probelor (indicatorul laboratorului + numărul specific al probei radiocarbon) să fi fost folosite de fiecare dată.

Urmările calibrării sunt importante. În primul rând, dacă constatăm că cronologia relativă a stațiilor arheologice elaborată pe criteriile tradiționale arheologice concordă cu cronologia relativă „b.c.” (singura care a fost sistematic utilizată în articolul citat), atunci ori cronologia relativă „arheologică” tradițională nu corespunde realității, ori cel puțin unele dintre datele <sup>14</sup>C sunt incorecte. Schimbarea poziției relative a datelor prin calibrare este o chestiune esențială și ea nu poate fi în nici un caz neglijată într-un articol care își propune să discute cronologia absolută a unor culturi situate în ansamblul lor în perioada pentru care există deja o curbă de calibrare. Trebuie însă subliniat că sarcina de a determina perioada de dezvoltare a unei culturi – sau ceea ce cu un termen consacrat s-a numit *floruit* (B. Ottaway, *Archaeometry* 15, 1973, 1, p. 10; C. E. Buck, C. D. Litton, A. F. M. Smith, *Journal of Archaeological Science* 19, 1992, p. 497) – este deosebit de grea. În literatura de specialitate există mai multe exemple în acest sens (*loc. cit.*). Din punct de vedere metodologic se poate reține faptul că datele trebuie analizate mai întâi în cadrul fiecărei stațiuni arheologice, mai ales atunci când există date din nivele de locuire sau faze succesive, comparația cu date din alte așezări făcându-se abia într-o fază ulterioară.

<sup>17</sup> Pentru epocile pentru care există și un cadru cronologic istorico-astronomic, datele în ani radiocarbon nu pot fi folosite ca atare deoarece comparația celor două tipuri de date nu este posibilă. Pentru perioadele mai vechi decât curba de calibrare trebuie folosită în continuare vârsta radiocarbon BP, cu observația că vârsta corectă BP este 3% mai mare decât cea comunicată de laborator (din cauza diferenței dintre timpul de înjumătățire  $t_{1/2}$  calculat de Libby și cel real). Astfel, la o dată de 30 000 BP trebuie adăugați 900 ani radiocarbon, vârsta radiocarbon corectă fiind aceea de 30 900 BP. Această corectură nu trebuie făcută atunci când datele se pot calibra, pentru că în alcătuirea curbei de calibrare s-a folosit tot  $t_{1/2}$  calculat de Libby, iar calibrarea propriu-zisă se bazează pe comparație (Aitken, *op. cit.*, p. 108).

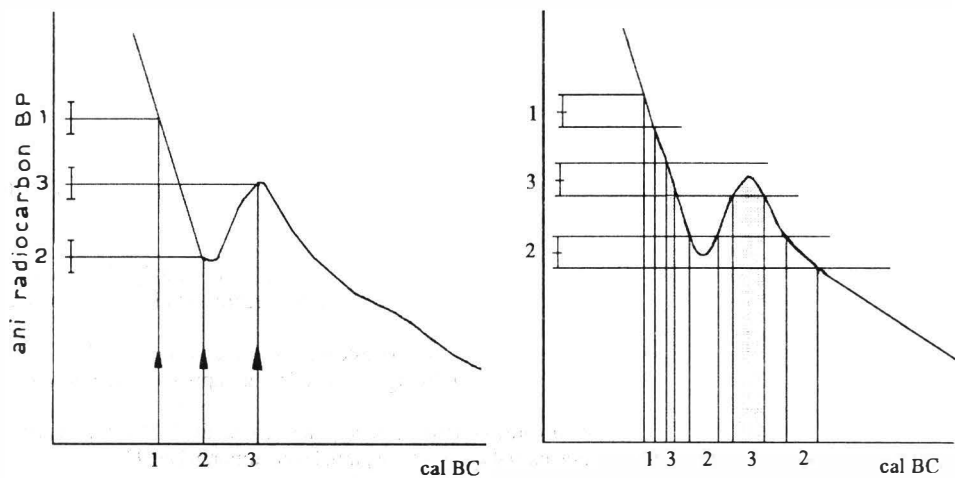


Fig. 4. Reprezentare grafică din care rezultă că datele radiocarbon nu pot fi folosite în elaborarea unei cronologii relative (după Sh. Bowman).

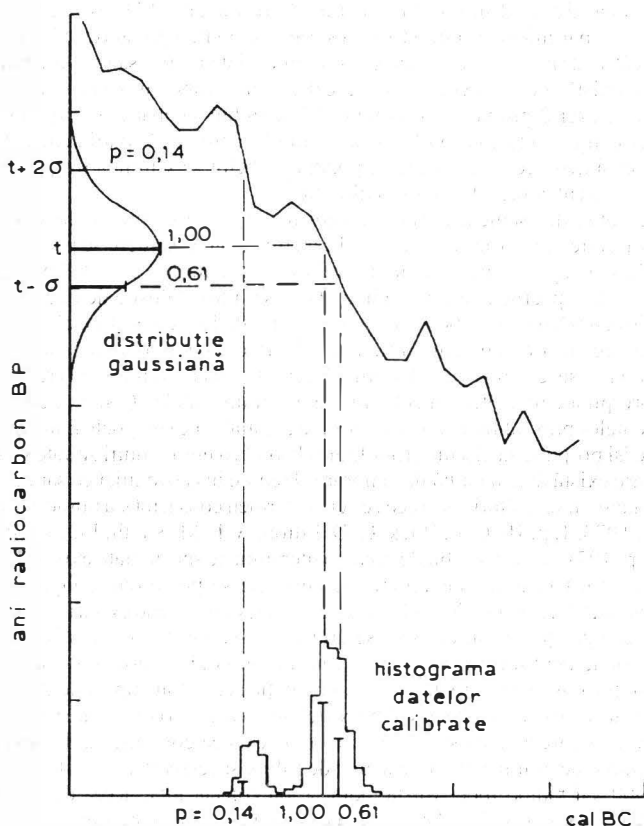


Fig. 5. Exemplu de calibrare probabilistică (după Sh. Bowman).



2. În exemplele de până acum s-a pornit de la probe (A–F) cu vârstă cunoscută. În practică însă, demersul este invers: pornind de la vârsta radiocarbon se caută determinarea vârstei reale. Aceasta este sarcina arheologului și ea se poate dovedi extrem de grea. Fig. 4, dreapta redă o situație în care celor două vârste radiocarbon (acelea ale probelor 2 și 3) le pot corespunde patru date reale. Dar patru date reale pentru numai două probe  $^{14}\text{C}$  este prea mult și trebuie găsite criterii pentru a selecta numai două dintre ele.

2.1. Un prim criteriu este acela al probabilității. Spre deosebire de calibrarea prin metoda interceptării, folosită și în articolele citate (ca în fig. 3 – 4, 8 stânga), calibrarea prin metoda probabilistică încearcă să valorifice distribuția probabilistică (gaussiană) a rezultatului necalibrat. Astfel, unele date reale vor fi mai probabile decât altele pentru aceeași vârstă radiocarbon (fig. 5)<sup>18</sup>, deși există încă diferențe între diferite programe în ceea ce privește coeficientul de probabilitate. În fig. 6–7/a–b am reprezentat rezultatul calibrării aceleași date – B-6105: 3200±30 BP<sup>19</sup> – cu două programe diferite: CalibETH 1.5<sup>20</sup> și OxCal v2.13<sup>21</sup>, utilizând în cadrul ultimului program două curbe de calibrare diferite<sup>22</sup>. Mai trebuie semnalat că efectul calibrării probabilistice este mult atenuat dacă marja de eroare a datelor radiocarbon este prea mare<sup>23</sup> (fig. 8).

2.2. La selectarea datei mai probabile poate contribui și adăugarea de informație suplimentară: analize de anatomie a lemnului (acestea pot contribui la o selectare a datelor care sunt mai probabil să fie reprezentative), elaborarea unui model arheologic al relației dintre date (de ex. recalcularea distribuției probabilistice a datelor calibrate în funcție de modelul arheologic, numită și abordare de tip bayesian a calibrării<sup>24</sup>).

<sup>18</sup> „... nu s-a convenit deocamdată [până în 1990 – n.n.], pe plan internațional asupra unui procedeu anume, dar principiile generale ale tuturor procedeelelor sunt aceleași. Deoarece curba de calibrare nu poate fi descrisă printr-o formulă matematică, toate procedeele se bazează pe metode de computer. Intervalul pe scala calendaristică corespunzător marjei de eroare din măsurătoarea radiocarbon este simulat prin calibrarea rezultatului central și a unor date punctuale aflate la anumite intervale (de ex., anuale) față de centru. Fiecărei date calendaristice îi este atașată probabilitatea gaussiană ( $p$ ) corespunzătoare. Datele calibrate sunt apoi grupate, de exemplu în segmente de câte zece ani, iar probabilitățile pentru fiecare segment sunt însumate pentru a forma o histogramă. Intervalele calibrate cele mai probabile se obțin prin gruparea segmentelor corespunzătoare unui anumit nivel de siguranță” [68,3%, 95,4% – n.n.] (Bowman, *op. cit.*, explicația fig. 20).

<sup>19</sup> Compară și reprezentarea rezultatului calibrat al datelor Bln-1085, Bln-1086 și GrN-5135 la N. Palincaș, SCIVA 47, 1996, 3 (sub tipar), fig. 22 cu reprezentarea rezultatului calibrării aceluiași date la László, *op. cit.*, fig. 1–4.

<sup>20</sup> Data provine din fortificația aparținând locuinții Govora–Fundeni de la Popești, jud. Giurgiu (C. Fischer, SCIVA 47, 1996, 3 [sub tipar]; Palincaș, *op. cit.*).

<sup>21</sup> Th. R. Niklaus, *CalibETH. User's Manual*, ETH Zürich, 1991.

<sup>22</sup> C. Bronk Ramsey, *Oxcal v2.0. A Radiocarbon Calibration and Analysis Program* (fără an de apariție, cca. 1994).

<sup>23</sup> Curba de calibrare M. Stuiver, R. S. Kra (eds.), *Radiocarbon* 28 (2B), 1986, p. 805–1030 (fig. 7/a); curba de calibrare M. Stuiver, A. Long, R. S. Kra (eds.), *Radiocarbon* 35 (1), 1993 (fig. 7/b).

<sup>24</sup> Actualmente măsurătorile de rutină se calculează cu o marjă de eroare de ±30, ±40, iar cele de înaltă precizie, cu ±15, ±20 ani radiocarbon.

<sup>25</sup> Buck, Litton, Smith, *op. cit.*, p. 497–512; C. E. Buck, C. D. Litton, E. M. Scott, *Antiquity* 68, 1994, p. 252–263.

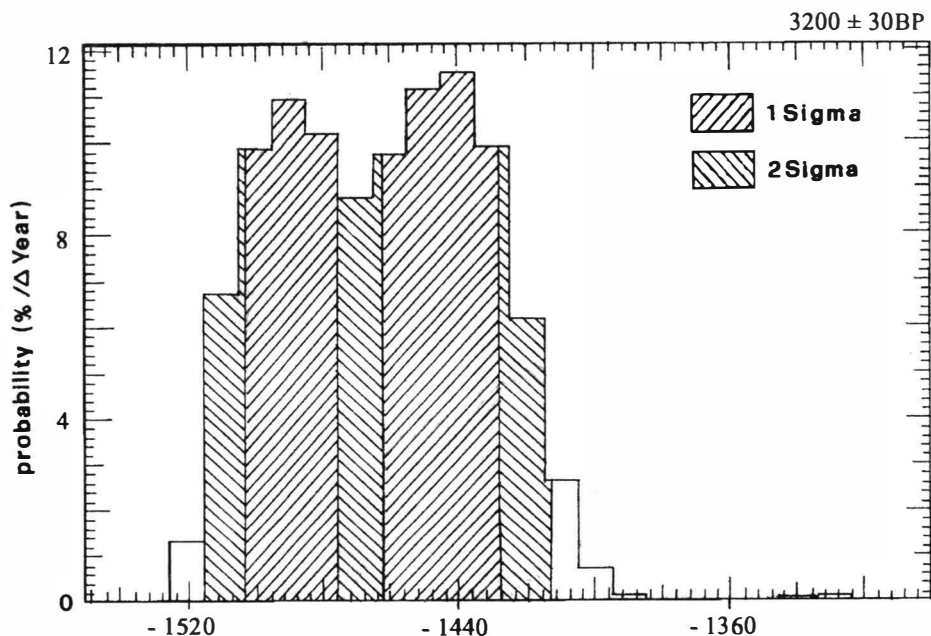


Fig. 6. Rezultatul calibrării datei B-6105 utilizând programul: CalibETH 1.5 (1991) (după Fischer).

3. Odată calibrate, datele pot corespunde sau nu *așteptării arheologice*. Această noțiune, mai mult sau mai puțin conștientizată, dar mereu prezentă în mintea utilizatorului, este încă absentă din numeroase studii, ori tocmai ea este aceea care a dus la respingerea, în repetate rânduri, a rezultatelor datării prin metoda radiocarbon. Aceste neconcordanțe, dacă nu rezidă într-o greșală de laborator, provin din modul de recoltare a probelor din săpătură (de ex. un os sau un fragment de lemn găsit într-o groapă nu trebuie neaparat să dea o dată relevantă pentru acea groapă, respectiv pentru nivelul din care a fost săpată; relația dintre proba  $^{14}\text{C}$  și contextul arheologic pe care ea ar trebui să îl dateze este principala sursă de eroare în arheologie). O clasificare a situațiilor posibile a fost făcută de către Waterbolk<sup>25</sup>. Deși ea s-a bucurat de largă acceptanță din partea fizicienilor, arheologii nu i-au acordat întotdeauna atenția cuvenită. Se stabileau acolo patru grade de reprezentativitate a datelor  $^{14}\text{C}$  pentru contextul lor arheologic:

„A. – Siguranța deplină: obiectul arheologic însuși furnizează proba măsurată. Exemple: canoe din trunchi de lemn, roată de car, stâlp dintr-o construcție, material organic din ceramică.

B. – Probabilitate ridicată: există o relație directă între materialul organic care este măsurat și obiectele arheologice de diagnosticat. Exemple: sicriu carbonizat din groapa unui mormânt cu inventar, semințe carbonizate dintr-o groapă menajeră conținând și cioburi, cărbune dintr-o urnă, vatră din podeaua unei construcții.

<sup>25</sup> H. T. Waterbolk, PPS 37, 1971, 2, p. 15–16, reluată la Aitken, *op. cit.*, p. 90.

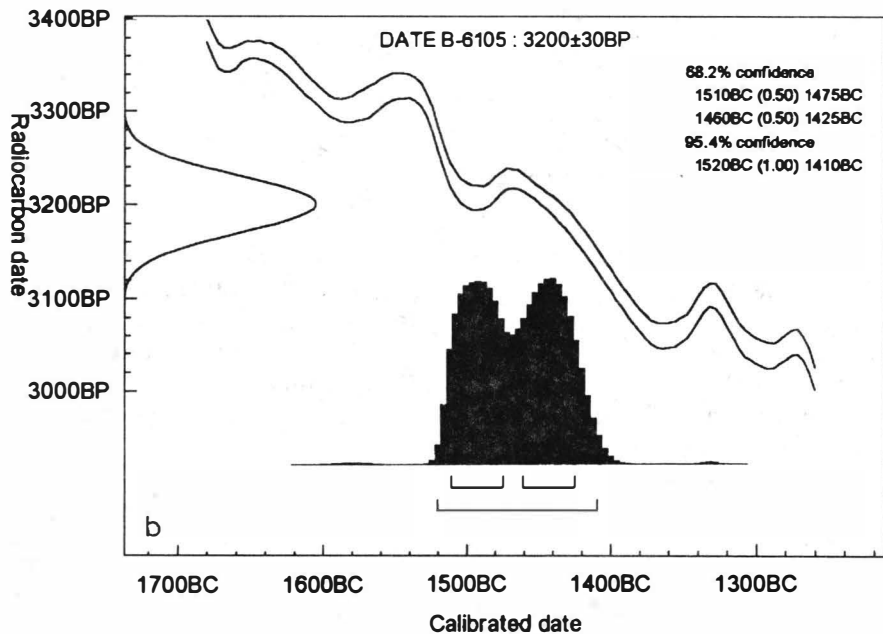
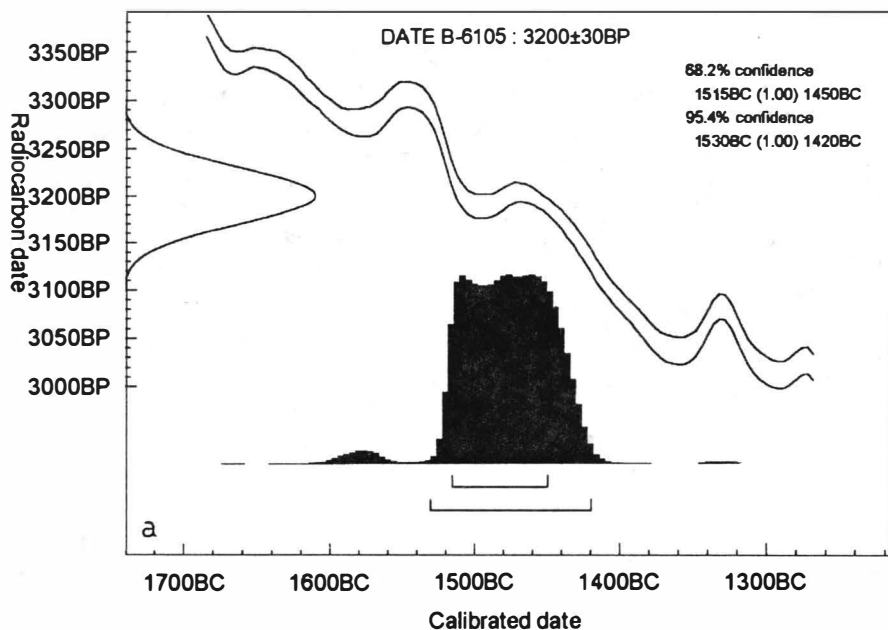


Fig. 7. Rezultatul calibrării datei B-6105 utilizând programul Oxcal v2.13: *a* curba de calibrare M. Stuiver, R. S. Kra (eds.); *b* curba de calibrare M. Stuiver, A. Long, R. S. Kra (eds.).

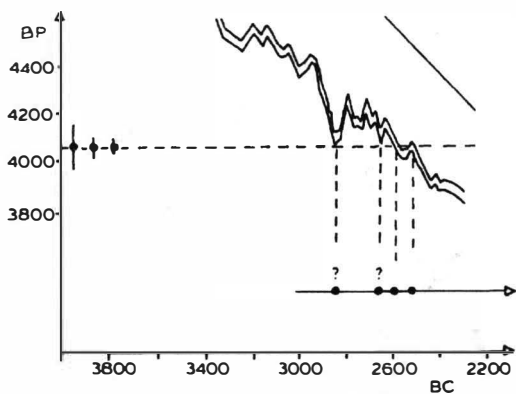
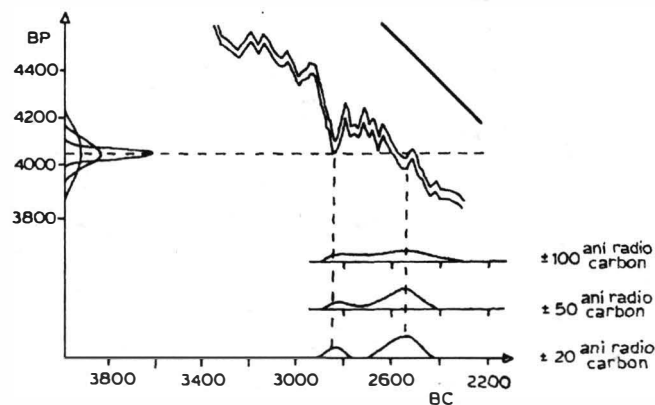


Fig. 8. Sus: Calibrare prin dispersie unidimensională; jos: Calibrare prin dispersie bidimensională; dependența rezultatului de marja de eroare este evidentă (după B. Weninger).



C. – Probabilitate: nu există nici o relație funcțională demonstrabilă între proba măsurată și materialul arheologic, dar cantitatea de material organic și dimensiunile fragmentelor pledează în favoarea unei relații. Exemple: concentrare de cărbune într-o groapă menajeră sau într-un nivel de locuire.

D. – Posibilitate rezonabilă: ca la punctul C, dar fragmentele sunt mici și împrăștiate. Exemple: „pământ negru” dintr-un nivel de locuire, particule de „cărbune” dintr-un mormânt<sup>26</sup>.

Trebuie ținut cont și de faptul că fiecare dată reprezintă pentru contextul său arheologic un „*terminus post quem*”, adică materialul organic datat a încetat din viață înainte de a fi înglobat în contextul arheologic. Întrebarea este: cu cât timp înainte?<sup>27</sup>

Și din acest punct de vedere Waterbolk deosebește 4 categorii, în funcție de materialul de datat:

<sup>26</sup> V. supra nota 25.

<sup>27</sup> Waterbolk, *op. cit.*, p. 16; Bowman, *op. cit.*, p. 50–51.

„A. – Diferența de datare este atât de mică încât este neglijabilă ( $\delta < \text{cca. } 20$  ani). Exemple: ramuri, semințe, piele (din obiecte), os, inele din partea exterioară a copacului.

B. – Diferența se poate ridica la mai multe decenii ( $\text{cca. } 20 < \delta < \text{cca. } 100$ ). Exemple: cărbune din specii de lemn cu viață scurtă; inele din partea exterioară a unei specii de copac durabile atunci când este de așteptat o perioadă mai îndelungată de utilizare.

C. – Diferența în timp se poate ridica la secole ( $\delta > 100$ ). Exemplu: cărbune din specii de lemn cu viață lungă, care este posibil să provină dintr-un obiect reutilizat.

D. – Natura materialului organic datat nu este cunoscută cu siguranță. Exemple: probe constând din «pământ negru», «cenușă», «sol»<sup>28</sup>.

Clasificarea probelor de analizat din acest punct de vedere arată în ce măsură pot ele răspunde la întrebarea pusă. Devine totodată clar că datele radiocarbon trebuie analizate fiecare separat și nu luate simplu în serie: o dată de tipul celor din categoria A este mult mai relevantă pentru contextul său arheologic decât o serie de date din categoria D.

Dacă această clasificare a probelor s-a făcut, dacă proba provine dintr-una din categoriile favorabile datării contextului ei arheologic, dacă nu avem motive să ne îndoim de calitatea muncii laboratorului care a făcut datarea<sup>29</sup>, deci dacă toate măsurile de precauție s-au luat, și, cu toate acestea, data nu corespunde „așteptării arheologice”, atunci:

– fie modelul arheologic este greșit<sup>30</sup>,

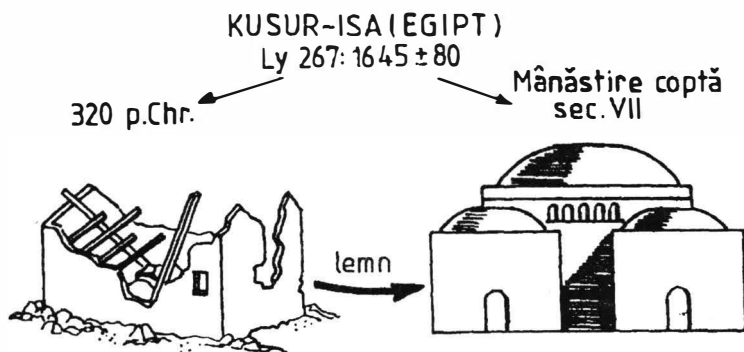


Fig. 9. Exemplu de reutilizare a lemnului de construcție (după J. Evin).

<sup>28</sup> Waterbolk, *op. cit.*, p.16.

<sup>29</sup> Cf. cazurile probelor Gak-2449 și Leningrad la Palincaș, *op. cit.*, fig. 22, unde greșelile de laborator sunt evidente. Asemenea cazuri sunt însă rare. Numeroase laboratoare participă la teste pentru a verifica corectitudinea măsurătorilor pe care le fac. Rezultatul unui astfel de test, publicat de E. M. Scott și colab., în *Proceedings of the Second International Symposium <sup>14</sup>C and Archaeology, Groningen 1987*, Strasbourg, 1990, p. 125–139, arată că în datarea probelor vechi nu există diferențe semnificative între laboratoare, ci ele au apărut numai în datarea probelor moderne.

<sup>30</sup> Cf. Palincaș, *op. cit.*, revizuirea cronologiei relative a fazelor Tei IV–V și a complexului Zimnicea–Plovdiv.

– fie ne aflăm în fața unei situații care trebuie interpretată altfel decât în sens cronologic: bârnele înglobate în construcții au putut fi uneori depozitate înainte de folosire, altelei refolosite generații la rând<sup>11</sup> – adică pot prezenta ceea ce s-a numit efectul de lemn vechi<sup>12</sup> – , un mormânt a putut fi construit multă vreme înainte de a fi folosit (mai ales în cazul construcțiilor mari, cu înmormântări succesive și care au fost nu rarori cercetate numai parțial) etc. În asemenea cazuri datele <sup>14</sup>C „inacceptabile” se pot dovedi a fi mult mai utile și mai interesante decât cele acceptabile pe baza „așteptării arheologice”.

## SOME REMARKS CONCERNING THE WORK WITH RADIOCARBON DATES

### ABSTRACT

The aim of this article is a brief discussion of some methodological aspects of radiocarbon dating in archaeology: the need for calibration, sampling strategy, how could the «unacceptable» radiocarbon dates be used.

Though these aspects were already discussed in the archaeological literature, it seems meaningful to clear out the main points about which there is still some confusion even in recently published articles like those of A. László and M. C. Mantu.

### CAPTION OF THE FIGURES

Fig. 1. Exponential curve representing radioactive decay (after Sh. Bowman).

Fig. 2. Schematic representation of the consequences of variation of atmospheric <sup>14</sup>C concentration upon radiocarbon «time» (after B. Weninger).

Fig. 3. Scheme showing that there are sometimes one and sometimes several calendar dates corresponding to one radiocarbon date (after M. J. Aitken).

Fig. 4. Scheme showing that radiocarbon dates cannot be used for relative chronology (after Sh. Bowman).

Fig. 5. Example of probabilistic calibration. (after Sh. Bowman).

Fig. 6. Result of calibration of the date B-6105 by using the CalibETH 1.5 program (after Fischer).

Fig. 7. Result of calibration of the date B-6105 by using on the Oxcal v2.13 program the calibration curves: a M. Stuiver, R. S. Kra (eds); b M. Stuiver, A. Long, R. S. Kra (eds.).

Fig. 8. One dimensional dispersion calibration (left); two dimensional dispersion calibration (right). The dependence of the result on the error term is evident (after B. Weninger).

Fig. 9. Reemployment of ancient wood (after J. Evin).

<sup>11</sup> Ca în exemplul dat de J. Evin, în *<sup>14</sup>C and Archaeology. Symposium held at Groningen, August 1981*, PACT 8, 1983, p. 268 - 269, fig. 15 (reprodusă aici în fig. 9).

<sup>12</sup> O încercare, după părerea noastră neconvingătoare, de cuantificare a efectului de lemn vechi a făcut-o R. B. Warner, în *Proceedings of the Second International Symposium <sup>14</sup>C and Archaeology, Groningen, 1987*, Strasbourg, 1990, p. 159-172. Pentru zona mediteraneană s-a calculat un efect de lemn vechi de +50±50 de ani (Vogel și colab., *Nature* 344, 1990, p. 535, după S. W. Manning, B. Weninger, *Antiquity* 66, 1992, p. 648).