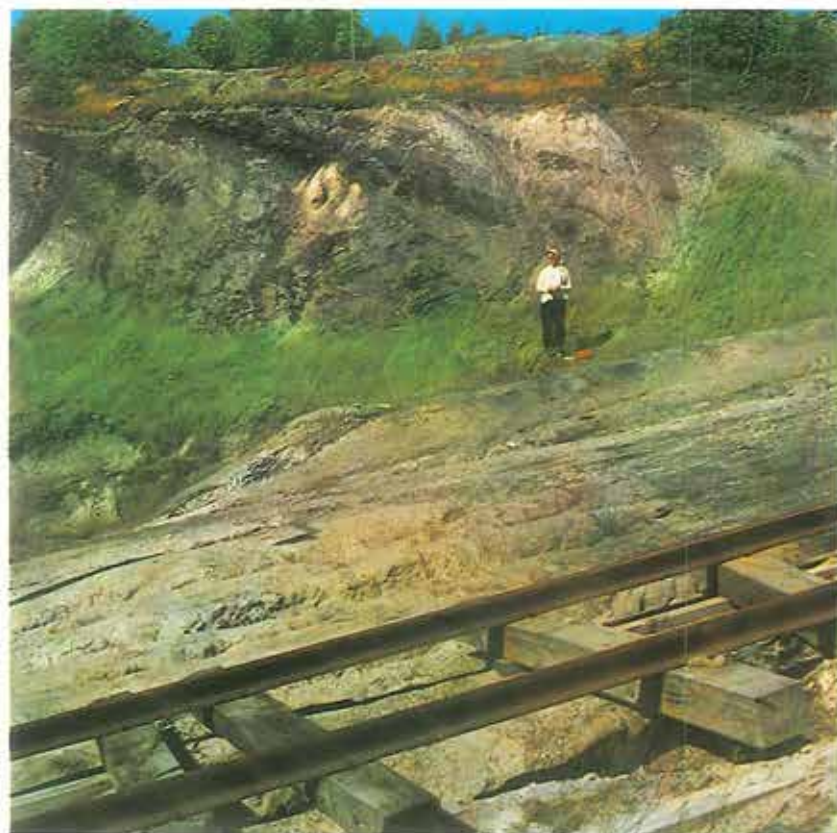




Gang på gang støder geologer på aflejringer, som indeholder et helt uventet fremmedelement, som ikke altid lader sig "bortforklare". Billedet herover viser en del af nordvæggen i den store lergrav ved Bagå på Bornholm. Den skråtstillede lagserie her består af vekslende aflejringer af finsand, ler og kullag fra den yngre del af Juraperioden. Lige under det store kullag ses et fremmedelement i form af en stor, kraftigt forvitret granitblok, som slet ikke burde kunne findes i dette miljø. Blokken sidder i et temmelig sandet lag, og forklaringen her må være, at der i den yngre del af Juraperioden var en stejl granitskrænt lige øst for området, og herfra er forvitret granit som en mudderstrøm skredet ud i det rolige søbassin vest for. Deraf kan man også slutte, at Bornholm inden da var delt op i forkastningsblokke, ligesom de skråtstillede Juralag viser, at der også senere er foregået bevægelser. (Foto V.Poulsen).

VARV

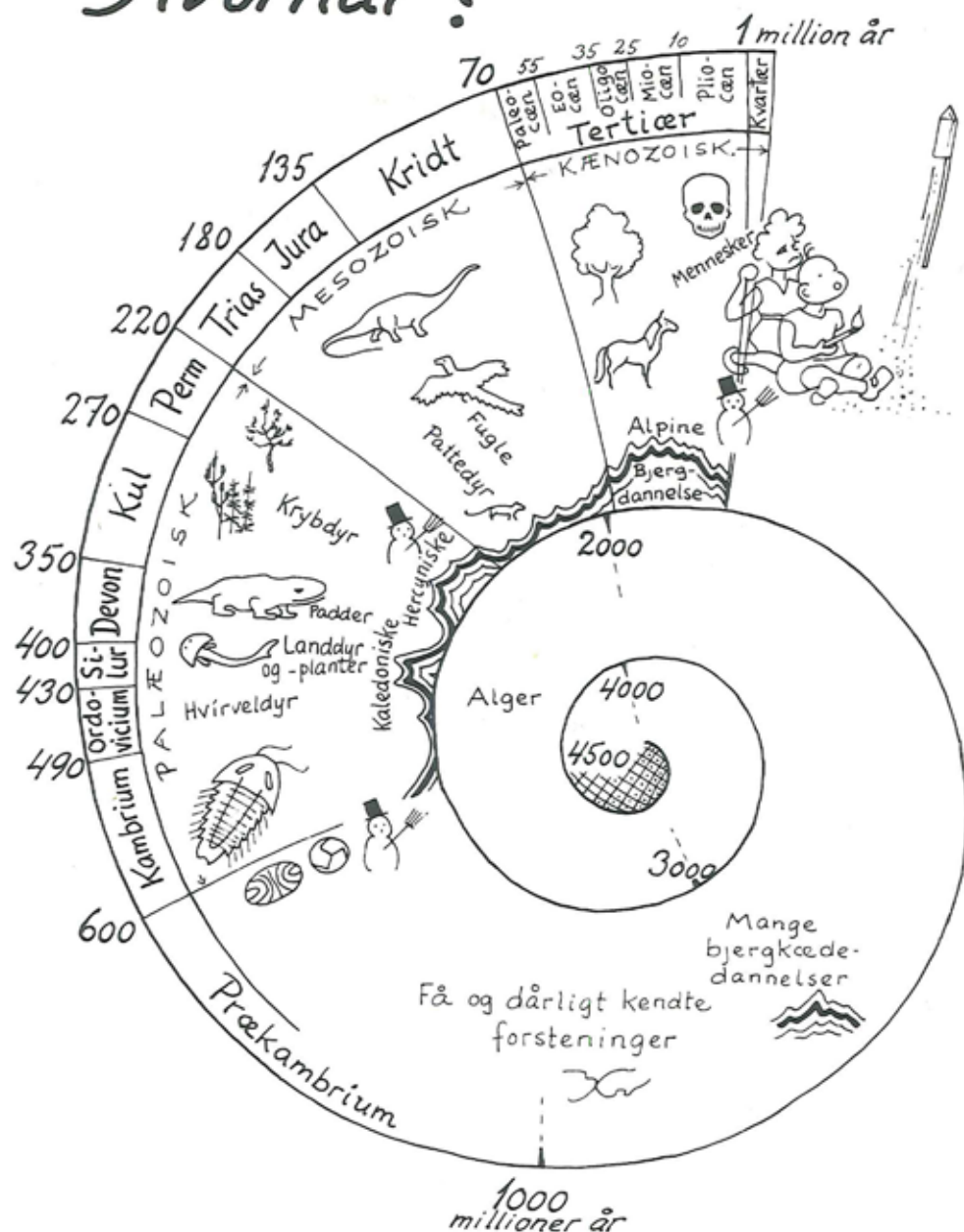
NR. 4 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1971



VED AT SE OVENSTÅENDE BILLEDE VIL DEN GEOLOGISK BEVANDREDE LÆSER STRAKS UDBRYDE "SKURESTRIBER" - OG DET ER VITTERLIG ISTIDS-SKURESTRIBER FRA SAHARA. I VORES ALMINDELIGE BEVIDSTHED ER SAHARA EN TØR OG GLØDENDE VARM ØRKEN MEN I FORTIDEN HAR HER VÆRET EN ISTID. DA ISEN I KVARTÆRTIDEN DÆKKEDE DANMARK OG DET ØVRIGE SKANDINAVIEN, VAR DER SAMTIDIG EN "REGNTID" I SAHARAOMRÅDET, OG VI SKAL GÅ SMÅ 500 MILLIONER ÅR TILBAGE I TIDEN TIL DEN ORDOVICISKE PERIODE FOR AT FÅ EN ISTID I SAHARA. I EN ARTIKEL I DETTE NUMMER OMTALES DE MANGE ORDOVICISKE ISTIDSSPOR I SAHARA, OG JORDKLODENS SKIFTENDE KLIMAFORDELING DISKUTERES.

DESUDEN I DETTE NUMMER: "MÅNENS GEOLOGI", HVAD FORTÆLLER DE HJEMBRAGTE PRØVER OM MÅNEN. "C-14 METODEN", HVORDAN MAN KAN LAVE ALDERSBESTEMMELSER PÅ GRUNDLAG AF DET RADIOAKTIVE KULSTOF-14.

Hvornår?



Anmeldelse

KASKELOT er dels en stor tandhval og dels et lille biolog-blad. Bladet udgives af Biologforbundet, der sender det til sine medlemmer, efter planen 4 gange om året. Man vil i bladet fortælle om dyr og planter, som er lette at finde og undersøge, og man vil bringe aktuelle oversigts-artikler.

Vi kender kun bladet fra dets allerførste nummer (august 1971). Deri hører man om dagens dyr, dagens plante og dagens forsøg, om at lave akvarier og om havnemolens dyr og fangst af samme. Formodentlig vil bladet emner interessere mange af VARVs læsere, som i hvert fald vil nikke genkendende til bladets format og stort set også til det pæne udstyr. I behandlingen af emnerne stiler man vistnok mest mod skolekredse.

Udgiveren - Biologforbundet - vil fremme oplysning og forståelse vedrørende biologi, og man vil tage fat ved nævnte bladudgivelse, ved at arbejde på modernisering af biologi-undervisningen og ved på anden måde at øge offentlighedens interesse. På programmet står møder, kurser og eks-kursioner. Vi håber, at Forbundet vil få held med sin vigtige opgave.

KASKELOT

Adresse: Byskovsvej 4, 8751 Gedved. Tlf. (05) 66 51 30.

Udgives af Biologforbundet. Formand: Thorkild A. Nielsen, Gudumvej 13, Nissum Seminarieby, 7620 Lemvig.

Redaktion: Eigil Holm (ansvarshavende), Svend Tougaard, Henry Braagaard.

Abonnement 50 kr. pr. år, dog 30 kr. for unge under uddannelse. Abonnement tegnes ved indmeldelse i Biologforbundet hos E. Skjerninge, Sandbechs Allé 2, 4330 Hvalso, tlf. (03-408) 158. Kontingent for ægtepar: 75 kr. 11.

VARV

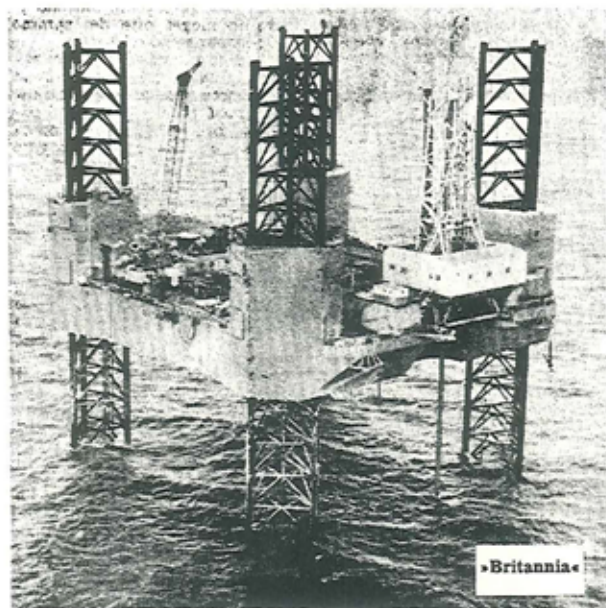
Postadresse: Tidsskriftet VARV, Mineralogisk Museum, Østervold-gade 5-7, 1350 København K. (Tlf. Mi 5001).

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Mona Hansen, Søren Floris, Erling Bondesen.

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 15.00 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 68880. (Moms inkluderet).

Alle henvendelser vedrørende adresseforandring, fejl ved bladets levering, og lignende bedes rettet til postvæsenet.

Eftertryk af tekst og billeder er kun tilladt med kildeangivelse.



6-4-1971 var M-1 færdig. Man havde nået slutdybden 2309 m og fundet danielkalk i intervallet 1800 - 2000 m, hvori man traf en 140 m tyk zone med spor af olie (lavt svovlindhold og dermed værdifuld) og gas (især metan). Mængderne skulle være nok til at man kan starte produktionen.

Boringen N-1 sluttede 24-5-71 i kridt på dybden 2485 m ($55^{\circ}34'N$, $4^{\circ}44'E$). Man mødte olie og gas i kalklag. Der findes en cirka 60 m tyk oliezone i cirka 2100 meters dybde.

En foreløbigt sidste boring, M-2, nåede 5-7-71 slutdybden 2053 m på positionen $55^{\circ}28'N$, $5^{\circ}6'E$. Man traf de samme gas- og olieførende kalklag som ved boringen M-1.

Consortiet er i øjeblikket ved at installere en produktionsplatform, der skal arbejde med 5-6 produktions-borehuller på M-1 positionen og regner med at starte produktionen i 1972.

L. Ørskov
17.9.71.



MÅNENS GEOLOGI

af Tommy Jørgart

1969 var året, hvor mennesker for første gang satte foden på Månen og foretog den første geologiske udforskning på stedet. Det geologiske studium af Månen startede imidlertid adskillige år forinden og foregik ved hjælp af kikkert. Det er faktisk muligt at opnå en ganske detaljeret indsigt i Månens geologiske historie med en kikkert.

Detaljerne er vi ligeglade med her. Et Månekort barberet for alt overflødigt gods er vist i figur 1. Man kan ganske vist ikke finde vej på Månen efter dette kort, men det er heller ikke meningen. Her ser vi nogle af månekronologiens nøgleobservationer udpenslet. Læseren kan selv vurdere efter kortet, om de forskellige formationer er stillet i den rigtige rækkefølge. Det eneste man behøver at gøre er at bruge princippet om, at en aflejring, der ligger ovenpå en anden aflejring er yngre end denne. Teksten til figur 1 giver en oversigt over, hvorledes de forskellige geologiske perioder er defineret.

Vi ved fra forrige nummer af Varv, at aflejringer på Månen er noget ganske andet end aflejringer på Jorden. På Jorden spiller vand, vind og is yderst fremtrædende roller for erosion og aflejring. På Månen udgøres hovedparten af alle aflejringer af det materiale, der smides omkring, når meteorstenen slår ned i måneoverfladen. Da hver nedslagsbegivenhed efterlader et krater med en bunke oppresset og udkastet materiale omkring, er disse aflejringer lette at kortlægge med kikkert, i hvert fald indtil de bliver ødelagt af nye meteornedslag. Meteorstenene er faldet så tæt, at hele måneoverfladen idag består af et metertykt lag af bjergarter, der er blevet smadret og sammenkittet gentagne gange under bombardementet.

På grund af meteorstenenes meget store hastigheder er der imidlertid ikke bare tale om en ødelæggelse i almindelig forstand, som for eksempel den, der kan udføres med en hammer. Ødelæggelsen er langt, langt mere intens. Selv mineralernes atomer, som normalt er anbragt i regelmæssige gitter rystes bort fra deres pladser. Under mikroskopet observerer man, at mineralerne har fået nye optiske egenskaber. Selve omdannelsen eller ødelæggelsen kaldes chokmetamorfose. Alle Apollo-projektets månelandinger har hjembragt prøver af dette karakteristiske, chokmetamorfoserede månemateriale.

Heldigvis er ikke alle prøver fra Månen præget af meteornedslag. Indimellem det ødelagte materiale fandt de to første Apollo-ekspeditioner friske krystallinske bjergarter, som var slået løs fra måne"havene", men ellers ubeskadigede. Det viste sig at være basaltisk lava, som i nogle retninger ligner basaltisk lava her fra Jorden, men i andre retninger

var vidt forskellig fra den. Apollo 11 basalten viste sig at være cirka 3,6 milliarder år gammel, medens Apollo 12 basaltens alder var omkring 3,25 milliarder år. Det må derfor sluttes, at lavastrømme flere gange i Månens historie har oversvømmet dele af måneoverfladen.

Apollo 14 og 15 besøgte nogle områder i højlandet, der havde undgået disse oversvømmelser. Fra Apollo 14 landingen foreligger der nogle resultater. Ekspeditionen gik til Fra Mauro formationen, som de fleste regner med er dannet ved det meteornedslag, der førte til dannelsen af Imbrium-krateret, Månens største. Her må der lige gøres opmærksom på en mulig misforståelse. Når der tales om Imbrium-krateret tænkes der ikke på månehavet Mare Imbrium. Basalten i dette månehav er tydeligvis noget yngre end selve krateret, idet Archimedes og andre druknede kratere må være dannet senere end kraterbunden, men før lavaen skyllede ind i krateret for sidste gang, se figur 1.

Figur 1. Skematisk geologisk kort over Månens forside. Kortets funktion er uden dikkedarer at vise, på hvilket grundlag Månens kronologi er opstillet. For at fremme dette formål er en lang række større og mindre strukturer på Månen udeladt eller overforenklet, således flere måne"have" og næsten alle kratere.

De vigtigste kendetegn for de geologiske perioder er sammenfattet skematisk (de yngste først):

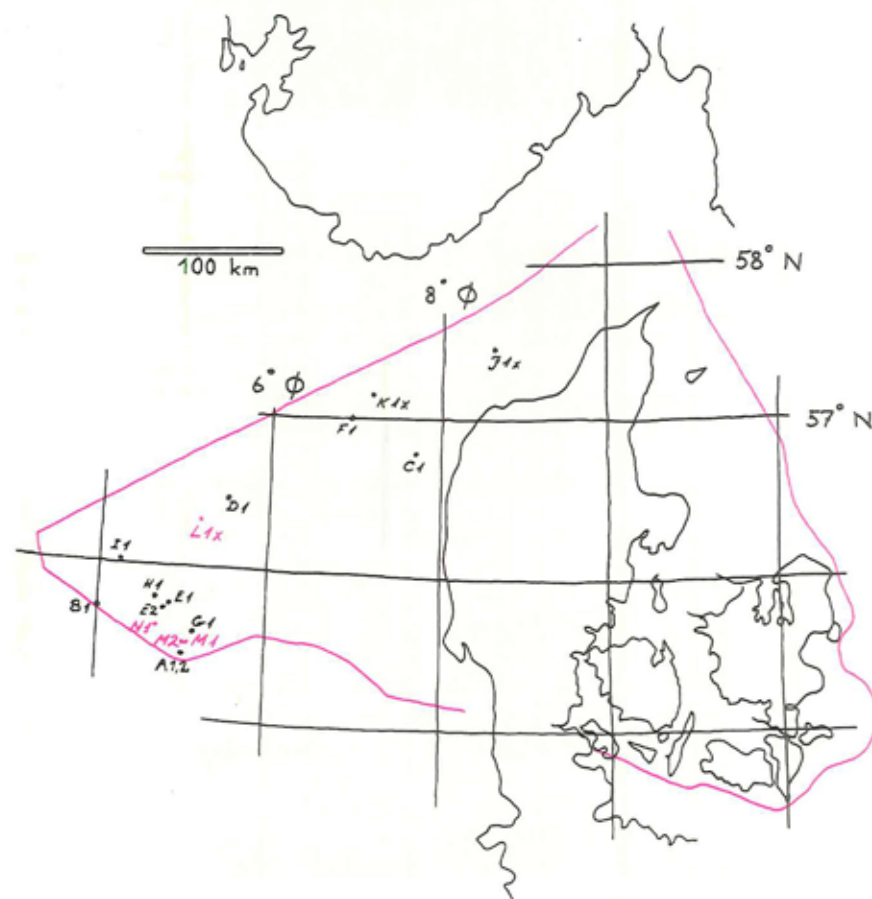
Copernikanske periode	Unge skarpe kratere, hvoraf de større "udsender" lyse radierende stråler.
Erathosteneanske periode	"Modne" kratere mærket af forvitring og uden stråler.
Procellarianske periode	Måne"have". Virker mørke set fra Jorden. Består af basaltisk lava. Alder 3,25 - 3,6 milliarder år.
Archimedianiske periode	"Drukne" kratere.
Imbriske episode	Månehøjland udkastet ved det meteornedslag, der dannede det imbriske krater. Nærmest ved krateret udkastedes et vildt bakket landskab, der cirka 1000 km fra krateret afløses af et mere jævnt terræn. Alder 3,9 milliarder år.
Humorianske episode	Aflejringer fra meteornedslaget, der dannede det humoriske krater. Alderen for denne og ældre episoder er ukendt.

jagten på Gas og Olie

Siden Varvs forrige årsoversigt (september, 1970 side 123 - 126) har Dansk Undergrunds Consortium udført 4 olieboringer. De er alle udført i Nordsøen. Den første blev boret af den gammelkendte boreplatform "Maersk Explorer", de tre næste af den lignende (men 4-benede) "Britannia", der ligeledes blev lejet hos et amerikansk firma.

Den første boring, L-1x, nåede i oktober 1970 slutdybden 2708 m på positionen $56^{\circ}15'N$, $5^{\circ}14'E$. Der blev hverken fundet gas eller olie. Tidligere havde hvert af 5 af Consortiets borehuller, fordelt på 4 områder nær hinanden, givet såvel gas (dominerede i områderne E og H) som olie (fin svovlfattig kvalitet, dominerede i områderne A og I) i kalklag.

28-1-1971 blev aftalen om grænsedragning mellem den hollandske, den tyske og den danske del af Nordsøen underskrevet, hvorpå den gik til ratificering i de forskellige parlamenter. I marts begyndte man så at udføre boringen M-1. Det skete på cirka 40 meter vand, cirka 200 km fra Jylland ($55^{\circ}28'N$, $5^{\circ}8'E$) - kun omkring en halv snes km fra en tidligere udført god boring nær den nye grænse.



Vedrørende "Bølgegang"

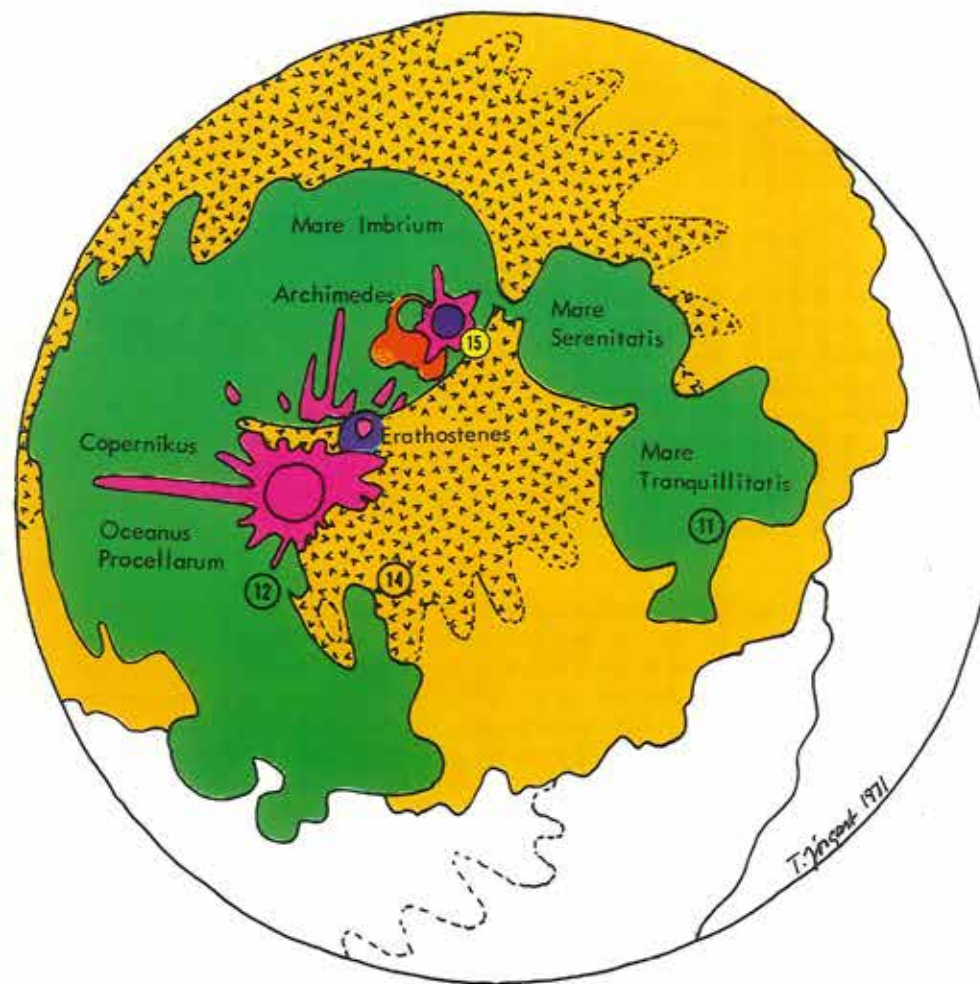
Efter udsendelsen af sidste nummer af Varv gik bølgerne højt på redaktionen. Det viste sig nemlig, at to illustrationer ved en beklagelig fejltagelse var blevet ombyttet, og at den ene yderligere var spejlvendt. Vi bringer nedenfor de to billeder igen med lidt tekst, og for at gyde lidt olie på de oprørte bølger bliver det denne gang i farver.



Figur 11 A. Viser første stadium i opmåling af ribber (her bølgeribber) med karton og sprayfarve. Der "skæres for" med kniven, for at kartonen lettere kan sættes ned i sandet. Derefter fortsættes der som vist i Varv nr 3, figur 11 B - E.



Figur 15. De lyse striber til venstre er "bølgemærker", små volde af sand, som efterlades af bølgefronterne i havstokken, især ved faldende vandstand. Bag småsten og muslingeskaller danner de tilbagerullende bølger V-formede figurer (til højre i billedet). Disse figurer kan kaldes "bølgeriller" (på engelsk "rill marks").



Copernikanske periode



Erathosteneanske periode



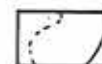
Procellarianske periode



Archimedianske periode



Imbriske episode



Humorianske episode
og ældre aflejringer

Karakteren af bjergarterne i Fra Mauro området gør det sandsynligt, at de er udkastet under dannelsen af Imbrium-krateret. De er ødelagte (chokerede) som andre meteornedslagsbjergarter, men dertil viser mange af dem tegn på ny krystalvækst. Dette tyder på varme forhold som dem, der må have hersket i en tyk bunke af udslyngede bjergarter fra et meteor-krater.

Alderen af Fra Mauro formationen har vist sig at være cirka 3,9 milliarder år. Hvis denne alder virkelig angiver tidspunktet for Imbrium-meteorstenens fald på Månen, har videnskaben fået noget at tænke over. Hvis Imbrium-meteorstenen, som foreslået i sidste nummer af Varv, markerer sidste fase i opbygningen af Månen udfra planetoider, der kredsedde om et fælles tyngdepunkt, ligger tidspunktet herfor overraskende sent. Det vil betyde, at spor efter begivenheder, der fandt sted under solsystemets dannelse for 4,6 milliarder år siden formentlig er totalt udslettede af begivenheder i de følgende 700 millioner år. Den lave aldersbestemmelse for Imbrium-episoden gør derved et af de håb, man havde næret ved påbegyndelsen af de bemandede månelandinger, til skamme.

Det mest ejendommelige ved Månens geologiske historie er formentlig udviklingen af den basaltiske lava for 3-4 milliarder år siden. Disse bjergarter er nemlig de eneste, som ikke umiddelbart lader sig forklare ved meteornedslag. Ganske vist er der folk, der mener, at den energiudløsning, der finder sted ved meteornedslag (se forrige nummer af Varv) kan føre til opvarmning i en sådan grad, at større dele af måneoverfladen smelter. Som tidligere påpeget er de store meteornedslag imidlertid ældre end lavaen og lavaens sammensætning er anderledes end resten af Månen og ikke bare en smeltet udgave af denne. Lavaen må derfor være kommet fra Månens indre ligesom lava på Jorden kommer fra dybet.

Varmen til opsmeltningen af Månens indre kan til syvende og sidst godt stamme fra meteorsten-nedslag. Hvis Månen er dannet ved indstyrtning af kredsende planetoider, må en vis varme have udviklet sig herved. En model, der viser månevarmens udvikling efterhånden som opbygningen af Månen skrider frem, er vist i figur 2. Modellen fører til smeltning på dybt niveau efter en passende tid. Det smeltede materiale vil være lettere end resten og stiger mod overfladen, hvor det løber ud som lavastrømme, der helt eller delvis fylder forhåndenværende fordybninger.

Modellen forklarer let, hvorfor lavaen ikke har samme sammensætning som resten af Månen. Man behøver bare at tænke på et stykke flæsk på panden. Her er der som bekendt også forskel på det smeltede fedt og det friske stykke flæsk. Om modellen virkelig er holdbar i længden kan kun yderligere beregninger og undersøgelser vise. Vi må blandt andet kende lidt mere til alderen af de andre månehave, og vi må vide, hvorfor månehave er sjældne på Månens bagside.

Mineralogisk Museums populære foredrag

På Mineralogisk Museum, Østervoldgade 5-7, afholdes i løbet af vinteren 1971-72 en række populære foredrag, som tager sigte på at give offentligheden et indblik i forskellige geologiske emner.

Denne sæsons foredrag samler sig om to hovedemner:

NY TEKNIK I GEOLOGIENS TJENESTE

og

GRØNLANDS GEOLOGISKE UDFORSKNING I FOCUS

Foredragene holdes tirsdag aften kl. 19,15 præcis. Efter foredragene vil publikum have adgang til udstillingssalene, hvor sagkyndige vejledere vil være til stede.

EFTERÅRET 1971

Tirsdag 23. november: **Amanuensis, mag. scient. Ole Larsen:** Geologiens radioaktive ur.

Tirsdag 7. december: **Amanuensis, dr. phil. Hans Jørgen Hansen:** Elektronmikroskopet åbner nye perspektiver indenfor geologi og palæontologi.

FORÅRET 1972

Tirsdag 18. januar: **Amanuensis, cand. scient. Martin Ghisler:** Malmefterforskning i Grønland.

Tirsdag 1. februar: **Afdelingsleder, mag. scient. John Rose-Hansen:** Uraneftersøgning i Grønland — et forsøg på at gøre Danmark selvforsynende med reaktorbrændstof.

Tirsdag 15. februar: **Geolog Gilroy Henderson:** Grønlandsk olie og gas?

Tirsdag 29. februar: **Geolog, dr. Peter Dawes:** Geologiske og historiske aspekter i udforskningen af Grønlands nordligste 150.000 kvadratkilometer.

Tirsdag 14. marts: **Geolog, mag. scient. Niels Henriksen:** Scoresby Sund områdets geologi — et strejftog gennem 2.500 millioner års geologisk udvikling i Central Østgrønland.

Tirsdag 28. marts: **Stud. scient. Svend Funder:** Grønlands indlandsis i fortid og nutid.

Gratis adgang for alle

(Ingen særlige adgangskort)

Ret til ændringer i programmet forbeholdes

Ved at sammenligne et bestemt varvs absolutte alder med den tilsvarende C-14 alder, vil der i visse tidsafsnit vise sig uoverensstemmelser på tilsvarende måde som ved dendrokronologien. Som vist ved figur 5 er disse uoverensstemmelser, det vil sige afvigelser fra C-14 aktivitetens størrelse i dag, især udpræget i tidsrummet 6000 - 1000 f.Kr. Der er et udtalt maximum omkring år 4000 f.Kr. Et svagt magnetfelt, og en deraf følgende kraftig kosmisk stråling har bevirket, at alt levende, organisk materiale i dette tidsrum har optaget for meget radioaktivt kulstof. En radioaktiv datering vil derfor give for ung en alder, hvilket nødvendiggør en korrektion ved hjælp af kalibreringskurven.

C-14 DATERING I GEOLOGIENS TJENESTE

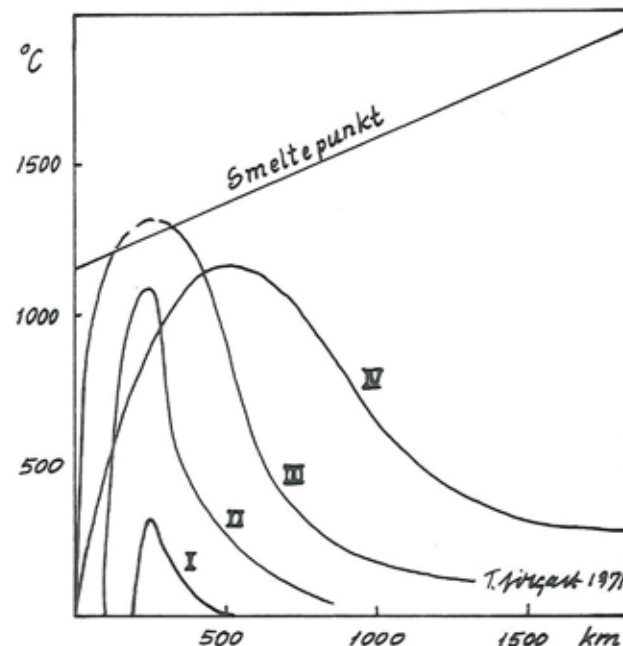
I de cirka 25 år den radioaktive C-14 metode har været anvendt, har den løst mange problemer - i begyndelsen især af arkæologisk art. Metoden er imidlertid også taget i geologiens tjeneste nu. Herved har det været muligt for eksempel at få hele den sen- og postglaciale udvikling i Danmark fastlagt på basis af dateret materiale fra søer og moser. Tidspunkter for havsænkning og havstigning kan bestemmes ved datering af muslingeskaller fra forskellige niveauer på land. Således har man på grundlag af daterede skaller i Vendsyssel kunnet fastlægge havets bevægelser efter istiden ganske nøje. Ligeledes har det ved datering af skaller været muligt at rekonstruere Grønlands hævningsforløb, da sidste istids kuldeperiode afløstes af varmere tider.

På Island har C-14 metoden blandt andet fundet anvendelse ved datering af vulkanen Heklas forskellige udbrud, da en lavastrøm fra et udbrud afbrænder vegetationen under fremrykning. En datering af de forkulde rester umiddelbart under en lavatunge giver dermed tidspunktet for lavaens udbrud.

Indenfor hydrogeologien finder den radioaktive kulstofmetode praktisk anvendelse ved vandeftersøgning. Afhængigt af vandets surhedsgrad, vil en vis mængde kuldioxid være opløst og dermed en vis mængde C-14 til stede. Dateres en funden vandforekomst, vil det oplyses, hvorvidt der er tale om "gammelt" vand, det vil sige vand fra et reservoir, der ved tapning ikke vil fyldes igen og derfor ikke har særlig interesse.

I øjeblikket arbejdes der på alle kulstof-14 laboratorier verden over for at forbedre og udbygge den meget anvendte C-14 dateringsmetode. Helt nye former for datering er samtidig ved at fremkomme, men trods dette vil C-14 metoden sikkert i fremtiden indtage en lige så central plads som hidtil blandt de radioaktive dateringsmetoder, der kan være med til at øge vor viden om Jordens forhistorie.

Naja Mikkelsen



Figur 2. Udviklingen af Månens indre varme. Den fremadskridende udvikling markeres af I, II, III, IV. Ved III udvikles månebasalt. IV er situationen i dag.

I artiklen om Månen er der angivet nogle aldre. Da det er over seks år siden Varv sidst bragte en artikel om radiometrisk aldersbestemmelse (Varv 1965,1) genopfriskes metoden kort.

I princippet foretages aldersbestemmelsen ligesom tidsbestemmelse med et timeglas. I et timeglas måles tiden som bekendt ved at sammenligne den mængde af sandet, som er løbet ned i underdelen af glasset, med den del som endnu er tilbage foroven. I naturen undergår de radioaktive grundstoffer en nedbrydning til andre grundstoffer og kan derfor sammenlignes med timeglassets to halvdele. Et eksempel er Uran 235 (235 er atom-massen - også Uran med atom-massen 238 eksisterer i naturen). I løbet af 1 million år omdannes 1 promille af Uran 235 til Bly 207. Når man ved det, er det i princippet ligetil at måle mængden af Uran 235 og datter-isotopen Bly 207, og ved hjælp af forholdet imellem dem nøjagtigt beregne alderen af materialet.

Andre eksempler på "radioaktive ure" er Kalium 40/Argon 40, Rubidium 87/Strontium 87 og Kulstof 14/Kvælstof 14. Den sidste metode er omtalt i dette nummer af Varv. Da de radioaktive grundstoffer næsten altid er til stede i nogen mængde kan næsten ethvert materiale i naturen aldersbestemmes.

T. Jørgensen

SAHARA

en kold omgang

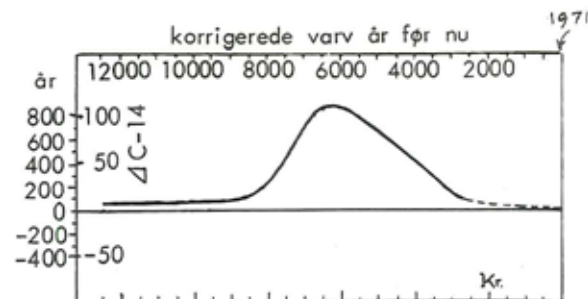
af Nils Spjeldnæs

For de fleste står Sahara som eksemplet på et sted, hvor der er varmt og tørt. Tanken om, at der har været en istid på dette sted, synes umiddelbart så fantastisk, at man vil forlange mindst tredobbelte beviser for at tro det, men det kan nu skaffes.

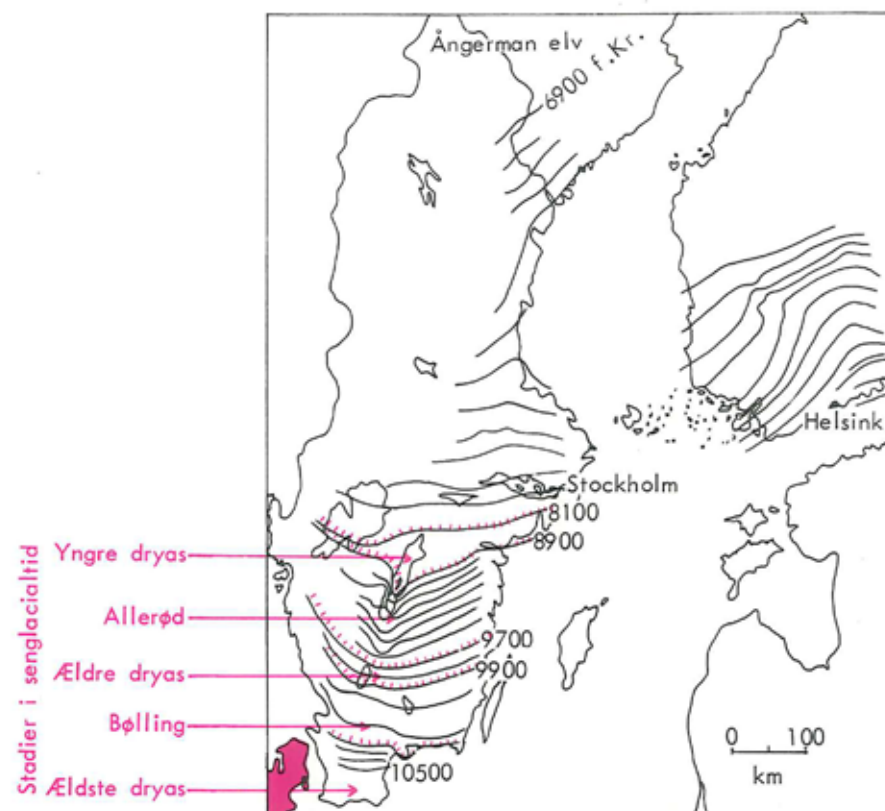
Hvis man ser på nutidens dyreliv i Jordens forskellige klimazoner, finder man en umiddelbar forskel mellem de former, der findes i koldt vand nær polerne, og de, som findes i de tropiske områder og i de mellemliggende tempererede zoner. Dels vil man se, at snegle og muslinger med



Figur 1. Diagram der viser klimafordelingen på den sydlige halvkugle i dag, med anvendelse af de samme kriterier og betegnelser som figur 2. Bemærk at klimazonerne afviger mere fra breddegraderne i nutiden end på rekonstruktionen af forholdene i Ordovicium. Desuden er udbredelsen af de kolde zoner større i Ordovicium, og den tropiske/tempererede tilsvarende mindre, og formodentlig varmere.



Figur 5. C-12/C-14 forholdets afvigelse, $\Delta C-14$ fra den ved 0-linien markerede værdi i dag. Afvigelserne har et maximum omkring 4000 år f.Kr., hvor alle C-14 aldre derfor skal korrigeres med op til 800 år. (Frit efter H.Tauber).



Figur 6. Iskappens tilbagesmeltning over Syd- og Mellemsverige efter sidste nedisning med angivelse af israndsstadier og absolutte aldre for de til afsmeltningen hørende varv. (Efter H.Tauber). Ifølge H.Taubers nyeste undersøgelser skal aldre forføres med 200 år.



I Amerika findes nogle endnu levende 2-3000 årige kæmpefy, som har været anvendt til kalibrering af C-14 skalaen. Ved at fælde et træ og tælle årringe, har man kunnet fastslå en korrekt, absolut alder for hver eneste af disse årringe i stubben. Afviger en C-14 bestemt alder fra den korrekte alder på samme årring, skyldes dette en afvigelse ved C-14 dateringen, på grund af C-14/C-12 forholdets ændringer i atmosfæren. Afvigelsen mellem C-14 aldre og absolutte aldre kan for hver enkelt årring indtegnes i et diagram og dermed vise, hvor meget en given C-14 alder på en ukendt prøve skal korrigeres (figur 4).

Ved fund af nogle små og vanseelige nåletræer i Californien, er der for nylig åbnet yderligere muligheder for kalibrering af C-14 skalaen betydeligt længere tilbage i tiden. Nogle af de levende småtræer er 4600 år gamle og har karakteristiske årringe, som korreleres med årringe i fundne træer af endnu ældre dato. Ved videre korrellering bagud tilvejebringes dermed mulighed for at kalibrere skalaen til cirka 5500 f.Kr. og inden for de næste år er der håb om at nå yderligere 1500 år tilbage.

KORREKTIONEN VED VARVKRONOLOGI

Varvkronologien udgør en anden mulighed for kalibrering af C-14 skalaen tilbage i tiden. Aflejringer med varv består af regelmæssigt vekslende lag af finkornet sand og ler (se Varv nr 2, 1967).

Varvene, der er afsat i en sø, dannes på grund af en skiftet mellem tøj og frost og afspejler derfor en årsrytme. Dette anvendte den svenske forsker Gerhard De Geer til at etablere en varvkronologi og til at fastlægge tilbagesmeltningen over Syd- og Mellemsverige af den iskappe, som under sidste istid havde dækket det meste af Danmark. Det var muligt for De Geer at få etableret en relativ kronologi på cirka 10000 år, men ikke at få varvene absolut dateret, da de yngste varv fandtes i Ångermanelvens område (se figur 6) dækket af senere aflejringer og hævet op over nuværende havniveau. Nyere studier af De Geers varvarbejde fra 1930'erne har gjort det muligt, at få de enkelte varv absolut dateret (figur 6) og dermed givet et nyt kalibreringsgrundlag for C-14 skalaen. Skal varvkronologiske aldre og C-14 aldre sammenlignes må dette på grund af faren for sekundært tilført organisk materiale til varvene imidlertid gøres indirekte. Sammenligning foretages derfor af C-14 daterede pollenzoner i moser med tilsvarende zoner i de ved varvkronologien daterede varv.

groft ribbede og pigbesatte skaller er mest almindelige i varmt vand, mens de, der lever i koldt vand for det meste har glatte skaller, ofte beskyttet af en organisk hinde mod havvandets opløsende evne ved de lave temperaturer. Vi ved også, at visse dyregrupper, som for eksempel de revdannede koraller, kun findes i tropiske farvande ved forholdsvis høje temperaturer. Statistisk viser det sig også, at der er færre arter (men ikke nødvendigvis færre eksemplarer) i koldt vand end i varmt vand. Forholdet mellem antal arter og antal eksemplarer kan derfor også sige os noget om temperaturerne. Nøjagtig kan en sådan metode naturligvis ikke blive, blandt andet fordi de miljøforhold, man finder i koldt vand, også kan forekomme i områder, hvor der er andre faktorer end kulde, som gør livet svært (nedsat saltholdighed, nedsat iltindhold og så videre). Hvis vi kombinerer metoden med et studium af selve aflejringerne, får man mere sikre oplysninger. Således er finkornede kalksedimenter næsten udelukkende afsat i varmt vand, mens de - i den udstrækning de forekommer i kolde områder - findes som forholdsvis grovkornede aflejringer. Sedimenter, der er afsat i koldt vand har desuden ofte en høj indblanding af lermateriale.



Figur 2. Diagram der viser fordelingen af klimazoner i det marine lavvandsmiljø i Ordovicium. Fyldte ringe viser områder med tropiske forhold, fyldte trekantede varmt tempereret klima, åbne trekantede noget køligere, tempereret klima, og åbne ringe arktisk/antarktiske forhold. Brun farve viser den formodede udbredelse af polkontinentet (må ikke forveksles med det nuværende Antarktis).

Hvis man på den måde forsøger at rekonstruere Jordens klimazoner i tidligere jordperioder, kan man få ret ejendommelige resultater. Hvis man for eksempel ser på den ordoviciske periode, optræder fossiler og sedimenter, der tyder på tropiske forhold, i det centrale U.S.A., over Grønland og Spitsbergen, mens tempererede forhold synes at have hersket i det østlige U.S.A., det nordlige Europa (Storbritanien og Skandinavien) og dele af Rusland. Går man til Middelhavslandene, ser det ud som om klimaet var meget koldt. Tegner man denne klimafordeling ind på et kort (figur 2), får man det indtryk at Jorden i ordovicium var kippet 90° rundt, idet sydpolen synes at have ligget i Afrika omtrent ved ækvator. Under sådanne forhold vil man naturligvis udmærket kunne forestille sig, at der var istid i Sahara.

Ved at måle den magnetiske orientering af jernholdige mineraler i bjergarter fra forskellige geologiske perioder har geofysikerne kunnet påvise en "vandring" af de magnetiske poler gennem tiderne. For ordoviciums vedkommende har man beregnet, at den ene pol har måttet ligge ude i Stillehavet nær ved ækvator, og diametralt modsat må så den anden pol have ligget - inde i Afrika, hvor man også ville placere en pol på grundlag af de palæoklimatologiske vidnesbyrd (se iøvrigt artikler i Varv 1965,2 1968,3 - 1968,4).

Nogle vil måske ikke føle sig overbevist, selvom det utvivlsomt må siges at styrke en hypotese, når observationsmaterialet fra to helt uafhængige områder, i det ene tilfælde den marine biologi og palæoklimatologien og det andet fra geofysikken, helt synes at stemme overens. Nu har man imidlertid direkte spor af et isdække ved den ordoviciske pol i Afrika. Kort efter, at de biologiske og palæomagnetiske teorier var fremsat (i sidshalvdel af 1950'erne) fandt franske geologer flere steder i Sahara tegn på istider. I nogle tilfælde havde disse været kendt i lang tid, men man mente, at de alene kunne henføres til en meget ældre, "eokambrisk" istid. Den ordoviciske istid er nu kendt fra Mauritanien i vest til Tibesti i øst og fra sydsiden af Atlasbjergene i nord til Niger i syd.

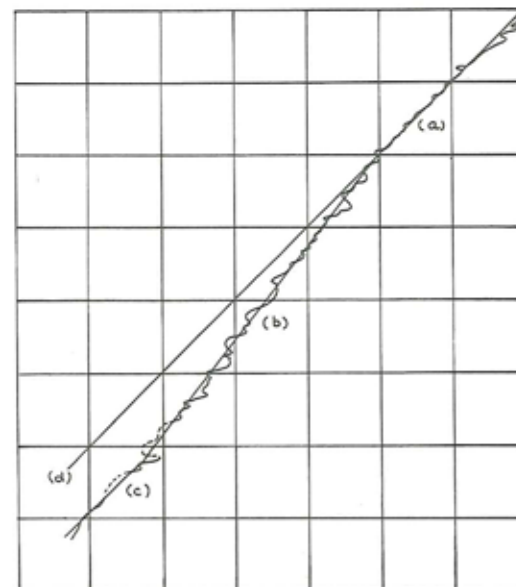
De spor af istider, man finder, er isskurede flader (ofte fantastisk store og veludviklede, se figur 4). Man finder også andre spor af iserosion samt en række andre glaciære fænomener, som vi udmærket kender fra kvartærtiden herhjemme. Imidlertid mangler en række af de træk, vi forbinder med en istid - således moræner med deres karakteristiske kornstørrelsesfordeling og en række af de landskabsmæssige træk, der er knyttet til en glaciation (nedisning). Her har der gjort sig en betydelig forskel gældende mellem vor kvartære istid og den ordoviciske i Sahara. Vor is trængte frem over et stærkt kuperet og geologisk set meget varieret område med mange forskellige bjergarter (og bjergarter af yderst forskellige modstandsevne). Derved fik man meget variable og tildels vanskeligt tolkbare strukturer. I Sahara har isen skudt frem over et af de gamle granitskjolde, som var

stråling i vor galaxe har været konstant gennem tiderne, er den mest sandsynlige årsag til variationerne nok ændringer i Jordens magnetfelt. Dette felt menes at opstå som følge af strømninger i Jordens flydende jernkerne, og dets styrke har varieret gennem Jordens historie. Ændringer i jordfeltets styrke og variationerne i C-14 aktiviteten viser sig at være samtidige, hvilket skyldes jordfeltets afbøjende virkning på de kosmiske stråler.

KORREKTIONEN VED DENDROKRONOLOGI

Den oprindelige antagelse om et konstant C-12/C-14 forhold må altså revideres og samtlige tidligere aldersbestemmelser korrigeres ved hjælp af en kalibreringskurve over C-14 aktivitetens variation gennem tiderne.

Af grundlæggende betydning for denne kalibreringskurves frembringelse er træ-årringskronologien, dendrokronologien, der bygger på, at træer i de fleste klimaområder hvert eneste år lægger en årring til deres tykkelse. Cellerne, der indgår ved dannelsen af disse årringe, optager atmosfærens CO₂, og da disse celler ikke udskiftes senere, har man i årringene arkiveret CO₂ fra hvert eneste af de år træet har levet.



Figur 4. C-14 dateringen af årringe (af "Bristel cone pine" = en fyrre-
art) sammenlignet med årringenes korrekte absolutte alder (d). Den
bugtede kurve er en tilnærmet kalibreringskurve for C-14 datering.
Middelforskellen mellem C-14 alder og træalder er angivet ved
de rette linier (a), (b) og (c). (Suess og Tauber).

USIKKERHED

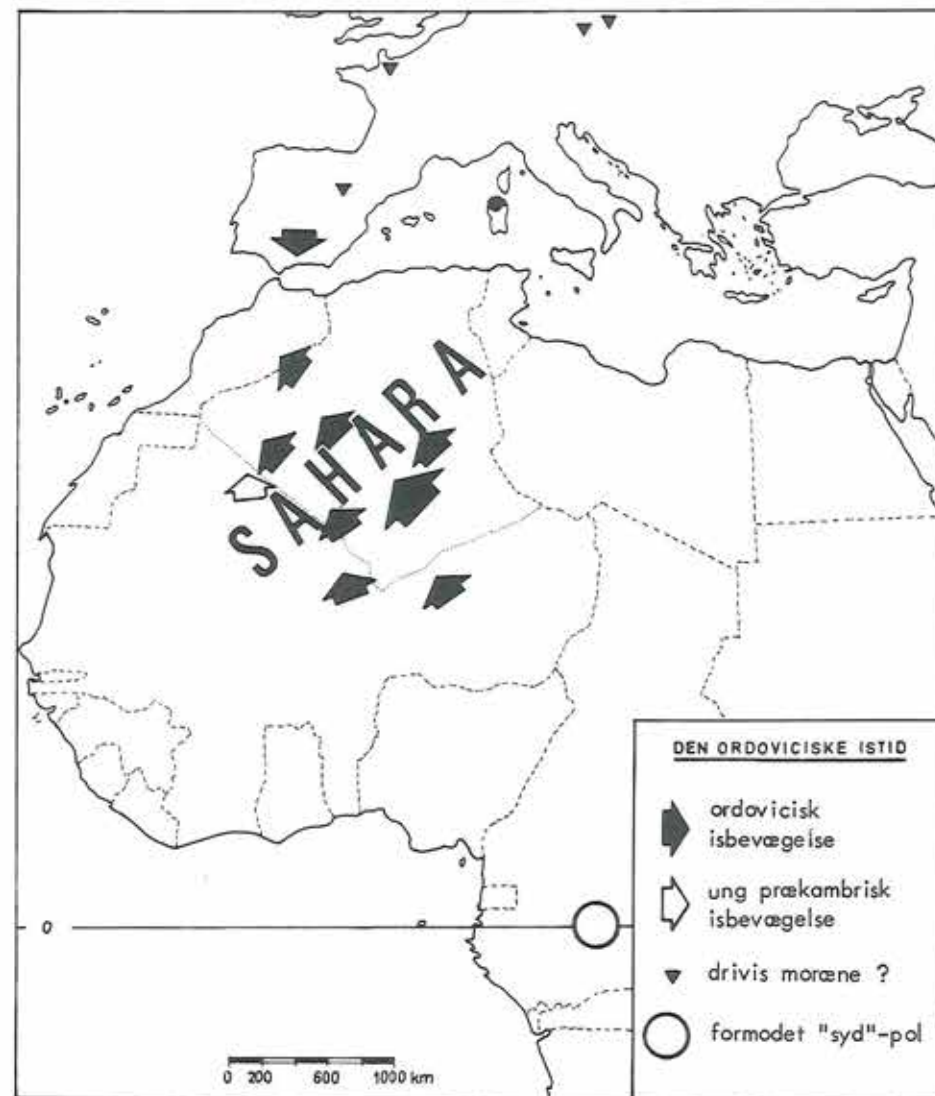
De seneste års intensive arbejde med at forbedre metoden har vist, at de radioaktive aldre man finder for materiale af historisk kendt alder ikke altid stemmer med prøvens faktiske alder. Dette har bevirket en nøjere undersøgelse af afvigelserne, som har vist, at de 3 forudsætninger, man ved metodens anvendelse måtte anse for at være opfyldt, alligevel ikke er fuldt korrekte. Afvigelserne skyldes dels at den først beregnede halveringstid på 5570 år i virkeligheden er 5730 år, dels at forholdet mellem C-14 og C-12 ikke har været konstant gennem Jordens historie som først antaget.

Den fysiske årsag til koncentrationsændringen kan delvis forklares som et udslag af den industrielle udviklings forbrænding af kul og olie, der har frigjort en stor mængde inaktivt kul til atmosfæren.

Den nævnte faktor har imidlertid haft en relativt lille effekt på atmosfærens isotopforhold, hvilket tyder på, at det er langt mere indflydelsesrige faktorer, der inden for de sidste årtusinder har bevirket variationerne i C-12/C-14 forholdet. Eftersom man antager, at den kosmiske



Figur 3b. Til højre på billedet ses C-14 laboratoriets tæller, hvorfra elektriske forbindelser leder impulserne over til det elektroniske tællerværk.



Figur 3. Diagram, der viser isbevægelsens retning (sorte pile) og den formodede polposition (cirkel) i Ordovicium.

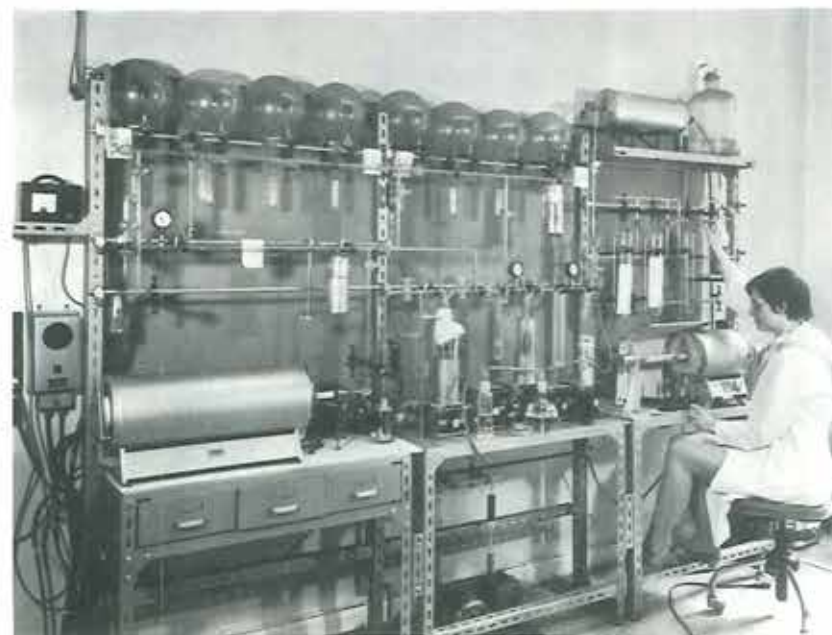


Figur 4. En af de store isskurede flader øst for Hoggar. De største er mere end 2,5 km i isbevægelsens retning og mere end 1 km på tværs.

dækket af relativt tynde, ensartede sandstensbjergarter af kambrisk og ældre ordovicisk alder. Disse sandsten har været afsat på en flade, der må have haft et usædvanlig lavt relief - et peneplan. Isen har på grund af dette, og på grund af den ensformige karakter af sedimenterne (kun sandsten) bevirket en usædvanlig sammensætning af de glaciale sedimenter. Det siger sig selv, at når en is arbejder i ren sandsten, så vil såvel bundmoræner, endemoræner som smeltevandsaflejringer komme til at bestå af den samme slags sand. Det finder man da også i Sahara - kun sand, sand og atter sand, uafhængig af, om de transporterende kræfter har været is, vand eller vind. Den vigtigste glaciale struktur, man finder, er isskuringerne, og ser man på deres retning (figur 3), får man et meget ejendommeligt billede. Man ser, at skuringsstriberne stråler ud fra et punkt, som ligger forholdsvis nær den pol, som blev antydnet ved de palæoklimatiske og også de palæomagnetiske undersøgelser. Det er også den almindelige transportretning, som vi finder i de underliggende ordoviciske sandsten og også i de overliggende devontids sandsten. Dette er således områdets normale transportretning, radierende ud fra centrum mod randen af et gammelt stabilt skjold.

i et kvælstofatom og en negativt ladet partikel (beta-partikel) under frigørelse af energi. På grund af spændingsforskellen vil den negative beta-partikel trækkes mod centraltråden og under sin bane rive andre elektroner med sig. I det denne sky af negativt ladede partikler når centraltråden falder spændingen et kort øjeblik over denne, hvilket registreres i et tælleværk.

Med en gastæller kan man i dag opnå pålidelige resultater, dersom prøvematerialet er yngre end cirka 50000 år. I forhold til C-14 atomernes halveringstid på cirka 5700 år, er dette et meget langt åremål. I gamle prøver vil der derfor kun være en lille brøkdel af det oprindelige, radioaktive kulstof tilbage, og samtidig en større fare for forurening med recent (nutidigt) kulstof. Dette nødvendiggør, at prøvematerialet skal behandles særdeles omhyggeligt under oparbejdningen til gasform. På Kulstof-14 laboratoriet i København foregår denne oparbejdning og rensning af prøven i lukkede systemer (figur 3). Herfra kan prøvegassen ledes ind i tælleren, hvor henfaldet af kulstofatomer registreres og bruges til udregning af prøvens alder efter ligning (2).

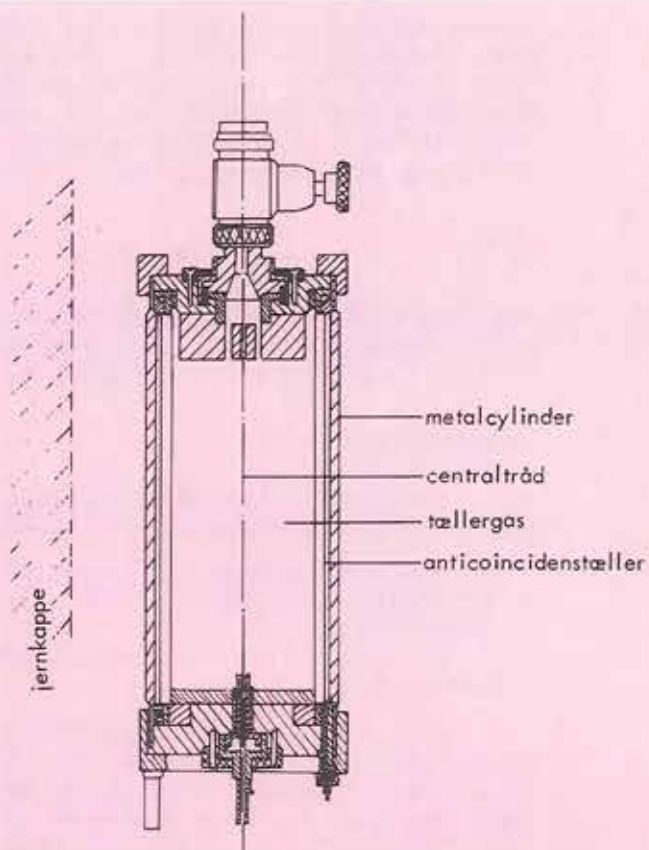


Figur 3a. Præparationssystemet på C-14 laboratoriet i København. Ved forskellige reaktioner omdannes prøven her til luftarten kuldioxid, som ledes over i tælleren.

Mens man endnu var ved de indledende forsøg hændte det iøvrigt, at en kontroldatering af en museumsgenstand gav et stærkt afvigende resultat. C-14 dateringens modstandere fik således nye argumenter for metodens upålidelighed. En nøjere undersøgelse viste imidlertid, at C-14 dateringen var korrekt, da det benyttede materiale var et falsum. Metodens anvendelighed blev nu hurtigt fastslået, og arbejdet med at forbedre måleteknikken kunne fortsættes.

Mens prøvematerialet i de tidligst konstruerede tællere måtte reduceres til rent kulstof inden målingerne, anvendes i dag overvejende "gastællere", hvor prøven findes i form af en luftart. Gastælleren er principielt opbygget af en tynd centraltråd, der har en stor positiv spænding i forhold til den omgivende metalcylinder (figur 2). Ved en naturlig sønderdeling i prøvegassen, der omgiver centraltråden, spaltes et C-14 atom

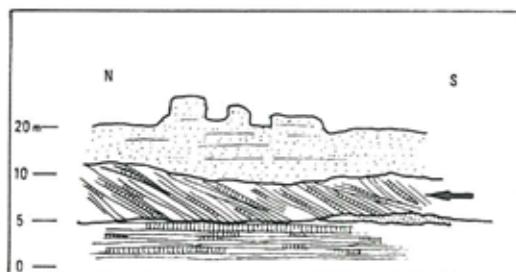
Figur 2. Den principielle opbygning af en C-14 tæller. En 20 cm tyk jernkappe omgiver tælleren for at forhindre de kosmiske stråler i at trænge ind i tælleren og forårsage falske impulser. Da jernkappen imidlertid ikke er i stand til at standse samtlige stråler, er der indbygget en speciel tæller, en antikoincidenstæller, der modvirker registrering af de udefra skabte impulser. (Efter Oeschger).



Figur 5. Isskuring på toppen af en stor erratisk blok, fra glacimarine afsætninger i tunneldalen ved Irhir. Det er ikke klart, om blokken var isskuret, før den blev transporteret til stedet, eller om den blev skuret af et senere isfremstød.



Figur 6. Erratiske blokke i glacimarine afsætninger (syd for Irhir, Tassili N'Ajjer). Den grågrønne siltbjergart er varvig, og blokken slår tydelig igennem lagdelingen, og er derfor faldet ned fra flydende is.



Figur 7. Tagstensagtigt fremskubbede flager af sandsten, Tassili N'Ajjer. Nøjagtig den samme glaciale tektonik, som man kender fra Danmark, blandt andet fra Lønstrup Klint. Pilen viser isbevægelsens retning.

De strukturer, man finder, er tildels meget svære at tolke. Således havde de franske geologer store vanskeligheder med en meget ejendommelig type af istektonik, hvor sandstensflager tydeligvis i frosset tilstand var blevet skubbet tagstensagtigt over hinanden i isens bevægelsesretning. For en geolog, der har set Lønstrup klint, Møns klint og en række andre kystklinter, var det jo ikke noget nyt, og jeg kunne øjeblikkelig forklare, hvad det drejede sig om. Forskellen er den, at man i Sahara kun har sandsten og ikke en vekslen mellem sand, ler og andre bjergarter, noget, som jo gør det lettere at observere og tolke fænomenerne hos os. Det andet fænomen, man træffer på, er de glaciale dale. Disse havde deres længdeakse i isens bevægelsesretning og var cirka $3/4 - 1\frac{1}{2}$ km brede og 2-300 meter dybe. Såvel i deres retning som i deres størrelse og profiler minder de overmåde meget om "tunneldalene" i Danmark, og der kan næppe være tvivl om, at de er dannet på samme måde. I Sahara ser man tydeligt, hvordan disse dale er gravet ud af isen i hårde eller løse bjergarter og senere fyldt med glaciale (formodentlig også subglaciale) og glacialmarine (ishavs-) afsætninger, nøjagtig på samme måde som de danske tunneldale. Det andet interessante træk er, at det eneste sted, hvor man finder fremmede blokke ("ledeblokke"), er i de glacialmarine afsætninger i forbindelse med disse glaciale dale. De bjergarter, man finder, er dels kvartsiter og sandsten, nogle af dem med ordoviciske fossiler, men de fleste og mest karakteristiske er nøjagtig som hos os porfyriske lavabjergarter.

Det område, hvor man lettest kan studere den ordoviciske istid, er nord og øst for Hoggar-massivet i det centrale Sahara. Her hælder de uforstyrrede sedimentære lag svagt ud fra den centrale kerne af prækambriiske bjergarter, og derved får man store, næsten horisontale lagflader, samtidig med at pluvialtidernes (regntidernes) erosion har dannet dybe cañons, med smukt blottede profiler.



(1 kvælstofatom + 1 neutron $\rightarrow$ 1 C-14 atom + 1 brintatom + energi)

Da man havde erfaret, at C-14 ikke blot kunne fremstilles kunstigt men også fandtes naturligt i atmosfæren, koncentreredes de videre undersøgelser om, hvad der skete med isotopen efter dannelsen.

W. F. Libby, grundlæggeren af C-14 dateringsmetoden fremsatte i 1947 den hypotese, at C-14 atomet umiddelbart efter dannelsen i stratosfæren oxideres (iltes) til kuldioxid (C^{14}O_2), der under opblanding med inaktivt kuldioxid (C^{12}O_2) føres ned til en lavere del af atmosfæren. Herefter kommer det til at indgå i det biologiske kredsløb. Dette danner dermed grundlaget for hele dateringsmetoden, thi så længe en organisme er levende, optages i et vist mængdeforhold aktivt såvel som inaktivt kuldioxid. Ved organismens død ophører tilførslen af kuldioxid og dermed tilførslen af nye C-14 atomer. Søjnerdelingen af de allerede tilstedeværende atomer fortsætter imidlertid i det døde materiale, og det før konstante forhold mellem C-14 og C-12 vil ændre sig, efterhånden som antallet af C-14 atomer reduceres efter ligningen for radioaktivt henfald

$$(2) \quad N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

hvor N_0 er antallet af oprindeligt tilstedeværende C-14 atomer, N er antallet af tilstedeværende C-14 atomer til tiden t , λ en omdannelseskonstant ($1,12 \cdot 10^{-4}$ per år) og t den søgte alder, som udregnes af formel 2.

MÅLEMETODEN

Det radioaktive henfald kan registreres i en tæller og dermed bruges til datering under forudsætning af at følgende 3 antagelser er korrekte:

1. at C-14 atomernes halveringstid er nøjagtigt bestemt.
2. at forholdet mellem C-12 og C-14 i atmosfæren har været konstant gennem tiderne.
3. at det kredsløb, hvori C-14 atomerne deltager, kan betragtes som et lukket system.

Da metoden i begyndelsen af 1950'erne blev almen kendt, mødtes den med nogen skepsis. For at afprøve dens holdbarhed blev de første målinger udført på gravfund fra et ægyptisk dynasti med en historisk kendt alder. Resultatet viste sig at være meget nær det forventede og man gik derfor videre med at udbygge tælle-teknikken.

C-14

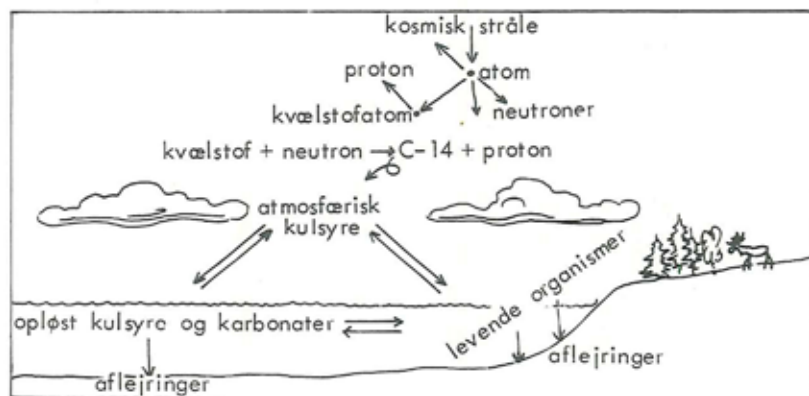
af Naja Mikkelsen

De tidligste forsøg på at aldersbestemme forhistoriske materialer blev gjort af danskerne Chr.J.Thomsen og Jens Jacob Worså i begyndelsen af 1800 tallet. På grundlag af arkæologiske fund opdelte de to videnskabsmænd Danmarks forhistorie i epoker og ordnede disse kronologisk, hvilket muliggjorde en relativ aldersangivelse. Først for cirka 25 år siden blev det omsider muligt i videre udstrækning af omsætte disse relative angivelser til absolutte aldre ved brug af de radiometriske aldersbestemmelser.

Grundlaget for radiometriske aldersbestemmelser er forekomsten af radioaktive isotoper i naturen. Disse isotoper er ustabile og til forskel fra de dertil svarende stabile isotoper (det vil sige atomer af samme grundstof men med forskellig masse) udsat for en stadig sønderdeling. Da sønderdelingshastigheden (halveringstiden) er karakteristisk for de enkelte isotoper, anvendes denne isotopegenskab til de "radioaktive dateringer".

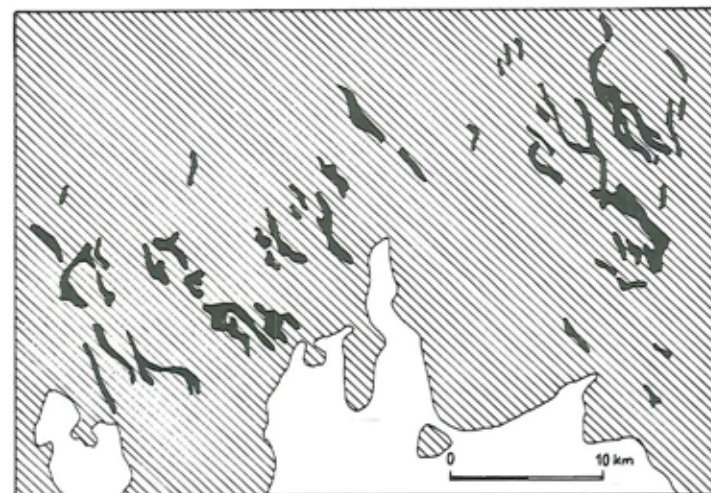
Af alle de mange radioaktive isotoper, der i dag bruges til aldersbestemmelse, er kulstof-14 (C-14) isotopen nok en af de tidligst anvendte og derfor bedst udforskede isotoper.

Den radioaktive C-14 isotop med atomvægten 14 udgør kun en lille brøkdel af de øvrige inaktive C-12 og C-13 isotoper. I 1936 blev man på universitetet i Berkely opmærksom på, at der omkring C-12 atomet i grundstoffernes periodiske system manglede en isotop. Dette viste sig at være C-14 isotopen, som man efter mange eksperimenter i laboratoriet fik frembragt ad kunstig vej. I 1947 blev det påvist, at isotopen er naturligt forekommende i atmosfæren, idet de kosmiske strålers bombardement af kvælstofatomer fører til dannelsen af C-14 atomer og protoner efter ligningen



Figur 1. C-14 atomers dannelse i naturen. (Efter H.Tauber).

De glacielle lag overlejres af bløde silure skifre, og overfladen af de ordoviciske lag er derfor blottet - uden vegetation eller sand - over hundreder af kvadratkilometer. Her kan man fra fly se store "hedesletter" med gamle flodlejer efter smeltevandfloder. Nogle steder ser man også frostbetingede strukturer i den ordoviciske jordoverflade, af samme type som dem, man kender fra de nordiske lande, og studerer man profilerne, vil man foruden tunneldalene finde subglacielle cañons med en speciel vandløbserosion og smeltevandssandsten, som ved deres storstillede skrålejrering og mangel på tydelig lagdeling skiller sig skarpt fra de almindelige, marine sandsten.



Figur 8. Diagram, der viser dræneringsmønsteret i "hedesletterne" i Tassili N'Ajjer.

Opdagelsen af den ordoviciske istid i Sahara har derfor ikke bare en vis sensationel nyhedsværdi, men de fænomener, man finder der, kan benyttes til at tolke de tilsvarende fænomener under den sidste istid, blandt andet fordi forholdene var enklere i Sahara, og det derfor er lettere at finde nøglen til problemerne der, selvom istiden er cirka 450 millioner år gammel.

Denne istid giver også grund til at overveje den forskel, man har mellem "aktualistiske" og "ikke-aktualistiske" perioder i Jordens historie. Hvis man ser på den historiske geologi, vil man se, at der er nogle perioder, hvor forholdene i det store hele synes at stemme overens med nu-

tidens. Det gælder ordovicium, perm og kvartær (med det yngste tertiær). Her har man istider, store havstigninger og -sænkninger, betydelige bjergkædebevægelser og stor vulkansk aktivitet, og forholdene blandt andet ved klimazonering, meteorologiske og oceanografiske forhold synes at stemme meget godt overens med det, vi har i dag.

Den anden type af perioder repræsenteres bedst af silur og jura. Her finder man en meget svagere markeret klimazonering. Klimaet synes at have været forholdsvis jævnt varmt over hele Jorden, selvom man nok kan spore en vis forskel mellem troperne og de polare områder. Hele den geologiske udvikling synes at være roligere, store dele af kontinenterne er dækket af forholdsvis stabile have med lav vandstand, og det lader til, at store dele af oceanerne har været stagnerende, det vil sige har haft begrænset ventilation resulterende i et lavt iltindhold. Det fremgår af den udbredte forekomst af sorte skifre.

Forskellen mellem de to grupper af perioder kan netop være, at der i den første (aktualistiske) har været polare iskalotter. De polare iskalotter vil frembringe en kraftig cirkulation, såvel i atmosfæren som i oceanerne, og det vil blandt andet medføre, at der vil være en ventilation af oceanerne, således at man ikke normalt vil få stagnerende vand i bunden. Hvis derimod de polare iskalotter smelter, må man forvente, at cirkulationen i havet bliver meget svagere, og man vil derfor kunne forvente at få stagnerende forhold i store dele af oceanerne.



Figur 9. Smeltevandssand fra Ordovicium, øst for Hoggarmassivet. Man ser tydelig den massive lagdeling, og gentagen erosion og opfyldning i "Kanaler". Markeret kontrast mod den underliggende, tyndbænkede sandsten.



Figur 10-11. Luftbilleder af den blottede overflade af de ordoviciske glaciale lag. Tassili N'Ajjer. Man ser smeltevandssand med smeltevandssflodlejer, der forvitrer mørkere end de øvrige bjergarter. Bemærk at nutidens floddale har en helt anden retning.