

M. VAN STRYDONCK¹

Calibreren van ¹⁴C-dateringen

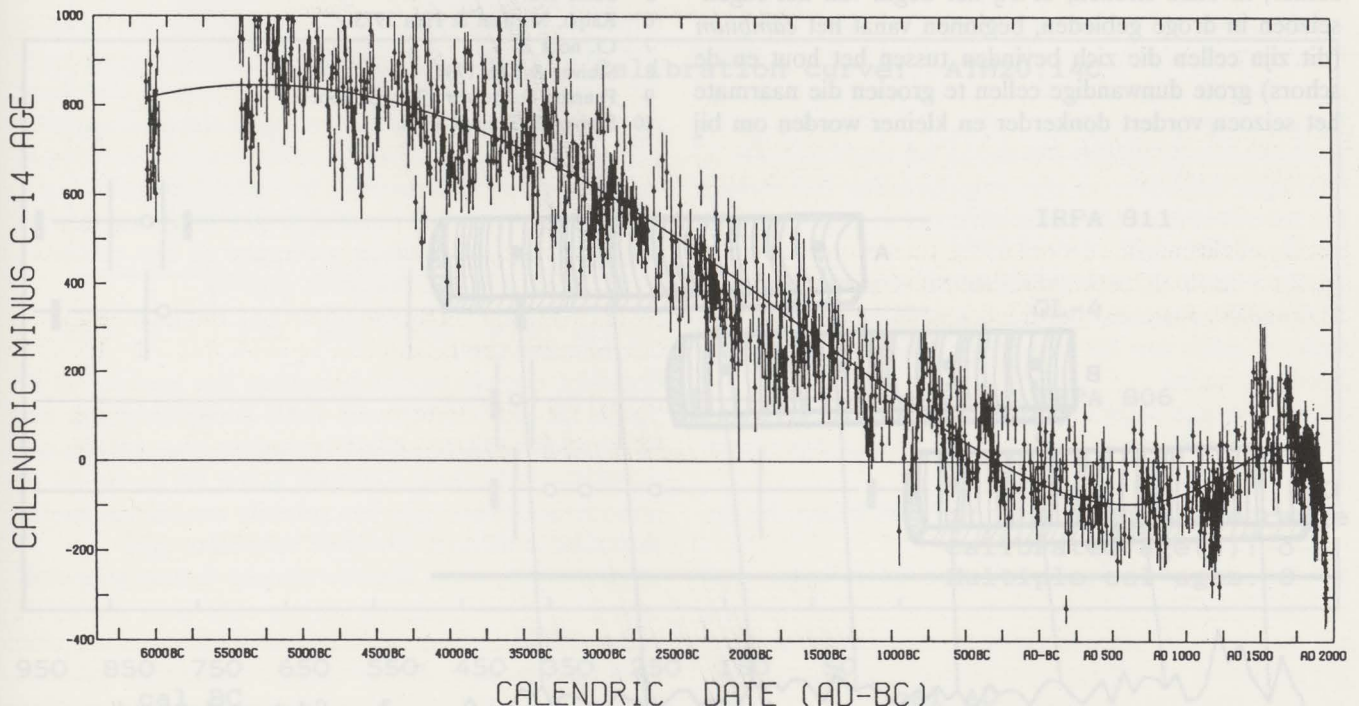
WAAROM CALIBREREN

Het feit dat het resultaat van een ¹⁴C-analyse gegeven wordt in jaren is eigenlijk een historische fout. In de beginperiode van de ¹⁴C-analyses dacht men dat er een één-duidig verband bestond tussen het restgehalte aan ¹⁴C in organisch materiaal en de ouderdom hiervan. In eerste instantie was dit ook zo. Het radioactieve ¹⁴C-atoom in de atmosfeer wordt geproduceerd onder invloed van de cosmische straling. Het oxideert onmiddellijk tot koolstofdioxide en komt in de natuurlijke koolstofcyclus terecht. Het wordt aldus ingebouwd in de organische moleculen van plant en dier. Na het afsterven van het organisme treedt er geen uitwisseling meer op met de omgeving. Dit heeft tot gevolg dat, door het radioactieve verval, het gehalte aan ¹⁴C gaat dalen. Indien de snelheid van dit radioactieve verval en de initiële hoeveelheid aan ¹⁴C gekend

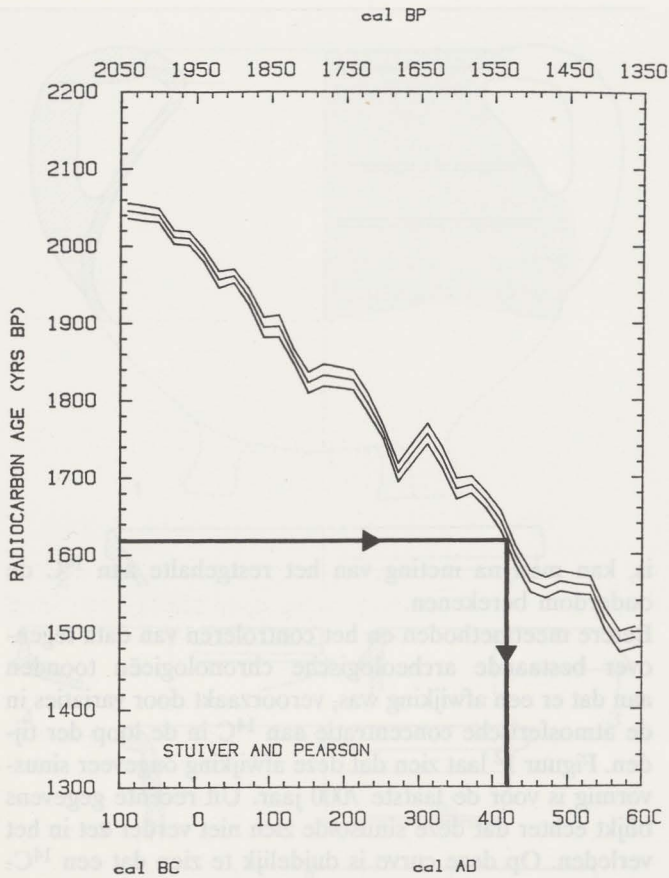
is, kan men na meting van het restgehalte aan ¹⁴C de ouderdom berekenen.

Betere meetmethoden en het controleren van data tegenover bestaande archeologische chronologieën toonden aan dat er een afwijking was, veroorzaakt door variaties in de atmosferische concentratie aan ¹⁴C in de loop der tijden. Figuur 1² laat zien dat deze afwijking ongeveer sinusvormig is voor de laatste 7000 jaar. Uit recente gegevens blijkt echter dat deze sinusoïde zich niet verder zet in het verleden. Op deze curve is duidelijk te zien dat een ¹⁴C-datering van 5000BC een afwijking heeft van ongeveer 800 jaar met de werkelijke ouderdom. Bovenop deze algemene trend zijn er nog kleinere afwijkingen waar te

- 1 Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium, Jubelpark 1, 1040 Brussel
- 2 Klein, Lerman, Damon & Ralph 1982.



1 Het verschil tussen de kalenderouderdom en de radiokoolstofouderdom in functie van de tijd.



2. Calibratiecurve voor de Romeinse periode.

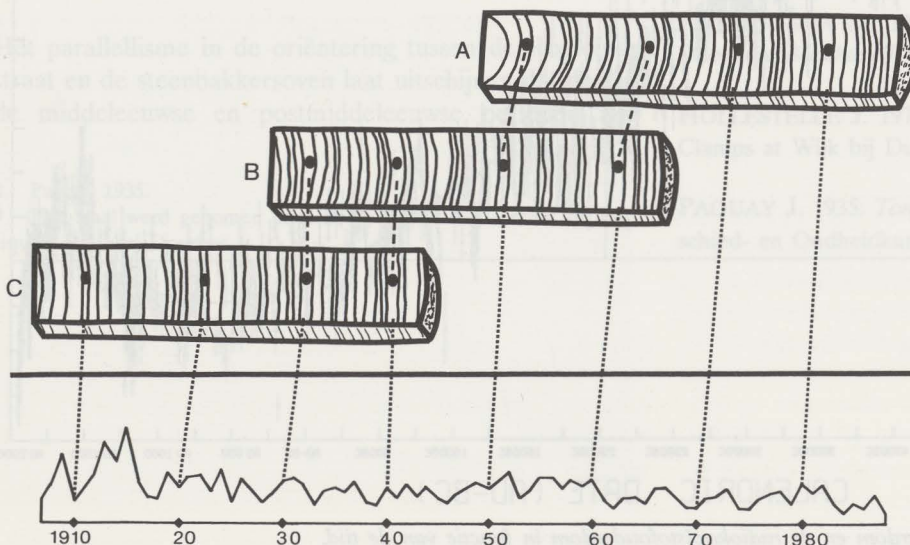
nemen (fig. 2)³. Dat dit verschil tussen ¹⁴C-ouderdom en kalenderouderdom kan gemeten worden danken we aan de dendrochronologie⁴. Deze wetenschap bestudeert de jaarringen van bomen. Deze jaarringen zijn het gevolg van het discontinu groeien van de boom. In het begin van de zomer, in onze streken, of bij het begin van het regen-seizoen in droge gebieden, beginnen vanaf het cambium (dit zijn cellen die zich bevinden tussen het hout en de schors) grote dunwandige cellen te groeien die naarmate het seizoen vordert donkerder en kleiner worden om bij

het begin van de herfst of bij het einde van het regen-seizoen op te houden met groeien. De ouderdom van een levende boom kan dus gemakkelijk gemeten worden door het tellen van zijn jaarringen. Nu is het zo dat gedurende gunstige zomers de boom harder zal groeien dan gedurende slechte zomers. Door het jaar na jaar veranderen van de klimatologische gesteldheid ontstaat er in de boom een uniek patroon van brede en smalle jaarringen. Relatief gezien komt dit patroon eveneens voor in alle bomen die in dezelfde klimatologische omstandigheden groeien. Het wordt aldus mogelijk zeer nauwkeurig een vrij lange tijdsreeks op te bouwen indien het nodige materiaal kan gevonden worden (fig. 3).

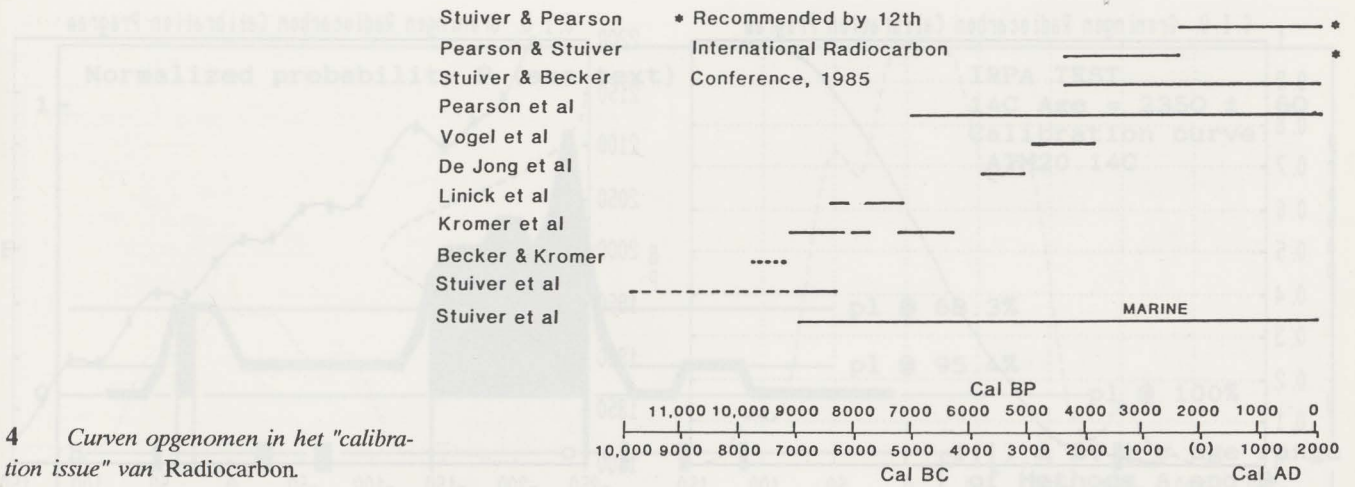
De calibratie bestaat er nu in het restgehalte aan ¹⁴C te meten in dit gedateerde materiaal en de conventionele radiokoolstofouderdom te vergelijken met de dendro-ouderdom. Er werden reeds verscheidene pogingen ondernomen om dateringen te calibreren. Dit leidde achtereenvolgens tot de Suess-curve⁵, de MASCA-curve⁶, de Klein-curve⁷, enz. Geen enkele van deze curven is in wezen foutief. De reden om steeds maar nieuwe curven te produceren ligt voornamelijk in het als maar beter worden van de meetapparatuur, wat uiteraard leidt tot meer nauwkeurige curven.

De nieuwste generatie calibratiecurven werd gebundeld in een speciaal calibratienummer van *Radiocarbon*⁸. De bidecanale curven van Stuiver en Pearson werden op het laatste Radiocarboncongres algemeen aanvaard (fig. 4)⁹. Het computerprogramma dat in het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium gebruikt wordt en dat ontwikkeld werd door de Universiteit van Washington¹⁰, is op deze curven gebaseerd.

- 3 Stuiver & Pearson 1986.
- 4 Lambert et al. 1979.
- 5 Suess 1969.
- 6 Ralph, Michael & Han 1973.
- 7 Cf. noot 2.
- 8 Stuiver & Kra 1986.
- 9 Pearson & Stuiver 1986; cf. noot 3.
- 10 Stuiver & Reimer 1986.



3 Schets van het opstellen van een dendrochronologische curve.



4 Curven opgenomen in het "calibration issue" van Radiocarbon.

HET CALIBRATIEPROGRAMMA

In deze paragraaf zullen wij enkel de mogelijkheden bespreken die het de gebruiker van dateringen biedt, niet de technische nog wiskundige achtergronden van de curves en het programma.

1 Keuze van de curve

De gebruiker heeft de keuze tussen

- bidecanale curve¹¹
- decanale curve¹²
- mariene curve¹³

Het verschil tussen de eerste en de tweede is dat in het ene geval elk punt op de curve gemeten werd met 20 jaar-ringen en op de andere met 10 jaar-ringen. De eerste

11 cf. nota 3 en 8.
 12 Stuiver & Becker 1986.
 13 Stuiver, Pearson & Braziunas 1986.

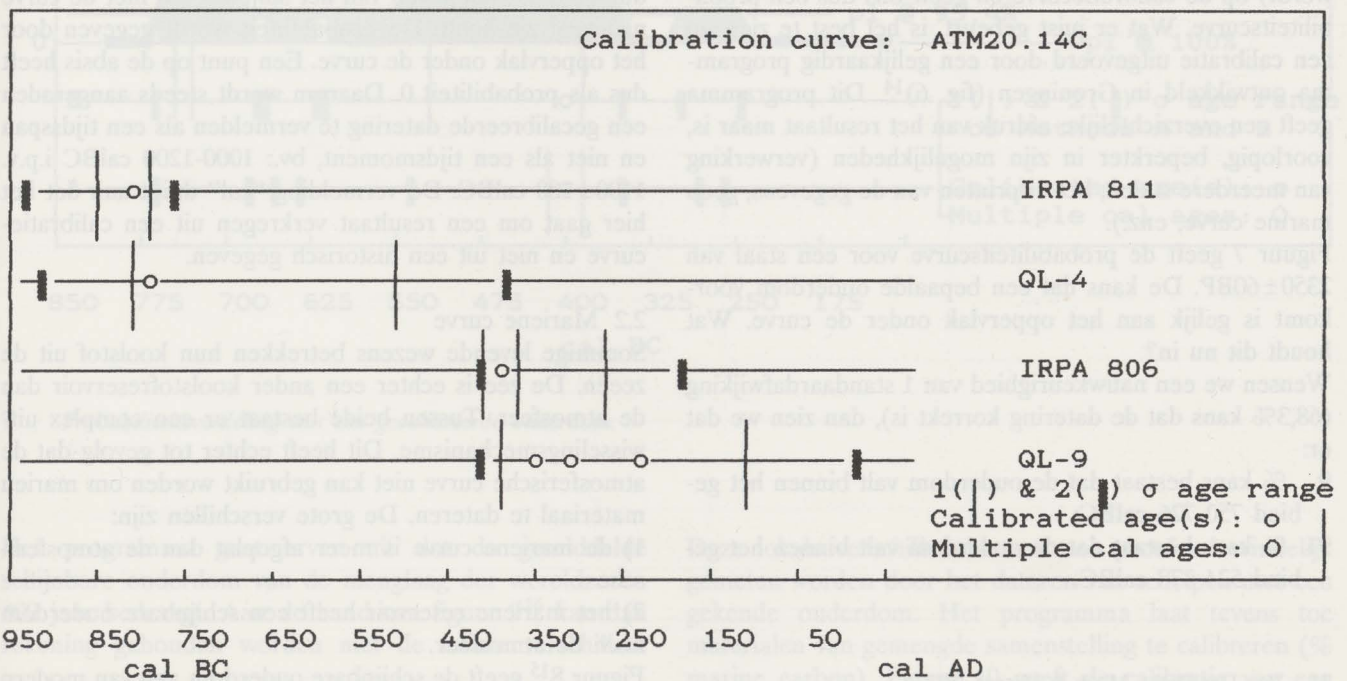
wordt aangeraden, vooreerst omdat de verschillen miniem zijn, maar vooral omdat de vraag open blijft of het zinvol is calibraties uit te voeren met een decanale curve, terwijl de fout op de datering zelf meestal 50 jaar of meer bedraagt. Tevens is het zo dat de overgrote meerderheid van de gedateerde materialen een levensduur hebben van meer dan 20 jaar.

De mariene curve is speciaal ontworpen voor materiaal dat zijn koolstof niet uit de atmosfeer betreft maar uit het zeewater.

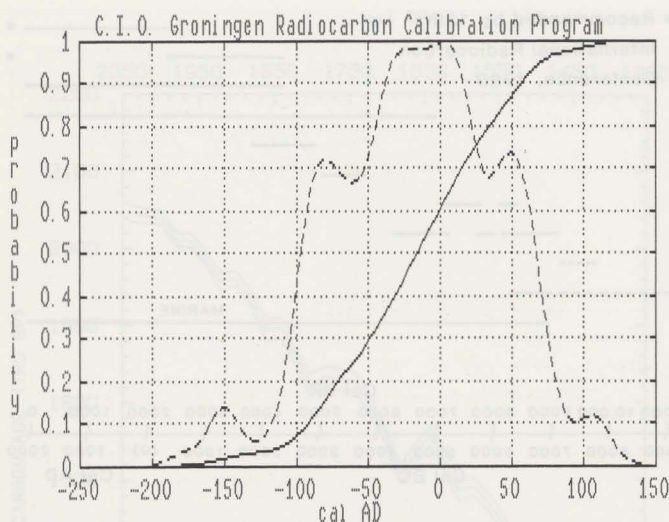
2 Werking van het programma

2.1 Mogelijke calibratie opties.

Het programma laat toe de gegevens op twee manieren te verwerken. Beide methodes bieden de mogelijkheid het resultaat uit te printen bij middel van een figuur of in cijfermateriaal.



5 Voorstelling van gecalibreerde resultaten.



6 Calibratie met het Groninger programma.

Bij de eerste manier (aangeduid met "method A") berekent het programma het snijpunt van de ¹⁴C-ouderdom met de curve (zie fig. 2). De standaardafwijking (sigma) wordt gegeven door volgende formule :

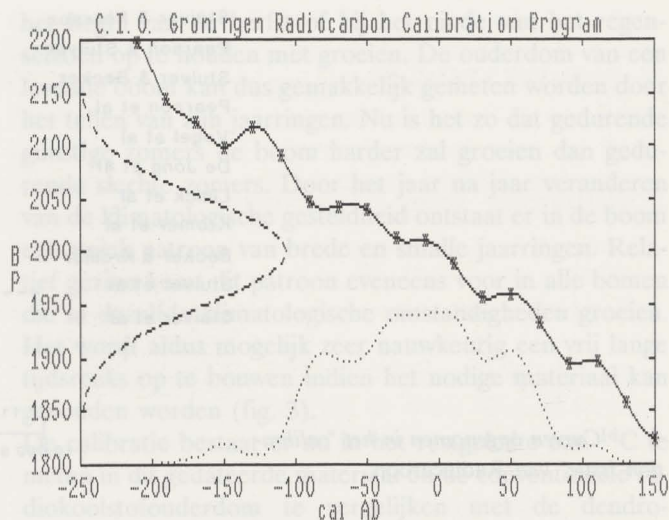
$$\text{sigma}_{\text{calibratie}} = \sqrt{(\text{sigma}_{\text{meting}})^2 + (\text{sigma}_{\text{curve}})^2}$$

Deze methode laat toe meerdere stalen op één grafiek te plaatsen. Het snijpunt met de calibratiecurve wordt weergegeven door een o, de dunne en de dikke verticale lijn geven respectievelijk de 1 en 2 sigma grenzen (d.w.z. 68,3 of 95,4 % kans dat het resultaat binnen de grenzen valt). Figuur 5 toont zulk een calibratie. Deze had tot doel 2 IRPA dateringen te vergelijken met 2 QL dateringen. De tweede manier ("method B") projecteert de conventionele datering (welke "normaal verdeeld" verondersteld wordt) op de calibratiecurve en geeft ons dus een probabiliteitscurve. Wat er juist gebeurt, is het best te zien op een calibratie uitgevoerd door een gelijkaardig programma ontwikkeld in Groningen (fig. 6)¹⁴. Dit programma geeft een overzichtelijke afdruk van het resultaat maar is, voorlopig, beperkter in zijn mogelijkheden (verwerking van meerdere stalen, het uitprinten van de gegevens, geen marine curve, enz.).

Figuur 7 geeft de probabiliteitscurve voor een staal van 2350±60BP. De kans dat een bepaalde ouderdom voorkomt is gelijk aan het oppervlak onder de curve. Wat houdt dit nu in?

Wensen we een nauwkeurigheid van 1 standaardafwijking (68,3% kans dat de datering korrekt is), dan zien we dat er:

- 9 % kans bestaat dat de ouderdom valt binnen het gebied 750-726 calBC;
- 91 % kans bestaat dat de ouderdom valt binnen het gebied 524-378 calBC.



Wensen we een nauwkeurigheid van 2 standaardafwijkingen (95,4 % kans dat de datering korrekt is, dan zien we dat er:

- 17 % kans bestaat dat de ouderdom valt binnen het gebied 764-675 calBC;
- 4 % kans bestaat dat de ouderdom valt binnen het gebied 665-621 calBC;
- 76 % kans bestaat dat de ouderdom valt binnen het gebied 604-356 calBC;
- 4 % kans bestaat dat de ouderdom valt binnen het gebied 295-247 cal BC.

Het is duidelijk dat zulk een benadering niet steeds zinvol is. Het is echter wel belangrijk te wijzen op het feit dat de grenzen van 1 en 2 standaardafwijkingen bij de methode B meestal groter zijn dan bij de methode A. Tevens is het duidelijk dat het geven van het snijpunt (o) met de curve niet veel zin heeft. De probabiliteit wordt gegeven door het oppervlak onder de curve. Een punt op de absis heeft dus als probabiliteit 0. Daarom wordt steeds aangeraden een gecalibreerde datering te vermelden als een tijdsspan en niet als een tijdsmoment, bv.: 1000-1200 calBC i.p.v. 1100±100 calBC. De vermelding "cal" duidt aan dat het hier gaat om een resultaat verkregen uit een calibratiecurve en niet uit een historisch gegeven.

2.2 Mariene curve

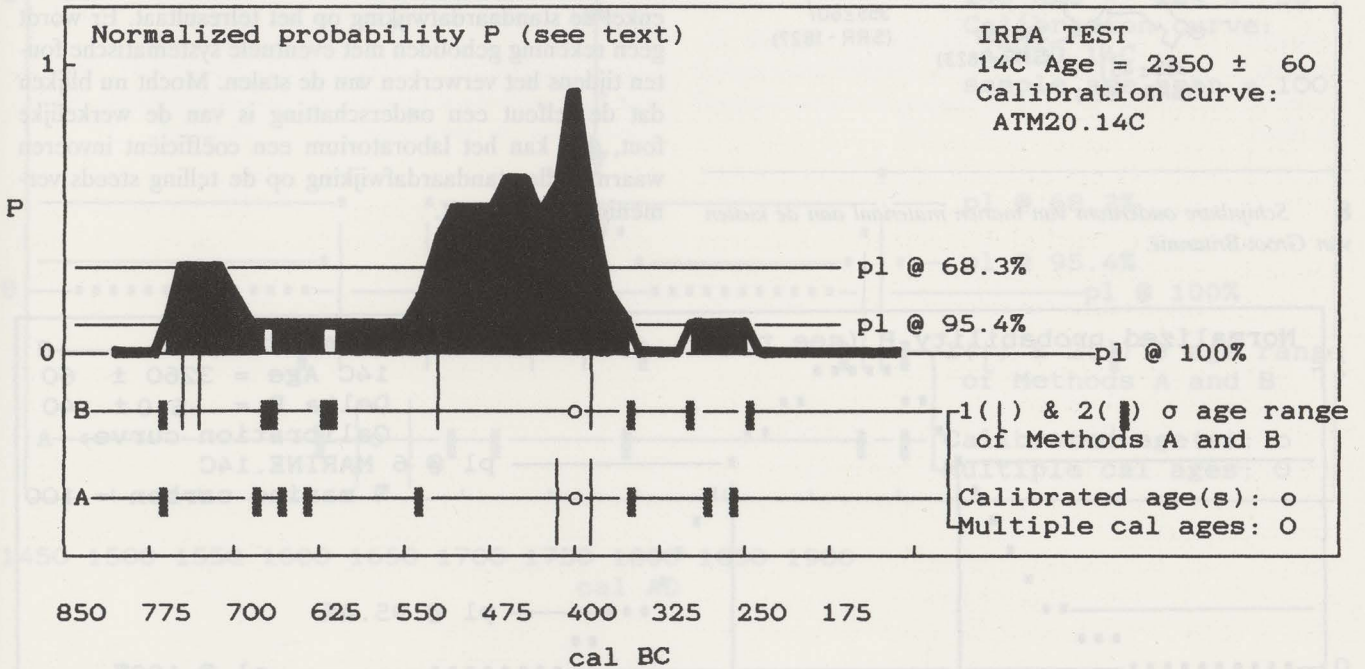
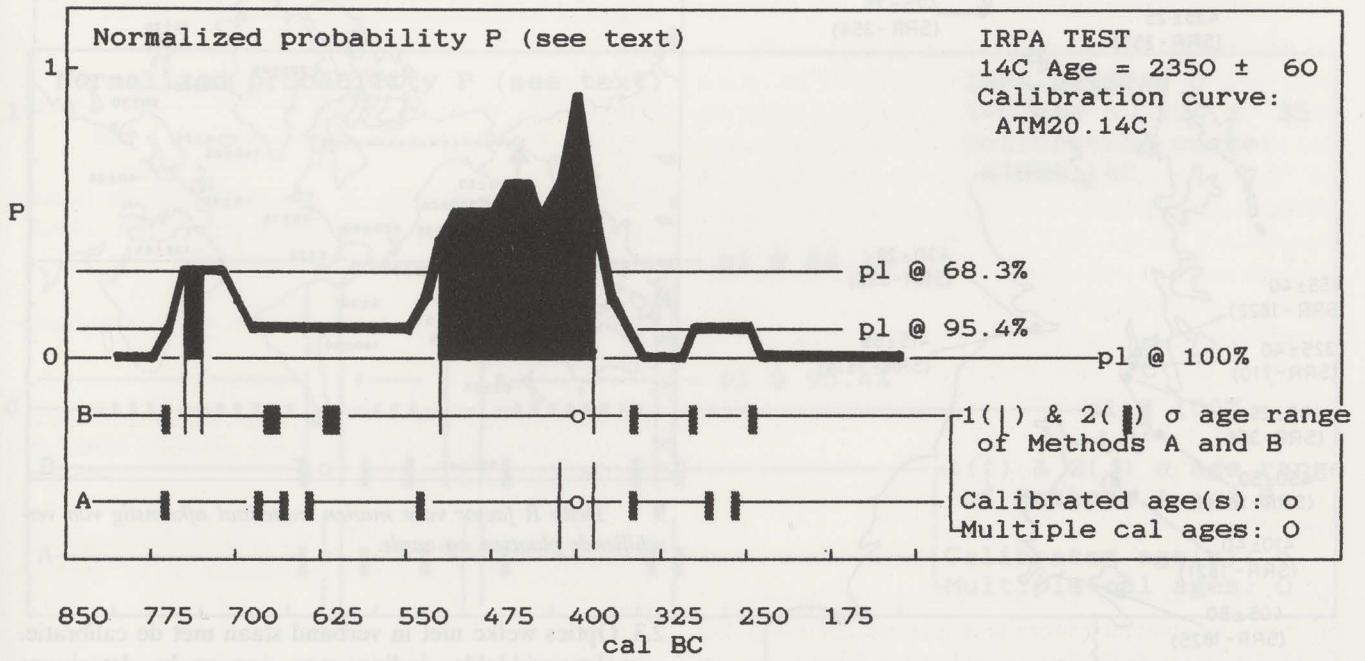
Sommige levende wezens betrekken hun koolstof uit de zeeën. De zee is echter een ander koolstofreservoir dan de atmosfeer. Tussen beide bestaat er een complex uitwisselingsmechanisme. Dit heeft echter tot gevolg dat de atmosferische curve niet kan gebruikt worden om marien materiaal te dateren. De grote verschillen zijn:

- 1) de mariene curve is meer afgeplat dan de atmosferische
- 2) het mariene reservoir heeft een schijnbare ouderdom t.o.v. de atmosfeer.

Figuur 8¹⁵ geeft de schijnbare ouderdom aan van modern marien materiaal afkomstig van de Britse eilanden.

14 Van Der Plicht, Mook & Hasper 1987.

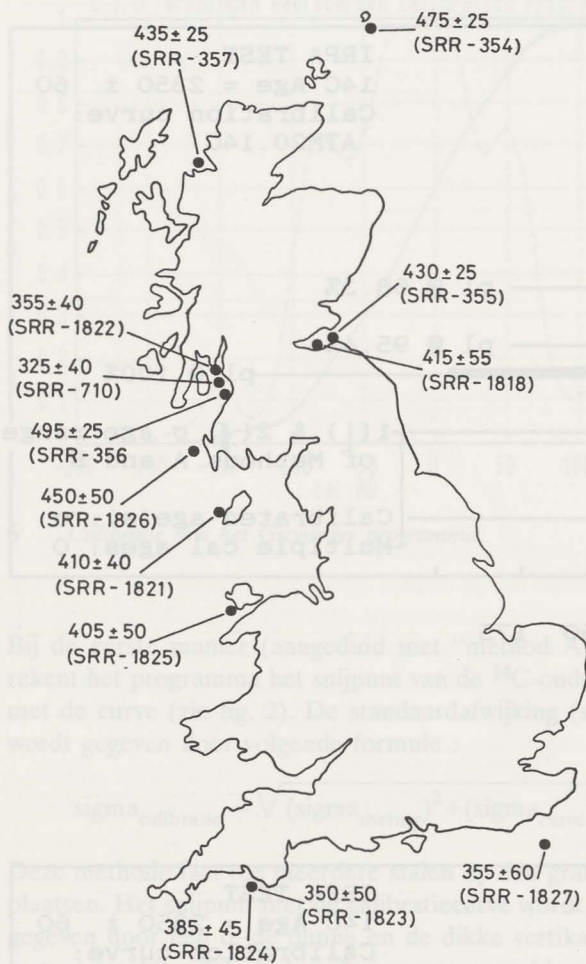
15 Harkness 1983.



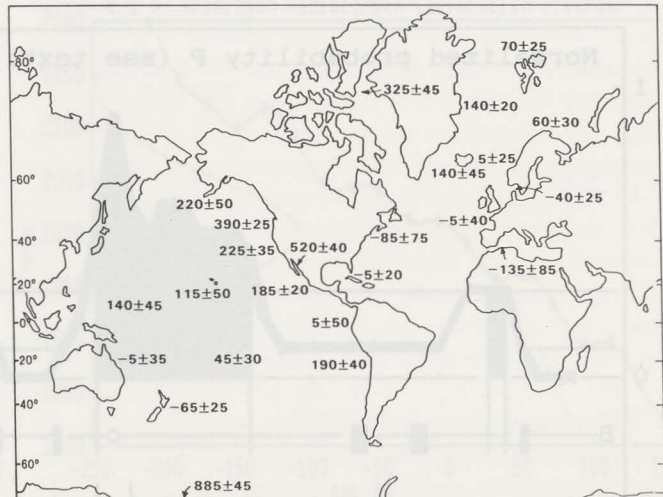
7 Probabiliteitsverdeling van een gecalibreerde ouderdom.

Het programma gaat ervan uit dat de gemiddelde schijnbare ouderdom van de menglaag der wereldzeeën 400 jaar bedraagt. Aan de hand van figuur 9¹⁶ kan dan rekening gehouden worden met de lokale verschillen.

Deze lokale verschillen kunnen ook proefondervindelijk gemeten worden door het dateren van schelpen met een gekende ouderdom. Het programma laat tevens toe materialen van gemengde samenstelling te calibreren (% marine carbon). Figuur 10 geeft de calibratie van een datering op schelpen afkomstig van de Belgische kust.



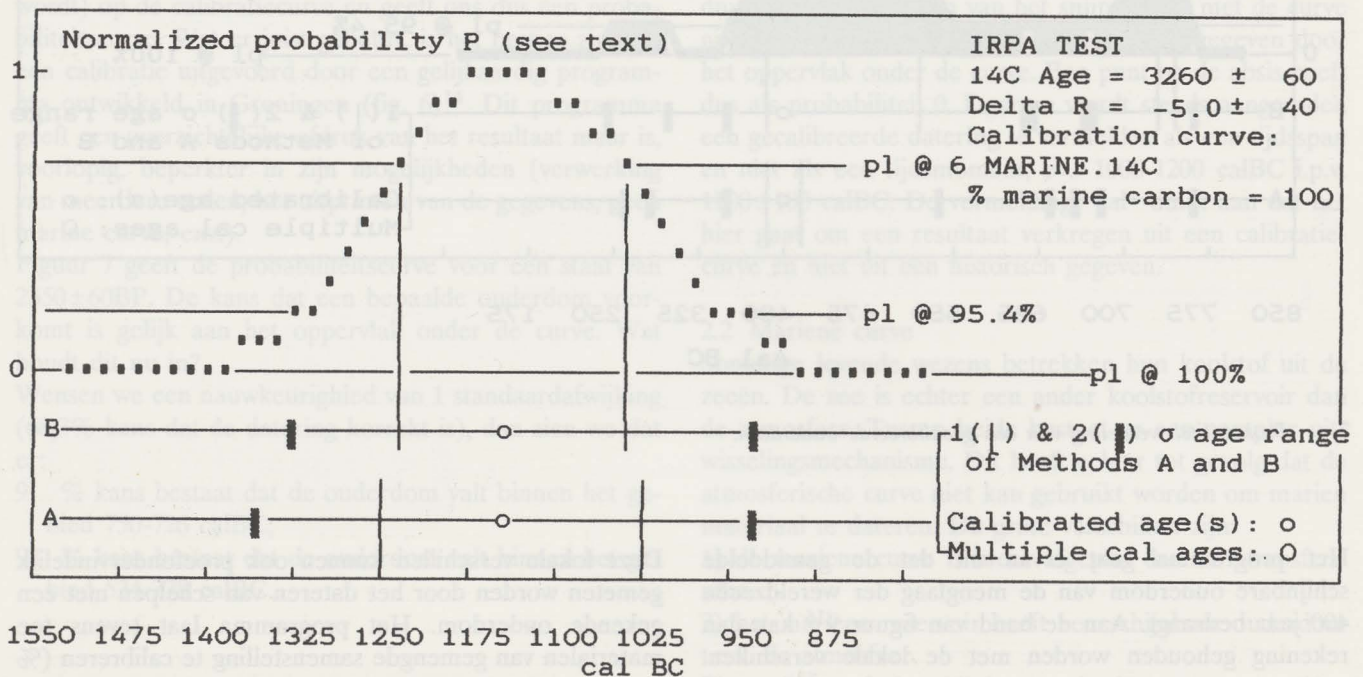
8 Schijnbare ouderdom van marien materiaal aan de kusten van Groot-Britannië.



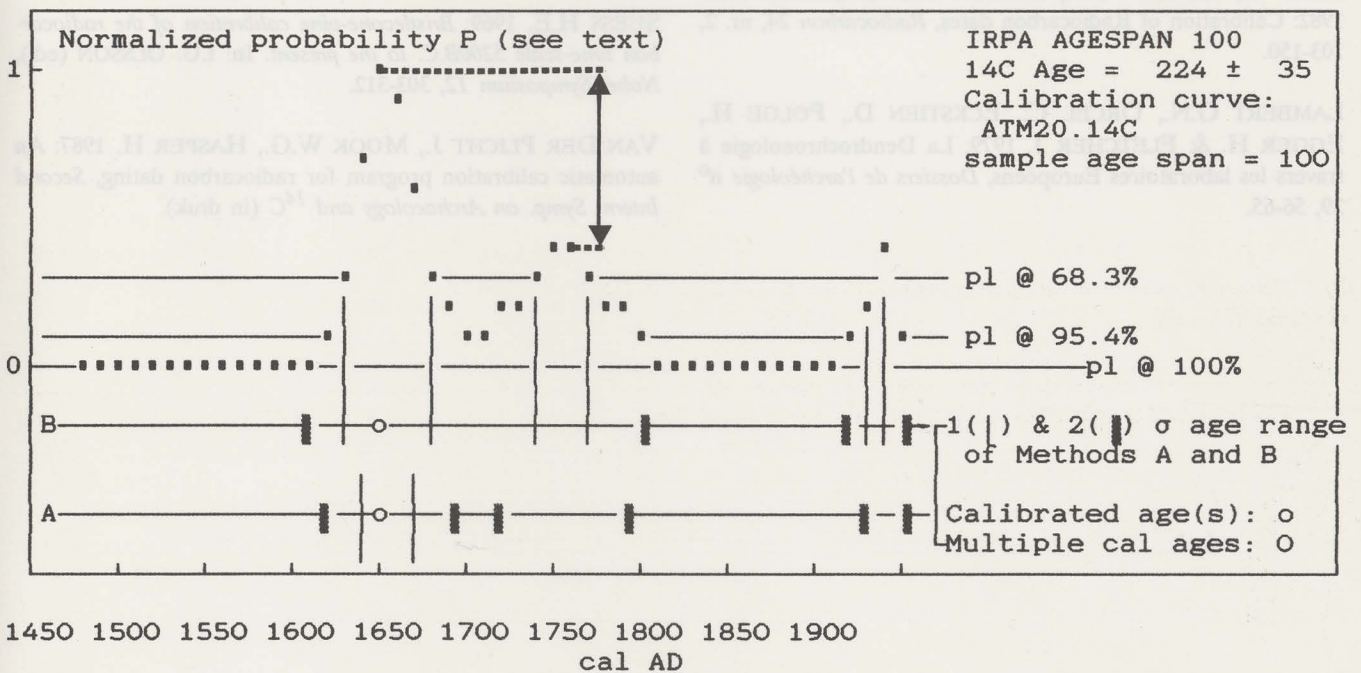
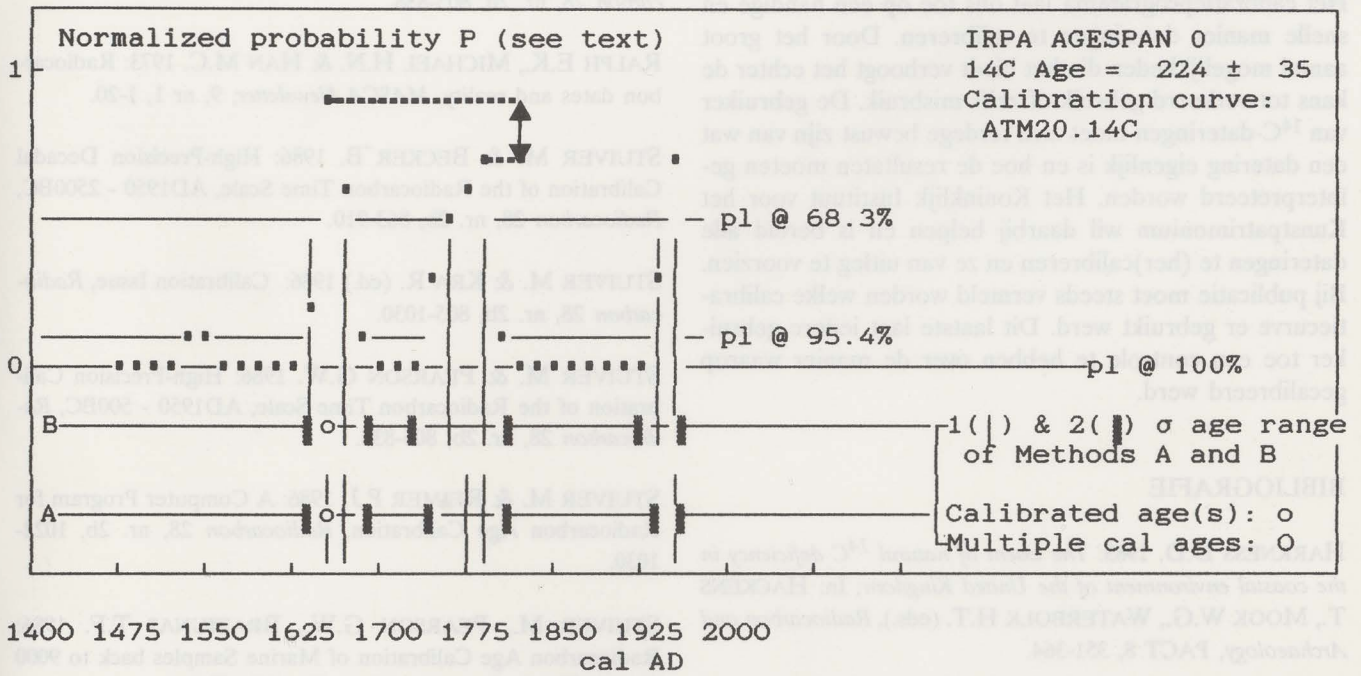
9 Delta R factor voor marien materiaal afkomstig van verschillende plaatsen op aarde.

2.3. Opties welke niet in verband staan met de calibratie.

- reeksgemiddelde: indien men een reeks dateringen heeft die in feite allen hetzelfde historisch gebeuren willen dateren, dan kan het programma het gewogen gemiddelde en de standaardafwijking van deze reeks calibreren i.p.v. de afzonderlijke dateringen.
- "error multiplier": de conventionele ¹⁴C-datering geeft enkel de standaardafwijking op het telresultaat. Er wordt geen rekening gehouden met eventuele systematische fouten tijdens het verwerken van de stalen. Mocht nu blijken dat de telfout een onderschatting is van de werkelijke fout, dan kan het laboratorium een coëfficiënt invoeren waarmee de standaardafwijking op de telling steeds vermenigvuldigd wordt.



10 Calibratie met probabiliteitsverdeling van marien materiaal afkomstig van de Vlaamse kuststreek.



11 *Effekt van het inbrengen van een "age span" bij het calibreren van een datering.*

- tijdsduur: indien van bepaalde materialen geweten is dat de absorptie van atmosferisch CO₂ veel langer geduurd heeft dan de 20 jaar der boomringen waarmee de punten in de curve zijn gemeten, dan kan men een "age span"

definiëren. Het resultaat hiervan is een afvlakken van de calibratiecurve, wat een verbreding van de gecalibreerde tijdsperiode met zich meebrengt (figuur 11). Deze methode kan o.a. gebruikt worden voor het dateren van traaggroeiende venen.

BESLUIT

Het calibratieprogramma laat ons toe op een handige en snelle manier dateringen te calibreren. Door het groot aantal mogelijkheden die het biedt verhoogt het echter de kans tot verkeerd gebruik of zelfs misbruik. De gebruiker van ¹⁴C-dateringen moet zich terdege bewust zijn van wat een datering eigenlijk is en hoe de resultaten moeten geïnterpreteerd worden. Het Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium wil daarbij helpen en is bereid alle dateringen te (her)calibreren en ze van uitleg te voorzien. Bij publicatie moet steeds vermeld worden welke calibratiecurve er gebruikt werd. Dit laatste laat iedere gebruiker toe een controle te hebben over de manier waarop gecalibreerd werd.

BIBLIOGRAFIE

- HARKNESS D.D. 1983: *The extent of natural ¹⁴C deficiency in the coastal environment of the United Kingdom*; In: HACKENS T., MOOK W.G., WATERBOLK H.T. (eds.), *Radiocarbon and Archaeology*, PACT 8, 351-364.
- KLEIN J., LERMAN J.C., DAMON P.E. & RALPH E.K. 1982: Calibration of Radiocarbon dates, *Radiocarbon* 24, nr. 2, 103-150.
- LAMBERT G.N., ORCEL C., ECKSTIEN D., POLGE H., EGGER H. & FLETCHER J. 1979: La Dendrochronologie à travers les laboratoires Européens, *Dossiers de l'archéologie* n° 39, 56-65.
- PEARSON G.W. & STUIVER M. 1986: High-Precision Calibration of the Radiocarbon Time Scale, 500 - 2500BC, *Radiocarbon* 28, nr. 2b, 805-838.
- RALPH E.K., MICHAEL H.N. & HAN M.C. 1973: Radiocarbon dates and reality, *MASCA Newsletter*, 9, nr 1, 1-20.
- STUIVER M. & BECKER B. 1986: High-Precision Decadal Calibration of the Radiocarbon Time Scale, AD1950 - 2500BC, *Radiocarbon* 28, nr. 2b, 863-910.
- STUIVER M. & KRA R. (ed.) 1986: Calibration Issue, *Radiocarbon* 28, nr. 2b, 805-1030.
- STUIVER M. & PEARSON G.W. 1986: High-Precision Calibration of the Radiocarbon Time Scale, AD1950 - 500BC, *Radiocarbon* 28, nr. 2b, 805-838.
- STUIVER M. & REIMER P.J. 1986: A Computer Program for Radiocarbon Age Calibration, *Radiocarbon* 28, nr. 2b, 1022-1030.
- STUIVER M., PEARSON G.W., BRAZIUNAS T.F. 1986: Radiocarbon Age Calibration of Marine Samples back to 9000 Cal Yr BP, *Radiocarbon* 28, nr. 2b, 980-1021.
- Suess H.E. 1969: *Bristlecone-pine calibration of the radiocarbon time-scale 5200B.C. to the present*. In: I.U. OLSSON (ed.), *Nobel Symposium 12*, 303-312.
- VAN DER PLICHT J., MOOK W.G., HASPER H. 1987: An automatic calibration program for radiocarbon dating, *Second Intern. Symp. on Archaeology and ¹⁴C* (in druk).

- | | | |
|-------------------|------------------------|----------------|
| Bérismenil (26) | Kontich (8) | Oudenaarde (4) |
| Brugge (3) | Koksijde (1) | Rekem (15) |
| Burst (7) | Kuringen (16) | Roksem (2) |
| Dikkelvenne (6) | Leuze-en-Hainaut (19) | Tongeren (18) |
| Ename (5) | Marsolle (24) | Tournay (27) |
| Étalle (28) | Matagne-la-Petite (22) | Vodelée (21) |
| Herk-de-Stad (12) | Meeuwen (14) | Wéris (25) |
| Hoelbeek (17) | Messancy (29) | Wijnegem (9) |
| Hour (23) | Oostmalle (10) | Zonhoven (13) |
| Huy (20) | Orp (11) | |

ISSN 0772 7488

