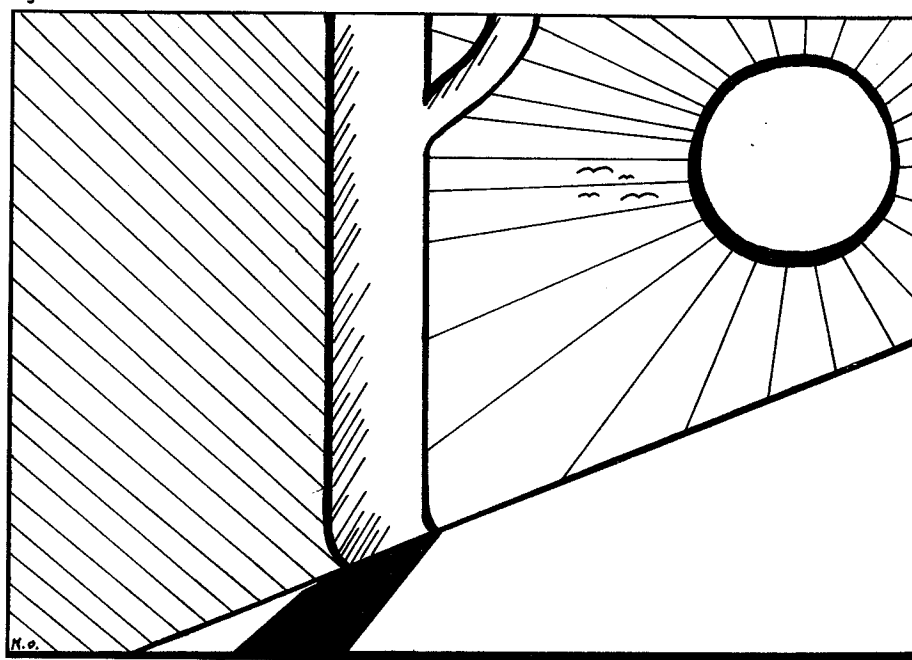


Verslag  
van een  
dendroklimatologisch  
onderzoek  
in de  
Franse Alpen



T. A. Okkes  
1988

## INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK 1:	INLEIDING	5
HOOFDSTUK 2:	FYSISCH GEOGRAFISCHE ASPECTEN VAN DE TWEE ONDERZOEKSGBIEDEN IN HET BEKKEN VAN BARCELONNETTE	6
HOOFDSTUK 3:	BEMONSTERING EN BEWERKING	8
HOOFDSTUK 4:	METHODEN BINNEN DE DENDROCHRONOLOGIE EN DE WERKWIJZE	9
4.1	GEBRUIKTE METHODEN BIJ HET DENDROKLIMATOLOGISCHE ONDERZOEK	9
4.1.1	Oorzaken van variatie binnen de jaarringpatronen en standaardisatie	9
4.1.2	Statistische parameters	11
4.1.3	'Crossdating' technieken	13
4.1.4	Somcurve	14
4.1.5	Variantie-analyse van de somcurve	15
4.2	METHODEN OM DE INVLOED VAN MASSABEWEGINGS- PROCESSEN TE BEPALEN (DENDROGEOMOEFOLOGIE)	16
4.2.1	Excentriciteits-berekening	16
4.2.2	Event-respons index curve	
4.2.3	Power-spectrum	
4.3	MULTIVARIATE ANALYSE	19
4.3.1	Multiple regressie	19
4.3.2	Regressie na Principle Components- of Factor-analyse	21
4.4	WERKWIJZE	24

HOOFDSTUK 5: RESULTATEN	25
5.1 Fysisch geografische karakteristieken van de beide onderzoeksgebieden	25
5.2 Ezcentriciteits-, Event-respons index curves en powerspectra	26
5.3 'Crossdating' en de variantie-analyse van de somcurve	27
5.3.1 Clusteranalyse van Cluster 0	27
5.3.2 Visuele synchronisatie	29
5.4 Statistische parameters van de somcurves	32
5.5 (Auto)correlatie van de 'masterchronologieën' tussen Cluster 0 en Bois de Gaudessart	34
5.6 Multivariate analyse	35
5.6.1 Stapsgewijze multiple regressie-analyse	35
5.6.2 Factor-analyse	36
HOOFDSTUK 6: DISCUSSIE	37
6.1 Interpretatie van de event-respons index curves	37
6.1.1 Cluster 0	37
6.1.2 Bois de Gaudessart	37
6.2 Interpretatie van de 'crossdating' technieken aan de hand van variantie-analyse	38
6.2.1 Clusteranalyse	38
6.2.2 Visuele synchronisatie en standaard-fout van de 'masterchronologieën'	39
6.3 Interpretatie van de correlatie-coëfficiënt tussen de 'masterchronologieën'	41
6.4 Interpretatie van de stapsgewijze multiple regressie	42
HOOFDSTUK 7 : NADER ONDERZOEK	44
HOOFDSTUK 8 : REFERENTIES	46
'Acknowledgements':	47

## ABSTRACT

A comprehensive, dendroclimatological research project in the French Alps has been documented. On two localities in the Ubaye region correlations between annual ringwidths of Pinus sylvestris and 24 climatological variables (monthly downfall and average temperature) have been investigated.

The tree samples which are examined are derived from geomorphological relatively stable areas, so influences of mass transport processes are negligible. Eccentricities in the annual rings due to mass transport processes can be excluded. Together 39 trees have been closely examined. From every tree two samples were taken.

Without doubt growth behaviour depends on physiology of trees and environment-processes. In general environmental parameters are visualized by differential frequencies in the growth diagrams. It became clear that high-frequency variations often are correlated with climatological parameters. Low-frequency variations seem to be the resultants of the age of the tree, mass transport mechanisms or other environmental changes (tree density etc.).

By means of standardization of the growth curves to indices it is possible to delete an amount of the low-frequency variance. Visual synchronisation of the data of the trees situated on the adret suggests a common variance of 63 %, on the ubac 54 %. The corresponding masterchronologies respectively consist of twelve and ten trees. Clusteranalysis results in a very low common signal. Multiple Regression analyses of the data for both adret and ubac areas do reflect positive effects of February downfall on the growth of Pinus sylvestris. Average November temperature has a positive effect on growth behaviour on the ubac locality only.

Respectively 17 % and 44 % of the total indice variance for adret and ubac is believed to be the result of these climatological variables.

## SAMENVATTING

Dit verslag bevat een dendroklimatologisch onderzoek in de Franse Alpen. Op twee lokaties in het Ubaye-dal is getracht een relatie te leggen tussen jaarringwijdtes van de Pinus sylvestris en vierentwintig klimaatsvariabelen, te weten de neerslag en de gemiddelde temperatuur voor iedere maand van het jaar. Een van de onderzochte gebieden bevindt zich op de adret, de andere op de ubac van het dal. De geanalyseerde boommonsters zijn afkomstig van geomorfologisch stabiele gebieden. De invloed van massabewegings-processen, die excentriciteit in de jaarringen teweegbrengen, zijn zo geminimaliseerd. Op deze manier probeert men bomen te verzamelen met concentrische jaarringen, hetgeen belangrijk is bij de dendroklimatologie. In totaal zijn er negendertig bomen bemonsterd. Van elke boom zijn twee monsters genomen.

De groei van een boom is afhankelijk van zijn omgevingsfactoren en fysiologie. In het algemeen zijn de verschillende omgevingsfactoren uit elkaar te houden doordat elke factor een verschillende frequentie in de groeicurve weerspiegelt. Het klimaat is meestal als hoogfrequente variatie in de groeicurve aanwezig. Laagfrequente variatie hangt vaak samen met de ouderdom van de boom, massabewegingen en veranderingen in de omgeving (bijvoorbeeld dichtheid van een bos). Door standaardisatie van de groeicurve tot indices wordt een groot gedeelte van de laagfrequente variatie eruit gefilterd. In de indices zal veel klimatologische informatie opgeslagen zijn.

Men probeert aan de hand van visuele synchronisatie en clusteranalyse van de groeicurves een zo groot mogelijke gemeenschappelijke variantie te verkrijgen. Met behulp van variantie-analyse is gekeken hoe groot de gemeenschappelijke variantie ten opzichte van de totale variantie is. De visuele synchronisatie heeft uiteindelijk op de adret 63% en op de ubac 54% gemeenschappelijke variantie opgeleverd. De corresponderende 'masterchronologieën' bestaan respectievelijk uit twaalf en tien bomen. Het gemeenschappelijke signaal aan de hand van de clusteranalyse is zeer laag te noemen.

Aan de hand van stapsgewijze multiple regressie onderzoekt men wat de belangrijkste klimaatsvariabelen zijn voor de boomgroei. Voor de bomen van beide 'masterchronologieën' geldt, dat de februari-neerslag een positieve invloed heeft op de groei. Tevens heeft de gemiddelde november-temperatuur een positief effect op de boomgroei van het gebied op de ubac. Met deze klimaatsvariabelen is voor de adret- en ubac-lokatie respectievelijk 17% en 44% van de totale indice-variantie verklaard.

## HOOFDSTUK 1

### INLEIDING

In het kader van het doctoraalexamen Fysische Geografie is een dendroklimatologisch veldwerk verricht. Het veldwerk is uitgevoerd in de Franse Alpen in de omgeving van het dorp Barcelonnette dat op een hoogte van 1130 m in het Ubaye-dal ligt (figuur 1).

Het veldwerk heeft plaats gevonden in juli en augustus 1985, onder begeleiding van Ed Weiss, staflid van de vakgroep Fysische Geografie aan de Rijksuniversiteit Utrecht.

De doelstelling van het onderzoek is een analyse van de mogelijke relatie tussen jaarringpatronen van Pinus sylvestris en klimaatgegevens, zoals neerslag en gemiddelde temperatuur. De hierbij gebruikte boommonsters zijn afkomstig van geomorfologisch stabiele gebieden, dit om de invloed van massabewegings-processen op de jaarringpatronen te minimaliseren. Voor dit dendroklimatologisch onderzoek zijn in totaal achtenzeventig monsters genomen uit twee gebieden in het Ubaye-dal. In figuur 1 is te zien waar de twee onderzoeksgebieden zijn gesitueerd. Dit zijn Cluster 0 (in het stroomgebied van de beek de Riou Bourdoux) en Bois de Gaudessart. Ze bevinden zich respectievelijk op de adret (zuidhelling) en ubac (noordhelling).

Met Paul Verhaagen, die een dendrogeomorfologisch veldwerk heeft verricht in hetzelfde gebied, heb ik de gemeenschappelijke informatie omtrent Fysisch Geografische aspecten van het Ubayedal, dendroklimatologie, dendrogeomorfologie en computergebruik bij dataprocessing van de boommonsters, weergegeven (Okkes en Verhaagen, 1988).

Het verslag is onderverdeeld in zeven hoofdstukken. Hoofdstuk 2 en 3 behandelen respectievelijk de Fysisch Geografische aspecten van het onderzoek en de bemonstering c.q. bewerking van de monsters. In hoofdstuk 4 wordt een uiteenzetting gegeven van de methoden binnen de dendrochronologie, met name op het gebied van de dendroklimatologie en -geomorfologie, en de werkwijze. Tevens zal in dit hoofdstuk beschreven worden, hoe men de invloed van de belangrijkste klimaatsvariabelen kan bepalen met behulp van multivariate analyse technieken.

De onderzoeks-resultaten worden in hoofdstuk 5 beschreven. In het daarop volgende hoofdstuk worden deze kwantitatieve resultaten geïnterpreteerd en worden de conclusies vermeld. In het laatste hoofdstuk worden aanbevelingen voor nader onderzoek gegeven.

## HOOFDSTUK 2

### FYSISCH GEOGRAFISCHE ASPECTEN VAN DE TWEE ONDERZOEKSGBIEDEN IN HET BEKKEN VAN BARCELONNETTE

Als gevolg van locatie en expositie-verschillen tussen Cluster 0 en Bois de Gaudessart (BDG), ontstaan klimatologische verschillen tussen beide gebieden, hetgeen van invloed is op de boomgroei. Het temperatuurverschil tussen adret en ubac wordt genivelleerd door dal- en hellingwinden. Dit betreft alleen de luchttemperatuur. De grondtemperatuur is zeer verschillend op de adret en ubac. Deze is op de adret jaarlijks gemiddeld veel hoger dan op de ubac, als gevolg van het verschil in stralingsintensiteit.

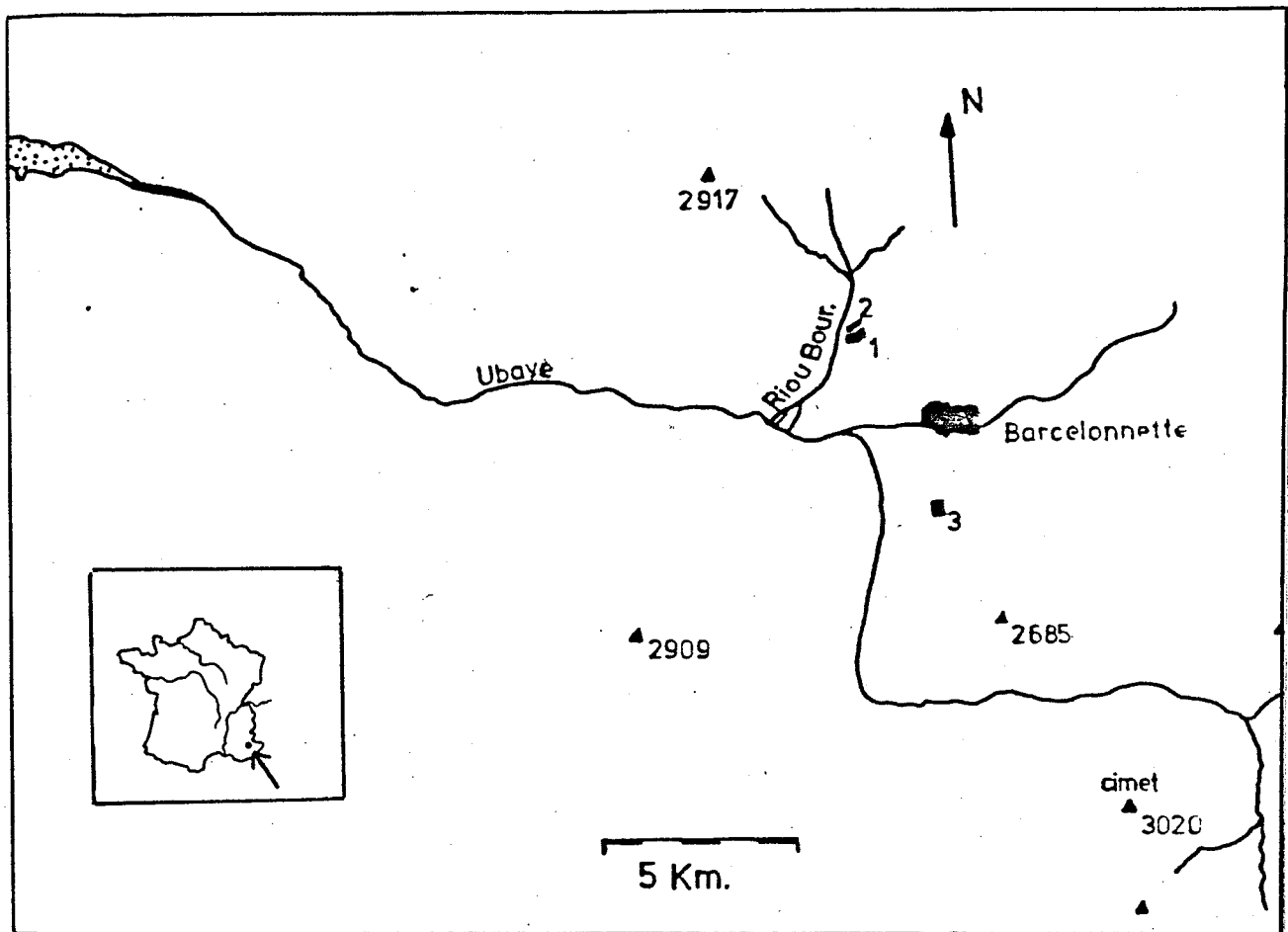
De neerslag in het Ubaye-dal valt meestal in de vorm van korte hevige buien. De jaarsom van de neerslag bedraagt 750 mm in het dal en neemt snel toe met de hoogte langs de dalwanden. De verdeling van de neerslag over de seizoenen is vrij regelmatig; lente 25%, zomer 23%, herfst 31% en winter 22%. De noordhelling heeft een sneeuwdek gedurende circa vier maanden per jaar; de adret is gemiddeld drie maanden met sneeuw bedekt (Legier, 1977). In bijlage I zijn neerslag en temperatuurgegevens weergegeven van het Ubaye-dal voor een periode van 25 jaar (1956-1980).

Cluster 0, beginnend en eindigend respectievelijk op 1300 en 1400 m, ligt ten noorden van een grote afglijding. Het bodemoppervlak van de afglijding is verdeeld in schollen (secundaire, oppervlakkige afglijdingen), die door scheuren gescheiden worden. Verhaagen (1988) heeft getracht het bewegingsgedrag van deze schollen te reconstrueren m.b.v. jaarringpatronen van bomen op de afglijding.

De geologische ondergrond van de afglijding is zeer karakteristiek voor de hele omgeving. Vanaf het maaiveld tot een diepte van 2 - 5 meter bevinden zich de volgende sedimentaire deposities: een morenepakket en daaronder terres-noires. Deze specifieke geologische opbouw is een belangrijke oorzaak voor het ontstaan van de vele afglijdingen in het bekken van Barcelonnette. De morene is goed doorlaatbaar, de terres-noires echter niet. Tijdens perioden met grote hoeveelheden neerslag kan op het grensvlak tussen deze twee lagen een waterfilm ontstaan die als glijvlak dient voor afglijdingen.

De boomvegetatie op Cluster 0, die ook een morene-pakket en terres-noires in de ondergrond heeft, wordt gedomineerd door Pinus sylvestris. De bedekkingsgraad van de gehele helling van Cluster 0 is gemiddeld 50% en de hellingshoek bedraagt ongeveer 20°. Geomorfologisch gezien heeft Cluster 0 een stabiel karakter, daar kenmerken van actieve afglijdingen, zoals kromme en gekantelde bomen en rekscheuren in de grond, ontbreken.

Het tweede onderzoeksgebied, Bois de Gaudessart, ligt 2 km ten zuiden van Barcelonnette. Het gebied ligt op een groot sub-horizontaal plateau (1200 m), zodat elke invloed van massabewegingen is uitgesloten. Ook hier bestaat de ondergrond uit morene-materiaal en is Pinus sylvestris de dominerende boomsoort. De bedekkingsgraad is lager dan in Cluster 0, namelijk 30%. Sporen van kap zijn aanwezig.



**Figuur 1** Ligging van de onderzoeksgebieden in het Ubaye-dal  
 1: instabiele helling (onderzoeksgebied P.Verhaagen)  
 2: stabiele helling (Cluster 0)  
 3: subhorizontaal plateau (Bois de Gaudessart)



## HOOFDSTUK 3

### BEMONSTERING EN BEWERKING

Bij de bemonstering zijn bomen uitgekozen die een 'stabiel' karakter (rechte stam) hebben. Bij de dendroklimatologie probeert men immers jaarringpatronen van bomen te verzamelen die zo min mogelijk invloed van externe processen (bijv. massabewegingen) hebben ondervonden.

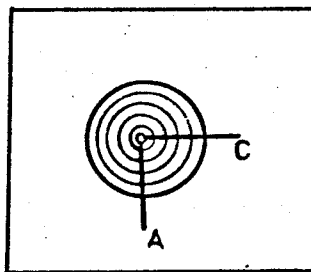
Per boom zijn twee boringen verricht. De eerste boring hellingafwaarts, de tweede hier loodrecht op (figuur 2). Het nemen van de monsters is gedaan met een roestvrijstalen boor. De monsters zijn genomen op een hoogte van ca. 1.5 m. Ten eerste is dit gedaan omdat op deze hoogte alle jaarringen van de boom (min het aantal jaarringen van een 1.5 m hoge boom) in de stam aanwezig zijn. Ten tweede is het boortechnisch makkelijk werken op deze hoogte. Het aanhouden van deze boorhoogte bij alle bomen maakt het mogelijk dat jaarringpatronen onderling (betrouwbaar) vergeleken kunnen worden.

Na de boring is het boorgat in de boom dichtgesmeerd met een wondbeschermings-pasta, dit om infectie van de boom te voorkomen. De monsters zijn omwikkeld met zacht karton en daarna in een genummerde p.v.c. buis geschoven.

In Utrecht zijn de monsters na droging op een houten plankje gelijmd, om kromtrekken te voorkomen. De bovenkant van de monsters is weggesneden met een chirurgisch mes, waardoor de jaarringen beter zichtbaar zijn geworden en daardoor nauwkeuriger te tellen. De ringwijdtes zijn gemeten onder een microscoop. De monsterplankjes zijn op een horizontaal verplaatsbare plaat gelegd waarvan de verplaatsing m.b.v. een pulsgenerator geregistreerd kan worden. De pulsen worden verwerkt door een microcomputer (APPLE) en vastgelegd op diskette.

Grafische weergave van groeicurves (m.b.v. het computerprogramma CHARON, 'library' PLOTLIB) en statistische berekeningen van de boommonsters zijn uitgevoerd op de Cyber van het ACCU (Academisch Computer Centrum Utrecht).

**Fig. 2 Boorrichtingen**  
A: hellingafwaarts  
C: neutraal



Algemeen

De dendrochronologie is de wetenschap die zich bezighoudt met het dateren van jaarringen van bomen. Een belangrijk element hierbij is het vergelijken van jaarringpatronen van verschillende bomen. Door het optreden van overeenkomsten in deze patronen is men in staat relatieve dateringen te doen. Weet men bijvoorbeeld het jaar van de monstername, dan is men in staat alle jaarringen absoluut te dateren. De informatie die in gedateerde jaarringen opgeslagen ligt ten aanzien van klimaats- en andere omgevingsfactoren kan gebruikt worden om deze factoren in de tijd te analyseren. Toepassingen liggen onder andere op het gebied van de klimatologie, geomorfologie en archeologie.

Dit hoofdstuk bevat vier paragrafen. In de paragrafen 4.1 en 4.2 worden de respectievelijke gebruikte methoden in de dendro-klimatologie en dendrogeomorfologie behandeld. Paragraaf 4.3 bestaat uit een theoretische uiteenzetting van de multivariate-analyse. Bij elke paragraaf wordt vermeld welke methode c.q. analyse voor het onderzoek is gebruikt, hetgeen schematisch in hoofdstuk 4.4 is weergegeven.

#### 4.1 GEBRUIKTE METHODEN BIJ HET DENDROKLIMATOLOGISCHE ONDERZOEK

##### 4.1.1 De oorzaken van variatie binnen de jaarringpatronen van bomen en standaardisatie

Ringwijdtes worden meestal gemeten langs een straal in horizontale richting vanaf de oudste ring (kern) naar de jongste ring. Een serie van wijdtes van opeenvolgende jaarringen noemt men een tijdserie, hetgeen de basis is voor een dendro-chronologisch onderzoek.

De belangrijkste variaties in ringwijdte in een tijdserie worden veroorzaakt door omgevingsfactoren (klimaat, geomorfologie, bodem, hydrologie en de dichtheid van het bomenbestand) en fysiologische factoren. De fysiologische factoren bepalen de celgrootte en celstructuur. Samen met de omgevingsfactoren zijn ze van belang als groeibeperkende of groeibevorderende factoren voor de bomen. Zo is een tekort aan water in de bodem een directe groeibeperkende factor. Het groeiproces van een boom loopt zo snel als de meest beperkende factor toelaat (Wet van Liebig: "de zwakste schakel bepaald de processnelheid").

In het algemeen zijn de verschillende omgevingsfactoren uit elkaar te houden doordat ze door verschillende frequenties in de tijdserie worden weerspiegeld. De hoogfrequente variaties zijn gesuperponeerd op de laagfrequente variaties.

Hoogfrequente variatie hangt meestal samen met het klimaat, laagfrequente variatie met de ouderdom van de boom, veranderingen in de omgeving (dichtheid van een bos, bodemgesteldheid) en het optreden van massabewegingen.

Afhankelijk van de factor die men wil analyseren is het mogelijk om bepaalde frequenties uit te filteren (hoog- en laag-filters) of trends (bijvoorbeeld: ouderdom van de boom) te verwijderen. Het laatste wordt ook wel standaardisatie genoemd. Wanneer dergelijke bewerkingen toegepast worden spreekt men i.p.v. ringwijdtes van indices of ringwijdte-indexen.

Bij de standaardisatie maakt men gebruik van exponentiële functies of polynomen die op de tijdseries passen. Men verkrijgt de ringwijdte-indexen door de gemeten ringwijdte te delen door de waarde van de op de curve gepaste functie (zie formule 1). De ringwijdte-indexen zijn gemiddeld 1 in een tijdserie.

$$I_t = \frac{W_t}{Y_t} \quad (1)$$

$I_t$  = ringwijdte-index  
 $W_t$  = gemeten ringwijdte  
 $Y_t$  = ringwijdte op de gepaste functie

Hierdoor kan men bijvoorbeeld bomen met verschillende, gemiddelde ringwijdtes samenvoegen tot een gemiddelde somcurve. Indien men niet zou indexeren zouden bomen met een gemiddelde hoge groeisnelheid een belangrijk deel van de somcurve bepalen. Dit zou ten kosten gaan van bomen met een gemiddelde lage groeisnelheid.

Door de standaardisatie van de groeicurves wordt een groot gedeelte van de laagfrequente variatie eruit gefilterd. In de gestandaardiseerde curve blijft veel informatie van de hoogfrequente variatie, zoals klimaat, over. Met behulp van het computerprogramma INDEX, dat deel uit maakt van TREELIB, zijn de groeicurves gestandaardiseerd. TREELIB is een 'library' voor de bewerking van jaarringgegevens en is op de CYBER van het ACCU geïnstalleerd.

#### 4.1.2 Statistische parameters

Voor de analyse van tijdseries kan men gebruik maken van de volgende statistische parameters. Allen zijn gebruikt bij het onderzoek.

- gemiddelde ( $M_x$ )

$$M_x = 1/n \left( \sum_{t=1}^n X_t \right) \quad (2)$$

X = ringwijdte in jaar t  
n = aantal ringen in de tijdserie

- variantie ( $S_x^2$ ) en standaarddeviatie ( $S_x$ )

$$S_x^2 = 1/(n-1) * \left( \sum_{t=1}^n (X_t - M_x)^2 \right) \quad (3)$$

$$S_x = (S_x^2)^{1/2} \quad (4)$$

- 'sensitivity' of gevoeligheid ( $G_x$ )

De 'sensitivity' geeft de gemiddelde, relatieve verandering van elke gemeten ringwijdte ten op zichte van een volgende ringwijdte. De waarde varieert tussen de 0 (geen variatie, alle ringen zijn even wijd) en 2 (erg veel variatie). Een lage waarde duidt op weinig informatie met een hoge frequentie (klimaat), hetgeen bij een hoge waarde juist wel het geval is.

$$G_x = 1/(n-1) * \left( \sum_{t=1}^{n-1} \left| \frac{X_{t+1} - X_t}{X_{t+1} X_t} \right| \right) * 2 \quad (5)$$

- autocorrelatie-coëfficiënt ( $A_x$ )

Deze coëfficiënt geeft de correlatie van de jaarringen binnen een tijdserie weer, met een onderling tijdsverschil van 1,2,3,...n jaar. Men spreekt van een eerste-orde-autocorrelatie indien elke ring vergeleken wordt met de voorafgaande; bij een tijdsverschil van twee jaar wordt gesproken van tweede-orde-autocorrelatie, enzovoort. De waarde van de coëfficiënt ligt tussen de 1 (maximale positieve correlatie) en de -1 (maximale negatieve correlatie). De waarde is 0 wanneer er geen correlatie tussen de data bestaat. Lange termijn variaties (groeicycli) hebben vaak een hoge autocorrelatie-coëfficiënt, in tegenstelling tot de gestandaardiseerde curves die een lage coëfficiënt hebben.

$$A_{x,x-L} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - M_x) * (X_{t-L} - M_x)}{(n-1) S_x^2} \quad (6)$$

L= 'lag' (tijdverschil in jaren)

- standaardfout (SE<sub>n</sub>)

De standaardfout geeft de afwijking van het steekproefgemiddelde ten opzichte van het werkelijke gemiddelde (van de populatie).

$$SE_n = \left( \frac{S_x^2}{n} \right)^{1/2} \quad (7)$$

- effectieve populatie-grootte (n')

In een tijdserie zullen als gevolg van autocorrelatie niet alle jaren onafhankelijk van elkaar zijn. Met de effectieve populatie-grootte krijgt men een inzicht over het aantal jaren dat wel onafhankelijk is, hetgeen volgens Fritts (1976; naar: Mitchell e.a., 1966) benaderd wordt wanneer men de eerste-orde correlatie gebruikt in de formule:

$$n' = n \frac{1 - A_1}{1 + A_1} \quad (8)$$

n = aantal jaren in de tijdserie  
A<sub>1</sub> = eerste-orde autocorrelatie

#### 4.1.3 Crossdating-technieken

De jaarringpatronen van verschillende tijdseries, binnen een boom en/of tussen bomen, kunnen met elkaar vergeleken worden. Er kan worden gekeken naar eventuele relaties tussen jaarringpatronen in verschillende bomen. Dit is mogelijk wanneer dezelfde of vergelijkbare omgevingsfactoren de variaties in ringwijdtes hebben beperkt bij een groot aantal bomen. Meestal leveren de jaarlijkse fluctuaties in het klimaat voldoende synchrone variatie in de ringwijdtepatroon van bomen op voor het synchroniseren (relatief dateren) van deze tijdseries (Fritts, 1976). Indien een van de tijdseries absoluut gedateerd is (bijvoorbeeld het jaar van monsternamen is bekend), is het mogelijk alle jaarringen van alle gesynchroniseerde series absoluut te dateren.

'Crossdating' is de techniek van het synchroniseren van tijdseries. Dit kan men op de volgende manieren uitvoeren:

##### - visuele analyse

De groeicurves (grafische weergave van de ringwijdtes of indices) worden met het oog met elkaar vergeleken. Volgens Huber (1970) zijn er altijd oecies te vinden waarin de ringwijdtes of indices duidelijk fluctueren, hetgeen leidt tot onmiskenbare tijds-aanduidingen. Dergelijke jaren noemt men 'signature'-jaren. Aan de hand van deze 'signature'-jaren worden de tijdseries met de meeste overeenkomst gegroepeerd. Signatures kunnen tevens gebruikt worden bij het opsporen van 'valse' en 'missende' ringen door het aantal ringen tussen twee signatures te tellen in diverse tijdseries en deze te vergelijken.

##### - clusteranalyse

Bij deze analyse kan men uitgaan van zowel ringwijdtes als indices. Deze bewerking geeft een correlatie-coëfficiënt tussen de tijdseries. Hierbij kan men verschillende methoden gebruiken. Twee belangrijke methoden zijn:

1) Het cluster-programma zoekt eerst (nul-niveau) de twee best gecorreleerde monsters uit de populatie, die boven de ingestelde correlatie en t-waarde limiet liggen. De t-waarde geeft de significantie van de correlatie aan. Van deze twee monsters worden de gemiddelden berekend en vervolgens wordt het monster dat de hoogste correlatie heeft met het berekende gemiddelde aan de cluster toegevoegd (eerste-niveau). De procedure houdt op wanneer er geen monsters meer aan de cluster kunnen worden toegevoegd die voldoen aan de ingestelde correlatie en t-waarde limieten.

2) Op het nul-niveau worden paren gevormd die onderling de beste correlatie hebben. De gemiddelden van de paren worden onderling met elkaar gecorreleerd en de beste correlaties vormen opnieuw een paar (eerste-niveau). Deze clusteranalyse houdt op wanneer er geen paren meer samengesteld kunnen worden die voldoen aan de ingestelde correlatie- en t-waarde limiet.

- bepaling van het afwijkingspercentage of 'Gleichlaufigkeitsprocent' (Huber, 1970). Dit is een maat voor het percentage parallel lopende variatie in de overlap van twee series. Het geeft het percentage jaren waarin de ringseries een overeenkomstige verandering (toe- of afname) in ringwijdte vertonen. Uit experimenten is gebleken dat dit percentage voor 'random' posities van tijdseries ongeveer 50% bedraagt. Dit komt doordat evenveel jaren wel als niet overeen zullen komen. Verschillende tijdseries kunnen op verschillende relatieve posities met elkaar vergeleken worden. De positie met het laagste afwijkingspercentage is waarschijnlijk de synchrone positie. Dit percentage moet echter wel voldoende laag zijn (bijvoorbeeld kleiner dan 40%) en dient bovendien visueel gecontroleerd te worden.

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van methode 1 van de clusteranalyse en de visuele synchronisatie methode. De clusteranalyse is met het computerprogramma CROSS uitgevoerd dat deel uitmaakt van TREELIB. In dit programma moet men zelf de correlatie en t-waarde limiet instellen. Uiteindelijk worden tijdseries geclusterd die voldoen aan de twee ingestelde limieten.

#### 4.1.4 Somcurve

Na het synchroniseren vindt het sommeren van de tijdseries plaats. Hierdoor ontstaat een zogenaamde somcurve. Bij het samenstellen van een somcurve wordt het gemeenschappelijke signaal onder de gesynchroniseerde groep versterkt en worden de meer unieke karakteristieken van de afzonderlijke series onderdrukt.

De somcurve kan op twee manieren samengesteld worden. Het resultaat is een tijdserie met gemiddelde ringwijdtes of indices. Deze twee manieren zijn:

- \*1)- synchroniseren (met ringwijdtes)
  - samenstellen somcurve
  - indexeren somcurve
  
- \*2)- afzonderlijke tijdseries indexeren
  - synchroniseren
  - samenstellen somcurve (met geïndexeerde tijdseries)

Bij de eerste methode kunnen trends in de afzonderlijke series, die geen gemeenschappelijke oorzaak hebben, 'valse' informatie in de somcurve brengen. Dit gebeurt wanneer men een somcurve samenstelt uit een aantal bomen met sterk verschillende leeftijden. Als men van indices uitgaat, zoals in de tweede methode, treedt dit probleem niet op. Met het indexeren wordt de ouderdomstrend er immers uitgehaald. Er zal echter ook andere, relevante informatie (met name de laagfrequente variatie) verloren kunnen gaan. Bij het opstellen van somcurves uitgaande van indices spreekt men van 'masterchronologieën'. Deze methode is van groot belang bij klimaatsonderzoek.

Methode 1 en 2 zijn respectievelijk voor de clusteranalyse en de visuele synchronisatie gebruikt. De samenstelling van de somcurve vindt plaats met het computerprogramma SUMAC, hetgeen net als INDEX en CROSS een onderdeel van TREELIB is.

#### 4.1.5 Variantie-analyse van de somcurve

Bij de variantie-analyse (ANOVA) kijkt men naar de componenten (factoren) die verantwoordelijk zijn voor de totale aanwezige variantie in de somcurve. Bij deze analyse worden variantie-componenten berekend, waarbij elke component de verklaarde variantie ten opzichte van de totale variantie aangeeft. Bij deze analyse moet het aantal monsters per boom even groot, en minstens twee, zijn.

Vier componenten zijn verantwoordelijk voor de totale variantie in een samengestelde somcurve.

1) 'mean indices in total chronology' V(ariantie) C(omponent)(Y): hiermee wordt de gemeenschappelijke variantie tussen de monsters en de bomen van de somcurve aangegeven, hetgeen een indicatie geeft over de invloed van het macro-klimaat op de bomen, die deel uitmaken van de somcurve. Bij een dendroklimatologisch onderzoek probeert men een zo groot mogelijk percentage gemeenschappelijk signaal (variantie) te krijgen. In extreme klimatologische zones (aride en semi-aride gebieden) is de gemeenschappelijke variantie binnen de somcurve groter dan in gematigde gebieden.

2) 'chronologies of trees in groups', VC(YT): dit is de variantie die het gevolg is van de verschillen tussen de chronologieën van de bomen. Hoe groter dit percentage is des te heterogener de chronologieën van de bomen onderling zijn. Dit houdt in dat elke boom verschillend reageert op zijn omgevingsfactoren. Tevens kan de intensiteit per boom verschillend zijn.

3) 'chronologies of core classes', VC(YC): dit is de variantie tussen alle monsters in de bomen met een identieke boorrichting. Bijvoorbeeld, de variantie van alle monsters die hellingafwaarts geboord zijn en de variantie van alle monsters hier dwars (neutrale boorrichting) op.

4) 'chronologies of cores with trees in groups', VC(YCT): dit is de variantie tussen de monsters per boom.

De totale variantie in de somcurve is dus gelijk aan:

$$VC(Y) + VC(YT) + VC(YC) + VC(YCT)$$

Indien men somcurves van groepen onderling wil analyseren zijn ook de volgende twee variantie-componenten van belang.

5) 'chronologies of groups', VC(YG): dit is het percentage dat verantwoordelijk is voor de opsplitsing in de verschillende groepen.

6) 'chronologies of core classes with groups', VC(YCG): dit is de variantie tussen alle monsters in de bomen met een identieke boorrichting binnen de verschillende groepen.

De totale variantie is nu:

$$VC(Y) + VC(YT) + VC(YC) + VC(YCT) + VC(YG) + VC(YCG)$$

In tabel 1 is te zien hoe de variantie-analyse berekend wordt. Met behulp van het computerprogramma SUMAC is deze analyse uitgevoerd.



THE STATISTICS OF RING-WIDTH AND CLIMATIC DATA

TREE RINGS AND CLIMATE  
TABLE I (near Fritts, 1976)

Calculations for Analysis of Variance of Tree-Ring Chronologies

Row	Source of Variation	Sum of Squares and Correction	Corrected sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	Variance Component	Percentage
1*	Group means (G)	$\frac{1}{t} \sum_{h=1}^g \left( \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n y_{hjk} \right)^2 - K$	$-tG_c$	$g-1$	$G_c/g-1$	$-MS(G)$	$\frac{VC(Y) \times 100}{TOTAL VC}$
2	Core class means (C)	$\frac{1}{g} \sum_{j=1}^c \left( \sum_{h=1}^g \sum_{k=1}^n y_{hjk} \right)^2 - K$	$-cC$	$c-1$	$C_c/c-1$	$-MS(C)$	
3	Tree means in groups (T/G)	$\frac{1}{ct} \sum_{h=1}^g \left( \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n y_{hjk} \right)^2 - G_c - K$	$-tT_c$	$(t-1)g$	$T_c^2/(t-1)g$	$-MS(T)$	
4	Core means in groups (C x G)	$\frac{1}{tc} \sum_{h=1}^g \left( \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n y_{hjk} \right)^2 - G_c - C_c - K$	$-cCG_c$	$(c-1)(g-1)$	$CG_c^2/(c-1)(g-1)$	$-MS(CG)$	
5	Core means with trees in groups (C x T/G)	$\frac{1}{ct} \sum_{h=1}^g \left( \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n y_{hjk} \right)^2 - G_c - C_c - T_c - CG_c - K$	$-cT_c$	$(t-1)(c-1)g$	$CT_c^2/(t-1)(c-1)g$	$-MS(CT)$	
6	Mean indices in total chronology (Y)	$\frac{1}{tc} \sum_{h=1}^g \left( \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n y_{hjk} \right)^2 - K$	$-Y_c$	$n-1$	$Y_c/n-1$	$-MS(Y)$	$\frac{VC(Y) \times 100}{TOTAL VC}$
7*	Chronologies of core groups (Y x G)	$\frac{1}{tc} \sum_{k=1}^c \left( \sum_{h=1}^g \sum_{j=1}^t y_{hjk} \right)^2 - Y_c - G_c - K$	$-YG_c$	$(n-1)(g-1)$	$YG_c^2/(n-1)(g-1)$	$-MS(YG)$	$\frac{VC(YG) \times 100}{TOTAL VC}$
8	Chronologies of trees in groups (Y x T/G)	$\frac{1}{ct} \sum_{h=1}^g \left( \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n y_{hjk} \right)^2 - Y_c - G_c - T_c - YG_c - K$	$-YT_c$	$(n-1)(t-1)g$	$YT_c^2/(n-1)(t-1)g$	$-MS(YT)$	$\frac{VC(YT) \times 100}{TOTAL VC}$
9	Chronologies of core classes (Y x C)	$\frac{1}{gt} \sum_{k=1}^c \left( \sum_{h=1}^g \sum_{j=1}^t y_{hjk} \right)^2 - Y_c - G_c - K$	$-YC_c$	$(n-1)(c-1)$	$YC_c^2/(n-1)(c-1)$	$-MS(YC)$	$\frac{VC(YC) \times 100}{TOTAL VC}$
10*	Chronologies of core classes with groups (Y x C x G)	$\frac{1}{ct} \sum_{k=1}^c \left( \sum_{h=1}^g \sum_{j=1}^t y_{hjk} \right)^2 - Y_c - G_c - C_c - YG_c - CG_c - K$	$-YCG_c$	$(n-1)(c-1)(g-1)$	$YCG_c^2/(n-1)(c-1)(g-1)$	$-MS(YCG)$	$\frac{VC(YCG) \times 100}{TOTAL VC}$
11	Chronologies of cores with trees in groups (Y x C x T/G)	$\frac{1}{ct} \sum_{k=1}^c \left( \sum_{h=1}^g \sum_{j=1}^t y_{hjk} \right)^2 - Y_c - G_c - C_c - T_c - YG_c - CG_c - K - YCT_c$		$(n-1)(c-1)(t-1)g$	$YCT_c^2/(n-1)(c-1)(t-1)g$	$-MS(YCT)$	$\frac{VC(YCT) \times 100}{TOTAL VC}$

where  
 $h = 1, 2, \dots, g$   
 $j = 1, 2, \dots, t$   
 $k = 1, 2, \dots, c$   
 $g =$  number of groups  
 $t =$  number of trees per group  
 $c =$  number of cores per tree  
 $n =$  number of years

TOTAL VC = VC(Y) + VC(YG) + VC(YT) + VC(YC)  
 + VC(YCG) + VC(YCT)

\*When  $g=1$ , these sources of variation do not exist, and the mean squares are zero.

$$K = \frac{1}{gctn} \sum_{h=1}^g \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n y_{hjk}^2$$

## 4.2 METHODEN OM DE INVLOED VAN MASSABEWEGINGS- PROCESSEN OP DE BOOMGROEI TE BEPALEN (DENDRO- GEOMORFOLOGIE).

### 4.2.1 Excentriciteit-berekening

Een boom vormt concentrische jaarringen bij 'normale' groei. De dikte van het hout tussen de jaarringen is in alle richtingen even groot. Wanneer er door een massabeweging, scheefstelling van de stam optreedt, zal de boom aan de zijde van de inclinatie reactiehout gaan produceren. De breedte van de jaarringen aan de zijde van de scheefstelling van de stam zal toenemen in vergelijking met de breedte van de tegenoverliggende zijde. In dit geval spreekt men van excentrische jaarringen.

Bij dendroklimatologische studies gebruikt men het liefst bomen waarvan de jaarringpatronen concentrisch zijn, omdat er dan geen informatie over onder andere hellingsbewegings-processen in het hout is opgeslagen.

Het berekenen van de excentriciteit gebeurt met de volgende formule (Braam e.a., 1987):

$$E = \frac{Ra - Rc}{Ra + Rc} * 100\% \quad (9)$$

E = excentriciteit

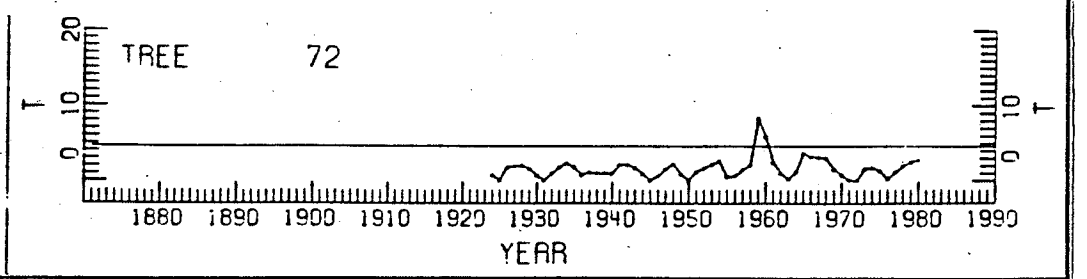
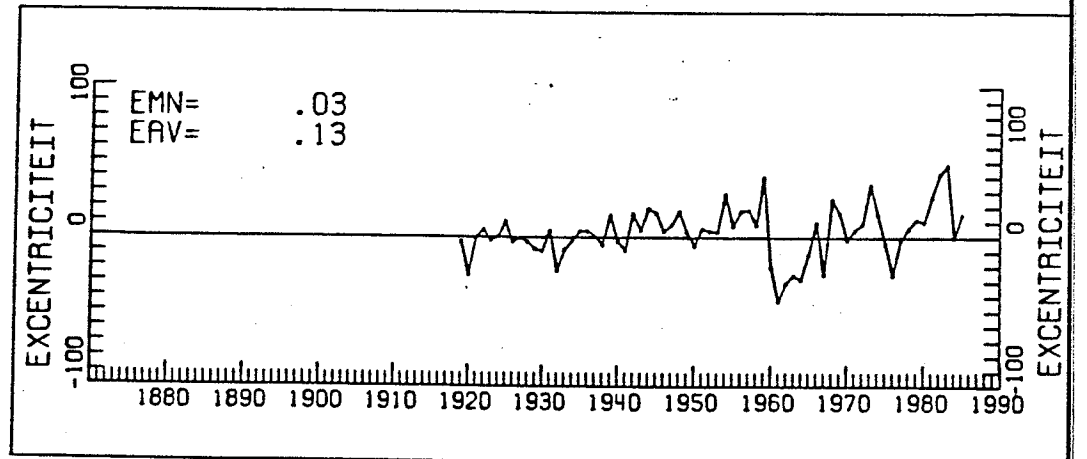
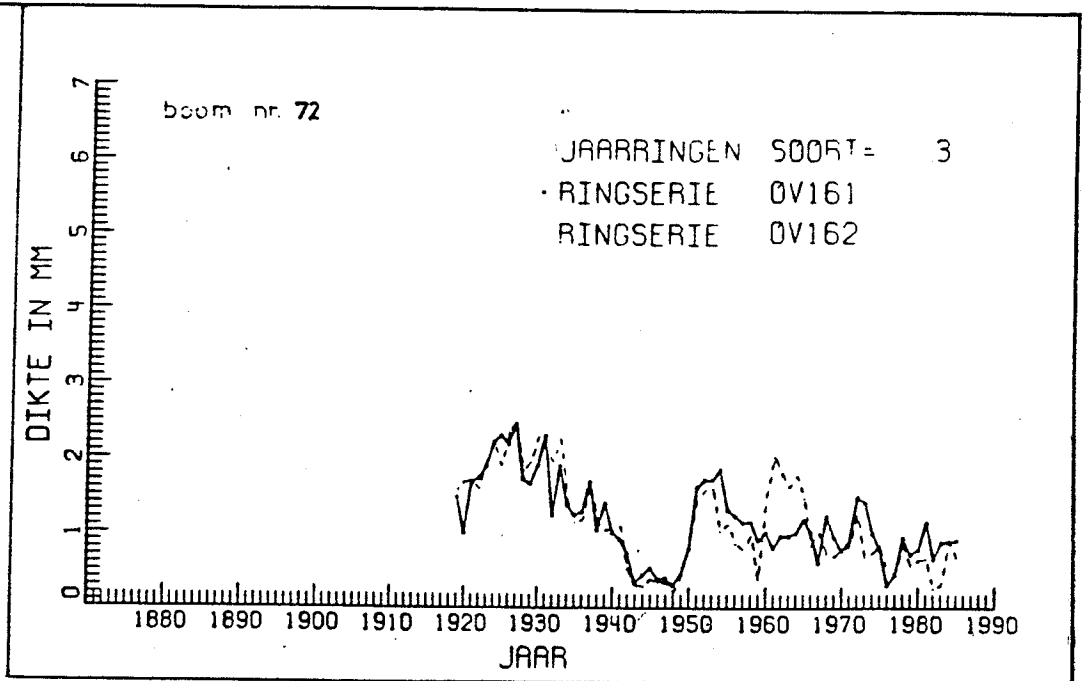
Ra= ringbreedte langs straal a (zie figuur 2)

Rc= ringbreedte langs straal c

Het excentriciteits-verloop van de jaarringen wordt uitgezet in een grafiek (zie figuur 3). Op de nullijn van de grafiek zijn de jaarringen concentrisch. Ze zijn excentrisch zowel boven als onder deze nullijn.

Fig. 3

a: jaarring-  
curven  
b: eccentri-  
citeitsverloop  
c: signifi-  
cante eccentri-  
citeits veran-  
dering (m.b.v.  
filtertechniek  
SMW)



#### 4.2.2 Event-respons-index curve

In het algemeen wordt uitgegaan van de keten: geomorfologisch proces----- gebeurtenis t.a.v. boom----- respons boom. De event-respons-index geeft het percentage bomen weer dat gereageerd heeft op een massabeweging. Met deze techniek, die in eerste instantie geschikt is voor de dendrogeomorfologie, probeert men bomen te selecteren die weinig of geen informatie (respons) hebben ten aanzien van massabewegingen.

De index wordt berekend met behulp van de Split Moving Window techniek (S.M.W.; Braam e.a., 1987), waarbij gebruik wordt gemaakt van een t-test voor 'paired samples' (Hammond en McCullagh, pag.192, 1978). Bij deze techniek worden twee vensters met gelijke breedte over de excentriciteits-curves van de bomen verplaatst (figuur 4). De twee vensters worden gescheiden door een 'mullion'. Voor elk jaar wordt het gemiddelde berekend in beide vensters. De t-waarde wordt bepaald door het verschil van de gemiddelden gedeeld door de geschatte standaard-fout van dat verschil (zie formule 10).

$$t = \frac{M1 - M2}{SE} \quad (10)$$

waarin:

t= t-waarde

M1 en M2= venster-gemiddelde (in jaren)

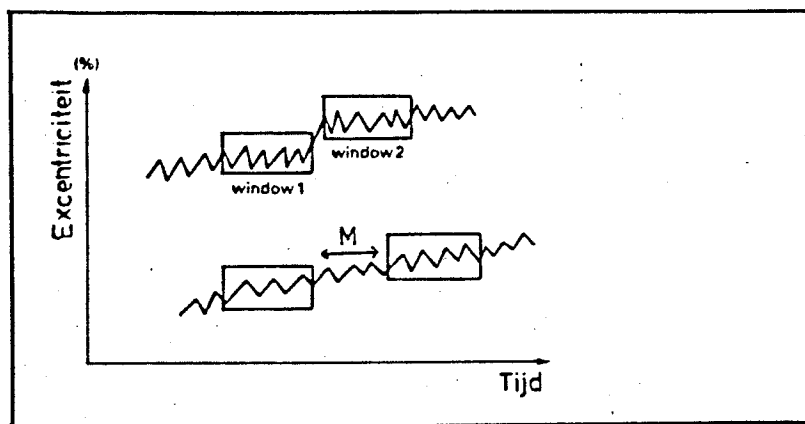
SE= geschatte standaard-fout van het verschil tussen de venster-gemiddelden (zie formule 7)

Uit de berekende t-waarde kan worden afgeleid of het verschil tussen de gemiddelden statistisch significant is. Is de berekende t-waarde groter dan de kritische t-waarde (die men zelf moet instellen) dan is er sprake van een significante verandering van de excentriciteit. Er wordt aan dit jaar een 1 toegekend. Een 0 wordt er toegekend wanneer de t-waarde kleiner dan de kritisch t-waarde blijft. Deze analyse wordt voor elke boom van de onderzochte populatie herhaald. Het resultaat wordt uitgezet in een event-respons index curve (figuur 10). De kritische t-waarde van 4.6 (dat wil zeggen dat de betrouwbaarheid 99% is) is het meest geschikt gebleken bij de berekeningen (Braam e.a, 1987).

#### 4.2.3 Powerspectrum-analyse

De event-respons curves kunnen gecontroleerd worden op eventuele cycliciteiten, hetgeen in een powerspectrum uitgezet kan worden. De cycliciteiten zijn mogelijk te correleren met klimatologische gegevens zoals neerslag en temperatuur. In het powerspectrum is langs de y-as aangegeven hoeveel procent van de variantie in de onderzochte populatie verklaard wordt door cycliciteit. De golflengte van de cycliciteit staat langs de x-as uitgezet. Met behulp van een Fourier-analyse worden de berekeningen uitgevoerd.

Alle bovenstaande methoden zijn voor de bemonsterde bomen van beide onderzoeksgebieden gebruikt en zijn berekend met het computerprogramma CAT. Dit programma kan worden opgestart met de CYBER van het ACCU.



**Figuur 4 Split Moving Window techniek (naar Braam e.a.,1987)**

**M: 'Mullion'**

### 4.3 MULTIVARIATE ANALYSES

De variaties tussen ringwijdtes worden onder andere door klimaatsfactoren bepaald. Er zullen bepaalde factoren zijn die een grotere invloed hebben op de groei van een boom dan andere. Het is daarom belangrijk om de verbanden te onderzoeken tussen de klimaatsfactoren en de ringwijdtes. Er wordt gebruik gemaakt van enkelvoudige correlaties (formule 11).

$$R_{x,y} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - M_x)(Y_t - M_y)}{(n-1)S_x S_y} \quad (11)$$

waarin:

$R_{x,y}$  = correlatie-coëfficiënt

$X_t$  en  $Y_t$  = gegevens van twee datasets, waarbij t de verschillende jaren aanduidt

$M_x, M_y$  = gemiddelde van de twee datasets

$S_x, S_y$  = standaard-deviaties van de twee datasets

n = aantal jaren

Klimaatsfactoren zullen in de regel variëren gedurende een jaar en zij zullen van zelf sprekend van invloed zijn op de groei van een boom. Zo zal het relatieve effect van de neerslag in de zomer een groter effect hebben op de groei van een boom dan de neerslag in de winter.

#### 4.3.1 Multiple regressie

Multiple regressie is een statistische procedure waarbij uiteindelijk in een vergelijking te zien is hoe groot het relatieve effect van elke klimaatsvariabele op de groei van de boom is. Deze statistische vergelijking kan men als volgt weergeven:

$$Y_t = b_0 + b_1 X_{1t} + b_2 X_{2t} + \dots + b_m X_{mt} \quad (12)$$

$Y_t$  = ringwijdte of ringwijdte-indices (afhankelijke variabelen), waarbij t de verschillende jaren aanduidt.

$b_1$  t/m  $b_m$  = (partiële) regressie-coëfficiënten

$X_1$  t/m  $X_m$  = klimaatsvariabelen (onafhankelijke variabelen), corresponderend met  $b_1$  t/m  $b_m$

$b_0$  = "intercept"

Men moet bij deze statistische berekening gegevens gebruiken die afkomstig zijn uit normaal verdeelde populaties.

Stapsgewijze multiple regressie kan gebruikt worden wanneer men uit veel klimaatsvariabelen slechts de belangrijkste(n) wil selecteren. De stapsgewijze multiple regressie procedure is als volgt:

\*1) Het berekenen van enkelvoudige correlaties tussen de klimaatsfactoren onderling en tussen de klimaatsfactoren (onafhankelijke variabelen) en de ringwijdtes (afhankelijke variabelen).

\*2) Het samenstellen van een vergelijking (regressielijn) tussen de hoogst gecorreleerde klimaatsfactor en de ringwijdtes. Met deze regressielijn wordt een deel van de totale ringwijdte-variantie verklaard.

\*3) Opnieuw vindt er een enkelvoudige correlatie plaats tussen de klimaatsfactoren onderling (zonder de factor die in de regressielijn is opgenomen) en tussen de klimaatsfactoren en de 'residual'-variantie van de ringwijdtes. De best gecorreleerde factor met de 'residual'-variantie van de ringwijdtes wordt toegevoegd tot de regressielijn. Deze vergelijking bestaat nu uit twee variabelen, die een groter deel van de totale ringwijdte-variantie zullen verklaren dan de regressielijn met één variabele.

\*4) Er zullen factoren tot de regressielijn worden toegevoegd, zolang de 'residual'-variantie van de ringwijdtes, met een significante hoeveelheid gereduceerd wordt. Om dit te bereiken wordt naar de verhouding tussen de gereduceerde variantie (door de toegevoegde factor) en de 'error'-variantie van de ringwijdtes gekeken. Indien de gereduceerde variantie kleiner is dan de 'error'-variantie wordt de stapsgewijze multiple regressie beëindigd.

Er zullen klimaatsfactoren zijn die elkaar in sterke mate beïnvloeden. Zo zal de temperatuur van invloed zijn op het feit of er neerslag in de vorm van regen of sneeuw valt en tevens zal deze de hoeveelheid water die uit de bodem verdampt, bepalen. Een ander voorbeeld; de lucht kan meer vocht bevatten wanneer de luchttemperatuur hoog is, en zal hierdoor een invloed hebben op de hoeveelheid neerslag. Tussen de klimaatsfactoren zullen dus onderling verbanden bestaan.

Wanneer bepaalde variabelen van het klimaat zowel een hoge onderlinge correlatie hebben als ook een hoge correlatie met de groei van de boom, zal er een vertekend beeld ontstaan in de enkelvoudige correlaties tussen die klimaatsvariabelen en de ringwijdtes. Een positieve correlatie tussen variabelen van een klimaatstelsel kan de correlatie tussen 'non-causal' klimaatsfactoren en boomgroei opblazen (versterken). Daarentegen kan er een afzwakking (deflatie) van de correlatie tussen (belangrijkste) 'causal' klimaatsfactoren en de groei plaatsvinden wanneer er een negatieve correlatie tussen klimaatsfactoren bestaat (Fritts, 1976).

Met behulp van het statistische computerprogramma, SPSSx (Statistical Package for Social Studies) is stapsgewijze multiple regressie uitgevoerd. Dit zowel voor Cluster 0 als Bois de Gaudessart. Dit programma is onder andere op de Cyber geïnstalleerd.

#### 4.3.2 Regressie na Principle Components- of Factor analyse

Klimaatsvariabelen kunnen op een dusdanige manier getransformeerd worden dat er een nieuwe dataset ontstaat waarvan de variabelen onderling niet gecorreleerd zijn. Dit komt doordat de assen (eigenvectoren of principle components) waarlangs de klimaatsvariabelen getransformeerd worden loodrecht op elkaar staan. De transformatie verloopt op de volgende wijze:

$$Y_1 = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \dots \quad (13)$$

waarin:  $\alpha$ 's coëfficiënten zijn van de klimaatsvariabelen (X) van de eerste eigenvector.

Hier loodrecht op staat de vergelijking:

$$Y_2 = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots \quad (14)$$

waarin:  $\beta$ 's coëfficiënten zijn van de klimaatsvariabelen (X) van de tweede eigenvector.

Er zijn evenveel eigenvectoren als variabelen, welke allen loodrecht op elkaar staan. Elke eigenvector heeft een eigenwaarde, hetgeen de vectorlengte aangeeft. Dit geeft aan hoeveel variantie er in de desbetreffende eigenvector aanwezig is, ten opzichte van de totale variantie. De eerste eigenvector verklaart de meeste variantie van de totale variantie binnen de klimaatsvariabelen. De tweede eigenvector verklaart minder variantie dan de eerste; de derde weer minder dan de tweede, enzovoort. Omdat de eigenvectoren loodrecht op elkaar staan is de verklaarde variantie per eigenvector cumulatief.

Factor-analyse is een statistische techniek die in principe gelijk is aan de Principle Components-Analysis. Het enige verschil is dat de berekening van de eigenwaarden en eigenvectoren op een andere manier plaatsvindt. De berekening van de eigenwaarden en eigenvectoren vindt plaats met een gestandaardiseerde variantie-covariantie (correlatie) matrix. In figuur 5 en 6 is te zien hoe de data van twee variabelen zich bij het standaardiseren over eenzelfde 'range' verspreiden. De eigenvectoren worden dus in een genormaliseerde vorm berekend en geven een lengte-eenheid (eigenwaarde) weer. In plaats van Principle Components-vectoren noemt men de vectoren: Factoren (zie figuur 7).

Het uiteindelijke doel van Principle Components en Factor-analyse is om uit een grote dataset de belangrijkste variabelen te selecteren die de grootste variantie binnen de dataset verklaren.

Wanneer men de eigenvector- (figuur 8) of factor-matrix vermenigvuldigt met genormaliseerde klimaatdata verkrijgt men een nieuwe klimaatdata-matrix, de zogenaamde amplitude-score (zie formule 15).



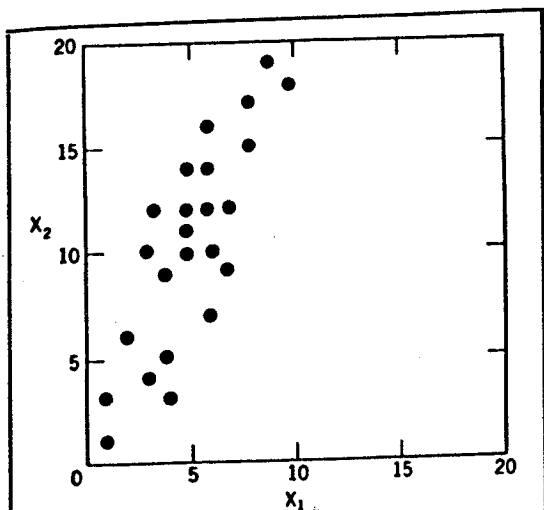


FIGURE 5 - Data set to show effect of standardization. Raw data have means of  $\bar{X}_1 = 5$  and  $\bar{X}_2 = 10$ .

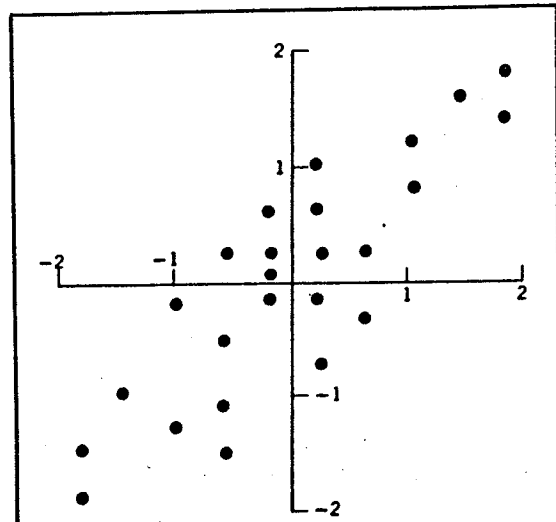


FIGURE 6 - Data from Figure 5: standardized to have zero means and unit standard deviation. Note that both variables now cover same range.

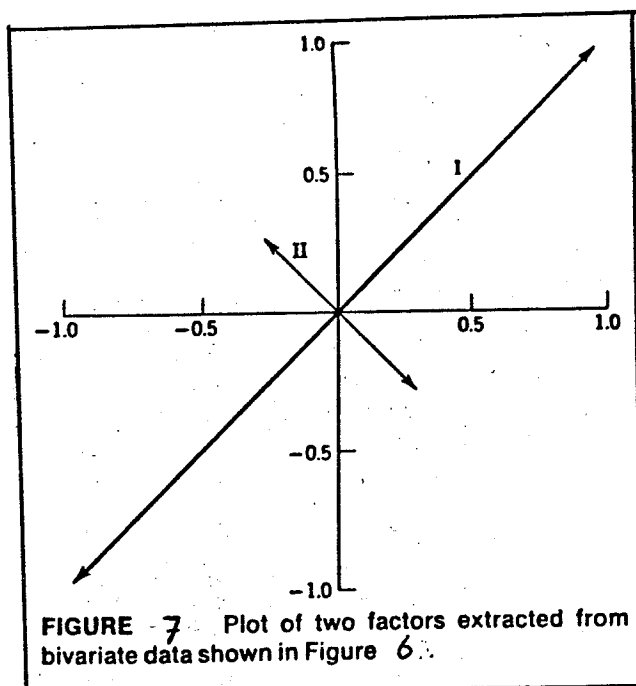


FIGURE 7 - Plot of two factors extracted from bivariate data shown in Figure 6.

(naar Burrough, 1985)

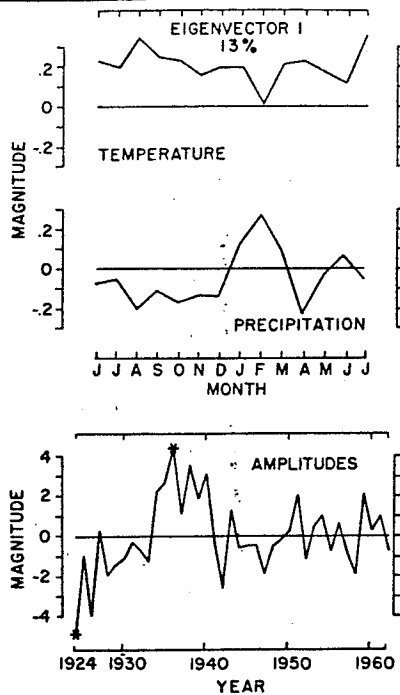


FIG. 8a. Plot of the magnitudes of the elements of the first and most important eigenvector of Mesa Verde climate, which reduces 13% of the climatic variance, and the corresponding amplitude set. The eigenvector elements for temperature are all the same sign, and the corresponding signs for 10 elements for precipitation have the opposite sign. This arises because temperatures throughout the 14-month period are somewhat positively correlated with each other, but they are negatively correlated with precipitation for 10 out of 14 months. The eigenvector is multiplied with normalized climatic data to obtain the amplitude set. Asterisks mark those elements with the largest positive and negative values indicating the most resemblance of the climatic regime for the year to that particular eigenvector (see Fig. 8b).

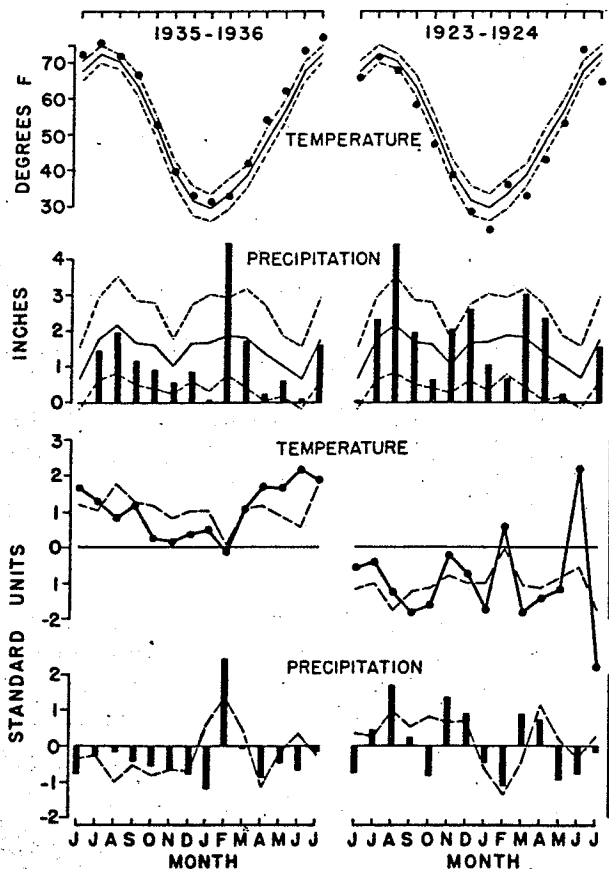


FIG. 8b. The values for average monthly precipitation and monthly temperature at Mesa Verde for two 14-month periods, one for 1935-1936 and one for 1923-1924, which are arranged as 28 variables for calculating the principal components. The points and bars in the upper half of the figure represent the actual values for temperature and precipitation, respectively. The solid lines indicate the mean for the entire record for 1923-1962; the dashed lines designate distances of plus and minus one standard deviation from the means. The data in the lower half of the figure are normalized and plotted as standard units ( $z$ , Equation 1b). The lines in the lower portion of the figure represent the values for the elements of eigenvector 1 in its positive and negative representations. (haar Fritts, 1976)

$${}_m X_n = {}_m E_m Z_n \quad (15)$$

$X$  = amplitude-score  
 $E$  = eigenvectoren of factoren  
 $Z$  = genormaliseerde data  
 $m$  = aantal 'rows' in de matrix  
 $n$  = aantal 'columns' in de matrix

Normaliseren (zie formule 16) is alleen verantwoord wanneer de data normaal verdeeld zijn.

$$Z_t = \frac{Y_t - M_x}{S_x} \quad (16)$$

$Z_t$  = genormaliseerde data  
 $Y_t$  = data (per jaar)  
 $M_x$  = gemiddelde van de data  
 $S_x$  = standaard-deviatie van de data

Een stapsgewijze multiple regressie-analyse wordt gebruikt om een verband te leggen tussen de amplitudes van de eigenvectoren (of factoren) met de groei. In matrix-vorm kan men de multiple regressie vergelijking als volgt weergeven:

$${}_1 P_n = {}_1 R_p X_n \quad (17)$$

$P$  = ringwijdtes-indexen  
 $R$  = regressie-coëfficiënten  
 $X$  = eigenvectoren (of factoren)-matrix van de amplitudes (amplitude-scores)  
 $n$  = aantal jaren  
 $p$  = aantal eigenvectoren of factoren

De regressie-coëfficiënten geven het relatieve verband van elke amplitude met de ringwijdte-indexen aan. Omdat het moeilijk is de amplitude-scores te interpreteren, worden de regressie-coëfficiënten, die geassocieerd zijn met de amplitudes, omgezet in respons-coëfficiënten. Deze nieuwe coëfficiënten drukken dezelfde relatie uit maar zijn geassocieerd met de originele klimaatsvariabelen in tegenstelling tot de eigenvectoren-amplitudes. Na substitutie van (15) en (17) ziet de relatie in matrix-vorm er als volgt uit:

$${}_1 P_n = {}_1 T_m Z_n = {}_1 R_p E_m Z_n \quad (18)$$

$T$  = respons-coëfficiënten  
 $Z$  = genormaliseerde data  
 $R$  = regressie-coëfficiënten  
 $E$  = eigenvectoren (of factoren)

Met de respons-coëfficiënten kan men respons-functies opstellen die in figuur 9 zijn weergegeven. Hierin zijn vijf verschillende respons-functies te zien. Deze worden berekend met de stapsgewijze multiple regressie. In de bovenste respons-functie is een amplitude gebruikt die het best gecorreleerd is met de ringwijdte-indexen. In dit voorbeeld is de amplitude afgeleid van de eerste eigenvector. De regressie-coëfficiënt, berekend volgens formule 17, wordt vermenigvuldigd met de waarde van de eerste eigenvector met als resultaat een respons-functie die in dit geval 36% van de totale groei-variantie bepaald.

Wanneer de respons-functie zich onder de nullijn bevindt, bestaat er een inverse invloed van de corresponderende klimaatsvariabele met de groei. Er bestaat een positieve invloed indien de functie zich boven de nullijn begeeft. De verticale strepen in figuur 9 geven de 95% betrouwbaarheids-grenzen weer. Wanneer deze grenzen de nullijn raken of snijden veroorzaakt de desbetreffende klimaatsvariabele geen invloed (respons) op de groei van de boom.

In de tweede respons-functie worden drie amplitudes gebruikt die volgens de stapsgewijze multiple regressie het best gecorreleerd zijn met de indices. De gerelateerde regressie-coëfficiënten worden vermenigvuldigd met de bijbehorende eigenvectoren. Vervolgens worden de drie produkten voor elke afzonderlijke klimaatsvariabele gesommeerd met als gevolg een respons-functie die 67% van de totale groei-variantie verklaard. In figuur 9 is te zien dat er ook respons-functies zijn opgesteld voor 7, 12 en 20 amplitudes, die respectievelijk 78%, 85% en 97% van de totale groei-variantie verklaren.

De klimaatsdata zijn geanalyseerd met behulp van een Factor-analyse. Het hierbij gebruikte computerprogramma is wederom SPSSx. Vanwege de hoeveelheid beschikbare tijd is het niet mogelijk gebleken de factoren aan een stapsgewijze multiple regressie-analyse te onderwerpen.

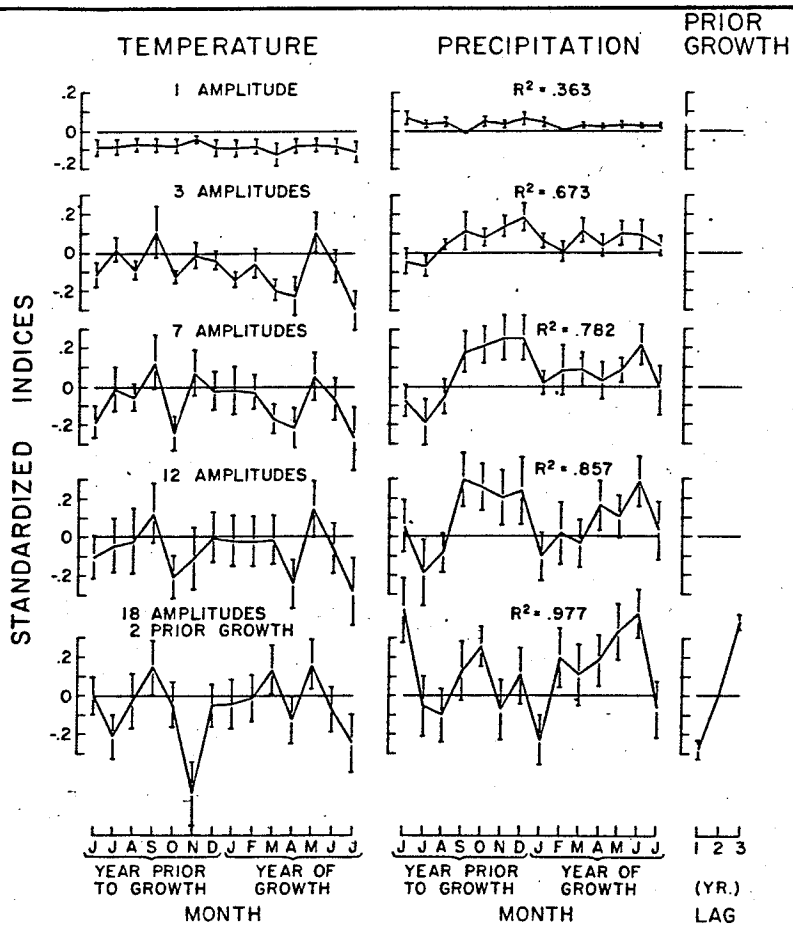
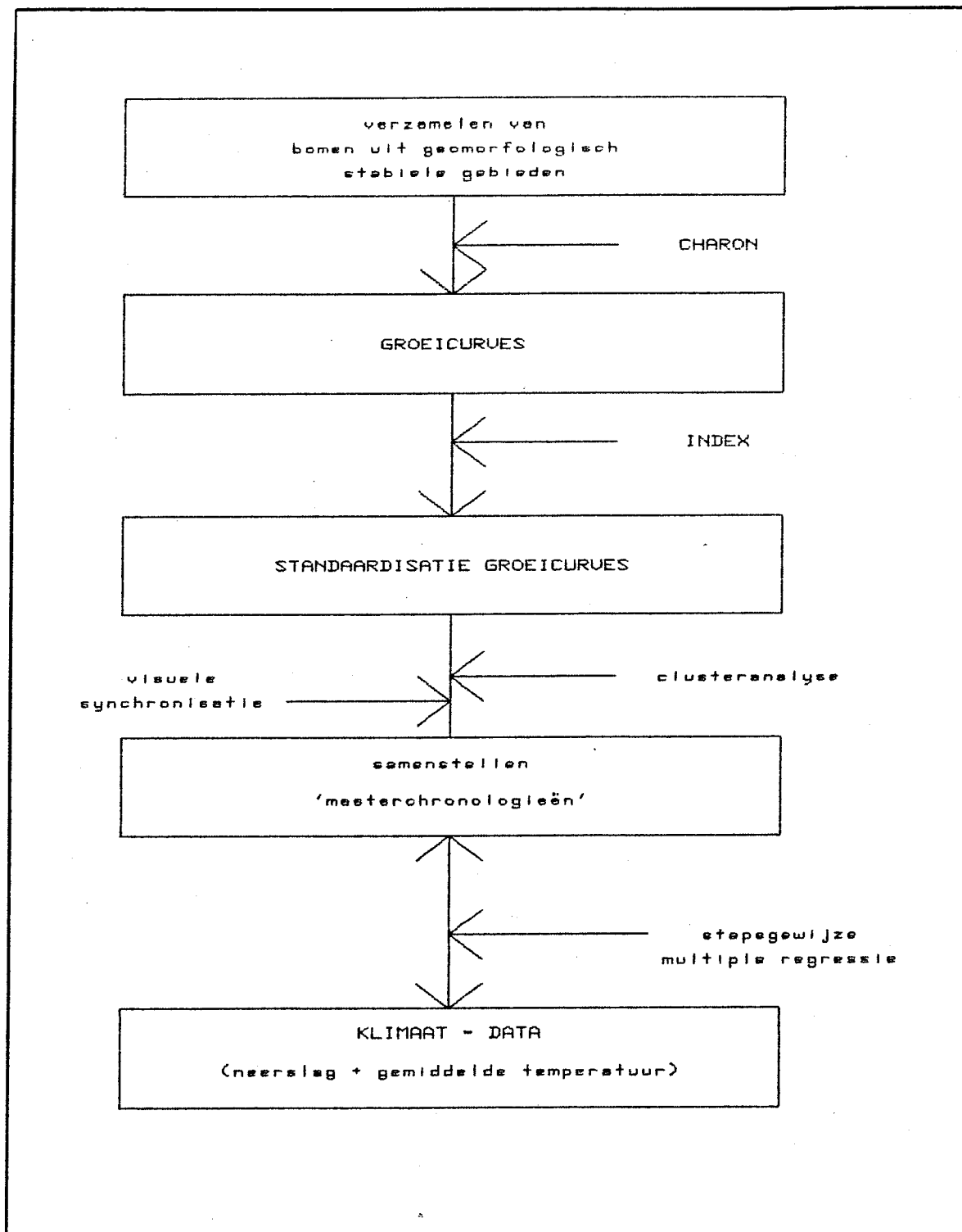


FIG. 9. Response functions obtained from a stepwise regression analysis using amplitudes of eigenvectors and prior growth to estimate a ring-width chronology representing six *Pinus ponderosa* sites along the lower slopes of the Rocky Mountains, Colorado. Steps with 1, 3, 7, 12, and 20 predictor variables are shown. The regression coefficients for amplitudes,  $R_p$ , are converted to response functions,  $T_m$  (Equation 18), along with the approximate  $\pm 0.95$  confidence limits. When response functions are complex, as in this example, a linear combination of many eigenvectors is needed to obtain the best-fitting relationship. Prior growth was entered into regression after the step with 12 variables. The percent variance reduced can be calculated by multiplying the  $R^2$  by 100. (naar Fritts, 1976)

#### 4.4 WERKWIJZE

Resumerend volgt hieronder schematisch de werkwijze die bij het onderzoek is gevolgd.



## HOOFDSTUK 5

### RESULTATEN

#### 5.1 Fysisch geografische karakteristieken van de beide onderzoeksgebieden

De boommonsters zijn op twee plaatsen in de omgeving van Barcelonnette genomen. Het betreft gebieden met een geomorfologisch, stabiel karakter. Hieronder volgen de belangrijkste karakteristieken van de twee gebieden.

##### - CLUSTER 0

locatie: zuidelijke dalwand van het bekken van Barcelonnette  
hoogteligging: 1300-1400m  
terreinhelling: 20°  
expositie: zuid-west  
gesteente: terres-noires met morene-dek (2-5 m)  
boomsoorten: Pinus sylvestris  
bedekkingsgraad: 50%

##### - BOIS DE GAUDESSART

locatie: noordelijke dalwand  
hoogteligging: 1200 m  
terreinhelling: 0-2° (subhorizontaal plateau)  
expositie: noord  
gesteente: terres noires met morene-dek  
boomsoorten: Pinus sylvestris en Larix decidua  
bedekkingsgraad: 30% (sporen van kap aanwezig)

Het aantal bemonsterde bomen voor de gebieden Cluster 0 en Bois de Gaudessart bedraagt respectievelijk 20 en 19. In elke boom zijn twee monsters genomen (volgens figuur 2). In totaal zijn er dus 78 monsters genomen. De tijdseries zijn in de bijlage van Verhaagen (1988) opgenomen.

## 5.2 Eccentriciteits-, event-respons index curves en powerspectra.

In de bijlage van Verhaagen (1988) zijn tevens de eccentriciteits-curves van beide onderzoeksgebieden weergegeven. De gebruikte opties bij de bepaling van de significante eccentriciteits-verandering zijn voor de venster-breedte, 'mullion' en kritische t-waarde respectievelijk 5, 1 en 4.6 (significantie: 99%). In Cluster 0 overschrijden 13 van de 20 bomen de kritische t-waarde. In Bois de Gaudessart is dit het geval met 10 van de 19 bomen (bijlage II).

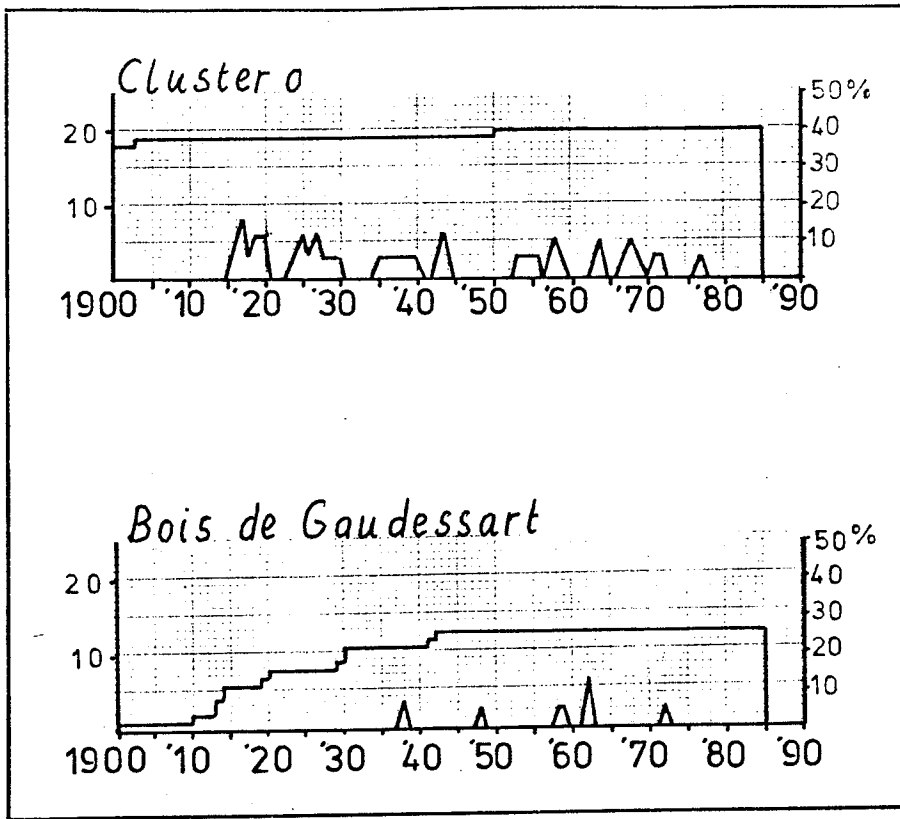
In figuur 10 zijn de event-respons index curves van Cluster 0 en Bois de Gaudessart afgebeeld. In Cluster 0 zijn er tien respons perioden aan te wijzen, waarvan het gemiddelde registratie-percentages 10% bedraagt. Het gevolg hiervan is dat gemiddeld slechts twee van de twintig bomen invloed ondervinden van massabewegings-processen gedurende de perioden die corresponderen met de pieken in de event-respons index curve.

In Bois de Gaudessart hebben massabewegingen nagenoeg geen invloed. Dit gezien het feit dat Bois de Gaudessart op een subhorizontaal-plateau ligt en de meeste bomen een rechte stam hebben. Zoals hierboven is vermeld vertonen negen bomen toch een significante eccentriciteits-verandering. Hiervan zijn er zes niet in de event-respons index curve opgenomen omdat bij deze bomen 'extreem' hoge eccentriciteits-veranderingen aanwezig zijn. Zo bestaat de event-respons index curve in Bois de Gaudessart uit dertien bomen. De index-curve vertoont een paar kleine piekjes met een gemiddeld registratie-percentages van 5%. Gesteld kan worden dat de intensiteit laag is.

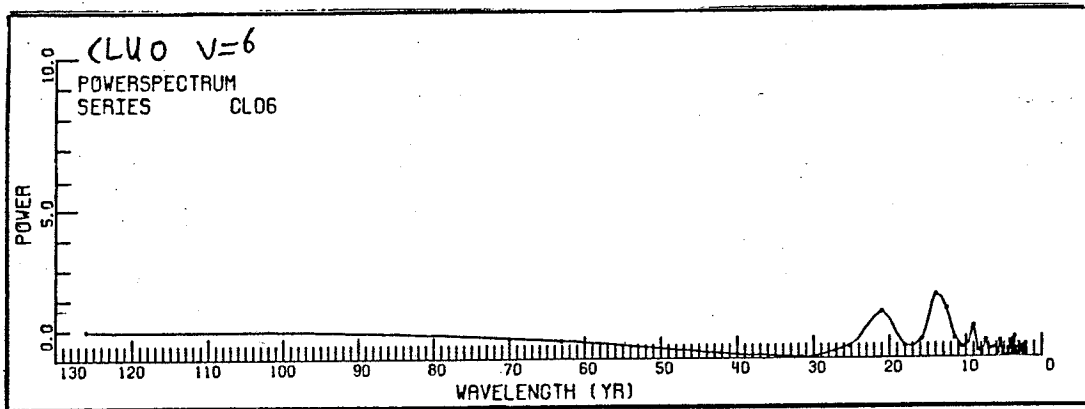
De beide event-respons index curves zijn met behulp van een Fourier-analyse onderzocht op een eventuele cycliciteit. 2% van de bomen van Cluster 0 vertoont een cycliciteit van 14 jaar. Een tweede piek met een cycliciteit van 21 jaar is aanwezig bij 1.7% van de totale populatie (figuur 11). Bij Bois de Gaudessart is een piekje van 1% te zien, met een cycliciteit van 11 jaar (figuur 12). Waarschijnlijk geven de lage percentages in de powerspectra 'ruis' weer, dit gezien het geomorfologisch, stabiele karakter van beide onderzoeksgebieden.

De studie van signaal/ruis verhoudingen in relatie tot massabewegingen valt echter buiten het kader van het uitgevoerde onderzoek.

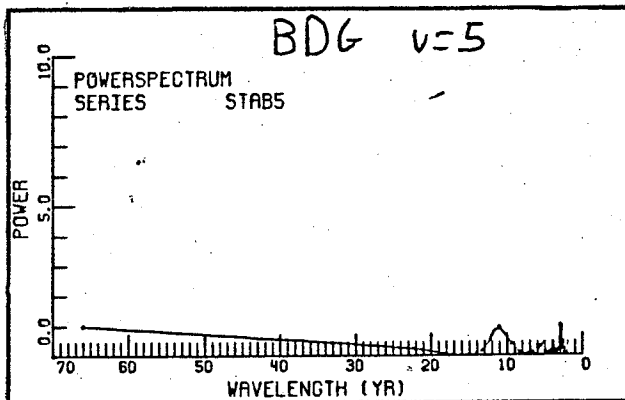




Figuur 10 Event-respons index curve van Cluster 0 en Bois de Gaudessart



Figuur 11 Powerspectrum van Cluster 0



Figuur 12 Powerspectrum van Bois de Gaudessart

### 5.3 'Crossdating' en variantie-analyse van de somcurve

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van twee 'crossdating'-technieken, te weten clusteranalyse en visuele synchronisatie. Er is getracht zowel in Cluster 0 als in Bois de Gaudessart zoveel mogelijk monsters te synchroniseren, hetgeen leidt tot een somcurve voor beide gebieden. Aan de hand van de variantie-analyse is nagegaan of de synchronisatie geslaagd is. Omdat het jaar van de monstername (1985) bekend is, is de somcurve absoluut gedateerd. Hieronder volgen de resultaten van de twee 'crossdating'-technieken.

#### 5.3.1 Clusteranalyse van Cluster 0

Bij deze analyse zijn de correlaties en de t-waarde ingesteld op respectievelijk 0.5 en 5.0. De overlap (optie: 'lap') tussen beide monsters bedraagt 90. In bijlage III staan de geclusterde monsters vermeld van Cluster 0.

De clusteranalyse, volgens methode 1 (zie hoofdstuk 4.1.3), resulteert voor de monsters van Cluster 0 in een groep van 10 monsters en twee groepen van 2 monsters.

Stapsgewijs is in bijlage III te zien hoe de monsters geclusterd zijn. Bij de eerste stap van de gebruikte clustermethode worden de tijdseries t.o.v. elkaar verschoven waarbij telkens de correlatie bepaald wordt. De twee monsters met de hoogste correlatie worden geclusterd waarbij in een getallen-tabel te zien is *hoe de monsters geclusterd zijn*.

Bij Cluster 0 zijn ovl19 en ovl20 de monsters met de hoogste correlatie. Aan de 'tweën' in de tabel kan men zien dat de twee monsters precies op elkaar aansluiten. De laatste 'twee' correspondeert met het jaar van de monstername, 1985.

In de tweede stap wordt boommonster ovl45 geclusterd, omdat dit monster de hoogste correlatie heeft met de gemiddelde waarde van ovl19 en ovl20. De 'enen' in het begin van de getallen-tabel duiden erop dat boom ovl45 ouder is dan de bomen ovl19 en ovl20. De één op het eind (in de getallen-tabel) laat één jaar positieverschuiving van ovl45 t.o.v. ovl19 en ovl20 zien. Dit jaar komt overeen met het (fictieve) jaar 1986.

In de daaropvolgende stappen zijn telkens de nog niet geclusterde monsters dusdanig gepositioneerd dat ze de hoogste correlatie met de gemiddelde waarde van de al geclusterde monsters hebben. Hierbij moeten de boommonsters steeds voldoen aan de ingestelde correlatie en t-waarde limieten. Van de 10 geclusterde bomen van Cluster 0 'eindigen' 4 monsters in 1985 en 6 monsters in 1986.

Met variantie-analyse wordt o.a. gekeken hoe groot het gemeenschappelijk signaal [VC(Y)] is onder de geclusterde monsters. Bij deze analyse zijn de monsters gecorrigeerd zodat de uiteinden van de tijdseries (jongste jaarringen) precies op elkaar 'passen'. Dit is bereikt na het verwijderen van de laatste jaarring (1986) van de bovengenoemde 6 monsters. In tabel 2 en 3 staan de resultaten van de variantie-analyse (periode 1900-1985) vermeld voor respectievelijk de gehele Cluster 0 (38 monsters) en de bovengenoemde 10 geclusterde monsters. Hierin is te zien dat het gemeenschappelijke signaal voor alle monsters 26% bedraagt en voor de 10 geclusterde monsters 20%.

Door dit 'slechte' resultaat is verder geen clusteranalyse voor Bois de Gaudessart toegepast.

bron van variantie	variantie-component (%)
'mean indices in total chronology'	25.9%
'chronologies of trees in groups'	50.3%
'chronologies of core classes'	0.2%
'chronologies of cores with trees in groups'	23.4%

Tabel 2 : Variantie-analyse van alle bomen van Cluster 0 (zie bijlage IVa)

bron van variantie	variantie-component (%)
'mean indices in total chronology'	19.9%
'chronologies of trees in groups'	38.6%
'chronologies of core classes'	6.8%
'chronologies of cores with trees in groups'	34.5%

Tabel 3: Variantie-analyse van de tien geclusterde monsters van Cluster 0 (zie bijlage IVb)

### 5.3.2 Visuele synchronisatie

Aan de hand van de geïndexeerde groeicurves is getracht de monsters visueel te synchroniseren. Hierbij is gebruik gemaakt van een lichtbak op de kartografische tekenzaal. Tevens is getracht 'valse' en 'missende' jaarringen op te sporen met behulp van 'signature'-jaren. Omdat de velletjes waarop de geïndexeerde groeicurves staan afgebeeld enigszins transparant zijn, vergemakkelijkt de lichtbak het synchroniseren van de groeicurves. Met behulp van de variantie-analyse (ANOVA) is gekeken of de synchronisatie geslaagd is.

Alle mogelijkheden (combinaties van groeicurves) zijn nagegaan voor zowel Cluster 0 als Bois de Gaudessart. Hieronder (tabel 4 en 5) volgt een overzicht van de belangrijkste gesynchroniseerde somcurves met de corresponderende gemeenschappelijke variantie [VC(Y)] tussen de geïndexeerde groeicurves.

De ANOVA-periode van Cluster 0 is van 1925-1985; die van Bois de Gaudessart van 1945-1985. In verband met de ouderdom van de jongste bomen (ongeveer 45 jaar) van het laatstgenoemde onderzoeksgebied is deze periode gekozen. Voor Cluster 0 is getracht voor een periode van twee klimaatcycli (60 jaar) een 'master-chronologie' samen te stellen. De bomen in dit onderzoeksgebied zijn gemiddeld 40 jaar ouder, namelijk 100 jaar.

monsters van de somcurve	gemeenschappelijke variantie	monsters van de somcurve	gemeenschappelijke variantie
ov 119/120 ov 123/124 ov 129/130 ov 131/132 ov 133/134 ov 135/136	63.5%	ov123/124 ov129/130 ov131/132 ov133/134 ov135/136	68%
ov123/124 ov129/130 ov131/132 ov133/133 ov135/136 ov141/142	60%	ov129/130 ov131/132 ov133/143 ov135/136	69%

Tabel 4: Overzicht van het gemeenschappelijke signaal voor de belangrijkste, gesynchroniseerde somcurves van Cluster 0

monsters van de somcurve	gemeenschappelijke variantie	monsters van de somcurve	gemeenschappelijke variantie
ov296/297 ov300/301 ov302/303 ov304/305 ov306/307	54.6%	ov300/301 ov302/303 ov304/305	58%
ov296/297 ov300/301 ov302/303 ov304/305	57%	ov296/297 ov300/301 ov302/303 ov304/305 ov306/307 ov320/321	49%

Tabel 5: Overzicht van het gemeenschappelijke signaal voor de belangrijkste, gesynchroniseerde somcurves van Bois de Gaudessart

Uiteindelijk is er verder gerekend met de somcurves van Cluster 0 en Bois de Gaudessart die respectievelijk 63.5% en 54.6% gemeenschappelijke variantie hebben. In beide masterchronologieën zijn geen valse of missende jaarringen gevonden. De overige variantie-componenten (bijlage Va en Vb) die verantwoordelijk zijn voor de totale variantie in de samengestelde somcurve zijn:

bron van variantie	variantie-component (%)
mean indices in total chronology	63.5%
chronologies of trees in groups	17.7%
chronologies of core classes	-
chronologies of cores with trees in groups	19.5%

Tabel 6: Variantie-componenten (procentueel) van de 'master-chronologie' voor Cluster 0

bron van variantie	variantie-component (%)
mean indices in total chronology	54.6%
chronologies of trees in groups	21.3%
chronologies of core classes	1.1%
chronologies of cores with trees in groups	22.9%

Tabel 7: Variantie-componenten (procentueel) van de 'master-chronologie' voor Bois de Gaudessart

#### 5.4 Statistische parameters van de somcurves

In bijlage Va en Vb zijn tevens de ringwijdtes en de gestandaardiseerde ringwijdtes van de monsters opgenomen, die deel uit maken van de 'masterchronologieën' van Cluster 0 en Bois de Gaudessart. In de bijlagen is te zien dat de twee monsters uit een boom eerst tot paren worden gekoppeld. Van deze paren zijn de volgende statistische parameters bepaald:

- gemiddelde indices
- 'sum of square' van de indices
- standaard-deviatie en variantie van de geïndexeerde waarden
- gevoeligheid ('sensitivity')
- standaard-fout
- standaard-fout als functie van de gemiddelde index-waarde, waarvan de lijnen in figuur 14 en 15 te zien zijn.
- eerste-orde autocorrelatie

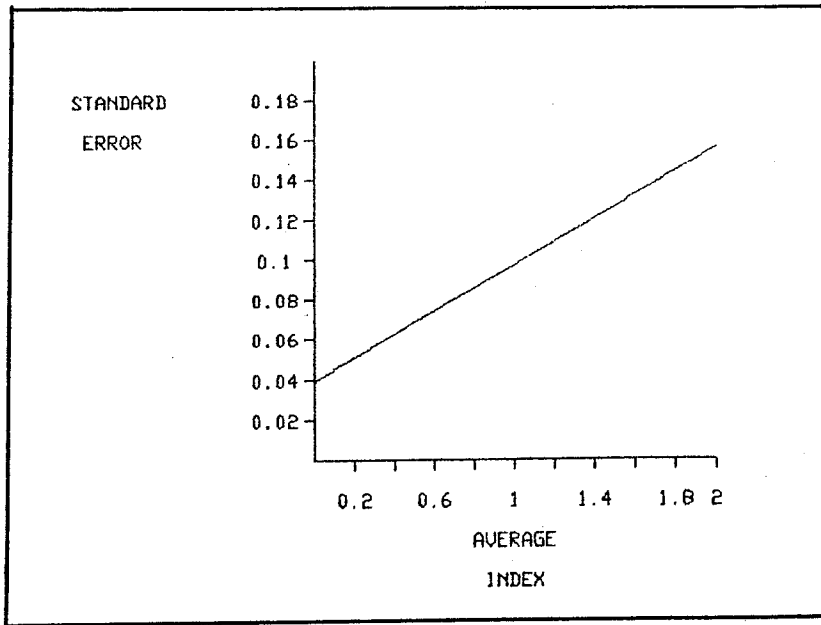
Deze statistische parameters zijn tevens bepaald voor de 'masterchronologieën'. Voor elk afzonderlijk jaar is de index, standaard-fout, standaard-deviatie, variantie, gevoeligheid, 'square of index', aantal items en 'sum of square of indices' berekend.

In tabel 8 en 9 is de gemiddelde standaard-fout uitgezet van de 'masterchronologieën' van Cluster 0 en Bois de Gaudessart. De standaard-fout is te wijten aan de variantie tussen de bomen, [VC(YT)] en de variantie tussen de boommonsters per boom [VC(YTC)]. De variantie-component [(YC)] van de beide somcurves is te verwaarlozen. Wanneer men deze variantie-componenten in formule 7 invult krijgt men:

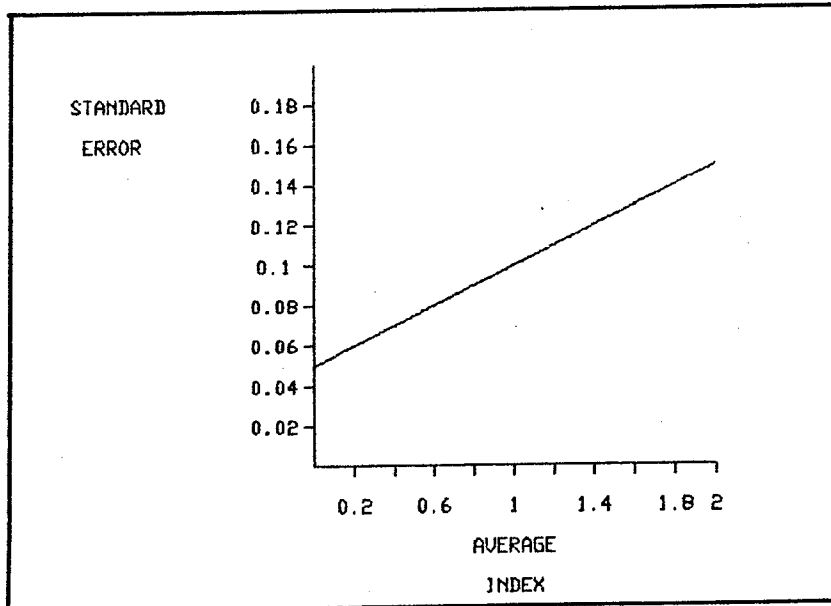
$$SE = \left( \frac{VC(YT)}{t} + \frac{VC(YTC)}{ct} \right)^{1/2} \quad (19)$$

waarin: t = aantal bomen  
c = aantal monsters per boom

In tabel 8 en 9 is de gemiddelde standaard-fout van beide somcurves bij verschillende waarden van t en c uitgezet. Tevens is in tabel 8 en 9 een schatting gemaakt van de hoeveelheid bomen en monsters die er nodig zijn wanneer de standaard-fout gereduceerd wordt tot 0.050 of minder. Bij een standaard-fout van 0.050 ligt het werkelijke gemiddelde van de populatie binnen een afstand van  $2 * SE$  van het steekproefgemiddelde met een betrouwbaarheid van 95%.



Figuur 14    Standaard-fout als functie van de gemiddelde index-  
waarde van Cluster 0



Figuur 15    Standaard-fout als functie van de gemiddelde index-  
waarde van Bois de Gaudessart



aantal monsters per boom

aantal bomen	1	2	3	4
12	0.108	0.093	0.087	0.084
35	0.063	0.054	0.051	0.049
37	0.061	0.053	0.049	0.048
42	0.057	0.049	0.046	0.045
57	0.049	0.043	0.040	0.038

Tabel 8: Schatting van het aantal bomen en monsters voor Cluster 0 wanneer de berekende standaard-fout gereduceerd wordt tot 0.050 of minder

aantal monsters per boom

aantal bomen	1	2	3	4
10	0.112	0.096	0.090	0.087
31	0.063	0.054	0.051	0.049
34	0.060	0.052	0.049	0.047
38	0.057	0.049	0.046	0.045
51	0.049	0.042	0.040	0.038

Tabel 9: Schatting van het aantal bomen en monsters voor Bois de Gaudessart wanneer de berekende standaard-fout gereduceerd wordt tot 0.050 of minder

### 5.5 (Auto)correlatie-analyse van de 'masterchronologieën' van Cluster 0 en Bois de Gaudessart

In bijlage VI zijn de geïndexeerde 'masterchronologieën' van Cluster 0 en Bois de Gaudessart opgenomen. De waarden zijn voor de periode 1956-1980 weergegeven, omdat de klimaatdata slechts van deze periode voorhanden zijn. De gemiddelden van de tijdseries bedragen respectievelijk 80 (index: 0.8) en 92 (index: 0.92); de geïndexeerde standaard-deviaties zijn 0.16 en 0.34. De correlatie tussen de geïndexeerde somcurves voor deze periode is ongeveer 0.4 met een significantie van 97%.

Tevens zijn de autocorrelatie-coëfficiënten ('lag'1 t/m 23) van deze tijdseries in bijlage VI opgenomen. De eerste-orde autocorrelaties van Cluster 0 en Bois de Gaudessart zijn respectievelijk 0.48 en 0.69. Hierdoor wordt de effectieve populatie-grootte voor beide somcurves:

$$n^* = 25 \frac{1 - 0.48}{1 + 0.48} = 8 \text{ jaar voor Cluster 0}$$

$$n^* = 25 \frac{1 - 0.69}{1 + 0.69} = 4 \text{ jaar voor Bois de Gaudessart}$$

## 5.6 Multivariate analyse

### 5.6.1 Stapsgewijze multiple regressie-analyse

Er is zowel voor Cluster 0 als Bois de Gaudessart een stapsgewijze multiple regressie-analyse uitgevoerd. De indices van de beide 'masterchronologieën' zijn hierbij als afhankelijke variabelen gebruikt. De onafhankelijke variabelen zijn de neerslagdata en de gemiddelde temperatuur voor elke maand van het jaar. In totaal zijn er dus 24 klimaatsvariabelen. De klimaatsdata zijn gemeten bij het vliegveld van Barcelonnette over een tijdsperiode van 1956-1980.

In bijlage VIIa staan de resultaten van de stapsgewijze multiple regressie-analyse voor Cluster 0. De procedure bestaat uit één stap, waarbij de neerslag in februari (feb) van significante betekenis is voor de groei van de boom. De correlatie-coëfficiënt (R) tussen de ringwijdte-indices en de neerslag in februari over de periode 1956-1980 bedraagt 0.41 met een significantie van 96%. Met deze maand wordt 13% ( $R^2$ ) van de totale groei-variantie tussen de indices verklaard. De regressielijn ziet er als volgt uit:

$$Y = 76.8 + 0.002 X_1$$

waarin: Y = ringwijdte-indices  
X<sub>1</sub> = februari-neerslag

De resultaten van de stapsgewijze multiple regressie-analyse van Bois de Gaudessart zijn in bijlage VIIb te zien. De procedure bestaat uit twee stappen, waarbij achtereenvolgens de gemiddelde temperatuur van november (nov1) en de februari-neerslag in de regressielijn zijn opgenomen. Deze twee onafhankelijke variabelen verklaren 44% ( $R^2$ ) van de totale groei-variantie. De volgende regressielijn is samengesteld:

$$Y = 44.6 + 0.007 X_1 + 1.37 X_2$$

waarin: X<sub>1</sub> = februari-neerslag  
X<sub>2</sub> = gemiddelde temperatuur in november

## 5.6.2 Factor-analyse

In bijlage VIII zijn de factor-matrix en de eigenwaarden voor elke factor weergegeven, aangevuld met de verklaarde variantie en cumulatieve variantie hiervan. Alleen factoren met een eigenwaarde groter dan 1.00 zijn in de factor-matrix opgenomen. In deze matrix zijn voor negen factoren de zogenaamde factor 'loadings' van alle variabelen te zien. Dit is de correlatie-coëfficiënt tussen de corresponderende variabele en de factor. Wanneer men de 'loadings' kwadrateert kan men een inzicht krijgen in het percentage variantie dat door de corresponderende variabele wordt verklaard in die factor. De som van alle 'loadings' in het kwadraat per factor is gelijk aan de eigenwaarde van die factor.

De eigenwaarde van factor 1 is 4.9. Factor 1 verklaart 20.8% van de totale aanwezige variantie binnen de klimaatsvariabelen. Het aandeel van de januari-neerslag en gemiddelde maart-temperatuur in factor 1 is:

$$\frac{0.58^2}{4.9} = 6.8\% \quad (\text{januari-neerslag})$$

$$\frac{0.97^2}{4.9} = 19.2\% \quad (\text{gemiddelde maart temperatuur})$$

De neerslag in maart en de gemiddelde temperatuur in maart, april en mei hebben een hoge, positieve correlatie met de eerste factor. De tweede factor staat hier loodrecht op, en is daarom onafhankelijk van de eerste. In de tweede factor zijn de neerslag en de gemiddelde temperatuur in augustus respectievelijk negatief en positief (hoog) gecorreleerd.

Vanwege de hoeveelheid beschikbare tijd is het niet mogelijk geweest de factoren te onderwerpen aan de stapsgewijze multiple regressie-analyse. Voorafgaand aan deze analyse moeten de factoren eerst met de genormaliseerde klimaat-data vermenigvuldigd worden (zie formule 15).

Met de 'communality' wordt voor elke variabele aangegeven hoe groot het totale aandeel (procentueel) is in de negen factoren.

## HOOFDSTUK 6

### DISCUSSIE en CONCLUSIES

#### 6.1 Interpretatie van de event-respons index curves

##### 6.1.1 Cluster 0

In de periode van 1915 tot 1945 zijn de pieken groter (gemiddeld ongeveer 5%) dan na deze periode (1945-1985). Het gemiddelde registratie-percentages in de event-respons index curve bedraagt 10%. Omdat Cluster 0 uit twintig bomen bestaat zal de invloed van massabewegings-processen in de beide bovengenoemde perioden niet significant van elkaar verschillen. In het onderzoeksgebied heeft een lage intensiteit aan massabewegings-processen plaatsgevonden. Deze conclusie is conform de veldwaarnemingen.

##### 6.1.2 Bois de Gaudessart

Het gemiddelde registratie-percentages in Bois de Gaudessart is 5% voor een populatie van 13 bomen. Hierdoor vertonen de piekjes in de event-respons index curve wederom een zeer lage intensiteit. Toch hebben de zes bomen die niet in de event-respons index curve zijn opgenomen een hoge excentriciteitsverandering. Het lijkt aannemelijk dat dit niet het gevolg is van massabewegings-processen, omdat Bois de Gaudessart op een plateau ligt en de bomen een rechte stam hebben.

In dit onderzoeks-gebied zijn echter sporen van kap aanwezig. Wanneer bomen in een bos worden gekapt, zal de hoeveelheid licht voor de overblijvende bomen toenemen, hetgeen bevorderlijk is voor de groei. Indien de lichtintensiteit rondom een boom in alle richtingen even groot is, zullen er geen excentrische ringen ontstaan. Dit gebeurt wel wanneer de toename van de lichtintensiteit slechts aan een kant plaatsvindt. De produktie van voedings- en groeistoffen zal aan deze kant van de boom toenemen, met als gevolg de ontwikkeling van excentrische jaarringen. De hoge excentriciteitsverandering van de zes bomen in Bois de Gaudessart lijkt naar alle waarschijnlijkheid samen te hangen met dit verschijnsel.

## 6.2 Interpretatie van de 'cross-dating' technieken aan de hand van variantie-analyses

### 6.2.1 Clusteranalyse

Voor de tien, volgens methode 1 (hoofdstuk 4.1.3), geclusterde bomen van Cluster 0 is de gemeenschappelijke variantie voor de gecorrigeerde somcurve slechts 20%. Dit percentage is zelfs lager dan voor alle monsters van deze cluster, waar het gemeenschappelijke signaal 25% bedraagt. Dit is gemeten over dezelfde periode: 1900-1985. De meeste variantie in de somcurve van de tien geclusterde bomen is te vinden tussen de bomen [VC(YT)], en de boommonsters per boom [VC(YCT)]. De percentages bedragen respectievelijk 38% en 34%. 38% wil zeggen dat er een grote heterogeniteit bij de bomen aanwezig is. Dit betekent dat de bomen zeer verschillend reageren op de omgevingsfactoren.

Het percentage voor alle bomen van Cluster 0 ligt nog hoger, namelijk op 50%. De variantie-component van 34% voor de monsters per boom wijst op een grote ringwijdte-variantie binnen de boom zelf. Dit kan veroorzaakt worden door verschillende lichtintensiteiten rond de boom, invloed van massabewegings-processen en/of verschillen in distributie van voedings- en groeistoffen binnen de boom.

De volgende factoren verklaren de lage gemeenschappelijke variantie [VC(Y)] binnen de tien geclusterde bomen:

I verschillen in fysiologie van de bomen; elke boom reageert verschillend op de omgevingsfactoren. Hierbij moet men voornamelijk aan bodem- en klimaatsfactoren denken.

II de intensiteit van bodem- en micro-klimaatsfactoren kan per boom verschillen.

III de gebruikte methode 1 van de clusteranalyse heeft nadelen. Het berekende gemiddelde bij iedere stap van deze methode gaat vanuit een kern op het nul-niveau (de twee best gecorreleerde monsters) een bepaalde richting uit. Zo kunnen monsters, die een hoge correlatie hebben met de geclusterde monsters, toch niet in de cluster worden opgenomen. Dit nadeel wordt ondervangen bij methode 2 (hoofdstuk 4.1.3). Bij de eerste stap worden er paren gevormd die onderling de beste correlatie hebben. Van deze paren worden gemiddelden berekend die onderling weer gecorreleerd worden. Deze methode heeft geen kern, maar is bij de eerste stap (nul-niveau) overal even 'objectief'.

### 6.2.2 Visuele synchronisatie en de standaard-fout van de 'masterchronologieën'

Omdat de ANOVA-periode van Cluster 0 (1925-1985) groter is dan van Bois de Gaudessart (1940-1985), zou men verwachten dat het gemeenschappelijk signaal van Bois de Gaudessart groter is dan van Cluster 0. Het tegendeel is waar: de gemeenschappelijke variantie van de samengestelde somcurve van Cluster 0 is groter dan die van Bois de Gaudessart, respectievelijk 63% (12 monsters) en 54.6% (10 monsters). Dit heeft onder andere te maken met de eerste twee factoren die in de vorige paragraaf vermeld zijn. Een nadere verklaring volgt in paragraaf 6.3.

De 'masterchronologieën' van beide onderzoeksgebieden kennen een grotere ringwijdte-variantie tussen de twee monsters per boom [VC(YCT)] dan tussen de bomen onderling [VC(YT)] (zie bijlage Va en Vb). Dit duidt op het feit dat de omgevingsfactoren een grotere variantie van de ringwijdtes tussen de bomen teweegbrengen dan tussen de bomen onderling. Hierbij gaat men uit van gelijke fysiologie van de bomen.

De gemiddelde standaard-fout van de samengestelde somcurves is te wijten aan de variantie-componenten (YT) en (YCT). VC(YC) is niet in de berekeningen opgenomen, daar deze component verwaarloosbaar klein is. Voor de somcurve van Cluster 0 is de standaard-fout 0.093, voor Bois de Gaudessart 0.096. Dit wil zeggen dat het werkelijke gemiddelde binnen een afstand van (plus of min) twee maal de standaard-fout van de gemiddelde rindwijdte-index waarde (respectievelijk 0.80 en 0.92, zie paragraaf 5.5) ligt voor een betrouwbaarheid van 95%.

In tabel 8 en 9 is een schatting gemaakt van de hoeveelheid bomen en monsters per boom die er nodig zouden zijn wanneer de standaard-fout gereduceerd zou worden tot 0,050 of minder, tevens voor een betrouwbaarheid van 95%. In de tabellen is te zien, dat er een onevenredige stijging van het aantal bomen plaatsvindt, naarmate het aantal monsters per boom afneemt. Beide clusters verschillen niet veel van elkaar. Met twee monsters per boom en 42 en 38 bomen voor respectievelijk Cluster 0 en Bois de Gaudessart wordt de standaard-fout teruggebracht tot minder dan 0.050.

Uit de tabellen kan men opmaken dat het nemen van één monster per boom de meest effectieve bemonsteringswijze is. Wanneer de berekende standaard-fout gereduceerd wordt tot 0.05 of minder zijn er voor Cluster 0 zevenenvijftig bomen nodig; voor Bois de Gaudessart eenenvijftig. Men kan echter met één monster per boom de excentriciteit niet bepalen, hetgeen in reliëfrijke gebieden veelvuldig voorkomt. Tevens heeft men voor de variantie-analyse minstens twee monsters per boom nodig.

Figuur 14 en 15 laten zien dat de standaard-fout van de somcurves evenredig is met de gemiddelde-index waarden. Voor zowel Cluster 0 als Bois de Gaudessart geldt: jaren van de 'masterchronologie' met een hoge ringwijdte-index kennen een hogere standaard-fout dan jaren met een lage ringwijdte-index.

De verklaring hiervoor is: onder 'slechte' klimatologische omstandigheden zullen de bomen een dunne jaarring vormen. De boomgroei zal in sterke mate beperkt worden door macro-klimatologische factoren. Dit heeft tot gevolg dat er weinig variatie in de ringwijdtes bij de bomen (voor dat jaar) aanwezig zal zijn. Hierdoor zullen de jaren met een lage ringwijdte-index een lage standaard-fout hebben.

Een jaarring die gevormd wordt onder 'goede' klimatologische omstandigheden zal eerder beperkt worden door andere omgevingsfactoren. Er zal een grotere variatie in de ringwijdtes van de bomen, maar ook binnen de bomen, te vinden zijn. Dit heeft een hoge standaard-fout voor jaren met een hoge gemiddelde ringwijdte-index tot gevolg.



### 6.3 Interpretatie van de correlatie-coëfficiënt tussen de masterchronologieën

De correlatie-coëfficiënt tussen de somcurves van Cluster 0 en Bois de Gaudessart bedraagt 0.4 voor de periode 1956-1980. Het is duidelijk dat tussen beide chronologieën verschillen bestaan. De volgende factoren kunnen verantwoordelijk zijn voor deze verschillen:

I verschil in micro-klimaat tussen adret en ubac, waar respectievelijk Cluster 0 en Bois de Gaudessart gelocaliseerd zijn. Hierbij is het verschil in hoogteligging en expositie ook van belang.

II de invloed van kap bij Bois de Gaudessart en bij Cluster 0 niet, hetgeen uit de veldwaarnemingen blijkt. Tevens zijn er verschillende bedekkingsgraden aanwezig binnen de boombestanden van Cluster 0 en Bois de Gaudessart. Het is mogelijk dat zonlicht in eerstgenoemde onderzoeksgebied minder intensief inwerkt op de bomen als in laatstgenoemde gebied.

III verschillen in de fysiologische responses van de bomen van Cluster 0 en Bois de Gaudessart.

IV verschil in bodemeigenschappen, waardoor de bomen in meer of mindere mate beschikking hebben over water en nutriënten uit de bodem. De invloed van deze factor wordt uiterst klein geacht, daar beide gebieden een vergelijkbare ondergrond hebben.

V verschil in meetfouten tussen de boommonsters van beide onderzoeksgebieden. Braam (1985) heeft bepaald hoe groot de toevallige meetfout is. Hiertoe zijn de ringwijdtes van tien monsters elk tien maal gemeten. Bij gemeten ringwijdtes groter dan 5,0 mm is de meetfout 0.06 mm, bij ringwijdtes kleiner dan 5,0 mm is de meetfout 0.04 mm (betrouwbaarheids-interval 95%). De relatieve meetfout wordt groter naarmate de gemeten ringwijdte kleiner is. De gemiddelde ringwijdte van de 'masterchronologieën' in Cluster 0 en Bois de Gaudessart zijn respectievelijk 11 en 14 mm (zie bijlage Va en Vb). Dit resulteert in een relatieve meetfout (procentueel) van respectievelijk 0.55% en 0.43%. Deze waarden kunnen laag genoemd worden.

#### 6.4 Interpretatie van de stapgewijze multiple regressie-analyse

Uit de stapsgewijze multiple regressie-analyse blijkt voor Cluster 0 dat de neerslag in februari van invloed is op de ringwijdtes van de 'masterchronologie'. Deze 'neerslag-maand' aangevuld met de gemiddelde temperatuur in november zijn van invloed op de chronologie van Bois de Gaudessart. De regressie-coëfficiënten, van de berekende regressielijnen, van de bovengenoemde maanden zijn allen positief. Men kan stellen dat veel neerslag in februari een positief effect heeft op de boomgroei in beide gebieden. Uit de boommonsters van Bois de Gaudessart blijkt dat de gemiddelde temperatuur van november tevens een positief effect heeft.

Bij deze berekeningen moeten echter enige kanttekeningen worden geplaatst. Zoals in hoofdstuk 5.5 reeds uitvoerig besproken is wordt de effectieve populatie-grootte gereduceerd wanneer er een hoge autocorrelatie aanwezig is. In Cluster 0 vindt een reductie plaats van 25 naar 8 onafhankelijke elementen (geobserveerde jaren), voor Bois de Gaudessart van 25 naar 4 jaren.

Voor elke stap van de multiple regressie-analyse kan het aantal vrijheidsgraden berekend worden van de 'residual'-variantie van de ringwijdtes. De volgende formule wordt gebruikt:

$$\text{vrijheidsgraden} = n' - k - 2 \quad (20)$$

- $n'$  = effectieve steekproef-grootte
- $k$  = aantal regressie-coëfficiënten in de regressielijn
- 2 = dit getal staat voor het gemiddelde en de standaard-deviatie

Men kan zien dat het aantal significante regressie-coëfficiënten, dat tot de regressielijn toegevoegd kan worden, beperkt wordt door de effectieve populatie-grootte (het aantal onafhankelijke observaties binnen de somcurve).

De regressielijn van Cluster 0 kent één coëfficiënt en 8 onafhankelijke observaties. Volgens formule 20 zullen er 4 vrijheidsgraden in de 'residual' ringwijdte-variantie overblijven. In dit geval zal alleen een coëfficiënt, die groter dan 2.8 maal de standaard-fout is, voldoen aan het significantie-niveau van 95% en daarmee toegevoegd kunnen worden aan de regressielijn (zie 'student-t-distributions' in de meeste statistiek-boeken).

Bij Bois de Gaudessart blijven er geen vrijheidsgraden over door de twee coëfficiënten in de regressielijn en de 4 onafhankelijke observaties in de somcurve. Geen enkele variabele krijgt de kans om toegevoegd te worden tot de multiple-regressie vergelijking. Volgens Fritts (1976) is het wenselijk om 20 of meer vrijheidsgraden over te houden in de 'residual'-variantie.

Een variabele die een hoge correlatie met de boomgroei heeft zal niet in de regressielijn worden opgenomen, indien deze variabele een hoge correlatie heeft met variabele(n) in de regressie. .. Stapgewijze multiple regressie-analyse houdt geen rekening met (inter)correlaties tussen de onafhankelijke klimaatsvariabelen, hetgeen als een beperking gezien kan worden. Om dit probleem te ondervangen zijn twee oplossingen voorhanden:

I ten eerste kan men een regressie samenstellen waarin alle klimaatsvariabelen verdisconteerd zijn. Stapgewijs verwijderd men de variabelen die niet aan het significantie-niveau voldoen.

II ten tweede kan men een multiple regressie-analyse toepassen nadat een Principle Components Analyse of Factor-Analyse van de klimaatsvariabelen heeft plaats gevonden. Als gevolg hiervan zullen de klimaatsvariabelen geen invloed op elkaar uitoefenen. Dit komt doordat er een (klimaats) dataset samengesteld wordt waarbij de variabelen onderling niet gecorreleerd zijn.

## HOOFDSTUK 7

### NADER ONDERZOEK

Het onderzoek heeft twee 'masterchronologieën' opgeleverd uit stabiele gebieden. Er is gekeken naar de invloed van twee klimaatsfactoren, te weten neerslag en gemiddelde temperatuur. Tevens is gekeken naar de invloed van massabewegingen op de boomgroei. De ringwijdtes en de twee klimaatsfactoren zijn, na synchronisatie, geanalyseerd. Dit is voor een periode van 25 jaar (1956-1980) gedaan.

Men zal echter meer klimaatsfactoren en omgevingsfactoren in het onderzoek moeten betrekken om een nog beter inzicht te krijgen in het complex van factoren dat van invloed is op de boomgroei. Bij de klimaatsfactoren moet men bijvoorbeeld denken aan het aantal uren zonneshij, evatranspiratie en de luchtvochtigheid. Er moet rekening worden gehouden met het feit dat naast de directe fysiologische respons van de boom op een omgevingsfactor ook de mogelijkheid bestaat dat de boom een vertraagde fysiologische respons vertoont op een externe (veranderde) omgevingsfactor. Omgevingsfactoren die nader onderzocht kunnen worden zijn: invloed van de bedekkingsgraad, onderlinge boomafstand, geohydrologische aspecten en bodemkundige eigenschappen van de ondergrond.

Het streven is om een karakteristieke 'masterchronologie' op te stellen voor het bekken van Barcelonnette, voor de periode langer dan 25 jaar (bijvoorbeeld twee klimaatcycli: 60 jaar). Om dit te bewerkstelligen zullen meer boommonsters genomen moeten worden uit stabiele gebieden. Klimaat-data over een periode van 60 jaar zijn voor het bekken van Barcelonnette helaas niet aanwezig, waardoor men aangewezen is op data van aangrenzende regio's. Extrapolatie van klimatologische meetgegevens zal de betrouwbaarheid van het onderzoek echter niet ten goede komen.

## HOOFDSTUK 8

### REFERENTIES

- Braam, R.R. 1985. Dendrogeomorfologische onderzoek Barcelonnette (zuidfranse Alpen). Students paper. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht.
- Braam, R.R. 1987, E.E.J. Weiss & P.A. Burrough 1987. Dendrogeomorphological analysis of massmovement. A technical note on the research method. Catena 14, p 585-589.
- Burrough, P.A. 1985. Multivariate analyse (college-dictaat). Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht.
- Fritts, H.C. 1976. Treerings and climate. London, New York: Academic Press.
- Hammond, R. & P.S. McCullagh 1978. Quantitative Techniques in Geography. Oxford, Clarendon press.
- Huber, B. 1970. Dendrochronology, Handbuch der microscopie in der Technik 5, 171-211, Munich.
- Legier, A. 1977. Mouvements de terrain et evolution recente du relief dans la region de Barcelonnette (Alpes de Haute Provence), Grenoble.
- Mitchell, J.M., B. Dzerdzevskii, H. Flohn, W.L. Hofmeyr, H.H. Lamb, K.N. Rao & C.C. Wallen 1966. Climatic change. World Meteorol. Organ. Tech. Note 79, Geneva.
- Okkes, T.A & P.A.A Verhaagen 1988. Basisprincipes van dendrochronologie. Students paper. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht.
- Verhaagen, P.A.A 1988. Dendrogeomorfologisch onderzoek op een massabeweging in het Riou Bourdoux-dal (zuidfranse Alpen). Students paper. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht.