

De morfologie van de Frans-Zwitserse Jura: het resultaat van tektoniek, het klimaat en de mens

door Dr. C. Kasse (Faculteit Aardwetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam) en Drs. W.C.P. de Vries

Het gebied in de omgeving van Clairvaux-les-Lacs en Doucier in de Franse Jura is al vele jaren het veldwerkgebied voor de 2de jaars Kwartairgeologen en geomorfologen van de Faculteit Aardwetenschappen van de Vrije Universiteit. Het gebied leent zich uitstekend voor een kartering door zijn grote verscheidenheid aan vormen en sedimenten. Tevens zijn de Franse en Zwitserse Jura bij veel Nederlanders een geliefd vakantiegebied. Het is heuvelachtig (tot 1700 m hoog) en groen (door de vele neerslag) en er zijn veel mooie meren. In dit artikel zal ik laten zien wat de oorzaken zijn waarom dit gebied door veel mensen zo gewaardeerd wordt als vakantiegebied. De belangrijkste reden is dat het reliëf een interessant samenspel is van tektoniek, klimaatsveranderingen en menselijke activiteit. Deze drie elementen hebben ieder hun reliëfstempel gedrukt op het landschap in verschillende schaalordes.

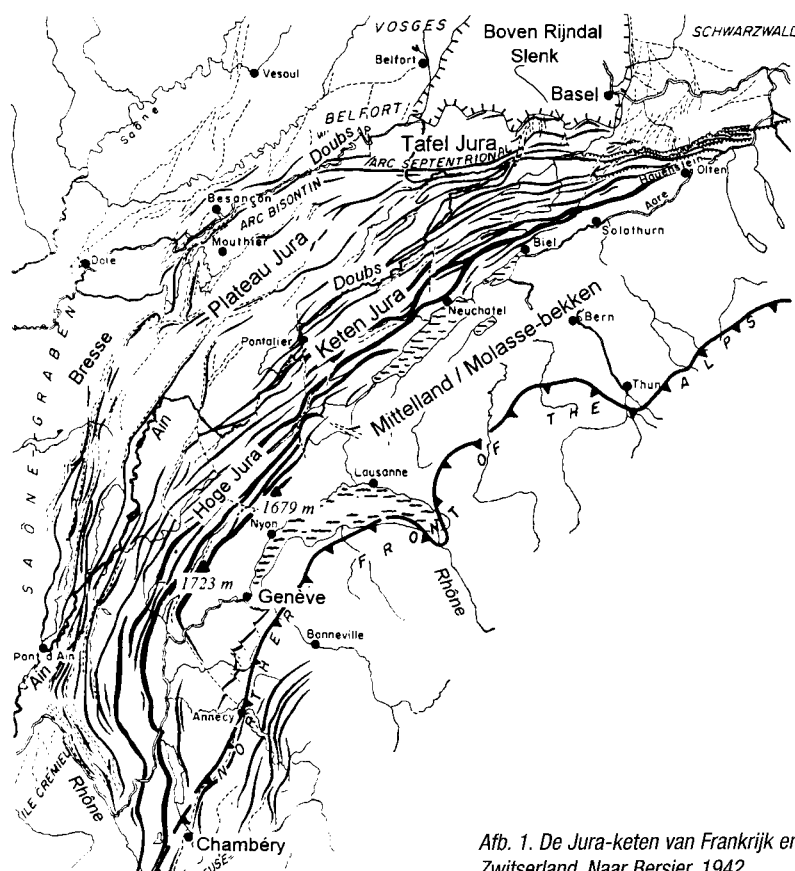
Inleiding

De Jura is een sikkelvormige middengebergte-keten, die loopt van Genève tot aan Basel (afb. 1). Het grootste deel bevindt zich in Frankrijk en een smalle strook aan de zuidoostelijke zijde is Zwitsers grondgebied. In dit artikel wordt met name het gebied beschreven tussen Lons-le-Saunier in het westen en het Meer van Genève in het oosten. Het gebied loopt naar het zuidoosten geleidelijk op, van 500 m in het westen tot 1700 m op de hoogste ketens van de Jura (bv. Crête de la Neige) ten noordwesten van Genève, om naar het Meer van Genève abrupt te dalen, waardoor er meer dan 1300 meter hoogteverschil is over een afstand van 15 kilometer. Het gebied helt dus naar het westen en men zou verwachten dat de rivieren dan ook naar het westen toe afwateren. Veel rivieren stromen echter juist naar het noordoosten (Doubs) of het zuidwesten (Ain), daartoe gedwongen door de zuidwest-noordoost georiënteerde geologische structuren. De regenval in de Jura is erg groot want het gebied wordt gekenmerkt door stuwingsregens. Dit gebergte is het eerste obstakel voor depressies die vanuit de Atlantische Oceaan binnenkomen. Hier wordt de lucht omhoog gedwongen en ontstaan stijgingsregens. Ten westen van de Jura bedraagt de neerslaghoeveelheid per jaar 600 mm en dit loopt op tot 1500 mm in het hoge gedeelte van de Jura. Het Meer van Genève ligt in de regenschaduw met 500 mm neerslag per jaar. Verder naar het zuidoosten, in de Alpen, neemt de neerslaghoeveelheid dan weer sterk toe.

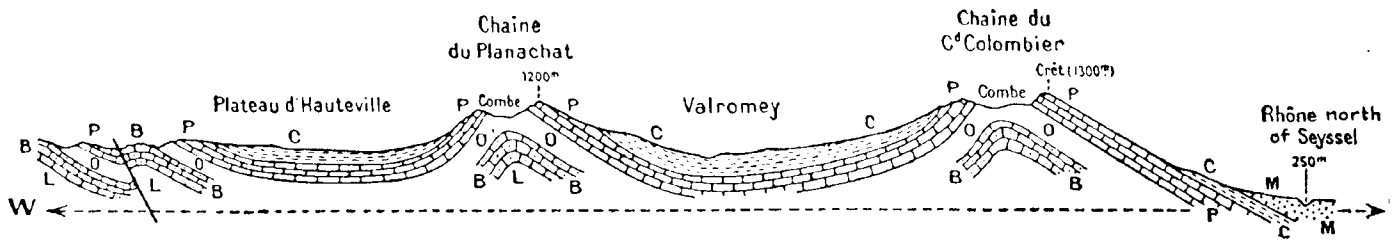
De Jura is ontstaan bij de botsing van het Afrikaanse en Europese continent in een late fase van de Alpiene orogenese, in het Mioceen en Plioceen. In vergelijking met de Alpen is de Jura slechts licht geplooid (afb. 2). De geplooiden bestaan voornamelijk uit kalken die dateren uit Jura en Krijt. Dit Mesozoïsche pakket is min of meer onafhankelijk van de starre kristallijne Varistische ondergrond geschoven en geplooid. Het decollement-niveau bestaat uit evaporieten (zout en anhydriet) uit de Trias.

Tussen de Alpen en de Jura ligt het Zwitserse Mittelland, een vrij laaggelegen en zwak glooiend gebied dat opgebouwd is uit dikke series van Tertiaire zanden en conglomeraten, die afbraakproducten van de Alpen zijn. Dit is de zogenoemde Molasse. Het zuidwestelijk deel is het Bekken van Genève.

In het Jura gebied zelf zijn twee belangrijke gebieden te onderscheiden die gerelateerd zijn aan de bergtevorming in het



Afb. 1. De Jura-keten van Frankrijk en Zwitserland. Naar Bersier, 1942.



Afb. 3. Schematisch dwarsprofiel door de zuidwestelijke Jura. M = molasse; C = Onder-Krijt; P = Boven-Jura-kalksteen; O = Oxfordien-mergel; B = oöliet van Bajocien-Bathonien ("Hauptrogenstein"); L = Lias-mergel.

In de plooiokoppen is de erosie vaak al begonnen, het dal dat ontstaat in de anticlinale ombuiging wordt in de Jura 'Combe' genoemd. Naar Gignoux, 1955.

Tertiair. Het zuidoostelijke deel is sterk geplooid: dit is de *Falten Jura* of 'geplooid Jura' met fraaie regelmatige anti- en synclinale structuren en overschuivingen (afb. 3). Naar het noordwesten neemt de plooing af: dit is de 'Plateau Jura' waar de lagen horizontaal liggen of licht zijn scheefgesteld en waar slechts enkele ploi- en overschuivingsstructuren voorkomen. Ten westen en ten noorden van de Jura liggen uitgestrekte, vlakke gebieden met jong-Tertiaire en Kwartaire sedimenten. Deze gebieden, zoals de Franche Comté met de Bresse, zijn sinds het laatste deel van het Tertiair gedaald en behoren tot de uitlopers van de Rhôneslenk en de Boven-Rijndalslenk.

1. Tektoniek en reliëf

Het reliëf van de Jura wordt in hoofdlijnen bepaald door de tektoniek: de bergruggen lopen in zuid - noordelijke tot zuidwest - noordoostelijke richting en deze zijn gevormd door de plooien die in deze zelfde richting lopen. De ruggen vertegenwoordigen in het algemeen de anticlinale plooien en de dalen zijn dan de synclinale structuren. De plooistrukturen zijn plaatselijk mooi te zien (afb. 4), omdat er dwars door de keten ZO-NW georiënteerde breuken lopen, waarin de rivieren honderden meters diepe dalen hebben uitgesleten. Naast de grote plooien met amplituden van vele honderden meters komen er op de flanken van de hoofdstructuur kleine plooien voor die zijn ontstaan doordat een gedeelte van de gesteentelagen van de flank is afgegleden; de

zgn. gravitatieplooitjes (afschuivingsplooien) (afb. 5). Aan het reliëf dragen deze plooitjes niet veel bij.

De grote breuksystemen, die zuidoost - noordwest door de ketens heen lopen, zijn ontstaan doordat de Juraketen enigszins krom loopt. Bij Basel loopt de Jura oost - west en in het zuiden, waar de Jura bij Chambéry de Franse Alpen nadert, lopen de structuren noord - zuid. Door deze sikkel- of 'banaan'-vormige kromming is er rek opgetreden waardoor de breuken zijn ont-

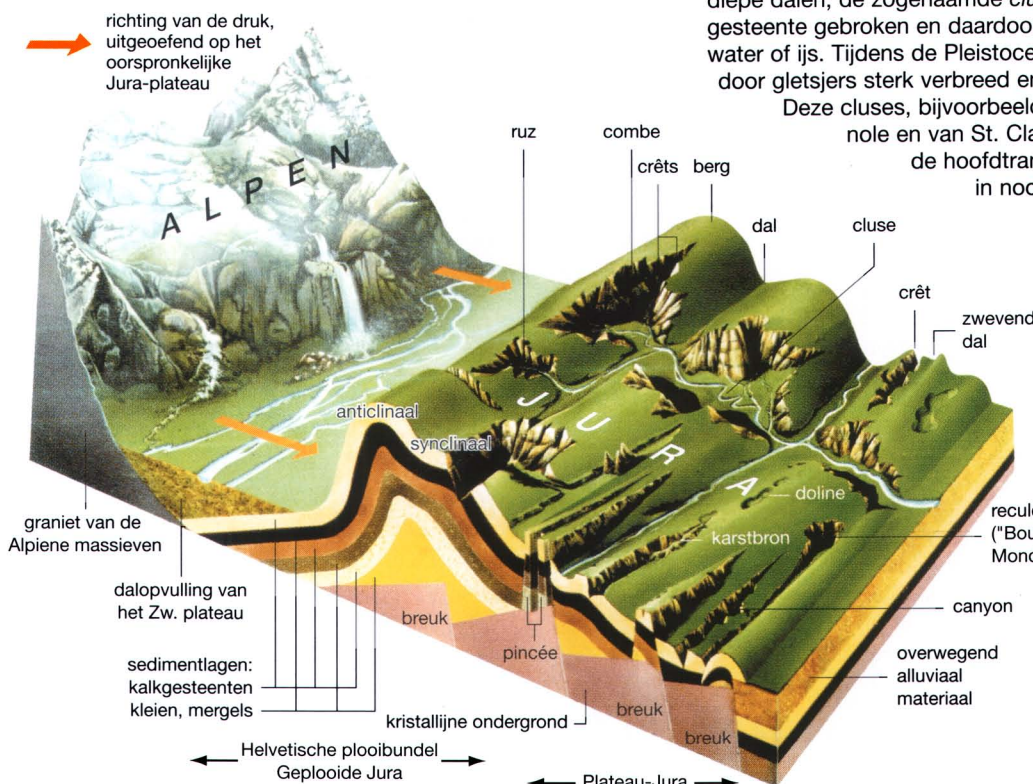


Afb. 4. Anticlinale structuur doorsneden door de cluse van St. Claude

staan. In het landschap zijn de breuken vertegenwoordigd door diepe dalen; de zogenaamde *cluses*. In de breukzones is het gesteente gebroken en daardoor makkelijker te eroderen door water of ijs. Tijdens de Pleistocene ijstijden zijn deze breukzones door gletsjers sterk verbreed en uitgediept.

Deze cluses, bijvoorbeeld van Morez richting Champagnole en van St. Claude naar Les Crozets, vormden de hoofdtransportbanen voor het landijs dat in noordwestelijke richting stroomde.

De belangrijkste morfologische elementen in de Hoge Jura worden dus bepaald door de plooistrukturen met dwars daardoorheen de breuksystemen. De schaal-grootte van dit reliëf bedraagt soms 600 tot 1200 m. Verder naar het westen zien we een overgang van geplooid gesteente naar gebieden waar het gesteente min of meer horizontaal ligt.



Afb. 2. Blokdiagram van de Alpen en de Jura. Naar Geo, no. 137, 1990 (Fr.)



Afb. 5. Afschuivingsploo bij Chapeau de Gendarme.

Een belangrijk deel van de Jura bestaat uit plateaus met horizontale kalksteenpakketten (afb. 6). Deze plateaus zijn aan de westranden aangevreten door de zogenaamde *reculées*. Dit zijn diepe dalen, vaak met een vrij platte dalbodem en rondom steile dalwanden met hoogteverschillen tot 300 m. De genese van de *reculées* is complex.

Ze zijn ontstaan door een combinatie van terugschrijdende erosie door karstbronnen, riviererosie tijdens het grootste deel van het Kwartair en glaciële erosie tijdens de laatste ijstijden (Riss en Würm).

Deze Jura-ijsskappen zijn dus niet ontstaan doordat het ijs vanuit de Alpen over de gehele Jura is heengeschoven. De Alpiene ijsskap stroomde vanaf de Alpen naar het noordwesten, bedekte het gehele Zwitserse Mittelland en het Bekken van Genève en kroop daarna tegen de steile zuidoostelijke helling van de Jura omhoog. De Jura-ijsskap, die vanuit het hoge deel van de Jura-keten naar alle richtingen stroomde, kwam daarbij in botsing met de Alpengletsjers, die daardoor gedeeltelijk naar het zuiden werden omgebogen en via het huidige Meer van Genève en door het Rhônedal om het zuidelijk deel van de Jura heen

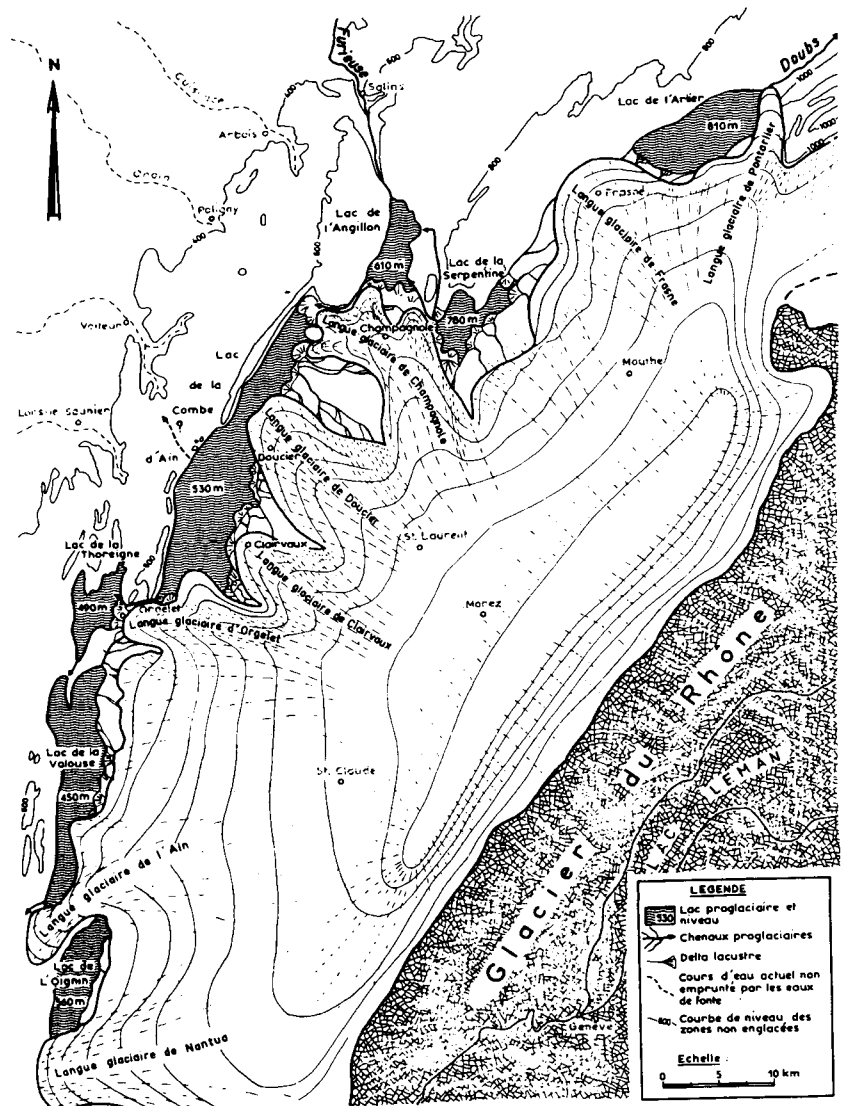


Afb. 6. Reculée in de Plateau Jura bij Baume-les-Messieurs.

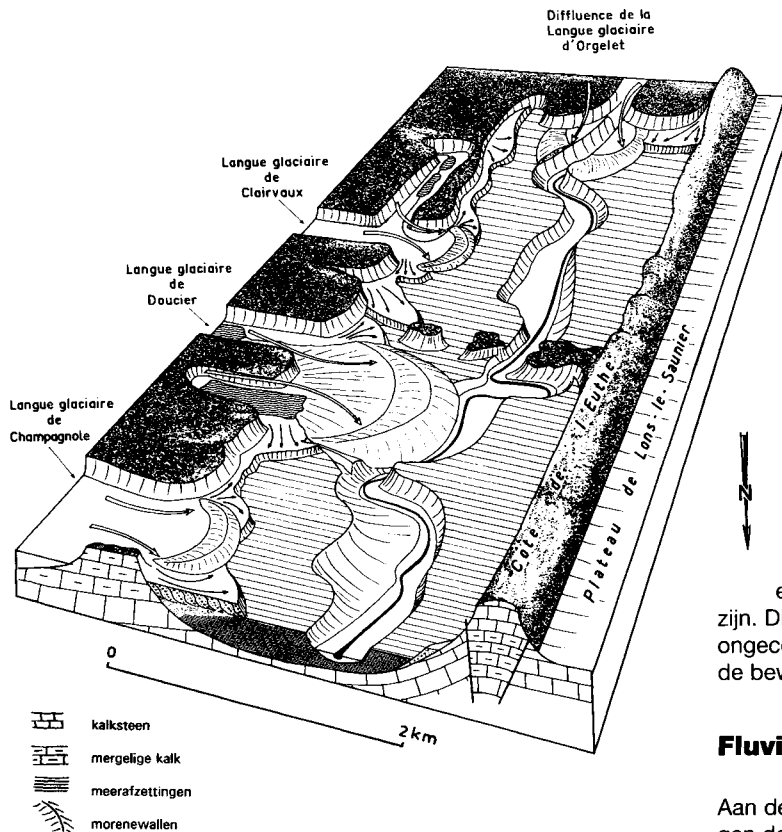
2. Klimaat en reliëf

Naast de tektoniek was het klimaat een belangrijke factor voor de ontwikkeling van de morfologie van de Jura. Onderzoek naar het klimaat wordt o.a. gedaan via onderzoek aan pollen van planten. Uit de vegetatietypen kan het klimaat worden gereconstrueerd. Zo worden er in Pleistocene meerafzettingen in centraal Frankrijk afwisselingen gevonden van pollenzones met warmteminnende (bv. eik, els) of juist koude-verdragende bomen (den, berk) en kruiden. Deze laatste wijzen op toendra-achtige omstandigheden in glaciële periodes. In de Jura zijn de sporen van twee landsbedekkingen uit de laatste twee glaciële periodes gevonden. De oudste periode is de Riss en dateert van meer dan 120.000 jaar geleden. Ook aan het eind van de laatste ijstijd (Würm), tussen 29.000 en 15.000 jaar geleden, had de Jura een grote eigen ijsskap (*calotte glacière*). Ijsskappen en gletsjers zijn vaak destructief en het ijs voert veel materiaal weg, zodat wat er in het landschap te zien is vaak dateert uit de laatste vergletsjering. De vormen uit oudere glaciële periodes zijn veelal niet meer zichtbaar. In de westelijke Jura, in de omgeving van Lons-le-Saunier en Clairvaux-les-Lacs, zijn de glaciële vormen van de twee laatste ijsbedekkingen nog wel zichtbaar, omdat de vergletsjering tijdens de Riss-periode een westelijker uitbreiding kende dan die tijdens de laatste Würm periode.

Een groot deel van de Jura heeft in ieder geval tijdens de laatste twee glaciële periodes een uitgebreide ijsbedekking gekend, waarbij in iedere periode een eigen ijsskap werd ontwikkeld.



Afb. 7. De Würm-ijsskap van de Jura (naar Campy, 1982).



Afb. 8. Blokdiagram van de "Combe d'Ain", het brede, vlakke dal van de Ain, waarin tijdens het glaciële maximum een groot meer ontstond ten gevolge van een blokkade door een gletsjertong (Langue glaciaire d'Orgelet). De gletsjertongen aan de westrand van de ijskap vormden moreneruggen en delta's aan de rand van het glaciële meer (naar Campy, 1982).

stroomden; een ander deel van de Alpiene ijsmassa werd omgebogen naar het noordoosten. De Würmijskap stroomde vanaf de Hoge Jura vooral naar het westen en noordwesten tot aan het huidige brede dal van de Ain, die van noord naar zuid stroomt in een structureel bepaalde depressie. Gletsjertongen blokkeerden het dal en sloten daardoor het dal met de rivier op verschillende plaatsen af (afb. 7). Achter deze dalgletsjers, die zich omringden door morenemateriaal, ontstonden langgerekte meren (proglaciale meren). Het grote proglaciale meer in het dal van de Ain (Lac de la Combe d'Ain) ten noordoosten van het huidige stuwwaai van Vouglans was ongeveer 5 km breed en 40 km lang. In deze randzone van het landijs zijn een heel scala aan glaciële (bv. moreneruggen) en fluvioglaciële vormen (bv. sanders en delta's) en fenomenen waar te nemen. Deze vormen en sedimenten dateren uit het glaciële maximum van de laatste ijstijd, circa 20.000 jaar geleden. De landschapsvormen, ieder met hun eigen reliëf, vormen het tweede schaalniveau in het reliëf van de westelijke Jura met hoogteverschillen van enkele meters tot tientallen meters.

Glaciële verschijnselen en vormen

Gletsjerklassen. De gletsjers op de Jura hebben het kalksteenplateau plaatselijk sterk geschaafd en de krassen zijn nu nog terug te vinden onder de moreneafzettingen die het ijs heeft achtergelaten. Uit de gletsjerklassen is ten eerste af te leiden dat het hoge deel van de Jura zijn eigen ijskap heeft gehad en ten tweede is uit het patroon de stroomrichting van het ijs te reconstrueren. In de omgeving van Clairvaux-les-Lacs stroomde het ijs met name in noordwestelijke richting en het is opvallend dat de stroomrichting van het ijs weinig beïnvloed werd door de reeds aanwezige topografie.

Moreneafzettingen (keileem). Dit zijn zeer slecht gesorteerde afzettingen, waarin klei, silt, zand en grind tot enorme keien voorkomen, die door het landijs onder en voor de ijskap werden afgezet. Aan de westrand van de ijskap vloeide het ijs uit in de vorm van gletsjertongen waarvoor **morenewallen** werden gevormd, die soms een fraaie sikkelvorm hebben (afb. 8 en 9) en tot 50 m hoog kunnen zijn. Zij liggen in het algemeen loodrecht op de ijsstroomrichting en vertegenwoordigen perioden waarin de gletsjertong stationair lag of een lichte uitbreiding vertoonde.

De moreneruggen in de Jura bestaan in het algemeen uit puur morenemateriaal. Zij lijken op het eerste gezicht op kleine stuwwallen, maar er zijn nooit aanwijzingen gevonden dat er opgestuwde zandige, pre-glaciële afzettingen in de ruggen voorkomen.

Onder de ijskap werden de morenes, vaak in combinatie met in de ondergrond aanwezige Juramergels, gemodelleerd door het ijs. Er ontstonden glooiende, langgerekte heuvels met de vorm van een druppel of walvis, die evenwijdig met de stroomrichting van het ijs georiënteerd zijn. Dit zijn zgn. **drumlins**, die ontstaan als ijs beweegt over ongeconsolideerd materiaal. De drumlinvorm is het resultaat van de beweging op het grensvlak tussen twee verschillende stoffen.

Fluvioglaciële vormen en meerafzettingen

Aan de westrand van de Jura-ijskap blokkeerden de gletsjertongen de noord-zuid lopende rivieren en ontstonden grote meren, bv. in het dal van de Ain (afb. 8). Waar smeltwaterstromen in het meer terecht kwamen werden delta's gevormd. Deze **delta's** vormen ook nu nog een belangrijk morfologisch element in de Jura met hoogtes van circa 30 m. De nu zichtbare delta-afzetting is een hoogliggend, vlak gebied (de voormalige *topsets* van de delta) met een steile voorzijde (de voormalige *foresets* van de delta), die op zijn beurt weer overgaat in een vlakte (de voormalige meerbodem). Het door het smeltwater aangevoerde sediment zakte en rolde langs het steile deltafront naar beneden tot op de bodem van het meer. De delta bouwde in de loop van de tijd steeds verder uit omdat er telkens weer een laag sediment aan het front werd neergelegd.

Veel van deze voormalige delta's worden nu afgegraven, omdat er zeer dikke en gemakkelijk winbare zand- en grindlagen in voorkomen. In de groevewand is de zeer grote scheve gelaagdheid (de *foresets*) van het voormalige deltafront te zien (afb. 10).

Voor het front van de delta worden de glaciële **meerafzettingen** gevonden, die tot 30 m dik kunnen zijn. Dit zijn sterk gelamineerde pakketten met een afwisseling van geelgrijs, siltig tot fijnzandig materiaal en donkergrijs kleig materiaal (afb. 11).

In de literatuur worden deze ritmische afzettingen vaak als 'varven' beschreven. Eén set van silt en klei (enkele centimeters dik) vertegenwoordigt de sedimentatie gedurende één jaar.



Afb. 9. Morenerug bij Clairvaux-les-Lacs. Het ijs kwam van links.



Afb. 10. Delta-afzettingen aan de randzone van het glaciële meer in de Combe d'Ain. De grootschalige scheve gelaagdheid weerspiegelt de geleidelijke uitbouw van het deltafront.

In de zomer werd er wat grover materiaal afgezet omdat het smeltwater van de ijskap veel water en sediment aanvoerde. De siltig-zandige laagjes zijn zelf intern vaak ook gelamineerd doordat de afzetting plaats vond door zgn. troebelingsstromen of turbidieten, die zich vanaf de randzone van het meer naar de meerbodem verplaatsten. In de winter bevroor het meer en de aanvoer van smeltwater en sediment was gestopt. De stroming en turbulentie in het meer waren dan zeer gering en de fijne kleideeltjes konden bezinken.

Op sommige plaatsen kwamen de gletsjers direct uit in het proglaciële meer. Hier werden dus geen morenewallen of delta's gevormd en het morenemateriaal werd verspreid over de meerbodem voor het gletsjerfront (zgn. subaquatische morene). Zo ontstonden dikke pakketten, massieve, zwakgrindige, kleiige morenes, die veel kleiiger zijn dan de morene op het land omdat



Afb. 11. Varvengelaagdheid in glaciële meerafzettingen in de Combe d'Ain. De donkerste laagjes zijn kleiige winterafzettingen. In het blok van ongeveer 8 cm zijn vier jaren te zien.

er een sterke bijmenging optrad met fijnkorrelig meersediment. Ook braken ijsbergen van het front van de gletsjers af, die vervolgens het meer opdreven. Bij het afsmelten van de ijsbergen regenden de morenekeien, die in het ijs vastzaten, door de waterkolom naar beneden en ze worden daardoor midden in het meer in de gelamineerde sedimenten teruggevonden. Deze geïsoleerde grinden worden *dropstones* genoemd.

Post-glaciële ontwikkeling en vormen

Tijdens de afloop van de laatste glaciële periode, tussen circa 18 en 15.000 jaar geleden, werden de gletsjertongen aan de west-

rand van de ijskap korter (zie afb. 7, met ijskap Jura). Hierdoor kwam er een einde aan de ijsblokkade in het noord-zuid dal van de Ain en andere rivieren en de grote proglaciële (varve)meren liepen leeg. Deze leegloop moet zeer snel (catastrofaal?) verlopen zijn want er zijn geen aanwijzingen voor stilstandsfasen tijdens de leegloop. De glaciële meren fungeerden tijdens hun bestaan als grote sedimentatiebekkens ten gevolge van de locale hoge erosiebasis. Toen de meren leegliepen en de erosiebasis dus veel lager kwam te liggen sneden de rivieren zich zeer snel in



Afb. 12. De rivier de Ain die zich diep insnijdt in de glaciële meerafzettingen.

o.a. door de grotere hoeveelheid smeltwater die vrijkwam uit de wegs meltende ijskap. De rivier de Ain sneed zich tientallen meters diep in in de oorspronkelijk vrij vlakke glaciële meerafzettingen. Het huidige reliëf langs de Ain met zijn steile hellingen en locale terrassen is een gevolg van deze post-glaciële insnijdings-fase (afb. 12).

Het afsmelten van de dalgletsjers aan de westrand van de ijskap is geen continu proces geweest. Tijdens enkele perioden kwam de netto afsmelting tot stilstand en werden er op verschillende plaatsen in de dalen zgn. "terugtrekkingsmoreneruggen" gevormd. Deze naam is misleidend, want zulke ruggen ontstaan juist niet door terugtrekking maar tijdens korte fasen van stagnatie of zelfs uitbreiding van het gletsjerfront (afb. 9). Het zijn deze ruggen, waarachter regen- en rivierwater wordt tegengehouden, waardoor de huidige meren bestaan van bv. Clairvaux-les-Lacs, Lac Chambly en Lac Chalain (afb. 13). Veel van de meren die ontstonden achter de 'terugtrekkingsmorenen' zijn reeds volledig opgevuld door sediment. Deze verlande meren bieden een

perfecte mogelijkheid om de post-glaciale klimaatontwikkeling te reconstrueren. Het sediment in deze meren bestaat vaak niet uit detritisch materiaal (zand, klei) maar uit kalk. De meren worden gevoed door zeer kalkrijk water uit karstbronnen. De opgeloste kalk is afkomstig uit de omringende kalkstenen die door het licht zure regenwater worden opgelost. Met name in de zomer slaat de opgeloste kalk neer ten gevolge van de opwarming van het water en door onttrekking van CO_2 door de watervegetatie (afb. 14). Van deze meerkalksedimenten worden in het lab de veranderingen in de verhouding tussen de zuurstof-isotopen ^{16}O en ^{18}O bepaald, die een maat zijn voor veranderingen in temperatuur in het verleden. De resultaten laten grote temperatuur-



Afb. 13. Clairvaux Grand Lac. Een gletsjertong heeft de ondergrond diep uitgeschuurd en een moreenerug opgeworpen waarachter het water blijft staan.

schommelingen zien in de periode van het Laat Glaciaal (13 tot 10.000 jaar geleden), die volledig correleerbaar zijn met gereconstrueerde temperatuurveranderingen in de Groenlandse ijskernen. Daarnaast geeft ook het fossiele stuifmeel in deze sedimenten een indicatie voor de klimaatomstandigheden. De temperatuurcurves die worden verkregen aan de hand van het stuifmeel en de zuurstofisotopen lopen echter niet parallel. Dit komt voornamelijk doordat de vegetatie als het ware achterloopt bij de klimaatsveranderingen. Vooral de overgang van koude naar warme perioden gebeurde in enkele decennia, zodat planten en vooral bomen deze snelle klimaatsveranderingen niet konden volgen. Een duidelijke koude fase in de post-glaciale periode is de Jonge Dryas (circa 11 tot 10.000 jaar geleden). Deze periode is in de meeropvullingen goed herkenbaar als een grijze kleilaag, omdat door de toegenomen koude de productie en neerslag van kalkdeeltjes sterk verminderde.

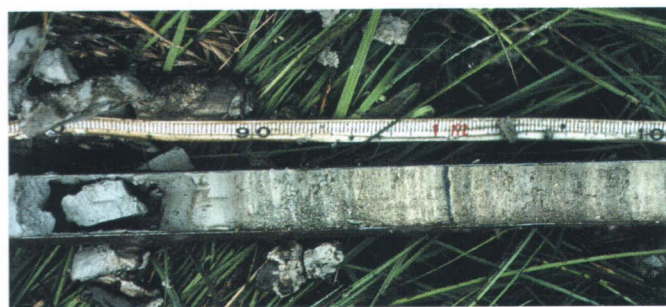
De correlatie van deze sedimenten met andere gebieden is onder meer mogelijk door de aanwezigheid van een heel dun laagje vulkanisch materiaal, dat afkomstig is van de Laacher See vulkaan, waarvan de enorme eruptie rond 11.000 jaar geleden ook in de Jura een herkenbaar aslaagje neergelegd heeft (afb. 15).



Afb. 14. De oeverzone van een meer waar witte kalkneerslag optreedt ten gevolge van de opwarming van het water in de zomer.

Karstverschijnselen

Alle gesteenten van het Jura-gebied zijn kalken die dateren uit Jura en Krijt. Nadat de ijskap op de Jura was verdwenen is er op veel plaatsen een karstlandschap ontstaan. Kalksteen lost op onder invloed van neerslag (zuur regenwater) en humuszuren uit de vegetatie. Alle structuren aan het oppervlak en in de ondergrond die ontstaan door de oplossing van kalk worden karstverschijnselen genoemd. Een typisch voorbeeld van zo'n karstvorm zijn de dolines, die soms wel lijken op bomkraters. Deze door kalkoplossing ontstane depressies zijn vaak enkele tientallen meters in doorsnede en enkele meters diep. Deze depressies kunnen ontstaan waar enkele diaklazen elkaar kruisen of waar de samenstelling van de kalk en dus de doorlatendheid iets anders is. Het oplossen van de kalk beperkt zich niet tot het oppervlak, maar gaat ook onderaards door. Dolines kunnen in verbinding staan met grotten, die overal in de Jura voorkomen. Opvallend is dat dolines veel meer voorkomen in het gebied ten westen van de Würm-vergletsjering. Het lijkt dus aannemelijk dat veel van de dolines in het gebied onder de voormalige ijskap door het ijs zijn overreden en met morenes zijn gevuld.



Afb. 15. Een boorkern met moeraskalksediment uit het Laat Glaciaal. Op 1m een zwart aslaagje van de Laacher See-uitbarsting circa 11.000 jaar geleden.

Het regenwater, dat op de plateaus in de kalksteen infiltreert en via grotten wordt getransporteerd, komt aan de plateauranden weer naar buiten via bronnen. Deze karstbronnen kunnen na intensieve neerslag plaatselijk grote hoeveelheden water produceren. De verblijftijd van het water in de ondergrondse karstsystemen is vaak kort, in de orde van enkele dagen, waaruit blijkt dat de kalksteen een grote gatenkaas is. Op de plaats waar het water naar buiten komt treedt erosie op en gesteentedeeltjes worden weggevoerd. De wanden boven de bron worden hierdoor steiler en storten in, waarna het materiaal weer wordt weggevoerd. Door dit proces van *bronerosie* vreet de bron zich achterwaarts een weg door het plateau. Het morfologische resultaat van deze terugschrijdende erosie zijn de al eerder

genoemde *reculées*: dalen met een vrij platte, brede bodem en steile hellingen (afb. 6).

3. De mens

De laatste vormbepalende factor in het landschap is de mens. De grote stuwdam in de Ain, waardoor het Lac Vouglans is ontstaan, is een duidelijke recent door de mens gemaakte landschapsvorm. De menselijke activiteit en zijn invloed op het landschap van de Jura is echter oud. In het Neolithicum woonde de mens naast en in de meren, waarin nu de toeristen liggen te dobberen. De sites van Clairvaux Grand Lac en Lac Chalain zijn wereldberoemd door de overblijfselen van paalwoningen waarin deze mensen woonden. Ook uit de IJzertijd zijn veel sporen bekend. Met name de grafheuvels uit deze periode zijn kleine landschapselementen van ongeveer 1 tot 2 m hoog, die de mens aan de morfologie heeft toegevoegd. Deze grafheuvels liggen vaak langs het



Afb. 16. Luchtfoto van een waaiervormig karresporenveld bij een doorwaadbare plaats van een beek (naar Pétrequin, 1985).

Conclusies

De vormen in het Jura-landschap zijn het resultaat van drie factoren (tektoniek, klimaat, mens) die ieder hun eigen schaal hebben. De tektonische processen hebben geleid tot grootschalige reliëfvormen van tientallen kilometers groot en honderden meters hoog. Het klimaat en de klimaatsveranderingen hebben vormen aan het landschap toegevoegd die kilometers groot en tientallen meters hoog kunnen zijn. De mens ten slotte heeft relatief kleinschalige reliëfveranderingen in het landschap aangebracht.

vroegere wegennet. De duidelijke sporen van dit wegennet vinden we nog terug in het landschap op die plaatsen waar de wegen samenkwamen en kleine rivieren en beken kruisten (afb. 16). Op die plaatsen zijn door lokale erosie holle wegen uitgeslepen die nu nog in het veld herkenbaar zijn als een waaiervormig karresporenveld met een reliëf van ongeveer 2 meter. Een andere belangrijke menselijke activiteit, die zijn morfologische sporen in het landschap heeft nagelaten, is de houtskoolproductie ten behoeve van smederijen en zoutziederijen. In de Middeleeuwen en later werden grote delen van de lagere Jura gekapt ten behoeve van grootschalige houtskoolproductie. Grote delen van de Jura moeten dan ook ontbost zijn geweest, zoals blijkt uit het voorkomen van dikke pakketten colluviaal materiaal (afgespoeld bodemmateriaal, dat aan de voet van de hellingen weer geaccumuleerd is). Ook oude foto's uit het begin van de vorige eeuw laten zien hoe kaal sommige gebieden waren. Het gekapte hout werd ter plekke in het bos omgezet in houtskool in zogenaamde houtskoolmijlers. Men groef ondiepe kuilen in de verweringsleem van de kalksteen, waarna het hout gestapeld werd, afgedekt met klei en vervolgens aangestoken (afb. 17). Na enkele dagen werd het smeulende vuur gedoofd en de houtskool afgevoerd uit het bos. De kuilen van de vroegere houtskoolmijlers zijn nog in de bossen van de Jura te vinden als kleine depressies van ongeveer 2 m doorsnede en een halve meter diep, soms omringd door een wallekje.



Afb. 17. Houtskoolmijler in Hongarije.

1. tektoniek	⇒ plooiing	⇒ bergruggen en dalen (500 m)
	⇒ opheffing	⇒ plateaus (200 m)
↓		
2. klimaat	⇒ kalkoplossing/bronerosie	⇒ reculées (200 m)
	⇒ ijstijden:	erosie ⇒ polijstvlakken
		⇒ depressies/meren (50 m)
		sedimentatie ⇒ moreneruggen (25 m)
		⇒ delta's (20 m)
3. mens	⇒ postglaciaal:	erosie ⇒ riverdalen (40 m)
		sedimentatie ⇒ meren (10 m)
	⇒ ontbossing	⇒ erosie en colluviatie (2 m)
		⇒ houtskoolmijlerdepressies (1 m)
	⇒ erosie/holle wegen (2 m)	
	⇒ nederzettingen en grafheuvels (2 m)	

De studie van het landschap laat zien, dat het reliëf vaak een complex geheel is dat bestaat uit meerdere lagen, gevormd in verschillende perioden. Die complexiteit ervaren we als mooi zonder de genese vaak echt te begrijpen. Het gepresenteerde voorbeeld uit de Jura laat ook de kwetsbaarheid zien van de aardkundige waarden van het landschap. Het zijn met name de midden- en kleinschalige reliëfvormen, die ontstaan zijn onder invloed van het klimaat en de mens, die het kwetsbaarst zijn bij grootschalige ingrepen in het landschap, zoals grindwinning, de aanleg van wegen, campings en industriegebieden.