

DENDROGEOMORFOLOGISCH ONDERZOEK  
OP EEN MASSABEWEGING IN HET  
RIOU BOURDOUXDAL

verslag van het veldwerk Franse Alpen 1985

Paul Verhaagen  
maart 1988

## INHOUD

Algemeen gedeelte van het verslag

HOOFDSTUK 1	Inleiding	1
HOOFDSTUK 2	Fysisch geografische aspecten van het bekken van Barcelonnette	3
2.1.	Ligging	3
2.2.	Klimaat	3
2.3.	Geologie	4
2.4.	Geomorfologie	5
HOOFDSTUK 3	Dendrogeomorfologie - Dendrochronologie	6
3.1.	Dendrochronologie toegepast in de dendrogeomorfologie en de dendroklimatologie	6
3.2.	Dendrogeomorfologie	6
3.2.1.	Groei van een boom	7
3.2.2.	Reactiehout	9
HOOFDSTUK 4	Werkwijze in het veld	11
HOOFDSTUK 5	Preparatie van boommonsters voor computerverwerking	14
Dendrogeomorfologisch onderzoek op een massabeweging in het Riou Bourdoudal		
HOOFDSTUK 1	Inleiding	16
HOOFDSTUK 2	Fysisch geografische aspecten van de afglijding in het Riou Bourdoudal	17
HOOFDSTUK 3	Bemonstering	20
HOOFDSTUK 4	Computerbewerking van de data	22
4.1.	Berekening van de excentriciteit	22
4.2.	Berekening van de event response index	25
4.3.	Berekening van het powerspectrum	27

HOOFDSTUK 5	Resultaten	28
5.1.	Foutenanalyse	28
5.2.1.	De event response index curven	30
5.2.2.	De powerspectra	35
5.3.	Verandering van vensterbreedte en mullion	39
HOOFDSTUK 6	Interpretatie van de resultaten	43
6.1.	De tijdsduur van een massabeweging	43
6.2.	Interpretatie van de e.r.i. curven	43
6.2.1.	Cluster 0	43
6.2.2.	BDG	44
6.2.3.	Clusters 1 t/m 7 ; de afglijding in de Riou Bourdoux	45
6.2.4.	Trend	48
6.3.	Bewegingsvoortplanting door de blokken	48
6.4.	Vergelijking van de neerslaghoeveelheid in het groeiseizoen met de massabewegings- activiteit	50
HOOFDSTUK 7	Conclusies	52
LITERATUUR		53

ALGEMENE GEDEELTE VAN HET VERSLAG

## HOOFDSTUK 1 Inleiding

In het kader van het doctoraalveldwerk ( tweede fase ) is door Paul Verhaagen en Tjeerd Okkes respectievelijk een dendrogeomorfologisch en een dendroklimatologisch veldwerk verricht in de maanden juni-juli van 1985. Het veldwerk sluit aan op het veldwerk juni-juli 1984, dat een algemeen geomorfologisch karakter had. Beide veldwerken zijn uitgevoerd in de Franse Alpen in de omgeving van het dorp Barcelonnette. Dit dorp in het departement van de Haute Provence ligt op een hoogte van 1130 m. in het dal van de rivier de Ubaye ( fig. 1 ). Het veldwerk en de verwerking van de data stond onder begeleiding van Ed Weiss, staflid bij de vakgroep Fysische Geografie van de Rijks Universiteit Utrecht.

De doelstelling van het veldwerk is tweeledig;

-Het reconstrueren van massabewegingsprocessen in het verleden met behulp van boommonsters afkomstig van bomen die groeien op de instabiele hellingen waar deze processen actief zijn. Massabewegingen kunnen hier beschouwd worden als groeibepalende factoren die de groei van de boom beïnvloeden.

-Het zoeken naar een verband tussen het jaarringpatroon van de grove den en klimaatgegevens zoals neerslag en temperatuur. De boommonsters voor dit onderzoek zijn afkomstig van bomen die staan op plaatsen waar de activiteit van massabewegingsprocessen minimaal is. Dit om de invloed van deze processen op de jaarringpatronen van de bomen beperkt te houden.

Als voorbereiding op het veldwerk is een literatuurstudie verricht naar de basisprincipes van boomgroei en de uitgangspunten van de dendrochronologie, dendrogeomorfologie en de dendroklimatologie. Voor informatie over de stabiliteit en de instabiliteit van hellingen in het bekken van Barcelonnette is gebruikt gemaakt van gegevens uit de verslagen van het veldwerk 1984. De verslaggeving is in drieën opgesplitst. De reconstructie van

massabewegingsprocessen wordt door Paul Verhaagen behandeld ( eerste doelstelling ), de invloed van het klimaat op jaarringpatronen ( tweede doelstelling ) door Tjeerd Okkes. Het algemene gedeelte van het verslag is gemeenschappelijk samengesteld.

In hoofdstuk 2 van het algemene gedeelte worden de fysische geografische aspecten van het bekken van Barcelonnette behandeld. Vervolgens vindt in hoofdstuk 3 een uiteenzetting plaats van de dendroklimatologie en dendrogeomorfologie. Hoofdstuk 4 behandelt de werkwijze in het veld, en hoofdstuk 5 belicht de voorbereidingen op de computerverwerking van de boommonsters.

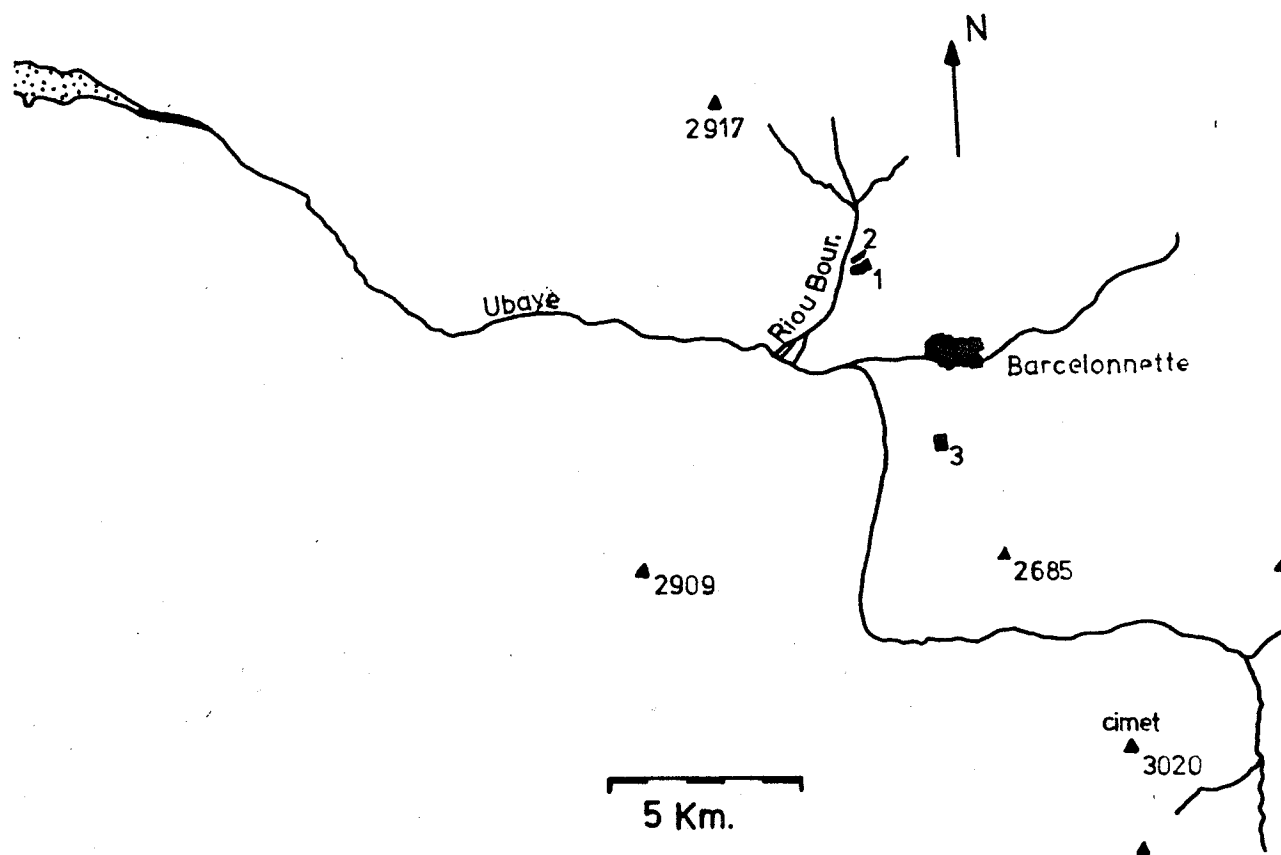


Fig. 1 Ligging veldwerk gebied met onderzoeksplotjes  
1: afglijding Riou Bourdoux  
2: semi stabiele helling naast de afglijding  
( cluster 0 ).  
3: stabiele plateau in het Bois de Gaudessart

## HOOFDSTUK 2 Fysisch Geografische aspecten van het bekken van Barcelonnette

### 2.1. Ligging

Het bekken van Barcelonnette ligt in het departement van de Haute Provence in het zuidoosten van Frankrijk. Door het bekken van Barcelonnette stroomt van oost naar west de rivier de Ubaye. De gemiddelde hoogte van de dalbodem bedraagt te Barcelonnette 1100 m. Het bekken wordt omringd door bergketens tot een hoogte van 3000 m. In figuur 1 is de ligging van de onderzochte gebiedjes aangegeven.

### 2.2. Klimaat

De ligging in de zuidelijke Alpen geeft het Ubaye dal een afgezwakt mediterraan klimaat. Het klimaat heeft een droog karakter, waarbij de neerslag meestal valt in de vorm van korte hevige buien. De jaarsom van de neerslag bedraagt gemiddeld 750 mm. in het dal en neemt snel toe met grotere hoogte langs de dalwanden. De verdeling van de neerslag over de seizoenen is vrij regelmatig; lente 25%, zomer 23%, herfst 31%, winter 22% ( Legier, 1977 ). De Adret, de op het zuiden geëxponeerde helling, is gedurende drie maanden per jaar met sneeuw bedekt. De Ubac, de tegenoverliggende helling, is gemiddeld vier maanden per jaar met sneeuw bedekt.

De temperatuur is afhankelijk van de hoogte en de expositie. De afname van de temperatuur met de hoogte is 0,6 C per 100 m.; op de Ubac is dit iets meer en op de Adret iets minder.

Het temperatuurverschil tussen Adret en Ubac wordt genivelleerd door dal en hellingwinden. Dit betreft alleen de luchttemperatuur. De grondtemperatuur vertoont wel een groot verschil tussen Adret en Ubac. Deze is, als gevolg van het verschil in stralingsintensiteit, op de Adret veel hoger dan op de Ubac.

### 2.3. Geologie

De huidige geologische structuur van het bekken van Barcelonnette is het resultaat van de geologische ontwikkeling van de Westelijke Alpen, welke plaats vond vanaf het Lias tot aan het Kwartair. Het bekken ligt aan de zuidkant van de Westelijke Alpen en wordt ingesloten door de kristalijne massieven van de Mercantour en de Pelvoux. Voor een gedetailleerde beschrijving over de geologische ontwikkeling van de Westelijke Alpen wordt verwezen naar de verslagen van het veldwerk 1984 in de Alpen ( Verhaagen, 1985 ). Hieronder volgt een korte beschrijving van de geologische structuur van het bekken van Barcelonnette.

Het bekken van Barcelonnette is een geologisch venster in de dekbladen Nappe de l'Autapie en Nappe de Parpaillon.

Het eerstgenoemde dekblad bestaat uit flysch dissocié en uit flysch à helminthoïde. Flysch dissocié bestaat uit donkere schisten met discontinuë bankjes zandige kalk. De flysch à helminthoïde is opgebouwd uit decimeters dikke kalkige en zandige banken. Deze banken zijn van elkaar gescheiden door laagjes donkere schisten.

Het dekblad van de Nappe de Parpaillon bestaat uit zwarte schisten, flysch à Helminthoïde en uit gres de l'Embrunnais. Dit laatstgenoemde gesteente is een massieve zandsteen. De Terres Noires zijn het meest voorkomende autochtone gesteente in het bekken van Barcelonnette. De Terres Noires dagzomen op de dalbodem en de lagere hellingen, tot een hoogte van ca. 1900 m. De Terres Noires zijn een mergel uit het Oxfordien ( vroeg-Malm ). Het is een zeer erosiegevoelig gesteente, dit in tegenstelling tot de meeste flysch afzettingen in het bekken. Op veel plaatsen in het Ubaye-dal zijn tijdens het Kwartair de Terres- Noires bedekt met ( fluvio- ) glaciale of fluviaatiele afzettingen ( Plan, 1964 en Legier, 1977 ).



#### 2.4. Geomorfologie

Het Ubaye dal is een glaciaal gevormd dal met drempels ( dalvernauwingen ) en bekkens ( dalverwijdingen ). Het gebied rond Barcelonnette is een glaciaal bekken dat gevormd is in de erosiegevoelige Terres Noires. De dalgletsjer heeft tot op een hoogte van 2000 m. verflakkingen gevormd. Hoger gelegen verflakkingen zijn het gevolg van lokale zijgletsjers. Na het afsmelten van degletsjers bleef op de hellingen tot een hoogte van ca. 2300 m. een grondmorenepakket achter. Dit grondmorenepakket heeft een maximale dikte van 10 m. ( Verhaagen, 1985 ).

## HOOFDSTUK 3 Dendrogeomorfologie - Dendrochronologie

### 3.1. Dendrochronologie, toegepast in de dendrogeomorfologie en de dendroklimatologie

De dendrochronologie is de wetenschap die zich bezighoudt, ruimtelijke processen in het natuurlijke milieu te reconstrueren met behulp van de jaarringen van bomen. De reconstructie van klimatologische processen gebeurt met behulp van de dendroklimatologie; massabewegingen worden gereconstrueerd met behulp van de dendrogeomorfologie.

De dendroklimatologie zoekt naar een overéénkomst in trend tussen de jaarringbreedtes van bomen en klimaatsfactoren (temperatuur en neerslag) binnen een bepaalde tijdsperiode. Wanneer er tussen deze twee een relevant verband aanwezig is, kan men de trend extrapoleren naar het verleden. Men kan zo het klimaat reconstrueren aan de hand van de jaarringbreedtes van bomen. De extrapolatie mag alleen plaatsvinden binnen het gebied waar het onderzoek is uitgevoerd. Alleen bomen die niet beïnvloed zijn door massabewegingen zijn geschikt voor de dendroklimatologie.

### 3.2. Dendrogeomorfologie

Dendrogeomorfologie is een techniek die de groei-ontwikkeling van een boom combineert met de activiteit van geomorfologische processen die de groei-ontwikkeling van een boom beïnvloeden. De boom reageert op deze geomorfologische processen door een variatie in de breedte van de jaarringen. Processen die scheefstelling kunnen veroorzaken zijn; sneeuwdruk, lawines, wind, ondergraving en massabewegingsprocessen. Het duidelijkste voorbeeld van beïnvloeding van de groei-ontwikkeling is de scheefstelling van een boom door een massabeweging.

### 3.2.1. Groei van een boom

Een boom ontwikkelt bij normale groei elk jaar een concentrische ring. Deze jaarring omsluit de jaarring van het voorgaande jaar. De meest naar buiten gelegen ring van een boom is dus de jongste.

De jaarringen van een boom groeien het snelst in het voorjaar. Het voorjaarshout heeft een lichte kleur. Later in het groeiseizoen neemt de groeisnelheid af, en het hout wat dan gevormd wordt heeft een donkerder kleur. De grens tussen het donkere hout van het late groeiseizoen en het lichte hout van het daarop volgende voorjaar is als duidelijke grens te zien; de grens tussen twee jaarringen.

De diameter van de jaarringen is niet elk jaar hetzelfde. De variatie in die jaarlijkse groei van de jaarringen is op de volgende punten uniform ( Glock, 1937 in Braam 1985 ) :

- Radiale uniformiteit; elke jaarring is in elke richting even breed.
- Verticale uniformiteit; op verschillende hoogte in de stam is de jaarlijkse variatie in de breedte van jaarring gelijk.
- Regionale uniformiteit; bij bomen van dezelfde soort en op dezelfde plaats is de variatie in jaarlijkse diameterbreedte hetzelfde.

De eerste twee soorten uniformiteit zijn genetisch bepaald. De regionale uniformiteit is bepaald door externe factoren zoals massabewegingen en klimaatsveranderingen.

Systematische variaties in jaarringgroei

Variaties in de jaarlijkse groei van de jaarring kunnen systematisch zijn. De systematische variatie hangt samen met de volgende factoren ( Braam, 1985 ):

- De ouderdom van de boom en de stamhoogte;  
bij toenemende ouderdom van de boom neemt de ge-

middelste breedte van de jaarringen af. Dit hangt samen met de omtrek van de stam. Deze is bij kruin van de boom kleiner als bij de stamvoet. Bij het ouder worden van de boom neemt de stamomvang toe. De omtrek van de jaarringen zal groter worden. Bij gekijkblijvende hout produktie zal dit betekenen dat de jaarringen, naarmate de boom ouder wordt, smaller worden.

-De hoogte langs de stam;

Dankzij de nabijheid zijn van de voornaamste bron van voedings- en groeistoffen ( de kruin ) groeien de jaarringen vlak onder de kruin sneller.

Hierdoor zijn deze systematisch breder dan de jaarringen dichtbij de stamvoet.

-Invloed van de dichtheid van het bomenbestand;

bij een grote boomedichtheid per oppervlakte eenheid zal de kruin van een boom zich waarschijnlijk niet volledig kunnen ontwikkelen. De voedsel- en groeistoffen productie in de kruin is hierdoor niet optimaal. De breedte van de jaarringen van een boom met een minder goed ontwikkelde kruin blijft achter bij de breedte van jaarringen van een boom met een goed ontwikkelde kruin.

#### Niet-systematische variaties in jaarringgroei

De niet systematische variaties worden veroorzaakt door externe factoren zoals klimaat en massabewegingen. Door extreme weersomstandigheden in het groeiseizoen kan het voorkomen dat er geen jaarringen gevormd worden. De groei van de jaarringen vindt vooral plaats in het voorjaar. In een "slecht" voorjaar kan de groei van een jaarring achterwege blijven ( missende jaarringen ). Ook kan de groei van een jaarring onderbroken worden door slechte groeiomstandigheden in de zomer. Als de groei onderbroken wordt, dan vormt zich in de jaarring het donkerdere "najaars"-hout. Na deze onderbreking kan de jaarring tijdens een groeizaam naseizoen opnieuw gaan groeien, er vormt zich dan licht 'voorjaarshout'.

De zo ontstane kleurgrens moet dan geïnterpreteerd

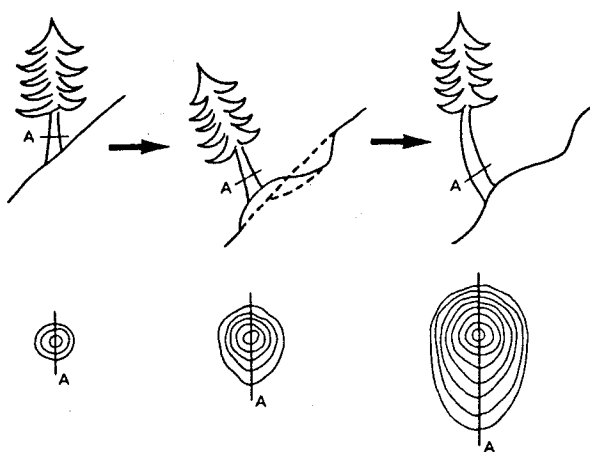
worden als een valse jaarring.

### 3.2.2. Reactiehout

Onder normale groeiomstandigheden ontwikkelt een boom een rechte stam. In een dwarsdoorsnede van de stam zijn de jaarringen te zien als concentrische ringen. Bij scheefstelling van de boom ( inclinatie ) zal de boom met behulp van reactiehout de normale rechte groeivorm proberen te herstellen ( fig. 3 ).

Reactiehout vormt zich bij naaldbomen aan de hellingafwaartse zijde van de scheefgestelde boom ( drukhout ). Bij loofbomen vormt het reactiehout zich aan de hellingopwaartse zijde ( trekhout ). De productie van ( reactie ) hout wordt gegenereerd door het plantenhormoon heteroauxine. Deze stof wordt voornamelijk geproduceerd door de bladeren en zakt onder invloed van de zwaartekracht door de stam naar beneden. Waar de stam niet verticaal is blijft de heteroauxine aan de lage zijde van de stam "hangen" en zorgt daar voor snellere aanwas van het hout. Aan de hoge zijde van de scheve stam is de concentratie van de heteroauxine juist laag, waardoor de aanwas van hout hier klein is ( Braam, 1985 naar Albeda, 1979 ).

Fig. 3  
( Braam e.a., 1987 )



Door de grotere aanwas van het reactiehout aan een zijde

van een stam ontstaan excentrische ringen. Het breedste gedeelte van de jaarringen bevindt zich bij naaldbomen aan de hellingafwaartse zijde en drukt de boom weer naar een verticale groeistand toe. Bij loofbomen bevindt het reactiehout zich aan de hellingopwaartse zijde en trekt de stam weer verticaal.

Naarmate een boom ouder wordt zal het vermogen van de boom om te reageren op massabewegingen kleiner worden. Dit hangt samen met het omhoog groeien van de kruin, waardoor de productiebron van de heteroauxine ver van het onderste stamgedeelte komt te liggen. In dit gedeelte van de stam zal door het gebrek aan heteroauxine de productie van reactiehout achterblijven, wat uiteindelijk kan leiden tot het omkantelen van de boom ( Braam, 1985 ).

#### HOOFDSTUK 4 Werkwijze in het veld

Tijdens het veldwerk zijn boommonsters genomen op drie-  
verschillende plaatsen in het Ubaye-dal ( fig. 1 ). Deze  
locaties worden in het verslag als plotjes aangeduid. De  
plotjes zijn de afglijding in het dal van de Riou Bour-  
doux ( cluster 1 t/m 7 , plotje 1 ), de aangrenzende  
stabiele helling ten noorden van deze afglijding ( clu-  
ter 0 , plotje 2 ) en tenslotte de stabiele plot in het  
Bois de Gaudessart, 2 km. ten zuiden van Barcelonnette  
( BDG , plotje 3 ). Een uitvoerige beschrijving van deze  
plotjes staat in deel 2, hoofdstuk 2.

Het uitkiezen van voor bemonstering geschikte bomen  
gebeurt op basis van een uiterlijke vorm van de boom en  
de groeiomstandigheden. Bomen die op plaatsen staan waar  
duidelijk sprake is van antropogene beïnvloeding van de  
groeiomstandigheden ( wegaanleg, recente kap, enz. )  
zijn niet bemonsterd. Het groeibeeld van deze bomen is  
wellicht beïnvloed door genoemde factoren en geeft  
daardoor een verkeerde indruk van de werkelijke groeiom-  
standigheden.

Bij het uitkiezen van bomen voor bemonstering op de  
instabiele plot in de Riou Bourdoux worden bomen uit-  
gekozen die representatief zijn voor deze plot. Op een  
instabiel plotje is een boom met een normale groeivorm  
op voorhand niet interessant. Dit zijn bomen met een  
nagenoeg rechte stam, die uiterlijk niet beïnvloed zijn  
door massabewegingen. Er zullen in het dendrogeomor-  
fologisch beeld van de boom waarschijnlijk geen perioden  
van bewegingsactiviteit van de afglijding te vinden  
zijn, terwijl deze juist gezocht worden. Voor de bemon-  
stering van de stabiele plotjes van het Bois de Gaudes-  
sart en cluster 0 zijn bomen gekozen met een normale  
groeivorm.

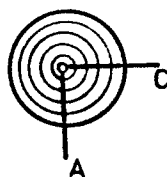
De bomen zijn voor de bemonstering ingemeten in een-  
voorlopige kaart van de plot. Op deze kaart staat de  
onderlinge positie van de bomen evenals geomorfologi-  
sche kenmerken zoals scarps. Bij de afglijding in het  
Riou Bourdoux dal is deze kaart aangevuld met een hoog-  
tepuntenkaart ( M. de Vos, 1987 ).

kenmerken van de bemonsterde boom, zoals de soort, hoogte, omvang van de stam op boorhoogte en eventuele inclinatie van de stam worden vermeld op een formulier. Op dit formulier worden ook gegevens vermeld over de directe omgeving van de boom, zoals landgebruik en de dichtheid van de vegetatie.

Het nemen van de monsters gebeurt met behulp van een roestvrijstalen boor. Deze boor wordt in de bosbouw gebruikt voor het meten van de houtaanwas van een boom. De monsters worden genomen op een hoogte van ca. 1,5 m. Dit gebeurt omdat op deze hoogte de meeste jaarringen van de boom in de stam aanwezig zijn ( Alestalo, 1971 ). Op grotere hoogte in de stam zijn de oudste jaarringen van de boom meestal afwezig. Een tweede reden voor het bemonsteren op 1,5 m. is dat het boortechnisch makkelijk werken is. Het aanhouden van deze boorhoogte bij alle bomen maakt het mogelijk dat deze bomen onderling vergeleken kunnen worden.

Per boom worden twee boringen verricht. De eerste boring heeft dezelfde richting als een eventuele inclinatie van de boomstam. De tweede boring wordt hier loodrecht op genomen ( fig. 2 ).

Fig. 2 Boorrichtingen  
A: hellingafwaarts  
C: neutraal



Na de boring wordt het boorgat in de boom dichtgesmeerd met een wondbeschermingspasta. Dit om infectie van de boom te voorkomen. De monsters zijn omwikkeld met zacht karton en daarna in een genummerde p.v.c. pijp geschoven. Na droging zijn de monsters gelijmd op een houten plankje, om kromtrekken van het monster te voorkomen. De bovenkant van het monster wordt weggesneden met een chirurgisch mes. Hierdoor zijn de jaarringen beter zichtbaar en nauwkeuriger te tellen. Het tellen gebeurt met behulp van een microscoop en een pulsgenerator. Onder de



microscoop zijn de boommonsters op een horizontaal beweegbaar plankje gelegd. Met behulp van een draaistang wordt het boommonster verschoven van jaargrens naar jaargrens. Bij elke jaargrens van het boommonster krijgt de computer de opdracht de horizontale verplaatsing te tellen. De pulsgeneratoor telt 2500 pulsen voor 1 cm. horizontale verplaatsing van het boommonster. De getelde pulsen tussen de jaarringen worden met behulp van een Apple IIe personal computer weggeschreven op floppy disk. Rekenkundige bewerkingen zijn uitgevoerd op de Cyber van het Accu ( Academisch Computer Centrum Utrecht ).

## HOOFDSTUK 5    Preparatie van boommonsters    voor computer verwerking

De ruwe data van de boommonsters zijn nog niet geschikt voor het doorlopen van de verschillende computerprogramma's. De data moet eerst "programma-klaar" gemaakt worden. Aan elk boommonster moet informatie worden toegevoegd zodat computerprogramma's de monsters kunnen "lezen".

Van elke boom zijn twee monsters genomen; één monster aan de hellingafwaartse zijde van de boom en één loodrecht daarop. Het monster aan de hellingafwaartse zijde bevat eventueel reactiehout dat informatie geeft over massabewegingen. Het tweede monster heeft een vrij normaal jaarringen patroon ( groeicurve ) zonder reactie hout. Het verschil in de groeicurve tussen het hellingafwaartse monster en het "neutrale" monster kan een indicatie zijn over de activiteit van massabewegingen. Bij bomen op een stabiele ondergrond is er in theorie geen verschil tussen de twee groeicurven.

Voor de computerbewerkingen is het essentieel dat twee monsters uit een boom hetzelfde "boomnummer" hebben. Aan alle monsters is met behulp van het computer programma F(ile) M(aking) A(ssistance) ( E. Weiss, 1987 ) een boomnummer gegeven. Daarna worden de groeicurven van de bomen afgedrukt. Per boom worden de twee groeicurven over elkaar heen afgedrukt ( fig 8 ).

Bij het nemen van een boommonster gaan soms de jongste jaarringen van een monster verloren. Zo een monster zal in vergelijking met het andere monster van de boom aan het eind van de groeicurve wat jaren missen. Hierdoor schuift de hele groeicurve naar rechts op waardoor de curven van de twee monsters niet meer synchroon lopen. M.a.w. de dalen en de pieken van de twee groeicurven vallen niet meer samen. Er ontstaat een fout in het verschil tussen de breedte van de jaarringen van de twee monsters. Het corrigeren van deze fout gebeurt door in de data van het boommonster jaren weg te halen of toe te voegen, zodanig dat de twee monsters weer synchroon

gaan lopen. Dit wordt gedaan door met behulp van het F.M.A. programma jaarringen te verwijderen of fictieve jaarringen toe te voegen. Met behulp van de groeicurven wordt bekeken waar jaren moeten worden toegevoegd of weggehaald. Deze methode wordt aangeduid met de term visuele synchronisatie. De gecorrigeerde groeicurven zijn gebruikt bij de verdere computerbewerkingen. De groeicurven zijn afgebeeld in de bijlagen.

DENDROGEOMORFOLOGISCH ONDERZOEK  
OP EEN MASSABEWEGING IN HET  
RIOU BOURDOUXDAL

## HOOFDSTUK 1 Inleiding

In het kader van het veldwerk Alpen '85 is in het Riou-Bourdoux dal een afglijding onderzocht. Het hoofddoel van dit onderzoek was het chronologisch analyseren van de afglijding, d.w.z. nagaan in welke perioden in het verleden de onderzochte afglijding bewogen heeft. Vervolgens is gekeken of de gevonden perioden van activiteit een regelmaat ( trend ) vertonen en of deze trend te correleren is met de trend van klimaatgegevens zoals temperatuur en neerslag.

Bij de chronologische analyse van de afglijding is de dendrogeomorfologie gebruikt. Bij deze methode worden de breedte van de jaarringen van een boom gemeten. De verandering van de breedte van de jaarringen met de tijd is een indicatie voor de activiteit van externe factoren die het groeiproces van de boom beïnvloeden. Externe factoren kunnen zijn lawines, massabewegingen, hoeveelheid licht, wind e.a. ( Braam 1985, Westing 1965 ). Bij dit onderzoek gaat de aandacht uit naar de massabewegingen.

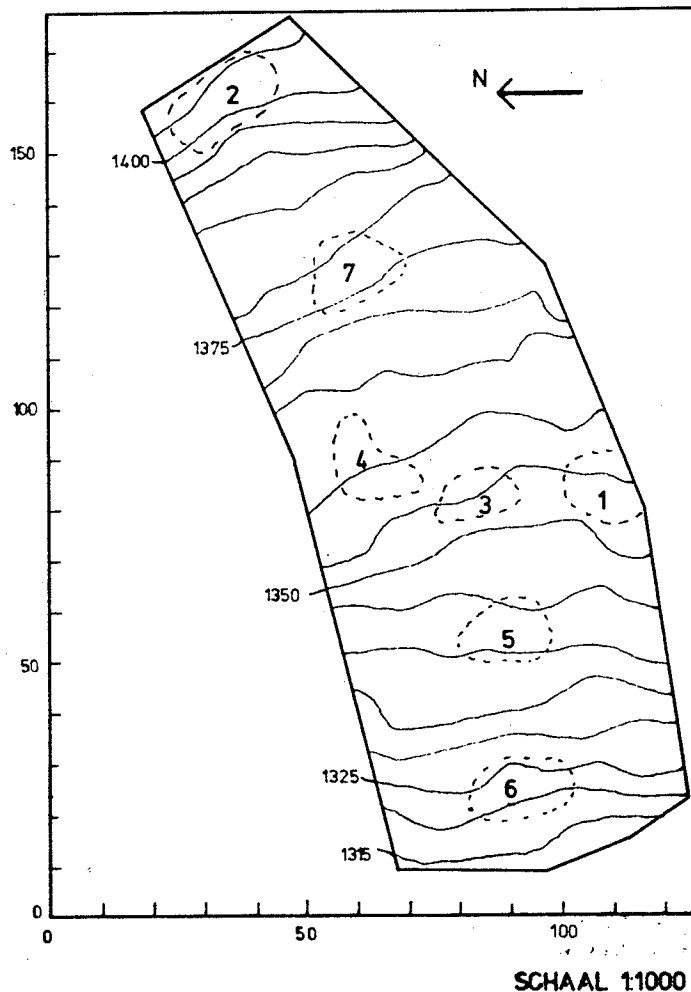
Het verslag is onderverdeeld in zeven hoofdstukken. Hoofdstukken 2 en 3 besteden aandacht aan de situatie te velde en de daar gebruikte methodes. Hoofdstukken 4 t/m 6 gaan over de bewerking van de monsters ( 4 ), de uitwerking van de computer resultaten ( 5 ) en de interpretatie van deze resultaten ( 6 ). Hoofdstuk 7 ten slotte geeft de conclusies weer.

HOOFDSTUK 2 Fysisch Geografische aspecten van de  
afglijding in het Riou Bourdoux dal

De onderzochte afglijding is gelegen in het dal van de Riou Bourdoux, ten noordwesten van Barcelonnette. Het voor het oog zichtbare begin van de afglijding ligt op een hoogte van 1410 m., en de afglijding eindigt op een hoogte van 1315 m. ( fig. 4 ). Het totale grondoppervlak dat door de afgleiding wordt beïnvloed bedraagt ca. 1 hectare.

De inwendige structuur van de afglijding is niet onderzocht. Het is niet duidelijk hoe diep de basis van de afglijding ligt. De bovenkant van de afglijding wordt gekenmerkt door kleine oppervlakkige afglijdingen ( schollen ), met een maximale diepte van ca. 1 m.

Fig. 4 Ligging van de zeven clusters op de afglijding. Hoogte en afstand langs de assen in meters.



De geologische ondergrond van de afglijding is kenmerkend voor de hele omgeving. Van maaiveld tot een diepte van 2 tot 5 m. een morene pakket met een vrij grove

structuur, en daaronder Terres Noires. De Terres Noires dagzoomt op vele plaatsen in de nabije omgeving, vooral langs de steile wanden van gully's. Deze geologische ondergrond is een belangrijke voor het ontstaan van 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 de afglijding wordt gedomineerd door de grove den ( *Pinus sylvestris* ) ( ca. 90% van het totale aantal bomen ). De bedekkingsgraad varieert sterk over de afglijding. Dit wordt veroorzaakt door de grote activiteit van de afglijding: -bomen vallen om door snelle kleine afglijdingen, -door scheuren in de grond worden bomen getordeerd en doormidden gesplitst. Hierdoor verdwijnt het hele vegetatiedek over meerdere vierkante meters.

Ruim 95% van de bomen heeft kenmerken die wijzen op een bewegende ondergrond, zoals gekantelde stammen, zwane-halsvorm van de stam, etc. De overige 5% van de bomen, vooral oude bomen, vertonen een normale groeivorm.

De bovenste helfte van de afglijding heeft een lage bedekkingsgraad ( op sommige plaatsen tot 0% ). Het bodemoppervlak is vooral in de onderste helft van de afglijding verdeeld in schollen met een verschillend oppervlak. De schollen worden gescheiden door scheuren in de grond. De scheuren lopen niet alleen, zoals te verwachten bij een afglijding, evenwijdig aan de hoogtelijnen, maar ook in laterale richting van de afglijding. De scheuren zijn maximaal een meter diep. De breedte varieert tussen de 10 cm. en 2m. en hangt samen met de snelheid waarmee de begrenzendende schol zich beweegt. De helling van de afglijding varieert tussen de 5 en 30 graden. Het middelste gedeelte ( clusters 1,3 en 4 ) is relatief vlak, een soort plateautje.

In het verslag worden ook de boommonsters gebruikt van twee andere onderzoeksplotjes. Het eerste plotje ligt direct ten noorden van de afglijding ( cluster 0; cluster refereert bij cluster 0 niet naar de selectiewijze van bomen voor bemonstering; zie Hoofdstuk 3 ). Het betreft hier bomen die staan op een semi-stabiele helling.

De kenmerken van een actieve afglijding ontbreken bij dit plotje; geen kromme bomen, geen scheuren in de grond of scarps ect.

Het tweede plotje ligt 5 km. naar het zuiden in het Bois de Gaudessart ( BDG ). Dit bos is gelegen op de noordhelling van het Ubaye-dal, 2 km. ten zuiden van Barcelonnette. De bomen van dit plotje staan op een plateau ( helling tot 0 % ), zodat elke invloed van massabewegingen is uitgesloten. De gegevens van deze twee plotjes worden betrokken bij de interpretatie van de resultaten van de afglijding.



### HOOFDSTUK 3 Bemonstering

Binnen bepaalde groepen bomen op de afglijding bestond een grote samenhang in groeivorm en plaats. Deze onderlinge samenhang werd benadrukt doordat deze groepen van bomen meestal begrensd werden door scheuren in de grond. Op basis van deze kenmerken is besloten de te bemonsteren bomen per cluster te bemonsteren.

Het voordeel van deze methode is dat men kan aannemen dat de clusters een beter dendrogeomorfologisch beeld geven van de afglijding dan bijvoorbeeld at random gekozen bomen over de hele afglijding. Een cluster van bomen die op een door scheuren begrensde schol staan zal een éénduidig dendrogeomorfologisch beeld geven van die schol. Deze schollen zijn waarschijnlijk oppervlakkige afglijdingen. De bomen op deze schollen zijn beïnvloed door de beweging van de schol waar ze op staan. In welke mate de beweging van deze schollen beïnvloed wordt door de beweging van de hele afglijding is niet duidelijk. Een beweging van de afglijding zal echter kunnen leiden tot het "triggeren" van een beweging van de schollen. In het dendrogeomorfologisch beeld van de afzonderlijke clusters is in theorie ook de beweging van de hele afglijding terug te vinden. Clusters die verspreid liggen over de afglijding geven niet alleen een beeld van activiteit van de hele afglijding, maar ook een beeld van verschillen in beweging op verschillende plaatsen op de afglijding.

Er is niet besloten om at random te bemonstren omdat bij het at random uitkiezen van te bemonsteren bomen een verstoord dendrogeomorfologisch beeld van de afglijding ontstaat. Door de grote verschillen in groeivorm van de bomen op de afglijding is het redelijk om aan te nemen dat de bomen niet in dezelfde mate en richting beïnvloed worden door een beweging van de afglijding. Het verschil in het dendrogeomorfologisch beeld van de bomen kan hierdoor groot zijn. De uiteindelijke resultaten van de hele afglijding zullen een hoeveelheid "ruis" bevatten die de interpretatie van de resultaten zal bemoeilijken.

De clusters zijn volgens figuur 4 verdeeld over de afglijding. De mogelijkheid om clusters te kiezen was beperkt. De clusters moeten een minimaal aantal bomen bevatten om bij het uitwerken verantwoorde statistische bewerkingen mogelijk te maken. Het minimum aantal bomen in de clusters bedraagt 6. Clusters met 6 of meer bomen met een gelijkwaardig groeigedrag zijn echter beperkt aanwezig op de afglijding. De uiteindelijke zeven clusters hebben een zo groot mogelijke ruimtelijke spreiding over de afglijding. Dit garandeert een goed beeld van de activiteit van de hele afglijding. De clusters 1, 3, en 4 liggen relatief dicht bij elkaar. De dichtheid van bomen op deze plaats van de afglijding was groot genoeg om meerdere clusters te kunnen plaatsen. Clusters 1, 3 en 4 zijn in het verslag soms samengevoegd tot een grote cluster, aangeduid met EDV ( cluster Eén - Drie-Vier ). De onderlinge ligging van deze drie clusters, relatief op dezelfde hoogte en op kleine afstand van elkaar, maakt het verantwoord om een verzamel cluster te maken.

## HOOFDSTUK 4 Computerbewerking van de data

De rekenkundige analyse van de data gebeurt met het computer programma CAT ( Weiss, 1987 ). Dit programma bevat drie rekentechnieken die gebruikt zijn bij de analyse van de boommonsters;

- berekening van de excentriciteit
- berekening van de event response index
- berekening van het powerspectrum

Het programma CAT kan opgestart worden met de cyber van het ACCU. De boommonsters zijn geschikt gemaakt voor computerverwerking, op de manier zoals omschreven in hoofdstuk 5 van het eerste gedeelte van het verslag.

### 4.1. Berekening van de excentriciteit

Bij normale groei vormt een boom concentrische jaarringen. 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 deze zijde van de stam zal toenemen. Aan de hellingopwaartse zijde van de stam zal de breedte van de jaarringen afnemen. De afstand tussen een jaarring en de kern van een boom is dus niet meer overal gelijk. De jaarring is niet meer concentrisch maar excentrisch. De overgang van een concentrische jaarring naar een excentrische jaarring geeft het tijdstip van de inclinatie van de stam aan, dus ook het aanvangstijdstip van de activiteit van een afglijding.

Bij het bepalen van het excentriciteitsverloop van een boom wordt de excentriciteit tussen de twee boommonsters van de boom per jaar berekend. Het resultaat wordt uitgezet in een grafiek ( fig. 5 ). Op de nullijn in deze grafiek zijn de jaarringen concentrisch. Boven en onder de nullijn zijn de jaarringen excentrisch. Daar waar de curve van de excentriciteit de nullijn snijdt, verandert

Fig. 5  
 a: jaarring-  
 curven  
 b: excentri-  
 citeitsverloop  
 c: signifi-  
 cante excentri-  
 citeits veran-  
 dering

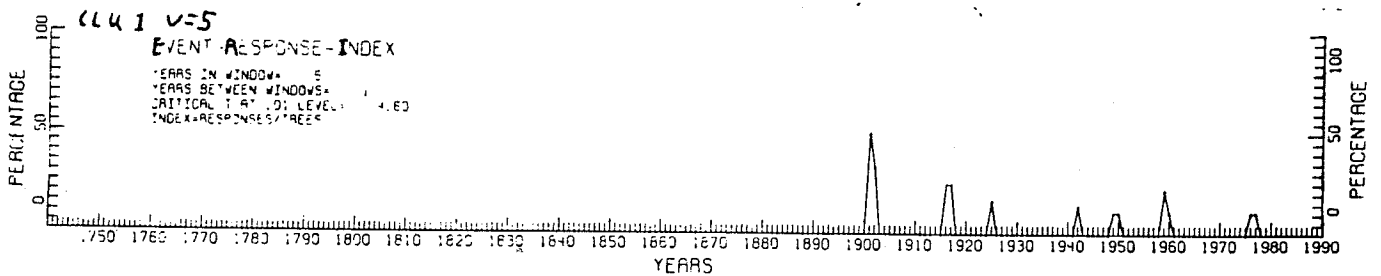
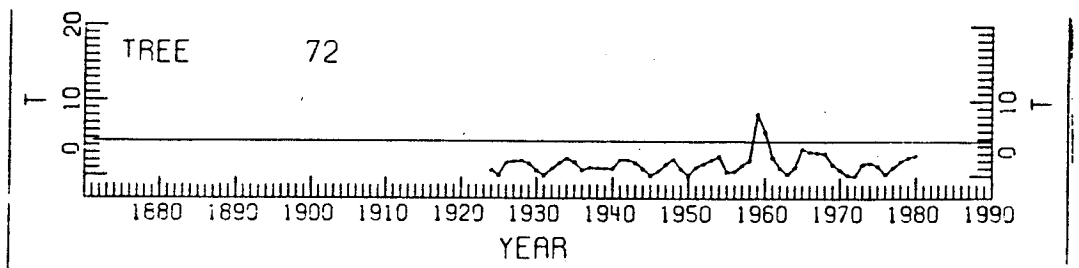
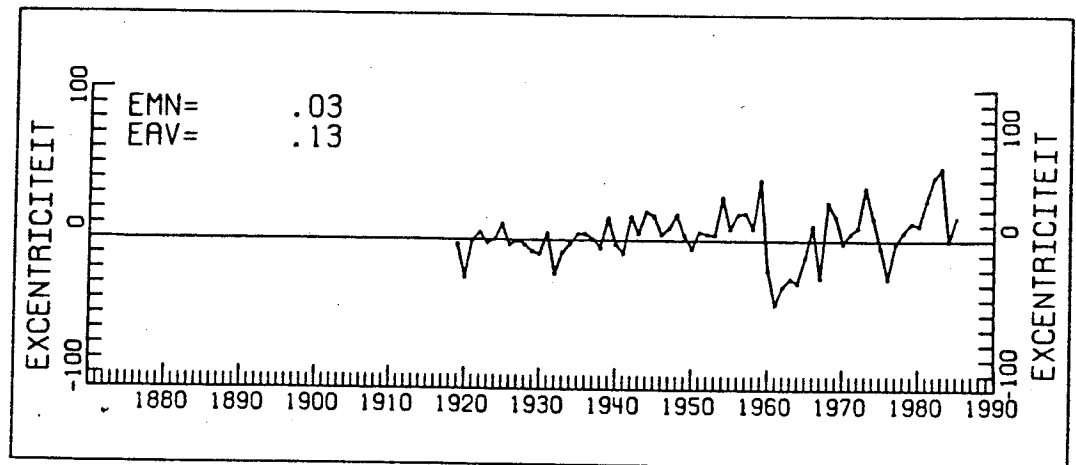
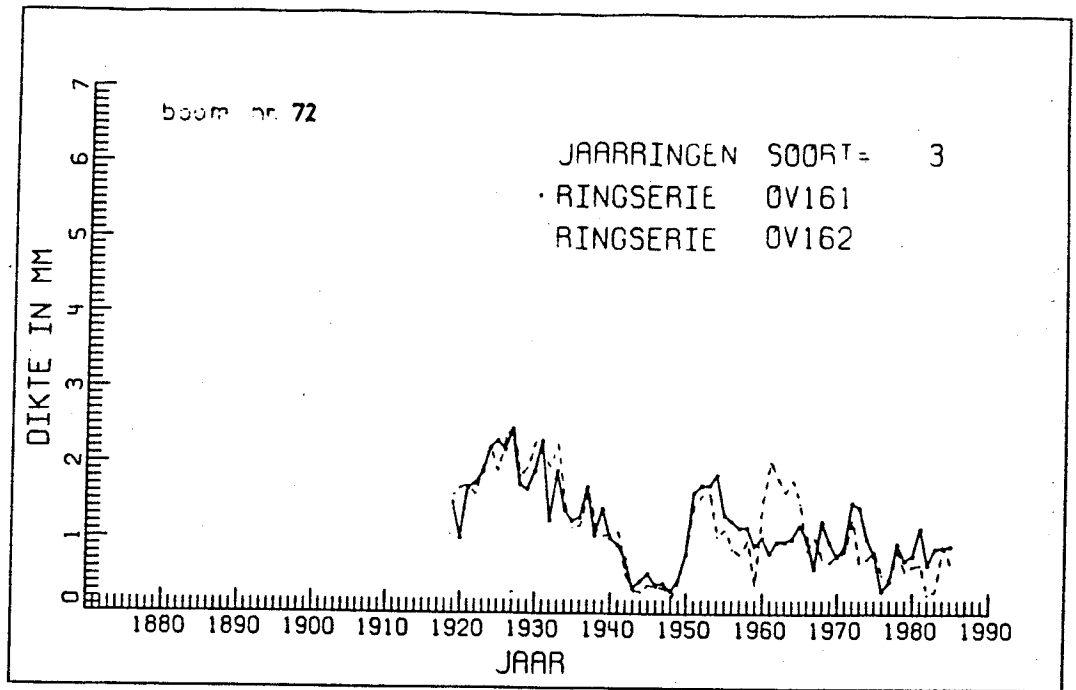


Fig. 8 E.R.I. curve

de inclinatie richting van de stam. Behalve door de invloed van massabewegingen, kan excentriciteit veroorzaakt worden door lawines, wind en verschil in belichting van de kruin. In de onderzoeksgebieden zijn geen sporen gevonden die wijzen op lawineactiviteit of windbeïnvloeding.

Bij de interpretatie van het excentriciteitsverloop zijn snelle fluctuaties van de excentriciteit niet interessant. Gezocht wordt naar duidelijke trends in het excentriciteitsverloop.

Het berekenen van de jaarlijkse excentriciteit gebeurt volgens formule ( 1 ) ( fig. 6 ) ( Braam e.a., 1987 ).

$$E = \frac{R a - R c}{R a + R c} * 100 \% \quad ( 1 )$$

waarin:

E = excentriciteit  
 R a = ringbreedte langs straal a  
 r c = ringbreedte langs straal c

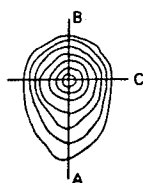
Een andere rekenmethode voor het berekenen van de excentriciteit is die van Alestalo ( 1971 ). Bij deze methode wordt in plaats van het "neutrale" boommonster langs straal c, het hellingopwaartse monster ( langs straal b ) gebruikt ( 2 ).

$$E = \frac{R a}{R a + R b} * 100 \% \quad ( 2 )$$

waarin:

R b = ringbreedte langs straal b

Fig. 6 Berekening van de excentriciteit volgens methode ( 1 ) en ( 2 ).  
 ( uit Braam e.a., 1987 )



$$E = \frac{R A - R C}{R A + R C} \quad ( 1 )$$

$$E = \frac{R A}{R A + R B} \quad ( 2 )$$

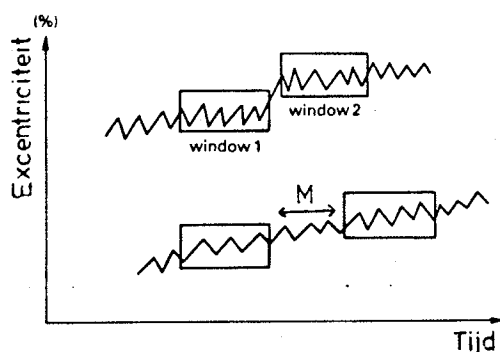
Het nadeel van deze methode is dat de breedte van de jaarringen langs straal b erg klein is, waardoor snel telfouten ontstaan. De excentriciteitswaarde die wordt

berekend volgens de tweede methode is getalsmatig groter dan die volgens de eerste methode. Dit is echter niet van belang omdat het niet gaat om de absolute waarde van de excentriciteit, maar om de ontwikkeling van de excentriciteit in de tijd.

#### 4.2. Berekening van de event response index

De event response index laat zien welk percentage van een bomenpopulatie heeft gereageerd op een massabeweging. De event response index wordt berekend met behulp van de Split Moving Window techniek ( S.M.W. ) ( Braam e.a., 1987 naar Webster & Wong 1968 ). Door toepassing van de Split Moving Window techniek kan bekeken worden of in een bepaald jaar de relatieve excentriciteit zo veranderd is dat er sprake moet zijn van scheefstelling van de boom.

Fig. 7 Split Moving Window techniek. M: mullionbreedte ( uit Braam e.a., 1987 )



Bij het berekenen met de S.M.W. techniek wordt de curve van het excentriciteitsverloop "afgetast" door twee vensters met een gelijke breedte ( fig 7 ). Voor elk jaar wordt het gemiddelde bepaald binnen de twee vensters. Het verschil tussen de twee venster gemiddelden wordt statistisch getoetst m.b.v. een 2-t toets ( student t test ). Uit de berekende t-waarde kan worden afgeleid worden of het verschil tussen de gemiddelden statistisch relevant is ; dit alles volgens ( 1 ), ( 2 ) en ( 3 ) ( z.o.z ) ( Braam e.a., 1987 ).

$$t = \frac{E_1 - E_2}{S_{pm}} \quad ( 1 )$$

$$S_{pm} = \sqrt{\frac{2 S}{n}} \quad ( 2 )$$

$$S = \frac{\sum ( E_1 - \bar{E}_1 ) + \sum ( E_2 - \bar{E}_2 )}{2 ( n-1 )} \quad ( 3 )$$

waarin; t = te berekenen t-waarde

$\bar{E}$  = venster gemiddelde in jaren

S pm = referentie waarde / geschatte standaard fout

n = aantal bomen

De berekende t-waarde uit ( 1 ) wordt vergeleken met een kritische t-waarde. Als de berekende t-waarde groter of gelijk is dan de kritische t-waarde dan is er sprake van een significante verandering van de excentriciteit. In dit geval wordt aan het berekende jaar een 1 toegekend. Is de t-waarde kleiner dan de kritische t-waarde dan wordt aan het jaar een 0 toegekend. Deze procedure wordt voor elke boom van een populatie herhaald. Het resultaat wordt uitgezet in een event response index curve van de onderzochte populatie ( cluster ) ( fig 8 ). In een event response index curve zijn de massabewegingen die tot een excentriciteit van de jaarringen hebben geleid ( 'event' ), uitgezet t.o.v. het percentage bomen van de populatie die de 'event' hebben gerigistreerd door de groei van excentrische jaarringen. Bij alle berekeningen is de kritische t-waarde gesteld op 4,6. Deze waarde is gebaseerd bij deze berekeningen op een betrouwbaarheid van 99 % ( Braam e.a., 1987 ).

De breedte van de vensters kan men met behulp van de optiefile van het CAT programma laten variëren. Bij de berekeningen zijn vensterbreedtes van 3 tot 10 jaar gebruikt. De invloed van variaties in de vensterbreedtes op de event-response-index curve wordt besproken in hoofdstuk 5.

De twee vensters worden gescheiden door een mullion. De breedte van de mullion is bij de berekeningen in principe op 1 jaar gehouden. Wel is bekeken wat de invloed is van het verhogen van deze waarde. Dit wordt ook besproken in hoofdstuk 5.

#### 4.3. Berekening van het powerspectrum

De event response index kan gecontroleerd worden op cycliciteiten en trends in het voorkomen van periodes van massabewegingen. Dit is nuttig i.v.m. het correleren van de massabewegingsactiviteit met neerslag en temperatuurgegevens.

Het controleren op cycliciteiten en trends is gedaan met een powerspectrum, berekend met behulp van de fourier analyse ( Chatfield, 1984 ). In het powerspectrum is langs de y-as aangegeven hoeveel procent van de variatie in de populatie verklaard wordt door cycliciteit. De golflengte van de cycliciteit staat langs de x-as aangegeven.

De invloed van variaties in venster- en mullionbreedte op het powerspectrum komt aan de orde in hoofdstuk 5.



## HOOFDSTUK 5 Resultaten

### 5.1. Foutenanalyse

Het bemonsteren door middel van radiale boommonsters heeft als nadeel dat een totaal overzicht van de inclinatie richtingen van een boom ontbreekt. De beste manier om zo een totaal overzicht te krijgen is een dwarsdoorsnede van de stam; dit is om begrijpelijke redenen niet mogelijk.

Bij het nemen van radiale boommonsters bepaalt men de boorpunten naar aanleiding van de huidige inclinatie-richting van de boom. De boom kan echter in het verleden ook andere inclinatie-richtingen hebben gehad. Deze zijn in de huidige uiterlijke vorm van de boom niet te zien. Het nemen van een boommonster in de richting van de huidige, zichtbare, inclinatie impliceert dat alleen de geschiedenis van deze inclinatie-richting goed onderzocht kan worden. Vroegere inclinatie-richtingen, en de intensiteit van deze inclinaties zijn niet optimaal bemonsterd. Figuur 9 geeft een overzicht van de mogelijke fouten die ontstaan als geboord wordt met de laatste inclinatie-richting als uitgangspunt.

Het probleem kan gedeeltelijk verholpen worden door met behulp van longitudinale groeivormanalyse van de boom het minimale aantal kantelingen (inzetten inclinatie) van de stam te bepalen. Dit kan uiteindelijk een waardevolle aanvulling zijn op de Event Response Index curven.

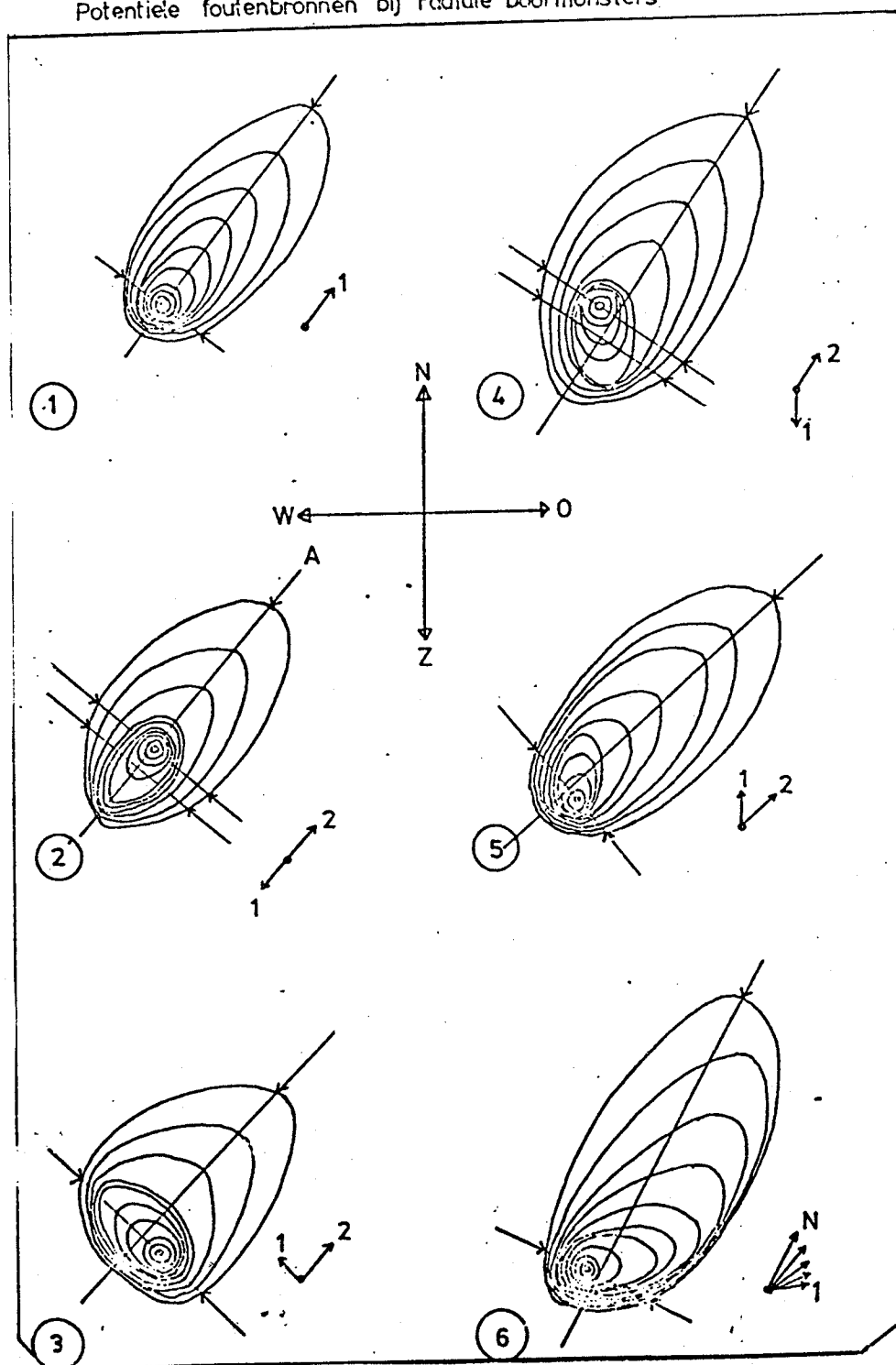
Andere fouten, door valse en missende jaarringen, telfouten etc. zijn moeilijk te voorkomen. De monsters zijn meerdere keren geteld om dit soort fouten te beperken. De fouten blijven zich manifesteren bij de verdere rekenverwerkingen van de monsters. Toch zullen de genoemde fouten de resultaten niet bij voorbaat twijfelachtig maken. Immers, gezocht wordt naar duidelijke perioden van massabewegingen en cycliciteit van deze perioden.

De lengte van deze perioden blijkt in de orde van 10 tot

20 jaar te liggen. Fouten die spelen op een interval van 1 a 2 jaar zullen slechts beperkt van invloed zijn op deze perioden.

Potentiele foutenbronnen bij radiale boommonsters

Fig. 9  
( naar  
Braam,  
1985 )



### 5.2.1. De Event Response Index curven

Bij het vergelijken van de Event Response Index curven van de clusters 1 t/m 7 blijken er duidelijke overeenkomstige perioden van massabeweging activiteit te zijn ( fig 10 en 11 ). De overeenkomstige perioden van activiteit van de clusters duiden op een beweging van de hele afglijding.

De eerste overeenkomstige periode ligt tussen 1920 en 1924. De E.R.I. curven van de clusters 2, 3 en 5 vertonen rond dit jaar een piek. De andere clusters bevatten rond dit jaar te weinig bomen, waardoor de E.R.I. curven van deze clusters rond 1920 niet betrouwbaar zijn. Het gemiddelde registratie percentage van de E.R.I. curven van de clusters 2, 3 en 5 bedraagt 20 %, met een uitschieter bij cluster 5 naar 40 %.

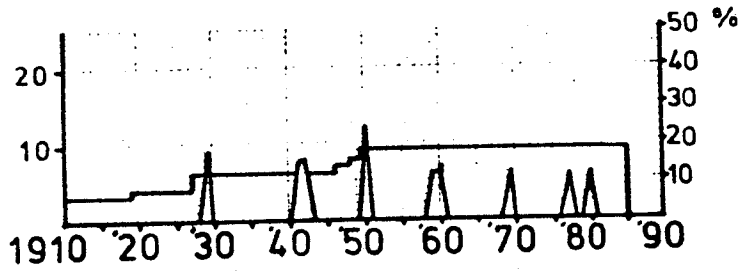
De tweede periode ligt rond 1930 met pieken in de E.R.I. curven van de clusters 1, 3 en 5. Opvallend is het ontbreken van deze periode bij cluster 2. Deze cluster ligt op de top van de afglijding ( fig 12 ). Het registratie percentage bij de clusters 1, 3 en 5 is ca. 18 %.

De derde periode, rond 1940, wordt geregistreerd door de clusters 1, 2, 3, en 5. De overige drie clusters hebben nog niet genoeg bomen voor betrouwbare gegevens. Het registratie percentage bij de clusters 1, 2, 3, en 5 bedraagt ca. 15 %.

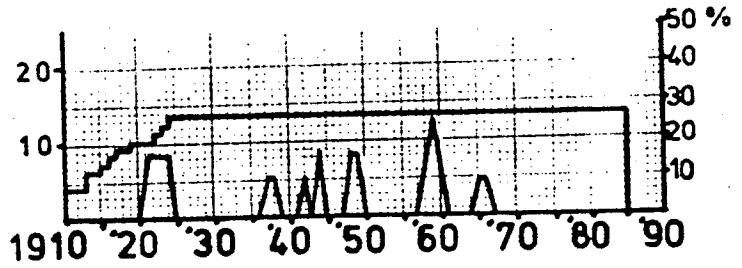
De periode rond 1950 wijst op een beweging in de bovenste helft van de afglijding, die "vertraagd" doorgegeven wordt naar beneden ( cluster 6 ). Cluster 5 reageert helemaal niet rond dit jaar. Dit is vreemd als men bedenkt dat cluster 5 ingesloten ligt tussen de clusters 1, 3, 4 en 6 die wel een piek vertonen in de E.R.I. curve. Dit "afwijkend" gedrag van cluster 5 zet zich door. Ook in de periode rond 1960 ontbreekt een piek in E.R.I curve van cluster 5. Van 1945 tot 1965 geeft cluster 5 geen piek in de E.R.I. curve. Het registratie percentage van de clusters die wel reageren rond 1950 bedraagt ca. 20 %, met een opvallende piek van 36 % bij cluster 3.

Fig. 10  
E.R.I. curve's  
van de zeven  
clusters

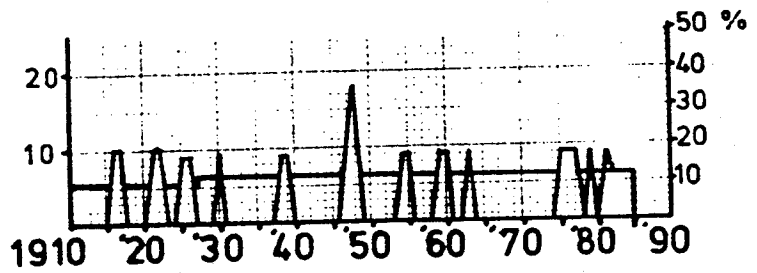
1



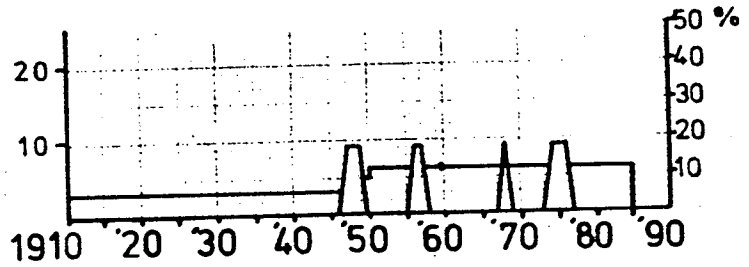
2



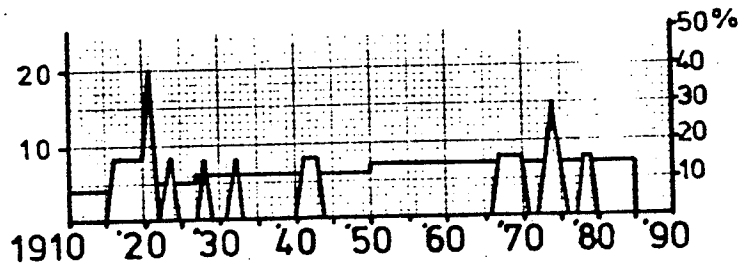
3



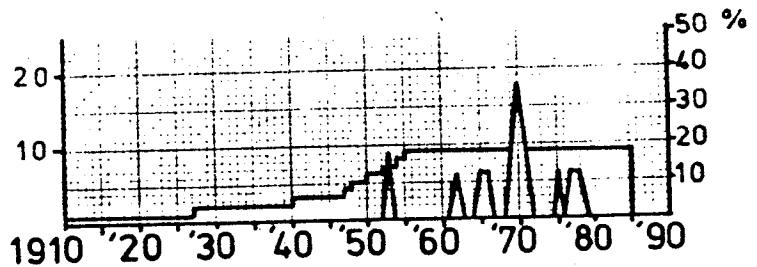
4



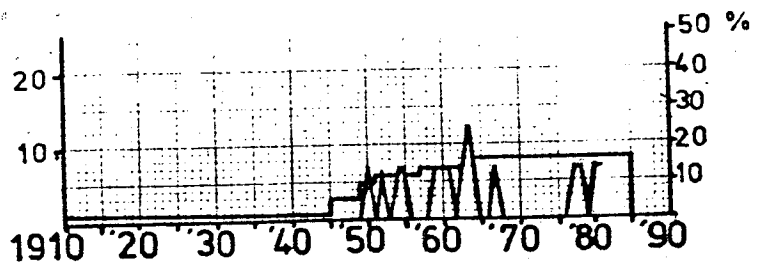
5






6

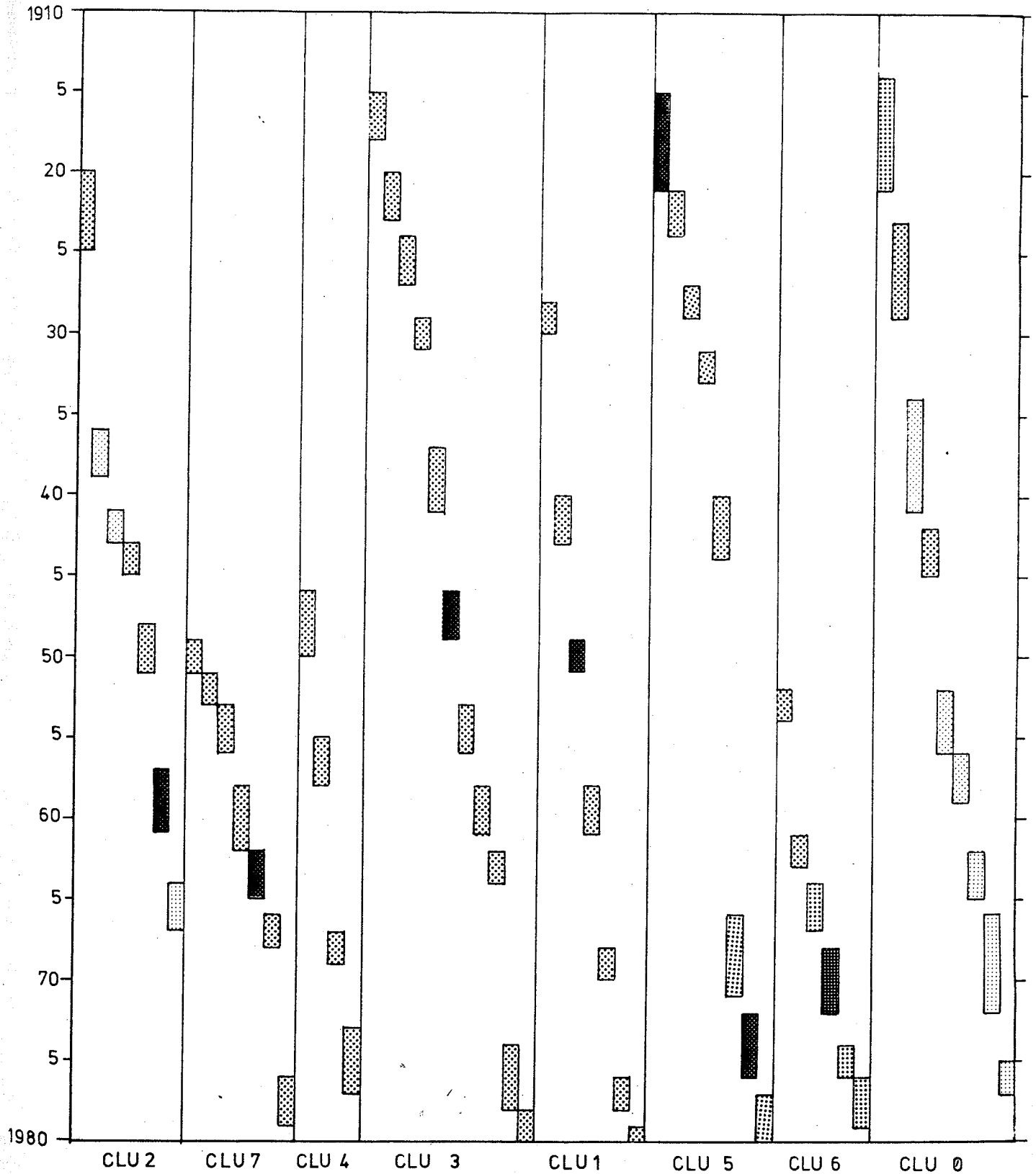


7



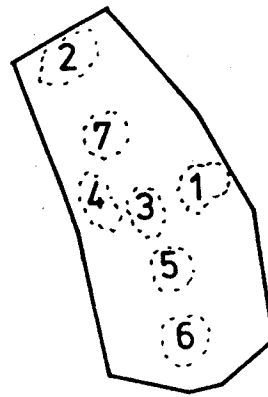
Figuur 11 Perioden van bewegingsactiviteit van de zeven clusters op de afglijding en van cluster 0. Intensiteit van de bewegingen is verdeeld in drie klassen ( gebaseerd op event response index curven, fig. 10 en 11 ).

-  0 tot 10 %
-  10 tot 20 %
-  meer dan 20 %



De vijfde overéénkomstige periode, rond 1960, ontbreekt behalve in de E.R.I. curve van cluster 5, ook in de E.R.I. curve van cluster 4. De clusters die wel reageren hebben een registratie percentage van ca. 16 %. De curve van cluster 4 heeft wel, net zo als de E.R.I. curven van de clusters 3 en 7, een piek in 1956. De clusters 3, 4 en 7 grenzen aan elkaar ( fig 12 ). De piek bij 1956 is waarschijnlijk dan ook het gevolg van een plaatselijke afglijding.

Fig. 12 Ligging van de zeven clusters op de afglijding



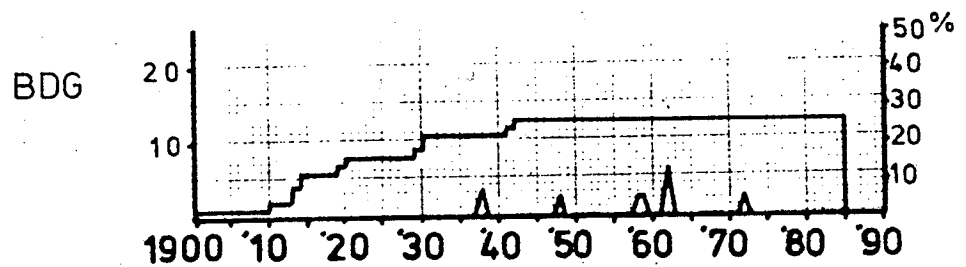
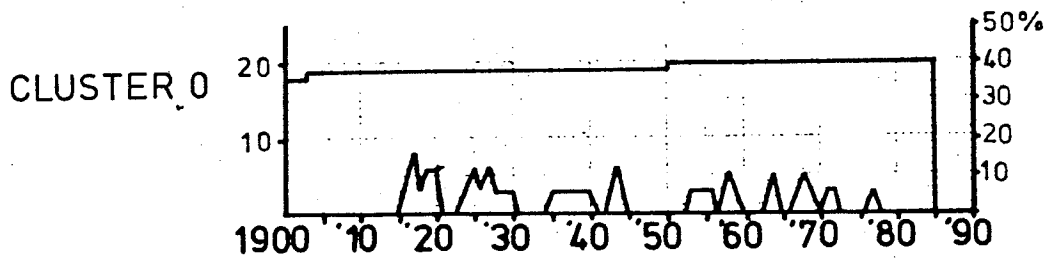
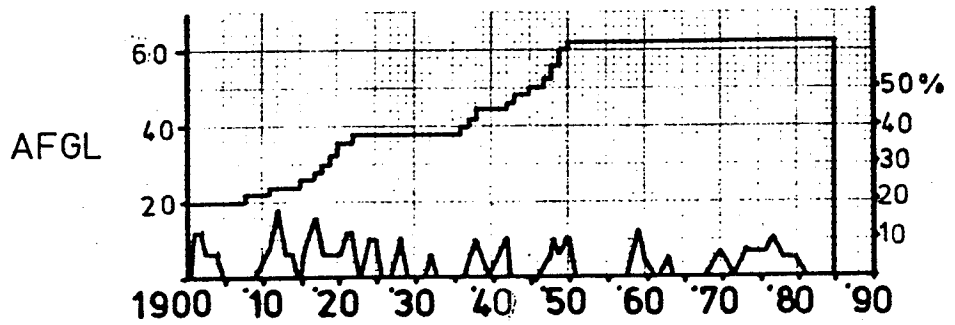
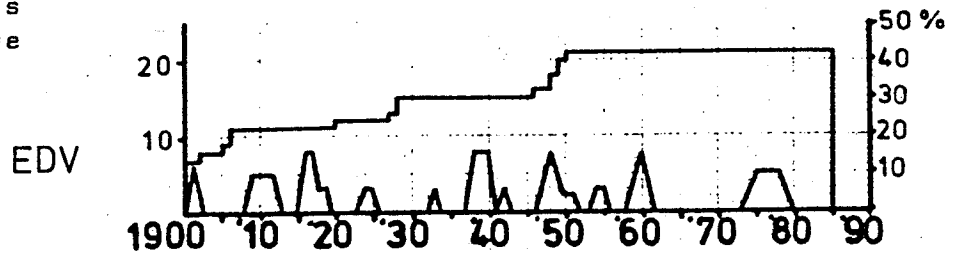
De laatste gezamenlijke beweging van de clusters vindt plaats rond 1976. Alleen cluster 2 geeft rond dit jaar geen response, een vergelijkbare situatie als rond 1930. Overéénkomstige jaren van activiteit tussen een beperkte groep van clusters liggen rond 1967 ( clusters 2, 4, 5, 6 en 7 ), 1970 ( clusters 1, 5 en 6 ) en 1980 ( clusters 1, 3, 5 en 7 ).

De beschreven perioden van activiteit worden teruggevonden in de E.R.I. curve van AFGL ( de 7 clusters bij elkaar ). Door het grote aantal bomen in de AFGL curve is de activiteit van de afglijding terug te volgen tot aan het begin van deze eeuw ( fig 13 ). Rond 1902 en 1912 zijn twee vroege perioden van activiteit in de curve te herkennen.

De clusters 1, 3 en 4 zijn samengevoegd tot de grote cluster EDV. De E.R.I. curve van deze cluster laat een vergelijkbaar beeld zien als de curve van AFGL, wat niet vreemd is, omdat de clusters 1, 3, en 4 in beide populaties aanwezig zijn.

De E.R.I. curve van de ten noorden van de afglijding gelegen cluster 0 laat een iets afwijkend beeld zien t.o.v.

Fig. 13  
 E.R.I. curves  
 van de overige  
 plotjes



de AFGL curve ( fig. 13 ). De pieken bij de jaren 1902, 1912 en 1950 ontbreken. Duidelijke overéénkomstige jaren van activiteit zijn 1920, 1927, 1940, 1958, 1969 en 1976. De cluster in het Bois de Gaudessart ( BDG ) ligt op een plateau. Men kan aannemen dat de invloed van massabewegingen nihil is. De hier bemonsterde bomen vertoonde uiterlijk in ieder geval geen sporen die zouden kunnen wijzen op massabewegingsactiviteit. De E.R.I. curve van BDG vertoont echter wel een paar kleine piekjes ( fig. 13 ). Omdat het aannemelijk is dat deze piekjes niet het gevolg zijn massabewegingen moet naar een andere oorzaak worden gezocht. In hoeverre deze oorzaak de andere E.R.I. curven beïnvloedt moet nog blijken ( Hoofdstuk 6 ).

#### 5.2.2. De Powerspectra

De E.R.I. curve's van de clusters zijn met behulp van een Fourieranalyse onderzocht op cycliciteit. Van alle clusters zijn, voor verschillende vensterbreedtes, powerspectra berekend. De hier besproken powerspectra zijn kwalitatief optimaal, d.w.z. de pieken van de powerspectra hebben een breedte langs de x-as van de powerspectra van ca. 5 jaar en een maximale "power" ( hoogte ). De power geeft het percentage van variantie in de populatie die verklaard wordt door een bepaalde golflengte ( cycliciteit ). Langs de x-as van het powerspectrum staat de golflengte van de cycliciteit. De kwaliteit van de powerspectra is weergegeven in figuur 1 van de bijlagen. De kwaliteit is gebaseerd op hoogte en breedte van de pieken. De powerspectra zijn niet berekend op gegevens met een constante vensterbreedte, wel is de mullion waarde constant op één jaar gehouden. Het laten variëren van de vensterbreedte is gedaan om een kwalitatief zo goed mogelijk powerspectrum te verkrijgen.

-Cluster 1. Het optimale powerspectrum wordt verkregen bij een vensterbreedte van 4 jaar ( fig. 14 ). De hoogste piek van het powerspectrum geeft voor 5 % van de popula-



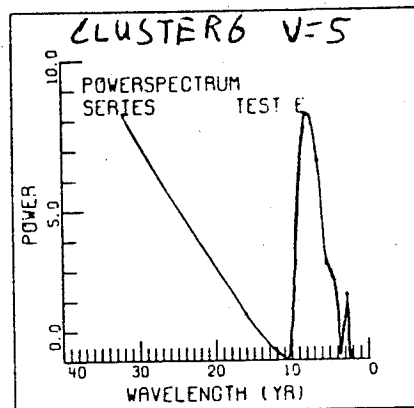
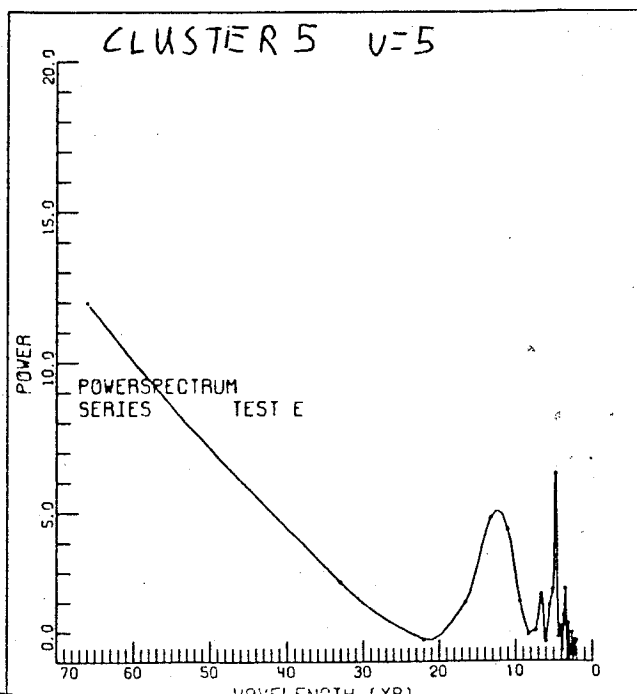
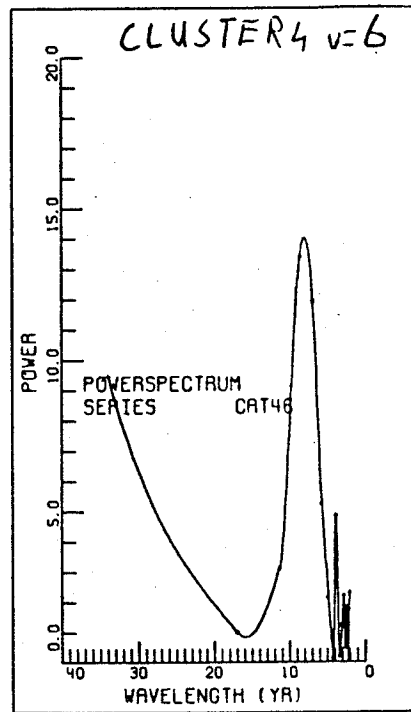
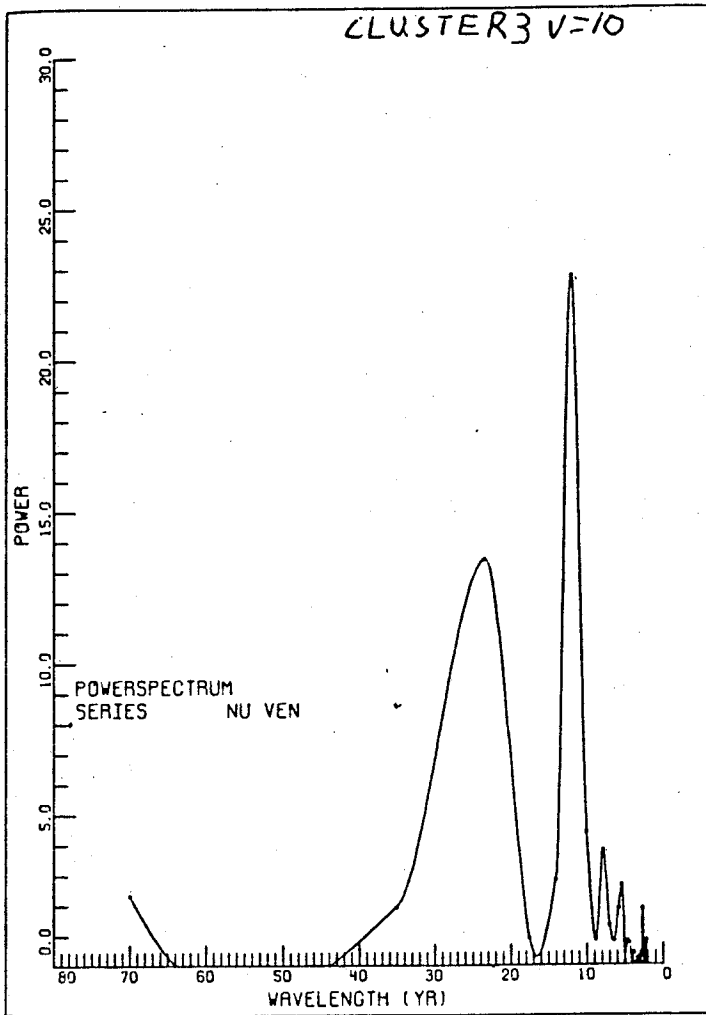
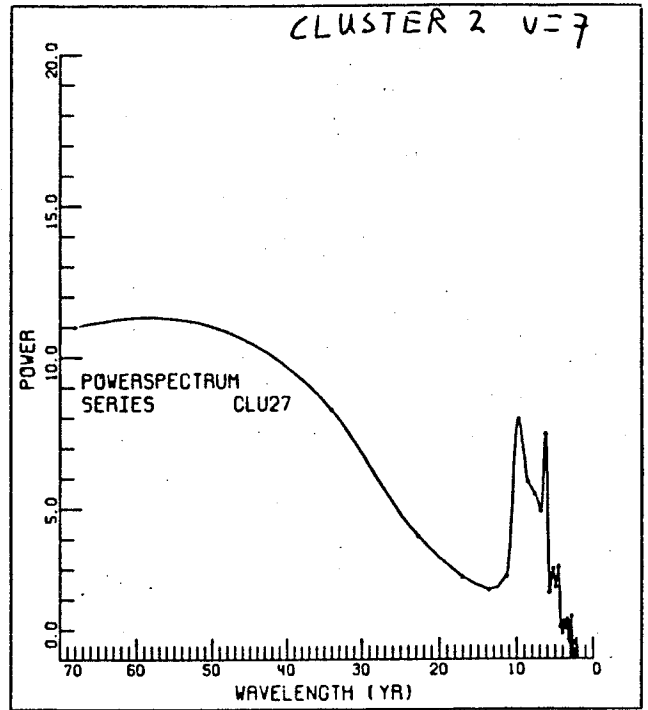
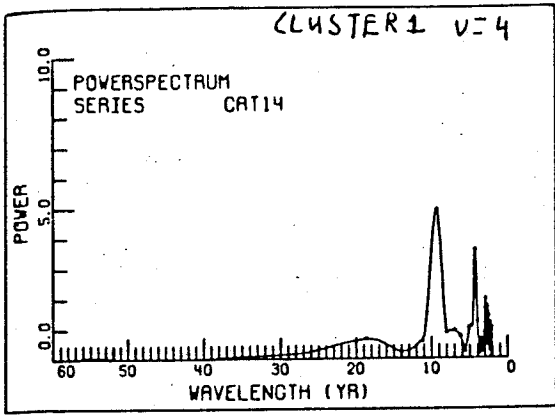


Fig. 14

tie een cycliciteit van 9 jaar.

-Cluster 2. Bij cluster 2 is gekozen voor het powerspectrum met een vensterbreedte van 7 jaar. De hoogste piek geeft een cycliciteit van 10 jaar voor 8 % van de populatie. De bult in het linker gedeelte van het powerspectrum wordt veroorzaakt door ruis.

-Cluster 3. Het powerspectrum bij een vensterbreedte van 10 jaar geeft een zeer goed resultaat. De primaire ( beste ) piek geeft voor 24 % van de populatie een cycliciteit van 11 jaar. De secundaire piek verklaart voor 14 % van de bomen een cycliciteit van 23 jaar.

-Cluster 4. Het powerspectrum bij een vensterbreedte van 6 jaar geeft het beste resultaat. De piek geeft voor 14 % van de bomen een cycliciteit van 8,5 jaar.

-Cluster 5. Het beste resultaat geeft het powerspectrum met een vensterbreedte van 5 jaar. Voor 5 % van de bomen geldt een cycliciteit van 12 jaar.

-Cluster 6. Bij een vensterbreedte van 5 jaar verkrijgt men het beste powerspectrum. De primaire piek geeft voor 8,2 % van de 9 bomen een cycliciteit van 7 jaar.

-Cluster 7. Ook hier geeft een vensterbreedte van 5 jaar het beste powerspectrum ( fig. 15 ). Voor 16 % van de 8 bomen geeft de primaire piek een cycliciteit van 8,5 jaar aan.

-Cluster 0. Bij deze cluster van 20 bomen geeft een vensterbreedte van 6 jaar het beste powerspectrum. De primaire piek geeft voor 2 % van de bomen een cycliciteit van 14 jaar. Een secundair piekje geeft voor 1,7 % van de bomen een cycliciteit van 21 jaar aan.

-EDV. De samengestelde cluster EDV ( cluster 1, 3 en 4 ) heeft het beste powerspectrum bij een vensterbreedte van 8 jaar. Voor 5,8 % van de 21 bomen geldt dan een cycliciteit van 12 jaar. Een secundair piekje geeft voor 3 % van de populatie een cycliciteit van 18 jaar aan.

-BDG. Het powerspectrum van BDG vertoont, zoals verwacht geen cycliciteit. Deze plot is zoals aangenomen, vrij van massabewegingen, en er is dan ook geen cycliciteit van massabewegingen te constateren. Het piekje van 0,9 procent dat te zien is in het powerspectrum is niet relevant ( ruis ? ).

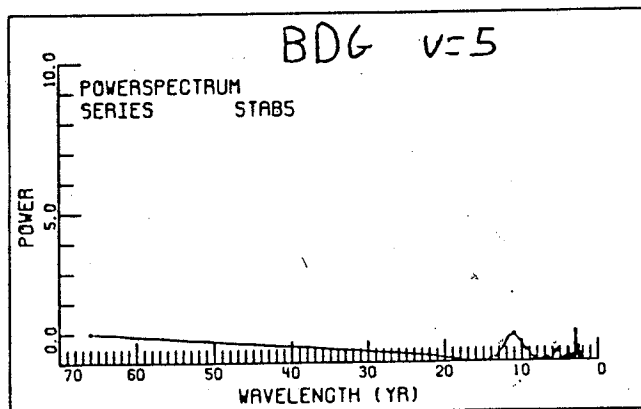
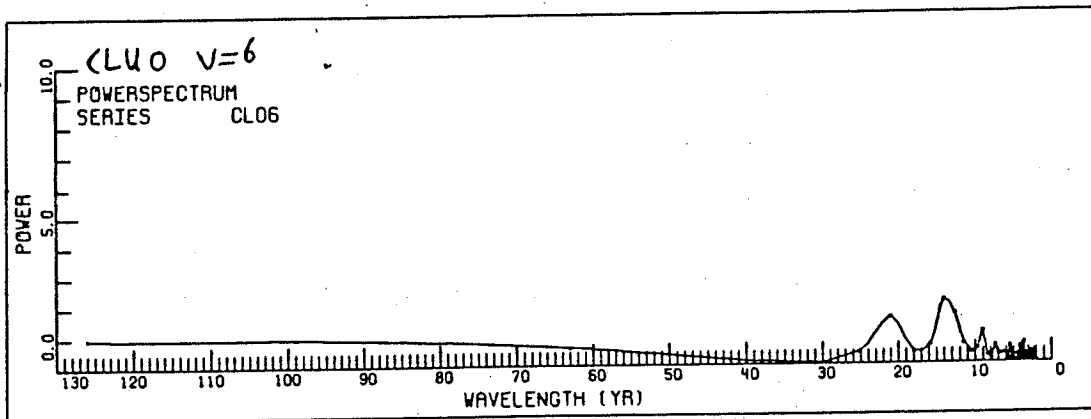
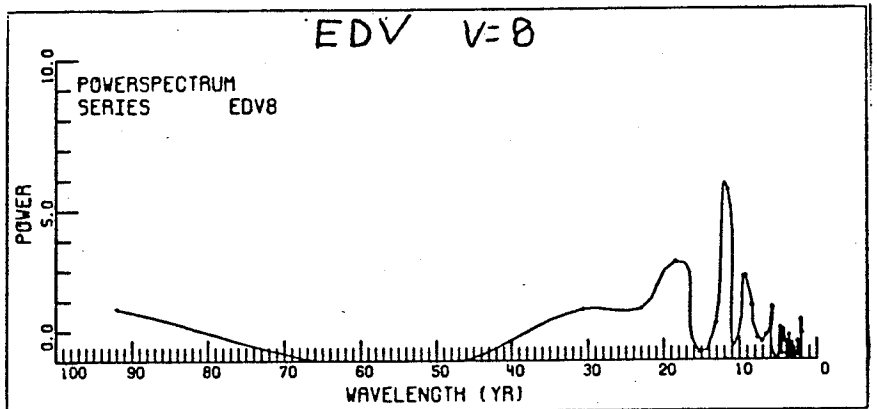
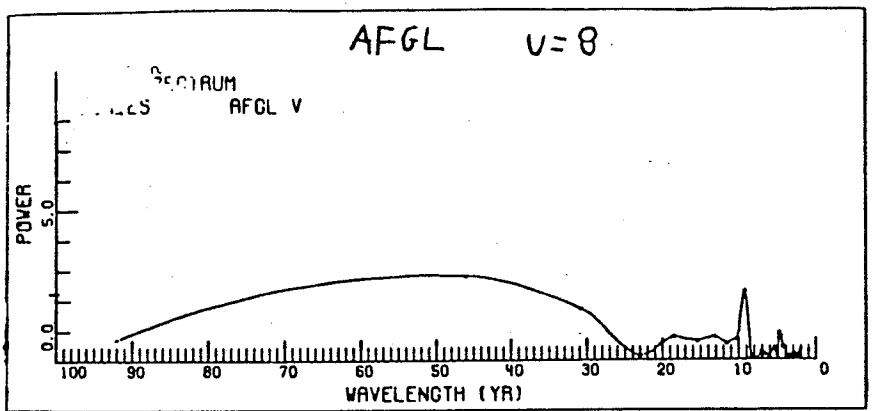
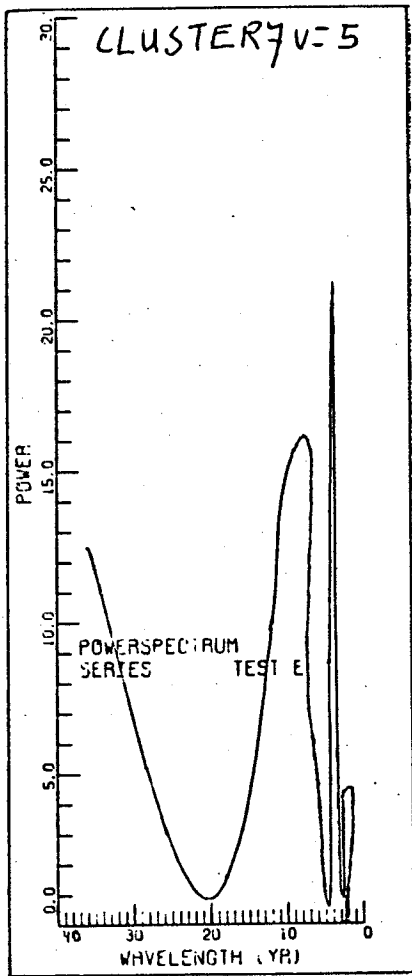


Fig. 15  
Powerspectra

-AFGL. De gezamenlijke populatie van de zeven clusters op de afglijding geeft het beste powerspectrum bij een vensterbreedte van 8 jaar. Bij deze vensterbreedte heeft 2,2 % van de 58 bomen een cycliciteit van 9,5 jaar.

De beschreven powerspectra hebben een power percentage dat varieert van 2 tot 25 procent. Men kan zich afvragen of een power van 2 procent niet berust op toeval. Dit is niet waarschijnlijk omdat de bij dit lage powerpercentage behorende cycliciteitswaarde goed overéénkomt met cycliciteitswaarden die gevonden worden bij hogere powerpercentages.

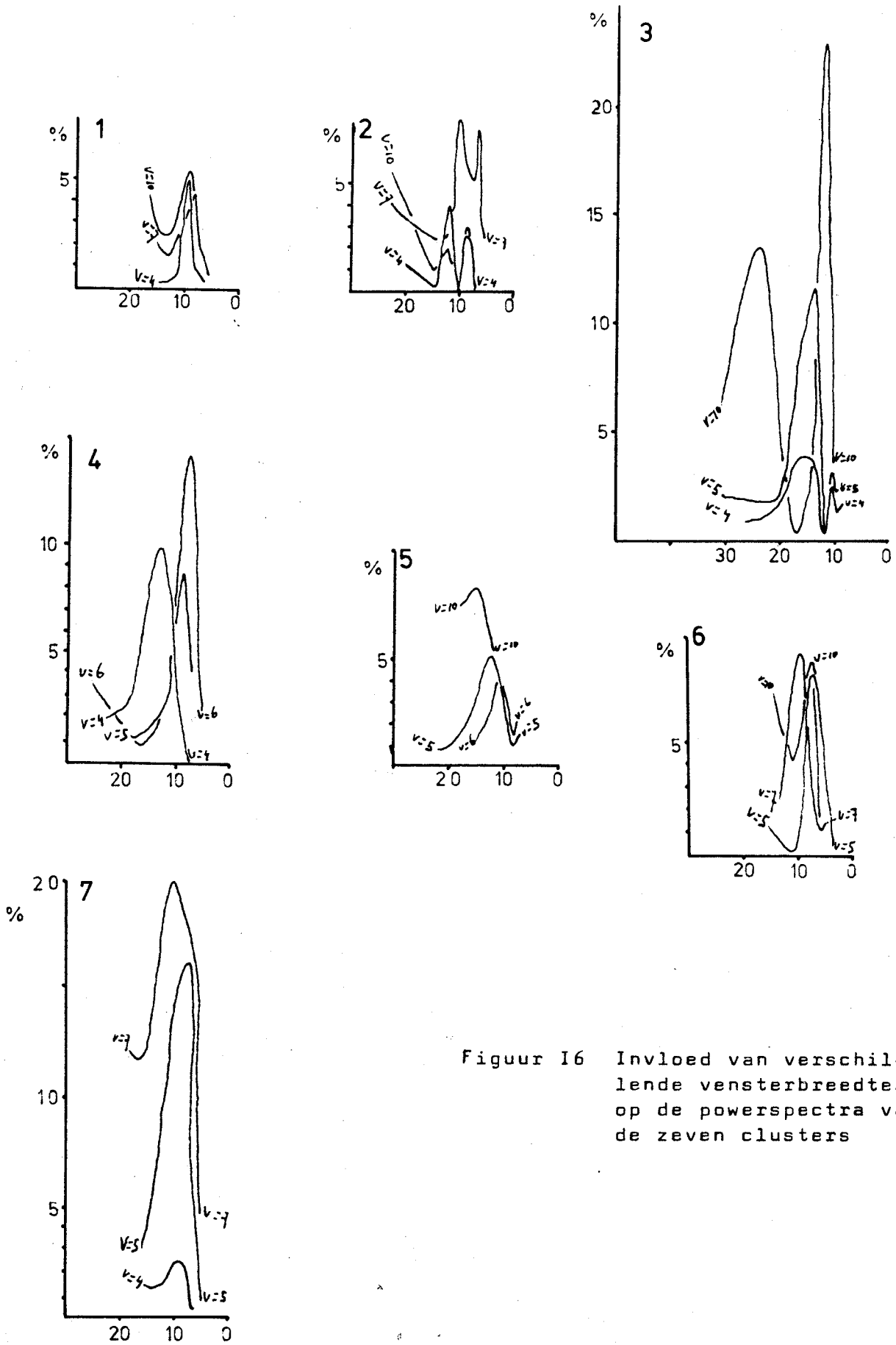
De gevonden golflengten van de cycliciteit liggen tussen de 7 en 12 jaar ( figuur 1, bijlagen ). Dit zijn de waarden die behoren bij de primaire pieken van de powerspectra. De cycliciteit van de secundaire pieken in de clusters 3 en 0 ligt rond de 22 jaar.

### 5.3. Verandering van vensterbreedte en mullion

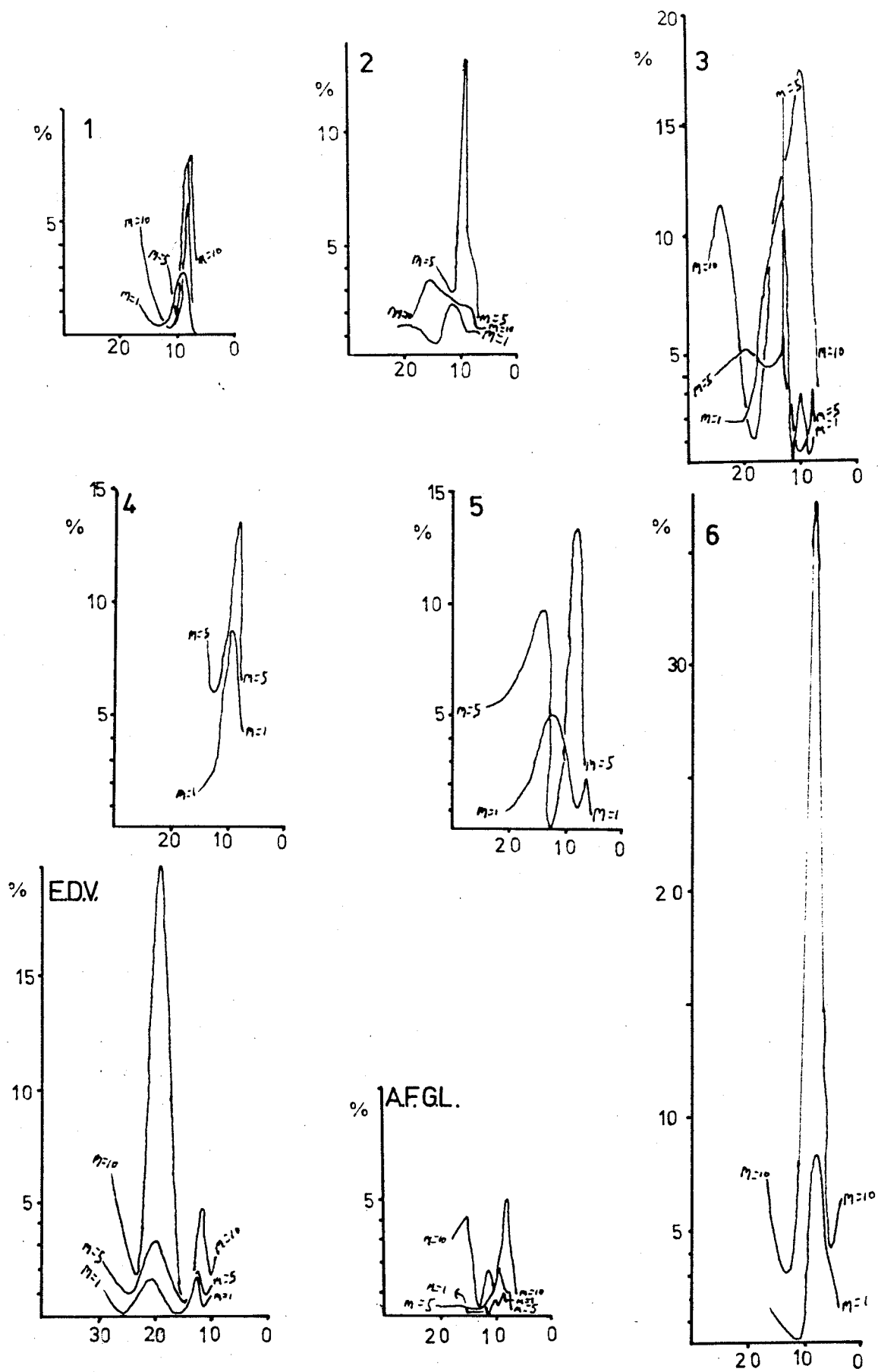
Het laten variëren van de vensterbreedte wordt gedaan om een kwalitatief zo goed mogelijk powerspectrum te verkrijgen. Dit powerspectrum moet een cycliciteitspiek hebben met een maximale hoogte. In welke mate het laten variëren van de vensterbreedte ook van invloed is op de golflengte van de cycliciteitspiek blijkt uit figuur 15. De positie van de cycliciteitspiek verandert bij de verschillende vensterbreedtes, maar de verschuiving blijft beperkt tot enkele jaren. Alleen bij het powerspectrum van cluster 4 is de verschuiving van de cycliciteitspiek groter dan 5 jaar.

Een samenhang tussen de plaats van de cycliciteitspieken en de grote van de vensterbreedte is er dus niet; de golflengte van de cycliciteitspiek neemt niet toe of af bij een toenemende vensterbreedte.

De mullion is bij de powerspectra berekening voor het onderzoek constant op 1 jaar gehouden. Wel is onderzocht of verandering in mullion gevolgen heeft voor de power-



Figuur 16 Invloed van verschillende vensterbreedtes op de powerspectra van de zeven clusters



Figuur 17 Mullion verandering bij de powerspectra van de verschillende clusters en plotjes

spectra berekening. Bij een mullionwaarde van 5 en 10 jaar zijn powerspectra berekend ( fig. 16 ). De venster breedte is constant gehouden op 5 jaar. Door beperkingen in de programmatuur is de berekening niet mogelijk voor alle clusters. bij cluster 7 is geen berekening mogelijk, bij de clusters 4, 5 en 6 slechts met één van de twee mullionwaarden.

Uit de powerspectra blijkt dat bij een mullionwaarde van 5 of 10 jaar het powerpercentage toeneemt. Bij de meeste clusters geeft een mullion van 10 jaar het hoogste powerpercentage. Bij cluster 2 is dit bij een mullion van 5 jaar. Bij de clusters 4 en 5 kunnen voor een mullionwaarde van 10 jaar geen powerspectra berekend worden. De cycliciteitspiek verschuift bij een hogere mullionwaarde in het algemeen iets naar rechts ( lagere golflengte ), maar deze verschuiving blijft beperkt tot enkele jaren. Alleen bij cluster 5 is de verschuiving groter. Nadelen van het verhogen van de mullionwaarde zijn het explosief toenemen van de ruisbult en het te smal worden van de cycliciteitspiek ( cluster 3,  $m = 5$  ) ( bijlagen ).

De oorzaak voor verschuivingen van de pieken in de powerspectra ligt in rekenkundige achtergrond. Hier is geen verder onderzoek naar gedaan.

De hier gebruikte mullionwaarde van 5 en 10 jaar zijn experimenteel. Raadzaam is het om bij toekomstige berekeningen naast een mullionwaarde van 1 jaar, een mullionwaarde van 2 a 3 jaar te gebruiken bij het berekenen van de powerspectra.

## HOOFDSTUK 6 Interpretatie van de resultaten

### 6.1. De tijdsduur van een massabeweging

De lengte van de perioden van massabeweging zoals die staan in de E.R.I. curven bedraagt minimaal twee jaar. De werkelijke tijd dat een massabeweging actief is beperkt zich echter meestal tot één jaar. Het herstellen van de inclinatie van de stam door de boom duurt evenwel langer dan een jaar. De vorming van excentrische jaarringen gaat door tot de boom weer een verticale groeivorm heeft bereikt. Dit proces kan, afhankelijk van de inclinatie van de stam, meerdere jaren duren. De E.R.I. curve geeft buiten het jaar van de afglijding, ook de jaren van herstel van de inclinatie van de stam. Bij een foutloos monster en een foutloze meting is het eerste jaar van de periode van massabeweging activiteit in de E.R.I. curve het jaar van inclinatie van de stam. Door het voorkomen van valse en missende jaarringen in het boommonster en fouten bij de meting, is het jaar van inclinatie niet met zekerheid te bepalen. De perioden van activiteit afgebeeld in de E.R.I. curven geven echter met grote betrouwbaarheid de tijdsperiode aan waar binnen een massabeweging actief is geweest.

### 6.2. Interpretatie van de E.R.I. curven

#### 6.2.1. Cluster 0

De huidige toestand van de ondergrond van de cluster 0 kan omschreven worden als semi-stabiel.

In de periode van 1915 tot 1945 was er sprake van een afglijding waarvan de activiteit bijna synchroon liep met de activiteit van de afglijding waar de clusters 1 t/m 7 op staan. Na deze periode wordt het registratiepercentage van de pieken in de E.R.I. curve kleiner. Dit kan veroorzaakt worden door het ouder worden van de bomen binnen de populatie ( hoofdstuk 3 deel 1 ), en door een



afname van de activiteit van de afglijding. De belangrijkste factor bij cluster 0 is waarschijnlijk de afname van de activiteit van de afglijding. Dit is gebaseerd op het volgende. Bij gelijkblijvende activiteit van de afglijding zullen de oudere bomen in de populatie niet optimaal kunnen herstellen doordat de aanmaak van reactiehout bij oudere bomen vermindert. Dit resulteert uiteindelijk in het omkantelen van de bomen. Omgekantelde bomen worden in cluster 0 echter niet aangetroffen. Hierdoor is het aannemelijk dat het kleiner worden van het registratiepercentage van de piekjes in de E.R.I. curve samenhangt met een afname van de activiteit van de afglijding. In figuur 11 is te zien dat de intensiteit van de bewegingsactiviteit de laatste 30 jaar gering is. Cluster 0 kan beschouwd worden als een niet erg actieve afglijding. De huidige bewegingsactiviteit beperkt zich tot creep.

#### 6.2.2. BDG

De cluster BDG is gelegen op een plateau met een stabiele ondergrond. Elke beweging van de grond is in principe uitgesloten. De piekjes in de E.R.I. zijn zeer waarschijnlijk niet het gevolg zijn van een afglijding. De meest waarschijnlijke oorzaak van deze piekjes is het kappen van bomen.

Wanneer de bomen rond een bepaalde boom omgekapt worden zal de beschikbare hoeveelheid licht voor deze boom toenemen. De groei van deze boom zal toenemen. In dit geval zullen zich echter geen excentrische jaarringen vormen. Dit gebeurt wel als slechts aan een zijde van een boom gekapt wordt. De hoeveelheid beschikbaar licht zal aan deze kant van de boom toenemen, waardoor de kruin van de boom zich ongelijkmatig gaat ontwikkelen. De productie van voedings- en groeistoffen zal aan deze zijde van de boom toenemen met als gevolg de ontwikkeling van excentrische jaarringen. De E.R.I. curve geeft deze excentriciteit weer.

De invloed van houtkap op de E.R.I. curven is beperkt tot de BDG cluster. Dit is niet onlogisch, aangezien houtkap op de overige ( instabiele ) clusters zal leiden

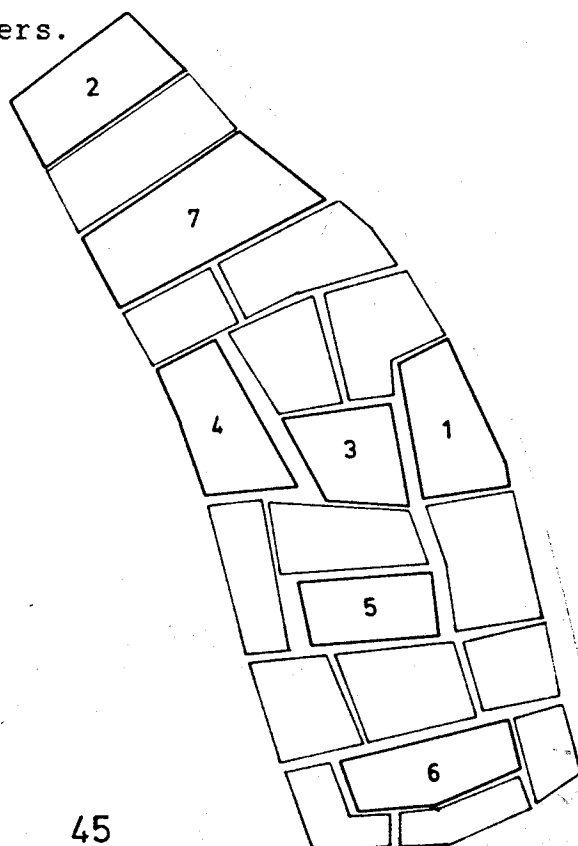
tot oppervlakte-erosie en een toename van de instabiliteit. Er zijn bij de overige plotjes dan ook geen bewijzen gevonden voor recente houtkap.

### 6.2.3. Clusters 1 t/m 7; de afglijding in de Riou Bourdoux

De perioden van activiteit van de afglijding in de Riou-Bourdoux liggen rond de jaren 1920, 1930, 1940, 1950, 1960 en 1976. Deze jaartallen zijn gebaseerd op de overeenkomstige perioden van bewegingsactiviteit zoals deze te zien zijn in de E.R.I. curve's van de zeven clusters. Bij verschillende clusters ontbreken een of meerdere van de genoemde zes perioden van activiteit. Bovendien zijn bij een aantal clusters buiten deze zes perioden nog andere perioden van activiteit aanwezig. Deze niet overeenkomstige perioden van activiteit tussen de clusters wijzen er op dat de ondergrond van de clusters niet als één geheel beweegt. Bij de visuele inventarisatie van de afglijding is er al vanuit gegaan dat de clusters staan op oppervlakkige afglijdingen ( hoofdstuk 3 ).

Deze oppervlakkige afglijdingen kunnen onafhankelijk bewegen ten op zichte van elkaar en van de diepe afglijding. Dit is een mogelijke verklaring voor de niet overeenkomstige perioden van bewegingsactiviteit in de E.R.I. curve's van de clusters.

Fig. 18 Geïdealiseerde onderverdeling van de afglijding in blokken



Een beweging van de diepe afglijding is echter ook van invloed op de E.R.I. curven van de clusters. Deze bewegingen zijn de hierboven genoemde overéénkomstige perioden van activiteit.

Een ander geomorfologisch model van de afglijding gaat er vanuit dat de afglijding onderverdeeld is in "blokken", die onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen ( fig 18 ). De diepte van de blokken is gelijk aan die van de afglijding. Een op een blok gelegen cluster registreert de bewegingen van dit blok.

De beweging van een blok is afhankelijk van een aantal factoren. Deze factoren kunnen zeer veréenvoudigd onderverdeeld worden in externe en interne factoren.

Externe factoren zijn de druk die door het bovenliggende blok op het onderliggende blok wordt uitgeoefend en de aanwezigheid van bewegingsruimte in de bewegingsrichting van het blok.

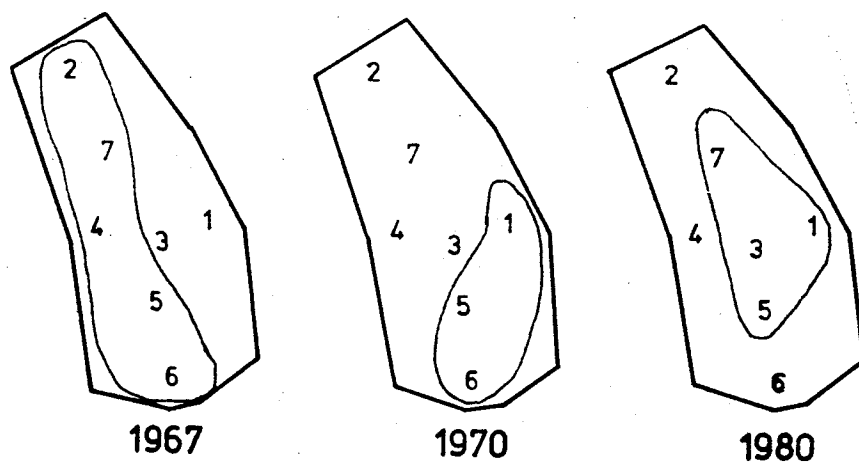
Interne factoren zijn de grondwaterspiegel in het blok en de daarmee samenhangende eventuele ( positieve ) poriëndruk binnen het blok ( dit is een zeer veréenvoudigd beeld van de grondmechanische factoren die een rol spelen bij een massabeweging ). De genoemde factoren zullen voor elk blok anders zijn.

Neerslag speelt een belangrijke rol bij het initiëren van afglijdingen. Bij het beschreven blokmodel van de afglijding zullen de blokken tot een bepaalde hoeveelheid neerslag onafhankelijk van elkaar bewegen. Boven deze hoeveelheid neerslag gaat de afglijding als een geheel bewegen. Dit verklaart het voorkomen van overéénkomstige perioden naast niet overéénkomstige perioden van activiteit in de E.R.I. curven van de zeven clusters.

Met behulp van het blokmodel kan het ontbreken van bewegingsactiviteit van cluster 2 tijdens de jaren 1930 en 1976 verklaard worden. Het blok van cluster 2 ligt op de top van de afglijding ( fig. 12 ), en kan beschouwd worden als het bovenste blok van de afglijding. Druk van bovenliggende blokken ontbreekt bij cluster 2. Hierdoor

is de invloed van de overige blokken op het blok van cluster 2 beperkt. Een beweging van de overige blokken ( clusters ) resulteert dan ook niet automatisch in een beweging van het blok van cluster 2. Andersom geldt dat bijna elke beweging van het blok van cluster 2 terug te vinden is in de E.R.I. curven van de overige clusters. Het ontbreken van bewegingsactiviteit bij cluster 5 tijdens de periode van 1945 tot 1965 is vreemd. Een mogelijke verklaring voor dit "eilandgedrag" van cluster 5 is dat tijdens de genoemde periode het plateautje waarop de clusters 1, 3, en 4 ( EDV ) liggen als een buffer optreedt en de beweging en druk van de bovenliggende clusters ( blokken ) niet naar beneden doorgeeft. Logisch zou zijn dat cluster 6 dan ook geen activiteit vertoont. Dit is echter niet het geval, tijdens de periode 1945 tot 1965 geeft de E.R.I. curve van cluster 6 vijf periodes van activiteit. Gedurende de jaren 1967, 1970 en 1980 vertoont een beperkt aantal clusters activiteit. De ruimtelijke spreiding van de bewegende clusters doet vermoeden dat het hier gaat om afglijdingen binnen de hoofdafglijding. Dit benadrukt nog eens de opbouw van de afglijding in blokken ( fig.20 ).

Fig. 20  
 beweging  
 van een  
 beperkt  
 aantal clu-  
 sters tijdens  
 drie jaren



#### 6.2.4. Trend

Bij geen van de E.R.I. curven van de onderzochte populaties is er sprake van een duidelijke trendontwikkeling. Een verandering in de frequentie van de massabewegingsactiviteit ontbreekt.

Een mogelijke oorzaak voor het ontbreken van een trend kan zijn dat de gemiddelde ouderdom van de bemonsterde populaties te klein is voor het registreren van een trendontwikkeling in de massabewegingsactiviteit.

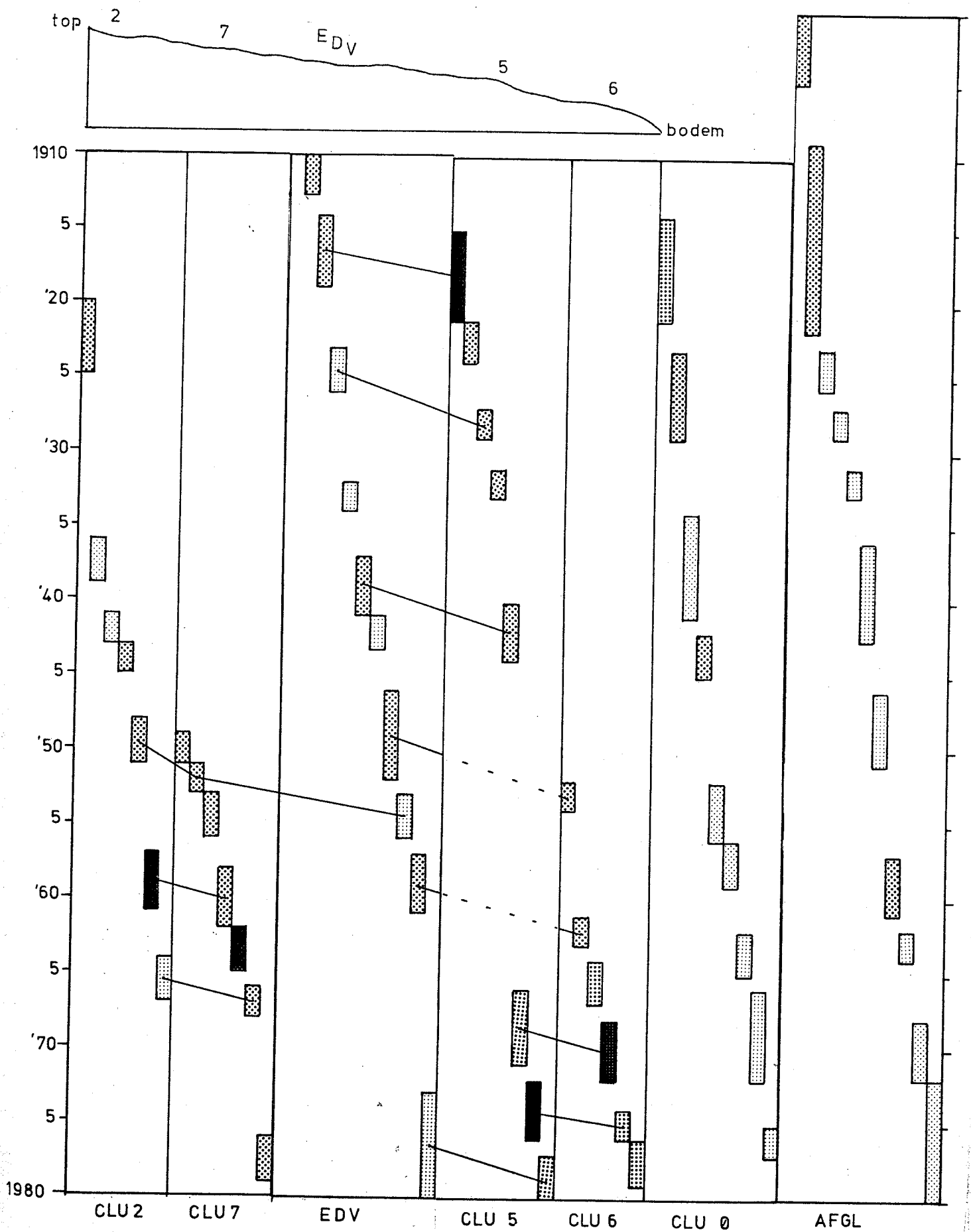
#### 6.3. Bewegingsvoortplanting door de blokken

Een belangrijke externe factor bij het blokmodel is de invloed van de blokken op elkaars bewegingsgedrag. Enerzijds kan door druk van een bovenliggend blok een blok in beweging komen, anderzijds kan door het ontbreken van bewegingsruimte in de bewegingsrichting een beweging achterwege blijven. De laatst genoemde beïnvloeding kan met behulp van de dendrogeomorfologie niet worden aangetoond; er heeft immers geen beweging plaatsgevonden. De eerste beïnvloeding kan met behulp van een tijdbalk diagram ( fig. 21 ) wel worden aangetoond.

Wanneer een blok gaat bewegen zal de druk op het onderliggende blok toenemen. Dit blok kan door de toegenomen druk in beweging komen. De beweging kan direct volgen op de beweging van het bovenliggende blok. Deze directe bewegingsvoortplanting zal in het tijdbalk diagram niet te onderscheiden zijn van een beweging van de hele afglijding. Alle perioden van beweging liggen in beide situaties immers naast elkaar.

De druk kan zich echter ook langzaam opbouwen, het blok reageert dan niet gelijk op de beweging van het bovenliggende blok. Er ontstaat een tijdsverschil tussen de bewegingen van de twee blokken. Deze vertraagde bewegingsvoortplanting is in het tijdbalk diagram makkelijk te herkennen; een vertraagd blok beweegt enkele jaren

Figuur 2I Vertraagd doorgeven van een beweging door clusterblokken.



later dan het hellingopwaartse blok.

In figuur 21 zijn twaalf vertraagde bewegingen te onderscheiden. De betrokken blokken zijn met lijntjes verbonden. Het doorgeven van een beweging reikt meestal niet verder dan één blok. De uitzondering betreft de blokken van cluster 2, 7 en EDV. Bij het doorgeven van de beweging door de blokken is geen duidelijke afname te zien van de intensiteit van de beweging. De intensiteit neemt zelfs vaak toe.

Tussen alle blokken zijn vertraagde bewegingen aanwezig. De gemiddelde duur van de vertraging van de beweging bedraagt ca. 2 jaar.

Het principe van de vertraagde beweging is kenmerkend voor het blokmodel. Bij de aanname dat de clusters slechts oppervlakkige afglijdingen registreren in de E.R.I. curven is het principe van de vertraagde beweging moeilijk te verklaren.

#### 6.4. Vergelijking van de neerslaghoeveelheid in het groeiseizoen met de massabewegingsactiviteit

Van de klimaatgegevens van Barcelonnette zijn de neerslaggegevens gebruikt voor een vergelijk met de massabewegingsactiviteit. Gegevens over de temperatuur zijn onvoldoende aanwezig.

De neerslaggegevens zijn vanaf 1925 op maandbasis beschikbaar. Bij het zoeken naar een relatie tussen de massabewegingsactiviteit en de neerslag zijn alléén de neerslagwaarden gebruikt van de maanden maart tot en met juli. Dit is gedaan omdat in deze periode de boom het snelst groeit. De aanwas van reactiehout zal tijdens een afglijding gedurende deze maanden optimaal zijn. Een significante verandering van de excentriciteit is in deze periode het meest waarschijnlijk. Men kan aannemen dat de perioden van massabewegingsactiviteit die in de E.R.I. curven staan zich vooral tijdens de genoemde maanden voordoen. Van de vijf maanden is per jaar een gemiddelde neerslag berekend ( figuur 22 ).

Om een goede vergelijking mogelijk te maken met de massabewegingsactiviteit van de populaties is een powerspectrum gemaakt van de neerslaggegevens uit de grafiek. Uit dit powerspectrum blijkt een afwezigheid van een relevante cycliciteit in de neerslaggegevens ( fig. 23 ). Bij het vergelijken van dit powerspectrum met de powerspectra van de bomenpopulaties ( fig. 14 en 15 ) vind men geen enkele reden om aan te nemen dat er een correlatie bestaat tussen de massabewegingsactiviteit van de onderzochte populaties en de neerslag ( tijdens het zelfde groeiseizoen ).

Fig. 22

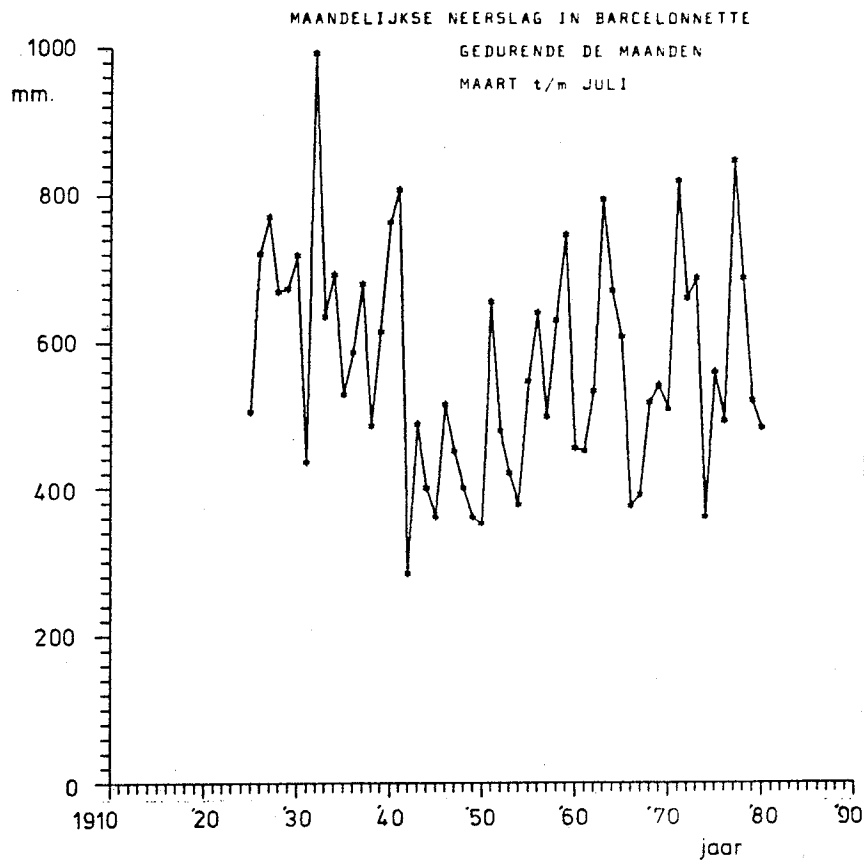
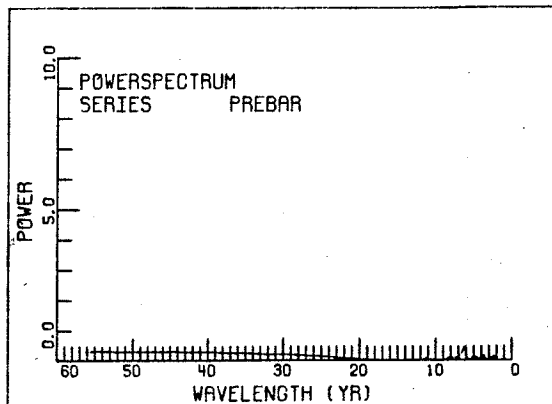


Fig. 23 Powerspectra van de neerslag tijdens het groeiseizoen





## HOOFDSTUK 7 Conclusies

De afglijding in het dal van de Riou Bourdoux kenmerkt zich door de grote verstoordheid van het bodemoppervlak. Het is moeilijk om bomen te vinden die dezelfde groeiomstandigheden hebben. Zelfs binnen de gekozen bemonsteringsclusters is er geen éénduidig dendrogeomorfologisch beeld.

De resultaten laten desondanks duidelijke perioden met een sterk toenemende excentriciteit zien. Dit zijn hoogstwaarschijnlijk perioden van massabewegingsactiviteit van de afglijding.

De afzonderlijke clusters hebben buiten de synchrone beweging van de afglijding ook individuele perioden van activiteit. Dit bevestigt de veronderstelling dat de afglijding niet altijd als een geheel beweegt.

De beste verklaring voor het bewegingsgedrag van de afglijding is een blokmodel.

De cycliciteit van de clusters op de afglijding variëert tussen de 7 en 12 jaar.

Een correlatie tussen de cycliciteit van de neerslag en de massabewegingsactiviteit is niet aanwezig, dit doordat de neerslag gegevens geen relevante cycliciteit vertonen. De oorzaak van de cycliciteit van de bewegingsactiviteit van de clusters moet waarschijnlijk gezocht worden in de inwendige structuur van de afglijding. Hierbij speelt het opbouwen en doorgeven van druk door de blokken een rol evenals de grondwaterspiegel binnen de blokken.

Een trend ontbreekt in de frequentie van de bewegingsactiviteit van de afglijding.

De intensiteit van de ten noorden van de afglijding gelegen plot cluster 0 is de laatste 30 jaar gering.

De huidige bewegingsactiviteit beperkt zich tot creep.

Bij een afglijding waar de bomen in sterk verschillende mate beïnvloed worden door de bewegingsactiviteit zijn de resultaten van de dendrogeomorfologie moeilijker te interpreteren. Voor het verkrijgen van goede resultaten bij zo een afglijding is het essentieel dat voor bemonstering bomen ( minstens 10 ) worden uitgekozen met gelijke groeiomstandigheden.

## LITERATUUR

- Alestalo, J. 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. Soc. Geogr. Fenn. Fennia 105
- Braam, R.R. 1985. Dendrogeomorfologisch onderzoek Barcelonnette ( zuidfranse Alpen ). Scriptie. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht
- Braam, R.R., Weiss, E.E.T. en Burrough, P.A. 1987. Spatial and Temporal analysis of mass movements using dendrochronology. Catena 14, pp. 573-584
- Braam, R.R., Weiss, E.E.T. en Burrough, P.A. 1987. Dendrogeomorphological analysis of mass movements. A technical note on the research methods. Catena 14, pp. 585-589
- Chatfield, C. 1984. The analysis of time series, an introduction. Third edition. Chapman and Hall, London
- Plan, J. 1968. La Fenetre de Barcelonnette. Bulletin du service de la carte geologique de la France, no.280; t 61, pp. 437-529
- Shroder, J.F. 1978. Dendrogeomorphological analysis of mass movements on Table Cliffs Plateau Utah. Quarternary Research 9, pp. 168-185
- Verhaagen, P.A.A. 1985. Het bekken van Barcelonnette, verslag van een geomorfologisch veldwerk
- Vos, M.A.C. 1988. Verslag Barcelonnette 1987 ( in voorbereiding )