

TH-L19  
GB9

**RIJKSUNIVERSITEIT - GENT**  
FACULTEIT VAN DE LANDBOUWWETENSCHAPPEN  
Laboratorium voor agrarische bodemkunde

**KRITISCHE STUDIE VAN DE  
INSTABILITEIT VAN BODEMAGGREGATEN  
EN DE INVLOED OP DE  
FYSISCHE BODEMVRUCHTBAARHEID**

**G. HOFMAN**

Proefschrift voorgedragen tot het bekomen  
van de graad van doctor in de landbouw-  
kundige wetenschappen, op gezag van  
**Rector ir. D. VANDEPITTE**

De deken : **Prof. ir. A. VERKINDEREN**

De promotor : **Prof. Dr. L. DE LEENHEER**

**1973**

VOORWOORD.

De samenwerking van velen heeft het mogelijk gemaakt dit onderwerp uit te werken en aan allen die hiertoe hebben bijgedragen betuig ik mijn diepe erkentelijkheid.

In het bijzonder dank ik U, Prof. Dr. L. DE LEENHEER, promotor van dit proefwerk, voor het vertrouwen dat U in mij hebt gesteld. Veel raad en steun heb ik van U mogen ondervinden. De levendige belangstelling waarmede U dit onderzoek hebt gevolgd zijn voor mij steeds een stimulans geweest bij het tot stand komen van dit proefschrift.

Eveneens richt ik een dankwoord tot U, Prof. ir. M. VAN RUYMBEKE. Uw jarenlange ervaring bij het bodemkundig onderzoek en de vele raadgevingen hebben bijgedragen tot een kritische behandeling van dit werk.

Voor de gewaardeerde opmerkingen en suggesties bij het nazien van dit manuscript dank ik Prof. ir. M. SLAATS, Prof. ir. M. DE BOODT en Prof. ir. G. VANSTEENKISTE.

Voor de vele monsternamen, soms in ongunstige omstandigheden, dank ik speciaal ir. F. APPELMANS. Tevens wens ik mijn dank te betuigen aan Faculteitsgeaggregeerde ir. J. VAN HOVE, Dr. ir. J. VANDAMME en Lic. F. DE WULF voor de vriendschappelijke samenwerking. De vele discussies onder collega's hebben tevens bijgedragen tot een beter inzicht in het behandelde onderwerp.

Voor het genoten onderwijs en de wetenschappelijke vorming dank ik alle Professoren van de Faculteit van de Landbouwwetenschappen en de Rijksuniversiteit Gent.

Tenslotte dank ik het Personeel van de Leerstoel voor Agrarische Bodemkunde, het Centrum voor Grondonderzoek en het Comité voor de Studie van de Bodemstructuur voor het verzamelen van de monsters, de talrijke analyses, het reken-, teken- en tikwerk.

I N H O U D S T A F E L

	Blz.
INLEIDING .....	7
HOOFDSTUK I. OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE METHODES .....	9
1. De natte aggregaatsanalyse .....	9
2. De natte zeving met één fractiebepaling .....	9
3. De stabiliteitsbepaling door de dispersiegraad.....	10
4. De stabiliteitsbepaling door de verhouding tussen lucht- en waterpermeabiliteit .....	10
5. De poriënverdeling als maat voor de stabiliteit....	10
6. Stabiliteitsbepaling steunend op een Na-Cl test....	11
7. Stabiliteit afgeleid uit meerdere bepalingen .....	11
8. Stabiliteitsbepalingen op individuele aggregaten .	12
9. De snelle stabiliteitsbepaling (stabiliteitstest) Stabiliteitsbepaling zoals uitgevoerd aan de leer- stoel (agr. bodenk.) .....	12
HOOFDSTUK II. KRITISCHE STUDIE VAN DE GEBRUIKTE METHODE .....	14
1. De voorbereiding van het monster .....	16
1.1. De monstername .....	16
1.1.1. De bemonsteringswijze .....	16
1.1.2. De bemonsteringsdiepte .....	18
1.1.3. Het nemen van een representatief monster .....	24
1.1.4. De invloed van druk en versmeren .....	27
1.2. Het drogen van de aggregaten .....	29
1.3. De invloed van het vochtgehalte bij monstername ..	37
1.4. Het fractioneren van de aggregaten .....	37
1.5. Het bevochtigen .....	38
1.5.1. Hoeveelheid toe te voegen water .....	38
1.5.2. De invloed van het meermaals bevochtigen .....	41
1.5.3. De valhoogte van de waterdruppel .....	44
1.5.4. Poging om de effecten van de vóóbevochtiging te splitsen (zie tabel 20) .....	45
1.5.5. De gebruikte vloeistof .....	49
1.5.6. Snelheid van bevochtigen .....	50
1.5.7. De temperatuur van het water .....	51
1.6. Het incuberen .....	52
1.6.1. De invloed van de tijd .....	52

1.6.2.	De invloed van de temperatuur .....	54
1.7.	Het bewaren van de monsters .....	54
2.	Het nat zeven .....	55
2.1.	De zeefwijze .....	55
2.2.	Het gebruikte zeefwater .....	56
2.3.	Duur van het zeven .....	56
2.4.	Invloed van de verschillende aggregaat-fracties ..	56
2.5.	De invloed van de hoeveelheid aggregaten per frac- tie .....	57
2.6.	Invloed van het verkruimelen en wijzigen van de verhouding der aggregaat-fracties bij het droog zeven .....	58
2.7.	De temperatuur van het zeefwater .....	60
3.	De berekening van de resultaten .....	61
4.	Aantal herhalingen .....	66
4.1.	De t-test .....	67
4.2.	Volgens Snedecor (1959) .....	68
4.3.	Volgens Li (1965) .....	69
4.4.	Volgens Cochran en Cox (1950) .....	69
 HOOFDSTUK III. AGGREGAATSTABILITEIT ALS INFORMATIE BIJ AGRARISCH BODEMONDERZOEK .....		
1.	De invloed van het bodemprofiel en het bodemge- bruik .....	72
2.	De variatie met de tijd en de weersinvloeden .....	76
2.1.	Structuurvariatie met de tijd in zandleem .....	76
2.2.	Structuurvariatie in leemgrond .....	78
3.	Vergelijking van verschillende bodemtexturen .....	84
3.1.	De gevonden resultaten en hun algemene beoordeling	84
3.2.	Correlatie tussen bodemcomponenten en structuur- stabiliteit .....	86
4.	De stabiliteitsbepalingen op de structuurproef- velden in Haspengouw .....	89
4.1.	Resultaten van de stabiliteitsbepalingen in 1969, 1970 en 1971 .....	91
4.1.1.	De gemiddelde aggregaatstabiliteit op de ver- schillende velden .....	91
4.1.2.	De variatie van de aggregaatstabiliteit per veld, rekening houdend op de methode tæelt .....	93

4.1.3.	De variatie van de instabiliteit per gewas en per bodemtype .....	96
4.1.4.	De variatie van de instabiliteit per veld, per gewas en per organische bemesting .....	97
4.1.5.	De gemiddelde instabiliteit per gewas en per bekalkingsvorm .....	100
4.1.6.	Interacties .....	101
4.2.	Confrontatie van de instabiliteitswaarden bekomen op de proefvelden te Juprelle en Alleur met de bodemcomponenten ( textuur, humus en calciumcarbonaat ), rekening houdend met het gewas .....	102
4.2.1.	Factoren die de aggregaatinstabiliteit beïnvloeden	102
4.2.1.1.	Verband tussen de aggregaatinstabiliteit en het CaCO <sub>3</sub> - gehalte .....	109
4.2.1.2.	Verband tussen de aggregaatinstabiliteit en het humusgehalte .....	110
4.2.1.3.	Verband tussen de aggregaatinstabiliteit en de textuur .....	110
4.2.1.4.	Meervoudige correlatiecoëfficiënten .....	111
4.2.2.	Meer gedetailleerde studie van het lineair verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte .	112
4.2.2.1.	Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas voor de 2 jaren .....	112
4.2.2.2.	Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per jaar voor de 3 gewassen .....	113
4.2.2.3.	Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 3 bodemtypen .	114
4.2.2.4.	Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 4 organische bemestingsvormen .....	115
4.2.2.5.	Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 2 bekalkingsvormen .....	116
4.3.	Confrontatie van de instabiliteitswaarden met een fotometrische methode .....	117
4.4.	Confrontatie van de instabiliteitswaarden met de resultaten van andere structuurbepalingsmethoden .	118
4.4.1.	Vergelijking tussen de gegevens van de instabiliteit en van de permeabiliteit .....	119

4.4.2.	Confrontatie van de instabiliteit met de totale porositeit en de poriënverdeling .....	119
4.4.2.1.	Bepaling van de totale porositeit en de poriënverdeling .....	119
4.4.2.2.	Resultaten van de confrontatie tussen de instabiliteit enerzijds en de totale porositeit en de poriënverdeling anderzijds .....	121
HOOFDSTUK IV.	INSTABILITEIT VAN DE BODEMSTRUKTUUR EN DE FYSISCHE BODEMVRUCHTBAARHEID .....	124
1.	Confrontatie van de vegetatieve ontwikkeling van de teelt (als criterium van de bodemvruchtbaarheid) met de instabiliteit .....	127
1.1.	Graangewassen .....	127
1.1.1.	Confrontatie van de plantdensiteit met de instabiliteit .....	127
1.1.2.	Confrontatie van het aantal stengels per m <sup>2</sup> met de instabiliteit .....	128
1.1.3.	Confrontatie van de uitstoelingscoëfficiënt met de instabiliteit .....	128
1.1.4.	Confrontatie van het aantal aren per m <sup>2</sup> met de instabiliteit .....	129
1.1.5.	Confrontatie van het percent stengels dat tot aarvorming komt met de instabiliteit .....	129
1.1.6.	Confrontatie van de lengtegroei van het gewas met de instabiliteit .....	130
1.1.7.	Confrontatie van de groene-massa- en droge-stofproductie gedurende het groeiseizoen met de instabiliteit .....	131
1.2.	Suikerbieten .....	131
1.2.1.	Confrontatie van de plantdensiteit met de instabiliteit .....	131
1.2.2.	Confrontatie van het percent vertakte bieten met de instabiliteit .....	132
2.	Confrontatie van één of andere rendementsbepaling (bruikbaar als criterium ter beoordeling van de bodemvruchtbaarheid) met de instabiliteit .....	133
2.1.	Graangewassen .....	133

2.1.1.	Confrontatie van de graanproductie met de instabiliteit .....	133
2.1.2.	Confrontatie van de stroproductie met de instabiliteit .....	134
2.1.3.	Confrontatie van de totale droge-stof-productie met de instabiliteit .....	134
2.2.	Suikerbiëten .....	134
2.2.1.	Confrontatie van de wortelproductie met de instabiliteit .....	134
2.2.2.	Confrontatie van de loofproductie met de instabiliteit .....	135
2.2.3.	Confrontatie van het percent suiker en de suikerproductie met de instabiliteit .....	135
2.2.4.	Confrontatie van de totale droge-stof-productie met de instabiliteit .....	135
ALGEMENE SAMENVATTING EN BESLUITEN .....		137
LITERATUUR .....		139

INLEIDING.

De structuurtoestand van een bodem wordt bepaald door de wijze waarop en de intensiteit waarmede de verschillende vaste bestanddelen van de bodem, nl. zand, klei, leem, organisch materiaal, enz., met elkaar verbonden zijn tot aggregaten en de ruimtelijke schikking die er het gevolg van is.

Door het gebruik van moderne teelttechnieken, wat steeds zwaardere en meer krachtige machines vereist en door de scheiding van het typisch gemengde landbouwbedrijf in enerzijds een veeteelt- en anderzijds een akkerbedrijf (waardoor op dit laatste een tekort aan stalmest ontstaat met de daarmee gepaard gaande daling van het humusgehalte van de bodem) constateert men in akkerland een geringere binding, een dichtere pakking, een gestoorde lucht- en waterhuishouding, in één woord een slechtere structuur. Het structuurprobleem van onze landbouwgronden heeft zich rond 1950 op zeer scherpe wijze gesteld in de zeepolders ; daar werd het ook het eerst op systematische wijze onderzocht door De Leenheer en De Boodt, 1950. Nadien werd men zich ook in de leemstreek bewust van dit probleem, zoals blijkt uit meerdere enquêtes : De Leenheer, De Boodt en Vandamme, 1960 ; Appelmans, De Leenheer en Van Ruymbeke, 1961 ; Appelmans, Van Ruymbeke en De Leenheer, 1962 ; Vandamme, De Leenheer en Appelmans, 1963 ; Vandamme, De Leenheer en De Boodt, 1963. In 1960 werd daarom door het I.W.O.N.L. een comité opgericht voor de studie van de bodemstructuur en de fysische bodemvruchtbaarheid. Hierbij kreeg Prof. Dr. L. De Leenheer de opdracht op vier grote proefvelden van twee gemechaniseerde bedrijven in Haspengouw na te gaan welke de optimale bodemverzorging is voor het behoud of de verbetering van de bodemstructuur en de fertiliteit. Dit proefobject wordt verder in de tekst gedetailleerd vermeld.

De differentiatie die zich, als gevolg van de verschillen in bodemverzorging op de verscheidene objecten met de jaren laat voelen in de bodemstructuur en de bodemvruchtbaarheid wordt nagegaan door allerlei bepalingen en metingen, waaronder het laboratoriumonderzoek een voorname plaats inneemt.

Het is gebruikelijk bij proefveldonderzoek ter beoordeling van de bodemstructuur veel aandacht te schenken aan de porositeit. Nochtans dient men te beseffen dat zulks, wanneer men zich beperkt tot de beoordeling hiervan op een gegeven ogenblik, onvoldoende is, daar de structuur evolueert onder invloed van verschillende factoren, waarvan de vochttoestand van de bodem één van de voornaamste is. Deze structuurveranderingen kunnen benoemd



worden door stabiliteitstesten die een idee geven van de gevoeligheid van de structuurtoestand van de bodem tegenover weersinvloeden. Deze testen worden derwijze uitgevoerd dat de invloed van water belangrijk is, bijv. door het blootstellen van de kruimels aan vallende waterdruppels, en/of door een zeping onder water ; de reden hiervoor is dat de regen de voornaamste oorzaak is van de structuurdegradatie.

Voor praktijkonderzoek (met proefvelden), waarbij serie-bepalingen noodzakelijk zijn, wordt de structuurtoestand van een bodem in het laboratorium veelal bestudeerd door in hoofdzaak drie bepalingen :

- 1) De porositeit en de poriënverdeling, in vakterm "pF-curve" genoemd.
- 2) Permeabiliteitsbepalingen.
- 3) Stabiliteitsbepalingen.

Deze drie technieken werden gebruikt van bij de aanvang van de proeven (1963) door het voornoemd comité voor de studie van de bodemstructuur ; door tijdsgebrek en een tekort aan personeel was het echter niet mogelijk alle foutbronnen op de resultaten van deze 3 groepen van bepalingen vooraf op te sporen en uit te testen. Dit geschiedde dan zoveel mogelijk tijdens het onderzoek, waarbij de stabiliteitsbepalingen slechts vrij laat aan de beurt kwamen.

In dit werk werd vooreerst de stabiliteitsbepaling voor serie-analysen kritisch onderzocht. Dit was noodzakelijk omdat de invloeden van een aantal factoren op de bepaling van de aggregaatstabiliteit niet of onvoldoende waren gekend. Tevens werden, in de mate van het mogelijke, verklaringen gegeven van enkele mechanismen die aan de grondslag liggen van deze stabiliteit. Hiervoor hebben we ons hoofdzakelijk gesteund op literatuurgegevens, daar het controleren van al de hier vermelde theorieën op zichzelf reeds stof zou uitmaken voor een proefschrift. Het hoofddoel van dit werk bestaat in het aantonen van het werkelijk nut van de stabiliteitsbepaling ter beoordeling van de fysische bodemvruchtbaarheid bij praktijkproeven op gemechaniseerde bedrijven; meer in het bijzonder werd getracht de invloeden van verschillende bodemverzorgingen op de bodemstructuur door een cijfer weer te geven en de effecten van de gevonden stabiliteitsverschillen op de bodemfertiliteit na te gaan. Bovendien werden confrontaties met de resultaten van de pF-bepalingen (poriënverdeling) en andere gegevens uitgevoerd.

Ter informatie weze vermeld dat de hier behandelde grondige studie een aanvang nam in 1969.

HOOFDSTUK I,  
OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE METHODES.

1. De natte aggregaatsanalyse.

De grondlegger van de stabiliteitsbepalingen is Tiulin, die in 1928 een stel zeven beladen met aggregaten aan de verstorende (desaggregerende) invloed van "water-in-beweging" onderwierp. Het merendeel van de latere stabiliteitsbepalingen is een variante op deze methode. Volgens de werkwijze Tiulin-Meyer worden de zeven ter plaatse gelaten en wordt een waterstroom door de zeven gestuurd.

Het is Yoder (1936) die de natte aggregaatsanalyse meer in detail beschreven heeft, waarna vele onderzoekers zich op deze publicatie gesteund hebben om de voor hun best passende methode uit te werken. De werkwijze komt hierop neer dat een stel zeven met verschillende maaswijdte verticaal op en neer bewogen wordt (onder water) over 1 ¼ duim afstand, met een snelheid van 30 oscillaties per minuut gedurende 30 minuten. De hoeveelheid aggregaten die daarna op de verschillende zeven blijft liggen wordt gewogen. Van Bavel (1953) houdt rekening met de oorspronkelijke aggregaatverdeling en neemt als aggregatie-index het verschil tussen de oorspronkelijk gewogen gemiddelde diameter en deze na nat zeven.

Naast deze zeer verspreide natte aggregaatsanalyse werden andere methodes op punt gesteld, die op beperkte schaal toegepast worden. Zij worden o.a. beschreven in "Bijdrage tot de kennis van de bodemstructuur" van De Boodt (1957) en worden hier in het kort vermeld.

2. De natte zeping met één fractiebepaling.

Russell en Feng (1947) bepalen de desintegratiesnelheid door een aggregaatsfractie van 2 mm tot 4,7 mm gedurende verschillende perioden te zeven op een zeef van 0,25 mm. De bekomen resultaten voldoen aan de uitdrukking:

$$\log W = a - b \log T, \text{ waarin :}$$

W = gewicht stabiele aggregaten, a = oorspronkelijke stabiliteit,  
b = desintegratiesnelheid, T = tijd.

Bouyoucos (1929) onderwierp de aggregaten aan een mechanische inwerking door ze te schudden in een fles gevuld met gedistilleerd water, waarna de overgebleven aggregaten bepaald werden. Hénin heeft deze techniek aangepast ; hierop wordt verder uitvoeriger teruggekomen.

### 3. De stabiliteitsbepaling door de dispersiegraad.

Door aggregaten aan een afbrekende werking (zoals schudden in water) te onderwerpen kan men, in plaats van de overblijvende stabiele aggregaten te bepalen, nagaan hoeveel materiaal gedispergeerd werd. De verhouding tussen de gedispergeerde colloïden en het totaal procent colloïden geeft de dispersiegraad, die als maat gebruikt wordt voor de stabiliteit. Dit sluit aan bij de vlugge methode van Leo (1963).

### 4. De stabiliteitsbepaling door de verhouding tussen lucht- en waterpermeabiliteit.

De luchtpermeabiliteit wordt bepaald door de poriënverdeling, terwijl men bij de waterpermeabiliteit naast de poriënverdeling eveneens rekening houdt met de zwellings- en de dispersie van de klei en de afbraak van de aggregaten. De verhouding tussen deze twee grootheden is op zichzelf een goede maat voor de aggregaatstabiliteit, maar de moeilijkheid is een betrouwbare lucht- en waterpermeabiliteitsbepaling uit te voeren, wegens de grote variatie binnen de herhalingen.

### 5. De poriënverdeling als maat voor de stabiliteit.

Door tweemaal het grondmonster te bevochtigen en te drogen volgens Childs (1940), of door slechts één cyclus van vochtig naar droog te doorlopen volgens Feng en Browning (1946), worden waterspanningscurven opgenomen.

Volgens Childs (1940) is  $\frac{h_1}{h_0}$  een maat voor de stabiliteit.

Hierin is :  $h_1$  = het hoogste punt van de verhouding  $\frac{dv}{dp}$  na herbevochtiging (waarbij  $v$  het vochtgehalte is en  $p$  de toegepaste druk) ;

$h_0$  = het hoogste punt van de verhouding  $\frac{dv}{dp}$  van het oorspronkelijk monster.

Volgens Feng en Browning (1946), die het grondmonster slechts één cyclus laten doorlopen, wordt de uitdrukking

$$\frac{h_0}{p} \text{ waarin :}$$

$h_0$  = het hoogste punt van de verhouding  $\frac{dv}{dp}$  van het oorspronkelijk monster.

$p$  = de druk bij  $h_0$ .

Hier wordt het verband aangetoond tussen de stabiliteit volgens de natte zeefmethode en de poriënverdeling.

### 6. Stabiliteitsbepaling steunend op een Na-Cl test.

Wanneer ingevolge uitspoeling de natriumverzadiging van de kleifrac-tie steeds afneemt wordt op een gegeven ogenblik een concentratie be-reikt waarbij dispersie optreedt (Emerson, 1954). Dit moment wordt be-paald door permeabiliteitsbepalingen. De concentratie aan Na-ionen bij dewelke de permeabiliteit op nul valt is kenmerkend. De resultaten zijn geldig voor zoutgronden of gronden die geïrrigeerd worden met zouthou-dend water.

### 7. Stabiliteit afgeleid uit meerdere bepalingen.

Door verschillende vloeistoffen te gebruiken tracht men het bodembe-standdeel af te leiden dat het sterkst de stabiliteit beïnvloedt. Dit is de werkwijze volgens Hénin, Monnier en Combeau (1958), Feodoroff (1958, 1960) en Monnier (1965).

De aggregaten worden gezeefd door een zeef van 2 mm. Er wordt drie-maal 5 g afgewogen, die respectievelijk behandeld worden met 5 cc ethyl alcohol, 5 cc benzeen en met gedistilleerd water. Na 5 minuten worden de bekens waarin de twee eerste monsters zich bevinden met gedistilleerd water gevuld. Men laat de aggregaten zo gedurende 30 minuten staan, waarna ze in een erlenmeyer gebracht worden en met de hand geschud en daarna gezeefd worden op een zeef van 200  $\mu$  opening. De aggregaten op de zeef worden gedroogd en gewogen. In de suspensie wordt de fractie kleiner dan 20  $\mu$  bepaald. Ook wordt een bepaling van de grove zand-fractie  $> 200 \mu$  uitgevoerd.

De instabiliteit wordt gegeven door :

$$s = \frac{\text{fractie } < 20 \mu \text{ (max. \%)}}{\frac{\sum \text{ aggregaten \%}}{3} - 0,9 \text{ grove zandfractie in \%}}$$

Fractie  $< 20 \mu$  (max. %) wil zeggen dat men de fractie  $< 20 \mu$  neemt voor dewelke men de grootste hoeveelheid gevonden heeft.

Bij de behandeling met benzeen is het hoofdzakelijk de bevochtigbaar-heid van het materiaal die de instabiliteitswaarde beïnvloedt (vooral afhankelijk van het humusgehalte). De behandeling met ethylalcohol geeft resultaten die voornamelijk afhankelijk zijn van de cohesie van de grond in vochtige toestand (vooral beïnvloed door het kleigehalte). De resul-taten van de behandeling met water alleen liggen gewoonlijk tussen de waarden van deze twee voorgaande bepalingen.

Men houdt hier rekening, niet alleen met de overblijvende hoeveelheid aggregaten na de natte zeping, maar eveneens met de fractie  $< 20 \mu$  (in de praktijk : hoe meer fijne deeltjes zich afscheiden, hoe instabieler) en met de zandfractie  $> 200 \mu$ . Men trekt slechts 0,9 x het percent zandfractie af, daar de grove zanddeeltjes in de praktijk een rol spelen in de instabiliteit (Hénin, Monnier, Gras, Feodoroff, 1960).

#### 8. Stabiliteitsbepalingen op individuele aggregaten.

Hier wordt de structuurvernietigende invloed van de regen nagebootst. Mc Calla (1942, 1944) gebruikt de afzonderlijke aggregaten met een bepaalde diameter die zich op een zeef bevinden. Het aantal druppels nodig om het aggregaat doorheen de zeefopeningen te krijgen is een maat voor de stabiliteit. Het resultaat kan ook uitgedrukt worden als de energie die nodig is om 1 mg grond te desintegreren.

#### 9. De snelle stabiliteitsbepaling (stabiliteitstest).

Dit kan gebeuren door droge aggregaten in een vloeistof te brengen en de afbraak na te gaan. Voor deze soort bepalingen kan men gebruik maken van water-alcohol of water-dioxaan mengsels, waarbij het watergehalte in deze mengsels bij dewelke de aggregaten uiteenvallen een maat is voor de stabiliteit.

x

Gebruik makend van het naslagwerk "Methods for Soil Structure Determination" van de "West-European working group on soil structure of the International Soil Science Society (1967)" kan worden nagegaan in hoeverre de hier vernoemde methodes werkelijk worden toegepast. Alhoewel de meerderheid van de hier vermelde methodes in Westeuropese laboratoria werkelijk worden toegepast is het toch de natte aggregaatsanalyse die (ongeacht de varianten) veruit het meest gebruikt wordt. Ook aan het laboratorium voor agrarische bodemkunde wordt een natte aggregaatsanalyse toegepast. De gebruikte techniek wordt in detail beschreven in "Werkwijzen van de analyses aan het centrum voor grondonderzoek" door De Leenheer (1958) en door De Leenheer, De Boodt [ 1958(1), 1958(2) ]. Hierna volgt in het kort de beschrijving van de werkwijze.

#### Stabiliteitsbepaling zoals uitgevoerd aan de leerstoel (agr. bodemk.).

De grondmonsters worden meestal genomen tussen 1 en 5 cm diepte, waarna ze met de hand grof verkruid, opengelegd en gedroogd worden. Als

de kruimels droog zijn (ongeveer na 3 weken) beginnen de bepalingen. Het monster wordt met de hand gezeefd op een zeef van 8 mm en 2 mm. De aggregaten die op de 8 mm zeef blijven liggen worden met de hand verkruimeld totdat ze door de zeef gaan. Indien ze niet kunnen verkruimeld worden met de hand worden ze in een mortier met een stamper fijn gemaakt.

De aggregaten tussen 8 mm en 2 mm worden dan verder onderverdeeld door zeven in 3 fracties, nl. 2 mm tot 3 mm ; 3 mm tot 4,8 mm en 4,8 mm tot 8 mm. De hoeveelheden van iedere fractie, die voor een bepaling van de stabiliteit gewenst zijn, werden tijdens een vroeger uitgevoerd onderzoek (intern verslag) voor de verschillende bodemtexturen bepaald (in overeenstemming met een gemiddelde veldsituatie). Zo bijv. wordt op grond hiervan voor leem en zandleem een totaal van 100 g genomen, met volgende verhoudingen : 28 g met diameter 2-3 mm, 32 g met diameter 3-4,8 mm en 40 g met diameter 4,8-8 mm. Deze verhoudingen werden grosso-modo ook door eigen bepalingen bevestigd.

De aggregaten worden per fractie bevochtigd tot veldcapaciteit met een vallende waterdruppel, waarvan het gewicht en de valhoogte iedere dag gecontroleerd worden. Men draagt er zorg voor dat zo weinig mogelijk druppels op dezelfde plaats terechtkomen. De aggregaten worden tijdens de nacht in een kiemkast geplaatst bij 20°C en een praktisch waterverzadigde lucht. 's Anderendaags worden de kruimels gezeefd onder water gedurende 5 minuten op een zeefstel, bestaande uit 6 zeven met diameters 0,3 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 en 4,8 mm. Na het zeven worden de aggregaten overgespoeld in getarreerde schaaltes en gedroogd. Na het wegen van de verschillende fracties kan de gewogen gemiddelde diameter berekend worden. Door dit getal af te trekken van de oorspronkelijk gekende gewogen gemiddelde diameter (verdeling van de droge aggregaten) krijgt men een maat voor de stabiliteit\* of nog beter voor de instabiliteit\* (afbraak) van de aggregaten, d.w.z. hoe groter het gevonden resultaat is, hoe instabieler de aggregaten zijn.

\* De termen "instabiliteit" en "stabiliteit" worden door mekaar gebruikt. Gemakshalve worden de (in)stabiliteitswaarden voorgesteld door een onbenoemd getal alhoewel deze waarden strikt genomen in mm moeten uitgedrukt worden. In onze proefomstandigheden is de maximale instabiliteitswaarde of minimale stabiliteitswaarde (volledige afbraak van de aggregaten) = 4,51, terwijl men bij een minimale instabiliteit of maximale stabiliteit (geen aggregaatafbraak) een waarde = 0 verkrijgt.

## HOOFDSTUK II.

### KRISTISCHE STUDIE VAN DE GEBRUIKTE METHODE.

De beschreven stabiliteitstest moet nauwkeurig worden toegepast om betrouwbare resultaten te geven. De foutbronnen kunnen liggen in de voorbereiding van het monster, de zeving zelf of de verwerking van de gegevens.

De hierna besproken detailstudie van de modus operandi heeft het mogelijk gemaakt de meest voorkomende fouten te detecteren en deze in latere bepalingen uit te schakelen of er rekening mee te houden, terwijl tevens een beter idee verkregen werd van de factoren die een invloed hebben op de stabiliteit. Vooreerst weze opgemerkt dat het merendeel van de bepalingen uitgevoerd werd op leemgronden. Zoals in de inleiding reeds vermeld, wordt getracht met deze analyse de verschillen in aggregaatstabiliteit te detecteren welke optreden tussen de verschillende bodemverzorgingsobjecten (vooral in functie van de verschillen in organische bemesting) op de bestudeerde proefvelden in de leemstreek (Juprelle). Het is dan ook normaal dat de meeste confrontatie-testen op leemgronden uitgevoerd werden, te meer daar de leemstreek landbouwkundig de grootste en meest belangrijke is in België. Ter aanvulling werden ook bepalingen uitgevoerd op een zandleemgrond (Scheldewindeke), teneinde na te gaan of de waargenomen tendenzen bevestigd werden of niet.

Er valt op te merken dat de resultaten van de vergelijkbare proeven voor beide bodemtexturen niet steeds identiek zijn, meestal omdat voor beide texturen de monsters genomen werden op verschillende tijdstippen, wat een belangrijke invloed heeft, zoals verder zal blijken uit de variatieproeven.

In tabel 1 worden de voornaamste eigenschappen van de twee bestudeerde bodems gegeven.

De mechanische analyse werd uitgevoerd met de kettinghydrometer zoals beschreven door De Leenheer en Maes (1952), De Leenheer, Van Ruymbeke en Maes (1955) en De Leenheer, Van Hove (1956).

De humusbepaling werd uitgevoerd volgens de methode Walkley en Black (1934, 1965), waarbij gebruik gemaakt werd van de koolstoffactor = 2 om het gehalte aan organisch materiaal te berekenen (De Leenheer, Van Hove en Van Ruymbeke, 1957).

Het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte werd bepaald volgens de methode De Leenheer, Maes en Marcour (1954), terwijl de pF-bepalingen uitgevoerd werden volgens Richards (1965).

TABEL 1.

Voornaamste eigenschappen van de twee in het onderzoek betrokken bodems, nl. een leemgrond (plateau) van Juprelle (L) en een zandleemgrond van Scheldewindeke (ZL).

	L	ZL
<u>Granulometrie</u>		
0-2 $\mu$	19,1	10,8
2-10 $\mu$	9,0	5,2
10-20 $\mu$	15,1	9,2
20-50 $\mu$	51,9	58,1
50-100 $\mu$	4,3	12,4
100-200 $\mu$	0,2	3,5
200-500 $\mu$	0,2	0,6
500-1000 $\mu$	0,1	0,1
1000-2000 $\mu$	0,1	0,1
klei 0-2 $\mu$	19,1	10,8
leem 2-50 $\mu$	76,0	72,5
zand > 50 $\mu$	4,9	16,7
% vocht	1,70	1,30
% humus	1,87	2,97
pH <sub>KCl</sub>	7,10	5,90
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	8,15	6,70
% CaCO <sub>3</sub>	1,05	0
vochtgehalte (gewicht % op droge grond) bij		
pF0	30,4	35,0
pF1	28,4	32,9
pF2	25,0	28,0
pF2,54	22,4	24,4
pF4,19	9,2	8,3



## 1. De vóórbehandeling van het monster.

Voor gelijk welke analysemethode is het noodzakelijk representatieve monsters van de te onderzoeken populaties te nemen en deze steeds op dezelfde wijze vóór te behandelen, zodat alle monsters in dezelfde condities aan de eigenlijke analyse onderworpen worden.

### 1.1. De monstername.

#### 1.1.1. De bemonsteringswijze.

De monsters worden genomen tussen 1 cm en 5 cm diepte. Normalerweise gebeurt dit met een spade, zoals aangegeven door De Leenheer en De Boodt (1958), wat ook door de meeste onderzoekers wordt toegepast. De bovenste cm (0-1 cm diepte) wordt weggelaten omdat bij de andere structuurbepalingen, nl. de poriënverdeling en waterpermeabiliteit, waarbij ongestoorde ringmonsters moeten genomen worden, de bovenste cm niet kan bemonsterd worden en het onze bedoeling is de resultaten van deze 3 bepalingen onderling te vergelijken.

De resultaten van de monstername met de spade, uitgevoerd in 1970, worden geconfronteerd met deze van de monstername die gedaan werd met behulp van bemonsteringsringen. Deze ringmonstername gebeurt zoals voor de twee andere structuurbepalingen en is te vergelijken met de methode volgens Dermott (1967).

Met een bemonsteringsring heeft men meer zekerheid dan met een spade dat de bemonsteringsdiepte constant is (alhoewel we aanvankelijk veronderstelden dat de stabiliteit in de bouwvoor slechts kleine verschillen zou vertonen, tengevolge van de ongeveer gelijke textuur- en humusgehalten).

In tabel 2 vindt men de gegevens (resultaten van 2 proefvelden, ieder met 2 bodemtypen en 2 objecten) voor de vergelijking tussen de twee bemonsteringswijzen.

TABEL 2.

Vergelijking van de instabiliteit tussen spade- en ringmonsters (bemonsteringsdiepte 1-5 cm). Ieder resultaat is het gemiddelde van 2 bodemtypen x 2 objecten voor ieder proefveld, ttz. van 4 bepalingen.

Proefveld	Instabiliteit Wijze van monstername	
	Spade	Ring
Tongeren (T)	1,36	1,70
Bierset (B)	1,02	1,62

Hieruit blijkt dat de stabiliteit, naargelang van de bemonsteringswijze, grondig kan verschillen, alhoewel de hier niet vermelde afzonderlijke verschillen niet steeds van dezelfde grootte-orde zijn. Uit dit laatste feit zou men evenwel kunnen afleiden dat de gevonden verschillen niet systematisch te wijten zijn aan het effect van de spade of de ring als dusdanig. Daarom werden een aantal mogelijkheden in acht genomen waardoor de verschillen zouden kunnen veroorzaakt worden.

(1) Verskil in plaats.

De ring- en spademonsters zijn niet in de directe nabijheid van elkaar genomen, zodat het aan te nemen is dat de resultaten niet identiek zijn. Alhoewel dit verder nader wordt behandeld, kan nu reeds worden vermeld, dat de grootte-orde van sommige verschillen aantoonde dat een andere factor de resultaten heeft beïnvloed.

(2) Invloed van druk en versmeren van het monster (plastische vervorming).

De aggregaten worden bij ringmonsternamen enigszins samengedrukt, de randen en uiteinden worden met een mes losgesneden en de grond wordt dan uit de ringen gedruwd. Dit alles kan leiden tot een gedeeltelijk versmeren en samendrukken van de kruimels, waardoor eventueel een andere stabiliteit kan verkregen worden. Nochtans is dit samendrukken en versmeren zeer gering bij een monstername rond veldcapaciteit en in de meeste gevallen is de ontstane fout klein.

(3) Invloed van de bemonsteringswijze voor eenzelfde bemonsteringsdiepte.

De meest voor de hand liggende oorzaak blijft het verschil in diepte en de ongelijke hoeveelheid grond afkomstig van verschillende diepten bij de spademonsternamen. In sommige gevallen zullen de diepten ongeveer gelijk geweest zijn, terwijl in andere gevallen de verschillen groter waren, wat dan een verklaring geeft voor niet steeds even grote verschillen in stabiliteit tussen de twee methodes.

Om dit te bevestigen werden op twee eng begrensde plaatsen (2 objecten, eenzelfde veld) en mits nauwkeurige controle van de bemonsteringsdiepte opnieuw monsters genomen, en wel op 2 diepten, nl. 1-5 en 5-9 cm. De gemiddelde resultaten zijn vermeld in tabel 3.

TABEL 3.

Instabiliteit in functie van bemonsteringswijze en -diepte (gemiddelde van 2 bepalingen).

Diepte	Instabiliteit Bemonsteringswijze	
	Spade	Ring
1-5 cm	1,06	1,09
5-9 cm	0,57	0,53
1-9 cm	0,75	-

De resultaten zijn in dit geval zeer gelijklopend voor de 2 monster-  
namen ; zij illustreren een duidelijk afnemende instabiliteit met de  
diepte.

#### Conclusie.

De verschillen in stabiliteit tussen de monsternamen met een ring en  
met een spade zijn te wijten aan een verschil in bemonsteringsdiepte.  
Voor een oppervlaktebemonstering tussen 1 en 5 cm diepte is het dan ook  
aan te raden ringen van 4 cm hoogte te gebruiken met een bijpassende op-  
zetting van 2 cm die tot ongeveer 1 cm in de bodem gedrukt wordt. Op  
die wijze zal de vooropgezette diepte tamelijk nauwkeurig (op ½ cm na)  
benaderd worden. Doet men de monsternamen toch met een spade, dan moet  
de grootste aandacht besteed worden aan de bemonsteringsdiepte.

#### 1.1.2. De bemonsteringsdiepte.

Door de voorgaande vergelijkingen wordt meteen het probleem van de be-  
monsteringsdiepte en de wijziging van de stabiliteit met de diepte ge-  
steld.

Met een achtvoudige vergelijking op de proefvelden (dezelfde als voor  
tabel 2, de velden werden eveneens samengenomen) werd de wijziging van  
de stabiliteit met de diepte nagegaan. Ter vereenvoudiging worden in  
tabel 4 en fig. 1 slechts de gemiddelde resultaten vermeld.

TABEL 4.

Instabiliteit van de aggregaten in functie van de bemonsteringsdiepte (leem ; gemiddeld resultaat van 8 bepalingen). De monsters zijn genomen met een ring.

Diepte	Instabiliteit
0-1 cm	2,19
1-3 cm } (1-5 cm)	1,68 } (1,44)
3-5 cm }	1,21 }
1-5 cm } (1-9 cm)	1,51 } (1,22)
5-9 cm }	0,94 }
1-9 cm	1,22
N.B. : tussen haakjes het berekende gemiddelde	

Vooreerst valt op te merken dat de gemeten instabiliteit tussen 1-5 cm ongeveer overeenstemt met de gemiddelde instabiliteit tussen 1-3 cm en 3-5 cm. Hetzelfde geldt voor de vergelijking tussen 1-9 cm en 1-5 cm en 5-9 cm, hetgeen wijst op een vrij grote nauwkeurigheid van de bepaling.

De resultaten van tabel 4 beklemtonen het uitzonderlijk belang van de bemonsteringsdiepte, wat in vele gevallen over het hoofd wordt gezien.

Dat de stabiliteit in een gegeven bodemprofiel variëert met de horizonten is logisch (zie verder), zoals ook wordt vermeld door Schachtschabel en Hartge (1959) ; deze auteurs wijzen evenwel niet op een mogelijke variatie binnen eenzelfde horizont. Veranderen bepaalde eigenschappen binnen een horizont, bv. een wijziging in humusgehalte, dan mag men logischerwijze ook een variatie in stabiliteit verwachten.

Voor de bouwvoor ligt het probleem enigszins anders, daar deze jaarlijks minstens éénmaal omgewerkt en vermengd wordt, zodat een tamelijk homogene laag ontstaat, vooropgezet dat de ploegdiepte konstant blijft.

Vertrekkende van een dergelijke vrij homogene horizont zou men een nagenoeg constante stabiliteit kunnen verwachten, wat echter (zie fig. 1) niet het geval is. Als mogelijke verklaringen voor dit feit werd gedacht aan volgende invloeden :

(1) Verskil in ploegdiepte.

De drie teeltgewassen op de bestudeerde proefvelden zijn suikerbieten, tarwe en gerst. De ploegdiepte is het grootst voor suikerbieten, terwijl de verschillen tussen de twee graangewassen gering zijn, met een iets grotere diepte op de tarwepercelen. Door het dieper ploegen kan een kleine hoeveelheid van de onderliggende, humusarmere laag aan de oppervlakte gebracht worden, wat een invloed kan hebben op de stabiliteit.

Door de verdere bewerkingen voor de zaaibed-bereiding worden de aggregaten herhaaldelijk vermengd en kunnen de hierboven aangehaalde verschillen niet uitsluitend aan een dieper ploegen worden toegeschreven. De differentiatie blijft trouwens bestaan op de tarwepercelen waar geen aggregaten van de onderliggende laag aan de oppervlakte worden gebracht, zodat het verschil in ploegdiepte geen bevredigende verklaring geeft voor de stabiliteitsvariatie met de diepte.

(2) Verskil in bewerkingen na het ploegen.

De bovenste helft van de bouwvoor wordt het meest bewerkt, hoewel de verschillen voor de bovenste 9 cm miniem zijn en onbestaande worden in de bovenste 5 cm ; een verschil in bewerking kan dan ook moeilijk ingeroepen worden als oorzaak van de stabiliteitsverschillen in het bovenste deel van de bouwvoor.

(3) Uitloging (vertikale migratie).

Alhoewel, ingevolge het jaarlijks omploegen van de bodem, de vertikale migratie van bodembestanddelen slechts gedurende hoogstens 1 jaar ongestoord kan doorgaan (gelet op de monsternamen in de lente hoogstens ongeveer 6 maanden), hebben we het toch nuttig geoordeeld een mechanische analyse, humusbepaling,  $\text{CaCO}_3$ -bepaling en pH-meting uit te voeren op monsters van verschillende diepten. De resultaten zijn vermeld in tabel 5.

Van een systematische variatie van de onderzochte eigenschappen met de diepte kan niet gesproken worden in de bovenste helft van de bouwvoor.

TABEL 5.

Wijziging van textuur,  $\text{CaCO}_3$ -gehalte, humus % en pH met de diepte in de bovenste helft van de bouwvoor (gemiddelde van 8 bepalingen).

Diepte	Textuur			$\text{CaCO}_3\%$	% humus	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$
	klei %	leem %	zand %			
0-1 cm	15,2	79,9	4,9	2,08	2,04	8,10
1-3 cm	15,6	79,4	5,0	2,06	2,09	8,15
3-5 cm	15,4	79,5	5,1	2,12	2,08	8,20
1-5 cm	15,4	80,0	4,6	2,15	2,08	8,15
5-9 cm	15,6	79,3	5,1	2,20	2,10	8,15
1-9 cm	15,4	79,8	4,8	2,17	2,04	8,20

#### (4) Vegetatie.

Daar de monsters bij het begin van de lente genomen zijn op percelen met wintertarwe mag het effect van de vegetatie als verwaarloosbaar beschouwd worden.

#### (5) Weersinvloeden.

Voor al de bovenste 5 à 7 cm zijn het meest onderhevig aan weersinvloeden zoals vorst, bevochtiging, uitdroging en aan het mechanisch effect van de neerslag. Deze weersinvloeden vormen de grootste variabele op de beschouwde diepten en we menen dan ook dat de hierdoor veroorzaakte wijzigingen (bijv. in de vocht- of zwellingsstoestand van de bodem) verantwoordelijk zijn voor de stabiliteitsveranderingen met de diepte. Dit is ook de zienswijze van Chepil (1954), die vermeldt dat seizoenfluctuaties in bodemstructuur zelden een diepte van 3 duim ( $\pm 7,5$  cm) overschrijden. Czeratzki (1958) wijst op het voorkomen van inwendige breuken en spleten tengevolge van weersinvloeden, die vooral op de grote aggregaten een invloed uitoefenen. De verschillen in stabiliteit in de bouwvoor op diepten groter dan 7 cm zijn gering, hetgeen door ons werd aangetoond voor de zandleemgrond tussen 7 en 16 cm. Wordt de diepte groter dan 20 cm, dan neemt in de zandleemgrond de instabiliteit snel toe, daar de bouwvoor ongeveer 20 cm bedraagt en het humusgehalte sterk afneemt in de  $A_2$ -horizont (fig. 1 en tabel 6).

TABEL 6.

De variatie van de instabiliteit doorheen de bouwvoor (zandleem).

Diepte	Instabiliteit
0-2 cm	0,76
2-4 cm	0,62
4-6 cm	0,40
6-8 cm	0,28
8-10 cm	0,22
10-14 cm	0,22
14-18 cm	0,27
18-22 cm	0,38
22-26 cm	0,62
26-30 cm	2,44

In de literatuur zijn weinig resultaten vermeld van verschillen in stabiliteit in de bouwvoor. Alderfer (1946) vermeldt in dit verband enkele resultaten en vernoemt eveneens de weersinvloeden als oorzaak voor de geringe stabiliteit aan de oppervlakte. Ook Malik, Stevenson en Russell (1965) vonden een stijgende aggregaatstabiliteit met de diepte voor bouwland, terwijl in weide de stabiliteit afneemt. De stabiliteitsafname met de diepte in weide is volgens deze auteurs te wijten aan het verschil in humusgehalte, dat met de diepte snel afneemt, terwijl op bouwland de betere stabiliteiten met de diepte zouden te wijten zijn aan bewerkingen en aan het worteleffect van de gewassen. Dat de verschillen in instabiliteit wel degelijk aan weersinvloeden te wijten zijn wordt duidelijk uit volgend proefopzet. Een groot grondmonster werd gehomogeniseerd in begin september 1971, waarna het in 4 grote aluminiumbakken werd verdeeld. De grond bereikte in iedere bak een hoogte van  $\pm 10$  cm. De proefopzet voorzag volgende vóórbehandelingen:

- Bak 1 : grond laten drogen
- Bak 2 : grond laten drogen en af en toe bevochtigen met vallende waterdruppels.
- Bak 3 : grond laten drogen, af en toe bevochtigen met vallende waterdruppels en tijdelijk in frigo plaatsen iets beneden 0°C, zodat ijskristallen gevormd werden en het vochtgehalte steeds hoger was dan in bak 2.
- Bak 4 : grond buiten plaatsen, onderhevig aan weersinvloeden.

Na een 7-tal maanden (na de winter) werd de aggregaatinstabiliteit bepaald per diepte van 2 cm. De resultaten zijn vermeld in tabel 7.

TABEL 7.

De variatie van de aggregaatinstabiliteit met de diepte bij verschillende behandelingen.

Diepte	Instabiliteit			
	Bak 1	Bak 2	Bak 3	Bak 4
0-2 cm	0,28	0,90	1,89	1,01
2-4 cm	0,30	0,78	1,08	0,80
4-6 cm	0,35	0,70	0,90	0,78
6-8 cm	0,33	0,70	0,75	0,70
8-10 cm	0,32	0,66	0,69	0,65

Hieruit mag het volgende worden afgeleid :

- De grond was goed gehomogeniseerd, daar in bak 1 de instabiliteiten op de verschillende diepten ongeveer gelijk zijn.
- De instabiliteit neemt toe bij het afwisselend bevochtigen en drogen van de aggregaten (vergelijk de instabiliteiten voor de bakken 2 en 3 op een diepte van 8-10 cm met de instabiliteiten voor bak 1).
- De instabiliteit neemt eveneens toe tijdens de winter (vergelijk de instabiliteitswaarde van bak 4 op een diepte van 8-10 cm met de instabiliteit van bak 1 waarvan de aggregaten reeds gedroogd zijn vóór de winter).
- De invloed van de weersomstandigheden, vooral het bevochtigen en drogen bij bak 2 en het bevochtigen, drogen en bevriezen bij bakken 3 en 4, is de oorzaak van de grotere instabiliteiten aan de oppervlakte. Naargelang de intensiteit van deze weersinvloeden (natuurlijke of nagebootste) zal de instabiliteit aan de oppervlakte variëren en zullen de invloeden dieper waarneembaar zijn. Bak 2 werd slechts af en toe bevochtigd, waardoor de stabiliteit aan de oppervlakte weinig is afgenomen en slechts waarneembaar is tot  $\pm 4$  cm diepte. Bak 4 is onderworpen geweest aan natuurlijke weersomstandigheden, intenser dan voor bak 2, waardoor de instabiliteit iets hoger is en de invloed waarneembaar tot  $\pm 6$  à 7 cm. Bak 3 is op bepaalde ogenblikken bevochtigd geworden wanneer de bovengrond reeds verzadigd was met water ; daardoor krijgt men een duidelijke afbraak, uitgedrukt door een grotere instabiliteit



aan de oppervlakte, die eveneens merkbaar is tot  $\pm 6$  à 7 cm diepte.

### Conclusie.

In de bovenste 7 cm van de bouwvoor kunnen de stabiliteitsverschillen zeer groot zijn en deze zijn blijkbaar te wijten aan weersinvloeden.

#### 1.1.3. Het nemen van een representatief monster.

Het probleem van een "representatief mengmonster" werd eveneens onderzocht. Dit werd gerealiseerd door per bemestingsband 6 mengmonsters op 6 verschillende plaatsen samen te stellen volgens figuur 2.

Uit de resultaten blijkt (zie tabel 8) dat er binnen in eenzelfde object verschillen bestaan naargelang de plaats van monstername, zodat een behoorlijke spreiding van de monstername voor de samenstelling van het mengmonster noodzakelijk is. Met behulp van de variantie-analyse en de Duncan-test kunnen per object de eventueel significante verschillen tussen de bemonsteringsplaatsen aangetoond worden.

TABEL 8.

Variatie van de instabiliteit binnen in de organische bemestingsbanden in 1971 (bemonstering volgens schema van fig. 2).

Verzorgingsobjecten			Instabiliteit op 6 plaatsen						Gem.
Tongeren	Plateau	Stalmest + schuimkalk	1,18	1,38	1,38	1,51	1,56	1,60	1,44
		Blanco - schuimkalk	1,40	1,46	1,50	1,56	1,60	1,66	1,53
	Depressie	Stalmest + schuimkalk	1,57	1,62	1,62	1,76	1,79	1,95	1,72
		Blanco - schuimkalk	1,92	1,98	2,00	2,03	2,09	2,25	2,04
Bierset	Plateau	Stalmest + schuimkalk	1,18	1,21	1,24	1,24	1,34	1,42	1,27
		Blanco - schuimkalk	1,30	1,37	1,38	1,43	1,52	1,55	1,42
	Depressie	Stalmest + schuimkalk	1,40	1,41	1,42	1,48	1,52	1,62	1,48
		Blanco - schuimkalk	1,36	1,44	1,44	1,57	1,57	1,59	1,50

Daartoe werd de gemeenschappelijke variantie  $s^2$  berekend. Deze bedraagt  $s^2 = 0,0072$ . De gemeenschappelijke standaardafwijking is dan  $s \approx 0,08$ , terwijl de gemeenschappelijke standaardfout op het gemiddelde is  $s_{\bar{x}} \approx \frac{0,08}{\sqrt{4}} \approx 0,04$  (aantal herhalingen per mengmonster = 4). Dit betekent volgens de Duncan-tabellen dat verschillen groter dan 0,13 à 0,14 als significant kunnen aanzien worden. In tabel 8 worden de niet significant verschillende gemiddelden door dezelfde rechte onderlijnd. Per bemestingsobject vindt men verschillen die gemiddeld 0,3 bedragen tussen de uiterste waarden. Het blijkt dus absoluut noodzakelijk een mengmonster samen te stellen met materiaal dat zo goed mogelijk over het object verspreid is. Het vroeger toegepaste procédé, waarbij een mengmonster wordt samengesteld met materiaal uit het midden van de bemestingsband en links en rechts van het midden van het beschouwde object, kan in sommige gevallen afwijkingen geven t.o.v. de gemiddelde waarde gevonden voor de 6 bemonsteringsplaatsen (tabel 9). Anderzijds dient men de hoeveelheid te nemen materiaal zo gering mogelijk te houden om herhaalde "splitting" van de aggregaten in "sub-samples" te vermijden. Daarom werd in 1971 een andere bemonsteringswijze getest, nl. door het materiaal in diagonaal te nemen op 8 plaatsen, steeds van links beginnend en naar rechts gaande naar de overzijde van de objectband. Dit monster werd éénmaal in twee gedeeld, nl. voor de bepaling van de stabiliteit en de "gestoorde" permeabiliteit\*. De resultaten van dit mengmonster vertonen een goede overeenkomst met de gemiddelde waarde.

Het voordeel van de diagonale monsternamen is, dat zowel verschillen in linker- en rechterhelft van het object als verschillen in verticale richting, voor het grootste gedeelte opgeheven worden.

Ter verduidelijking van tabel 9 worden de resultaten van het bemestingsobject "Tongeren, plateau, stalmest met schuimkalk"(T.P.Fu.) uitgewerkt. Hiervoor gebruikt men gedeeltelijk de resultaten van tabel 8 samen met het bemonsteringsschema.

---

\* "Gestoorde" permeabiliteit is deze die uitgevoerd wordt op een gemengd monster, daar waar de "ongestoorde" uitgevoerd wordt met ringmonsters (die niet uit de bemonsteringsring werden verwijderd).

TABEL 9.

Gemiddelde instabiliteit per verzorgingsband in functie van de wijze van bemonsteren in 1971 (samenstelling van het mengmonster).

verzorgingsband	monstername op 6 plaatsen	theoretisch midden	monstername in het midden v/h object	theoretische diagonaal	monstername in diagonaal (8 plaatsen)
T.P.Fu.	1,44	1,47	1,47	1,39	1,50
T.P.Bl.	1,53	1,61	1,50	1,49	1,58
T.D.Fu.	1,72	1,69	1,76	1,68	1,71
T.D.Bl.	2,04	1,98	1,98	2,02	2,00
B.P.Fu.	1,27	1,20	1,27	1,32	1,25
B.P.Bl.	1,42	1,34	1,30	1,43	1,44
B.D.Fu.	1,48	1,55	1,43	1,51	1,46
B.D.Bl.	1,50	1,40	1,24	1,47	1,54

De resultaten op de 6 plaatsen zijn :

	Plaatsen (T.P.Fu.)					
	1	2	3	4	5	6
Instabiliteit	1,18	1,56	1,60	1,51	1,38	1,38

Het gemiddelde van de 6 plaatsen = 1,44 (tabel 9, 1e lijn, 2e kolom). De plaatsen 2 en 5 komen overeen met de plaatsen waar de monstername in vroegere jaren (tot 1970) normaal werd uitgevoerd, nl. in het midden van het perceel en links en rechts van het midden van het bemestingsobject. Deze plaatsen worden in tabel 9 "theoretisch midden" genoemd.

Het theoretisch midden =  $\frac{1,56 + 1,38}{2} = 1,47$ .

Nemen we een nieuw monster in het midden van de bemestingsband, dan vinden we een stabiliteit = 1,47. De plaatsen 1,2,5 en 4 (schema fig. 2) komen in grote lijnen overeen met de monstername zoals ze meer recent volgens de diagonaal wordt uitgevoerd. Deze instabiliteit volgens de "theoretische diagonaal" wordt dan berekend uit de 4 plaatsen door 2x de instabiliteit op plaats 1 te nemen + instabiliteit op plaats 2 + instabiliteit op plaats 5 + 2x de instabiliteit op plaats 4. Dit geeft voor het beschouwde object :  $\frac{2 \times 1,18 + 1,56 + 1,38 + 2 \times 1,51}{6} = 1,39$ .

Het verschil met de monstername in diagonaal is hier tamelijk groot, maar de waarden voor de theoretische diagonaal en de monstername in diagonaal zijn respectievelijk kleiner en groter dan de waarde voor de monstername op de 6 plaatsen, wat bij vergelijkingen met het midden van de percelen niet steeds het geval is.

Voor deze "monstername in diagonaal" vinden we 1,50 als waarde voor de instabiliteit.

#### Conclusie.

De diagonale monstername geeft een goede benadering van de werkelijke stabiliteit van het ganse object. De gevonden afwijkingen zijn voor een groot gedeelte te wijten aan geringe diepteverschillen bij de monstername.

#### 1.1.4. De invloed van druk en versmeren.

De verschillen tussen de monstername met de spade en de ring zouden theoretisch ook gedeeltelijk kunnen verklaard worden door een toenemende druk bij monstername met de ring en het gedeeltelijk versmeren van de grond door het uitsnijden en uitduwen van het grondmonster uit de ring. Gebeurt de monstername nochtans bij het gepaste vochtgehalte, nl. rond veldcapaciteit, dan zijn deze twee effecten te verwaarlozen. Bij hoge vochtgehalten kan er versmering optreden, terwijl bij een droge grond de druk een invloed kan hebben.

Volgens Schuffelen van Van Schuylenborgh (1950) wordt gedurende de winter door groeiende ijskristallen een druk uitgeoefend op de grondmassa, waardoor deze een hogere stabiliteit (m.a.w. lagere instabiliteit) verkrijgt. Door het versmeren wordt de natuurlijke structuur verbroken volgens Beacher en Strickling (1955) en zal de stabiliteit significant geringer worden. Het vochtgehalte bij dewelke dit versmeren gebeurt heeft een invloed op de uiteindelijke stabiliteit. Hénin (1936) vond een betere stabiliteit en een grotere cohesie bij drukverhoging, afhankelijk van het vochtgehalte. Ook Bobchenko (1962) vindt een betere stabiliteit bij compactie.

Om de invloed van deze factoren op de door ons gebruikte stabiliteitsmethode na te gaan werden een paar proeven uitgevoerd. Enerzijds wordt op de aggregaten een druk van ongeveer  $0,2 \text{ kg/cm}^2$  uitgeoefend gedurende 10 minuten bij verschillende vochtgehalten en anderzijds worden de aggregaten met een spatel versmeerd, eveneens bij verschillende vochtgehalten. De resultaten worden in tabel 10 gegeven.

Voor deze proeven dienen we bij de interpretatie van de resultaten rekening te houden met het vochtgehalte. Daartoe werden eveneens proeven ingezet. Door het vooraf bevochtigen, gevolgd door drogen, waarna dan de stabiliteitsbepaling uitgevoerd wordt, vinden we geringere stabiliteitswaarden naargelang het vochtgehalte groter is (zie ook verder).

TABEL 10.

De invloed van druk en versmeren bij verschillende vochtgehalten op de instabiliteit.

Vocht- gehalte	Instabiliteit		
	Gewone bepaling	Na drukken	Na versmeren
$\pm 1,5$ % (luchtdroog)	1,08	0,99	-
12 %	1,09	0,99	-
22 % ( $\pm$ V.C.)	1,37	1,53	2,35
32 %	1,61	2,63	1,52
42 %	1,94	3,34	1,43

Door het drukken vindt men bij vochtgehalten vanaf 22 % hogere waarden voor de instabiliteit en deze blijven toenemen met stijgende vochtgehalten. Wordt het bodemonster versmeerd bij (ongeveer) veldcapaciteit dan neemt eveneens de instabiliteit toe, terwijl door een versmeren bij hogere vochtgehalten de instabiliteit afneemt. Deze waarnemingen zijn niet in overeenstemming met deze van de hier voornoemde auteurs.

Door de druk op de aggregaten zullen deze (in de omstandigheden waarin dit gebeurd is) weinig in volume verminderd zijn, doordat zijdelingse vervorming mogelijk is en doordat de openingen tussen de aggregaten verkleind worden. Daardoor zullen de aggregaten onderling gedeeltelijk intenser aan mekaar kleven, met het gevolg dat een gedeelte ervan na het drogen en droog zeven in een grotere fractie zal terecht komen. Deze binding is natuurlijk niet zeer stabiel, zodat door het bevochtigen en het nat zeven deze aggregaten terug zullen afbreken en daardoor een grotere instabiliteit zullen vertonen.

Door de verticale druk en het los stapelen zullen de aggregaten gedeeltelijk in verticale richting samengedrukt worden, maar tegelijkertijd zijdelings wat uitzetten, wat een breuk van enkele bindingen kan veroorzaken en praktisch geen verdichting tot gevolg heeft. Rekening houdend met deze opmerkingen schijnt het normaal dat door het drukken de stabiliteit geringer wordt en we niet de resultaten vinden volgens Schuffelen en Van Schuylenborgh (1950) en Hutter (1966) waar het werkelijk om een verdichting gaat.

De resultaten bekomen na het versmeren sluiten aan bij deze opmerkingen. Bij vochtgehalten rond veldcapaciteit is de stabiliteit na het versmeren klein, daar bij zulk een laag vochtgehalte de aggregaten na het versmeren en drogen slechts los aan mekaar gebonden zijn.

Door het versmeren bij hogere vochtgehalten ontstaat een aaneengekitte brij met weinig poriën (door het drukken met de spatel is het volume gevoelig afgenomen). Het versmeren door Beacher en Strickling (1955) is waarschijnlijk niet gepaard gegaan met een grote druk, waardoor er weinig verdichting optrad. We menen dat de hier gevonden stabiliteitstoename inderdaad te wijten is aan de grote verdichting van het materiaal, wat een enorme stijging van de cohesie tot gevolg heeft. De stabiliteit na het versmeren bij 40 % vocht gaat in dezelfde richting als de stabiliteit gevonden door Kheyrabi en Monnier (1968), die na het versmeren bij een vochtgehalte van 1,9 x het equivalent vochtgehalte eenzelfde stabiliteit vinden als bij het uitgangsmateriaal.

### Conclusie.

Afhankelijk van de omstandigheden en het vochtgehalte waarin het drukken en versmeren gebeurt kan de stabiliteit beïnvloed worden. Nochtans zijn de wijzigingen bij de monstername (bij veldcapaciteit) met een ring van zo een geringe orde dat dit normaal geen invloed kan hebben op de stabiliteitsbepaling.

### 1.2. Het drogen van de aggregaten.

Nadat de monsters genomen zijn, worden de aggregaten over het algemeen verkruimeld met de hand, waarna ze aan de lucht gedroogd worden.

Wordt de stabiliteit onmiddellijk bepaald op het vochtig monster, dan is het resultaat afhankelijk van het vochtgehalte en worden over het algemeen cijfers gevonden die afwijken van de resultaten bekomen na

drogen en herbevochtigen tot eenzelfde (constant) vochtgehalte.

Worden de monsters evenwel vochtig bewaard en wordt na een paar dagen de stabiliteit bepaald op die vochtige monsters, dan zijn deze stabiel geworden.

TABEL 11.

De instabiliteit in functie van de bewaringsduur.

Bewaringsduur	Vochtgehalte op droog materiaal	Instabiliteit
zandleem		
onmiddellijk gezeefd	25,2 %	1,21
1 week vochtig bewaren	25,2 %	0,78
3 weken vochtig bewaren	24,0 %	0,69
gedroogd en herbevochtigd	24,4 % ( $\pm$ V.C.*)	0,34
leem		
onmiddellijk gezeefd	22,3 %	0,61
3 dagen vochtig bewaren	22,0 %	0,26
1 week vochtig bewaren	21,6 %	0,10
3 weken vochtig bewaren	21,4 %	0,10
gedroogd en herbevochtigd	22,4 % ( $\pm$ V.C.)	0,66

Zowel in de leemgrond als in de zandleemgrond stellen we een stijging vast van de stabiliteit (afname van instabiliteit) door het vochtig bewaren, overeenkomstig de mening van Bobchenko (1962). Dit is waarschijnlijk te wijten aan een stijgende invloed van de microbiële activiteit (Peerlkamp, 1948 ; Harris, Chesters en Allen, 1966). Dit betekent dat de stabiliteitsbepaling op een grote reeks monsters onmogelijk kan gebeuren op vochtige aggregaten, gezien er met de tijd een duidelijke variatie optreedt.

---

\* V.C. = veldcapaciteit van de bodem, overeenstemmend met  $pF = 2,54$ .

Low (1954) vindt het nat zeven van vochtige monsters (zodra ze van het veld komen) niet aangeraden wanneer men verschillende grondsoorten wil vergelijken. Bodems die op basis van de veldwaarneming grote verschillen vertonen, kunnen nagenoeg dezelfde resultaten geven bij het nat zeven in vochtige toestand, maar een grote differentiatie vertonen bij het nat zeven na luchtdrogen. Om vergelijkingen door te voeren is het bovendien onmogelijk op vochtige gronden te werken, daar het vochtgehalte veel kan verschillen en dit van enorm belang is in de stabiliteitsbepaling.

Volgens Sillanpää (1959) zou het effect van het luchtdrogen klein zijn en zouden de eventuele verschillen vooral te wijten zijn aan het herbevochtigen. Daar het herbevochtigen grotendeels door capillariteit gebeurt zou men volgens Sillanpää ongeveer dezelfde resultaten moeten vinden tussen de onmiddellijke zeving en het zeven na drogen. Dit stemt toevallig overeen met de leemgrond, maar niet met de zandleemgrond, ondanks het feit dat voor beide gevallen het vochtgehalte bij monsternamen overeenkomt met het vochtgehalte bij veldcapaciteit. Door het drogen kan een gedeeltelijke herverdeling ontstaan van de humus (Nevo en Hagin, 1966) bij de zandleemgrond met het hoogste humusgehalte, waardoor de stabiliteit stijgt.

In tabel 12 wordt de invloed geïllustreerd van het vochtgehalte bij monsternamen, de bewaringsduur en de microbiële activiteit, evenals de verschillen tussen onmiddellijk zeven en zeven na drogen op de stabiliteit. Voor het uitvoeren van deze proef werden van de zandleemgrond monsters genomen met een klein tijdsinterval bij verschillende vochtgehalten; de monsters werden hetzij onmiddellijk vochtig, hetzij na drogen onderzocht. De stabiliteitsbepaling van de luchtdroge aggregaten werd telkens uitgevoerd na vóórbevochtigen tot V.C. en na het bevochtigen tot het vochtgehalte bij monsternamen. Hieruit is het effect van het vochtgehalte af te leiden. Eveneens werd een hoeveelheid grond vochtig bewaard gedurende een bepaalde tijd in de kelder bij  $\pm 18^{\circ}\text{C}$  en in de koelkast bij  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Bij een temperatuur van  $2^{\circ}\text{C}$  wordt het microbiële leven  $\pm$  stilgelegd. Hieruit kan de invloed van de bewaringsduur en de microbiële activiteit aangetoond worden. Door al deze monsters te drogen wordt het effect van het drogen beklemtoond.



TABEL 12.

De instabiliteit van zandleem in functie van het vochtgehalte, de bewaringsduur, de microbiële activiteit en het drogen.

Wijze en duur van vóórbehandeling	Vochtgehalte in % op droog materiaal juist voor het nat zeven	Instabiliteit
Onmiddellijk gezeefd na de monstername	25,70 %	2,07
	22,15 %	2,32
	15,80 %	3,37
Monster gedurende 1 nacht in kiemkast	25,30 %	1,70
	21,55 %	2,22
	15,40 %	3,30
Monster aan de lucht gedroogd en bevochtigd tot $\pm$ V.C.	24,40 %	0,40
	24,40 %	0,49
	24,40 %	0,31
Monster aan de lucht gedroogd en bevochtigd tot hetzelfde vochtgehalte als bij de monstername	25,70 %	0,43
	22,15 %	0,60
	15,80 %	0,87
Monster gedurende 3 weken in kelder vochtig bewaard bij 18°C	25,60 %	1,60
	21,50 %	1,76
	15,20 %	3,00
Monster gedurende 3 weken in koelkast vochtig bewaard bij 2°C	25,50 %	2,08
	21,80 %	2,38
	14,95 %	3,28
Monster gedurende 3 weken in kelder vochtig bewaard, dan aan de lucht gedroogd en herbevochtigd tot V.C.	24,40 %	0,43
	24,40 %	0,44
	24,40 %	0,36
Monster gedurende 3 weken in koelkast bewaard, dan aan de lucht gedroogd en herbevochtigd tot V.C.	24,40 %	0,45
	24,40 %	0,50
	24,40 %	0,36

Uit de resultaten van tabel 12 kunnen volgende besluiten worden getrokken:  
- Hoe lager het vochtgehalte bij het nat zeven, hoe hoger de instabiliteit, te wijten aan luchtinsluiting (zie verder). Dit is waar zolang het vochtgehalte de V.C. niet overschrijdt, want bij hogere vochtgehalten is het

effect na luchtdrogen (zie verder) andersom.

- Na het drogen constateert men een betere stabiliteit, wat kan verklaard worden door een herverdeling van het organisch materiaal, zowel door een wijziging in de fysische structuur van de organische fractie in de zin van een vergroting van het oppervlak (Nevo en Hagin, 1966), als door een verplaatsen van organisch materiaal naar de contactpunten van de korrels en het uitvlokken van deze organische stof, overeenkomstig het verplaatsen en uitvlokken van kolloïdale organische stoffen onder de meniscussen bij uitdrogen (De Bisschop, 1972). Daarbij komt dat bij het drogen van de aggregaten men een krimp van het materiaal kan krijgen waardoor de bodemdeeltjes dichter bij mekaar komen te liggen en inter-moleculaire krachten (London-van der Waals krachten) eveneens de stabiliteit gunstig kunnen beïnvloeden.
- Het vochtig bewaren van grondmonsters bij voldoende hoge temperatuur geeft betere stabiliteiten dan bij het onmiddellijk nat zeven. Dit is blijkbaar te wijten aan het microbiële leven, daar bij het bewaren bij voldoende lage temperatuur geen wijziging van de stabiliteit optreedt.
- Het vochtig bewaren van de grondmonsters gedurende een bepaalde tijd, waarna ze aan de lucht gedroogd worden, geeft geen afwijkende resultaten t.o.v. het onmiddellijk luchtdrogen, wanneer beide monsters bevochtigd worden tot V.C. . Dit betekent dat de microbiële invloed opgeheven wordt door het luchtdrogen en het vooraf bevochtigen tot V.C., vooraleer de stabiliteitsbepaling wordt uitgevoerd. Dit is van belang wanneer men een groot aantal monsters neemt, daar het openleggen enkele dagen in beslag neemt. De betere stabiliteit bij de vochtig bewaarde aggregaten gaat na het drogen en bevochtigen tot veldcapaciteit verloren.

Uit een paar nevenproeven is nochtans gebleken dat langzaam gedroogde aggregaten of aggregaten die gedurende een bepaalde tijd vochtig bewaard werden op kamertemperatuur, vooraleer gedroogd te worden, een betere stabiliteit vertonen (zonder vóórbevochtigen) dan vlug gedroogde aggregaten of aggregaten die gedroogd werden bij een lage temperatuur. Dit betekent dat de bevochtigbaarheid van de aggregaten vertraagd wordt tengevolge van de microbiologische activiteit, waardoor de luchtexplosie(\*) geringer wordt

---

(\*) luchtexplosie : het plots openspatten van een aggregaat ; door het aan alle zijden capillair binnendringende water kan de ingesloten lucht niet meer ontsnappen terwijl het lucht-volume steeds afneemt. Op een gegeven ogenblik wordt de luchtdruk binnen in het aggregaat groter dan de bindende krachten die het samen houden en de kruimel spat uiteen.

(de ingesloten lucht krijgt meer tijd tot ontsnappen).

- Om vergelijkbare resultaten te bekomen is het derhalve aangewezen de monsters eerst te drogen, zoniet staat men voor onoverkomelijke moeilijkheden wil men de resultaten op volstrekt vergelijkbare basis interpreteren.

Het drogen kan gebeuren door de aggregaten aan de lucht te laten drogen hetzij bij kamertemperatuur, hetzij bij een verhoogde temperatuur in een droogstoof. Het luchtdrogen duurt 3 tot 4 weken, terwijl het drogen bij 105°C slechts 1 dag in beslag neemt.

Van praktisch standpunt schijnt het drogen bij verhoogde temperatuur dus aantrekkelijk. Monnier en Konan (1968) hebben een uitvoerige studie gewijd aan de verschillende manieren van drogen.

Het drogen van humeuze gronden bij 105°C beïnvloedt de stabiliteit in gunstige zin, terwijl voor de bodems met een laag humusgehalte de stabiliteit weinig verandert. Het drogen bij verhoogde temperatuur zou een invloed hebben vanaf 80°C. Rao en Ramacharlu (1957) vermelden een stijging van de stabiliteit tot  $\pm 360^\circ\text{C}$ . Ook Slater (1953) vindt een betere stabiliteit door het drogen bij verhoogde temperatuur.

In tabel 13 wordt eigen cijfermateriaal gebracht om de invloed van het drogen bij verschillende temperaturen op de stabiliteit tot uiting te brengen. De bepaling gebeurde zowel op droge monsters zonder vóórbevochtigen als op monsters met normale vóórbehandeling door bevochtigen tot veldcapaciteit (V.C.) vóór het nat zeven.

TABEL 13.

Invloed van het drogen van aggregaten bij verschillende temperaturen op de instabiliteit.

Grondsoort	Temperatuur	Instabiliteit	
		Zonder vóórbevochtigen	Vóórbevochtigen tot V.C.
Zandleemgrond	105°C	2,70	0,43
	50°C	3,40	0,40
	20°C	3,40	0,34
Leemgrond	105°C	4,05	0,95
	50°C	4,13	0,78
	20°C	4,12	0,68

In deze resultaten zijn twee verschillende gedragingen te onderscheiden :

- (1) Bij de niet vóórbevochtigde monsters verkrijgt men een betere stabiliteit (lagere instabiliteitswaarden) bij 105°C drogen, terwijl het drogen bij 50°C geen invloed schijnt te hebben. Deze invloed is het grootst bij de zandleemgrond (met het hoogste humusgehalte). Dit zou wijzen op een moeilijker herbevochtigen van de kruimels, daar een gedeelte van het organisch materiaal oplosbaar is in warm water, zodat zich een herverdeling voordoet van de humus aan het oppervlak van de aggregaten, waardoor ze moeilijker herbevochtigd worden (Monnier en Konan, 1968).
- (2) Na het vóórbevochtigen wordt de laagste instabiliteit waargenomen bij de luchtgedroogde monsters. Bij een vlugge droging kunnen breuken in de bindingen optreden, waaruit een geringere stabiliteit zou voortvloeien. De "mouillabilité" speelt hier nog slechts een geringe rol daar de kruimels bevochtigd werden tot veldcapaciteit en gedurende ongeveer 1 dag vochtig bleven.

Dit betekent dat het sneller drogen in de door ons gebruikte methode een grotere instabiliteit tot gevolg kan hebben, en dat het effect verschillend kan zijn voor verscheidene gronden. Om deze zienswijze verder te testen werd volgende proef gerealiseerd : nadat de monsters luchtdroog waren, werd een gedeelte nogmaals gedurende 24 uur op 105°C en 50°C gedroogd. De resultaten vindt men in tabel 14.

TABEL 14.

Invloed op de instabiliteit van de temperatuur (intenser drogen) op luchtdroge aggregaten.

Grondsoort	Temperatuur	Instabiliteit	
		Zonder vóórbevochtigen	Voorbevochtigen tot V.C.
Zandleemgrond	105°C	3,00	0,28
	50°C	3,22	0,28
	20°C	3,17	0,28
Leemgrond	105°C	3,93	0,64
	50°C	4,16	0,68
	20°C	4,10	0,61

In dit geval zijn de verschillen duidelijk genivelleerd. Men kan er uit afleiden dat de vroeger vastgestelde betere stabiliteit voor een groot gedeelte te wijten is aan een herverdeling van de humus en het geen effect van de temperatuur zelf is. Dit temperatuureffect komt volgens Monnier (1965) slechts tot uiting bij veel hogere temperaturen.

Volgens verschillende onderzoekers moet het luchtdrogen in ongeveer dezelfde omstandigheden gebeuren, voornamelijk wat de temperatuur en de relatieve vochtigheid betreft. Low (1954) vindt verschillen in stabiliteit naargelang de monsters in een droge of vochtige atmosfeer bewaard worden. Daarom werden door ons monsters gedroogd enerzijds in de kelder bij ongeveer constante temperatuur en relatieve vochtigheid en anderzijds in de pedologische serre waar de schommelingen in temperatuur en relatieve vochtigheid groter zijn. De resultaten vindt men in tabel 15.

TABEL 15.

Invloed van de omstandigheden waaronder gedroogd wordt (in de kelder of in een serre) op de instabiliteit.

Grondsoort	Droog- plaats	Instabiliteit	
		Zonder vóór- bevochtigen	Vóórbevochti- gen tot V.C.
Zandleemgrond	Serre	3,27	0,42
	Kelder	3,18	0,40
Leemgrond	Serre	4,16	0,67
	Kelder	4,12	0,66

Uit de gegevens van tabel 15 volgt dat geringe variaties in temperatuur en vochtigheid tijdens het luchtdrogen van de monsters geen invloed hebben op de stabiliteit van de aggregaten.

#### Conclusie.

Het luchtdrogen bij kamertemperatuur is de meest aangewezen werkwijze vooraleer een bepaling van de aggregaatsstabiliteit uit te voeren.

### 1.3. De invloed van het vochtgehalte bij monsternamen.

Volgens Low (1955) en Monnier en Konan (1968) vindt men de hoogste stabiliteit wanneer de vochtgehalten bij de monsternamen het laagst zijn, vooropgezet dat men de aggregaten aan de lucht laat drogen. Plotnikov (1960) vindt over het algemeen een lagere stabiliteit bij een hoger vochtgehalte ; het wisselend vochtgehalte zou een factor zijn die de seizoenvariatie van de aggregaatstabiliteit beïnvloedt.

Deze tendens werd niet vastgesteld in onze proeven. Dit is te verklaren doordat bij de bestudeerde proefvelden de monsternamen uitgevoerd wordt bij het begin van de lente, als de bodem zich ongeveer op veldcapaciteit bevindt.

Wat betreft de monsters genomen met het oog op variatieproeven (meerdere monsternamen tijdens de vegetatieperiode ; zie verder) vindt men in de loop van het jaar verschillen in stabiliteit, met een maximum in de zomer, maar een correlatie met het vochtgehalte wordt niet systematisch gevonden.

### 1.4. Het fractioneren van de aggregaten.

De gebruikte aggregaten hebben een diameter tussen 2 en 8 mm. Deze aggregaatgrootte is steeds een discussiepunt geweest, alhoewel iedereen er mede akkoord gaat dat het noodzakelijk is een fractie-indeling tussen bepaalde grenzen in te voeren.

In de meeste laboratoria wordt dit gerealiseerd door droog zeven, waarbij te grote aggregaten met de hand of in een mortier verkruimeld worden tot ze doorheen de openingen van de grootste zeef gaan. Tot in 1969 werd de voorafgaande verkruimeling uitgevoerd met een schijfmolen, waarbij de afstand tussen de 2 schijven afgesteld was op 8 mm ; vervolgens werd gezeefd op een zeef met een maasopening van 2 mm en het fijnere materiaal werd verwijderd.

In tabel 16 worden de resultaten vergeleken die bekomen werden met aggregaten waarvan de bovengrens bepaald werd, hetzij door gebruik van een schijfmolen, hetzij door zeven.

TABEL 16.

Invloed van de werkwijze van de voorafgaande verkruimeling (tot een aggregaat-diameter van  $\leq 8$  mm) op de resultaten van de instabiliteit.

Grondsoort	Methode van verkruimelen tot de bovengrens van 8 mm	Instabiliteit	
		Zonder vóórbevochtigen	Vóórbevochtigen tot V.C.
Zandleem	Malen	3,58	0,42
	Zeven	3,27	0,40
Leem	Malen	4,21	0,73
	Zeven	4,12	0,68

De iets hogere instabiliteit bij de droge gemalen monsters zou kunnen te wijten zijn aan het ruw verkruimelen van sommige aggregaten in de molen, waar minder humus op de vlakken van de nieuw gevormde aggregaten kan voorhanden zijn. In zulke aggregaten zal het water gemakkelijker binnendringen, waardoor de ingesloten lucht minder kans krijgt om te ontsnappen, zodat meer luchtexplosie mag worden verwacht. Na het vóórbevochtigen is luchtexplosie praktisch uitgeschakeld (men vindt ongeveer dezelfde resultaten).

Om de veldomstandigheden beter te benaderen wordt thans het verkruimelen met de schijfmolen achterwege gelaten en worden de aggregaten met de hand verkleind. Het verdient nochtans aanbeveling dit verkruimelen steeds door dezelfde persoon te laten uitvoeren, zodat alle factoren van de voorbehandeling zoveel mogelijk gelijk blijven.

### Conclusie.

Daar enkel een verschil in stabiliteit waargenomen wordt bij de bepaling zonder vóórbevochtigen, is het verschil te wijten aan luchtexplosie. De cohesie wijzigt zich niet, daar na vóórbevochtigen de stabiliteit in beide gevallen dezelfde is.

### 1.5. Het bevochtigen.

#### 1.5.1. Hoeveelheid toe te voegen water.

Het vóórbevochtigen, tijdens de vroegere bepalingen bij de serie-analysen van de monsters van de bestudeerde proefvelden, is waarschijnlijk de belangrijkste foutbron geweest.

Niet bevochtigde monsters geven geen betrouwbare resultaten voor de hier onderzochte weinig gedifferentieerde gronden. Daarbij komt dat het volledig luchtdroog worden van de aggregaten in het veld zich onder Belgisch klimaat praktisch niet voordoet. Door de luchtdroge monsters onmiddellijk te zeven onder water is de luchtexplosie veruit de voornaamste factor die de stabiliteit beïnvloedt.

Daarbij valt op te merken dat over het algemeen de variantie binnen de herhalingen groter is bij het niet vóórbevochtigen, wat ook vermeld wordt door Schachtschabel en Hartge (1959).

Volgens Williamson, Yoyce Pringle en Coutts (1956) zijn grotere verschillen te verwachten door capillair te bevochtigen dan door immersie. Evans (1954) vermeldt, dat de vóórbevochtiging derwijze moet geschieden dat de grond gebracht wordt tot een structuurtoestand die overeenstemt met deze op het veld bij de monsternamen. Daar de monsters "in principe" genomen worden bij het einde van de winter en de bodem zich dan op veldcapaciteit bevindt, is het ook logisch dat de vóórbevochtiging tot dit vochtgehalte gebeurt. Van belang is het hierbij te onderlijnen dat het bevochtigen niet mag gebeuren tot een bepaald gewichtsprocent, maar wel tot een vochtgehalte, overeenstemmend met een bepaalde vochtspanning (pF-waarde). Immers, indien men zou bevochtigen tot een bepaald gewichtsprocent, dan zouden voor de zwaardere bodemtexturen de luchtinsluitingen merkkelijk verschillend zijn van deze voor lichtere texturen. Ook bij het nat zeven zouden grote verschillen in luchtinclusie kunnen optreden, afhankelijk van de nog niet gevulde poriën. Daarom wordt steeds bevochtigd tot een vochtgehalte dat overeenstemt met het vochtgehalte bij veldcapaciteit, hetgeen voor de onderzochte zandleem- en leemgronden overeenkomt met pF<sub>2,54</sub>. Uit fig. 3 blijkt dat de stabiliteit het grootst is (kleinste instabiliteitswaarde) voor een bevochtiging bij veldcapaciteit. Dit komt nagenoeg overeen met de mening van Alderfer (1950) en van Panabokke en Quirk (1957) die de beste stabiliteit vinden bij pF<sub>2</sub> tot 3.

Uit fig. 3 blijkt dat de gevonden instabiliteit ongeveer konstant blijft "rond" een vochtgehalte van "ongeveer" de veldcapaciteit (V.C.), zodat het minutieus bevochtigen tot de exacte waarde van de veldcapaciteit niet noodzakelijk is. Deze grafieken illustreren toch dat grove fouten gemaakt worden, zowel door het te weinig als door het teveel bevochtigen. Indien de veldcapaciteit niet bereikt wordt, doet zich luchtexplosie in de aggregaten voor bij het plotse zeven onder water ;



bij een bevochtigen boven veldcapaciteit kan reeds luchtexplosie optreden bij het vóórbevochtigen zelf en kan ook een verbrokkelen van de kruimels veroorzaakt worden door de vallende waterdruppel op reeds vochtige aggregaten.

Vóór 1969 werd bij de serie-bepalingen van de stabiliteit onvoldoende aandacht geschonken aan het belang van een goede bevochtiging tot veldcapaciteit. Teneinde een idee te hebben van de orde van grootheid van de aldus gemaakte fout werd een reeks controle-bepalingen uitgevoerd in 1970. Hierbij werd bevochtigd, enerzijds tot veldcapaciteit en anderzijds zoals vroeger werd gedaan, nl. een bevochtigen tot alle aggregaten op het zicht voldoende vochtig waren, zonder dat een werkelijke controle van de bereikte vochtigheid werd uitgevoerd.

De controle-bepalingen werden verricht op aggregaten afkomstig van 2 velden (Tongeren en Bierset), 2 bodemtypes (plateau en depressie) en 2 bemestingsbanden (het object met stalmest plus schuimkalk en het blanco-object zonder schuimkalk). De vergelijking werd uitgevoerd op monsters genomen op 4 verschillende tijdstippen. De in tabel 17 gegeven resultaten zijn de gemiddelden per veld over de 4 tijdstippen heen.

TABEL 17.

De invloed van het al of niet nauwkeurig vóórbevochtigen op de gemiddelde instabiliteit en op de variantie van de resultaten.

Velden	Gemiddeld vochtgehalte		Instabiliteit		Variantie	
	Tot V.C.	Zonder controle	Tot V.C.	Zonder controle	Tot V.C.	Zonder controle
Tongeren	22,40	18,30	1,35	1,87	0,0082	0,0349
Bierset	22,40	19,00	1,28	1,72	0,0090	0,0171

Uit de bekomen resultaten (tabel 17) blijkt dat de gemiddelde instabiliteit zonder controle op het vochtgehalte significant groter is dan bij het nauwkeurig bevochtigen. Dit is een gevolg van het feit dat vroeger meestal de veldcapaciteit bij de vóórbevochtiging niet werd bereikt. Als tweede vaststelling vermelden we de veel grotere variatie in de herhalingen, dat te verklaren is door het niet altijd bevochtigen tot eenzelfde vochtgehalte (vochtspanning).

De variantie tussen de herhalingen is ongeveer dezelfde in het geval van het gecontroleerd bevochtigen tot V.C., terwijl zonder controle bij de bevochtiging de varianties tussen de herhalingen in sommige gevallen klein zijn en in andere gevallen groot.

Aan de hand van deze resultaten moet men besluiten dat de bekomen cijfers zonder controle op het bevochtigen weinig of niet bruikbaar zijn voor een confrontatie van de verzorgingsobjecten van proefvelden.

Vergelijken wij de bekomen variantie met de gemiddelde variantie (vroeger vermeld om de plaats van monsternamen te bepalen, zie 1.1.3.) dan zien we dat ze ongeveer gelijk zijn.

#### 1.5.2. De invloed van het meermaals bevochtigen.

Ondanks de algemene tendens dat zich in de zomer een betere stabiliteit voordoet (zie verder), heeft toch de neerslag zeker een invloed op de afbraak van de aggregaten. Dit werd in het laboratorium nagegaan door de aggregaten meerdere malen te drogen en te herbevochtigen.

Naast de resultaten van dit herhaald bevochtigen en drogen worden ook de resultaten van de instabiliteit gegeven, die bekomen werden door het bevochtigen tot andere vochtgehalten dan veldcapaciteit en worden eveneens enkele cijfers uit de grafieken van fig. 3 overgenomen voor een meer globale vergelijking. Het is immers de bedoeling, naast het effect van het meermaals bevochtigen op de stabiliteit van de aggregaten, ook de redenen van afbraak bij verschillende vochtgehalten te achterhalen.

Uit de gegevens van tabel 18 en de grafieken van fig. 3 mogen volgende besluiten afgeleid worden :

- 1) De meest uitgesproken instabiliteit wordt gevonden wanneer de bepaling geschiedt zonder vóórbevochtigen.
- 2) Zowel te weinig als te veel bevochtigen geeft eveneens hoge instabiliteitswaarden.
- 3) Het effect van het herhaaldelijk bevochtigen en drogen is duidelijk : de instabiliteit neemt toe.
- 4) Is het eerste bevochtigen slechts miniem, gevolgd door drogen en terug bevochtigen tot veldcapaciteit, dan wordt geen sterkere afbraak waargenomen, terwijl bij een eerste bevochtiging tot boven de V.C. een vermindering van de stabiliteit verkregen wordt die het meest uitgesproken is bij de leemgrond.

TABEL 18.

De instabiliteit in functie van het vochtgehalte bij het vóórbevochtigen en van het meermaals bevochtigen tot verschillende vochtgehalten.

Bevochtigen	Instabiliteit	
	leemgrond	zandleem- grond
(1) Tot. V.C. (normale werkwijze)	1,03	0,37
(2) 1x bevochtigen, drogen en herbevochtigen tot V.C.	1,31	0,53
(3) 2x bevochtigen, drogen en herbevochtigen tot V.C.	1,55	0,66
(4) 3x bevochtigen, drogen en herbevochtigen tot V.C.	1,76	0,77
(5) bevochtigen tot 11 %; drogen en herbevochtigen tot V.C.	1,06	0,37
(6) bevochtigen tot 29 %, drogen en herbevochtigen tot V.C.	1,65	
(7) bevochtigen tot 31 %, etc., zoals (6)		0,70
(7') bevochtigen tot 32 %, etc., zoals (6)	2,00	
(8) bevochtigen tot 36 %, etc., zoals (6)		1,00
(8') bevochtigen tot 37 %, etc., zoals (6)	2,29	
(9) zonder voorbevochtigen	4,00	2,43
(10) bevochtigen tot 11 %, drogen en herbevochtigen tot 11 %	2,77	0,85
(11) bevochtigen tot 29 %, drogen en herbevochtigen tot 29 %	1,95	
(12) id. als (7), maar herbevochtigen tot 31 %		0,90
(12') id. als (7'), maar herbevochtigen tot 32 %	2,58	
(13) id. als (8), maar herbevochtigen tot 36 %		1,58
(13') id. als (8'), maar herbevochtigen tot 37 %	3,45	
(14) bevochtigen tot 11 %	2,82	0,84
(15) bevochtigen tot 29 %	1,30	
(16) bevochtigen tot 32 % of 31 %	1,80(32 %)	0,50(31 %)
(17) bevochtigen tot 37 % of 36 %	2,25(37 %)	0,90(36 %)

- 5) Uit de grafieken van fig. 3 komt het verschillend gedrag tussen de humusrijkere zandleem en de humusarmere leemgrond goed tot uiting : men vindt een betere stabiliteit in de humusrijkere zandleemgrond (dus een betere cohesie). Voor de zandleemgrond is het vochttraject, bij dewelke de instabiliteit ongeveer minimaal blijft, ook veel groter dan voor de leemgrond en vindt men ook een geringere stijging rond de minimale waarde bij een grotere vochtafwijking t.o.v. de veldcapaciteit. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de geringere indringingssnelheid van het water, waardoor de luchtinsluiting kleiner is, wat samen met de grotere cohesie resulteert in een vrij geringe afbraak. Zulks betekent meteen, dat bij afwijkingen t.o.v. veldcapaciteit bij het vóórbevochtigen, de verschillen in instabiliteit geringer zijn in de zandleemgrond dan in de leemgrond.
- Indien men op een bepaalde grond een groot aantal stabiliteitsbepalingen moet uitvoeren is het aangeraden eerst een curve op te nemen, zoals fig. 3 illustreert. Op dié wijze kan men nagaan bij welk vochtgehalte de instabiliteit het kleinst is en hoe groot de afwijking t.o.v. dit vochtgehalte mag zijn om nog behoorlijk reproduceerbare resultaten te bekomen.
- Dat bij lage vochtgehalten de instabiliteit in de zandleemgrond vlug tot een kleine waarde daalt menen we te kunnen verklaren als volgt : de poriënverdeling van deze grond laat toe vrij vlug een lage pF-waarde te bereiken, waarbij de luchtinsluiting bij het nat zeven miniem is (geringere opzuigkracht, gekombineerd met de vertraagde watertoevoer ingevolge een vrij hoog humusgehalte).
- Bij het bevochtigen tot vochtgehalten boven veldcapaciteit is de indringingssnelheid van het water in de leemgrond zo vlug, dat vanaf relatief geringe vochtgehalten boven veldcapaciteit de luchtinsluiting snel toeneemt en dus de instabiliteit stijgt. In de zandleemgrond moet het vochtgehalte merkkelijk groter zijn om de luchtinsluiting in grote mate te doen toenemen (een gevolg van de geringere indringingssnelheid en de verschillende poriënverdeling).
- Bij bevochtigen tot hoge vochtgehalten heeft men naast het explosiewaarde effect van de luchtinsluiting ook het mechanisch verkruimelen van de aggregaten doordat een aantal waterdruppels op reeds vochtige aggregaten terechtkomen, waarvan de cohesie veel geringer is dan de cohesie bij droge aggregaten. Hierbij komt dat voor de hier vermelde hoogste vochtgehalten de aggregaten moeilijk uit de schaaltes te verwijderen

zijn. De gevonden hoge instabiliteiten kunnen dus iets "geforceerd" zijn (een hoeveelheid grond blijft in de schaaltes over of enkele aggregaten worden verbrokkeld door de preparator bij het overbrengen van de aggregaten uit de schaaltes op de zeven).

### 1.5.3. De valhoogte van de waterdruppel.

De bevochtigingswijze beïnvloedt de stabiliteit in grote mate. Het is dan ook aan te raden deze bevochtiging toe te passen die het best overeenkomt met de "natuurlijke" bevochtiging (door regen).

In het door ons uitgevoerde onderzoek gebeurt het bevochtigen door vallende waterdruppels. Daarbij wordt getracht de energie, waarmee de regendruppels op het veld neerkomen, in het laboratorium na te bootsen door gebruik te maken van grote waterdruppels (met constante diameter), die van een voldoende en constante hoogte vallen. Het gemiddeld gewicht van regendruppels bij een hevige regenbui bedraagt  $\pm 0,0335$  g (diameter = 4 mm) en de snelheid is  $\pm 7$  m/sec. (Low, 1954). Alhoewel uit latere publicaties is gebleken dat deze gegevens groter zijn dan de gemiddelde waarden, werden deze cijfers toch behouden daar ze in de natuur kunnen voorkomen en we een voldoende grote afbraak-energie hebben willen toevoegen. De kinetische energie van een vallende regendruppel =  $\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 0,0335 \times 700^2 \approx 8200$  erg. Om deze snelheid en de hier berekende energie te bereiken zou men volgens Laws (1941) deze druppels van ongeveer 4 m hoogte moeten laten vallen, wat praktisch gezien, moeilijk uitvoerbaar is. Daarom bootsen we deze energie na met druppels met een gewicht van  $\pm 0,255$  g (diameter  $\pm 8$  mm). Om de kinetische energie van deze druppels te berekenen met de formule  $\frac{1}{2} mv^2$  moeten we ook de snelheid van de val (in functie van de valhoogte) kennen, wat bij onze proefnemingen niet het geval was. Daarom benaderen we deze energie door gebruik te maken van de formule voor de potentiële energie = mgh. Dat deze benadering voldoende is, blijkt uit volgende berekeningen, gesteund op de publicatie van Laws (1941). Voor een druppel met een diameter = 6 mm (gewicht 0,113 g), een valhoogte van 0,5 m en een snelheid = 310 cm/sec (metingen Laws, 1941) is de kinetische energie =  $\frac{1}{2} \times 0,113 \times 310^2 = 5.430$  erg. De potentiële energie =  $0,113 \times 981 \times 50 = 5.543$  erg. De potentiële energie is derhalve iets groter dan de kinetische als gevolg van de wrijvingskracht van de waterdruppel t.o.v. de lucht-moleculen, waardoor een gedeelte van de kinetische energie verloren gaat als warmte. Het verlies aan kinetische energie wordt des te groter

naarmate de valhoogte stijgt (met de toegenomen valsnelheid stijgt ook de wrijvingskracht). Voor druppels met een diameter  $\approx 8$  mm (gewicht  $\approx 0,255$  g), zoals deze die door ons gebruikt worden, mogen we een verschil tussen de kinetische en de potentiële energie van ongeveer dezelfde orde aannemen (door extra-polatie) ; m.a.w. de gemaakte fout zal slechts gering zijn. We mogen dan ook bij benadering de vereiste kinetische energie, nl. 8.200 erg, gelijk stellen aan het verlies in potentiële energie = mgh. Hieruit is de valhoogte te berekenen, nl.

$$h = \frac{8.200}{981 \times 0,255} = 32,8 \text{ cm } (\approx 33 \text{ cm}).$$

Het is denkbaar dat én een variatie in de valhoogte én de hieruit volgende variatie in toegediende energie een invloed heeft op de resultaten van de instabiliteit. Dit werd door ons nagegaan, zoals tabel 19 illustreert.

TABEL 19.

De invloed van de toegebrachte energie (valhoogte van grote druppels van  $\pm 0,255$  g) op de instabiliteit.

Grondsoort	Valhoogte	Energie in erg (Potentiële energie)	Instabiliteit
Zandleemgrond	0 cm	0	0,42
	8 cm	$\pm 2000$	0,39
	33 cm	$\pm 8250$	0,34
	43 cm	$\pm 10750$	0,32
Leemgrond	0 cm	0	0,70
	8 cm	$\pm 2000$	0,72
	33 cm	$\pm 8250$	0,63
	43 cm	$\pm 10750$	0,70

Steunend op de gegevens van deze tabel mag de invloed van de variatie in toegebrachte energie van regendruppels, verwaarloosbaar worden geacht voor deze monsters.

#### 1.5.4. Poging om de effecten van de vóórbevochtiging te splitsen (zie tab.20).

##### (1) Voor de zandleemgrond.

(1.1.) Het gedeelte van de gevonden instabiliteitswaarde dat de invloed weergeeft van de vóórbevochtiging tot veldcapaciteit menen we te mogen gelijk stellen met ongeveer 0,15 (af te leiden uit het meer-

maals bevochtigen). Dat betekent dan, dat de mechanische afbraak, door het zeven onder water, na vóórbevochtigen tot V.C. gelijk is aan  $0,37 - 0,15 = 0,22$ . Deze mechanische afbraak wordt ook abrasie genoemd.

Beide partiële effecten kunnen eveneens als volgt worden afgeleid. Door een zeer zorgvuldig en traag (capillair) bevochtigen onder gedeeltelijk vacuum ( $1/7$  atmosfeer) mag het effect van de luchtinsluiting als verwaarloosbaar beschouwd worden. Deze proef werd om praktische redenen slechts uitgevoerd met de grootste aggregaten. Uit het verschil in % stabiele aggregaten (tussen  $4,8 - 8$  mm) na bevochtigen met de vallende waterdruppel en na bevochtigen onder gedeeltelijk vacuum werd een geringe afbraak vastgesteld (overeenstemmend met  $\pm 0,15$  als instabiliteitswaarde), te wijten aan luchtinsluiting. De abrasie door het zeven is + een constante waarde, vooropgezet dat de luchtinsluiting uitgeschakeld wordt. Dit werd aangetoond door een aantal aggregaten te bevochtigen onder gedeeltelijk vacuum, waarna ze onderworpen werden aan verschillende overdrukken (nl. overdrukken van 10 en 100 cm waterzuil en van  $1/3$  atmosfeer) in het pF-apparaat volgens Richards. Hierbij is de afbraak van de aggregaten bij de verschillende pF-waarden ongeveer identiek en stemt overeen met een instabiliteitswaarde van 0,22. Dit wijst er tevens op dat luchtinsluiting bij het onder water brengen van aggregaten praktisch mag verwaarloosd worden van zodra ze een vochtgehalte hebben overeenstemmend of groter dan veldcapaciteit.

Eenvoudigheidshalve nemen we in tabel 20 een constante waarde voor het effect van het zeven, hoewel we er ons van bewust zijn, dat zowel bij lage als bij hoge vochtgehalten, de aggregaten die door abrasie afgebroken worden reeds gedeeltelijk kunnen verbrokeeld zijn door luchtinsluiting.

- (1.2.) Het effect van het bevochtigen is te verwaarlozen bij lage vochtgehalten, bv. bij bevochtigen tot 11 %. Dit is af te leiden uit tabel 18 : de instabiliteit bij bevochtigen tot 11 %, drogen en bevochtigen tot V.C. is gelijk aan deze na het onmiddellijk bevochtigen tot V.C. . Dit betekent dat bij een bevochtigen tot lage vochtgehalten de afbraak bij het nat zeven te wijten is aan

de luchtexplosie bij het onderdompelen in water en het mechanisch effect van het zeven (tabel 20).

- (1.3.) Bij vochtgehalten groter dan V.C. speelt enkel het effect van het bevochtigen (luchtinsluiting bij bevochtigen en afbraak door de vallende waterdruppels op reeds vochtige aggregaten) en het als constant beschouwde effect van het zeven.
- Het voorbevochtigen tot 31 % geeft een instabiliteit = 0,50. Het effect van het zeven = 0,22, wat dan als bevochtigingseffect  $0,50 - 0,22 = 0,28$  geeft.

Dit kan bij benadering als volgt gecontroleerd worden :

- a) Het verschil in instabiliteit tussen het vóórbevochtigen tot 31 %, gevolgd door drogen en herbevochtigen tot V.C. (tabel 18,7) t.o.v. het resultaat met vóórbevochtigen tot 31 % (tabel 17,16) =  $0,70 - 0,50 = 0,20$ . Wetende dat het effect van het bevochtigen tot V.C. = 0,15 en het effect van het zeven = 0,22, kunnen we daar uit afleiden dat het effect van het bevochtigen tot 31 % vocht =  $0,70 - 0,15 - 0,22 = 0,33$ .
- b) Door het 2x bevochtigen van de aggregaten tot 31 % vocht vindt men een instabiliteit = 0,90. Het effect van het zeven = 0,22, wat betekent dat 2x bevochtigen tot 31 % een instabiliteitsstijging geeft van  $0,90 - 0,22 = 0,68$ . Het gemiddeld effect van 1x bevochtigen tot 31 % =  $0,68 : 2 = 0,34$ .
- De drie gevonden waarden komen goed overeen.

We kunnen dezelfde redenering voeren voor het bevochtigen tot 36 % vocht. Samenvattend kunnen we daarvoor het volgende schrijven : effect van voorbevochtigen tot 36 % vocht =  $0,90 - 0,22 = 0,68$ .

Ter verdere controle nog een paar berekeningen :

- a) Voorbevochtigen tot 36 %, drogen en bevochtigen tot V.C. geeft 1,00. Het effect van het bevochtigen tot 36 % mag dus geschreven worden =  $1,00 - 0,22$  (effect zeven) - 0,15 (effect bevochtigen tot V.C.) = 0,63.
- b) Effect 2x bevochtigen tot 36 % =  $1,58 - 0,22 = 1,36$ .  
Gemiddeld effect 1x bevochtigen tot 36 % =  $1,36 : 2 = 0,68$ .  
Hier krijgt men ook ongeveer dezelfde waarden voor de 3 benaderingswijzen.

## (2) Voor de leemgrond.

Dezelfde redenering kan gemaakt worden voor de leemgrond (zie eveneens tabellen 18 en 20).

- (2.1.) Het effect van het bevochtigen tot veldcapaciteit is ongeveer 0,25. De mechanische afbraak is dan =  $1,03 - 0,25 = 0,78$ .  
Hier is het wel mogelijk dat een klein effect van luchtexplosie nog aanwezig is, zoals blijkt door het bevochtigen onder vacuum.  
Ter vereenvoudiging verwaarlozen we deze minieme invloed.



(2.2.) Bij lage vochtgehalten, zoals een bevochtigen tot 11 %, is het bevochtigingseffect eveneens te verwaarlozen.

(2.3.) Bevochtigen tot hogere vochtgehalten :

a) Effect van vóórbevochtigen tot 29 % vocht =  $1,30 - 0,78 = 0,52$ .

Als controle volgende 2 berekeningen :

α) Vóórbevochtigen tot 29 % vocht, drogen en bevochtigen tot veldcapaciteit =  $1,65$  ; effect van bevochtigen tot 29 % =  $1,65 - 0,78 - 0,25 = 0,62$ .

β) Effect van 2x bevochtigen tot 29 % =  $1,95 - 0,78 = 1,17$ .  
Gemiddeld effect van 1x bevochtigen tot 29 % =  $1,17 : 2 = 0,58$ .

b) Effect van het vóórbevochtigen tot 32 % vocht =  $1,80 - 0,78 = 1,02$ .

Als controle :

α) Vóórbevochtigen tot 32 % vocht, drogen en bevochtigen tot V.C. =  $2,00$  ; effect van bevochtigen tot 32 % =  $2,00 - 0,78 - 0,25 = 0,97$ .

β) Effect van 2x bevochtigen tot 32 % =  $2,58 - 0,78 = 1,80$ .  
Gemiddeld effect van bevochtigen tot 32 % =  $1,80 : 2 = 0,90$ .

c) Effect van het vóórbevochtigen tot 37 % =  $2,25 - 0,78 = 1,47$ .

Als controle :

α) Vóórbevochtigen tot 37 % vocht, drogen en bevochtigen tot V.C. =  $2,29$  ; effect bevochtigen tot 37 % =  $2,29 - 0,78 - 0,25 = 1,26$ .

β) Effect van 2x bevochtigen tot 37 % =  $3,45 - 0,78 = 2,67$ .  
Gemiddeld effect van bevochtigen tot 37 % =  $2,67 : 2 = 1,34$ .

De 3 vergelijkbare resultaten verschillen meer voor de leem- dan voor de zandleemgrond. Dit is te wijten aan het moeilijker overbrengen van de zeer vochtige aggregaten op de zeven en aan het effect van het zeven dat nog kan beïnvloed worden door luchtin-sluiting. Nochtans geven de verschillende resultaten (samengevat in tabel 20) voldoening als aanduiding van de factoren die de afbraak beïnvloeden.

Uit tabel 20 kunnen volgende besluiten getrokken worden :

- Het effect van het zeven (in relatie met de cohesie) is het kleinst voor de humusrijke zandleemgrond.
- De luchtexplosie vermindert sterk bij reeds lage vochtgehalten voor de zandleemgrond t.o.v. de leemgrond (vergelijk luchtdroog met 11 % vocht).
- Er is eveneens een langzamere stijging van het bevochtigings-effect bij vochtgehalten boven veldcapaciteit voor de zandleemgrond.

TABEL 20.

De oorzaken van de afbraak van aggregaten bij verschillende vochtgehalten.

Vochtgehalte	Totale instabiliteit	Afbraak van aggregaten, uitgedrukt als deelwaarde van de instabiliteit, ingevolgt		
		lucht-explosie	zeven	bevochtigen
		<u>Zandleem</u>		
1,3 % (luchtdroog)	2,43	2,21	0,22	-
11 %	0,84	0,62	0,22	-
24,4 % (V.C.)	0,37	-	0,22	0,15
31 %	0,50	-	0,22	0,28
36 %	0,90	-	0,22	0,68
		<u>Leem</u>		
1,7 % (luchtdroog)	4,00	3,22	0,78	-
11 %	2,82	2,04	0,78	-
22,4 % (V.C.)	1,03	-	0,78	0,25
29 %	1,30	-	0,78	0,52
32 %	1,80	-	0,78	1,02
37 %	2,25	-	0,78	1,47

#### 1.5.5. De gebruikte vloeistof.

Het bevochtigen gebeurde vroeger met leidingwater dat een vrij grote hoeveelheid Ca-ionen bevatte ; thans wordt bevochtigd met gedistilleerd water. Het is mogelijk dat de aanwezigheid van ionen in het bevochtigingswater invloed heeft op de resultaten. De cohesie tussen de bodemdeeltjes (o.a. afhankelijk van de van der Waals krachten) die de stabiliteit beïnvloedt, is namelijk afhankelijk van de dikte van de elektrische dubbellaag van de bodemcolloïden. Deze laatste zijn normaal negatief geladen en in de elektrische dubbellaag bevinden zich positieve ionen die de negatieve lading compenseren.

Heeft men te doen met tweewaardige Ca-ionen in oplossing, dan is de dubbellaag minder dik dan met éénwaardige Na-ionen, te wijten aan het verschil in valentie tussen de twee ionen en gezien de hydrata-

tiemantel van de Na-ionen veel dikker is. Als gevolg van dit verschil in valentie en in hydratatie van Ca- en Na-ionen, zullen kleideeltjes die met Ca-ionen bezet zijn, meer stabiele aggregaten vormen dan wanneer de kleideeltjes met Na-ionen bezet zijn. (Dit verklaart waarom met zeewater overstroomde gronden onstabiel zijn en het nodig is hierin eerst het Ca-gehalte op te voeren, met gips bijv., om zo snel mogelijk een goede stabiliteit te verkrijgen). Door het toevoegen van water bij het bevochtigen wijzigt men de ionen-bezetting van de colloïden. Is het water Ca-houdend, dan zal de dikte van de elektrische dubbellaag minder toenemen dan bij het bevochtigen met gedistilleerd water : de cohesie wordt groter (Janse en Koenigs, 1963).

Voor de beoordeling van de invloed van deze factor werden eveneens proeven uitgevoerd. Uit de resultaten blijkt evenwel dat in de twee onderzochte gronden weinig of geen verschil gevonden wordt in stabiliteit : de resultaten zijn dezelfde bij het bevochtigen met leidingwater of met gedistilleerd water (tabel 21).

Dit betekent dat een andere factor doorslaggevend moet zijn ; in de leemgrond is de Ca-reserve blijkbaar nog ruim voldoende, zodat de bodem geen invloed ondergaat bij het bevochtigen met gedistilleerd water ; waarschijnlijk speelt in de zandleemgrond het humusgehalte de belangrijkste rol. Toch menen wij in principe de voorkeur te moeten geven aan een bevochtigen met gedistilleerd water, daar dit beter overeenstemt met regenwater.

TABEL 21.

Invloed van het Ca-gehalte van het bevochtigingswater op de instabiliteit.

Grondsoort	Instabiliteit	
	Leidingwater (Ca-houdend)	Gedistilleerd water
Zandleemgrond	0,40	0,34
Leemgrond	0,78	0,77

#### 1.5.6. Snelheid van bevochtigen.

Ook de snelheid waarmee bevochtigd wordt kan invloed hebben op de stabiliteit. Worden de aggregaten traag bevochtigd, bijv. door het

aanleggen van een steeds lager wordende onderdruk, en worden deze kruimels daarna in water ondergedompeld dan blijven ze tamelijk stabiel. Worden integendeel de aggregaten bevochtigd met een onderdruk van slechts een paar cm, dan vallen ze reeds bij het bevochtigen voor het grootste gedeelte uit elkaar. In het eerste geval kan de lucht nog ontsnappen ; in het tweede geval heeft luchtexplosie de aggregaten volledig doen uiteenvallen. Bij het bevochtigen volgens de normale in onze studie gebruikte werkwijze gelden deze bezwaren praktisch niet, omdat slechts bevochtigd wordt tot veldcapaciteit en de snelheid van het bevochtigen beperkt is, gezien men met druppels bevochtigt. In de gevolgde modus operandi wordt bevochtigd met een tempo van 25 druppels in 15 sec. Varieert men het aantal druppels (van 15 tot 35) dan blijkt uit de resultaten (tabel 22) dat de instabiliteit praktisch niet gewijzigd wordt.

TABEL 22.

De instabiliteit in functie van de snelheid van het vóórbevochtigen met vallende druppels.

Grondsoort	Aantal druppels in 15 sec.	Instabiliteit
Zandleem	15	0,36
	25	0,35
	35	0,39
Leem	15	0,63
	25	0,58
	35	0,63

#### 1.5.7. De temperatuur van het water.

De temperatuur van het water waarmede bevochtigd wordt kan aan schommelingen onderhevig zijn. Daar de viscositeit daalt bij stijgende temperatuur zal het water vlugger in de poriën dringen. Uit een testproef, waarbij het vóórbevochtigen geschiedde bij 20°C en bij 45°C (tabel 23), bleek de temperatuurinvloed verwaarloosbaar te zijn. Net zoals voor de snelheid waarmede de waterdruppels vallen menen wij dat ook hier de doorslaggevende factor het feit is dat de veldcapaciteit niet overschreden wordt.

TABEL 23.

Invloed van de temperatuur van het bevochtigingswater op de instabiliteit.

Grondsoort	Temperatuur	Instabiliteit
Zandleem	20°C	0,31
	45°C	0,34
Leem	20°C	0,66
	45°C	0,60

### 1.6. Het incuberen.

Na het bevochtigen worden de aggregaten in een kiemkast geplaatst bij een temperatuur van ongeveer 20°C en een relatieve vochtigheid van bijna 100 % om de veldomstandigheden zo dicht mogelijk te benaderen.

Dit incuberen dient om een bevredigende vochtverdeling te verzekeren over alle aggregaten, de aggregaten de tijd te geven om tot een zwelling te komen die in evenwicht is met de veldcapaciteit en tevens om het microbiologisch leven te activeren.

#### 1.6.1. De invloed van de tijd.

De betekenis van dit incuberen wordt duidelijk gemaakt in tabel 24. De hoge waarden van de instabiliteit kort na het bevochtigen (bijv. na 30 min.) zijn te wijten aan het onvoldoende opnemen van water in sommige aggregaten. De vochtverdeling gebeurt langzaam, zodat men ongeveer 1 dag nodig heeft om een konstante stabiliteitswaarde te bereiken die gedurende 2 tot 3 dagen behouden blijft. Evans (1954) schrijft het verdwijnen van de zwakke bindingen toe aan een zwelling waarbij de fijnste spleetjes in de aggregaten na voldoende tijd verdwijnen. De invloed van de incubatietijd is eveneens af te leiden uit het verschillende gedrag van de 3 gebruikte aggregaatfracties na verschillende tijdstippen. De "gelijke" vochtverdeling immers zal zich het laatst hebben ingesteld in de grootste aggregaten ; hieruit volgt dat na onvoldoende incubatietijden het % stabiele aggregaten het kleinst zal zijn bij de aggregaten met diameter tussen 4,8 en 8 mm ; dit werd ook door een testproef aangetoond (zie tabel 25). Is de incubatietijd voldoende groot (bijv. 1 dag) dan wordt inzake vochtverdeling een evenwicht bereikt in alle aggregaten en het % stabiele aggregaten is voor de 3 gebruikte aggregaatfracties ongeveer gelijk (tabel 25).

Door de aggregaten nog langer vochtig te bewaren krijgt men waarschijnlijk een intensivering van het bacterieel leven onder deze gunstige omstandigheden (in analogie met tabel 11), waardoor de instabiliteit nog verder afneemt (Schuffelen en Van Schuylenborgh, 1950). Uit voorgaande gegevens mag worden afgeleid dat het best is de monsters ongeveer 1 dag in de kiemkast te houden, wil men vergelijkbare resultaten verkrijgen.

TABEL 24.

De invloed van de incubatie-duur (in de kiemkast) op de instabiliteit.

Duur van incubatie	Instabiliteit	
	Zandleem	Leem
10 min	-	3,59
30 min	1,91	3,44
2 uur	-	2,00
4 uur	0,81	1,21
8 uur	0,63	1,00
1 dag	0,39	0,64
2 dagen	0,40	0,70
3 dagen	-	0,66
4 dagen	0,25	-
1 week	0,19	0,48

TABEL 25.

Het % stabiele aggregaten van de onderscheiden aggregaatfracties (leemgrond) na verschillende incubatietijden.

Duur van incubatie	% stabiele aggregaten		
	Fractie 4,8-8 mm	Fractie 3-4,8 mm	Fractie 2-3 mm
2 uur	34 %	41 %	48 %
4 uur	43 %	47 %	56 %
6 uur	48 %	52 %	63 %
8 uur	54 %	57 %	64 %
1 dag	66 %	67 %	69 %
2 dagen	66 %	66 %	68 %

### 1.6.2. De invloed van de temperatuur.

De temperatuur in de kiemkast kan weinig schommelen, daar een automatische temperatuurcontrole voorzien is. Bij het instellen van hogere temperaturen zonder enige andere voorzorg zullen de monsters uitdrogen en worden dan automatisch afwijkende resultaten bekomen. Bij beperkte temperatuur-variatiës worden echter geen verschillen waargenomen, zoals tabel 26 illustreert.

TABEL 26.

Invloed van de temperatuur in de kiemkast op de instabiliteit.

Grondsoort	Temperatuur	Instabiliteit
Leem	20°C	0,66
	30°C	0,62

### 1.7. Het bewaren van de monsters.

Wegens het groot aantal monsters, afkomstig van de proefvelden, dat jaarlijks moet worden onderzocht, is het onmogelijk alle bepalingen op een paar weken uit te voeren. Daarom is het van het grootste belang de invloed van de bewaringsduur na te gaan. Remy (1971) vond een stijging van de stabiliteit tot 2 maand na de monsternamen, waarna de stabiliteit konstant bleef. De door ons gevonden resultaten zijn vermeld in tabel 27.

TABEL 27.

De invloed van de bewaringsduur op de instabiliteit.

Grondsoort	Instabiliteit			
	Zonder vóórbevochtigen		Vóórbevochtigen tot V.C.	
	Na 1 maand	Na $\pm$ 1 jaar	Na 1 maand	Na $\pm$ 1 jaar
Zandleem	3,17	2,83	0,34	0,24
Leem	4,12	4,02	0,66	0,60

Er blijkt een tendens te bestaan dat de instabiliteit afneemt tijdens een lange bewaringsduur ; wanneer de bepalingen binnen het jaar gebeuren zijn de verschillen slechts klein bij zandleem en te verwaarlozen bij leem. Op de structuurproefvelden van Haspengouw wensen we evenwel ook kleine verschillen tussen de verzorgingsobjecten aan te tonen. Daarom is het toch wenselijk de te vergelijken resultaten in een zo kort mogelijk tijdsbestek te bekomen (binnen een paar maand).

Het verschil in stabiliteit in de tijd is waarschijnlijk te wijten aan een verandering in het organisch materiaal, zoals blijkt uit het grotere effect op de zandleemgrond dan op de leemgrond. Het gemak van herbevochtigen ("mouillabilité") speelt dan hierbij een rol, wat afgeleid kan worden uit het veel grotere effect bij imbibitie zonder vóórbevochtigen. Ingevolge een polymerisatie van de bestanddelen van het organisch materiaal zal het specifiek oppervlak van de humus stijgen en zal de "mouillabilité" dalen. Dit is ook de mening van Nevo en Hagin (1966), die meer stikstof vonden naargelang de monsters langer bewaard werden, wat zij verklaren door een toename van het specifiek oppervlak van het organisch materiaal dat aan nitrificatie onderhevig is.

## 2. Het nat zeven.

### 2.1. De zeefwijze.

Het normale zeven gebeurt derwijze dat de aggregaten zich steeds onder water bevinden. Het zeven kan eveneens gebeuren door de bovenste zeef afwisselend in en uit het water te laten bewegen, het zogenaamde "ruw zeven". Volgens sommige onderzoekers zou dit een grotere afbraak van de kruimels tot gevolg hebben. Feodoroff (1958) constateert een verschil in afbraak bij verschillen in onderdompeling. Alhoewel dit waar kan zijn voor grove texturen, mag het effect worden verwaarloosd in de door ons onderzochte gronden, zoals blijkt uit tabel 28.

TABEL 28.

De invloed van de natte zeefwijze op de instabiliteit.

Grondsoort	Instabiliteit	
	Ruw zeven	Normaal zeven
Zandleem	0,40	0,36
Leem	0,78	0,71



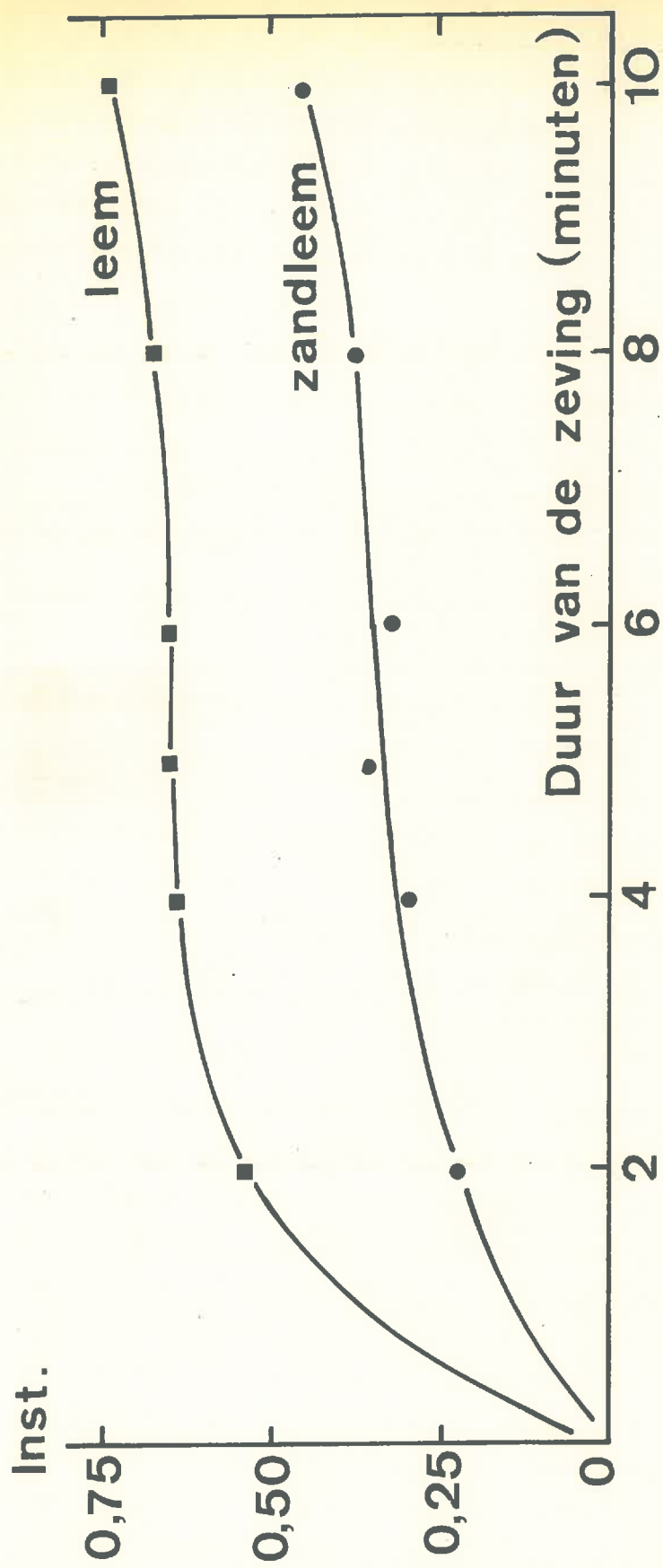


Fig 4. Invloed van de zepingsduur op de instabiliteit

## 2.2. Het gebruikte zeefwater.

Het zeven kan gebeuren in gedistilleerd water of in leidingwater. Zoals tabel 29 illustreert wordt in de onderzochte zandleem en leem geen verschil in stabiliteit opgemerkt onder invloed van de al of niet aanwezige Ca-ionen in het zeefwater. De opmerking die vroeger (1.5.5.) gemaakt werd omtrent het bevochtigen blijft ook hier geldig.

TABEL 29.

De instabiliteit in functie van het gebruikte zeefwater.

Grondsoort	Instabiliteit	
	Leidingwater	Gedistilleerd water
Zandleem	0,54	0,30
Leem	0,78	0,77

## 2.3. Duur van het zeven.

Volgens De Boodt (1957) is het aangewezen gedurende 5 minuten te zeven. Uit figuur 4, opgemaakt met de resultaten van eigen metingen, blijkt dat de grootste afbraak in de eerste minuten gebeurt en dat langer zeven slechts lichte veranderingen in de stabiliteit veroorzaakt. Afwijkingen van enkele seconden (rond de 5 minuten) spelen geen rol.

## 2.4. Invloed van de verschillende aggregaat-fracties.

Worden de verschillende fracties afzonderlijk gezeefd, dan stelt men vast dat de stabiliteit voor de verschillende fracties hier ongeveer gelijk is, zoals tabel 30 aantoont. De in deze tabel weergegeven resultaten stellen het percentage voor van de stabiele aggregaten per fractie.

Men stelt vast dat de fijnste fractie ( $< 0,5$  mm) de laagste stabiliteit heeft en dat de aggregaten groter dan 0,5 mm min of meer rond een gemiddelde waarde schommelen. De geringere waarden voor de fractie 0,3-0,5 mm kunnen te wijten zijn aan de modus operandi, nl. doordat de vallende druppels bij het bevochtigen een gedeelte van de kleinste aggregaten verkruimelen door luchtexplosie.

TABEL 30.

Stabiliteit van de verschillende aggregaatfracties uitgedrukt als procentische hoeveelheden van de onderscheiden fracties die op de overeenstemmende zeven blijven liggen.

Fractie	Stabiliteit uitgedrukt als procent van de droge fractie	
	Zandleem	Leem
4,8-8 mm	90,5 %	76,9 %
3-4,8 mm	85,9 %	78,3 %
2-3 mm	82,4 %	75,5 %
1-2 mm	88,6 %	71,7 %
0,5-1 mm	85,0 %	75,2 %
0,3-0,5 mm	74,0 %	68,6 %

Nochtans zijn de diepte en het tijdstip van monsternamen soms de oorzaak van een verschillende stabiliteit bij de onderscheiden fractie-grootten.

#### 2.5. De invloed van de hoeveelheid aggregaten per fractie.

De door ons toegepaste methode komt hierop neer dat men het verschil bepaalt tussen de droge en de natte aggregaatsverdeling van een bodem, m.a.w. men bepaalt het verschil (in mm) tussen 2 gemiddelde gewogen diameters van aggregaten. Theoretisch zou daarom de optimale werkwijze er in bestaan dat men van een te onderzoeken bodem eerst de spreiding (verdeling) van de droge aggregaten bepaalt (% aan droge fracties 8-4,8 ; 4,8-3 en 3-2 mm) om daarna de natte zieving uit te voeren. Ter vereenvoudiging van de methode en vooral om de berekening van de resultaten te vergemakkelijken werden constante hoeveelheden van droge aggregaten genomen, nl. 8-4,8 ; 4,8-3 en 3-2 mm. Deze genomen hoeveelheden per fractie zijn gebaseerd op een groot aantal droge zievingen op de leemgronden van Juprelle. Het is denkbaar dat er tussen beide werkwijzen een verschil bestaat. Ook dit werd getest. De resultaten vindt men in tabel 31.

TABEL 31.

De instabiliteit in functie van de hoeveelheid aggregaten per fractie.

Fractie-indeling			Instabiliteit	
4,8-8 mm	3-4,8 mm	2-3 mm	Zandleem	Leem
Hoeveelheid aggregaten per fractie				
40	32	28	0,36	0,61
(normale werkwijze)				
33,3	33,3	33,3	0,31	0,56
20	16	14	0,34	0,60
60	48	42	0,45	0,86
49	28	23	0,41	-
(werkelijke verhouding voor zandleem bij droog zeven)				
46	28	26	-	0,63
(werkelijke verhouding voor leem bij droog zeven)				

Uit deze resultaten blijkt dat de hoeveelheid aggregaten binnen bepaalde grenzen mag schommelen zonder dat dit een duidelijke invloed heeft op de stabiliteit. Bij grotere hoeveelheden voor de 3 fracties (bijv. 150 g in totaal) neemt de instabiliteit echter in geringe mate toe. Bij deze grote hoeveelheden aggregaten vallen er meer druppels op eenzelfde oppervlak, wat luchtexplosie en verbrokkelen van vochtige aggregaten tot gevolg kan hebben. Dit wordt bewezen door de geringere stijging van de instabiliteit door het gebruik van grotere schaaltes bij het bevochtigen. Het komt tevens overeen met fig. 3 waar een geringere stijging van de instabiliteit met stijgend vochtgehalte werd vastgesteld voor zandleem dan voor leem.

#### 2.6. Invloed van het verkruimelen en wijzigen van de verhouding der aggregaat-fracties bij het droog zeven.

Daar het verbrokkelen van de kruimels vóór het drogen en het droog zeven zelf met de hand gebeurt en dus onderhevig is aan een subjectieve factor, leek het nuttig na te gaan in welke mate afwijkende persoonlijke invloeden de stabiliteitsbepaling kunnen wijzigen.

In tabel 32 zijn, naast de oorspronkelijke gegevens bekomen volgens de gewone werkwijze, de resultaten vermeld voor 3 varianten van de persoonlijke invloed : nl. (1) de oorspronkelijke fractie van de grote aggregaten (tussen 4,8-8 mm) werd verkleind en opnieuw gespreid over de verschillende fracties vooraleer de analyse uit te voeren ; (2) een andere verhouding van de fracties der droge aggregaten werd bekomen door het totaal 2-8 mm in een mortier te verkleinen ; (3) een andere gewijzigde verhouding van de droge aggregaten werd bekomen door ze 5 maal langer droog te zeven dan normaal. Op te merken valt dat na wijziging van de oorspronkelijke verhouding, de analyse steeds uitgevoerd wordt met 40 g, 32 g en 28 g voor de 3 aggregaatfracties.

TABEL 32.

Invloed van het verkruimelen en wijzigen van de verhouding tussen de verschillende fracties droge aggregaten vóór het nat zeven.

Verschillen in uitgangsmateriaal			Instabiliteit	
			Zandleem	Leem
Oorspronkelijk			0,34	0,66
Alleen de grote aggregaten zijn verkleind (1)			0,24	0,59
Het totaal materiaal(2-8 mm) werd verkleind (2)			0,27	0,65
5x langer zeven (3)				
Fractie-indeling	Oorspronkelijke verhouding in %	Nieuwe verhouding in %		
4,8-8 mm	42,4*	36,2*		
3-4,8 mm	30,1	31,9		0,67
2-3 mm	27,5	30,9		
* De oorspronkelijke verhouding is veranderlijk voor ieder monster (vergelijk met tabel 31)..				

Door de grote aggregaten te verkleinen en te spreiden over de verschillende fracties wordt de stabiliteit weinig beïnvloed, alhoewel een lichte tendens waarneembaar is dat de instabiliteit afneemt. Dit is te verklaren door het feit dat door het verkruimelen van de grote aggregaten, de minst stabiele aggregaten volledig zullen verkleind zijn

(beneden 2 mm diameter) en dus bij de analyse uitgeschakeld worden. Wordt het verkleinen van de aggregaten uitgevoerd voor alle kruimels tussen 2-8 mm, dan is de stabiliteitswijziging nog geringer dan in voorgaande variante.

Door bij de indeling van de aggregaten in verschillende fracties langer te zeven dan normaal, verandert de oorspronkelijke verhouding van de onderscheiden fracties, zoals in de tabel wordt weergegeven. Nochtans schijnt dit langer zeven voor de onderzochte leemgrond geen verschil te geven in instabiliteit. Wij menen evenwel dat dit voor minder stabiele gronden wel een effect kan hebben en achten het daarom raadzaam steeds gedurende dezelfde periode droog te zeven.

### Conclusie.

Indien men niet te ver afwijkt van de gewone normen voor het verkruimelen en het droog zeven zal de stabiliteit weinig of niet variëren, althans voor min of meer stabiele gronden. Voor niet stabiele gronden zullen door het lang zeven slechts weinig stabiele aggregaten overblijven, die een volledig vals beeld zullen geven van de werkelijke stabiliteit van de beschouwde bodem. Daarom achten wij het raadzaam dat zowel het verkruimelen vóór het drogen als het droog zeven zelf door dezelfde persoon uitgevoerd worden en steeds op dezelfde wijze.

### 2.7. De temperatuur van het zeefwater.

Ook de temperatuur van het zeefwater kan een invloed hebben door de variatie van de viscositeit (Low, 1954). De viscositeit daalt snel met stijgende temperatuur, waardoor de snelheid van het capillair binnendringende water toeneemt. De resultaten van onze proeven betreffende de temperatuurinvloed van het zeefwater geeft tabel 33.

De temperatuurschommelingen van het gebruikte zeefwater in het laboratorium zijn zeer gering. Een merkbare invloed op de stabiliteitsbepalingen moet dus niet gevreesd worden, alhoewel bij temperaturen boven 30°C de instabiliteit sterk toeneemt. Het effect van een afname in viscositeit wordt versterkt doordat de ingesloten lucht zich bij de hogere temperatuur van het zeefwater uitzet, wat versterkte luchtexplosie geeft. Aggregaten geïncubeerd op kamertemperatuur geven een geringere stabiliteitswaarde met stijging van de temperatuur van het zeefwater dan aggregaten geïncubeerd bij een hogere temperatuur.

TABEL 33.

Invloed van de temperatuur van het zeefwater op de instabiliteit.

Grondsoort	Temperatuur van het zeefwater	Instabiliteit
Zandleem	12°C	0,25
	20°C	0,28
	35°C	0,60
	45°C	1,12
Leem	15°C	0,60
	20°C	0,64
	24°C	0,64
	29°C	0,66
	32°C	0,79
	38°C	0,88
	45°C	0,98

### 3. De berekening van de resultaten.

Voor de berekening van de stabiliteit kan men hoofdzakelijk twee soorten van werkwijzen onderscheiden, nl. :

- het vermelden van het procent stabiele aggregaten dat groter is dan een vooropgestelde diameter, en dit in functie van het onderzoekings-schema ;
- het berekenen van een gemiddelde diameter.

Voor zeer fijne of zeer grove texturen wordt bovendien soms rekening gehouden met :

- het vochtgehalte van de luchtdroge kruimels ;
- het kleigehalte ;
- de aanwezigheid van grof zand ;
- de aanwezigheid van grint of stenen.

Deze bijkomende gegevens kan men voor vele onderzoeken weglaten zonder grote fouten te maken, omdat men doorgaans met normale texturen te maken heeft, zoals in Laag- en Midden-België.

Door Schaller en Stockinger (1953) werden 5 verschillende berekeningswijzen kritisch onderzocht, nl. door de vergelijking van de resultaten bekomen met :

- (1) het procent stabiele aggregaten groter dan 2 mm,
- (2) het procent stabiele aggregaten groter dan 1 mm,
- (3) het procent stabiele aggregaten groter dan 0,25 mm,
- (4) het geometrisch gemiddelde (GG) van de stabiele aggregaten.  
GG = antilog  $\frac{\sum (n \log m)}{100}$ , waarin n = % aggregaten per fractie en  
m = middelpunt van iedere aggregaatfractie,
- (5) de gewogen gemiddelde diameter.

Bij deze werkwijze wordt een gecumuleerde frequentiecurve getekend door de opgetelde percentages uit te zetten tegenover de bovenste fractiegrenzen. De oppervlakte boven de curve wordt gemeten met een planimeter en geeft de gewogen gemiddelde diameter (Van Bavel, 1949).

De planimetriscche methode is in het laboratorium voor agrarische bodemkunde (Gent) reeds geruime tijd verlaten. Er worden steeds dezelfde hoeveelheden van de 3 droge fracties genomen, zodat ook de gewogen gemiddelde diameter van de droge fracties steeds dezelfde is, nl.  $\frac{6,4 \times 40 + 3,9 \times 32 + 2,5 \times 28}{100} = 4,51$  mm.

Na de natte zeving wordt de nieuwe gewogen gemiddelde diameter berekend. De instabiliteit wordt weergegeven door de waarde van de nieuwe diameter af te trekken van 4,51, m.a.w. door vast te stellen met hoeveel mm de gewogen gemiddelde diameter verkleind is onder invloed van het nat zeven. Hoe kleiner dit getal, hoe stabielier de aggregaten zijn.

De door Schaller en Stockinger uitgevoerde stabiliteitsanalyse is een toepassing van de Yoder-methode, waarbij gebruik wordt gemaakt van 25 g droge aggregaten kleiner dan 8 mm. Na het bevochtigen door bestuiving tot verzadiging wordt nat gezeefd op zeven met diameter van 2,0 ; 1,0 ; 0,5 ; 0,25 en 0,10 mm.

De resultaten worden dan volgens de 5 berekeningswijzen uitgedrukt en onderling vergeleken. Elke berekeningswijze is gecorreleerd met de 4 andere, zodat theoretisch ieder van de 5 berekeningswijzen in aanmerking kan komen. Nochtans ligt de variatiecoëfficiënt voor de waarde van het procent stabiele aggregaten, dat groter is dan 2 mm of 1 mm, hoger dan voor de gewogen gemiddelde diameter het geval is. Een confrontatie met rendementsgegevens werd niet uitgevoerd.

Ook De Boodt, De Leenheer en Kirkham (1961) confronteerden de resultaten van 6 berekeningswijzen, zowel onderling als door berekening van de correlatie met de teeltproductie. Bij de confrontatie met rendementsgegevens



werd gevonden dat zowel het verschil in de gewogen gemiddelde diameter voor droog en nat zeven als de gewogen gemiddelde diameter na nat zeven alleen een goede correlatie geeft ( $r = 0,7$  à  $0,8$  ;  $P = 0,001$ ) met de tarwe-productie, voor zover de fijnste aggregaat-fractie ( $< 2$  mm) niet in de berekening betrokken wordt. Doet men dit wel dan wordt de correlatie onbetrouwbaar ( $r = 0,1$  à  $0,4$ ).

Na deze beschouwingen volgt de door ons zelf uitgevoerde confrontatie van verscheidene berekeningswijzen.

De confrontatie werd doorgevoerd met het materiaal van de 4 eerste monsternamen van de "variatioproef"\* in 1970. In totaal gaat het over 32 monsters. Hierbij worden de correlaties berekend tussen de instabiliteitsfactor (afgeleid uit de gewogen gemiddelde diameter) en de hoeveelheid van de verschillende fracties in %, eventueel worden de verschillende fracties gecumuleerd en wordt eveneens het verband tussen de instabiliteitsfactor en de geometrisch gemiddelde diameter nagegaan. De resultaten vindt men in tabel 34.

Voor alle berekeningswijzen worden hoog significante correlaties gevonden met de instabiliteit. Daar het de instabiliteit is die uitgedrukt wordt, bekomen we negatieve correlatiecoëfficiënten (overeenkomstig met negatieve regressiecoëfficiënten) voor de grote aggregaten tot 2 mm, evenals voor de gecumuleerde waarden.

Voor de afzonderlijke fracties kleiner dan 2 mm, die dus feitelijk afbraakmateriaal voorstellen, moeten we dus onvermijdelijk een positieve correlatiecoëfficiënt vinden. Ook met de geometrisch gemiddelde diameter worden hoog significante waarden gevonden. Nochtans krijgen we niet dezelfde resultaten, maar steeds kleinere absolute waarden voor de geometrisch gemiddelde diameter dan voor de gewogen gemiddelde diameter. Het is het gevolg van het feit dat men voor de gewogen gemiddelde diameter meer gewicht hecht aan de grote aggregaten (zie ook Gardner, 1956).

De verschillen in correlatiecoëfficiënt tussen de 2 velden en tussen de verschillende berekeningswijzen variëren weinig. De hoogste correlaties vinden we wanneer het % stabiele aggregaten groter dan 2 mm vergeleken wordt met de instabiliteit, terwijl de laagste correlatie gevonden wordt met het % stabiele aggregaten groter dan 0,3 mm. Dit komt overeen met

---

\* "variatioproef" : studie van de variatie van de kruimelstabiliteit tijdens de vegetatieperiode (halfmaandelijke monsternamen).

TABEL 34.

De correlatiecoëfficiënten tussen de instabiliteitswaarden en de hoeveelheid van de verschillende fracties in % (respectievelijk de geometrisch gemiddelde diameter).

Onderscheiden fracties	Correlatiecoëfficiënten		
	veld Tongeren	veld Bierset	som van de 2 velden
Aantal monsters	16	16	32
Aggregaten > 4,8 mm	-0,977	-0,990	-0,985
4,8 > aggregaten > 3 mm	-0,965	-0,974	-0,968
aggregaten > 3 mm	-0,997	-0,997	-0,996
3 > aggregaten > 2 mm	-0,802	-0,936	-0,887
aggregaten > 2 mm	-0,988	-0,996	-0,993
2 mm > aggregaten > 1 mm	+0,950	+0,965	+0,947
aggregaten > 1 mm	-0,979	-0,990	-0,985
1 mm > aggregaten > 0,5 mm	+0,972	+0,985	+0,968
aggregaten > 0,5 mm	-0,973	-0,960	-0,947
0,5 mm > aggregaten > 0,3 mm	+0,925	+0,935	+0,932
aggregaten > 0,3 mm	-0,967	-0,924	-0,908
0,3 mm > aggregaten > 0 mm	+0,967	+0,924	+0,909
geometrisch gemiddelde diameter	-0,987	-0,959	-0,961

wat in de twee voornoemde publicaties wordt vermeld.

Alle door ons gevonden correlatiecoëfficiënten zijn groter dan deze in de studie van Schaller en Stockinger (1953). Deze betere waarden zijn waarschijnlijk te wijten aan het vooraf zeven van de droge grond binnen bepaalde fractiegrenzen, zoals eveneens aanbevolen wordt door Bryant, Bendixen en Slater (1948).

Het verband tussen de geometrisch gemiddelde diameter en de verschillende fracties, afzonderlijke of gecumuleerd, werd ook berekend. Een bespreking van de resultaten wordt overbodig geacht; vermelden we alleen de conclusie dat ook hier hoog significante correlatie-coëfficiënten gevonden werden (alhoewel ze over het algemeen iets lager lagen dan de voorgaande).

Uit al deze resultaten blijkt dat één enkele aggregaatfractie zou kunnen volstaan om de stabiliteit uit te drukken, wat eveneens vermeld wordt door Bryan (1971). Er speelt hier nochtans een tweede factor, nl. de nauwkeu-

righeid waarmede de instabiliteitswaarde bepaald wordt.

Om dit na te gaan werden voor de 32 voornoemde monsters telkens 4 herhalingen uitgevoerd. Zowel voor de instabiliteitswaarde als voor het % stabiele aggregaten van de verschillende fracties en de geometrisch gemiddelde diameter werden voor de 32 monsters de algemene gemiddelden en de variatie-coëfficiënten bepaald, zoals in tabel 35 vermeld.

TABEL 35.

Het algemeen gemiddelde en de gemiddelde variatiecoëfficiënt voor de verschillende berekeningswijzen.

Berekeningswijze	Velden					
	Tongeren		Bierset		Gemiddelde voor de 2 velden	
	Gemiddelde waarde	Variatie-coëfficiënt in %	Gemiddelde waarde	Variatie-coëfficiënt in %	Gemiddelde waarde	Variatie-coëfficiënt in %
Instabiliteitswaarde	1,35	5,1	1,28	6,1	1,31	5,6
Aggregaten > 4,8 mm	23,21	5,4	23,87	5,3	23,54	5,4
4,8 > aggregaten > 3 mm	19,78	6,2	20,11	7,5	19,94	6,8
aggregaten > 3 mm	42,99	4,0	43,98	4,4	43,48	4,2
3 > aggregaten > 2 mm	20,21	3,8	20,61	5,9	20,41	4,8
aggregaten > 2 mm	63,20	3,2	64,59	4,0	63,89	3,6
2 mm > aggregaten > 1 mm	15,59	7,9	15,79	9,9	15,69	8,9
aggregaten > 1 mm	78,79	1,5	80,38	1,5	79,58	1,5
1 mm > aggregaten > 0,5 mm	7,80	12,9	7,94	13,9	7,87	13,4
aggregaten > 0,5 mm	86,59	0,9	88,32	1,0	87,45	1,0
0,5 mm > aggregaten > 0,3 mm	3,36	19,5	3,08	22,5	3,22	21,0
aggregaten > 0,3 mm	89,95	0,6	91,40	0,5	90,67	0,5
0,3 > aggregaten > 0 mm	10,05	5,5	8,60	5,6	9,33	5,5
geometr. gemidd. diameter	2,23	3,8	2,22	4,0	2,22	3,9

Vooreerst moeten we hierbij doen opmerken dat de instabiliteitswaarde rechtstreeks afgeleid is uit de gewogen gemiddelde diameter, door deze af te trekken van 4,51. Als algemeen gemiddelde voor de instabiliteit vinden we 1,31, wat dus overeenstemt met een gewogen gemiddelde natte aggregaatsdiameter van  $4,51 - 1,31 = 3,20$ .

De variatiecoëfficiënt  $= \frac{s}{\bar{x}} \times 100$ , waarin  $s$  de standaardafwijking en  $\bar{x}$  het gemiddelde is. De waarde  $s$  is dezelfde voor de gewogen gemiddelde natte aggregaatdiameter als voor de instabiliteitswaarde ; de waarde  $\bar{x}$  voor de instabiliteitswaarde is 1,31 en voor de gewogen gemiddelde diameter 3,20. Dit betekent dat de variatiecoëfficiënt voor de gewogen gemiddelde natte aggregaatdiameter  $\frac{3,20}{1,31} \approx 2,4$  maal kleiner is of ongeveer 2,3 % zal bedragen. Deze waarde valt gunstiger uit dan voor de bepaling van de geometrisch gemiddelde diameter en voor het grootste gedeelte waar gerekend wordt met % stabiele aggregaten.

Wat betreft de confrontatie met rendementgegevens : deze dient te worden doorgevoerd voor meerdere teelten en over verscheidene jaren. Dit wordt in een ander hoofdstuk behandeld.

#### Conclusie.

De berekening van de gewogen gemiddelde natte aggregaatdiameter of van de instabiliteitswaarde verstrekt een gunstige basis om de stabiliteit van aggregaten te vergelijken.

#### 4. Aantal herhalingen.

Om het nodige aantal herhalingen te bepalen moet men rekening houden met de nauwkeurigheid van de bepalingen, evenals met de betrouwbaarheid waarmee men een verschil wil aantonen.

De nauwkeurigheid staat o.a. in verband met :

- de variantie
- de standaardafwijking
- de variatiecoëfficiënt

Dit zijn geen konstante waarden ; wel is men in staat een gemiddeld cijfer te geven waarrond die indexen schommelen.

Bij de vergelijking van de stabiliteit op verschillende plaatsen van eenzelfde verzorgingsobject van een proefveld werden een aantal van deze indexen bepaald. Zo werd gevonden :

- variantie : 0,0072
- standaardafwijking :  $\pm 0,08$
- variatiecoëfficiënt :  $\pm 5,2 \%$

Deze waarden mogen als een betrouwbaar gemiddelde beschouwd worden (te vergelijken met andere waarden, hiervoor vermeld).

Voor de verdere onderzoeken nemen we aan dat de berekende gemiddelde standaardafwijking overeenstemt met de standaardafwijking van de beschouwde populaties en met de steekproeven uit deze laatste.

Om nu verschillen tussen bepaalde monsters te kunnen aantonen zijn een aantal formules voorhanden, waaruit men het nodige aantal herhalingen kan afleiden dat nodig is om een vooropgesteld significant verschil aan te tonen of omgekeerd.

4.1. Om 2 gemiddelden te vergelijken kan men gebruik maken van de t-test.

4.1.1. Wil men nagaan hoeveel  $\bar{x}$  van een steekproef mag verschillen om nog tot het universum met gemiddelde  $\mu$  te behoren met een bepaalde betrouwbaarheid, maakt men gebruik van de formule :

$$\frac{t_1 - \frac{\alpha}{2} ; N-1 \times s}{\sqrt{N}} = \bar{x} - \mu$$

Vermits in ons onderzoek normalerwijze 4 herhalingen worden gebruikt, volgt hieruit dat het verschil tussen het steekproefgemiddelde en het universumgemiddelde, voor een betrouwbaarheid van 95 %, hoogstens volgende waarde mag bereiken :

$$\frac{3,18 \times 0,08}{2} \approx 0,13.$$

4.1.2. Wil men 2 waargenomen gemiddelden vergelijken dan is volgende formule geschikt :

$$\sigma^2 (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = \frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}$$

Stel nu  $\frac{\sigma_1^2}{1} = \frac{\sigma_2^2}{2} = 0,0072$

Nemen we terug  $N_1 = N_2 = 4$

De 2 gemiddelden zijn significant verschillend voor 95 % van zodra het verschil groter is dan

$$\begin{aligned}
 t_1 = \frac{0,05}{2} ; N_1 + N_2 - 2 & \times \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}} = 2,45 \times \sqrt{\frac{0,0072}{4} + \frac{0,0072}{4}} \\
 & = 2,45 \times \sqrt{\frac{0,0072}{2}} \\
 & = 2,45 \times 0,060 \\
 & \approx 0,15
 \end{aligned}$$

Om het aantal herhalingen te bepalen moet men omgekeerd te werk gaan en het significant aan te duiden verschil vooropstellen. Door gebruik te maken van dezelfde formule kan dan ook het aantal herhalingen bepaald worden.

De t-toets is enkel uit te voeren wanneer men slechts 2 gemiddelden vergelijkt. Daarbij komt nog dat de fout van de 2e orde 50 % bedraagt. Om deze fout te verkleinen zijn door bepaalde statistici formules uitgewerkt die ons van dienst kunnen zijn.

#### 4.2. Volgens Snedecor (1959).

$$\delta = \frac{(Q_{a,f}) s_0 \sqrt{F_{f, f_0}}}{\sqrt{n}}$$

$\delta$  = het te detecteren verschil

$Q_{a,f}$  = tabellarische waarde met a behandelingen en f vrijheidsgraden

$s_0$  = schatting van  $\sigma$

$F_{f, f_0}$  = tabellarische waarde met  $f_1 = f$  en  $f_2 = f_0$  in de lijn  $P = (1 - \text{waarschijnlijkheid})$

Nemen we vooreerst hetzelfde voorbeeld, nl. de vergelijking van 2 gemiddelden, afkomstig van elk 4 herhalingen met de fout van 2e orde = 50 %.

$$\delta = \frac{(Q_{2,6}) s_0 \sqrt{F_{6,144}}}{\sqrt{4}}$$

$$\delta = \frac{3,46 \times 0,08 \times \sqrt{0,896}}{2} \approx 0,13.$$

Willen we de fout van 2e orde op 0,25 brengen dan vinden we

$$\frac{3,46 \times 0,08 \times \sqrt{1,33}}{2} \approx 0,16$$

Ook hier kunnen we omgekeerd te werk gaan en uitgaande van een vooropgesteld te detecteren verschil het nodige aantal herhalingen bepalen.

#### 4.3. Volgens Li (1965).

Volgens deze auteur kunnen de nodige herhalingen bepaald worden bij het testen van de hypothese dat 2 populatie-gemiddelden gelijk zijn, met de formule :

$$\frac{\delta}{\sqrt{2 s_1^2}}$$

waarin  $\delta$  = het te detecteren verschil

$s_1^2$  = variantie

Nemen we als waarschijnlijkheid  $P = 0,80$  en als nauwkeurigheid = 90 % dan bekommen we voor  $\delta = 0,15$

$$s_1^2 = 0,0072$$

$$\frac{\delta}{\sqrt{2 s_1^2}} = \frac{0,15}{\sqrt{0,0144}} \approx 1,25$$

Het aantal vrijheidsgraden waarmee  $s_1^2$  bepaald is noemt  $V_1 = 144$   
In een tabel vinden we dan voor  $V_2 = 5$ .

Het nodige aantal herhalingen wordt dan gegeven door :

$$\frac{1}{2} (\sqrt{V_2} + 3) = \frac{1}{2} (5 + 3) = 4$$

Deze methode (met soms een aanpassing) kan ook gebruikt worden om meer dan 2 gemiddelden onderling te vergelijken of om het aantal herhalingen te bepalen dat nodig is om een vooropgesteld verschil te detecteren.

#### 4.4. Ook Cochran en Cox (1950) hebben een formule op punt gezet.

Zoals uit het voorbeeld zal blijken worden te hoge waarden verkregen bij de vergelijking van slechts 2 gemiddelden. Worden meer gemiddelden vergeleken dan geeft de formule ongeveer dezelfde

resultaten als de reeds behandelde.

De formule luidt :

$$r \geq 2 \left( \frac{\delta}{\sigma} \right)^2 (t_1 + t_2)^2$$

waarin :

$r$  = aantal herhalingen in een experiment met verschillende objecten. Het aantal vrijheidsgraden voor de fout, wanneer bijvoorbeeld 3 gemiddelden vergeleken worden, is  $2(r - 1)$ .

$\delta$  = standaardafwijking (hier uitgedrukt als % t.o.v. het gemiddelde)  
 = het % verschil dat men wenst te detecteren

$t_1$  = waarde in "t-tabel", die de betrouwbaarheidsgrens aangeeft waarmee men het besluit uit de proefneming wenst te trekken.

$t_2$  = waarde die afgelezen wordt bij een betrouwbaarheidsniveau  $2 \times (1 - \text{waarschijnlijkheidsniveau})$  voor eenzelfde aantal vrijheidsgraden als  $t_1$

Nemen we terug hetzelfde voorbeeld als hierboven waarin  $r = 4$  en  $\sigma = 5,2 \%$

$t_1$  in tabel bij 0,10 met 3 vrijheidsgraden = 2,35

$t_2$  in tabel bij 0,80 =  $2(1 - 0,80) = 0,40$  geeft 0,98

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{r}} \sigma (t_1 + t_2)$$

$$= \sqrt{\frac{2}{4}} \cdot 5,2 (2,35 + 0,98) \approx 12 \%$$

Het algemeen gemiddelde = 1,55

Het te detecteren verschil is dan  $\approx \frac{1,55 \times 12}{100} \approx 0,19$ , wat dus in vergelijking met de berekeningswijze volgens Li hoger is.

### Conclusie.

Rekening houdend met de variabiliteit in gronden moeten we ons tevreden stellen met verschillen vanaf 15 à 20 % t.o.v. het gemiddelde.

Uit onze berekeningen blijkt dat met 4 herhalingen verschillen van ongeveer 10 % met een betrouwbaarheid van 95 % kunnen aangetoond worden.

Wil men de fout van 2e orde verkleinen, dan zullen met 4 herhalingen nog verschillen van  $\pm 15 \%$  kunnen aangetoond worden.

We menen dan ook dat 4 herhalingen een minimum is, doch dat dit aantal kan volstaan om de gewenste significante verschillen voor het grootste



gedeelte van ons onderzoek te kunnen aantonen.

Anderzijds moet worden gezegd dat om praktische redenen (budgetaire redenen vooral : tijdsindeling en personeel voor serie-analysen) 4 herhalingen het maximum is dat kan worden gerealiseerd. Daarom was het van belang te weten welke betrouwbaarheid met dit praktisch realiseerbare kan worden bereikt.

### HOOFDSTUK III.

#### AGGREGAATSTABILITEIT ALS INFORMATIE BIJ AGRARISCH BODEMONDERZOEK.

Nadat de methode op een zo gedetailleerd mogelijke wijze werd getest en dat men weet hoe met de mogelijke foutenbronnen kan rekening gehouden worden, worden een aantal problemen en resultaten besproken die voor de interpretatie van de gegevens van het stabiliteitsonderzoek van belang zijn.

De onderzochte problemen hebben betrekking op:

- de invloed van het bodemprofiel en het bodemgebruik ;
- de variatie in de tijd in functie van weersinvloeden (variatieproeven);
- de invloed van verschillende texturen ;
- de stabiliteitsbeoordeling van proefvelden (de structuurproefvelden te Juprelle en Alleur).

#### 1. De invloed van het bodemprofiel en het bodemgebruik.

Er werden 10 bodemprofielen beschreven en bemonsterd te Juprelle en Alleur, ter karakterisatie van de leemgronden waarop de studie van de bodemstructuur voor het grootste gedeelte wordt uitgevoerd. In ieder profiel werden monsters genomen op 10, 30, 50, 80, 110, 140 en 175 cm diepte.

Op de monsters van deze verschillende diepten (horizonten) werden de gewone bepalingen uitgevoerd van textuur, pH, humusgehalte en carboonaat-reserve, evenals enkele structuurbepalingen, nl. totale porositeit en pF-curve (poriënverdeling), waterpermeabiliteit en aggregaatstabiliteit. Wat de structuur betreft wordt in dit hoofdstuk uitsluitend gehandeld over de aggregaatstabiliteit.

Zonder al de resultaten te geven van de andere bepalingen, moeten we er vooraf toch enkele vermelden die een invloed kunnen hebben op de aggregaatstabiliteit. Het betreft vooral verschillen in bodembestanddelen :

- het verschil in textuur in functie van het reliëf (toposequentie) komt duidelijk tot uiting door het verschil in kleigehalte (tabel 37).
- in ieder profiel daalt het humusgehalte over het algemeen met de diepte, zoals tabel 36 illustreert. Het optreden van een overdekt profiel met een begraven Ap- of B-horizont (met een iets hoger humusgehalte) is zeldzaam.

- Het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte is begrepen tussen 0 en 3 % en de zuurtegraad ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) schommelt tussen 7 en 8.

In tabel 36 wordt de variatie van de instabiliteit van de aggregaten en van het humusgehalte in functie van de diepte in de onderzochte leemprofielen gegeven.

TABEL 36.

Variatie van de instabiliteit van de aggregaten en van het humusgehalte in functie van de diepte in leemprofielen (Juprelle en Alleur; Haspengouw).

Plaats (naam v. Proefveld)	Diepte							
	10 cm	30 cm	50 cm	80 cm	110cm	140cm	175cm	
Meteo-station	Instabiliteit	0,03	0,15	1,38	2,14	3,06	3,57	3,48
	Humusgehalte	5,72	2,04	0,92	0,48	0,32	0,24	0,28
Weide	Instabiliteit	0,03	1,00	1,73	2,38	2,61	3,39	3,61
	Humusgehalte	4,32	1,28	0,72	0,36	0,36	0,20	0,24
Tongeren, plateau noord.	Instabiliteit	0,54	0,80	1,33	2,45	2,86	2,97	3,25
	Humusgehalte	2,04	1,96	0,72	0,40	0,36	0,28	0,36
Tongeren, plateau zuid.	Instabiliteit	0,44	0,60	1,58	2,30	2,34	3,21	3,86
	Humusgehalte	2,00	2,08	0,64	0,48	0,44	0,44	0,36
Tongeren, depressie noord.	Instabiliteit	0,81	0,65	1,52	2,13	2,36	3,00	3,04
	Humusgehalte	1,92	2,04	0,92	0,64	0,64	0,44	0,48
Tongeren, depressie zuid.	Instabiliteit	0,73	0,85	1,55	1,66	1,59	1,42	1,95
	Humusgehalte	2,40	2,28	1,12	0,80	0,72	0,72	0,52
Bierset, plateau noord.	Instabiliteit	0,78	0,76	1,53	2,37	3,00	3,60	3,29
	Humusgehalte	2,16	2,28	0,96	0,48	0,48	0,32	0,32
Bierset, plateau zuid.	Instabiliteit	0,54	0,90	1,64	2,18	3,04	3,36	3,82
	Humusgehalte	2,16	1,52	0,56	0,40	0,24	0,24	0,20
Bierset, depressie noord.	Instabiliteit	0,77	0,75	1,44	1,33	1,71	2,44	3,04
	Humusgehalte	2,24	1,84	0,92	0,76	0,68	0,60	0,48
Bierset, depressie zuid.	Instabiliteit	0,43	1,14	1,48	2,29	2,60	1,82	3,05
	Humusgehalte	2,28	1,52	0,88	0,56	0,40	0,60	0,92

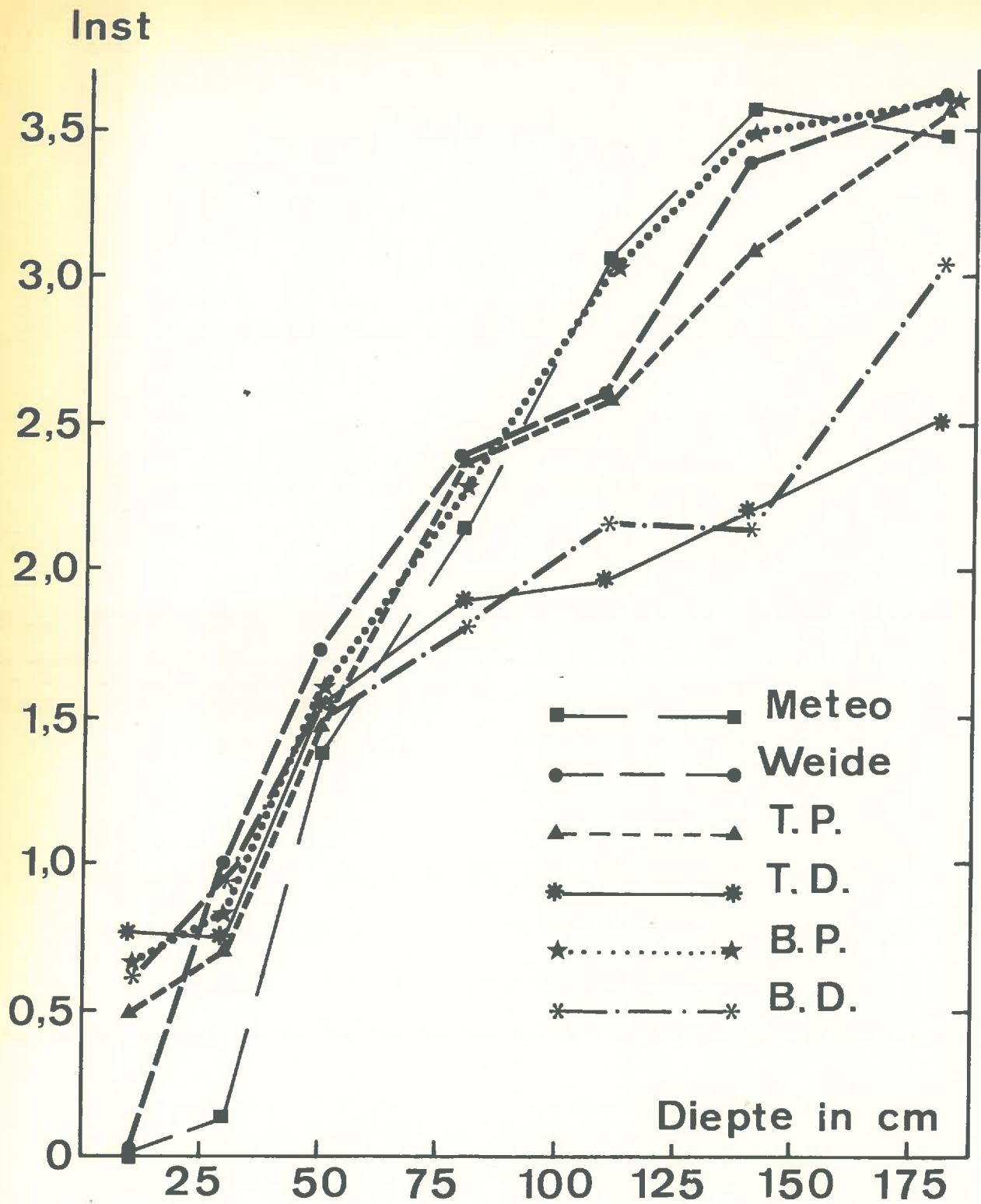


Fig. 5. De instabiliteit van de verschillende profielmonsters in functie van de be-  
monsteringsdiepte

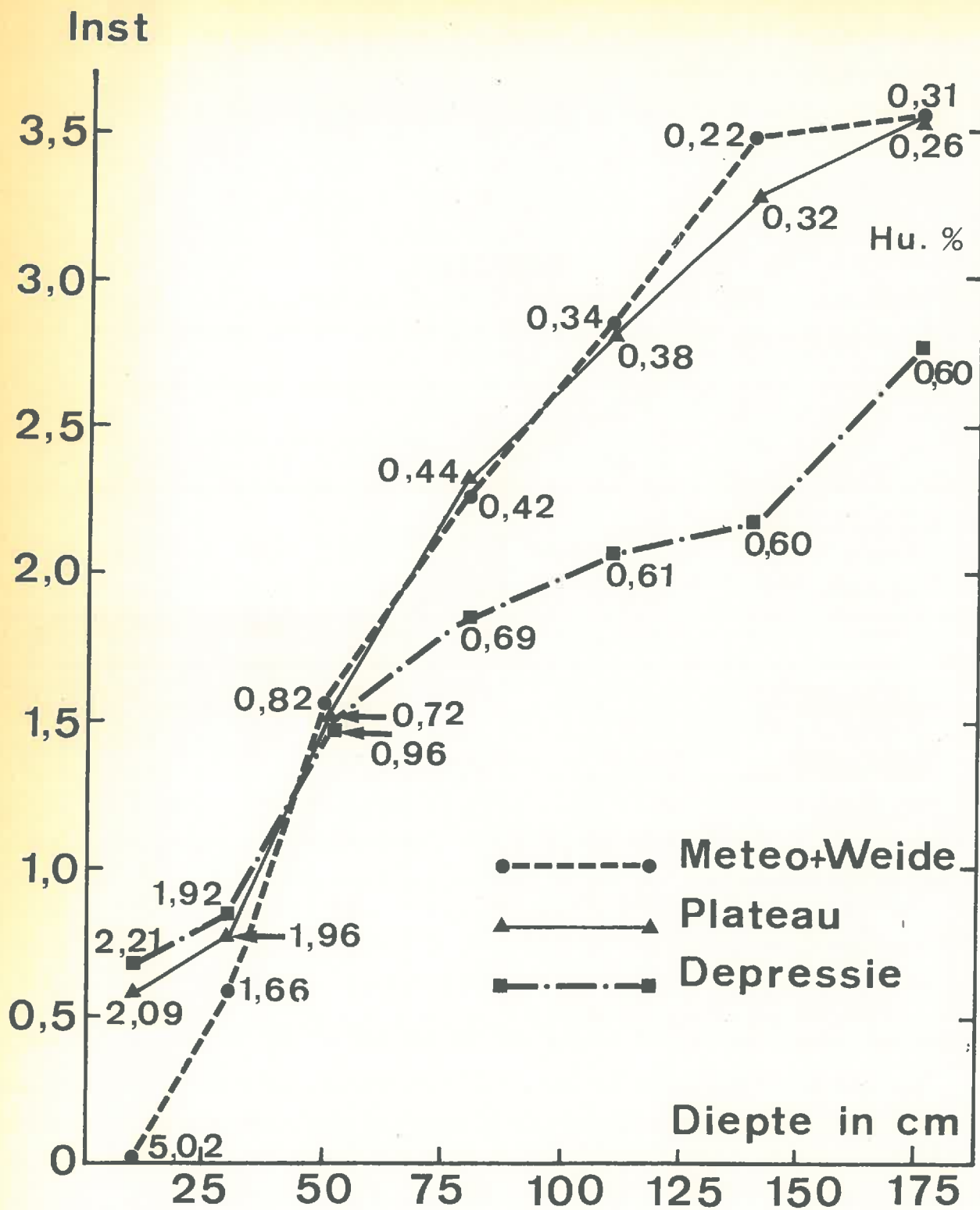


Fig.6. De gemiddelde instabiliteit en het gemiddeld humus-gehalte per diepte voor drie groepen van bodems

Deze gegevens vindt men als gemiddelde gegevens terug in tabel 37, nl. de gemiddelde instabiliteit, humusgehalte en kleigehalte per diepte voor drie groepen van bodems, nl.

- a) bodems onder blijvende grasmat (weide en meteo-station);
- b) plateau-bodems;
- c) depressie-bodems.

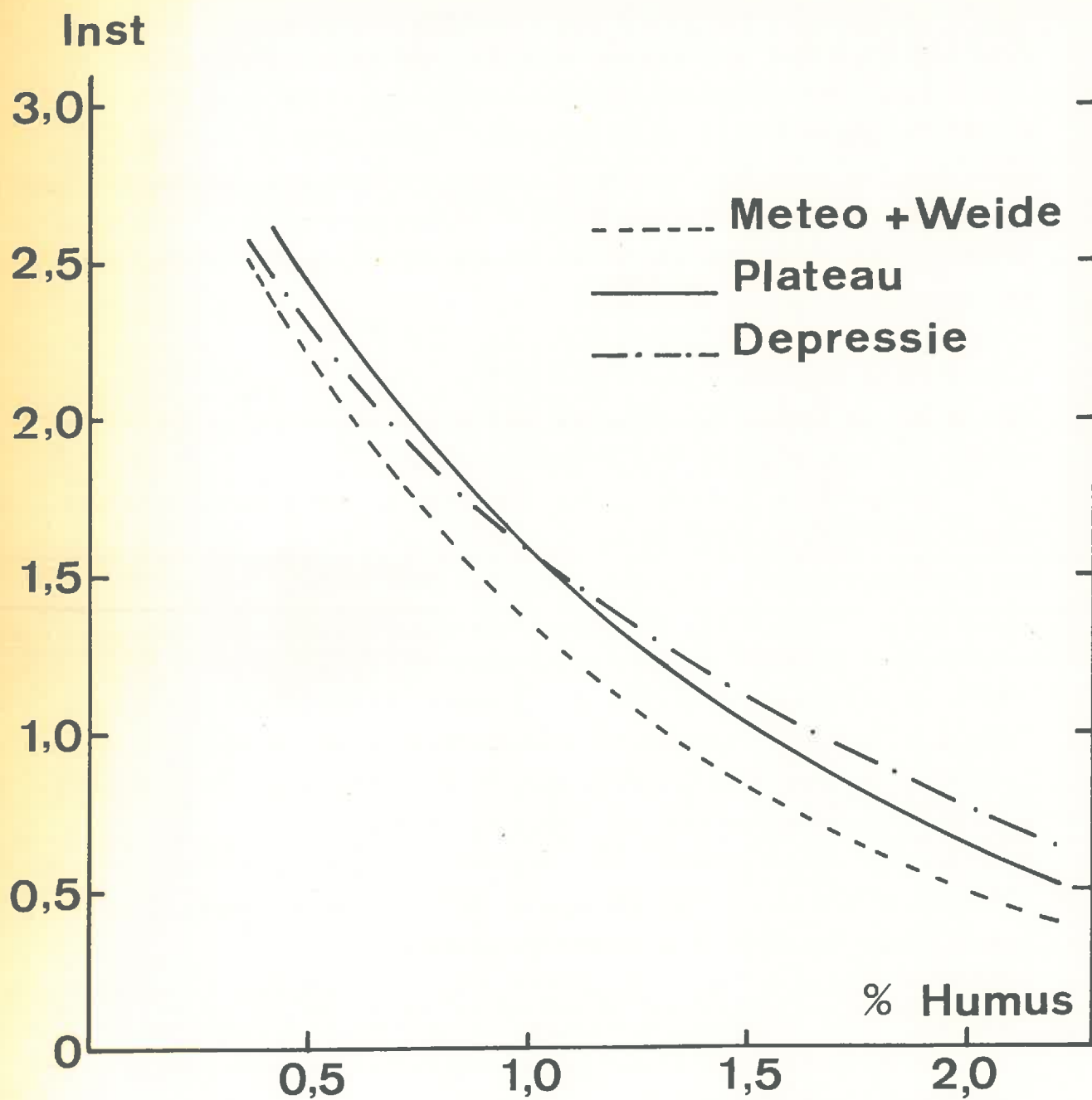
TABEL 37.

Gemiddelde instabiliteit, humusgehalte en kleigehalte per diepte voor drie bodemgroepen (leemstreek).

	Diepte						
	10 cm	30 cm	50 cm	80 cm	110 cm	140 cm	175 cm
<u>Weide en meteo</u>							
Instabiliteit	0,03	0,58	1,56	2,26	2,84	3,48	3,54
Humusgehalte	5,02	1,66	0,82	0,42	0,34	0,22	0,26
Kleigehalte	20,7	23,8	25,2	22,5	19,6	18,8	21,6
<u>Plateau-bodems</u>							
Instabiliteit	0,58	0,76	1,52	2,32	2,81	3,28	3,56
Humusgehalte	2,09	1,96	0,72	0,44	0,38	0,32	0,31
Kleigehalte	17,8	18,3	23,6	21,9	20,3	17,6	18,7
<u>Depressie-bodems</u>							
Instabiliteit	0,68	0,85	1,50	1,85	2,06	2,17	2,77
Humusgehalte	2,21	1,92	0,96	0,69	0,61	0,59	0,60
Kleigehalte	12,5	13,3	13,5	14,0	16,0	17,2	19,4

Ter illustratie wordt in fig. 5 de instabiliteit van de verschillende profielmonsters in functie van de bemonsteringsdiepte aangetoond, terwijl in fig. 6 de variatie gegeven wordt van de gemiddelde instabiliteit in functie van de diepte voor de 3 groepen van tabel 37.

Uit deze tabellen en grafieken blijkt duidelijk dat de instabiliteit zeer sterk toeneemt met de diepte. De textuurvariëaties voor de 3 afzonderlijke groepen van tabel 37 en fig. 6 zijn betrekkelijk gering in tegenstelling met de humusvariëaties, waaruit volgt dat het humusgehalte waarschijnlijk de grootste invloed heeft op de stabiliteit. Nochtans



**Fig.7. Het verband tussen het humusgehalte en de instabiliteit voor drie groepen van bodems**

schijnen ook andere factoren een rol te spelen, vermits nog een uitgesproken afname in instabiliteit wordt genoteerd voor ongeveer gelijke humusgehalten tussen 110 cm en 175 cm diepte. Dit kan zijn oorzaak vinden in de humusvorm (Dell'Agnoia en Ferrari, 1971), waarbij de werking als "stabilisator" van de structuur varieert met de humuskwaliteit.

De invloed van de grasmat (bodemgebruik) enerzijds en deze van het reliëf (geërodeerd plateau of colluvium) anderzijds op de instabiliteit wordt behalve door fig. 6, ook geïllustreerd door fig. 7, die het verband aangeeft tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de 3 onderscheiden bodemgroepen. Dit verband wordt gegeven door de 3 vergelijkingen :

- voor de bodems onder gras :  $Y = 3,56 \times 2,66^{-X}$

- voor de plateau-bodem :  $Y = 3,80 \times 2,41^{-X}$

- voor het colluvium :  $Y = 3,28 \times 2,06^{-X}$

waarin X = humusgehalte en Y = instabiliteit.

Een exponentiële aanpassing van deze vorm is aangewezen, daar bij hoge humusgehalten de instabiliteit naar 0 streeft, terwijl bij het ontbreken van organisch materiaal de instabiliteit moet naderen tot 4,51.

Uit tabel 37 kan tenslotte nog het volgende worden afgeleid :

- Op geringe diepte (op 10 cm en in mindere mate op 30 cm) vindt men een uiterst lage instabiliteit onder grasmat (meteo-station en weide). Het humusgehalte en de wortelontwikkeling op deze diepte zullen daar niet vreemd aan zijn (Bui Huu Tri, 1968, 1969 ; Marty en Fioramonti, 1970 ; Jacquard, Monnier en Croisier, 1970).
- De geringe verschillen in instabiliteit bij diepten van 10 cm en 30 cm tussen de bodems van het plateau en deze van de depressie zijn waarschijnlijk te wijten aan textuurverschillen.
- Op grotere diepten (vanaf 80 cm) vertonen de bodems in de depressie de kleinste instabiliteit, wat waarschijnlijk verband houdt met de genese van het materiaal (inclusief het doorgaans hoger humusgehalte in het colluviaal materiaal).



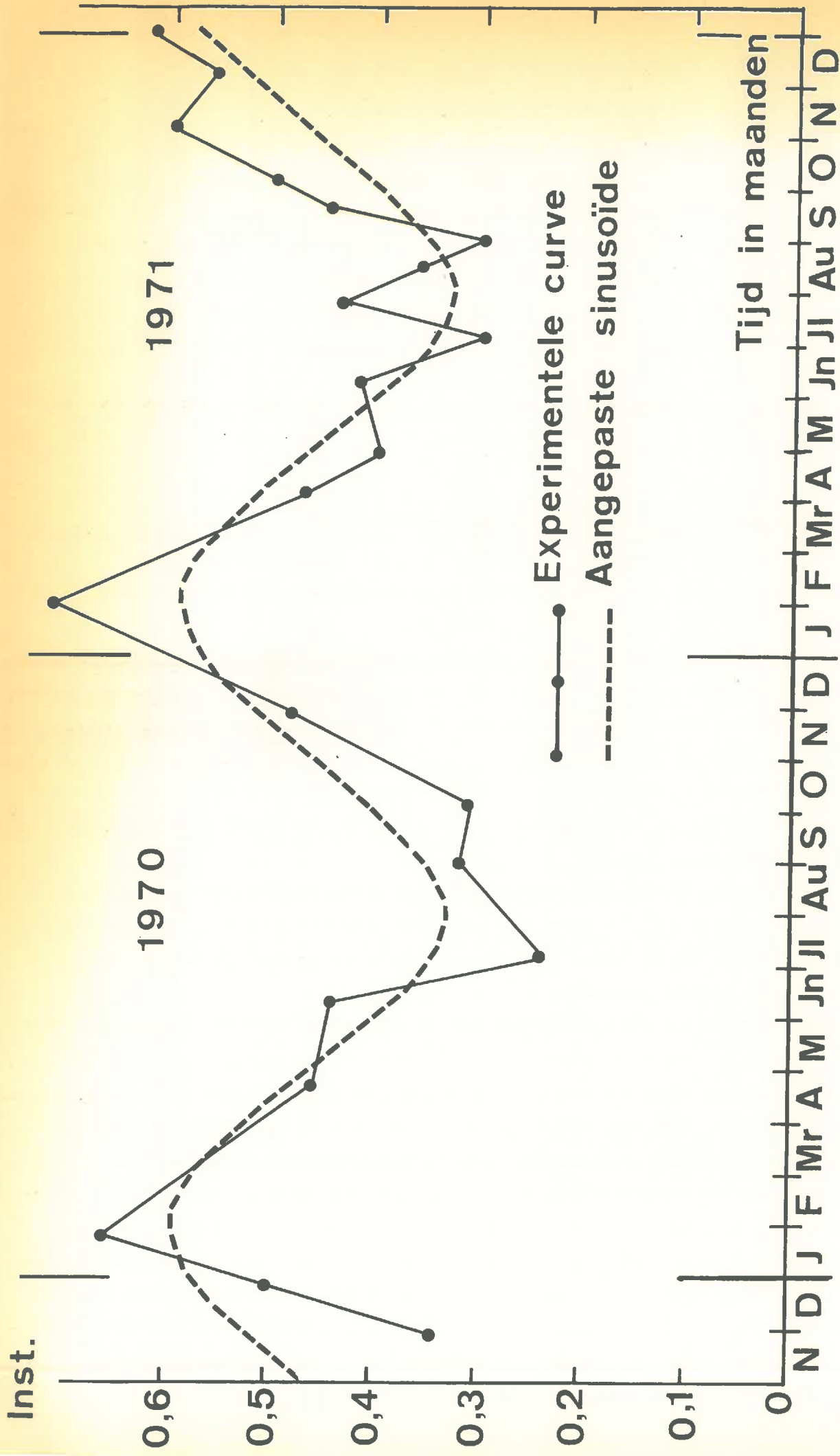


Fig. 8. De instabiliteit van een zandleemgrond in functie van de tijd

## 2. De variatie met de tijd en de weersinvloeden.

Reeds door Alderfer (1946) werd een variatie van de stabiliteit in functie van de tijd (weersinvloeden) vastgesteld; ook andere auteurs (Monnier, 1965 ; Sábillothe, 1968 ; e.a.) wezen op dit feit. De oorzaken van deze wijziging in stabiliteit zijn evenwel nog niet tenvolle achterhaald. Wel werd soms een verband gevonden met het vochtgehalte of met de neerslag, enz., ofwel werd de variatie toegeschreven aan de evolutie van het organisch materiaal in de tijd, welke afhankelijk is van weersinvloeden.

De variatie in de tijd werd door ons nagegaan, zowel op de zandleemgrond als op de leemgrond.

### 2.1. Structuurvariatie met de tijd in zandleem.

In tabel 38 en figuur 8 worden deze resultaten vermeld. Hieruit blijkt dat in de zomer de beste stabiliteit (geringste instabiliteit) wordt waargenomen en in de winter de slechtste.

Voor deze bodem (waarin het effect van de bemesting niet tot uiting is gekomen, zie verder) mag de seizoenvariatie door een sinusoïde weergegeven worden. De sinusoïde voldoet aan de vergelijking  $Y = 0,13 \sin \alpha + 0,46$  met  $\alpha = 0^\circ$  bij 1 november. Voor deze curve bedraagt de correlatiecoëfficiënt  $r = 0,76^{**}$ , wat zeer bevredigend is. We vinden de slechtste stabiliteiten tussen januari en maart en de beste stabiliteiten tussen juli en september.

Uit de sterke variatie in stabiliteit met de tijd volgt de zeer belangrijke conclusie dat voor een confrontatie van gegevens de vergelijkingen slechts betrouwbaar zijn indien de monsternamen steeds op ongeveer hetzelfde tijdstip gebeurt.

Zich steunend op wat voor pF-gegevens gevonden werd (De Leenheer, 1971) zou men denken dat de variatie in vochtgehalte de verklaring kan geven. Een significant verband met het vochtgehalte bij monsternamen wordt evenwel niet gevonden. Het spreekt vanzelf dat de kruimelstabiliteit beïnvloed wordt door zwelling en krimp van de bodemcolloïden onder invloed van een variatie in vochtgehalte ; maar een afname of toename van dit vochtgehalte zal pas na een zekere tijd effect hebben op de krimp of zwelling van de colloïden. Bovendien mag men zich aan een grotere hysteresis verwachten (vooraleer een zwellingsvariatie in evenwicht is met een vochtvariatie). Daarom menen we dat er geen duidelijk verband te verwachten is tussen deze grootheden, vochtgehalte en instabiliteit.

TABEL 38.

Variatie van de instabiliteit in functie van de tijd in een zandleem-  
grond.

Tijdstip van monstername	Instabiliteit
27/11/69	0,34
26/12/69	0,50
25/ 1/70	0,66
22/ 4/70	0,46
8/ 6/70	0,44
6/ 7/70	0,24
1/ 9/70	0,32
4/10/70	0,31
28/11/70	0,48
31/ 1/71	0,71
4/ 4/71	0,47
27/ 4/71	0,40
9/ 6/71	0,42
3/ 7/71	0,30
24/ 7/71	0,44
16/ 8/71	0,36
1/ 9/71	0,30
18/ 9/71	0,45
2/10/71	0,50
7/11/71	0,60
5/12/71	0,56
31/12/71	0,62

Evenmin werd door ons een negatief verband gevonden tussen de stabiliteit en de regenneerslag gedurende een bepaalde periode vóór de monstername, zoals vermeld door Sébillotte (1968) en door Hénin, Robichet en Jongerius (1955).

#### Conclusie.

Er bestaat een gevoelige variatie van de stabiliteit in functie van de tijd, met de beste stabiliteit in de zomer. De weersinvloeden spelen hierin alleszins een grote rol, ook wel de aard van de vegetatie als

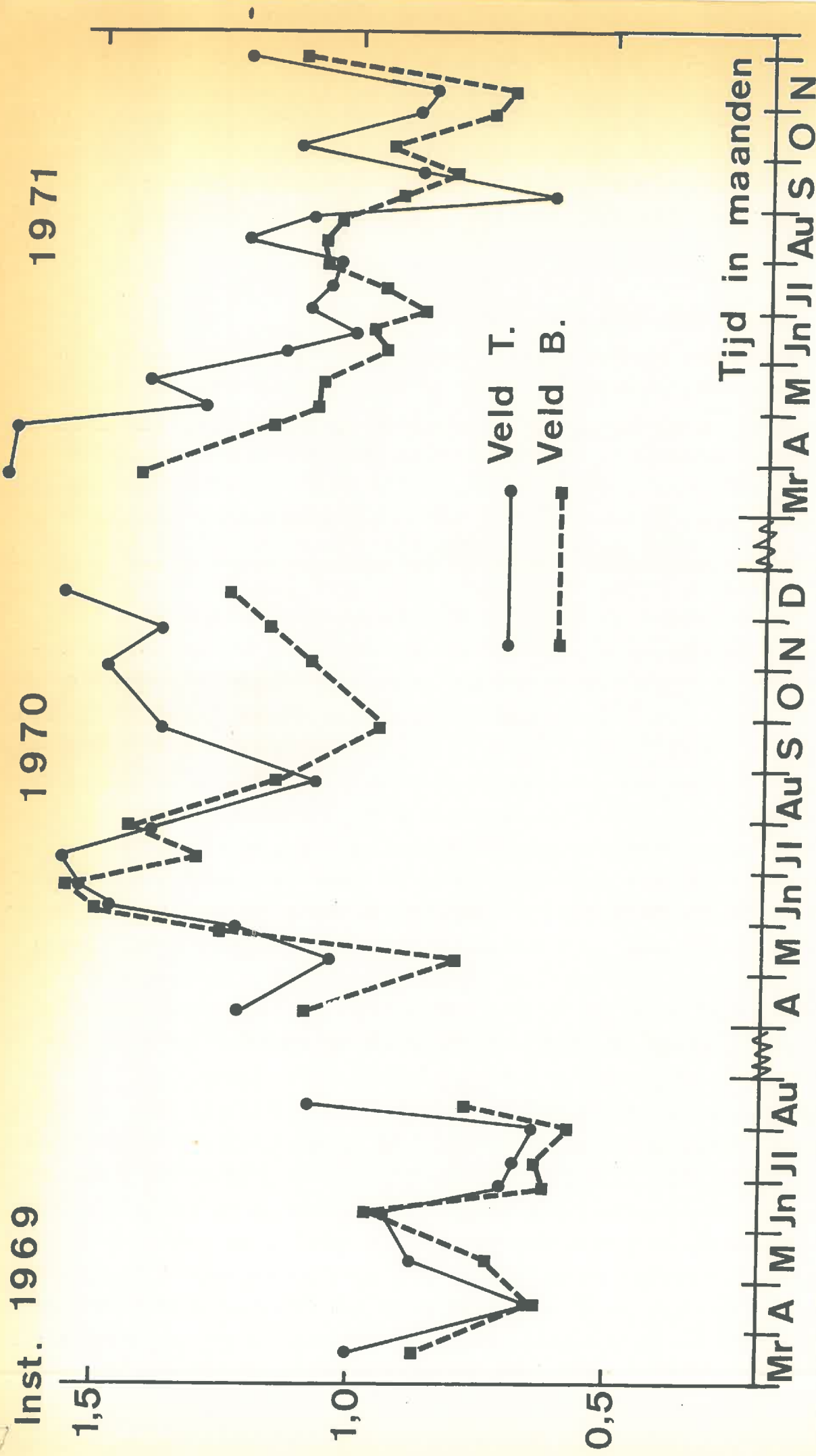


Fig. 9. De gemiddelde instabiliteit van een leemgrond per veld in functie van de tijd.

bodembedekking en het lijkt mij waarschijnlijk dat de weerslag van het weder op de micro-biologische activiteit hierbij eveneens als belangrijk moet worden beoordeeld. In de huidige stand van het structuuronderzoek kan dit echter moeilijk op kwantitatieve wijze omschreven worden.

## 2.2. Structuurvariatie in leemgrond.

Gelijklopende proeven als voor zandleem werden ook uitgevoerd op de leemgronden van Juprelle en Alleur in 1969, 1970 en 1971. Tijdens de periodisch uitgevoerde bodembemonsteringen werden telkens monsters genomen op 2 velden (nl. Tongeren en Bierset), en wel op het gedeelte met tarwe, telkens op 2 bodemtypes (nl. het plateau- en het depressietype) en op 2 verzorgingsbanden (nl. het object "stalmeest plus schuimkalk" en het object "blanco zonder schuimkalk").

De gemiddelde resultaten per veld zijn vermeld in fig. 9. Ook hier wordt normalerwijze de beste stabiliteit gevonden in de maanden juli, augustus en september. In het jaar 1971 vindt men nog lage instabiliteitswaarden in oktober en november, waarschijnlijk te wijten aan de uitzonderlijk gunstige weersomstandigheden in het najaar 1971. Ook in het begin van de lente (april-mei) werd een goede stabiliteit waargenomen in 1969 en 1970, die gevolgd werd door een tijdelijke sterke daling van de stabiliteit. Daar zich, betreffende de seizoeninvloeden, jaarlijks verschuivingen voordoen, moet men besluiten dat behalve de algemene tendens van een betere stabiliteit in de zomer ook andere effecten een invloed laten gelden in de leemgronden die een geringere stabiliteit gedurende een bepaalde periode van het groeiseizoen veroorzaken. Het is daarbij mogelijk dat ook in de zandleemgrond dergelijke invloeden zich lieten gelden, maar dat ze door het geringere aantal monsternamen in de tijd niet waargenomen werden. De ongeveer gelijke waarden tussen 22 april en 8 juni in 1970 wijzen enigszins in deze richting.

Op te merken valt dat de stijging van de instabiliteit zich in 1970 ongeveer een maand later voordeed dan in 1969. Het lijkt ons niet uitgesloten dat deze wijziging zou kunnen te wijten zijn aan de bemesting. Een aanwijzing in die zin geeft de vergelijking van de bemestingsdatums. In 1969 werden de velden bemest op 8 en 9 april en in 1970 op 8 en 9 mei. In 1971, met de bemestingsdatums 5 en 7 april, wordt deze daling praktisch niet waargenomen, hoewel een maand na de bemesting de stabiliteit niet beantwoordt aan de algemene daling van de instabiliteit van begin april tot juli.

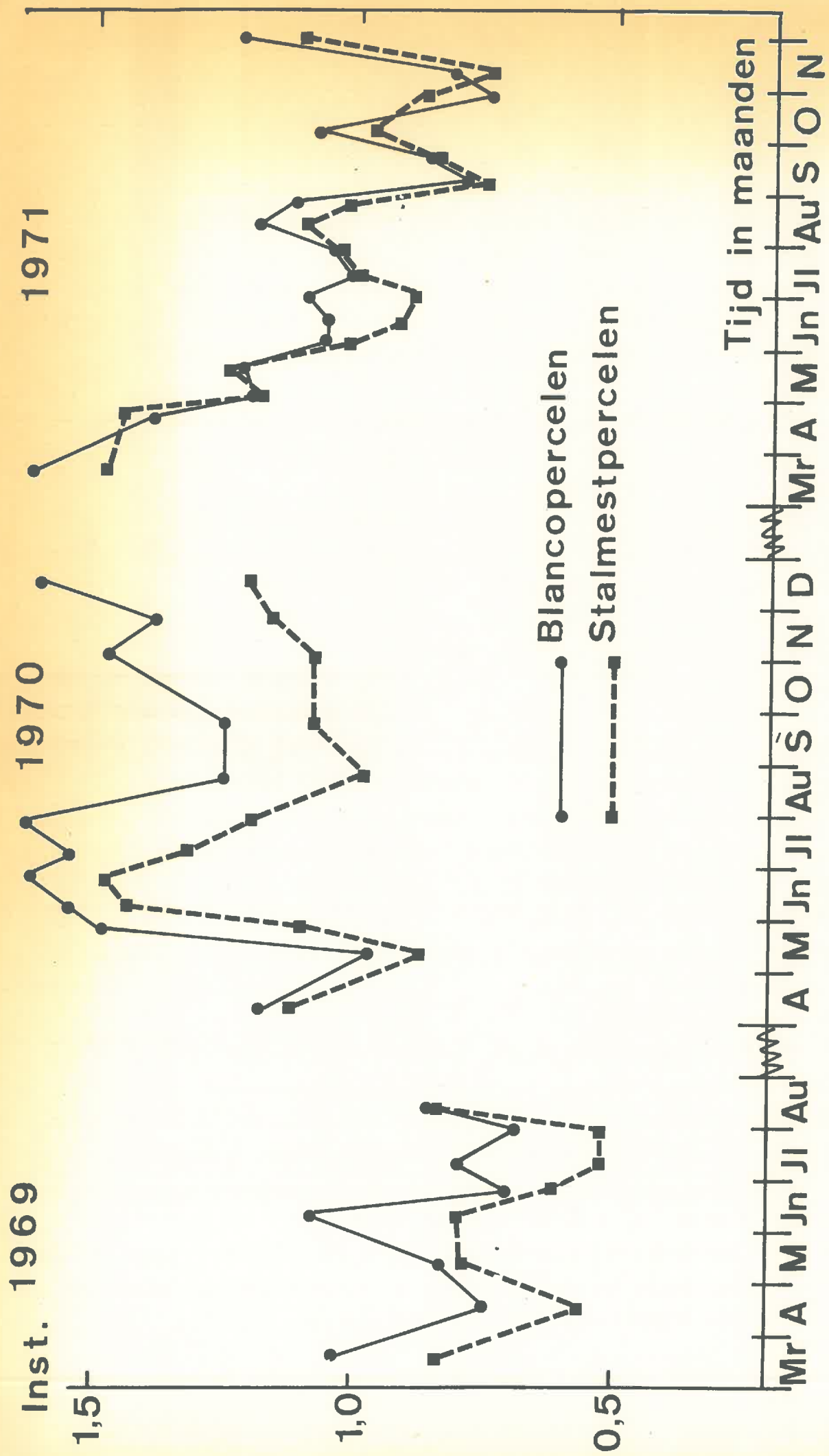


Fig.10. De gemiddelde instabiliteit van een leemgrond per bemes-  
tingsband in functie van de tijd

Ook voor de leemgronden van Haspengouw werden geen systematische correlaties gevonden tussen aggregaatinstabiliteit en vochtgehalte of neerslag. Bij de interpretatie van de resultaten dient men zowel op systematische als op toevallige factoren te letten. Ter illustratie hiervan volgen enkele voorbeelden :

- Op de 2 proefvelden vindt men gedurende de vegetatieperiode gelijklopende waarden, met een iets betere stabiliteit (lagere instabiliteit) op Bierset, hoofdzakelijk te wijten aan een uitgesproken hoger humusgehalte.
- De laatste waarneming, welke in 1969 gedaan werd, is significant verschillend op de 2 velden, ingevolge een plaatselijk onweer dat enkel het veld Tongeren heeft getroffen.
- Door het ploegen komt het onderste gedeelte van de bouwvoor aan de oppervlakte en dit geeft in de meeste gevallen bij de eerste monstername na het ploegen een stijging van de stabiliteit. Dit is in overeenstemming met de bij het begin van dit werk aangehaalde resultaten, waarbij een geringere stabiliteit gevonden wordt aan het bodemoppervlak dan dieper in de bouwvoor (zie 1.1.2.).

Dit komt in 1971 goed tot uiting. Op 7 september lag het veld Tongeren geploegd ; we vinden er een sterkere daling van de instabiliteit dan op het veld Bierset dat nog niet geploegd was. Op 21 september was het veld Bierset wel geploegd en we vinden er nog een daling van de instabiliteit, terwijl op het veld Tongeren een stijging geconstateerd werd. Deze verbeterde stabiliteit na het ploegen komt ook tot uiting in de zandleemgrond (zie hiervoor), waar na het ploegen bij de monstername op 4 oktober '70 en 1 september '71 de instabiliteit nog een tendens vertoont om te dalen. De daling kan slechts miniem zijn daar de instabiliteit reeds zeer gering is.

In 1970 vinden we een uitzondering op het veld Tongeren, waar na het ploegen een toename van de instabiliteit gevonden wordt. Dit is te wijten aan een dieper ploegen, waardoor een gedeelte van de aggregaten van onder de normale bouwvoor met een veel geringer humusgehalte en daaruit volgend een lagere stabiliteit aan de oppervlakte gebracht wordt ; het gevolg is een daling van de stabiliteit.

Worden de verzorgingsobjecten afzonderlijk bekeken, dan vinden we voor de 3 laatste jaren en telkens gedurende de ganse vegetatieperiode een gemiddelde betere stabiliteit op de stalmeesterpercelen (zie fig. 10). De evolutie

van de structuurstabiliteit in de loop van het jaar heeft een belangrijke praktische betekenis. Hoe geringer de instabiliteit is, hoe minder de bodem zal toeslaan onder invloed van de winterregens. Hoe beter de kruimelstabiliteit, hoe beter zowel de aeratie als de doorzijpeling van het regenwater tijdens de vegetatie zal verlopen.

De variatie van jaar tot jaar is echter afhankelijk van de weersomstandigheden en van factoren die hierdoor bepaald worden (zoals de microbiologische stabilisatie van de structuur en de evolutie van de humus), zodat de resultaten van verscheidene jaren moeilijk direct vergelijkbaar zijn.

Een bevredigende verklaring van de stabiliteitsvariatie in de tijd is moeilijk te geven. Uit onze proeven (zie vroeger) is gebleken dat het bevochtigen en drogen een geringere stabiliteit tot gevolg heeft, wat ook de mening is van Willis (1955), doch in tegenspraak is met gegevens van Sillanpää en Webber (1961).

De verschillen, die omtrent het bevochtigen en drogen in de literatuur gevonden worden, zijn voor een groot gedeelte te wijten aan het verschil in de wijze van bevochtigen vóór het zeven. De in dit onderzoek gevolgde werkwijze is een eerder bruske methode, welke een afbraak meebrengt, terwijl Sillanpää en Webber (1961) bevochtigen door capillariteit, wat minder desaggregerend werkt. De stabiliteitsvermindering te wijten aan bevochtigings- en uitdrogingscyclussen stemt op het eerste zicht niet overeen met de veldwaarnemingen (resultaten van de variatieproeven). We vinden nl. een stabiliteitstoename in de zomer, tijdens dewelke juist deze snel wisselende bevochtiging en uitdroging kan optreden. Er moeten daarom, menen wij, andere effecten een overwegende rol spelen, zoals bijv. de polymerisatie en de toename van het specifiek oppervlak van het organisch materiaal bij uitdrogen (Monnier, 1965). Plotnikov (1961) meent dat de aggregaatstabiliteit in grote mate afhangt van ijzerhumaten, waarvan de vorming kan beïnvloed worden door de vegetatie en micro-organismen en die gedeeltelijk kunnen verdwijnen, ingevolge reductie van de ferri- tot ferro-ijzer onder vochtige omstandigheden, waardoor de stabiliteit zal afnemen.

De lage stabiliteit in de winter is gedeeltelijk te wijten aan de afbraak door regen (vochtgehalte boven veldcapaciteit), terwijl ook de vorst een invloed kan laten gelden. Volgens Czeratzki (1957) is de geringe stabiliteit na de winter een gevolg van de vorst, waardoor de grote aggregaten door kleine spleten tengevolge van ijsvorming gedeeltelijk hun



stabiliteit verliezen, zonder dat evenwel hun samenhang volledig verbroken is. Volgens Schuffelen en Van Schuylenborgh (1950) kan het effect van de vorst zowel positief als negatief zijn. Door drukverhoging in het aggregaat, nl. door de volume-toename van ijskristallen kan de stabiliteit stijgen, terwijl het ermee gepaard gaande bevochtigen en drogen een negatieve invloed heeft. Logsdail en Webber (1959) vinden een significante vermindering van de aggregaatstabiliteit bij een afwisseling van vriezen en dooien, en dit is het meest uitgesproken bij de hoogste vochtgehalten. Webber en Sillanpää (1961) menen dat het be- vriezen en dooien resultaten geeft die niet alleen afhankelijk zijn van het vochtgehalte, maar ook van de snelheid van bevriezen, evenals van de grootte van de beschouwde aggregaten. Sillanpää (1961) meent dat grote aggregaten door bevroreeneen compressie ondergaan, dat de gevormde ijs- kristallen de poriënverdeling niet volgen en daardoor de structuureen- heden veranderen, overeenkomstig de configuratie van de ijskristallen. Het eerste effect is dan een destructie, totdat de configuratie overeen- komt met de verdeling van de ijskristallen. Stefanson (1968) maakt een onderscheid wat betreft de invloed van de factoren die de seizoenvariatie kunnen veroorzaken. Veranderingen in stabiliteit kunnen naar zijn mening te wijten zijn aan een wijziging van de organisatie (relatieve ligging) van de bodemcomponenten of aan een verandering in relatieve verhoudingen of samenstelling van de anorganische en organische componenten. Het vlug bevochtigen van droge grond, de actie van regendruppels en bodembewerkin- gen (met het oog op zaaibed-voorbereiding) veroorzaken een vermindering van de organisatie (ligging t.o.v. elkaar) van de verschillende bodemcompo- nenten en een dispersie van de klei. Dit betekent dat de stabiliteits- vermindering in de winter daaraan gedeeltelijk kan te wijten zijn.

Het traag drogen verhoogt de oriëntatie van de kleideeltjes en ver- hoogt de stabiliteit. Dit kan een effect hebben op de stabiliteitsver- betering in de zomer. Ook actieve plantengroei in de lente en de zomer (zonder hierbij grassen en onkruiden te vergeten !) kan stabilizerend werken door een mechanisch samenhouden van de aggregaten door de wortels. De veranderingen in samenstelling van de bodem tijdens de vegetatie- periode beperken zich essentieel tot het organisch materiaal, waarbij zekere fracties wijzigingen ondergaan gedurende het jaar, waarvan sommige verantwoordelijk zijn voor de variatie van de stabiliteit (Stefanson, 1971).

Naar onze mening is de geringe instabiliteit bij de lentemonsternamen, vastgesteld met onze stabiliteitsanalyse, voor een groot gedeelte te wijten aan het voorkomen van breuken en spleten in de aggregaten. Gedurende de zomer, onder invloed van de weersomstandigheden, zullen een groot aantal van deze aggregaten verdwijnen in kleinere aggregaten, waar het aantal spleten en breuken tot een minimum herleid wordt en een betere stabiliteit tot gevolg heeft. Naast deze factor menen we dat er nog een groot aantal andere factoren een invloed kunnen hebben op de variatie van de aggregaatstabiliteit, waarvan waarschijnlijk eventuele wijzigingen in humusbestanddelen één van de voornaamste is.

De algemene tendens van een betere stabiliteit in de zomer en een slechtere stabiliteit in de winter belet niet dat deze ook kan gewijzigd worden door andere invloeden dan het weder, de vegetatie of de bodemwerkingen. Eén ervan, en wel één der voornaamste, is de bemesting. Het is nl. zó, dat de cohesie zich sterk wijzigt naargelang de ionenbezetting van de bodemcolloïden. Een stijging van de verhouding  $\left( \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{totale basenuitwisselingscapaciteit}} \right)$  van 0,05 tot 0,10 heeft een reeds gevoelige daling van de cohesie tot gevolg (Monnier, mondelinge mededeling). Dit heeft terug te maken met de wijziging van de inter-moleculaire aantrekkingskrachten (van der Waals krachten) tengevolge van een variatie in dikte van de elektrische dubbellaag, zoals reeds vermeld in hoofdstuk II, 1.5.5.

Nemen we voor de beschouwde gronden een gemiddelde basenuitwisselingscapaciteit van 15 meq/100 g, dan betekent dit per ha en voor een bodemlaag van 4 cm dikte en een schijnbaar soortelijk gewicht = 1,40, een totale basenuitwisselingscapaciteit van  $\pm 84.000$  equivalenten. Veronderstellen we een gemiddelde  $\text{K}_2\text{O}$ -toediening van 150 eenheden/ha dan brengen we 3.185 equivalenten  $\text{K}^+$  in de bodem.

Vooropgezet dat de gebruikte kalimeststof à 40 %  $\text{K}_2\text{O}$  ongeveer 30 % NaCl bevat, dan komen er nog ongeveer 1.925 equivalenten  $\text{Na}^+$  in de bodem bij, wat een totaal aan  $\text{K}^+$  en  $\text{Na}^+$  van ongeveer 5.100 eq. betekent. De wijziging van de verhouding  $\left( \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{totale basenuitwisselingscapaciteit}} \right)$  is dan = 0,06, in de veronderstelling dat de meststof zich gedurende een bepaalde tijd tussen 1 en 5 cm diepte bevindt en de andere ionen volledig

verdrongen heeft. Dit zou volgens de aangeduide norm een gevoelige cohesievermindering en een daarmee gepaard gaande stabiliteitsdaling tot gevolg hebben.

De concentratieverhoging door bemesting hangt natuurlijk van de weersomstandigheden af. Bij grote neerslag doet zich een drainage tot grotere diepten voor, terwijl bij droogte de meststof slechts langzaam oplost, zodat de concentratie aan éénwaardige kationen slechts langzaam stijgt. Dit betekent dat sommige jaren het effect van de bemesting duidelijk tot uiting komt en andere jaren niet. Het zijn vooral de éénwaardige kationen die de stabiliteit doen dalen. Volgens Cecconi, Salazar en Martelli (1963) hebben de negatieve ionen als chloriden, sulfaten en nitraten een verwaarloosbaar effect, terwijl de fosfaten over het algemeen de stabiliteit gunstig zouden beïnvloeden. Het positief effect van fosfaten op de stabiliteit werd eveneens door Lutz, Garcia-Lagos en Hilton (1960) vastgesteld.

### 3. Vergelijking van verschillende bodemtexturen.

Steunend op de zonaire textuur-variatie (van noord naar zuid) welke op de textuurkaart van Oost-Vlaanderen (Van Ruymbeke en De Leenheer, 1965) tot uiting komt, werden in 1969 10 verschillende bodemtexturen bemonsterd, telkens op 2 verschillende plaatsen, op 2 vegetaties (nl. bouwland en weiland) en 2 verschillende diepten (nl. aan de oppervlakte en op een diepte van  $\pm 50$  cm).

Deze texturen zijn : matig grof zand, matig fijn zand, fijn zand, lemig zand, kleilig zand, licht zandleem, zandleem, leem, klei, zware klei.

#### 3.1. De gevonden resultaten en hun algemene beoordeling.

De gedetailleerde resultaten worden hier niet vermeld, daar dit teveel plaats in beslag zou nemen. Enkel de algemene tendenzen worden besproken. (Om een meer gedetailleerde bespreking te kunnen geven zouden meerdere bijkomende proeven noodzakelijk zijn).

Vooraleer de zeving onder water kan uitgevoerd worden, moeten de aggregaten verkleind en gezeefd worden ; d.w.z. ze worden aan mechanische krachten onderworpen. Hierbij werd vastgesteld dat hoe grover de textuur is, hoe meer de aggregaten bij het fractioneren uit mekaar vallen, zodanig zelfs dat er voor sommige monsters van zandgronden niet voldoende aggregaten meer overbleven om de natte zeving uit te voeren. Dit betekent reeds dat, algemeen gezien, de stabiliteit van deze zandgronden veel kleiner is dan van zandleem- en leemgronden. Het is van belang te noteren dat deze eerste conclusie niet automatisch bevestigd wordt bij de natte aggregaatsanalyse. Het gebeurt nl. dat door het droog zeven enkel de zeer stabiele aggregaten overblijven, zodat, wanneer men enkel de natte aggregaatsanalyse zou uitvoeren ter bepaling van de stabiliteit, een ogenschijnlijk stabiele grond gevonden wordt, wat zeker niet met de werkelijkheid strookt. Daarbij komt dat men theoretisch voor andere texturen andere hoeveelheden aggregaten per fractie zou moeten nemen. Dit betekent dat een vergelijking van de stabiliteit tussen vrij uiteenlopende texturen moeilijk is, gezien men om correct te werken zou moeten rekening houden met de resultaten van de droge zeving, de verhouding tussen de verschillende droge fracties, enz.

Nochtans hebben we hier als eerste benadering de gewone analyse toegepast. Uit de bekomen resultaten konden volgende conclusies getrokken worden :

- (1) De mechanische stabiliteit voor lichte gronden is klein ; daardoor is het moeilijk voldoende aggregaten na de droge zeving over te houden om een natte aggregaatsanalyse uit te voeren.
- (2) Op basis van de resultaten van de natte aggregaatsanalyse vertonen de lichte gronden een goede stabiliteit (als gevolg van het feit dat de analyse gebeurt met de na droge zeving overgebleven stabiele aggregaten (Schaffer, 1961)).
- (3) Het ijzergehalte in de  $B_{ir}$  (ijzer-B-)horizont van zandige bodemprofielen is een zeer belangrijke factor voor de gunstige stabiliteit die op 50 cm diepte nog wordt gevonden. De Boodt (1967) en Schahabi, Schwertmann (1970) vermelden eveneens het gunstige effect van ijzeroxyden op de stabiliteit van de aggregaten.
- (4) Door het bevochtigen onder veldcapaciteit (V.C.) worden lagere stabiliteitswaarden verkregen. Nochtans zijn de verschillen tussen bv. het bevochtigen tot V.C. en het nat zeven zonder vóórbevochtigen het kleinst bij de lichte texturen. Dit betekent dat de luchtinclusie bij zandgronden gering is. Zulks gaat samen met de minieme aanwezigheid van kleine poriën. Deze verklaring komt overeen met de opinie van Peerlkamp (1948) die ook weinig verschil vindt in de stabiliteit bij zand- en zavelgronden, bepaald enerzijds bij V.C. en anderzijds luchtdroog en met Cernuda, Smith en Vicente-Chandler (1954), die een geringe invloed van luchtcompressie waarnemen bij grove texturen.
- (5) Bij het bevochtigen boven V.C. wordt de stabiliteit geringer. De afname van de stabiliteit bij vóórbevochtigen boven V.C. is het grootst bij de lichte gronden.
- (6) Stabiele aggregaten, zowel van lichte als van zware gronden met een hoog humusgehalte, geven ongeveer dezelfde stabiliteit, zowel volgens de normale stabiliteitsanalyse als volgens een analyse zonder vóórbevochtigen van de aggregaten. Dit betekent dat de luchtinsluiting miniem is en dus de cohesie steeds groter is dan de inwendige druk veroorzaakt door de ingesloten lucht (Concaret, 1967).
- (7) Voor eenzelfde humusgehalte wordt de beste stabiliteit op de weidepercelen gevonden (zie ook profielonderzoek, Hoofdstuk III,1).
- (8) Er valt op te merken dat bij de zware kleigronden de gevonden stabiliteiten (rekening houdend met het humusgehalte) geringer zijn dan bij de lichtere texturen, alhoewel algemeen wordt aangenomen dat bij een hoger kleigehalte de stabiliteit stijgt. Dit heeft iets te maken

met de analysemethode. Immers vermits men bevochtigt tot V.C., welke voor zware kleigronden zeer groot is, zullen meerdere waterdruppels op hetzelfde aggregaat vallen, met het gevolg dat enkele aggregaten afbreken. Het kan ook iets te maken hebben met het voorkomen van fijne uitdrogingsspalten bij een hoog kleigehalte (Kheyrabi en Monnier, 1968 ; Fies, 1970 ; Cuadrado Sanchez, Fies en Monnier, 1971) terwijl de zwellings bij deze zware texturen eveneens een grotere afbraak kan veroorzaken.

### 3.2. Correlatie tussen bodemcomponenten en structuurstabiliteit.

Bij deze correlatiestudie worden slechts de hoofdbestanddelen weerhouden, nl. de textuur (de 3 hoofdfracties), humus en  $\text{CaCO}_3$ .

De rol die deze drie soorten bestanddelen op de stabiliteit van de bodems van Oost-Vlaanderen spelen werd door correlatieberekeningen onderzocht. Op analoge wijze werden ook bodems onderzocht door Sunkel (1960, 1961, 1961) (invloed van humusgehalte en textuur) en door Chesters, Attoe en Allen (1957) (invloed van klei, organisch materiaal en vrij ijzeroxyde).

Daar niet alle enkelvoudige correlatiecoëfficiënten significant waren, werden eveneens partiële correlatiecoëfficiënten berekend (Ezekiel en Fox, 1959 ; Steel en Torrie, 1960). Door gebruik te maken van deze partiële correlatiecoëfficiënten kan het verband nagegaan worden tussen een afhankelijke en een onafhankelijke veranderlijke, waarbij de andere onafhankelijke veranderlijken (die de enkelvoudige correlatiecoëfficiënten beïnvloeden) konstant gehouden worden (m.a.w. de invloed van de andere onafhankelijke veranderlijken wordt op deze wijze uitgeschakeld). Bovendien werden ook meervoudige correlatiecoëfficiënten (voorgesteld door R) berekend. Deze tonen het verband aan tussen de afhankelijke veranderlijke en enkele onafhankelijke veranderlijken.

Op te merken valt dat de berekeningen uitgevoerd werden op alle waarnemingen, m.a.w. dat alle texturen, de twee vegetaties en de twee diepten samen in de berekeningen betrokken werden. Dit is één van de verklaringen voor de over het algemeen geringe waarden voor de verschillende correlatiecoëfficiënten (tabel 39). Zoals reeds aangegeven bij het profielonderzoek, hoofdstuk III, 1 en fig. 7 is het effect van het humusgehalte op de stabiliteit voor weide- en bouwlandpercelen niet identisch. Wanneer men de twee diepten samen neemt treden er zeer grote

variatiën in humusgehalten op, waardoor het beste verband tussen instabiliteit en humusgehalte veeleer een exponentiële curve is i.p.v. een rechte (zie ook fig. 7 profielonderzoek). Daarbij komt dat de weersinvloeden aan het oppervlak van enorme betekenis zijn t.o.v. de geringe invloed op een diepte van 50 cm. Deze en andere niet vermelde factoren verklaren de weinig significante waarden in tabel 39.

Spijts deze weinig gedifferentieerde verwerking komt toch de dominerende invloed van de bodemcomponent humus tot uiting. Op te merken valt dat een verdere meer gedetailleerde analyse van alle gegevens gepland is. In het kader van dit werk is nochtans de globale bespreking van de resultaten voldoende.

#### Conclusie.

Uit tabel 39 blijkt dat voor de hier onderzochte monsters afkomstig uit een reeks bodemprofielen van Oost-Vlaanderen, de instabiliteit in grote mate beïnvloed wordt door het humusgehalte van de aggregaten, terwijl de effecten van  $\text{CaCO}_3$ -gehalten en textuurverschillen met een globale (voorlopige) verwerking van alle resultaten niet op statistisch significante wijze konden aangetoond worden.

TABEL 39.

Correlatiecoëfficiënten tussen instabiliteit (y) en textuur [klei < 2 $\mu$  (2), leem 2-50,4 (3), zand > 50,4 (4)], humusgehalte in % (5) en CaCO<sub>3</sub>-gehalte in % (6).

\* significantie 95 % \*\* significantie 99 %.

Veranderlijken t.o.v. de instabiliteit	Correlatiecoëfficiënten			
	klei (2)	leem (3)	zand (4)	
1) Instabiliteit t.o.v. CaCO <sub>3</sub> -gehalte	r <sub>y6.2</sub> = -0,12	r <sub>y6.3</sub> = -0,13	r <sub>y6.4</sub> = -0,13	
2) Instab. t.o.v. CaCO <sub>3</sub> -geh., % humus konst.	r <sub>y6.52</sub> = -0,05	r <sub>y6.53</sub> = +0,08	r <sub>y6.54</sub> = +0,06	
3) Instab. t.o.v. % humus	r <sub>y5.2</sub> = -0,57**	r <sub>y5.3</sub> = -0,57**	r <sub>y5.4</sub> = -0,57**	
4) Instab. t.o.v. % humus, % CaCO <sub>3</sub> konst.	r <sub>y5.62</sub> = -0,57**	r <sub>y5.63</sub> = -0,57**	r <sub>y5.64</sub> = -0,57**	
5) Instab. t.o.v. textuur	r <sub>y2</sub> = -0,06	r <sub>y3</sub> = +0,04	r <sub>y4</sub> = -0,01	
6) Instab. t.o.v. textuur, % CaCO <sub>3</sub> konst.	r <sub>y2.6</sub> = +0,07	r <sub>y3.6</sub> = +0,06	r <sub>y4.6</sub> = -0,08	
7) Instab. t.o.v. textuur, % humus konst.	r <sub>y2.5</sub> = +0,14	r <sub>y3.5</sub> = +0,01	r <sub>y4.5</sub> = -0,07	
8) Instab. t.o.v. textuur, % humus en % CaCO <sub>3</sub> konst.	r <sub>y2.56</sub> = +0,11	r <sub>y3.56</sub> = -0,01	r <sub>y4.56</sub> = -0,14	
9) Instab. t.o.v. % CaCO <sub>3</sub> en textuur	R <sub>y.62</sub> = +0,13	R <sub>y.63</sub> = +0,13	R <sub>y.64</sub> = +0,14	
10) Instab. t.o.v. % humus en textuur	R <sub>y.52</sub> = +0,58**	R <sub>y.53</sub> = +0,57**	R <sub>y.54</sub> = +0,57**	
11) Instab. t.o.v. % humus, % CaCO <sub>3</sub> en textuur	R <sub>y.652</sub> = +0,58**	R <sub>y.653</sub> = +0,58**	R <sub>y.654</sub> = +0,58**	∞



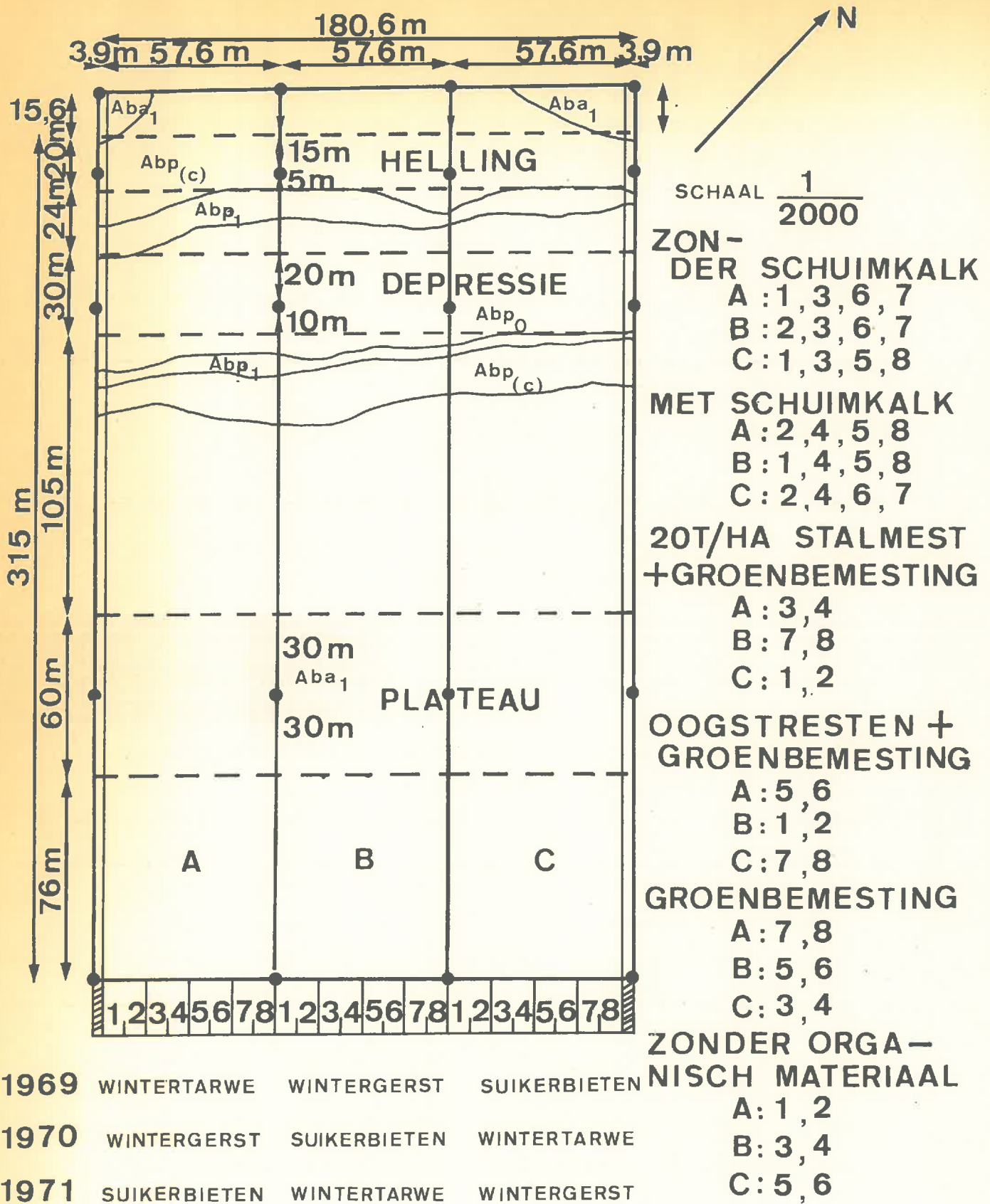


Fig.11. Totale proefopzet — Veld TONGEREN

#### 4. De stabiliteitsbepalingen op de structuurproefvelden in Haspengouw.

Deze bepalingen vormen een belangrijk onderdeel van het onderzoek dat gedaan wordt op de 4 grote proefvelden te Juprelle en Alleur (die de naam dragen "Grande Terre", "Tongeren", "Bierset" en "Xhendremael"). Het algemeen object van deze studie is het onderzoek van de (fysische) bodemvruchtbaarheid op gemechaniseerde bedrijven. Ieder proefveld is 8 à 10 ha groot. Alle activiteiten van bodem- en teeltverzorging en van de oogst zijn gemechaniseerd. De totale proefopzet en de verantwoording ervan zijn vermeld door De Leenheer [ 1965(1), 1965(2) ], samen met enkele reeds bekomen resultaten.

In het kort ziet de proefopzet er als volgt uit (zie ook als vb. fig. 11) :

- (1) elke groot veld is breed genoeg om (telkens op  $1/3$  van de breedte) de teelten (bieten, wintertarwe en wintergerst) van de gekozen driejaarlijkse vruchtwisseling te winnen.
- (2) elk groot veld is lang genoeg om zich uit te strekken over de typische toposequentie van de Haspengouwse leemstreek, nl. over de representatieve bodemtypen van het plateau, de helling en de droge depressie (de 4 velden werden gekozen nadat de detailkartering bewezen had dat ieder bodemtype perfect beantwoordt aan de corresponderende definitie van de bodemkaart van België).
- (3) inzake bodemverzorging viel de keuze op 4 varianten van organische bemesting :
  - (a) zonder organische bemesting (symbool T) (témoin) ;
  - (b) groenbemesting (symbool EV) (engrais vert) ;
  - (c) groenbemesting plus oogstresten (symbool RR) (résidus de récoltes) ;
  - (d) groenbemesting plus stalmest (symbool Fu)(fumier).
 De groenbemesting bestaat uit Italiaans raaigras\* na de teelt van wintergerst en vóór de teelt van suikerbieten. De oogstresten omvatten het stro van de graangewassen (2 x per rotatie) en de koppen en bladeren van de suikerbieten. Stalmest wordt om de 3 jaar toegevend (20 ton/ha) vóór de teelt van suikerbieten.
- (4) elk object "organische bemesting" is verder gesplitst in 2, door het al of niet toedienen van 50 ton/ha vochtige schuimkalk (niettegenstaande de bodems volstrekt niet zuur zijn) en zulks om de 6 jaar (2 rotaties).

---

\* teneinde een "gekende" stikstofbalans te hebben, wat met een leguminose niet of zeer moeilijk te realiseren is.

Het is vanzelfsprekend dat de varianten van organische bemesting en van het al of niet toedienen van schuimkalk herhaald worden in elke teelt, en dat ze zich uitstrekken over de 3 verschillende bodemtypen. Aldus omvat ieder proefveld 72 objecten : 3 teelten x 3 bodemtypen x 4 varianten organische bemesting x 2 varianten van bekalking.

Behalve het zuiver praktisch probleem van de optimale bodemverzorging op gemechaniseerde bedrijven, wordt ook het wetenschappelijk probleem onderzocht van de invloed van en de wisselwerking tussen de bodemverzorging en de structureigenschappen van de bodem, de bodemvruchtbaarheid, de waterhuishouding en de weersomstandigheden.

De voorbereiding van de proefvelden begon einde 1960 met een gemeenschappelijke teelt van wintertarwe (1961) gevolgd door een 2e voorbereidingsjaar met een gemeenschappelijke teelt van vlas (1962). Tijdens het 1e voorbereidingsjaar werd door middel van "blanco-proeven" een detail-studie gemaakt van de heterogeniteit van de bodem op ieder bodemtype van ieder veld (Callebaut, De Leenheer, 1966).

De duur van de studie is gepland voor 4 rotaties, t.t.z. 12 jaar effectieve studie van de objecten : 1963 (1e oogst) tot 1974 (12e oogst).

Om de evolutie en de verschillen in de structuurtoestand van de bodem na te gaan worden op systematische wijze op de 288 objecten (4 velden, ieder met 72 objecten) de bepalingen uitgevoerd van de kruimelstabiliteit, de waterpermeabiliteit op ongestoorde monsters en de poriënverdeling (pF-curve) op ongestoorde monsters.

Hier worden enkel de resultaten van de stabiliteitsbepalingen behandeld en dit slechts vanaf 1969. De reden hiervoor is tweevoudig : enerzijds, vermits de verscheidene vormen van organische bemesting slechts in het kader van een rotatie gegeven worden, zullen de verschillen tussen de verzorgingsobjecten vóór 1969 niet groot geweest zijn, temeer daar ook de schuimkalktoediening slechts zeer langzaam cumulerend kan werken ; anderzijds omwille van de reeds besproken verbeteringen in de modus operandi (vooral wat betreft de vóórbevochtiging). Indien de te lage vochtgehalten bij het vóórbevochtigen voor het jaar 1969 gekend en konstant waren geweest zou men de bekomen instabiliteitswaarden kunnen omrekenen tot vergelijkbare waarden met de laatste jaren. Dit was helaas niet het geval.

In dit verband wordt door Frei en Peyer (1963) vermeld dat de invloed van structuurbepalende handelwijzen slechts na een betrekkelijk groot aantal jaren verschillen geven inzake stabiliteit, gemakkelijker uitvoeren van bodembewerkingen, e.a., terwijl effecten op opbrengsten, verschil in water-

huishouding, verluchting en beworteling normaal nog veel later optreden.

Op te merken valt dat de globale variantie-analyse (hier niet vermeld) bestaat uit een "split-split-plot in strips analyse". We vermelden hier enkel de resultaten van de Duncan-testen die uitgevoerd worden na deze globale variantie-analyse.

#### 4.1. Resultaten van de stabiliteitsbepalingen in 1969, 1970 en 1971.

Uit de resultaten blijkt dat sedert 1969 bepaalde tendenzen en zelfs significante verschillen aan te duiden zijn.

##### 4.1.1. De gemiddelde aggregaatstabiliteit op de verschillende velden.

In tabel 40 vindt men de instabiliteit per veld over al de bodemtypen, gewassen en verzorgingsbanden heen.

TABEL 40.

De gemiddelde instabiliteit per veld en per jaar.

Veld	Instabiliteit			Ge- middelde
	1969	1970	1971	
Grande Terre	1,10	0,96	1,39	1,15
Tongeren	1,45	1,14	1,70	1,43
Bierset	1,03	0,89	1,32	1,08
Xhendremael	0,92	0,96	1,14	1,01
Gemiddelde	1,12	0,99	1,39	1,17

Vooreerst valt op te merken dat er betrekkelijk grote verschillen bestaan zowel tussen de velden onderling als van jaar tot jaar. De grootste instabiliteit vindt men ieder jaar op het veld Tongeren en de kleinste vindt men 2 jaar op 3 op het veld Xhendremael. Dit is niet in overeenstemming met de structuurbeoordeling op het veld, zoals ze werd uitgevoerd vóór de proefveldaanleg in 1960-1961 (mondelinge mededeling De Leenheer), noch met het gemiddelde percent van de vertakte suikerbietwortels welke gevonden werden in 1967, 1968, 1969 en 1970 (intern IWONL-verslag : De Leenheer-Appelmans). Ter vergelijking geven we in tabel 41 het gemiddelde percent vertakte suikerbieten (vaak gebruikt als teelt-index voor de beoordeling van de bodemstructuur). Op grond van de verschillen in de tabellen 40 en 41 blijken de gradaties in kruimelstabiliteit niet parallel te verlopen met de wortel-vertakking bij de suikerbieten en wijst deze laatste als teelt-index eerder op verschillen in bodemcompactie of grociweerstand dan op structuur-stabiliteit.

TABEL 41.

Gemiddeld percent vertakte suikerbieten in 1967 - 1970.

Veld	Gemiddeld % vertakte bieten				Gemiddelde
	1967	1968	1969	1970	
Grande Terre	20,56	11,33	7,15	6,24	11,32
Tongeren	24,14	12,96	6,79	6,84	12,68
Bierset	35,58	14,16	10,21	10,14	17,52
Xhendremael	24,42	12,05	7,84	8,90	13,30
Gemiddelde	26,18	12,62	8,00	8,03	

Wat betreft de verschillen die van jaar tot jaar in de stabiliteit worden gevonden, werd reeds vermeld dat er een grote variatie van de stabiliteit in de tijd (variatieproeven) kan optreden.

De monstername is afhankelijk van de weersomstandigheden en gebeurde in 1969 van 17 tot 19 maart, in 1970 van 8 tot 10 april en in 1971 van 22 tot 26 maart. Daar uit de variatieproeven is gebleken dat de instabiliteit daalt na de winter is het enigszins normaal dat de absolute waarden van de instabiliteit het geringst zijn in 1970. De hoge instabiliteitswaarden in 1971 zijn grotendeels te wijten aan de gewijzigde monstername (zie verder). Ook de weersomstandigheden tijdens de winter kunnen de instabiliteit beïnvloeden. Voor de jaren 1969, 1970 en 1971 en voor de periode van 1 december tot 20 maart bedroeg de gemiddelde temperatuur in 1969 = 1,8°C, in 1970 slechts 0,5°C en in 1971 opnieuw 1,8°C (resultaten van eigen meteo-station te Juprelle). De neerslag varieerde eveneens gevoelig; de grootste neerslag noteerden we in 1970. Ook de neerslagvorm, m.a.w. als regen of sneeuw en de smeltwijze van deze laatste kan de instabiliteit en het uitzicht van de velden wijzigen. Uit de interne verslagen blijkt het toeslepen van de bodem tijdens de winter en het voorjaar vooral in 1970 uitgesproken te zijn geweest en dit vooral op de blanco- en groenbemestingspercelen [te wijten aan de strenge vorst en de grote neerslag (onder vorm van sneeuw) in dat jaar]. Dat dit samen gaat met de geringste instabiliteit laat ons toe te besluiten dat absolute instabiliteitswaarden van aggregaten, afkomstig van de oppervlakte, weinig betekenis hebben en dat vooral de relatieve waarden in een bepaald jaar van belang zijn. De afbraak van de aggregaten tijdens de winter in 1971 was relatief gering en in 1969 praktisch onbestaande.

Te vermelden is eveneens de verschillende wijze van monstername. Tot in 1970 werden de monsters met een spade genomen, terwijl vanaf 1971 de monstername gebeurt met ringen (mogelijkheid van verschil in diepte van de monstername). Onze indruk is, dat met de spade over het algemeen de

monstername tot grotere diepten gebeurt (zie ook hoofdstuk II, 1.1.1. en 1.1.2.).

Door in 1971 de monstername uit te voeren met ringen (geringere diepte) kan ook hierin een verklaring gevonden worden voor de grotere waarden voor de instabiliteit in dat jaar.

#### 4.1.2. De variatie van de aggregaatstabiliteit per veld, rekening houdend met de teelt.

Uit de resultaten van tabel 42, laatste kolom, kan men afleiden dat de gemiddelde instabiliteitswaarden voor de gewassen een verschillende volgorde vertonen door de jaren heen. Normaal zou men ieder jaar de slechtste stabiliteit verwachten op de suikerbietpercelen, daar deze los geploegd liggen en de inwerking van allerhande weersinvloeden op de bouwvoor er maximaal is. Daarbij komt dat de bietenpercelen steeds het diepst geploegd worden, wat eveneens gunstig is voor een relatief hoge instabiliteit.

Wat de twee graangewas-percelen betreft, vindt men de laagste instabiliteit in 1969 op tarwe, in 1970 op gerst en in 1971 terug op tarwe. In dit verband moeten we bedenken dat ieder groot veld in de breedte in 3 werd gedeeld en dat het humusgehalte op de drie percelen per veld schommelingen kan vertonen (zie tabel 42). De invloeden die de verschillende humusgehalten op deze velden op de instabiliteit laten gelden zijn vooral van belang voor het veld Tongeren.

We menen nochtans dat hiervoor eveneens een gedeeltelijke verklaring kan liggen bij de bodembewerkingen in gunstige of ongunstige omstandigheden (meer bepaald de vochttoestand van de bodem bij de bodembewerkingen). De verschillen in vochttoestand bij het ploegen, bewerken en zaaien van tarwe en gerst waren het meest uitgesproken in het najaar 1969 en 1970. In het najaar 1969 zijn de bodembewerkingen, vóór het zaaien van tarwe in extreem droge omstandigheden gebeurd, wat een verklaring zou zijn voor de geringere instabiliteit bij de lentemonstername in 1970. In het najaar 1970 is de zaaibedvoorbereiding voor gerst in relatief droge omstandigheden gebeurd, overeenstemmend met een grotere instabiliteit op de gerstpercelen in 1971.

In tabel 42 vindt men de resultaten van de variantie-analyse, waarbij per veld en gewas eveneens de waarden van het overeenstemmend humusgehalte gegeven zijn. In verband met de mogelijke verschillen in humusgehalte dient men rekening te houden, niet alleen met de organische be-

mesting doch eveneens met de voorgeschiedenis en het vroegere bodemgebruik van deze percelen. Deze is uiteraard verschillend voor de velden Grande Terre en Tongeren enerzijds, die behoren tot de hoeve "Ferme de Malaxhe" en de velden Bierset et Xhendremael anderzijds, die behoren tot een andere hoeve "Ferme de Waroux". Wat de bodemcomponenten betreft, vermelden we dat zowel het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte als het humusgehalte groter zijn op de velden Bierset en Xhendremael (hoeve "Waroux") dan op de 2 andere velden. Zoals reeds vroeger is gebleken zal het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte geen grote invloed hebben op de stabiliteit, daar alle gronden nog een reserve aan  $\text{CaCO}_3$  bezitten. Anders is het gesteld met het humusgehalte, dat zelfs bij relatieve kleine verschillen een variatie in de stabiliteit kan veroorzaken (zie ook verder : correlatie tussen humusgehalte en instabiliteit). Het is daarom dat in de volgende tabellen 42 tot 46 ook het humusgehalte vermeld wordt. Zoals uit tabel 42 is af te leiden sluit het humusgehalte op het veld Grande Terre nog goed aan bij dat op de 2 velden van de hoeve "Waroux", terwijl het humusgehalte op het veld Tongeren significant afwijkt. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat dit veld vrij ver afgelegen is van de hoeve, waardoor systematisch minder stalmest op dit veld werd gevoerd.

De significantie van de verschillen in de instabiliteit wordt bepaald met de Duncan-test (de instabiliteitswaarden die niet significant verschillend zijn worden door een rechte op hetzelfde niveau aangeduid).

Uit tabel 42 blijkt verder, dat over het algemeen enkel het veld Tongeren een significant hogere instabiliteit heeft dan de drie andere velden, die meestal niet significant verschillen van elkaar (hoewel er een bepaalde volgorde bestaat, zoals hiervoor reeds vermeld). Het humusgehalte op het veld Tongeren is ongeveer 10 % lager dan op de andere velden en dit schijnt dus wel voldoende te zijn om significante verschillen in stabiliteit te kunnen aanduiden. Het iets lagere humusgehalte op het veld Grande Terre, vergeleken met de velden Bierset en Xhendremael, zal in grote mate ook de oorzaak zijn van de relatief geringere stabiliteit op dat veld. Voor de velden Bierset en Xhendremael geeft het verschil in organisch materiaal echter geen voldoende verklaring meer, daar het gemiddeld humusgehalte op het veld Bierset het hoogst is en er tevens een gemiddelde hogere instabiliteit gevonden wordt. Deze afwijking van de algemene regel kan te maken hebben met cultuur-technische maatregelen. Het is nl. zo, dat het veld Bierset steeds een geringere bouwvoordiepte

TABEL 42.

Variatie-analyse van de instabiliteit, berekend per veld en per teelt voor de jaren 1969, 1970 en 1971. De humusgehalten per veld en per teelt worden aangegeven voor 1970 en 1971.

Teelt	Jaar	Velden				Gemiddelde	
		Xhendre-mael	Bierset	Grande Terre	Tongereren		
Gerst	1969 Humusgehalte(*)	-	-	-	-	-	
	Instabiliteit	0,93	1,02	1,13	1,57	1,16	
	1970 Humusgehalte	2,18	2,26	2,11	2,02	2,14	
	Instabiliteit	0,86	0,82	0,92	1,04	0,91	
	1971 Humusgehalte	2,19	2,33	2,17	1,85	2,14	
	Instabiliteit	1,30	1,34	1,54	1,79	1,49	
	Tarwe	1969 Humusgehalte(*)	-	-	-	-	-
		Instabiliteit	0,86	0,99	1,06	1,24	1,04
1970 Humusgehalte		2,12	2,24	2,19	1,86	2,10	
Instabiliteit		1,02	0,94	1,06	1,28	1,08	
1971 Humusgehalte		2,33	2,27	2,12	2,03	2,19	
Instabiliteit		1,03	1,27	1,30	1,60	1,30	
Suikerbieten		1969 Humusgehalte(*)	-	-	-	-	-
		Instabiliteit	0,96	1,07	1,11	1,55	1,17
	1970 Humusgehalte	2,31	2,25	2,14	2,02	2,18	
	Instabiliteit	1,00	0,92	0,90	1,12	0,98	
	1971 Humusgehalte	2,19	2,34	2,14	2,04	2,18	
	Instabiliteit	1,10	1,36	1,34	1,72	1,38	
	(*) Niet	systematisch bepaald op alle objecten in 1969					

heeft gehad, die men ieder jaar groter tracht te maken door dieper te ploegen, waardoor in de bovenste cm van de bouwvoor aggregaten aangetroffen worden afkomstig uit een diepere horizont, waar uiteraard een geringere stabiliteit voorkomt. Toch is het hierbij goed mogelijk dat het "gemiddeld" humusgehalte relatief hoog blijft, daar de monsternamen voor de bepaling van het organisch materiaal de bouwvoor tussen 0-20 cm omvat.



Per slot van rekening is het dan niet onlogisch dat door het iets dieper ploegen, de instabiliteit in de bovenste 5 cm meer zal beïnvloed worden dan het humusgehalte in de bovenste 20 cm. Deze beschouwing geldt enkel voor het veld Bierset, met zijn geringe ploegdiepte, terwijl op de andere velden de bouwvoor nagenoeg konstant blijft.

#### 4.1.3. De variatie van de instabiliteit per gewas en per bodemtype.

De resultaten en hun variantie-analyse zijn vermeld in tabel 43.

TABEL 43.

Variantie-analyse van de instabiliteit, berekend per teelt en per bodemtype in 1969, 1970 en 1971. Ook de humusgehalten voor 1970 en 1971 zijn vermeld.

Teelt	Jaar		Bodemtype		
			Plateau	Helling	Depressie
Gerst	1969	Humusgehalte	-	-	-
		Instabiliteit	1,02	1,34	1,12
	1970	Humusgehalte	2,14	2,18	2,10
		Instabiliteit	0,85	0,94	0,94
	1971	Humusgehalte	2,19	2,15	2,01
		Instabiliteit	1,39	1,49	1,60
Tarwe	1969	Humusgehalte	-	-	-
		Instabiliteit	0,88	1,17	1,07
	1970	Humusgehalte	2,15	2,17	2,00
		Instabiliteit	1,02	1,09	1,11
	1971	Humusgehalte	2,18	2,25	2,14
		Instabiliteit	1,20	1,30	1,41
Suiker- bieten	1969	Humusgehalte	-	-	-
		Instabiliteit	1,07	1,26	1,19
	1970	Humusgehalte	2,19	2,20	2,14
		Instabiliteit	0,87	1,01	1,07
	1971	Humusgehalte	2,18	2,24	2,11
		Instabiliteit	1,22	1,42	1,48

Uit deze gegevens blijkt dat op het bodemtype van het plateau de geringste instabiliteit gevonden wordt; hierop volgt, normalerwijze, het bodemtype van de helling, terwijl de slechtste stabiliteit gevonden wordt op het bodemtype van de depressie. Houden we enkel rekening met het kleigehalte dan is dit meteen de logische volgorde, daar men op het plateau gemiddeld 17,1 % klei, op de helling 12,7 % klei en in de depressie 11,5 % klei vindt. Het werd reeds onderlijnd bij de bespreking van de verschillende texturen (zie hoofdstuk III,3), dat hoe zwaarder de textuur is, hoe stabielere de structuur wordt, ingevolge een grotere cohesie.

Een andere, niet minder belangrijke factor die de stabiliteit in grote mate beïnvloedt, is het humusgehalte. In 5 van de 6 gevallen uit tabel 43 is het humusgehalte in de bodem van de helling iets hoger dan in deze van het plateau, terwijl men in de depressie steeds (6x op 6) het laagste humusgehalte vindt.

Rekening houdend met de textuur en het humusgehalte blijkt het jaar 1969 af te wijken van de twee volgende jaren. We constateren immers voor 1969 een grotere instabiliteit op de helling dan op de depressie terwijl dit voor 1970 en 1971 andersom is. Een uitleg voor dit fenomeen kunnen we vooralsnog niet geven.

#### 4.1.4. De variatie van de instabiliteit per veld, per gewas en per organische bemesting.

De gemiddelde instabiliteitswaarden per veld, per bemestingsband en per jaar zijn vermeld in tabel 44.

In tabel 45 zijn de resultaten vermeld van de variantie-analyse van de instabiliteitswaarden van de verschillende verzorgingsobjecten per jaar en per gewas en worden ook de humusgehalten voor 1970 en 1971 gegeven.

Uit de resultaten van tabellen 44 en 45 blijkt dat de kleinste instabiliteit (dus de beste stabiliteit) gevonden wordt op de stalmestpercelen, gevolgd door het object oogstresten; hierop volgt het object groenbemesting en als laatste het getuige-object. Dit geldt niet alleen voor het algemeen gemiddelde, doch ook doorgaans voor de velden of de

TABEL 44.

De gemiddelde instabiliteit per veld, per organische bemesting en per jaar.

Veld	Jaar	Instabiliteit per organische bemesting			
		Blanco	Groenbemesting	Groenbemesting + Oogstresten	Groenbemesting + stalmest
Grande Terre	1969	1,22	1,09	1,13	0,98
	1970	1,04	0,94	0,96	0,90
	1971	1,48	1,41	1,37	1,31
Tongereen	1969	1,46	1,48	1,44	1,42
	1970	1,17	1,24	1,10	1,06
	1971	1,75	1,73	1,72	1,63
Bierset	1969	1,20	1,07	0,88	0,94
	1970	0,96	0,92	0,84	0,84
	1971	1,47	1,34	1,23	1,26
Xhendremael	1969	0,95	0,93	0,90	0,88
	1970	1,02	0,98	0,92	0,90
	1971	1,27	1,15	1,12	1,04
Gemiddelde over de 3 jaar		1,25	1,19	1,13	1,10

gewassen afzonderlijk. Proeven van deze aard zijn reeds door vele onderzoekers uitgevoerd, doch de resultaten zijn niet steeds identisch. Hier worden slechts enkele van de recente publicaties op dit gebied vermeld. Cavazza, Linsalata, D'Onghia en Barracchia (1968) vonden eveneens een betere aggregaatstabiliteit door stalmesttoediening en door het inploegen van stro, terwijl Graffin (1971) bij laboratoriumproeven slechts een gunstig effect op de stabiliteit constateerde bij inwerken van stro.

Uit onze gegevens (tabel 45) blijkt dat de instabiliteit op de stalmestperelen in 1970 en 1971 significant geringer is dan op de blanco-percelen, en dit voor de drie gewassen (uitgezonderd voor de suikerbietenpercelen in 1970). Deze verschillen menen wij te kunnen toeschrijven aan de invloed van de humus, daar het humusgehalte tussen de objecten

TABEL 45.

Variantie-analyse van de instabiliteitswaarden van verzorgingsobjecten per jaar en per gewas, samen met de voorhanden zijnde humusgehalten.

Teelt	Jaar		Verzorgingsobjecten			
			Blanco	Groenbemesting	Groenbemesting+ oogstresten	Groenbemesting+ stalmest
Gerst	1969	Humusgehalte	-	-	-	-
		Instabiliteit	1,26	1,22	1,09	1,08
	1970	Humusgehalte	2,04	2,11	2,17	2,25
		Instabiliteit	0,98	0,94	0,86	0,85
	1971	Humusgehalte	2,04	2,06	2,16	2,29
		Instabiliteit	1,57	1,52	1,47	1,41
Tarwe	1969	Humusgehalte	-	-	-	-
		Instabiliteit	1,12	1,05	1,02	0,96
	1970	Humusgehalte	2,02	2,04	2,08	2,28
		Instabiliteit	1,17	1,09	1,03	1,00
	1971	Humusgehalte	2,05	2,18	2,17	2,37
		Instabiliteit	1,40	1,30	1,25	1,25
Suikerbieten	1969	Humusgehalte	-	-	-	-
		Instabiliteit	1,23	1,18	1,16	1,13
	1970	Humusgehalte	2,03	2,16	2,22	2,33
		Instabiliteit	1,00	1,04	0,97	0,92
	1971	Humusgehalte	2,05	2,12	2,22	2,34
		Instabiliteit	1,50	1,39	1,36	1,26

"stalmest" en "blanco" ongeveer een verschil van 10 % vertoont.

Het effect van de "groenbemesting" alleen komt niet significant tot uiting. Doorgaans is toch overal (zonder op de "significantie te letten) de instabiliteit geringer dan op de getuige en groter dan op de objecten met oogstresten of met stalmest. De verschillen in humusgehalte variëren in omgekeerde zin.

1



2



Foto's 1 en 2 : Proefveld Tongeren, plateau,  
opnamen van 7 april 1970, op naakte bodem.

Foto 1 (boven) : rechts object met alleen groenbemesting  
links object met groenbemesting plus oogst-  
resten

Foto 2 (onder) : strook 1 : groenbemesting  
strook 2 : groenbemesting plus oogstresten  
strook 3 : blanco-object.

3



4



Foto's 3 en 4 : Proefveld Tongeren, plateau  
opnamen 7 april 1970, op naakte bodem

Foto 3 : weinig stabiele structuur op blanco-object  
Foto 4 : meer stabiele structuur op stalmest-object.

De geringe tot te verwaarlozen invloed van raaigras op de stabiliteit is in overeenstemming met de bevindingen van Monnier (1965), Gras (1965) en Monnier, Gras (1965), die slechts een tijdelijk en een niet cumulatief effect vinden van raaigras op de stabiliteit. Browning en Milam (1944) vermelden dat toevoeging van vlug verteerbaar organisch materiaal, zoals dit voor jong raaigras het geval is, een stijging van de stabiliteit geeft vlug na de incorporatie, die echter met het verloop van tijd terug afneemt.

Zich baserend op de resultaten van tabellen 44 en 45, mogen we concluderen, voor zover de aggregaatstabiliteit een maat is voor de structuurtoestand van de bodem, dat de beste structuurtoestand gevonden wordt op de stalmestpercelen, dat de percelen met "hoogstresten" relatief weinig afwijken van de stalmestpercelen, dat de percelen met uitsluitend "groenbemesting" in derde positie komen en dat de objecten zonder toevoeging van organisch materiaal een significant lagere aggregaatstabiliteit hebben. Deze verschillen worden ook geïllustreerd door de foto's 1, 2, 3 en 4.

#### 4.1.5. De gemiddelde instabiliteit per gewas en per bekalkingsvorm.

In tabel 46 vindt men de resultaten van de variantie-analyse op de instabiliteitswaarden per bekalkingsvorm, per gewas en per jaar, samen met de beschikbare humusgehalten.

In verband met de invloed van een bekalking vermeldt Emerson (1954), in geval de aggregaten ondergedompeld zijn in een overmaat gedistilleerd water bij het nat zeven, dat de resultaten onafhankelijk zijn van de concentratie aan Ca-ionen van de bodemoplossing (gelet op de grote verdunning). Daar ook wij voor onze bepalingen in een zeer verdund milieu werken zou, volgens deze opvatting, het effect van de bekalking op de stabiliteit normalerwijze niet gedetecteerd worden. In tabel 46 vinden we inderdaad in de meeste gevallen slechts geringe verschillen in instabiliteit, doch tegen de logische verwachting in vindt men een lagere instabiliteit op de percelen "zonder schuimkalk" en het verschil is 3 maal op 9 zelfs significant. Dit zou er op wijzen dat het toedienen van schuimkalk op percelen, die nog een geringe reserve aan vrij  $\text{CaCO}_3$  bevatten, een negatief effect zou kunnen hebben op de stabiliteit.

TABEL 46.

Variantie-analyse, per teelt voor de al of niet toediening met schuimkalk met vermelding van de beschikbare humusgehalten.

Teelt	Jaar		Bekalkingsvorm	
			Met schuimkalk	Zonder schuimkalk
Gerst	1969	Humusgehalte	-	-
		Instabiliteit	1,16	1,16
	1970	Humusgehalte	2,16	2,12
		Instabiliteit	0,90	0,92
	1971	Humusgehalte	2,14	2,13
		Instabiliteit	1,53	1,46
Tarwe	1969	Humusgehalte	-	-
		Instabiliteit	1,06	1,01
	1970	Humusgehalte	2,13	2,08
		Instabiliteit	1,08	1,07
	1971	Humusgehalte	2,22	2,16
		Instabiliteit	1,32	1,29
Suiker- bieten	1969	Humusgehalte	-	-
		Instabiliteit	1,20	1,14
	1970	Humusgehalte	2,21	2,14
		Instabiliteit	0,99	0,98
	1971	Humusgehalte	2,20	2,16
		Instabiliteit	1,42	1,33

#### 4.1.6. Interacties.

Door de variantie-analyse werden eveneens een aantal interacties getest.

De berekende interacties zijn de volgende :



- de organische bemestingen in de bodemtypes,
- met en zonder schuimkalk in de bodemtypes,
- met en zonder schuimkalk in de organische bemestingen,
- met en zonder schuimkalk in de organische bemestingen en in de bodemtypes.

Significante F-waarden voor 95 % of meer komen bijna niet voor, wat betekent dat er praktisch geen specifiek effect is van een onderzochte factor op een welbepaalde andere factor. Om deze reden worden dan ook de interactie-tabellen weggelaten.

#### 4.2. Confrontatie van de instabiliteitswaarden bekomen op de proefvelden te Juprelle en Alleur met de bodemcomponenten (textuur, humus en calciumcarbonaat), rekening houdend met het gewas.

##### 4.2.1. Factoren die de aggregaatinstabiliteit beïnvloeden.

Zoals uit de voorgaande tekst herhaaldelijk is gebleken, kan de invloed van de weersomstandigheden op de gevonden instabiliteitswaarden in een bepaald jaar zeer groot zijn, doch is het tevens moeilijk precies het aandeel van deze invloed op het resultaat vast te stellen. Refereren we in dit verband naar de invloed van de bemonsteringsdiepte (hoofdstuk II, 1.1.2.), van de wijze van bevochtigen (hoofdstuk II, 1.5.2.), van het weder tijdens de vegetatieperiode (hoofdstuk III, 2.1. en 2.2.) en naar de verschillen in instabiliteit van jaar tot jaar (hoofdstuk III, 4.1.1.). A fortiori is het opsporen van het effect van iedere klimaatsfactor afzonderlijk zoals temperatuur, neerslag, vorst, enz., in een veldstudie onmogelijk, zodat hierop niet verder op ingegaan wordt.

Wel willen we hierna trachten de invloed na te gaan van de bodembestanddelen (textuur, humus en calciumcarbonaat) op de instabiliteit. Dit zal gebeuren op dezelfde wijze als voor de monsters van Oost-Vlaanderen, met dien verstande dat hier de textuurvariëaties gering zijn.

De berekeningen gebeuren met de resultaten van de bemonsteringen van 1970 en 1971, daar dit de jaren zijn waarvoor alle nodige gegevens beschikbaar zijn. De analyses worden uitgevoerd rekening houdend met het gewas omdat dit overeenstemt met de werkwijze voor de andere berekeningen en ook omdat er jaarlijks verschillen in instabiliteit gevonden worden per gewas. De resultaten zijn vermeld in de tabellen 47, 48, 49, 50, 51 en 52, waarna een korte bespreking en een vergelijking volgt met de resultaten bekomen op de monsters van Oost-Vlaanderen.

TABEL 47.

Correlatiecoëfficiënten tussen instabiliteit (y) en textuur [klei < 2  $\mu\text{m}$ (2), leem 2-50  $\mu\text{m}$ (3), zand > 50  $\mu\text{m}$ (4)], humusgehalte in % (5) en  $\text{CaCO}_3$ -gehalte in % (6) voor de percelen met het gewas wintergerst in 1970.

\* significantie 95 %

\*\* significantie 99 %

Veranderlijken t.o.v. de instabiliteit	Correlatiecoëfficiënten			
		klei (2)	leem (3)	zand (4)
1) Instabiliteit t.o.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte	$r_{y6} = -0,29^{**}$	$r_{y6.2} = -0,27^{**}$	$r_{y6.3} = -0,25^*$	$r_{y6.4} = -0,25^*$
2) Instab. t.o.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte, % humus konstant	$r_{y6.5} = -0,31^{**}$	$r_{y6.52} = -0,28^{**}$	$r_{y6.53} = -0,26^*$	$r_{y6.54} = -0,27^{**}$
3) Instab. t.o.v. % humus	$r_{y5}$	$r_{y5.2} = -0,61^{**}$	$r_{y5.3} = -0,61^{**}$	$r_{y5.4} = -0,58^{**}$
4) Instab. t.o.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ konstant	$r_{y5.6} = -0,59^{**}$	$r_{y5.62} = -0,61^{**}$	$r_{y5.63} = -0,61^{**}$	$r_{y5.64} = -0,58^{**}$
5) Instab. t.o.v. textuur		Textuur, reële waarden		
6) Instab. t.o.v. textuur, % $\text{CaCO}_3$ konstant		$r_{y2} = -0,22^*$	$r_{y3} = 0,26^{**}$	$r_{y4} = -0,18$
7) Instab. t.o.v. textuur, % humus konstant		$r_{y2.6} = -0,19$	$r_{y3.6} = 0,21^*$	$r_{y4.6} = -0,09$
8) Instab. t.o.v. textuur, % humus en % $\text{CaCO}_3$ konstant		$r_{y2.5} = -0,30^{**}$	$r_{y3.5} = 0,34^{**}$	$r_{y4.5} = -0,16$
9) Instab. t.o.v. % $\text{CaCO}_3$ en textuur		$r_{y2.56} = -0,28^{**}$	$r_{y3.56} = 0,30^{**}$	$r_{y4.56} = -0,06$
10) Instab. t.o.v. % humus en textuur		$R_{y.62} = 0,34^{**}$	$R_{y.63} = 0,36^{**}$	$R_{y.64} = 0,30^*$
11) Instab. t.o.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ en textuur	$R_{y.56} = 0,63^{**}$	$R_{y.52} = 0,63^{**}$	$R_{y.53} = 0,64^{**}$	$R_{y.54} = 0,60^{**}$
		$R_{y.652} = 0,67^{**}$	$R_{y.653} = 0,67^{**}$	$R_{y.654} = 0,63^{**}$

TABEL 48.

Correlatiecoëfficiënten tussen instabiliteit (y) en textuur [ klei < 2  $\mu$ m(2), leem 2-50  $\mu$ m (3), zand > 50  $\mu$ m(4) ], humusgehalte in % (5) en CaCO<sub>3</sub>-gehalte in % (6) voor de percelen met het gewas wintergerst in 1971.

\* significantie 95 %

\*\* significantie 99 %

Veranderlijken t.o.v. de instabiliteit	Correlatiecoëfficiënten			
	r <sub>y6</sub>	Textuur konstant		zand (4)
		klei (2)	leem (3)	
1) Instabiliteit t.o.v. CaCO <sub>3</sub> -gehalte	r <sub>y6</sub> = - 0,39**	r <sub>y6.2</sub> = - 0,43**	r <sub>y6.3</sub> = - 0,42**	r <sub>y6.4</sub> = - 0,38**
2) Instab. t.o.v. CaCO <sub>3</sub> -gehalte, % humus konstant	r <sub>y6.5</sub> = - 0,15	r <sub>y6.52</sub> = - 0,17	r <sub>y6.53</sub> = - 0,17	r <sub>y6.54</sub> = - 0,16
3) Instab. t.o.v. % humus	r <sub>y5</sub> = - 0,75**	r <sub>y5.2</sub> = - 0,73**	r <sub>y5.3</sub> = - 0,73**	r <sub>y5.4</sub> = - 0,74**
4) Instab. t.o.v. % humus, % CaCO <sub>3</sub> konstant	r <sub>y5.6</sub> = - 0,70**	r <sub>y5.62</sub> = - 0,67**	r <sub>y5.63</sub> = - 0,67**	r <sub>y5.64</sub> = - 0,70**
5) Instab. t.o.v. textuur		Textuur, reële waarden		
6) Instab. t.o.v. textuur, % CaCO <sub>3</sub> konstant		r <sub>y2</sub> = - 0,20	r <sub>y3</sub> = 0,25*	r <sub>y4</sub> = - 0,13
7) Instab. t.o.v. textuur, % humus konstant		r <sub>y2.6</sub> = - 0,26*	r <sub>y3.6</sub> = 0,29**	r <sub>y4.6</sub> = - 0,06
8) Instab. t.o.v. textuur, % humus en % CaCO <sub>3</sub> konstant		r <sub>y2.5</sub> = - 0,07	r <sub>y3.5</sub> = 0,05	r <sub>y4.5</sub> = 0,07
9) Instab. t.o.v. % CaCO <sub>3</sub> en textuur		r <sub>y2.56</sub> = - 0,10	r <sub>y3.56</sub> = 0,08	r <sub>y4.56</sub> = 0,08
10) Instab. t.o.v. % humus en textuur		R <sub>y.62</sub> = 0,46**	R <sub>y.63</sub> = 0,48**	R <sub>y.64</sub> = 0,40**
11) Instab. t.o.v. % humus, % CaCO <sub>3</sub> en textuur	R <sub>y.56</sub> = 0,75**	R <sub>y.52</sub> = 0,75**	R <sub>y.53</sub> = 0,75**	R <sub>y.54</sub> = 0,75**
		R <sub>y.652</sub> = 0,76**	R <sub>y.653</sub> = 0,76**	R <sub>y.654</sub> = 0,76**

TABEL 49.

Correlatiecoëfficiënten tussen instabiliteit (y) en textuur [klei < 2,  $\mu_m(2)$ , leem 2-50  $\mu_m(3)$ , zand > 50  $\mu_m(4)$ ], humusgehalte in % (5) en  $\text{CaCO}_3$ -gehalte in % (6) voor de percelen met het gewas wintertarwe in 1970.

\* significantie 95 %

\*\* significantie 99 %

Veranderlijken t.o.v. de instabiliteit	Correlatiecoëfficiënten			
	klei (2)		Textuur konstant	
	r <sub>y6.2</sub>	r <sub>y6.3</sub>	r <sub>y6.53</sub>	r <sub>y6.54</sub>
1) Instabiliteit t.o.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte	r <sub>y6</sub> = - 0,42**	r <sub>y6.2</sub> = - 0,43**	r <sub>y6.3</sub> = - 0,43**	r <sub>y6.4</sub> = - 0,38**
2) Instab. t.o.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte, % humus konstant	r <sub>y6.5</sub> = - 0,39**	r <sub>y6.52</sub> = - 0,38**	r <sub>y6.53</sub> = - 0,39**	r <sub>y6.54</sub> = - 0,36**
3) Instab. t.o.v. % humus	r <sub>y5</sub> = - 0,62**	r <sub>y5.2</sub> = - 0,62**	r <sub>y5.3</sub> = - 0,60**	r <sub>y5.4</sub> = - 0,61**
4) Instab. t.o.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ konstant	r <sub>y5.6</sub> = - 0,61**	r <sub>y5.62</sub> = - 0,60**	r <sub>y5.63</sub> = - 0,58**	r <sub>y5.64</sub> = - 0,60**
5) Instab. t.c.v. textuur			Textuur, reële waarden	
6) Instab. t.c.v. textuur, % $\text{CaCO}_3$ konstant		r <sub>y2</sub> = - 0,10	r <sub>y3</sub> = 0,19	r <sub>y4</sub> = - 0,29**
7) Instab. t.c.v. textuur, % humus konstant		r <sub>y2.6</sub> = - 0,15	r <sub>y3.6</sub> = 0,21*	r <sub>y4.6</sub> = - 0,22*
8) Instab. t.o.v. textuur, % humus en % $\text{CaCO}_3$ konstant		r <sub>y2.5</sub> = 0,09	r <sub>y3.5</sub> = - 0,02	r <sub>y4.5</sub> = - 0,24*
9) Instab. t.o.v. % $\text{CaCO}_3$ en textuur		r <sub>y2.56</sub> = 0,04	r <sub>y3.56</sub> = 0,01	r <sub>y4.56</sub> = - 0,17
10) Instab. t.o.v. % humus en textuur		R <sub>y.62</sub> = 0,44**	R <sub>y.63</sub> = 0,46**	R <sub>y.64</sub> = 0,47**
11) Instab. t.o.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ en textuur	R <sub>y.56</sub> = 0,69**	R <sub>y.52</sub> = 0,63**	R <sub>y.53</sub> = 0,62**	R <sub>y.54</sub> = 0,65**
		R <sub>y.652</sub> = 0,69**	R <sub>y.653</sub> = 0,69**	R <sub>y.654</sub> = 0,70**

TABEL 50.

Correlatiecoëfficiënten tussen instabiliteit (y) en textuur [klei < 2 $\mu$ m(2), leem 2-50  $\mu$ m(3), zand > 50  $\mu$ m(4)], humusgehalte in % (5) en CaCO<sub>3</sub>-gehalte in % (6) voor de percelen met het gewas wintertarwe in 1971.

\* significantie 95 %

\*\* significantie 99 %

Veranderlijken t.o.v. de instabiliteit	Correlatiecoëfficiënten			
	r <sub>y6</sub>	klei (2) r <sub>y6.2</sub> = - 0,28**	leem (3) r <sub>y6.3</sub> = - 0,24*	zand (4) r <sub>y6.4</sub> = - 0,25*
1) Instabiliteit t.o.v. CaCO <sub>3</sub> -gehalte	r <sub>y6</sub> = - 0,24*	r <sub>y6.2</sub> = - 0,28**	r <sub>y6.3</sub> = - 0,24*	r <sub>y6.4</sub> = - 0,25*
2) Instab. t.o.v. CaCO <sub>3</sub> -gehalte, % humus konstant	r <sub>y6.5</sub> = - 0,07	r <sub>y6.52</sub> = - 0,12	r <sub>y6.53</sub> = - 0,05	r <sub>y6.54</sub> = - 0,09
3) Instab. t.o.v. % humus	r <sub>y5</sub> = - 0,60**	r <sub>y5.2</sub> = - 0,65**	r <sub>y5.3</sub> = - 0,65**	r <sub>y5.4</sub> = - 0,59**
4) Instab. t.o.v. % humus, % CaCO <sub>3</sub> konstant	r <sub>y5.6</sub> = - 0,56**	r <sub>y5.62</sub> = - 0,62**	r <sub>y5.63</sub> = - 0,62**	r <sub>y5.64</sub> = - 0,56**
		Textuur, reële waarden		
5) Instab. t.o.v. textuur	r <sub>y2</sub> = - 0,23*	r <sub>y2</sub> = - 0,23*	r <sub>y3</sub> = 0,26*	r <sub>y4</sub> = - 0,05
6) Instab. t.o.v. textuur, % CaCO <sub>3</sub> konstant	r <sub>y2.6</sub> = - 0,28**	r <sub>y2.6</sub> = - 0,28**	r <sub>y3.6</sub> = 0,26*	r <sub>y4.6</sub> = 0,09
7) Instab. t.o.v. textuur, % humus konstant	r <sub>y2.5</sub> = - 0,39**	r <sub>y2.5</sub> = - 0,39**	r <sub>y3.5</sub> = 0,40**	r <sub>y4.5</sub> = 0,02
8) Instab. t.o.v. textuur, % humus en % CaCO <sub>3</sub> konstant	r <sub>y2.56</sub> = - 0,40**	r <sub>y2.56</sub> = - 0,40**	r <sub>y3.56</sub> = 0,39**	r <sub>y4.56</sub> = 0,06
9) Instab. t.o.v. % CaCO <sub>3</sub> en textuur	R <sub>y.62</sub> = 0,36**	R <sub>y.62</sub> = 0,36**	R <sub>y.63</sub> = 0,35**	R <sub>y.64</sub> = 0,26*
10) Instab. t.o.v. % humus en textuur	R <sub>y.52</sub> = 0,67**	R <sub>y.52</sub> = 0,67**	R <sub>y.53</sub> = 0,68**	R <sub>y.54</sub> = 0,60**
11) Instab. t.o.v. % humus, % CaCO <sub>3</sub> en textuur	R <sub>y.56</sub> = 0,60**	R <sub>y.56</sub> = 0,68**	R <sub>y.653</sub> = 0,68**	R <sub>y.654</sub> = 0,60**

TABEL 51.

Correlatiecoëfficiënten tussen instabiliteit (y) en textuur [klei < 2  $\mu\text{m}$ (2), leem 2-50  $\mu\text{m}$  (3), zand > 50  $\mu\text{m}$ (4)], humusgehalte in % (5) en  $\text{CaCO}_3$ -gehalte in % (6) voor de percelen met het gewas suikerbieten in 1970.

\* significantie 95 %

\*\* significantie 99 %

Veranderlijken t.o.v. de instabiliteit	Correlatiecoëfficiënten			
	$r_{y6}$	klei (2)	leem (3)	zand (4)
1) Instabiliteit t.o.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte	$r_{y6} = -0,29^{**}$	$r_{y6.2} = -0,29^{**}$	$r_{y6.3} = -0,17$	$r_{y6.4} = -0,30^{**}$
2) Instab. t.o.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte, % humus konstant	$r_{y6.5} = -0,14$	$r_{y6.52} = -0,06$	$r_{y6.53} = 0,10$	$r_{y6.54} = -0,16$
3) Instab. t.o.v. % humus	$r_{y5} = -0,38^{**}$	$r_{y5.2} = -0,52^{**}$	$r_{y5.3} = -0,51^{**}$	$r_{y5.4} = -0,38^{**}$
4) Instab. t.o.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ konstant	$r_{y5.6} = -0,30^{**}$	$r_{y5.62} = -0,46^{**}$	$r_{y5.63} = -0,49^{**}$	$r_{y5.64} = -0,29^{**}$
5) Instab. t.o.v. textuur		Textuur, reële waarden		
6) Instab. t.o.v. textuur, % $\text{CaCO}_3$ konstant		$r_{y2} = -0,58^{**}$	$r_{y3} = 0,63^{**}$	$r_{y4} = -0,07$
7) Instab. t.o.v. textuur, % humus konstant		$r_{y2.6} = -0,58^{**}$	$r_{y3.6} = 0,60^{**}$	$r_{y4.6} = 0,09$
8) Instab. t.o.v. textuur, % humus en % $\text{CaCO}_3$ konstant		$r_{y2.5} = -0,66^{**}$	$r_{y3.5} = 0,69^{**}$	$r_{y4.5} = -0,01$
9) Instab. t.o.v. % $\text{CaCO}_3$ en textuur		$r_{y2.56} = -0,65^{**}$	$r_{y3.56} = 0,68^{**}$	$r_{y4.56} = 0,07$
10) Instab. t.o.v. % humus en textuur		$R_{y.62} = 0,63^{**}$	$R_{y.63} = 0,64^{**}$	$R_{y.64} = 0,30^*$
11) Instab. t.c.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ en textuur	$R_{y.56} = 0,41^{**}$	$R_{y.52} = 0,72^{**}$	$R_{y.53} = 0,74^{**}$	$R_{y.54} = 0,38^{**}$
		$R_{y.652} = 0,72^{**}$	$R_{y.653} = 0,74^{**}$	$R_{y.654} = 0,41^{**}$

TABEL 52.

Correlatiecoëfficiënten tussen instabiliteit (y) en textuur [klei <  $2 \mu_m(2)$ , leem 2-50  $\mu_m(3)$ , zand > 50  $\mu_m(4)$ ], humusgehalte in % (5) en  $\text{CaCO}_3$ -gehalte in % (6) voor de percelen met het gewas suikerbieten in 1971.

\* significantie 95 %

\*\* significantie 99 %

Veranderlijken t.o.v. de instabiliteit	Correlatiecoëfficiënten			
	$r_{y6}$	klei (2) $r_{y6.2}$	leem (3) $r_{y6.3}$	zand (4) $r_{y6.4}$
1) Instabiliteit t.o.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte	= - 0,26*	= - 0,24*	= - 0,22*	= - 0,29**
2) Instab. t.c.v. $\text{CaCO}_3$ -gehalte, % humus konstant	= - 0,22*	= - 0,20	= - 0,18	= - 0,28**
3) Instab. t.c.v. % humus	= - 0,42**	= - 0,42**	= - 0,41**	= - 0,44**
4) Instab. t.c.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ konstant	= - 0,40**	= - 0,40**	= - 0,39**	= - 0,43**
5) Instab. t.c.v. textuur				
6) Instab. t.o.v. textuur, % $\text{CaCO}_3$ konstant		$r_{y2}$ = - 0,33**	Textuur, reële waarden $r_{y3}$ = 0,32**	$r_{y4}$ = 0,05
7) Instab. t.o.v. textuur, % humus konstant		$r_{y2.6}$ = - 0,32**	$r_{y3.6}$ = 0,29**	$r_{y4.6}$ = 0,15
8) Instab. t.o.v. textuur, % humus en % $\text{CaCO}_3$ konstant		$r_{y2.5}$ = - 0,33**	$r_{y3.5}$ = 0,30**	$r_{y4.5}$ = 0,15
9) Instab. t.o.v. % $\text{CaCO}_3$ en textuur		$r_{y2.56}$ = - 0,32**	$r_{y3.56}$ = 0,27**	$r_{y4.56}$ = 0,23*
10) Instab. t.o.v. % humus en textuur		$R_{y.62}$ = 0,40**	$R_{y.63}$ = 0,38**	$R_{y.64}$ = 0,29*
11) Instab. t.o.v. % humus, % $\text{CaCO}_3$ en textuur	$R_{y.56}$ = 0,46**	$R_{y.52}$ = 0,52**	$R_{y.53}$ = 0,50**	$R_{y.54}$ = 0,44**
		$R_{y.652}$ = 0,54**	$R_{y.653}$ = 0,52**	$R_{y.654}$ = 0,51**

#### 4.2.1.1. Verband tussen de aggregaatinstabiliteit en het $\text{CaCO}_3$ -gehalte.

Uit voorgaande tabellen volgt dat er tussen de aggregaatinstabiliteit en het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte een lineair verband bestaat met significante negatieve correlatie-coëfficiënten ( $r_{y6}$  begrepen tussen  $-0,24$  en  $-0,42$ ). Dit is in tegenstelling met de resultaten voor de monsters van Oost-Vlaanderen, waar geen significant verband gevonden werd tussen deze 2 grootheden. Deze vaststelling is eveneens in tegenspraak met de variantie-analyse in tabel 46, waar voor 1970 geen verschil in instabiliteit gevonden wordt tussen de 2 bekalkingsvormen voor de 3 gewassen, terwijl in 1971 voor de percelen met gerst en suikerbieten een omgekeerd effect waargenomen wordt, nl. de beste stabiliteit wordt gevonden op de percelen "zonder schuimkalk".

Worden bij de vergelijking van de instabiliteit en het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte de verschillende textuurfracties om beurten konstant gehouden dan vinden we partiële correlatiecoëfficiënten ( $r_{y6.2}$  ;  $r_{y6.3}$  ;  $r_{y6.4}$ ) die over het algemeen rond dezelfde waarde van  $r_{y6}$  schommelen.

Door gebruik te maken van de correlatie tussen de instabiliteit en het humusgehalte ( $r_{y5}$ ) enerzijds en de correlatie tussen het humusgehalte en het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte ( $r_{65}$ ) anderzijds, kunnen we de partiële correlatiecoëfficiënt  $r_{y6.5}$  berekenen (het verband tussen de instabiliteit en het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte als het humusgehalte konstant wordt gehouden)(\*). Deze partiële correlatiecoëfficiënten hebben over het algemeen een lagere waarde dan de enkelvoudige correlatiecoëfficiënten en zijn in 4 van de 6 gevallen niet meer of nog nauwelijks significant. Dit is te wijten aan de hoge negatieve correlatiecoëfficiënten tussen humusgehalte en instabiliteit en de af en toe bestaande geringe positieve correlatie tussen het humusgehalte en het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte. Het is inderdaad zo dat naast de reeds vermelde iets hogere humusgehalten op de percelen "met schuimkalk" er nog een grotere factor een rol speelt in de correlatie tussen het %  $\text{CaCO}_3$  en het % humus, nl. dat de velden Bierset en Xhendremael samen met het hoogste  $\text{CaCO}_3$ -gehalte eveneens het hoogste humusgehalte bezitten, waardoor de enkelvoudige correlaties tussen het %  $\text{CaCO}_3$  en de instabiliteit betrekkelijk hoog liggen (bijkomend effect van het humusgehalte dat verdwijnt bij de partiële correlatiecoëfficiënten  $r_{y6.5}$ ). Vooral voor 1971 zijn de partiële correlatiecoëfficiënten niet meer significant, wat dan reeds beter in overeenstemming is met tabel 46.

(\*) Dit betekent dat de instabiliteitswaarden in zulke mate gewijzigd worden dat deze enkel variëren met het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte en de invloed van het humusgehalte uitgeschakeld wordt.



Worden naast het humusgehalte ook de verschillende textuurfracties om beurten konstant gehouden ( $r_{y6.52}$ ;  $r_{y6.53}$  en  $r_{y6.54}$ ) dan schommelen deze waarden rond de gevonden  $r_{y6.5}$ -waarden en zijn ze in vele gevallen evenmin significant.

Worden de gegevens per veld of per veld en per bodemtype afzonderlijk vergeleken, dan constateren we vooral voor 1971 een positieve trend tussen de instabiliteit en het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte, overeenkomstig tabel 46. Dit legt uit dat de gevonden negatieve tendens in de 6 tabellen hoofdzakelijk te wijten is aan het verschil in de velden en dat nog andere factoren dan de hier onderzochte een invloed hebben op de instabiliteitswaarden voor de verschillende velden. Dit alles moet leiden tot de conclusie dat het toedienen van schuimkalk op kalkhoudende leemgronden geen positief effect (meer)(\*) heeft op de stabiliteit van de aggregaten.

#### 4.2.1.2. Verband tussen de aggregaatinstabiliteit en het humusgehalte.

Zoals algemeen verwacht en in overeenstemming met de resultaten voor de monsters van Oost-Vlaanderen vinden we een lineair verband met hoge significante negatieve correlatiecoëfficiënten tussen de instabiliteitswaarden en het humusgehalte ( $r_{y5}$  begrepen tussen  $-0,38$  en  $-0,75$ ). Door het uitschakelen van textuurinvloeden en  $\text{CaCO}_3$ -gehalten vinden we partiële correlatie-coëfficiënten die weinig van de enkelvoudige correlatie-coëfficiënten afwijken. Op te merken valt dat voor de gerst- en tarwepercelen de verbanden tussen deze 2 grootheden heel wat beter schijnen te zijn dan op de bietenpercelen. Daar de monsters oppervlakkig genomen worden (tussen 1 en 5 cm diepte) is er steeds een effect van weersinvloeden aanwezig, dat het meest uitgesproken is op de bietenpercelen die bij de monsternamen nog los geploegd liggen, waardoor de correlatie tussen het humusgehalte en de instabiliteit vermindert ten voordele van een betere correlatie tussen textuur en instabiliteit (zie verder).

#### 4.2.1.3. Verband tussen de aggregaatinstabiliteit en de textuur.

De enkelvoudige correlatiecoëfficiënten voor de gerst- en tarwepercelen zijn niet of nauwelijks significant, terwijl voor de bietenpercelen het lineair verband duidelijk beter is. Dit kan naar onze mening gedeeltelijk teruggebracht worden tot grotere weersinvloeden op "naakte" bodems zoals hiervoor vermeld. Door de losse stapeling zullen er gemakkelijk breuken

(\*) in 1970 en 1971 ! - hierbij bedenkend dat de laatste toediening van schuimkalk plaats had in 1968.

en spleten gevormd worden in de aggregaten waardoor de stabiliteit dan ook in grotere mate zal gecorreleerd zijn met factoren die de cohesie tussen de deeltjes bepalen (o.a. met de textuur). We vinden dan ook een negatief verband tussen instabiliteit en kleigehalte, terwijl voor de leemfractie een positieve correlatie gevonden wordt. Een significant verband tussen instabiliteit en zandgehalte wordt over het algemeen niet gevonden. Door het konstant houden van het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte en (of) humusgehalte worden partiële correlatiecoëfficiënten bekomen die afwisselend hogere en lagere waarden dan de enkelvoudige coëfficiënten aannemen.

#### 4.2.1.4. Meervoudige correlatiecoëfficiënten.

De meervoudige correlatiecoëfficiënten tussen de instabiliteit en de drie onderzochte onafhankelijke veranderlijken liggen tamelijk ver uit mekaar met relatief hoge waarden voor de meervoudige correlatiecoëfficiënten tussen de 4 veranderlijken. Deze waarden schommelen tussen 0,41 en 0,76. Dit betekent dat in dit laatste geval  $\pm 58\%$  van de veranderingen in aggregaatstabiliteit te wijten zijn aan deze 3 factoren. Deze hoge correlatiecoëfficiënten zijn grotendeels te wijten aan het verband tussen het humusgehalte en de instabiliteit zoals ook gevonden werd voor de monsters van Oost-Vlaanderen. Dit is enerzijds af te leiden uit de enkelvoudige en de partiële correlatiecoëfficiënten (hiervoor vermeld) en anderzijds door vergelijking van de meervoudige correlatiecoëfficiënten. Door vergelijking van nr 9 met nr 11 in de 6 tabellen constateren we een gevoelige stijging van de meervoudige correlatiecoëfficiënten, te wijten aan het inbrengen van het humusgehalte.

Het aandeel van het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte in de meervoudige regressie is praktisch nihil (door vergelijking van nr 10 met nr 11), terwijl het effect van de verschillende textuurfracties eveneens te verwaarlozen is in de meeste gevallen (uitgezonderd voor suikerbieten), wat te schatten is door vergelijking onder nr 11 in de verschillende tabellen van  $R_{y.65}$  met  $R_{y.652}$ ;  $R_{y.653}$  en  $R_{y.654}$ .

Als conclusie kunnen we stellen dat de instabiliteit van de aggregaten op de proefvelden in Haspengouw in grote mate negatief beïnvloed wordt door het humusgehalte. Er bestaat geen negatief verband tussen de instabiliteit en het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte op deze kalkhoudende gronden; terwijl de invloed van de verschillende textuurfracties op de instabiliteit betrekkelijk gering is, alhoewel er een negatieve tendens bestaat tussen de instabiliteit en het kleigehalte en een positieve tendens tussen de instabiliteit en de leemfractie.

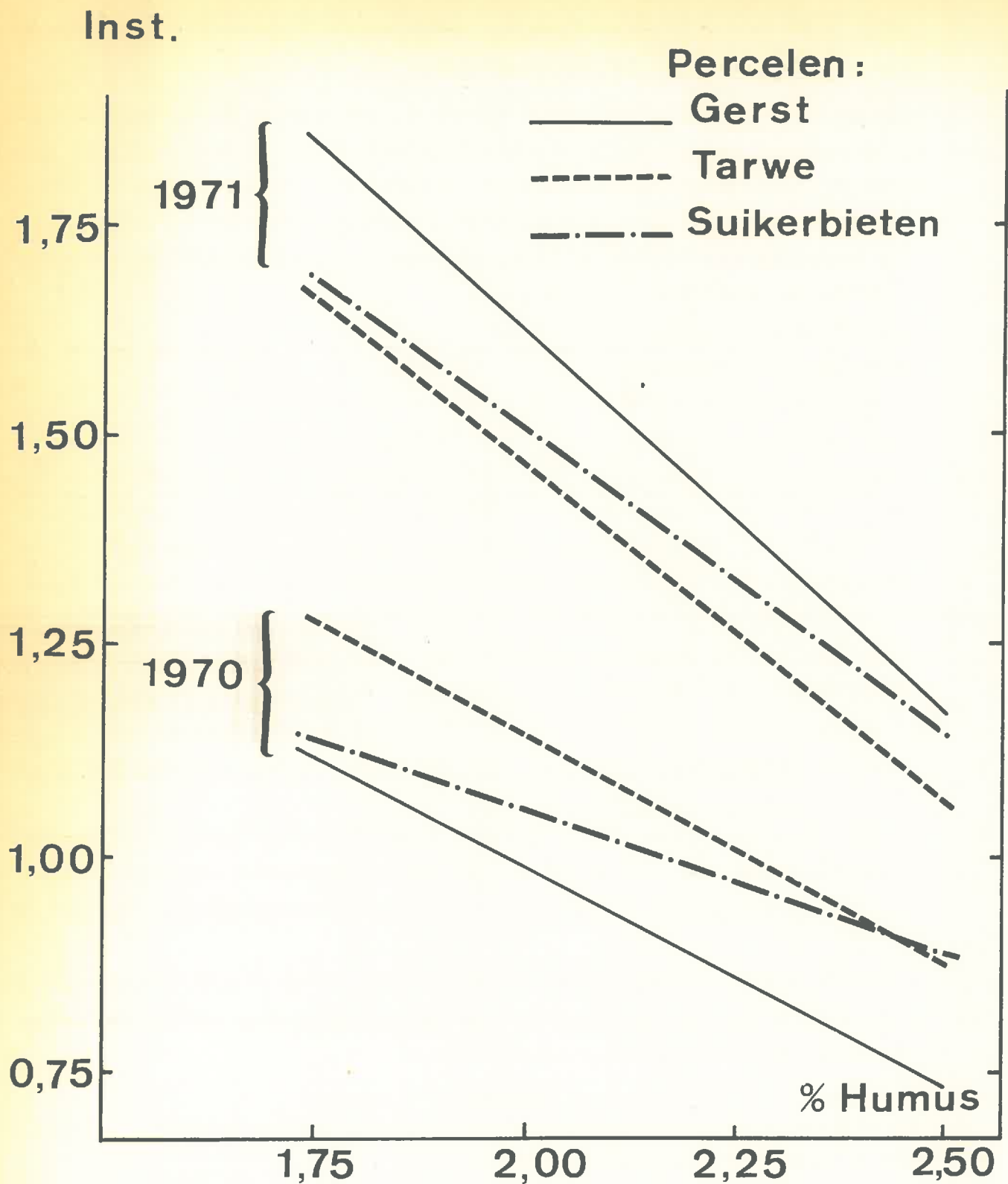


Fig.12. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte per gewas voor 1970 en 1971

#### 4.2.2. Meer gedetailleerde studie van het lineair verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte.

Gelet op voorgaande besluiten hebben we het nuttig geoordeeld het lineair verband tussen het % organisch materiaal en de instabiliteit grondiger te bestuderen. (steeds met de gegevens van de jaren 1970 en 1971 waarbij de verschillende gewassen afzonderlijk gehouden worden).

De vergelijking tussen de instabiliteit en het humusgehalte gebeurt:

- per gewas en voor de 2 jaren;
- per jaar en voor de 3 gewassen;
- per gewas en per jaar voor de 3 bodemtypes;
- per gewas en per jaar voor de 4 organische bemestingen;
- per gewas en per jaar voor de 2 bekalkingsvormen.

Deze studie is gebaseerd op het vergelijken van regressierechten nl. het toetsen van regressierechten op hun evenwijdigheid en eventueel hun gelijkheid, waarbij het mogelijk wordt eventueel specifieke effecten van het humusgehalte en bepaalde invloeden buiten het humusgehalte, die een rol spelen in de instabiliteit, te achterhalen.

De gevolgde berekeningswijze is deze zoals beschreven in de cursus statistiek (Rotti), waarbij de berekeningen door het groot aantal herhalingen (96 per gewas) met de computer werden uitgevoerd.

##### 4.2.2.1. Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas voor de 2 jaren.

Hier wordt nagegaan of het lineair verband tussen deze 2 grootheden per gewas van dezelfde orde is door de jaren heen, m.a.w. zijn de instabiliteitswaarden ongeveer identisch voor hetzelfde humusgehalte in 1970 en 1971.

De berekende regressierechten zien er uit zoals fig.12 illustreert en worden in tabel 53 door de volgende vergelijkingen (waarin  $y$  = instabiliteit en  $x$  = % humus) voorgesteld.

TABEL 53.

De regressierechten die het verband aangeven tussen de instabiliteit en het % humus per gewas voor 1970 en 1971.

Gewas	Regressierechten	
	1970	1971
Gerst	$y = -0,52 x + 2,03$	$y = -0,90 x + 3,42$
Tarwe	$y = -0,53 x + 2,20$	$y = -0,80 x + 3,06$
Suikerbieten	$y = -0,33 x + 1,71$	$y = -0,71 x + 2,92$

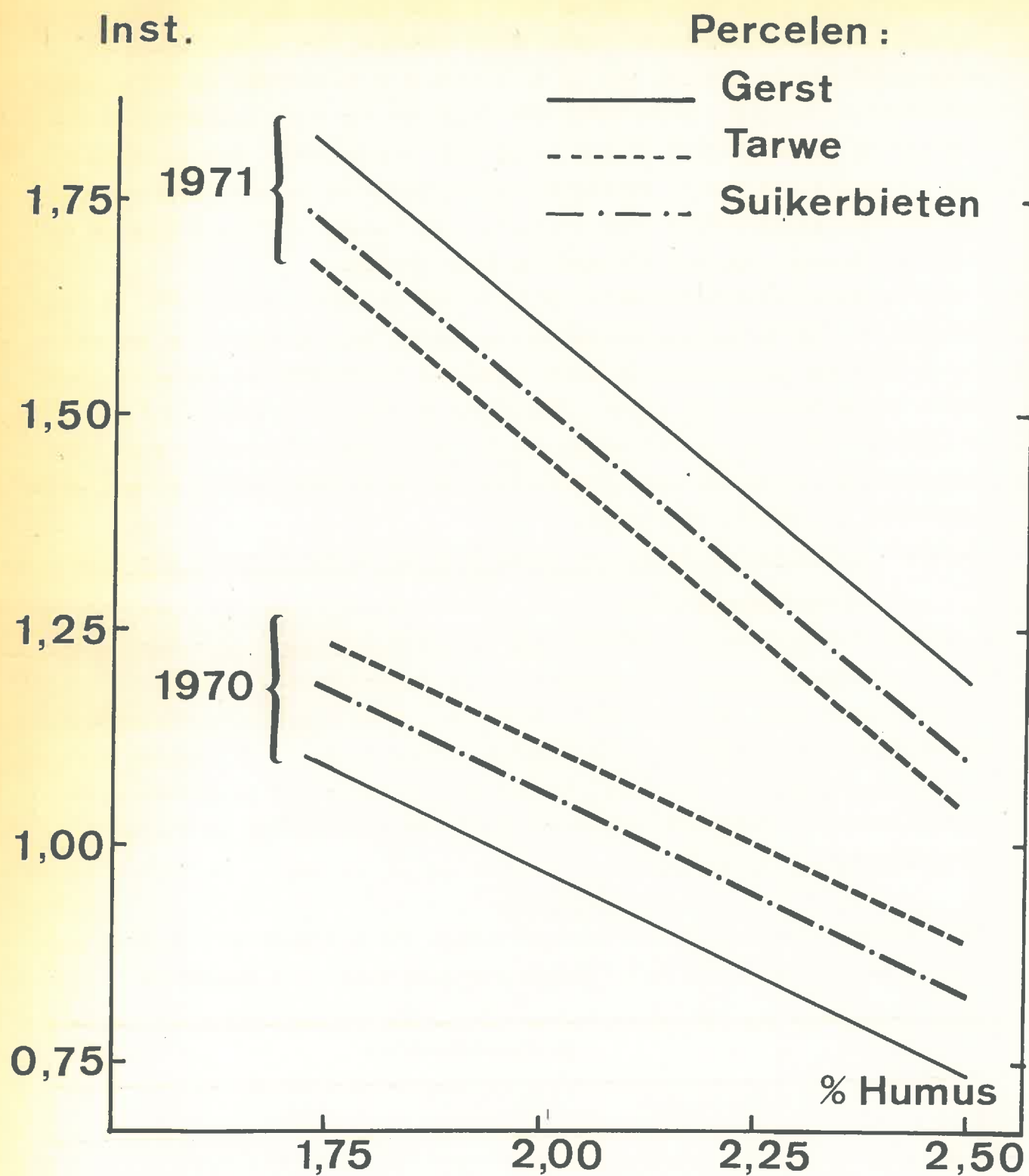


Fig.13. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de 3 gewassen per jaar (aangepaste // rechten).

Uit de regressie-analyse is gebleken dat de 2 aan 2 te vergelijken rechten ( per gewas voor 1970 en 1971 ) niet evenwijdig zijn, waardoor de analyse op de gelijkheid automatisch vervalt; uit de grafieken en vergelijkingen is evenwel ook af te leiden dat de rechten in 1971 significant hoger liggen dan in 1970. Dit betekent dat voor eenzelfde humusgehalte de instabiliteit groter is in 1971 dan in 1970. Dit is eveneens uit de resultaten van de stabiliteitsbepalingen op de structuurproefvelden in Haspengouw ( Hoofdstuk III; 4.1.1. en 4.2.2. ) af te leiden en de daar geciteerde oorzaken blijven ook hier geldig.

Ook de regressiecoëfficiënten zijn groter in 1971 dan in 1970. In fig. 12 zien we dat de regressierechten van beide jaren grosso modo convergeren naar een instabiliteitswaarde nul bij vergelijkbare humusgehalten. Dit naderen tot nul bij vergelijkbare humusgehalten betekent dat bij stijgende gehalten aan organisch materiaal de instabiliteit van de oorspronkelijk minst stabiele aggregaten (bij lage humusgehalten) het meest effectief zal beïnvloed worden.

#### 4.2.2.2. Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per jaar voor de 3 gewassen.

De berekende regressierechten zijn dezelfde als hiervoor vermeld, maar de onderlinge vergelijking gebeurt op een andere basis.

Zowel voor 1970 als voor 1971 vinden we dat de regressiecoëfficiënten onderling niet significant verschillend zijn, maar dat de rechten toch niet samenvallen. In dit geval kunnen de 3 rechten per jaar vervangen worden door 3 rechten die evenwijdig zijn en voldoen aan de volgende uitdrukkingen ( tabel 54 ).

TABEL 54.

De aangepaste evenwijdige regressierechten die het verband aangeven tussen de instabiliteit en het % humus per jaar voor de 3 gewassen.

Gewas	Regressierechten	
	1970	1971
Gerst	$y = -0,47 x + 1,91$	$y = -0,82 x + 3,24$
Tarwē	$y = -0,47 x + 2,06$	$y = -0,82 x + 3,09$
Suikerbieten	$y = -0,47 x + 2,00$	$y = -0,82 x + 3,15$

De nieuwe vergelijkingen worden voorgesteld in fig. 13..

Dat voor eenzelfde jaar de rechten niet samenvallen vindt o.a. zijn oorzaak in het verschil in vochttoestand van de bodem bij het bewerken

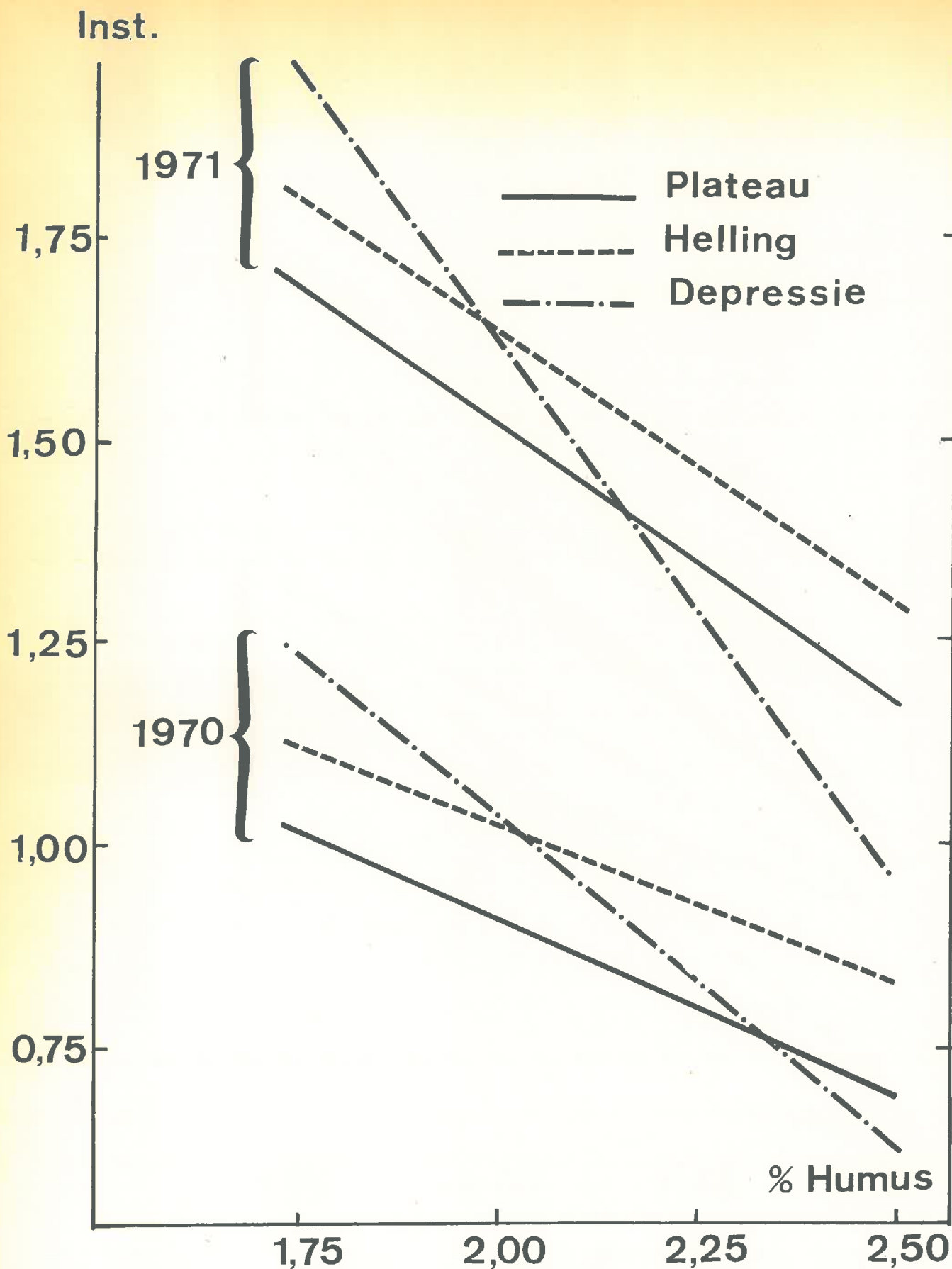


Fig.14. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met "wintergerst" per jaar en voor de 3 bodemtypen.

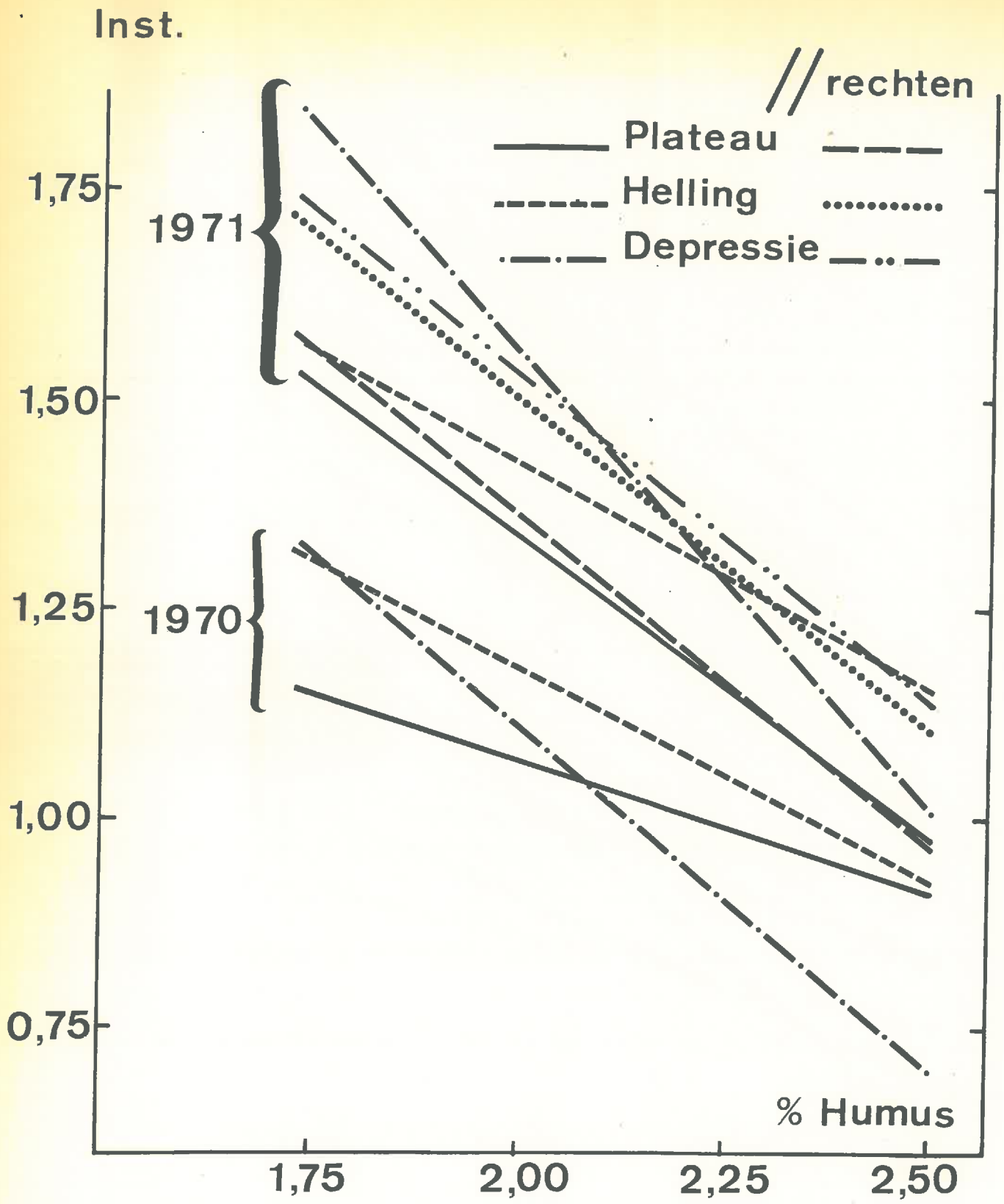


Fig.15. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met „winter-tarwe” per jaar en voor de 3 bodemtypen.



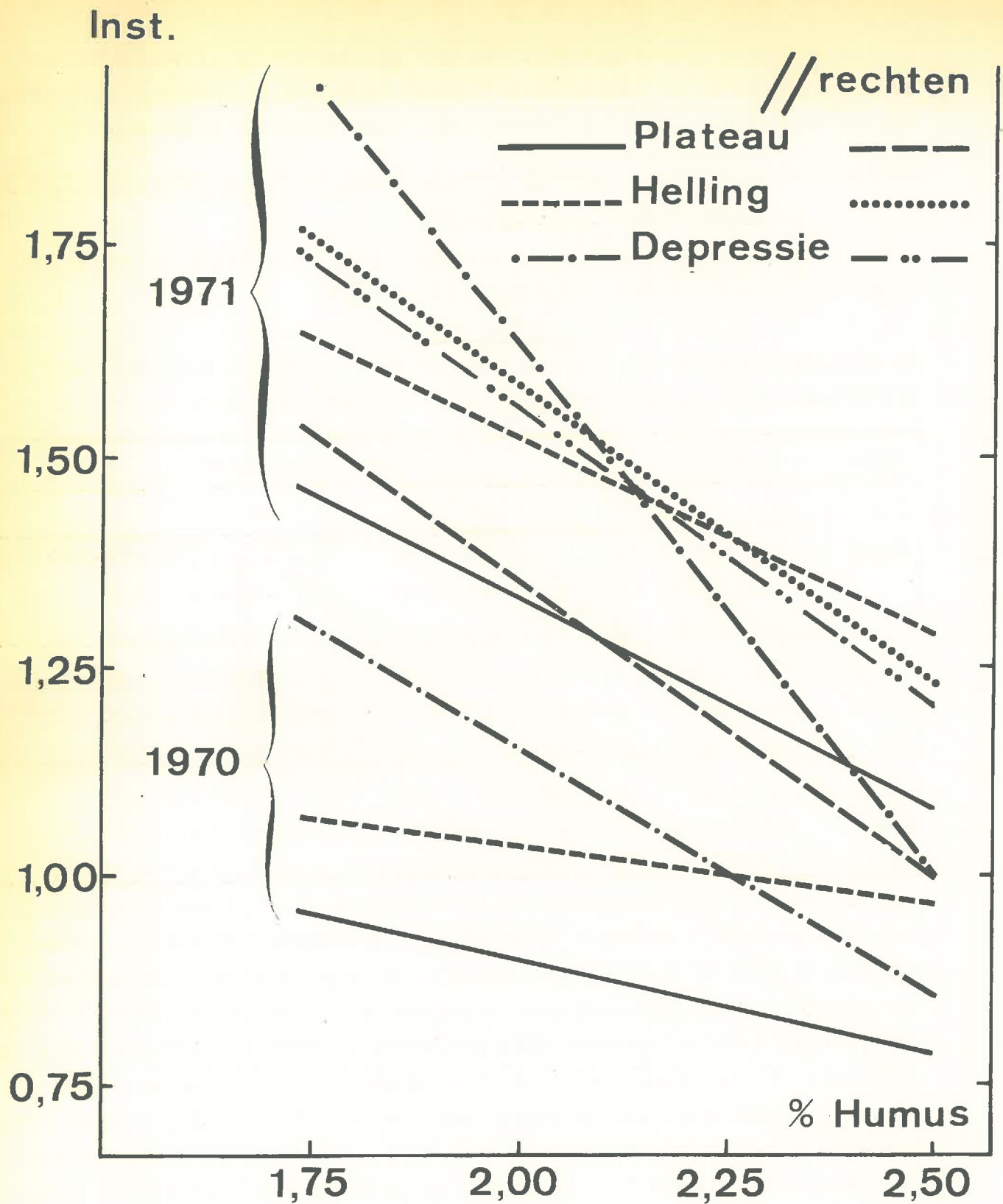


Fig.16. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met "suikerbieten" per jaar en voor de 3 bodemtypen.

(de ligging van de rechten voor de twee graangewassen is verschillend voor de 2 jaren) en in de intensiteit (afhankelijk van de pakking) en de duur van de inwerking van regen, vorst, enz. (zie eveneens hoofdstuk III;4.1.2.).

4.2.2.3. Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 3 bodemtypen.

De berekende rechten worden voorgesteld door fig. 14,15 en 16 en voldoen aan de volgende vergelijkingen (tabel 55).

TABEL 55.

De regressierechten die het verband aangeven tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 3 bodemtypen.

Gewas	Bodemtype	Regressierechten	
		1970	1971
Gerst	Plateau	$y = -0,44 x + 1,79$	$y = -0,69 x + 2,90$
	Helling	$y = -0,39 x + 1,80$	$y = -0,68 x + 2,99$
	Depressie	$y = -0,81 x + 2,65$	$y = -1,36 x + 4,34$
Tarwe	Plateau	$y = -0,32 x + 1,71$	$y = -0,72 x + 2,78$
	Helling	$y = -0,51 x + 2,20$	$y = -0,54 x + 2,50$
	Depressie	$y = -0,82 x + 2,75$	$y = -1,11 x + 3,78$
Suikerbieten	Plateau	$y = -0,22 x + 1,34$	$y = -0,50 x + 2,33$
	Helling	$y = -0,13 x + 1,29$	$y = -0,47 x + 2,46$
	Depressie	$y = -0,59 x + 2,33$	$y = -1,27 x + 4,17$

Vooreerst valt op te merken dat de berekende rechten per bodemtype en per jaar voor de 3 gewassen betrekkelijk overeenstemmen (overeenkomstig met fig.13 voor de 3 bodemtypen samen). De regressie-analysen werden echter uitgevoerd per gewas en per jaar voor de 3 bodemtypen. Hieruit blijkt dat slechts voor de tarwe-en bietenpercelen in 1971 de differentiatie in regressiecoëfficiënten niet voor 95 % significant is. Daar de toets op de gelijkheid van deze rechten significante verschillen geeft, kunnen de rechten voor deze 2 percelen in 1971 door 3 evenwijdige rechten per perceel vervangen worden (zie fig. 15 en16). De significante verschillen tussen de regressiecoëfficiënten zijn te wijten aan de grotere regressiecoëfficiënten op het depressie-type, daar de regressiecoëfficiënten voor het bodemtype van het plateau en de helling betrekkelijk goed overeenstemmen. Dit betekent dat eenzelfde verschil in humusgehalte een ander effect heeft bij een afwijkende granulometrische samenstelling en dat bij de lichtste textuur (depressie) de invloed van het humusgehalte het meest uitgesproken is. Dit komt niet tot uiting op de helling wat moeilijk te

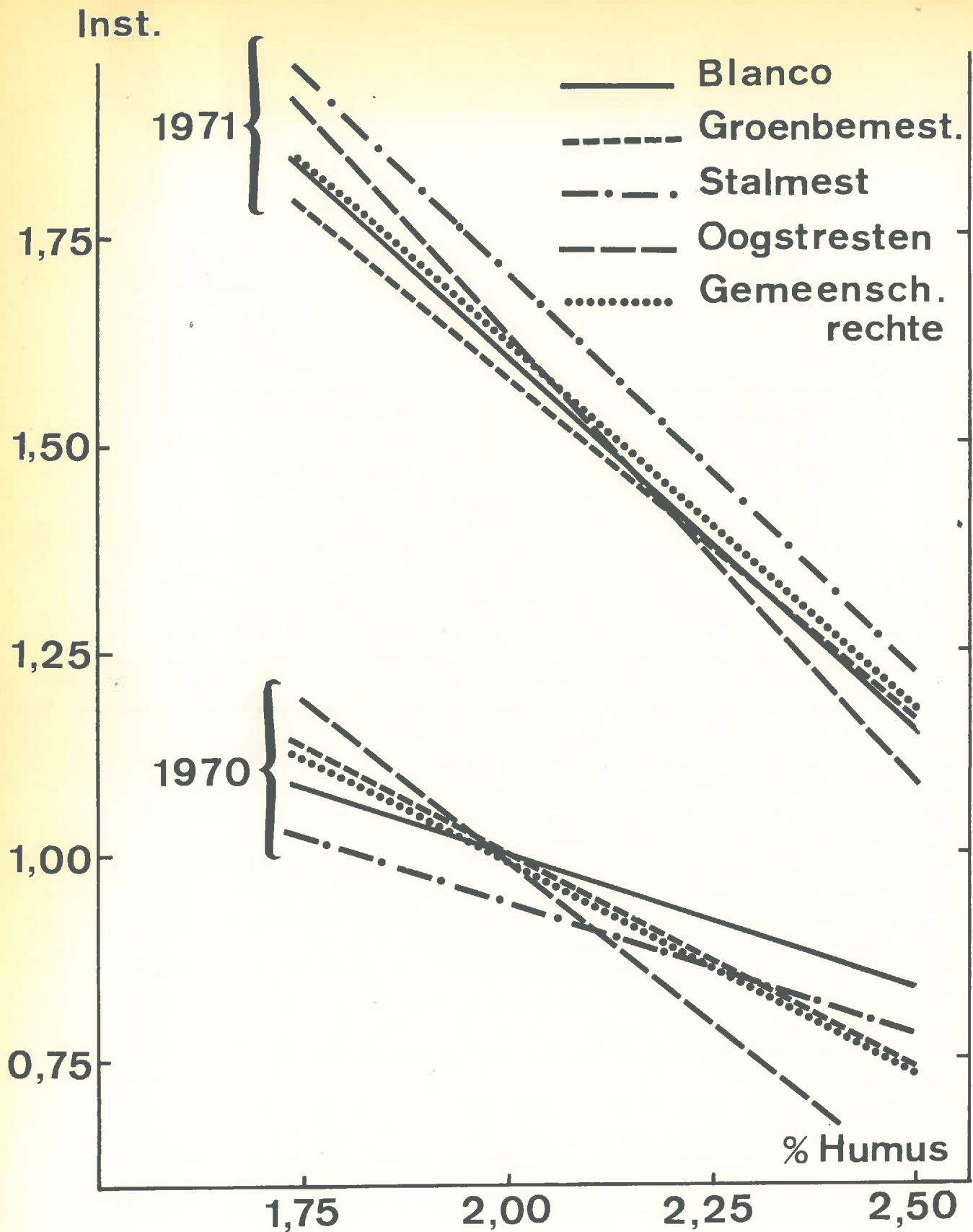


Fig.17. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met „wintergerst” per jaar en voor de 4 organische bemestingsvormen.

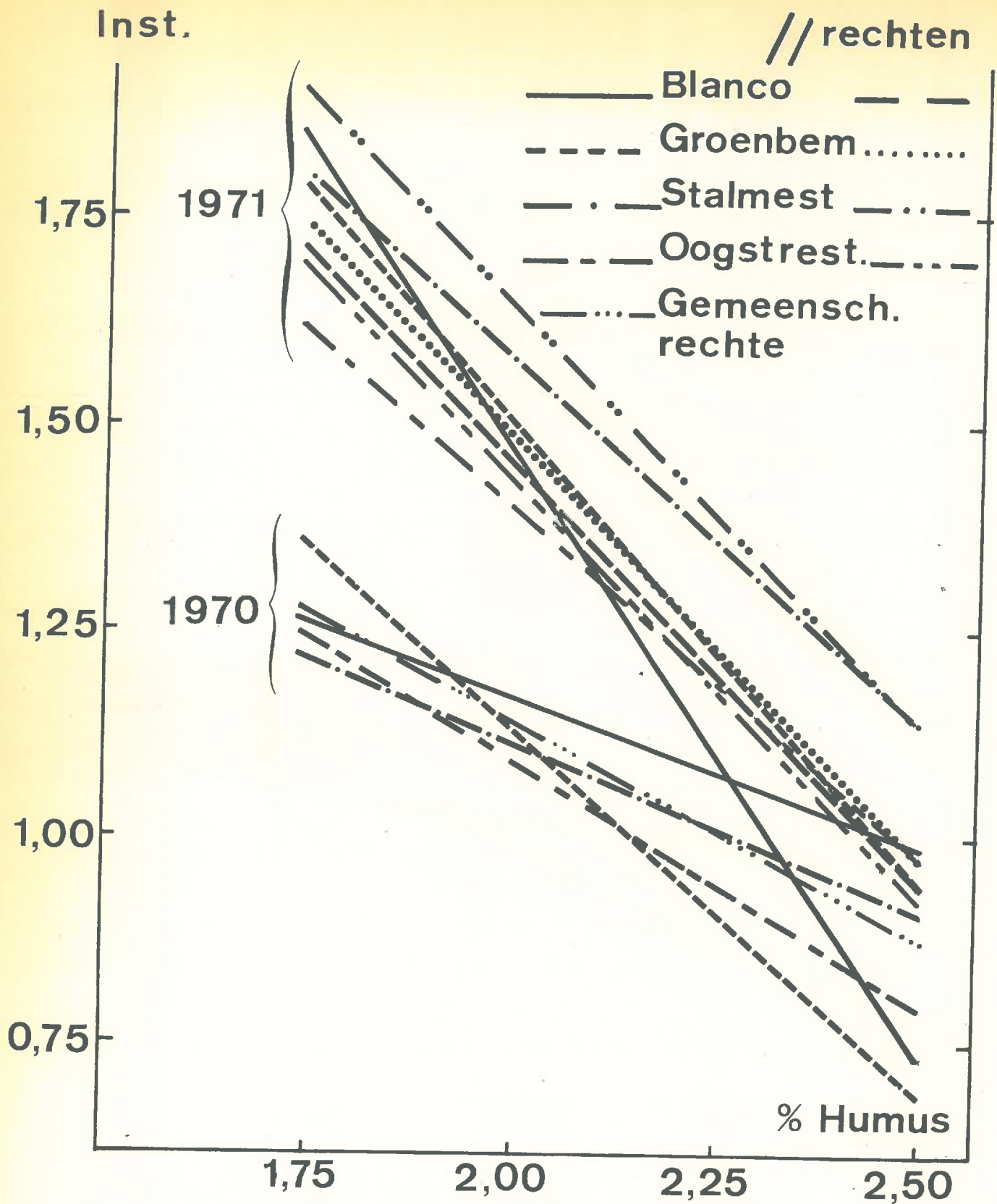


Fig.18. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met „winter-tarwe” per jaar en voor de 4 organische bemestingsvormen.

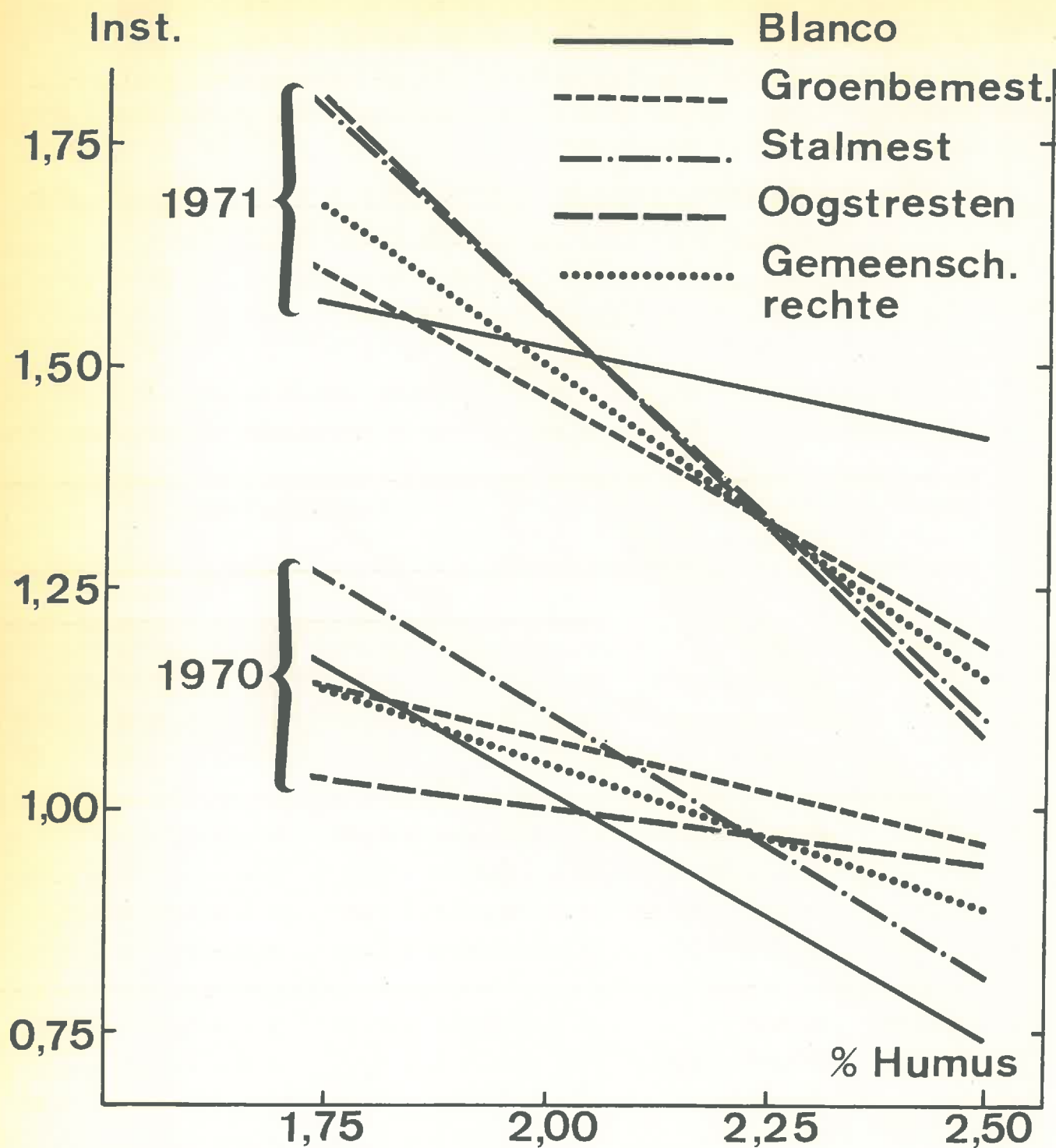


Fig.19. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met „suikerbieten” per jaar en voor de 4 organische bemestingsvormen.

verklaren is (misschien is dit bodemtype het meest onderhevig aan weersinvloeden in verband met bodemverspoeling). De instabiliteit in de depressie is bij lage humusgehalten steeds het hoogst terwijl bij de hoogste humusgehalten de instabiliteit in de depressie overeenstemt of iets lager is dan op het plateau (textuurverschillen spelen hier een ondergeschikte rol).

#### 4.2.2.4. Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 4 organische bemestingsvormen.

De berekende rechten worden voorgesteld door fig. 17, 18 en 19 en voldoen aan de volgende vergelijkingen (tabel 56).

TABEL 56.

De regressierechten die het verband aangeven tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 4 organische bemestingsvormen.

Gewas	Organische bemesting	Regressierechten	
		1970	1971
Gerst	Blanco	$y = - 0,32 x + 1,64$	$y = - 0,93 x + 3,47$
	Groenbemesting	$y = - 0,53 x + 2,06$	$y = - 0,84 x + 3,26$
	Oogstresten	$y = - 0,79 x + 2,57$	$y = - 1,10 x + 3,83$
	Stalmest	$y = - 0,32 x + 1,58$	$y = - 0,98 x + 3,67$
Tarwe	Blanco	$y = - 0,35 x + 1,87$	$y = - 1,48 x + 4,43$
	Groenbemesting	$y = - 0,89 x + 2,91$	$y = - 1,11 x + 3,72$
	Oogstresten	$y = - 0,59 x + 2,27$	$y = - 0,85 x + 3,10$
	Stalmest	$y = - 0,40 x + 1,91$	$y = - 0,87 x + 3,32$
Suikerbieten	Blanco	$y = - 0,55 x + 2,12$	$y = - 0,20 x + 1,92$
	Groenbemesting	$y = - 0,24 x + 1,56$	$y = - 0,55 x + 2,56$
	Oogstresten	$y = - 0,12 x + 1,24$	$y = - 0,97 x + 3,50$
	Stalmest	$y = - 0,60 x + 2,31$	$y = - 0,91 x + 3,38$

De regressie-analyse toont dat er geen significant verschil bestaat tussen de beschouwde rechten onderling (behalve voor de tarwepercelen 1971) en dat het verband door 1 rechte kan voorgesteld worden. Dit schijnt erop te wijzen dat er (met in achtneming van alle omstandigheden van deze proeven) geen verschil merkbaar is in de invloed van eenzelfde humusgehalte op de instabiliteit voor de onderscheiden bemestingsbanden en er ook geen andere effecten (zoals bv. verschil in microbiële

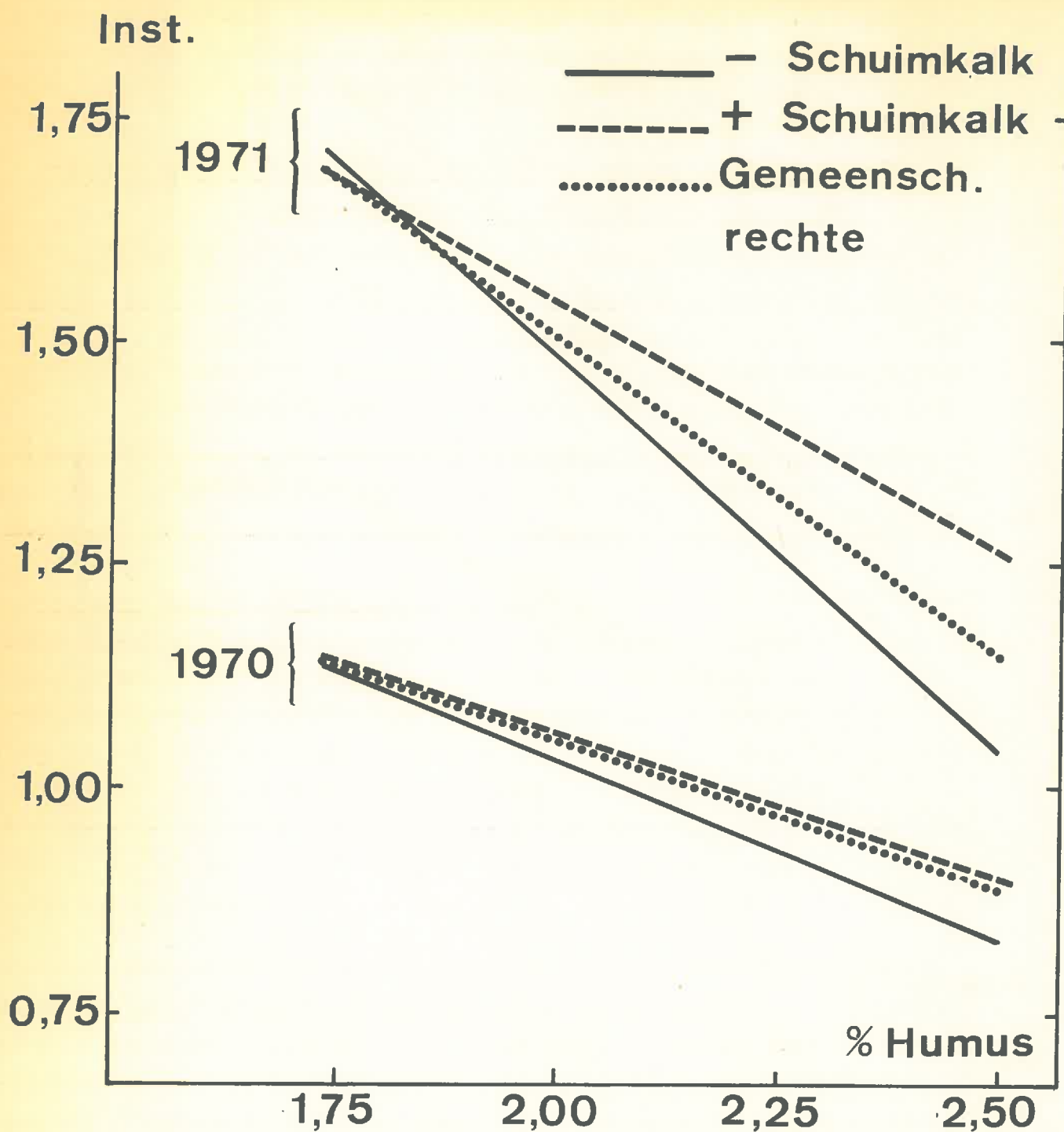


Fig.22. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met „suikerbieten” per jaar en voor de 2 bekalkingsvormen.

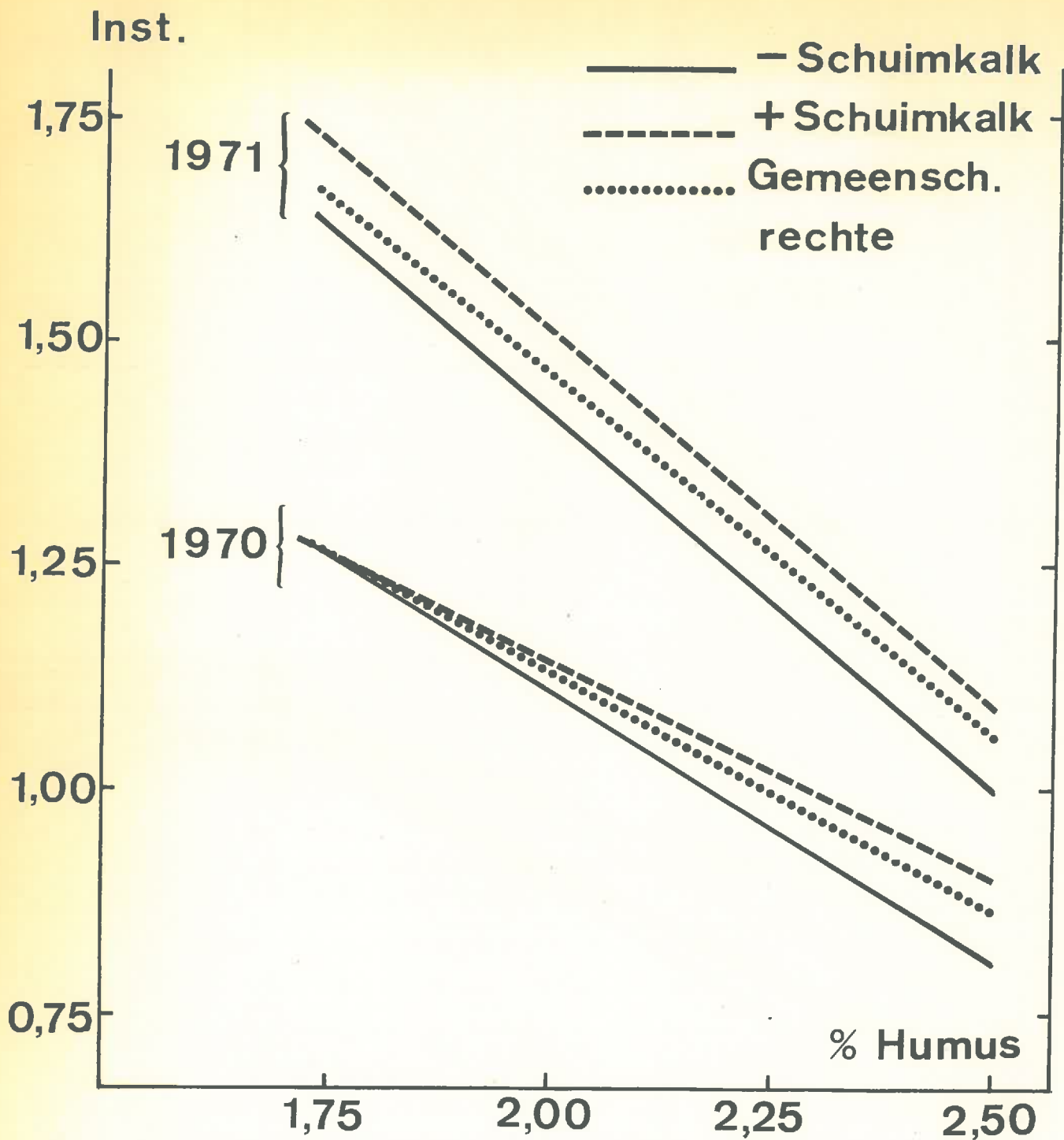


Fig. 21. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met „winter-tarwe” per jaar en voor de 2 bekalingsvormen.



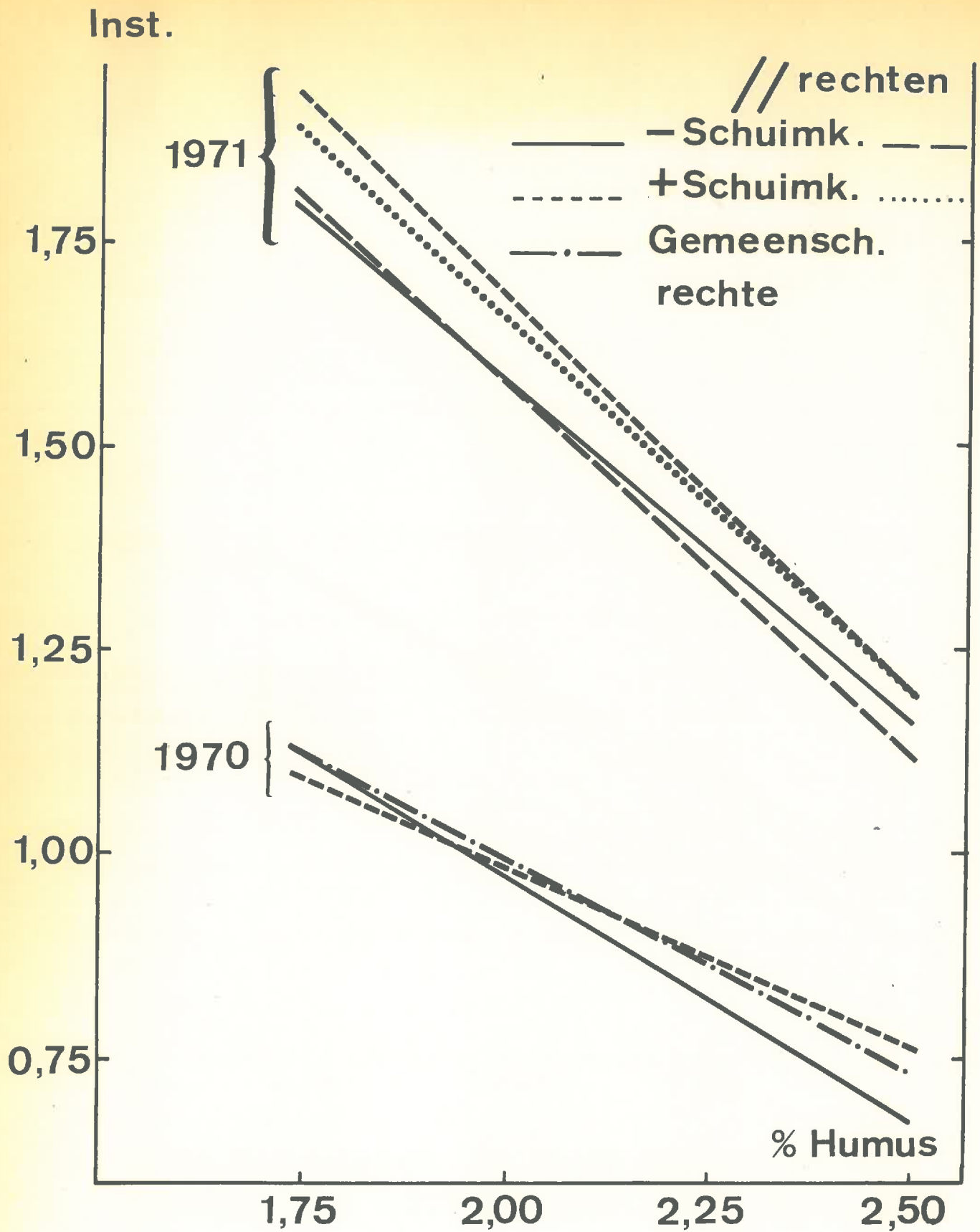


Fig.20. Verband tussen de instabiliteit en het humusgehalte voor de percelen met "wintergerst" per jaar en voor de 2 bekalingsvormen.

activiteit) significant verschillende invloeden hebben op de instabiliteit. De aanpassing tot 1 rechte per gewas is deze die gevonden werd in hoofdstuk III, 4.2.2.1.. Voor de tarwepercelen 1971 kunnen de 4 rechten als evenwijdigen aangepast worden maar mogen ze niet tot 1 rechte vereenvoudigd worden bij een F-test aan 95 %, maar wel bij een F-test aan 99 %.

4.2.2.5. Vergelijking tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 2 bekalkingsvormen.

De berekende rechten worden voorgesteld door fig. 20, 21 en 22 en voldoen aan de volgende vergelijkingen (tabel 57).

TABEL 57.

De regressierechten die het verband aangeven tussen de instabiliteit en het % humus per gewas en per jaar voor de 2 bekalkingsvormen.

Gewas	Bekalkingsvorm	Regressierechten.	
		1970	1971
Gerst	Zonder schuimkalk	$y = - 0,59 x + 2,15$	$y = - 0,83 x + 3,24$
	Met schuimkalk	$y = - 0,45 x + 1,88$	$y = - 0,98 x + 3,64$
Tarwe	Zonder schuimkalk	$y = - 0,60 x + 2,31$	$y = - 0,83 x + 3,08$
	Met schuimkalk	$y = - 0,48 x + 2,10$	$y = - 0,83 x + 3,17$
Suikerbieten	Zonder schuimkalk	$y = - 0,40 x + 1,83$	$y = - 0,89 x + 3,26$
	Met schuimkalk	$y = - 0,32 x + 1,70$	$y = - 0,55 x + 2,64$

Uit de regressie-analyse kan afgeleid worden dat, uitgenomen voor wintergerst 1971, er geen significante verschillen bestaan tussen de rechten die het verband aangeven tussen het % humus en de instabiliteit voor de 2 bekalkingsvormen; nochtans is er een tendens merkbaar dat de instabiliteit groter is op de percelen "met schuimkalk" voor eenzelfde humusgehalte (in 1971 voor wintergerst voor 95 % significant en voor de 2 andere gewassen voor 90 %). Dit zou betekenen, zoals reeds vroeger vermeld, dat het verder toedienen van een belangrijke schuimkalkdosis op deze kalkhoudende leemgronden niet langer aan te raden is om de stabiliteit van deze gronden te verbeteren.

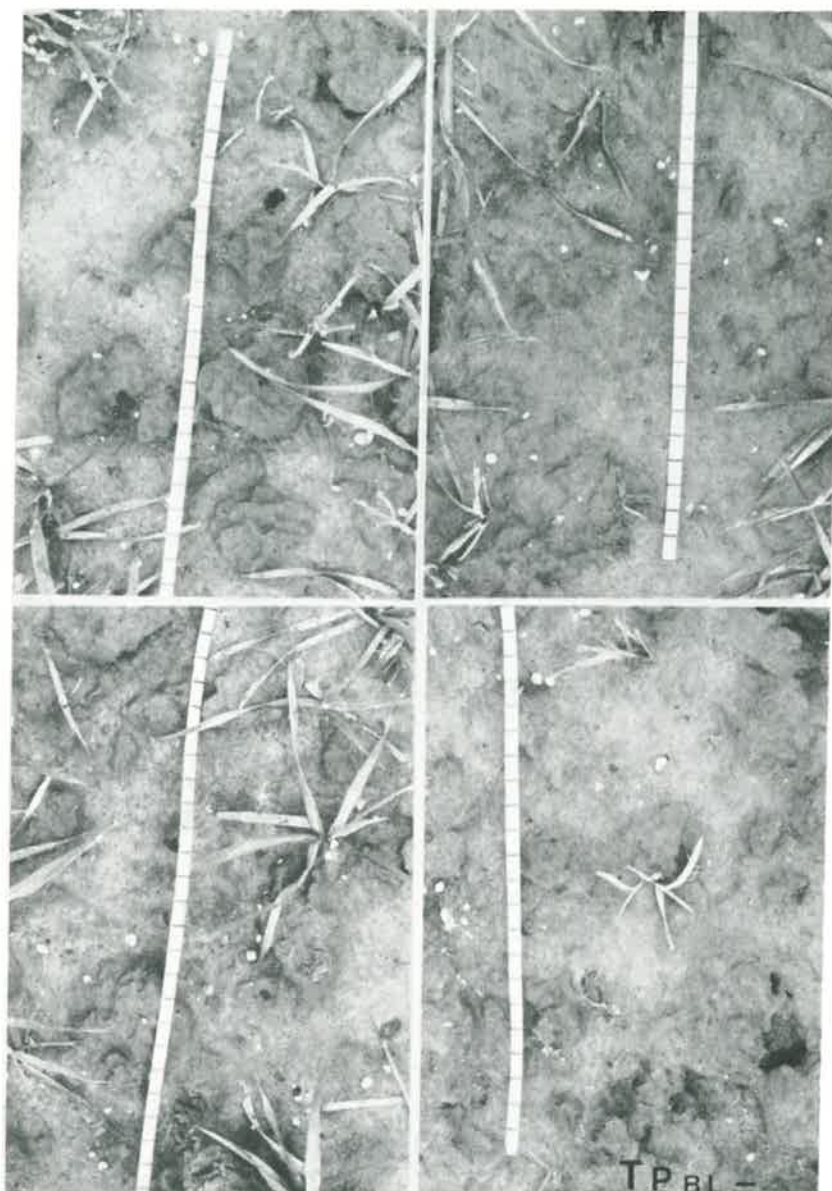


Foto 5 : Proefveld Tongeren, plateau  
opnamen maart 1971, op tarweperceel.  
Blanco zonder schuimkalk.

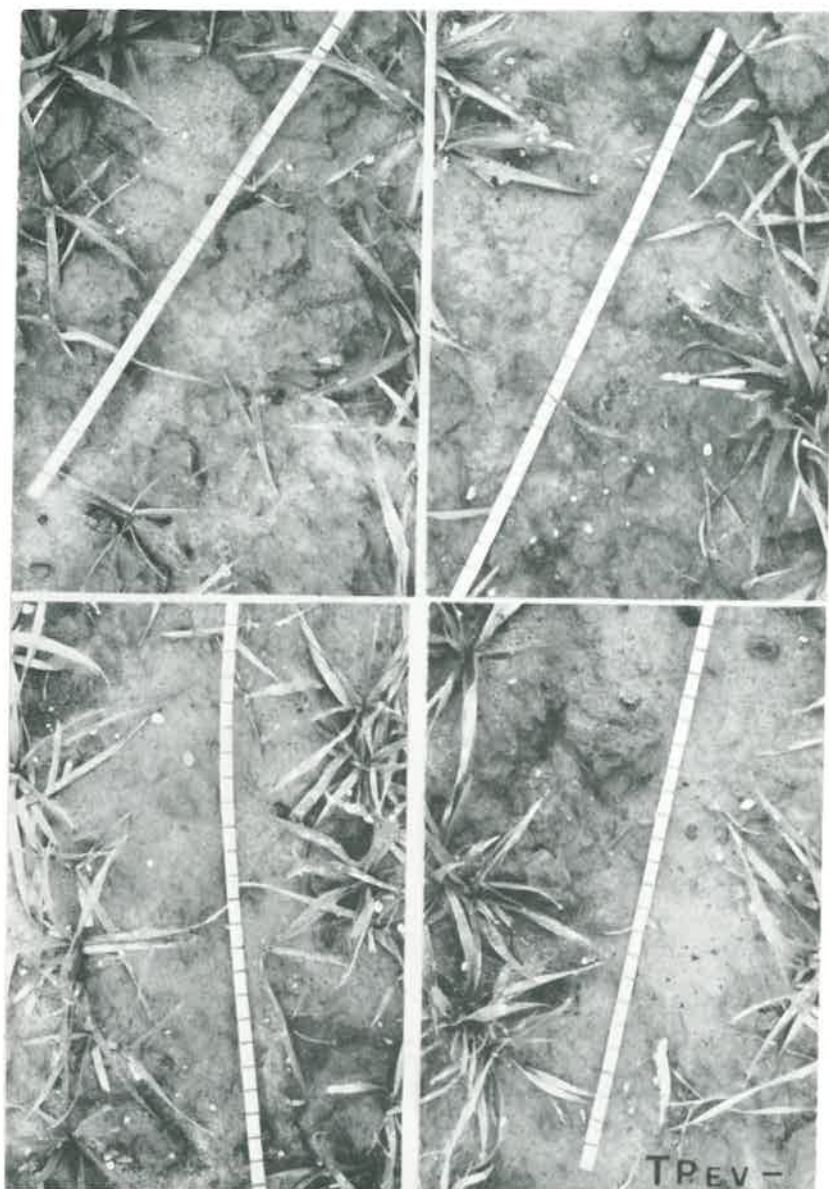


Foto 6 : Proefveld Tongeren, plateau  
opnamen maart 1971, op tarweperceel,  
Groenbemesting zonder schuimkalk.



Foto 7 : Proefveld Tongeren, plateau  
opnamen maart 1971, op tarweperceel.  
Groenbemesting plus oogstresten plus schuimkalk.

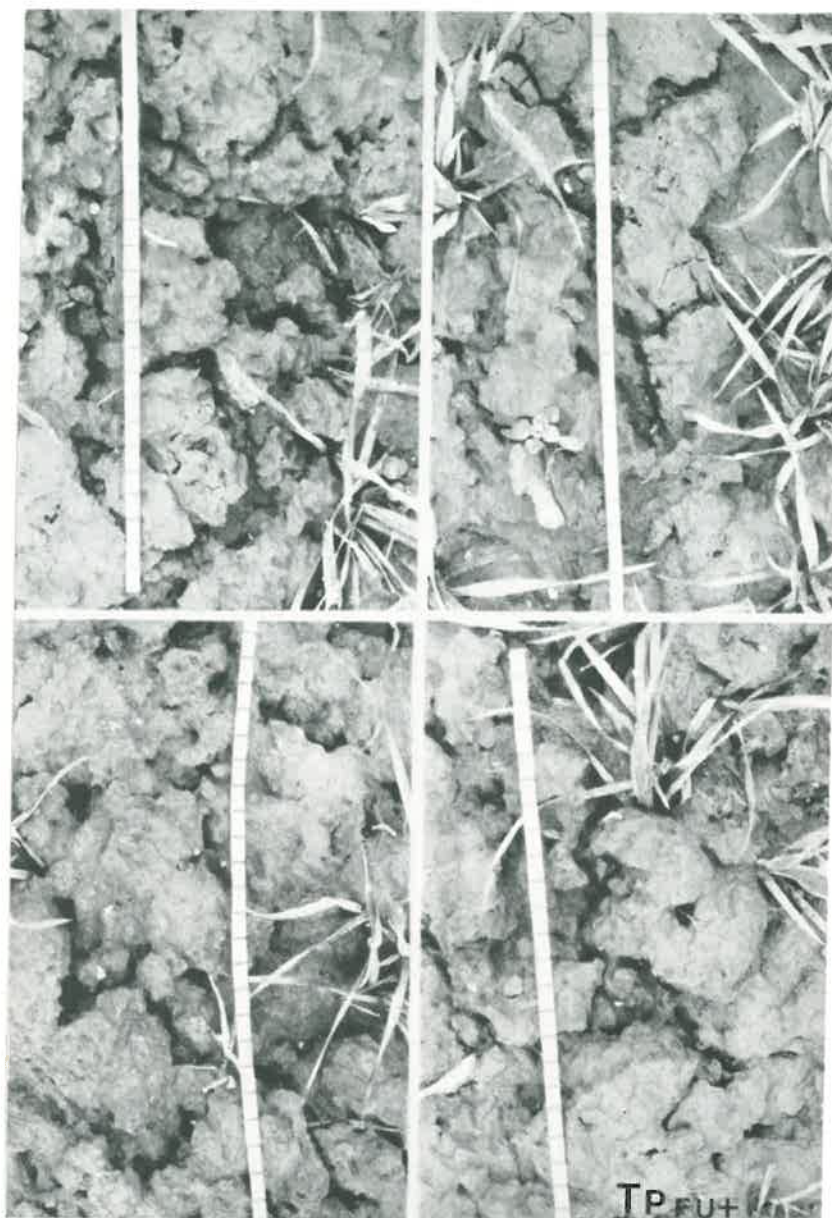


Foto 8 : Proefveld Tongeren, plateau  
opnamen maart 1971, op tarweperceel.  
Groenbemesting plus stalmest plus schuimkalk.

#### 4.3. Confrontatie van de instabiliteitswaarden met een fotometrische methode.

Op de foto's 1,2,3 en 4 kon duidelijk het verschil in toeslempen aan de oppervlakte van de bodem worden vastgesteld. Dit is een fenomeen dat reeds gedurende een aantal jaren zichtbaar is (afhankelijk van de weersinvloeden tijdens de winter), zelfs vooraleer er werkelijk verschillen in stabiliteit in het laboratorium konden gemeten worden. Om deze reden werd er gezocht naar een min of meer kwantitatieve methode om de verschillen in toeslempen op de verschillende organische bemestingsbanden door een cijfer uit te drukken en dit te confronteren met de stabiliteitsbepalingen. Een fotometrische methode werd in 1971 door De Leenheer uitgewerkt (publicatie in druk), die er in bestaat een wel bepaalde oppervlakte te fotograferen en dit in een voldoende aantal herhalingen (10) om reproduceerbare cijfers te bekomen. Na het ontwikkelen van de foto's worden op kalkpapier de scheuren en openingen aan het bodemoppervlak overgetekend en het uitgeknipte oppervlak wordt gewogen. Hieruit kan het % open oppervlak (of % toegeslempd oppervlak) berekend worden.

In tabel 58 wordt de gemiddelde instabiliteit per bemestingsband gegeven voor 1969, 1970 en 1971, samen met de relatieve instabiliteiten (tussen haakjes), het gemiddelde en relatieve humusgehalte voor 1970 en 1971 en het relatieve toeslempen (glaçage) voor 1971.

De band "stalmest" wordt voor de relatieve waarden als vergelijkingspunt = 100 gesteld. Uit deze tabel blijkt dat de relatieve waarden voor instabiliteit, humusgehalte en toeslemping zeer goed overeenstemmen. Dit betekent dat de instabiliteitswaarden (relatief gezien) een goede maat zijn voor de toeslempingsgraad van de bodem en dat wat op het veld zichtbaar is, door de stabiliteitstest kwantitatief bepaald wordt. Ter illustratie worden hier 4 fotometrische opnamen ingelast die de 4 organische bemestingsbanden omvatten (foto's 5,6,7 en 8).

Tabel 58.

Gemiddelde gemeten en relatieve instabiliteit voor 1969, 1970 en 1971 in functie van de organische bemestingen; gemiddeld en relatief % humus voor 1970 en 1971 en de relatieve toeslemping (fotometrie) in 1971.

jaar	verzorgingsobjecten			
	Blanco	Groenbemes- ting	Groenbemes- ting + oogst- resten	Groenbemes- ting + stal- mest
Instabiliteit				
1969	1,20 (113)	1,15 (108)	1,09 (103)	1,06 (100)
1970	1,05 (114)	1,02 (111)	0,95 (103)	0,92 (100)
1971	1,49 (114)	1,40 (107)	1,36 (104)	1,31 (100)
Gemiddelde	(114)	(109)	(103)	(100)
Humus in %				
1970	2,03 (88)	2,10 (91)	2,16 (94)	2,30 (100)
1971	2,05 (88)	2,12 (91)	2,18 (94)	2,33 (100)
Gemiddelde	(88)	(91)	(94)	(100)
Relatieve toe- slemping 1971	111	109	107	100

#### 4.4. Confrontatie van de instabiliteitswaarden met de resultaten van andere structuurbepalingsmethoden.

Een stabiliteitsbepaling is in sommige gevallen ontoereikend om daaruit betrouwbare besluiten te trekken omtrent de structuurtoestand van de bodem. Als voorbeeld kunnen we het "versmeren" van aggregaten aanhalen (Hoofdstuk II; 1.1.4.), waarbij een betrekkelijk goede stabiliteit gevonden wordt, alhoewel de structuur van een dergelijke bodem slecht moet genoemd worden tengevolge van de uitgesproken compactie. Door pF- en permeabiliteitsbepalingen kan de te hoge dichtheid vastgesteld worden en kan dan de enige aanvaardbare conclusie, nl. een slechte structuurtoestand, afgeleid worden. Als tweede voorbeeld noemen we het effect van een bekalking, dat met een stabiliteitsbepaling in een verdund milieu niet of onvoldoende tot uiting komt, terwijl door een permeabiliteitsbepaling de invloed van de aanwezige ionen wel kan achter-



haald worden (Hénin, Monnier en Combeau, 1958). Deze voorbeelden wijzen erop dat het aangeraden is meerdere methoden gelijktijdig toe te passen om betrouwbare conclusies te kunnen trekken.

Zoals in de inleiding vermeld is, worden er op de structuurproefvelden drie metingen uitgevoerd die complementair zijn, nl. :

- stabiliteitsbepalingen
- permeabiliteitsbepalingen
- pF-bepalingen, m.a.w. porositeitsbepalingen.

Daar we over deze 3 reeksen gegevens beschikken, en dit onderzoek zich concentreert op de aggregaatstabiliteit, is het aangewezen de stabiliteitsmetingen te vergelijken met deze van de twee overige bepalingen.

#### 4.4.1. Vergelijking tussen de gegevens van de instabiliteit en van de permeabiliteit.

Zowel de verzadigde waterpermeabiliteit op ongestoorde monsters als de permeabiliteitsbepalingen op gestoorde monsters kunnen als een onrechtstreekse meting van de instabiliteit beschouwd worden. Wegens de grote variabiliteit binnen de herhalingen (op ongestoorde monsters) en het afhankelijk zijn van een aantal details (bij de gestoorde monsters) konden geen betrouwbare correlaties met de instabiliteitswaarden gevonden worden.

#### 4.4.2. Confrontatie van de instabiliteit met de totale porositeit en de poriënverdeling.

##### 4.4.2.1. Bepaling van de totale porositeit en de poriënverdeling.

Doer structuur van een bodem verstaat men de ruimtelijke schikking van de aggregaten en de poriënverdeling die er het gevolg van is. Hieruit volgt dat de meest aangewezen werkwijze om de bodemstructuur te karakteriseren de pF-bepaling (bepaling van de totale porositeit en de poriënverdeling) is. Nochtans zijn er een aantal oorzaken die deze methode benadelen t.o.v. de stabiliteitsbepalingen. Terwijl deze laatste een idee geven van de mogelijke evolutie van de structuurtoestand van een bodem door één monstername, is dit niet het geval voor de pF-bepalingen. Daarbij komt dat de resultaten van de pF-metingen enorm afhankelijk zijn van de vochttoestand van de bodem bij monstername [De Leenheer, 1967, 1971 (1)]. Een andere moeilijkheid is het nemen van werkelijk ongestoorde monsters, waardoor de monstername slechts mogelijk is wanneer de bodem zich ongeveer op veldcapaciteit bevindt. Dit alles, samen met de heterogeniteit van de bodem, waardoor de variabiliteit van de

metingen relatief hoog is, kan de waarde van de pF-bepalingen aanzienlijk verminderen. Het komt er dan ook op aan de effecten van de te beïnvloeden factoren tot een minimum te herleiden, wil men resultaten bekomen die een juiste weergave zijn van de veldtoestand.

Voor deze confrontatie-studie wordt rekening gehouden met volgende porositeiten en pF-gegevens :

(1) De totale porositeit.

Dit is het totale volume poriën, uitgedrukt in % t.o.v. het totale bodemvolume. Dit poriënvolume wordt op 2 verschillende wijzen bekomen :

a) door de klassieke formule, aangepast door De Leenheer en Van Ruymbeke (1960) :

$$\text{Tot. poriëvol. in \%} = \left[ 1 - \frac{\text{schijnbaar soort. gewicht}}{\text{soort. gewicht} - (0,02 \times \% \text{ org.mater.})} \right] \times 100$$

b) door de bepaling van de pFO-waarde :

In deze methode [ De Leenheer, 1971 (1) ] wordt het totale poriënvolume berekend uit het vochtgehalte bij een overdruk van 1 cm H<sub>2</sub>O.

(2) De poriënverdeling in functie van hun diameter.

Het onderscheid tussen grote poriën (die zorgen voor de aëratie of drainage van de bodem) en kleine poriën (die zorgen voor de waterretentie) is reeds lang gekend (Schumacher, 1864). Nochtans werd pas in 1940 door Childs een bruikbare indeling van de poriën voorgesteld door het bepalen van vochtgehalten in evenwicht met capillaire zuigspanningen. Door gebruik te maken van de opstelling volgens Richards (1941, 1965) kan men bepaalde en constante overdrukken op bodemmonsters toepassen, wat dan toelaat poriën met een te berekenen grensdiameter nog juist te ledigen.

De poriëningdeling welke voor onze landbouwgronden algemeen wordt toegepast, is de volgende :

(2.1.) Luchtporiën.

Poriën met een zuigspanning tussen pFO en pF1 (t.t.z. een zuigspanning tussen 1 cm en 10 cm water). Deze poriën met een diameter  $> \pm 300 \mu\text{m}$  draineren onmiddellijk.

(2.2.) Grote drainageporiën.

Poriën met een zuigspanning tussen pF1 en pF2 (t.t.z. een zuigspanning tussen 10 cm en 100 cm water). Dit zijn poriën met diameter begrepen tussen  $\pm 300 \mu\text{m}$  en  $\pm 30 \mu\text{m}$  ; deze draineren vlug.

(2.3.) Kleine drainageporiën.

Poriën met een zuigspanning tussen pF2 en pF2,54 (t.t.z. een zuigspanning tussen 100 cm water en 1/3 atmosfeer). Deze poriën hebben een diameter begrepen tussen  $\pm 30\mu\text{m}$  en  $\pm 9\mu\text{m}$  en draineren langzaam. Het vochtgehalte bij pF2,54 wordt hier het vochtgehalte bij veldcapaciteit genoemd (het vochtgehalte bij dewelke vrije drainage ophoudt).

(2.4.) Waterbergingsporiën.

Poriën met een zuigspanning tussen pF2,54 en pF4,19 (t.t.z. een zuigspanning tussen 1/3 en 15 atmosfeer). Deze poriën hebben een diameter begrepen tussen  $\pm 9\mu\text{m}$  en  $\pm 0,2\mu\text{m}$  en zijn gevuld met nuttig bodemwater voor de planten. Het vochtgehalte bij pF4,19 wordt het vochtgehalte bij verwelkingspunt genoemd (bij deze zuigspanning kunnen de normale teelten onder ons klimaat het nog aanwezige water in de kleine poriën niet meer opnemen).

(2.5.) Niet-nuttige poriën.

Poriën met een zuigspanning groter dan pF4,19. De poriën hebben een diameter kleiner dan  $\pm 0,2\mu\text{m}$ .

4.4.2.2. Resultaten van de confrontatie tussen de instabiliteit enerzijds en de totale porositeit en de poriënverdeling anderzijds.

De vergelijking van de instabiliteitswaarden met de totale porositeit en de poriënverdeling wordt eveneens uitgevoerd door het berekenen van enkelvoudige, partiële en meervoudige correlatiecoëfficiënten voor lineaire en meervoudige lineaire regressies. In de partiële en meervoudige regressie- en correlatieberekeningen wordt er, naast de verschillende pF-gegevens, ook rekening gehouden met enkele bodemcomponenten, nl. humus, textuur en  $\text{CaCO}_3$ .

(1) Verband tussen de instabiliteit en het totaal poriënvolume.

In principe zou men een negatief verband verwachten, wat betekent dat hoe instabieler de aggregaten zijn, hoe meer verslemping mogelijk is en hoe meer de bodem compact wordt. Dit werd geconstateerd door Sunkel [1961 (2)], terwijl door Strickling (1955) het tegenovergestelde werd gevonden. Op te merken valt dat deze significante lineaire verbanden slechts vastgesteld werden na uitsluiting van de invloed van het humusgehalte (en) de textuurvariëaties. Daarbij weze ook aangestipt dat door beide onderzoekers de porositeit van de aggregaten "zelf" vergeleken werd met de stabiliteitswaarden, terwijl voor de door ons gecon-

fronteerde pF-bepalingen de porositeit van de totale bodem gemeten werd. Nochtans blijft de vergelijking enigszins geldig, daar er een significant verband bestaat tussen het totaal poriënvolume van de aggregaten en het totaal poriënvolume van de bodem zelf, Sunkel, 1961(1).

Uit eigen resultaten blijkt nu dat de enkelvoudige correlatiecoëfficiënten voor het verband tussen de instabiliteit en het totaal poriënvolume in de verschillende jaren slechts sporadisch significant zijn, terwijl de partiële correlatiecoëfficiënten (mits het konstant houden van de textuurfracties of het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte) weinig afwijken van de enkelvoudige coëfficiënten. Door het konstant houden van humusgehalte (en) textuur (en)  $\text{CaCO}_3$ -gehalte variëren de partiële correlatiecoëfficiënten in relatief grote mate; zij zijn over het algemeen positief doch weinig significant. Ook in de meervoudige regressies is de bijdrage van het totaal poriënvolume voor de estimatie van de instabiliteit over het algemeen uiterst gering.

(2) Verband tussen de instabiliteit en het percent poriënvolume bij verschillende pF-waarden.

Het verband tussen de instabiliteitswaarden en het percent poriënvolume bij pF1, pF2, pF2,54 en pF4,19 werd op dezelfde wijze nagegaan. Slechts voor het % poriënvolume bij pF4,19 werd een significant negatief lineair verband gevonden met de instabiliteitswaarden. Deze correlatie is blijkbaar het gevolg van textuurinvloeden, daar bij de zwaarste texturen (plateau-type) de geringste instabiliteit wordt gevonden samen met het hoogste poriënvolume (in %) bij pF4,19. Dit komt voldoende tot uiting bij de partiële correlatiecoëfficiënten met konstant gehouden textuur, waarbij alle significantie verloren gaat. Ook in de meervoudige regressievergelijkingen is de bijdrage van het % poriënvolume bij de verschillende pF-waarden voor de estimatie van de instabiliteit te verwaarlozen.

(3) Verband tussen de instabiliteit en het volume van de verschillende poriëngroepen (in %).

Naast de vergelijking van de instabiliteit met het % poriënvolume bij verschillende pF-waarden werd ook een vergelijking gemaakt met het volume (in %) ingenomen door de verschillende poriëngroepen, nl. het volume aan aëratie-poriën, het volume grote en kleide drainageporiën en het volume waterbergingsporiën.

Ook hier worden geen systematisch terugkerende significante correlaties gevonden. Dit betekent dat de geringe verschillen in poriën-

verdeling geen invloed hebben op de instabiliteitswaarden of omgekeerd, m.a.w. dat de differentiatie van de aggregaatstabiliteit op dit ogenblik nog onvoldoende is om een significant effect te hebben op de poriënverdeling.

#### Conclusie.

Enkelvoudige significante correlaties tussen de instabiliteitswaarden enerzijds en, hetzij de totale porositeit, hetzij het % poriënvolume bij verschillende pF-waarden, hetzij het volume (in %) ingenomen door verschillende poriëngroepen, zijn zeldzaam. Uitzondering hierop maakt het % poriënvolume bij pF<sub>4,19</sub>.

Worden meervoudige regressies berekend, dan beïnvloeden in de eerste plaats de bodemcomponenten, vooral humus en textuurfracties, de instabiliteit en komen slechts sporadisch op significante wijze pF-waarden in de vergelijkingen voor; deze laatste evenwel dragen weinig bij tot de estimatie van de instabiliteitswaarden.

#### HOOFDSTUK IV.

##### INSTABILITEIT VAN DE BODEMSTRUCTUUR EN DE FYSISCHE BODEMVRUCHTBAARHEID.

Het doel van de hier behandelde proefopzet is na te gaan welke de optimale bodemverzorging is voor het behoud of de verbetering van de bodemstructuur en de fysische bodemvruchtbaarheid op gemechaniseerde bedrijven.

Onder fysische bodemfertiliteit wordt hier verstaan de productie-mogelijkheid van een bodem als fysisch groeimilieu, waarbij verondersteld wordt dat de chemische vruchtbaarheid nagenoeg optimaal is en op de verschillende objecten op gelijk niveau gehouden wordt. Dit konstant houden van de chemische fertiliteit wordt gerealiseerd door de "balans van in- en uitvoer". Het principe bestaat hierin dat het geheel van de (organische plus chemische) bemesting een compensatie is van de hoeveelheid plantenvoedende stoffen die via de geogste plantendelen aan de bodem onttrokken worden. Dit principe geldt voor bodemprofielen met weinig of geen percolatie-verliezen in de diepte en waarbij de wortelzone buiten de invloed blijft van de grondwatertafel.

Het opmaken van zo een balans wordt beschreven door De Leenheer en Van Ruymbeke (1966, 1969). Indien deze balans in evenwicht is, mag worden aangenomen dat de variaties in bodemvruchtbaarheid op de verschillende verzorgingsobjecten ieder jaar het gevolg zijn van verschillen in de fysische toestand van de bodem (rekening houdend met de weersomstandigheden).

Daar de instabiliteit van de aggregaten één van de bepalingen is om de structuurtoestand van een bodem te karakteriseren is het logisch dat deze instabiliteitswaarden geconfronteerd worden met waarden die een maat zijn voor de bodemfertiliteit (t.t.z. voor de beoordeling van het groeimilieu).

De grote moeilijkheid is een geschikt criterium te vinden voor de beoordeling van de bodemfertiliteit [De Leenheer, 1971 (2)].

Vroeger werd algemeen het teeltrendement genomen als maat voor de bodemvruchtbaarheid. Dit teeltrendement gebruiken als "het" criterium voor de beoordeling van een praktijkmethode is te verdedigen zolang de totale oogst in aanmerking komt, m.a.w. zolang ook het stro en het bietenloof voor de bedrijfsvoering zelf waardevolle oogstproducten zijn en dus meegerekend worden bij het teeltrendement als uitdrukking van de bodemvruchtbaarheid.

Op gemechaniseerde bedrijven heeft het teeltrendement een andere

inhoud gekregen; men bedoelt dan doorgaans slechts een deel van de oogst, nl. de graan- en suikerproductie, m.a.w. het "economisch rendement". Daar de bodemvruchtbaarheid (het geheel van de interne groeifactoren van de bodem) van enorme betekenis is tijdens de periode van sterke groei, welke resulteert in een productie aan groene plantenmassa, terwijl op het einde van de groeiperiode deze factoren van ondergeschikt belang worden en de graan- en suikerproductie in hoofdzaak het resultaat zijn van een rijpingsproces, is het minder verantwoord dit economisch rendement als "het" criterium voor de bodemfertiliteit te beschouwen.

Naast het economisch rendement kan men eveneens de totale productie aan droge - stof als maat voor de bodemvruchtbaarheid gebruiken.

Ter beoordeling van de fysische bodemfertiliteit kan eveneens één of ander facet, dat nauw betrokken is bij de vegetatieve ontwikkeling van de teelt, als criterium dienen. Hierbij denken we voor de graangewassen aan het aantal planten, het aantal stengels en het aantal aren per oppervlakte-eenheid (of de hieruit berekende uitstoelingscoëfficiënt of het procent stengels dat tot aarvorming komt), de lengtegroei, de groene-massa-productie vóór de chemische bemesting en bij de bloei, terwijl voor de suikerbieten het aantal planten per ha en het percent vertakte bieten in aanmerking kunnen komen.

Relaties tussen fysische eigenschappen van de bodem en de bodemvruchtbaarheid werden meermaals onderzocht met wisselend succes. Zijn de verschillen tussen de fysische eigenschappen groot, werkt men op meerjarige vegetaties of onder agressieve klimaten, dan mogen significante correlaties tussen fysische eigenschappen van de bodem en opbrengsten of de groei van planten verwacht worden (Dabin, 1962; Gras 1961, 1962). Door De Boodt en De Leenheer (1956) werden met wisselend succes eveneens indexen opgesteld voor de bodemstructuur, gebaseerd op de poriënverdeling en de aggregaatstabiliteit, die geconfronteerd werden met opbrengsten, terwijl door De Boodt, De Leenheer en Kirkham (1961) correlaties berekend werden tussen de aggregaatinstabiliteit en teeltopbrengsten.

In dit onderzoek baseren we ons, als weergave van de structuurtoestand van de bodem, op de resultaten van de instabiliteitsbepalingen uitgevoerd op monsters genomen rond einde maart. Dat dit te verantwoorden is blijkt uit de vroeger besproken variatieproeven (Hoofdstuk III; 2.2.) waaruit afgeleid werd dat de verschillen in instabiliteit die bij de lentemonsternamen worden gevonden, relatief gezien in de loop van het jaar nagenoeg konstant blijven, zodat één monsternamen reeds een idee

kan geven van het verhoudingsgewijze verloop van de bodemstructuur tijdens de vegetatieperiode. Daarbij komt dat, indien er een effect is van de bodemstructuur op de groei van het gewas, dit het best tot uiting komt bij het begin van de lente. Er valt op te merken dat niet de absolute, maar veeleer de relatieve instabiliteitswaarden van belang zijn.

Het verband tussen de instabiliteit en de factoren die als een maat voor de fysische bodemvruchtbaarheid worden beschouwd, wordt nagegaan door het berekenen van enkelvoudige en meervoudige significante lineaire regressies.

In de enkelvoudige regressies bepalen we het verband tussen de instabiliteit als x-waarde en een reeks factoren (ieder afzonderlijk beschouwd) die kunnen dienen als maat van de fysische bodemvruchtbaarheid als y-waarde.

In de meervoudige regressie- en correlatieberekeningen confronteert men de y-waarden die gebruikt kunnen worden als maat voor de fysische bodemfertiliteit met zoveel mogelijk x-waarden welke een bodemeigenschap weergeven (instabiliteit, pF-waarden, % humus, %  $\text{CaCO}_3$ ). Daartoe berekenen we eerst de totale meervoudige regressie en correlatie waarin alle x-waarden als onafhankelijke veranderlijken zijn opgenomen ter estimatie van de y-waarde. Hieruit wordt het % determinatie van de y-waarde door al deze x-waarden samen, berekend. Daarna wordt de invloed van alle mogelijke combinaties van de verschillende x-waarden (beginnend met 2 onafhankelijke variabelen) op de y-waarden berekend, tot een aantal veranderlijken (meestal tot 5 à 6 x-waarden), waarbij het % determinatie van de y-waarde nog weinig afwijkt van de determinatie van de y-waarde die voor alle x-waarden samen gevonden werd. Hier weerhouden we slechts deze meervoudige lineaire regressies welke gelijktijdig aan volgende vier voorwaarden voldoen:

- de meervoudige correlatiecoëfficiënten moeten significant zijn;
- de verschillende partiële regressiecoëfficiënten moeten significant van nul verschillen;
- er mogen geen intercorrelaties tussen de x-waarden bestaan;
- de instabiliteit moet één van de onafhankelijke variabelen zijn.

In de verdere tekst duidt men enkel de gewassen aan (met het jaartal) waarvoor de instabiliteit een invloed heeft uitgeoefend op de fysische bodemvruchtbaarheid (hetzij op de vegetatieve ontwikkeling, hetzij op de productie), zonder de vergelijkingen "zelf" te vermelden.



1. Confrontatie van de vegetatieve ontwikkeling van de teelt (als criterium van de bodemvruchtbaarheid) met de instabiliteit.

Vooreerst moet vermeld worden dat uit praktische overwegingen sommige confrontaties niet op de 96 objecten werden uitgevoerd maar slechts op 36 of 24, nl. 4 velden x 3 (2) bodemtypen (soms helling weggelaten) x 3 bemestingsbanden (stalmest + schuimkalk, oogstresten + schuimkalk en blanco zonder schuimkalk). In deze studie worden ook slechts de resultaten van de jaren 1969, 1970 en 1971 behandeld.

1.1. Graangewassen.

Ter informatie vermelden we dat het aantal planten en het aantal stengels gelijktijdig bepaald worden (schommelend per jaar en per gewas tussen einde maart en begin mei) terwijl het aantal aren voor gerst gewoonlijk rond half juni wordt geteld en voor tarwe begin juli.

1.1.1. Confrontatie van de plantdensiteit met de instabiliteit.

De plantdensiteit is afhankelijk van de zaaidichtheid en van de kwaliteit van het kiembed. Daar voor eenzelfde jaar de zaaidichtheid theoretisch op de 4 velden identiek is, mogen variaties in plantdensiteit grotendeels toegeschreven worden aan verschillen in de aard van het kiembed, waarop de aggregaatsinstabiliteit een invloed uitoefent. Het effect van de instabiliteit op de plantdensiteit varieert met de aard van het gewas.

Daar de weersomstandigheden bij het ontkiemen van de gerst meestal gunstig zijn, zal de invloed van een verschil in aggregaatsstabiliteit op de opkomst van het gewas verwaarloosbaar of onbestaande zijn; ook het effect van een gewijzigde structuurtoestand tijdens de winter op reeds voor een groot gedeelte uitgesteelde planten zal eveneens gering zijn.

Voor tarwe, die later gezaaid wordt, kan de aggregaatsstabiliteit de fysische toestand van de bodem reeds grondig wijzigen, zodat de opkomst van het gewas beïnvloed wordt, terwijl ook het effect van een ongunstige bodemstructuur tijdens de winter een invloed kan uitoefenen op deze kleine plantjes. Uit de resultaten blijkt evenwel dat voor de 3 jaar en de 2 gewassen geen significante enkelvoudige correlaties gevonden worden tussen de instabiliteit en de plantdensiteit na de winter.

Voor het gewas gerst vinden we slechts in de meervoudige lineaire regressie (vanaf 3 variabelen) sporadisch een negatief effect van de instabiliteit op de plantdensiteit.

Voor het gewas tarwe was er blijkbaar een negatieve invloed van de

instabiliteit op het aantal planten per oppervlakte-eenheid in 1970. In de meervoudige regressies komt de instabiliteitswaarde reeds voor vanaf 2 variabelen en het percent determinatie van het aantal planten wordt ruim verhoogd bij het opnemen van deze onafhankelijke variabele in de vergelijkingen. Dit is in overeenstemming met de niet gepubliceerde jaarverslagen over de veldtoestand, de bodembewerkingen en de groei van de gewassen gedurende het jaar. Het zaaien in te droge omstandigheden samen met de ongunstige weersinvloeden tijdens deze winter hebben een grote verslemping teweeggebracht. Deze afbraak van de aggregaten komt het best tot uiting op de minst stabiele verzorgingsobjecten (nl. de blanco-percelen) en heeft een invloed op de plantdensiteit.

#### 1.1.2. Confrontatie van het aantal stengels per m<sup>2</sup> met de instabiliteit.

Het aantal stengels per m<sup>2</sup> hangt enerzijds af van de plantdensiteit en anderzijds van het uitstoelingsvermogen. Het uitstoelingsvermogen is zeker afhankelijk van de beschikbare voedselreserve in de bodem gedurende die periode van de vegetatie-cyclus. Daar nu de uitstoeling grotendeels gebeurt vóór de chemische bemesting (vóór de compensatie van de scheikundige voedingstoestand) is het mogelijk dat naast een verschil in bodemstructuur eveneens een verschil in chemische fertiliteit het aantal stengels per m<sup>2</sup> beïnvloedt (deze laatste factor wordt nochtans niet in de vergelijkingen betrokken).

Daar de uitstoeling van gerst grotendeels vóór de winter gebeurt, is het normaal dat de instabiliteitswaarde praktisch niet voorkomt als een bepalende factor van het aantal stengels per oppervlakte-eenheid.

Tarwe stoelt slechts uit bij het einde van de winter, zodat het mogelijk is dat de structuurtoestand van de bodem in sommige jaren de stengeldensiteit zal beïnvloeden. Dit komt vooral tot uiting in het jaar 1970, waarin zelfs de enkelvoudige regressie tussen het aantal stengels per m<sup>2</sup> en de instabiliteit significant is met een determinatiecoëfficiënt van + 20 % en een negatieve regressiecoëfficiënt. Ook in 1971 wordt vanaf 2 onafhankelijke variabelen de instabiliteitswaarde (met een negatieve regressiecoëfficiënt) soms in de vergelijkingen opgenomen, terwijl in 1969 een tendens van een negatief verband tussen deze grootheden merkbaar is.

#### 1.1.3. Confrontatie van de uitstoelingscoëfficiënt met de instabiliteit.

De uitstoeling is afhankelijk van de plantdensiteit, het voedingsniveau van de bodem en de structuurtoestand. Dit betekent dat indien er

een verband tussen de instabiliteit en het gemiddeld aantal stengels per plant gevonden wordt, het moeilijk te verantwoorden is deze correlatie uitsluitend aan een verschil in instabiliteit te wijten. Het is nl. zo, dat naast een betere stabiliteit ook de voedingstoestand bij de uitstoeling op de stalmest- en oogstrest-percelen beter is dan op de blanco-percelen.

Uit de resultaten blijkt dat reeds bij een gering aantal onafhankelijke variabelen in de meervoudige lineaire regressies de uitstoelingscoëfficiënt negatief beïnvloed wordt door de instabiliteit.

Voor gerst zijn nochtans meestal één of meerdere partiële regressiecoëfficiënten niet verschillend van nul, zodat men enkel van een tendens mag spreken.

Voor tarwe vinden we net als voor het aantal stengels significante correlatie- en negatieve regressiecoëfficiënten voor 1970 en 1971 (zelfs bij de enkelvoudige vergelijking). Dit betekent dat ondanks het groter aantal planten in 1970 er eveneens meer stengels per plant gevormd worden op de meer stabiele en/of chemisch rijkere percelen. De verwachte compensatie tussen het aantal planten en het aantal stengels per plant (hoe meer planten, hoe minder stengels per plant) is in 1970 niet merkbaar.

#### 1.1.4. Confrontatie van het aantal aren per $m^2$ met de instabiliteit.

Een maximale graanopbrengst is slechts mogelijk met een optimaal aantal goed gevormde aren per oppervlakte-eenheid. Over het algemeen heeft men de indruk dat de toename van het aantal aren/ $m^2$  geringer wordt naarmate het aantal stengels/ $m^2$  stijgt. De aarvorming brengt een nivellering teweeg ten overstaan van de verschillen die ontstaan zijn bij de kieming en de uitstoeling.

Hieruit volgt dat weinig significante verbanden gevonden worden tussen het aantal aren per  $m^2$  en de instabiliteit. Enkel voor gerst in 1971 bij de enkelvoudige regressie en voor tarwe in 1971 in de meervoudige regressie (met nauwelijks significante regressiecoëfficiënten) worden negatieve significante correlaties tussen de twee beschouwde grootheden gevonden. Dit betekent dat de compensatie, vooral voor de tarwe in 1971, niet volledig is.

#### 1.1.5. Confrontatie van het percent stengels dat tot aarvorming komt met de instabiliteit.

Dit procent is vooral afhankelijk van de stengeldichtheid.

Uit de vergelijkingen, enerzijds van het aantal stengels t.o.v. de instabiliteit, en anderzijds van het aantal aren t.o.v. de instabiliteit, is het normaal dat voor tarwe in 1970 een positief verband in de meervoudige correlatieberekening bekomen wordt tussen het percent stengels dat tot aarvorming komt en de instabiliteit. We vinden immers voor 1970 een significant negatief verband tussen het aantal stengels en de instabiliteit, terwijl dit verband verdwenen is bij de vergelijking van het aantal aren en de instabiliteit.

Daar het percent stengels dat tot aarvorming komt de oorspronkelijke verschillen in kieming en uitstoeling eveneens nivelleert, is het normaal dat meestal geen significante correlaties gevonden worden met de instabiliteit en dat dit (samen met het aantal aren per m<sup>2</sup>) geen goede maat is voor de fysische bodemvruchtbaarheid.

Dit betekent tevens dat door de hoge zaaidichtheid een massa stengels geteeld worden zonder nut voor de graanproductie. Vanuit het standpunt van de boer kunnen we die handelwijze een voorzichtigheidspolitiek noemen, opdat er bij ongunstige omstandigheden op de fysisch slechtste percelen nog voldoende planten aanwezig zouden zijn om een ongeveer even groot aantal aren te vormen als op de beter gestructureerde verzorgingsobjecten.

#### 1.1.6. Confrontatie van de lengtegroei van het gewas met de instabiliteit.

Ook de lengtegroei van het gewas kan theoretisch beïnvloed worden door de structuurtoestand van de bodem. Het toeslepen van een bodem (tengevolge van een geringe stabiliteit) veroorzaakt een gewijzigde lucht-en waterhuishouding, waardoor de plant zich niet verder optimaal kan ontwikkelen. We zijn er ons nochtans van bewust, dat zowel de enkelvoudige als meervoudige correlatieberekeningen met de daarin opgenomen factoren hier ook met omzichtigheid moeten behandeld worden. Het is nl. zo dat in het vroege voorjaar het kortste gewas meestal op de getuige-objecten voorkomt, wat te wijten is aan een geringere voedingsreserve, maar dat deze achterstand grotendeels wordt ingelopen onder invloed van een compenserende zwaardere chemische bemesting. Ook het tijdstip van de chemische bemesting kan een invloed hebben. Deze opmerkingen worden hier gemaakt opdat men bij de correlatiestudies steeds een zekere reserve zou aan de dag leggen.

Na de winter vinden we een negatief verband tussen de instabiliteit en de lengte van de graangewassen, maar deze significante correlaties verdwijnen gedurende de groei.

### 1.1.7. Confrontatie van de groene-massa- en droge-stof-productie gedurende het groeiseizoen met de instabiliteit.

Deze producties worden bepaald door de lengtegroei van het gewas, maar eveneens door de plant- en stengeldensiteit, de diktegroei van de stengels en de breedte-ontwikkeling van de bladeren.

Er mogen ongeveer dezelfde resultaten verwacht worden bij de confrontatie van de instabiliteit enerzijds met de groene-massa-, anderzijds met de droge-stof-productie tijdens het groeiseizoen; immers, de twee producties zijn onderling goed gecorreleerd, ondanks het feit dat het gehalte aan droge-stof toeneemt naarmate de hoeveelheid groene-massa kleiner is.

De producties worden een eerste maal bepaald in het vroege voorjaar, wanneer de chemische bemesting nog geen invloed heeft gehad, en een tweede maal bij de bloei van het gewas.

Algemeen mogen we, voor de monsternamen in het voorjaar, resultaten verwachten die nauw aansluiten bij deze gevonden onder hoofdstuk IV; 1.1.1., 1.1.2. en 1.1.3.. Dit is in werkelijkheid ook meestal het geval; hoofdzakelijk voor gerst in 1969 en voor tarwe in 1970 worden significante correlaties met negatieve regressiecoëfficiënten gevonden tussen de instabiliteit en de groene-massa of droge-stof-productie vóór de chemische bemesting.

In overeenstemming met het verdwijnen van de correlaties tussen de instabiliteit en de lengtegroei, zijn ook de significante verbanden tussen de groene-massa en de droge-stof-productie bij de bloei met de instabiliteit verdwenen.

## 1.2. Suikerbieten.

Het aantal systematische bepalingen van de vegetatieve ontwikkeling van suikerbieten op de hier besproken proefvelden is beperkt: nl. tot het aantal planten per oppervlakte-eenheid en het percent vertakte bieten.

### 1.2.1. Confrontatie van de plantdensiteit met de instabiliteit.

Tot en met 1967 waren de verschillen in plantdensiteit het rechtstreeks gevolg van een zuiver menselijke ingreep, nl. het uitdunnen en op rij zetten van de bieten vóór de periode van grote groei. Vanaf 1968 werd de precisiezaai uitgevoerd, zodat voor de hier beschouwde jaren, vanaf 1969, het aantal planten per ha kan beïnvloed worden door de

bodemstructuur.

Uit de regressie- en correlatieberekeningen blijkt dit het geval te zijn geweest in 1970 en 1971, waar reeds bij de enkelvoudige vergelijking van de instabiliteit met de plantdensiteit significante negatieve correlaties gevonden worden. Dit is een belangrijk economisch probleem daar in sommige jaren (bij een ongunstig voorjaar) meerdere duizenden ha suikerbieten moeten herzaaid worden tengevolge van een te geringe opkomst van het gewas (te wijten aan een slechte bodemstructuur).

### 1.2.2. Confrontatie van het percent vertakte bieten met de instabiliteit.

De landbouwers weten uit ervaring dat het veelvuldig voorkomen van vertakte bietenwortels wijst op een ongunstige fysische toestand van de bodem, dikwijls ten gevolge van een bodemcompactie. Verschillende onderzoekers hebben de verbanden onderzocht tussen het percent vertakte bieten, de bodemstructuur en (of) de correlatie met rendementen (Simon, 1952 ; Appelmans en De Leenheer, 1968).

Zoals reeds vermeld onder hoofdstuk III,4;1.1. is het percent vertakte bieten per veld niet in overeenstemming met de gevonden instabiliteitswaarden. In de enkelvoudige en meervoudige regressievergelijkingen wordt geen verband gevonden tussen de 2 onderzochte grootheden. De oorzaken van de ontbrekende correlaties zijn velerlei, waarbij we kunnen vermelden:

- het voorkomen van vertakte bieten is gedeeltelijk afhankelijk van een verdichte laag in de bouwvoor wat niet noodzakelijk gecombineerd is met een geringe aggregaatstabiliteit aan de oppervlakte.
- het inwerken van oogstresten (en in mindere mate ook van stalmest) blijkt een grotere mechanische weerstand uit te oefenen op de wortelgroei (Frese, Czeratzki en Altemüller, 1955) en zou eveneens een oorzaak kunnen zijn van het ontstaan van vertakkingen. Zowel voor 1969 als voor 1970 vinden we het hoogste percent vertakking op de percelen met oogstresten en met stalmest, alhoewel de verschillen niet statistisch significant zijn.
- Ook het aantal planten per oppervlakte-eenheid beïnvloedt in grote mate het percent vertakte bieten. Door de precisiezaai is het aantal bieten per ha enorm opgedreven, waardoor het gemiddeld gewicht en de grootte van de bieten gevoelig verminderd worden en het voorkomen van vertakkingen tot een minimum herleid wordt; het gevolg is dan dat verschillen in structuurtoestand van de bodem nauwelijks een invloed kunnen uitoefenen.

N.B.: Om als vertakte biet geteld te worden moeten de vertakkingen

van de wortels een dikte hebben van  $\pm 1$  cm. Dit komt bij dichte stand minder voor.

### Besluiten.

Afhankelijk van de weersomstandigheden zal de instabiliteit van de aggregaten vooral de plantdensiteit (van tarwe en suikerbieten), het aantal stengels per  $m^2$  en de uitstoelingscoëfficiënt (van tarwe) negatief beïnvloeden. De andere onderzochte factoren, als maat van de vegetatieve ontwikkeling, situeren zich meer in het volle groeiseizoen, waarbij een nivellering van de oorspronkelijke verschillen gebeurt, met het gevolg dat er dan ook geen significante negatieve verbanden met de instabiliteit gevonden worden.

## 2. Confrontatie van één of andere rendementsbepaling (bruikbaar als criterium ter beoordeling van de bodemvruchtbaarheid) met de instabiliteit.

Rekening houdend met alle reeds hiervoor vermelde bemerkingen moeten we bij het vinden van significante verbanden tussen één of andere rendementsbepaling en de instabiliteitswaarden zeer voorzichtig zijn en een eventueel verband eerder als een tendens beschouwen dan als een werkelijk vaststaand verband.

Theoretisch verwacht men significante correlaties tussen één of andere rendementsbepaling en de instabiliteit voor die jaren en die gewassen waarvoor bij de voorgaande vergelijkingen (instabiliteit t.o.v. de vegetatieve ontwikkeling) significante verbanden gevonden werden. Nochtans kan een mogelijke compensatie van de oorspronkelijke verschillen in vegetatieve ontwikkeling en het rijpingsproces het uiteindelijk rendement toch nog in een volledig andere richting stuwten.

### 2.1. Graangewassen.

#### 2.1.1. Confrontatie van de graanproductie met de instabiliteit.

De graanproductie (economisch rendement) is omgerekend tot een algemeen aangenomen marktvochtgehalte van 16,5 %.

De resultaten worden hierna in het kort besproken.

Daar voor gerst slechts heel sporadisch sprake is van een correlatie tussen de instabiliteitswaarden en één of andere term van de vegetatieve ontwikkeling, is het normaal dat de graanproductie weinig zal beïn-

vloed worden door de aggregaatstabiliteit. Uitzondering hierop maakt het jaar 1969 waar voor de enkelvoudige vergelijking tussen deze 2 grootheden een significante negatieve lineaire regressie gevonden wordt.

Voor tarwe vinden we zowel voor 1970 als voor 1971 reeds met de enkelvoudige vergelijkingen significante negatieve verbanden tussen de graanproductie en de instabiliteit.

Deze resultaten, zowel voor gerst als voor tarwe, sluiten uitstekend aan bij de voorgaande vergelijkingen, waar ook hoofdzakelijk voor gerst in 1969 en voor tarwe in 1970 en 1971 een invloed van de instabiliteit op de vegetatieve ontwikkeling van het gewas werd vastgesteld. Dit zou er op wijzen dat voldoende grote verschillen in de vegetatieve ontwikkeling van de graangewassen een effect kunnen hebben op de uiteindelijke graanproductie, ondanks de compensatiemogelijkheden en het rijpingsproces.

### 2.1.2. Confrontatie van de stroproductie met de instabiliteit.

Noch voor gerst, noch voor tarwe worden significante correlaties gevonden tussen de instabiliteit en de stroproductie. Dit is in overeenstemming met de eveneens verdwenen verbanden tussen de instabiliteit en de groene-massa- of droge-stof-productie bij de bloei.

### 2.1.3. Confrontatie van de totale droge-stof-productie met de instabiliteit.

Daar de totale droge-stof-productie de som is van de graan- en de stroproductie verwacht men hier significante correlaties voor deze gewassen en die jaren waarvoor reeds significante regressies gevonden werden tussen de graan- en (of) stroproductie en de instabiliteit.

De verwachte significante correlaties (voor gerst in 1969 en voor tarwe in 1970 en 1971) blijven echter achterwege, hoofdzakelijk te wijten aan de afwezigheid van significante verbanden tussen de stroproductie en de instabiliteit.

## 2.2. Suikerbieten.

### 2.2.1. Confrontatie van de wortelproductie met de instabiliteit.

De wortelproductie kan uitgedrukt worden als vers materiaal of als droge stof. De onderlinge correlaties zijn significant, zodat mag verwacht worden dat bij vergelijking van de instabiliteit met de wortelproductie (zowel vers als droog) ongeveer identieke resultaten zullen verkregen worden.



Overeenkomstig het negatief rechtlijnig verband tussen de instabiliteit en het aantal planten in 1970 en 1971 vinden we ook voor deze 2 jaren significante correlaties met negatieve regressiecoëfficiënten tussen de instabiliteit en de wortelproductie. Dit wijst op een uitgesproken parallelliteit, die te verklaren is door de hoge significante positieve regressie tussen het aantal planten en de wortelproductie.

#### 2.2.2. Confrontatie van de loofproductie met de instabiliteit.

Voor 1969 vinden we een positief verband, tussen de instabiliteit en de loofproductie, terwijl in 1970 en 1971, nl. de jaren met de grootste structuurinvloeden, geen significante correlaties met de instabiliteit gevonden worden.

#### 2.2.3. Confrontatie van het percent suiker en de suikerproductie met de instabiliteit.

Het percent suiker is in 1969 en 1971 negatief gecorreleerd met de aggregaatinstabiliteit. Voor 1969 gaat dit samen met een positief verband tussen de loofproductie en de instabiliteit. Dit is mogelijks het gevolg van een bemestingseffect in dat jaar, nl. een te hoge stikstofbemesting op de minst stabiele percelen (het is gekend dat een te hege stikstofbemesting een grotere loofproductie, maar een daling van het suikergehalte geeft).

De suikerproductie (economisch rendement) die het produkt is van de wortelproductie en het percent suiker, geeft de normaal verwachte negatieve correlaties met de instabiliteitswaarden in 1970 en 1971.

Zoals voor de graangewassen zouden deze resultaten erop wijzen dat voldoende grote verschillen in aantal planten (afhankelijk van de structuurtoestand) een invloed kunnen hebben op de uiteindelijke wortel- en suikerproductie (nochtans is een effect van de structuurtoestand op de groei "zelf" evenmin uitgesloten).

#### 2.2.4. Confrontatie van de totale droge-stof-productie met de instabiliteit.

Zoals voor de graangewassen verwacht men significante correlaties in die jaren waarin reeds verbanden gevonden werden tussen de instabiliteit en de droge-stof-productie van de wortels en (of) de droge-stof-productie van het loof en de koppen.

Enkel in 1969 vinden we een positief verband tussen de twee onderzochte grootheden, vooral te wijten aan het hoge positieve verband tussen de loofproductie en de instabiliteit.

Besluiten.

Ondanks de mogelijke compensatie (vooral voor graangewassen) van de verschillen in de vegetatieve ontwikkeling van de gewassen constateert men nog significante negatieve verbanden tussen de instabiliteit en het economisch rendement in die jaren en voor die gewassen, waarvoor eveneens betrouwbare regressies gevonden werden tussen de instabiliteit en de plant-en/of stengeldensiteit.

Totale droge-stof-producties blijken tot nu toe weinig significant beïnvloed te worden door de instabiliteit van de aggregaten.

### ALGEMENE SAMENVATTING EN BESLUITEN.

In het eerste deel van dit werk werd de modus operandi van de stabiliteitsbepaling tot in de details onderzocht. Hier vermelden we slechts een paar factoren die de resultaten enorm kunnen beïnvloeden en waaraan in de oorspronkelijke beschrijving van de methode te weinig aandacht werd geschonken.

- 1) De aggregaatstabiliteit kan enorm variëren met de bemonsteringsdiepte bij de monsternamen in de bouwvoor.
- 2) De noodzakelijkheid van het vóórbevochtigen van de aggregaten tot ongeveer de veldcapaciteit van de bodem. Hierbij aansluitend werden ook de oorzaken van de afbraak van aggregaten bij verschillende vochtgehalten onderzocht.

In een tweede deel werden het nut en de mogelijkheden van de stabiliteitsbepalingen beklemtoond. Naast de invloed van het bodemprofiel en het bodemgebruik op de instabiliteit, werd de variatie van de instabiliteit in de tijd onderzocht. Alhoewel een aantal factoren gekend zijn die de nagenoeg sinusoidale variatie van de instabiliteit beïnvloeden, blijven over het algemeen de rechtstreekse oorzaken van deze wijzigingen nog onbekend en is in die richting nog verder onderzoek wenselijk.

In het laatste deel van dit werk werd de optimale bodemverzorging voor het behoud of de verbetering van de bodemstructuur en de fysische fertiliteit op praktijkproefvelden (gemechaniseerde bedrijven) nagegaan. Uit de variantie-analyse bleek, zich steunend op de stabiliteitsbepalingen als maat voor de structuurtoestand van de bodem, dat reeds na een aantal jaren een significante differentiatie tussen de verschillende organische verzorgingsobjecten tot uiting komt. We vinden de beste aggregaatstabiliteit op de stalmestpercelen, terwijl de percelen met "oogstresten" nog vergelijkbare cijfers geven. Dit zou betekenen dat men met relatief goede resultaten het toedienen van "stalmest" kan vervangen door het inploegen van alle "oogstresten" voor het behoud van de bodemstructuur. Het uitsluitend inploegen van een "groenbemestingsgewas" om de 3 jaar is onvoldoende. Er wordt wel een betere stabiliteit waargenomen op deze percelen dan op de blanco-percelen, maar de stabiliteit t.o.v. de stalmestpercelen is nagenoeg significant geringer. Het volledig ontbreken van enige vorm van organische bemesting is nefast, wat de stabiliteit betreft.

Op te merken valt dat dit resultaten zijn na 8 jaar proeven en dat de differentiatie nog meer uitgesproken zal worden over een aantal jaren.

Bij een verdere analyse is gebleken dat de verschillen in aggregaat-instabiliteit tussen de verzorgingsobjecten praktisch uitsluitend aan verschillen in humusgehalten te wijten zijn.

Uit de vergelijking van de instabiliteitswaarden met de fotometrische methode kunnen we besluiten dat werkelijk bestaande structuurverschillen op het veld kwantitatief bepaald worden door de aggregaatstabiliteit.

Significante correlaties tussen de aggregaatinstabiliteit en de resultaten van andere structuurbepalingsmethoden worden niet gevonden, hoofdzakelijk tengevolge van de nog relatief geringe structuurverschillen.

De invloed van de instabiliteit op de fysische bodemvruchtbaarheid is in grote mate afhankelijk van de weersomstandigheden (vooral tijdens de winter en de vroege lente). Vooral in 1970, na een strenge en natte (vooral sneeuwrijke) winter is het negatief effect van de instabiliteit op de vegetatieve ontwikkeling van de gewassen sterk tot uiting gekomen. Deze variaties in vegetatieve ontwikkeling blijken (samen met een mogelijk effect van de structuurtoestand op de groei "zelf") de uiteindelijke producties (economische rendementen) te beïnvloeden. Daar het ontbreken van een aantal planten op de suikerbietenpercelen niet kan gecompenseerd worden zoals bij de graangewassen (door een betere uitstoeling of aarvorming), worden betrekkelijk hoog significante negatieve verbanden tussen het economisch rendement en de instabiliteit gevonden voor het gewas "suikerbieten" in die jaren waarin eveneens betrouwbare regressies tussen het aantal planten en de instabiliteit bekomen worden. Ondanks de mogelijke nivellering van oorspronkelijke verschillen in vegetatieve ontwikkeling worden ook bij de graangewassen (vooral bij tarwe) significante negatieve lineaire regressies tussen de instabiliteit en de graanproductie gevonden.

Hieruit mogen we besluiten dat het verwaarlozen van een minimale toediening van organisch materiaal aan de bodem, na een betrekkelijk klein aantal jaren ( $\pm$  8 jaar), nadelige gevolgen kan hebben op de bodemstructuur, die op haar beurt zowel de vegetatieve ontwikkeling als het uiteindelijk rendement van de gewassen kan beïnvloeden.

LITERATUUR.

ALDERFER, R.B.; 1946.

Seasonal variability in the aggregation of Hagerstown silt loam.  
Soil Science, 62, 151-168.

ALDERFER, R.B.; 1950.

Influence of seasonal and cultural conditions on aggregation of  
Hagerstown soil.  
Soil Science, 69, 193-203.

APPELMANS, F.; DE LEENHEER, L.; 1968.

Le pourcentage de betteraves fourchues comme indice de la compaction  
du sol et sa corrélation avec le rendement.  
Pédologie, 18, 333-350.

APPELMANS, F.; DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M.; 1961.

Invloed van de uitbatingswijze van de landbouwbedrijven in de  
natte leemstreek op de structuur van de bovengrond en verschil  
met de toestand in Haspengouw.  
Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations  
van de Staat te Gent, 26, 1731-1754.

APPELMANS, F.; VAN RUYMBEKE, M.; DE LEENHEER, L.; 1962.

Verband tussen uitbatingswijze van de landbouwbedrijven in het  
westelijk deel van de normale leemstreek en de structuur van  
de bovengrond.  
Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations  
van de Staat te Gent, 27, 1615-1630.

BEACHER, B.F.; STRICKLING, E.; 1955.

Effect of puddling on water stability and bulk density of aggre-  
gates of certain Maryland soils.  
Soil Science, 80, 363-373.

BOBCHENKO, V.I.; 1962.

Water stability of soil.  
Soviet Soil Science, 2, 1391-1395.

BOUYOUCOS, C.J.; 1929.

The ultimate natural structure of soils.  
Soil Science, 28, 27-37.

BROWNING, G.M.; MILLAM, F.M.; 1944.

Effect of different types of organic materials and lime on soil aggregation.  
Soil Science, 57, 91-106.

BRYAN, R.B.; 1971.

The efficiency of aggregation indices in the comparison of some English and Canadian Soils.  
The Journal of Soil Science, 22, 166-178.

BRYANT, J.C.; BENDIXEN, T.W.; SLATER, G.S.; 1948.

Measurement of the water-stability of soils.  
Soil Science, 65, 341-345.

BUI HUU TRI; 1968.

Dynamique de la granulation du sol sous prairie.  
Annales Agronomiques, 19, 415-439.

BUI HUU TRI; 1969.

Dynamique de la granulation du sol sous prairie.  
Thèse, Faculté des Sciences de Paris.

CALLEBAUT, R.; DE LEENHEER, L.; 1966.

Etude de la structure et de la fertilité physique des sols sur fermes mécanisées.  
2e Note;  
Evaluation de l'homogénéité du sol comme milieu de croissance à l'aide d'essais à blanc sur de grands champs d'expérimentation.  
Pédologie, 16, 42-74.

CAVAZZA, L.; LINSALATA, D.; D'ONGHIA, G.; BARRACCHIA, C.; 1968.

L'influence de la rotation de la fumure et de l'enfouissement des pailles sur la structure du sol.

9th International Congress of Soil Science, Adelaïde, vol. 3, 367-376.

- CECCONI, S. ; SALAZAR, A. ; MARTELLI, M. ; 1963.  
Influenza di vari cationi ed anioni sulla stabilita di struttura del terreno.  
Agrochimica, 2, 185-204.
- CERNUDA, C.F.; SMITH, R.M.; VINCENTE-CHANDLER, J. ; 1954.  
Influence of initial soil moisture condition on resistance of macroaggregates to slaking and to water-drop impact.  
Soil Science, 77, 19-27.
- CHEPIL, W.S. ; 1954.  
Seasonal fluctuations in soil structure and erodibility of soil by wind.  
Soil Science Society of America Proceedings, 18, 13-16.
- CHESTERS, G. ; ATTOE, O. ; ALLEN, O. ; 1957.  
Soil aggregation in relation to various soil constituents.  
Soil Science Society of America Proceedings, 21, 272-277.
- CHILDS, E.C. ; 1940.  
The use of soil moisture characteristics in soil studies.  
Soil Science, 50, 239-252.
- COCHRAN, W.G. ; COX, G.M. ; 1950.  
Experimental designs.  
John Wiley & Sons, New York.
- CONCARET, J. ; 1967.  
Etude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre au contact des solutions aqueuses.  
Annales Agronomiques, 18, 65-144.
- CUADRADO SANCHEZ, S. ; FIES, J.C. ; MONNIER, G. ; 1971.  
Influence de la nature minéralogique de la fraction limoneuse sur la stabilité structurale des sols.  
Science du Sol, 2, 27-35.
- CZERATZKI, W. ; 1957.  
Untersuchungen über Krümelstabilität an einem Kalkversuch.  
Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung; Bodenkunde, 78, 121-135.

CZERATZKI, W. ; 1958.

Probleme der Krümelstabilitätsmessung und der Krümelbildung.  
Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin,  
Tagungsberichte, 13, 85-97.

DABIN, B. ; 1962.

Relations entre les propriétés physiques et la fertilité dans les  
sols tropicaux.  
Annales Agronomiques, 13, 111-140.

DE BISSCHOP, F. ; 1972.

Bijdrage tot de studie van de vorming van adhesive bindingen tussen  
korrelvormige materialen met behulp van emulsies.  
Thesis, Faculteit van de Wetenschappen, Gent.

DE BOODT, M. ; 1957.

Bijdrage tot de kennis van de bodemstructuur.  
Thesis, Rijkslandbouwhogeschool, Gent.

DE BOODT, M. ; 1967.

De bodemfysika en enkele aktuele problemen van structuurstabilisatie.  
Het Ingenieursblad, 4, 3-14.

DE BOODT, M. ; DE LEENHEER, L. ; 1956.

Proposed index for soil structure based on pore-size distribution  
and aggregate stability.  
Sixième Congrès de la Science du Sol, Paris, 1, 95-101.

DE BOODT, M. ; DE LEENHEER, L. ; KIRKHAM, D. ; 1961.

Soil aggregate stability indexes and crop yields.  
Soil Science, 91, 138-146.

DE LEENHEER, L. ; 1958.

Werkwijzen van de analyses aan het centrum voor grondonderzoek.  
Rijkslandbouwhogeschool, Gent.

DE LEENHEER, L. ; 1965 (1).

L'étude pratique de la fertilité du sol comme problème d'ensemble.  
Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 109,  
139-155.



DE LEENHEER, L.; 1965 (2).

Etude de la structure et de la fertilité physique du sol sur grandes fermes mécanisées.

Pédologie, 15, 84-109.

DE LEENHEER, L.; 1967.

Variation in time of the soil porosity and pore-size distribution.

Pédologie, 17, 341-374.

DE LEENHEER, L.; 1971 (1).

The influence of weather, crop and sampling depth on the measurement of pore size distribution in the arable layer of some cultivated silt soils.

Soil Science, 112, 89-99.

DE LEENHEER, L.; 1971 (2).

Soil fertility evaluation on mechanised farms under humid climate (Belgium) in relation to organic and chemical fertilization and to some physical characteristics.

Proceedings of the International Symposium on Soil Fertility Evaluation, New Delhi, 1, 455-471.

DE LEENHEER, L.; DE BOODT, M.; 1950.

La dégradation de la structure des polders marins belges, son évaluation et ses causes.

Transactions of the International Congress of Soil Science, Amsterdam, Vol 1, 55-59.

DE LEENHEER, L.; DE BOODT, M.; 1958 (1).

Soil sampling and storage for soil structure research.

Internationaal Symposium over Bodemstructuur. Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 24, 257-266.

DE LEENHEER, L.; DE BOODT, M.; 1958 (2).

Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter.

Internationaal Symposium over Bodemstructuur. Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 24, 290-300.

DE LEENHEER, L.; DE BOODT, M.; VANDAMME, J ; 1960.

Oefent de mechanisatie en uitbafingswijze een invloed uit op de bodemstructuur in de Leemstreek?

Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 25, 773-802.

DE LEENHEER, L.; MAES, L ; 1952.

Analyse granulométrique avec l'hydromètre à chaîne.

Bulletin Soc. Belge de Géologie, 61, 138-164.

DE LEENHEER, L.; MAES, L.; MARCOUR, M.; 1954.

De bepaling van calciumcarbonaat in gronden.

Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 19, 83-87.

DE LEENHEER, L.; VAN HOVE, J.; 1956.

Werkwijze voor de mechanische analyse met de kettingshydrometer.

Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 21, 249-274.

DE LEENHEER, L.; VAN HOVE, J.; VAN RUYMBEKE, M.; 1957.

Détermination quantitative de la matière organique du sol.

Pédologie, 7, 324-347.

DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M.; 1960.

Is it possible to predict some physical soil characteristics knowing the soil components?

Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci., Madison, 1, 272-278.

DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M.; 1966.

Etude de la structure et de la fertilité physique des sols sur fermes mécanisées.

4e Note.

Comment tenir compte de l'influence de "la fertilité chimique" du sol sur les champs d'expérimentation pour l'étude de la "fertilité physique" des terres?

Pédologie, 16, 267-292.

DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M.; 1969.

Berechnung einer gleichmässigen Nährstoffzufuhr für alle Parzellen bei Versuchen zur Feststellung der physikalischen Wirkung von Gründüngung, Stallmist und Ernterückständen.

Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 123, 113-130.

DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M.; MAES, L.; 1955.

Die Kettenaräometer-methode für die mechanische Bodenanalyse.

Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 68, 10-19.

DELL'AGNOLA, G.; FERRARI, G.; 1971.

Molecular sizes and functional groups of humic substances extracted by 0,1 M pyrophosphate from soil aggregates of different stability.

The Journal of Soil Science, 22, 342-349.

DERMOTT; 1967.

Aggregate analysis through wet sieving of selected dry clods according to Dermott.

In West-European methods for soil structure determination, West-European working group on soil structure of the International Soil Science Society.

State Faculty of Agricultural Science, Ghent, 6, 55-57

EMERSON, W.W.; 1954.

The determination of the stability of soil crumbs.

Journal of Soil Science, 5, 233-250.

EVANS, D.; 1954.

Effect of prewetting and incubation of soil on aggregate analysis.

Soil Science Society of America Proceedings, 18, 10-12.

EZEKIEL, M.; FOX, K.A.; 1959.

Methods of correlation and regressions analysis.

John Wiley and Sons, Inc., New York.

FENG, C.L.; BROWNING, G.M.; 1946.

Aggregate stability in relation to pore size distribution.

Soil Science Society of America Proceedings, 11, 67-73.

FEODOROFF, A.; 1958.

Un appareil pour le tamisage de la terre sous l'eau.  
Annales Agronomiques, 9, 537-546.

FEODOROFF, A.; 1960.

Evaluation de la stabilité structurale d'un sol (Indice S).  
Nouvelles normes d'emploi pour l'appareil à tamiser.  
Annales Agronomiques, 11, 651-659.

FIES, J.C.; 1970.

Recherche de paramètres facilitant l'interprétation de l'analyse granulométrique en physique du sol.  
Influence de la surface spécifique des éléments du squelette sur la stabilité structurale.  
Science du Sol, 2, 27-37.

FREI, E.; PEYER, K.; 1963.

Untersuchungen über die Stabilität von Bodenkrümeln.  
Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung, 4, 441-462.

FRESE, H.; CZERATZKI, W.; ALTEMULLER, H.J.; 1955.

Über die Wirkung der Verteilung organischer und anorganischer  
Büngerstoffe im Boden auf das Wurzelwachstum von Zuckerrüben.  
Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 69, 198-205.

GARDNER, W.H.; 1956.

Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution.  
Soil Science Society of America Proceedings, 20, 151-153.

GRAFFIN, P.; 1971.

Etude intégrée de la décomposition d'apports organiques dans le sol.  
Annales Agronomiques, 22, 213-239.

GRAS, R.; 1961.

Relations entre les propriétés physiques du sol et la croissance du pommier dans la Sarthe.  
Annales Agronomiques, 12, 207-248.

GRAS, R.; 1962.

Quelques observations sur les relations entre les propriétés physiques du sol et la croissance du pêcher dans la vallée du Rhône, entre Vienne et Valence.

Annales Agronomiques, 13, 141-174.

GRAS, R.; 1965.

Premiers résultats d'un essai d'entretien du sol en arboriculture fruitière.

Annales Agronomiques, 16, 663-700.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.; 1966.

Soil aggregate stabilization by the indigenous microflora as affected by temperature.

Soil Science Society of America Proceedings, 30, 205-210.

HENIN, S.; 1936.

Etude sur la régénération des éléments structuraux des sols de limon.

Annales Agronomiques, 6, 455-472.

HENIN, S.; MONNIER, G.; COMBEAU, A.; 1958.

Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols.

Annales Agronomiques, 9, 71-90.

HENIN, S.; MONNIER, G.; GRAS, R.; FEODOROËF, A.; 1960.

Le profil cultural.

Société d'éditions des Ingénieurs Agricoles, Paris.

HENIN, S.; ROBICHET, O.; JONGERIUS, A.; 1955.

Principes pour l'évaluation de la stabilité structurale des sols.

Annales Agronomiques, 6, 537-557.

HUTTER, W.; 1966.

Action des compressions sur la structure d'un sol.

Annales Agronomiques, 17, 37-52.

JACQUARD, P.; MONNIER, G.; CROISIER, L.; 1970.

Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables.

Annales Agronomiques, 21, 5-56.

JANSE, A.R.P.; KOENIGS, F.F.R.; 1963.

Het verslempingsbeeld.

Boor en Spade, 13, 168-177.

KHEYRABI, D.; MONNIER, G.; 1968.

Etude expérimentale de l'influence de la composition granulométrique des terres sur leur stabilité structurale.

Annales Agronomiques, 19, 129-152.

LAWS, J.O.; 1941.

Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops.

Transactions American Geophysical Union, Part 3, 709-721.

LEO, M.; 1963.

A rapid method for estimating structural stability of soils.

Soil Science, 96, 342-346.

LI, J.C.R.; 1965.

Statistical inference.

Edwards Brothers, Inc., Ann. Arbor, Michigan.

LOGSDAIL, D.E.; WEBBER, L.R.; 1959.

Effect of frost action on structure of Haldimand clay.

Canadian Journal of Soil Science, 39, 103-106.

LOW, A.J.; 1954.

The study of soil structure in the field and the laboratory.

Journal of Soil Science, 5, 57-74.

LOW, A.J.; 1955.

Improvements in the structural state of soils under leys.

The Journal of Soil Science, 6, 179-199.

- LUTZ, J.F.; GARCIA LAGOS, R.; HILTON, H.G.; 1960.  
The effect of phosphate fertilizers on some physical properties of soil.  
7th International Congress of Soil Science, Madison, vol 1, 241-248.
- MALIK, M.N.; STEVENSON, D.S.; RUSSELL, G.C.; 1965.  
Water-stable aggregation in relation to various cropping rotations and soil constituents.  
Canadian Journal of Soil Science, 45, 189-197.
- MARTY, J.R.; FIORAMONTI, S.; 1970.  
Comparaison de diverses rotations sur sol limoneux mal structuré; effect améliorant des cultures fourragères.  
Annales Agronomiques, 21, 269-286.
- MCCALLA, T.M.; 1942.  
The influence of biological products on soil structure and infiltration.  
Soil Science Society of America: Proceedings, 7, 209-214.
- MCCALLA, T.M.; 1944.  
Water drop method of determining stability of soil structure.  
Soil Science, 58, 117-121.
- MONNIER, G.; 1965.  
Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.  
Thèse, Institut de la Recherche Agronomique, Paris.
- MONNIER, G.; GRAS, R.; 1965.  
Action d'une culture d'engrais vert sur les propriétés physiques d'un sol de verger.  
Annales Agronomiques, 16, 553-577.
- MONNIER, G.; KONAN, L.; 1968.  
Influence des conditions de séchage des terres sur leur stabilité structurale.  
Annales Agronomiques, 19, 541-551.

- NEVO, Z.; HAGIN, J.; 1966.  
Changes occurring in soil samples during air-dry storage.  
Soil Science, 102, 157-160.
- PANABOKKE, C.R.; QUIRK, J.P.; 1957.  
Effect of initial water content in stability of soil aggregates in water.  
Soil Science, 83, 185-195.
- PEERLKAMP, P.K.; 1948.  
Het meten van de bodemstructuur.  
Landbouwkundig Tijdschrift, 60, 321-338.
- PLOTNIKOV, A.A.; 1960.  
The dynamics of water-stable soil structure in a grass-arable rotation.  
Soviet Soil Science, 2, 1104-1110.
- PLOTNIKOV, A.A.; 1961.  
Role of grass-arable rotation crops in the dynamics of the group composition of soil aggregates.  
Soviet Soil Science, 2, 864-870.
- RAO, K.S.; RAMACHARLU, P.T.; 1957.  
Water stability of aggregates in heated soils.  
Soil Science, 84, 439-443.
- REMY, J.C.; 1971.  
Influence de la constitution physique des sols sur leur comportement mécanique; signification des limites d'Atterberg en matière de travail du sol.  
Annales Agronomiques, 22, 267-290.
- RICHARDS, L.A.; 1941.  
A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution.  
Soil Science, 51, 377-386.



RICHARDS, L.; 1965.

Physical condition of water in soil.

In Agronomy 9, C.A. Black, ed.. Methods of Soil Analysis.

American Society of Agronomy, Madison, Wisc. Part 1, 128-152.

ROTTI, A.;

Statistiek. (cursus).

Rijkslandbouwhogeschool, Gent.

RUSSELL, M.B.; FENG, C.L.; 1947.

Characterization of the stability of soil aggregates.

Soil Science, 63, 299-304.

SCHACHTSCHABEL, P.; HARTGE, K.; 1959.

Die Messung der Bodenstruktur durch Bestimmung der pF-Kurve und der Strukturstabilität.

Landwirtschaftliche Forschung, 12 S-H, 30-36.

SCHAFFER, G.; 1961.

Bodenphysikalische Messmethoden zur Beurteilung von Strukturänderungen, die durch praktische ackerbauliche Massnahmen hervorgerufen werden.

Habil. Schrift, Hohenheim..

SCHAHABI, S.; SCHWERTMANN, U.; 1970.

Der Einfluss von synthetischen Eisenoxiden auf die Aggregation zweier Lössbodenhorizonte.

Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 125, 193-204.

SCHALLER, F.W.; STOCKINGER, S.K.R.; 1953.

A comparison of five methods for expressing aggregation data.

Soil Science Society of America Proceedings, 17, 310-313.

SCHUFFELEN, A.C.; VAN SCHUYLENBORGH, J.; 1950.

Het gebruik van de methode Vilenski ter bestudering van de invloed van de vorst en van de micro-organismen op de structuur van de grond.

Landbouwkundig Tijdschrift, 62, 339- 347.

SCHUMACHER, W.; 1864.

Die Physik des Bodens.

Die Physik, Vol. 1, 81-102.

Verslag Wieglandt und Hempel, Berlin.

SEBILOTTE, M.; 1968.

Stabilité structurale et bilan hydrique du sol. Influence du climat et de la culture.

Annales Agronomiques, 19, 403-414.

SILLANPÄÄ, M.; 1959.

The influence of the initial soil moisture content on the degree of water stable aggregation as determined by wet sieving.

Maataloustieteellinen Aikakauskirja.

The Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland, 31, 233-239.

SILLANPÄÄ, M.; 1961.

The dynamic nature of soil aggregation as affected by cycles of freezing and thawing.

Acta Agriculturae Scandinavica, 11, 87-94.

SILLANPÄÄ, M.; WEBBER, L.R.; 1961.

The effect of freezing thawing and wetting-drying cycles on soil aggregation.

Canadian journal of Soil Science, 41, 182-187.

SIMON, M.; 1952.

La structure du sol en relation avec le développement de la betterave sucrière en Belgique, au cours de l'année 1951.

Inst. Belge Amélior. Better. Sucr., 20, 29-60.

SLATER, C.S.; 1953.

Effect of sample drying on the determination of the water-stability of soils.

Soil Science Society of America Proceedings, 17, 75-76.

SNEDECOR, G.W.; 1959.

Statistical methods.

Iowa State College Press, Ames, Iowa.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; 1960.

Principles and procedure of statistics.

Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New-York.

STEFANSON, R.C.; 1968.

Factors determining seasonal changes in the stabilities of soil aggregates.

9th International Congress of Soil Science, Adelaide, 2, 395-402.

STEFANSON, R.C.; 1971.

Effect of periodate and pyrophosphate on the seasonal changes in aggregate stabilization.

Australian Journal of Soil Research, 9, 33-41.

STRICKLING, E.; 1955.

Relationship of porosity to water stability in Beltsville soil aggregates.

Soil Science, 80, 449-457.

SUNKEL, R.; 1960.

Über die Porosität von Bodenaggregaten.

I. Mitteilung : Eine Methode zur Bestimmung des Substanz- und Porenvolumens von Bodenaggregaten.

Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 89, 17-27.

SUNKEL, R.; 1961 (1).

Über die Porosität von Bodenaggregaten.

2. Mitteilung : Untersuchungsergebnisse.

Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 93, 221-234.

SUNKEL, R.; 1961 (2).

Über die Porosität von Bodenaggregaten.

3. Mitteilung : Vergleich zwischen Stabilität und Porosität von Aggregaten und Beziehungen zum Kohlenstoffgehalt und zur Korngrößenverteilung.

Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 93, 234-244.

VAN BAVEL, C.H.M.; 1949.

Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation.

Soil Science Society of America. Proceedings, 14, 20-23.

VAN BAVEL, C.H.M.; 1953.

Report of the committee on physical analyses 1951-1953.

Soil Science Society of America Proceedings, 17, 416-418.

VANDAMME, J.; DE LEENHEER, L.; APPELMANS, F.; 1963.

Invloed van de uitbatingswijze van de landbouwbedrijven in de Brabantse leemstreek op de structuur van de bovengrond.

Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 28, 133-164.

VANDAMME, J.; DE LEENHEER, L.; DE BOODT, M.; 1963.

Verband tussen uitbatingswijze van de landbouwbedrijven in het Oostelijk gedeelte van de normale leemstreek en de structuur van de bovengrond.

Mededelingen van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent, 28, 41-79.

VAN RUYMBEKE, M.; DE LEENHEER, L.; 1965.

La texture de la couche arable en Flandre orientale.

Pédologie, 15, 255-340.

WALKLEY, A.; BLACK, J.; 1934.

An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method.

Soil Science, 37, 29-38.

WALKLEY, A.; BLACK, J.; 1965.

Organic carbon : Walkley-Black Method.

In Agronomy 9, C.A. Black, ed.. Methods of Soil Analysis.

American Society of Agronomy, Madison, Wisc., Part 2, 1372-1376.

WEST-EUROPEAN WORKING GROUP on Soil Structure of the International  
Soil Science Society; 1967.

West-European methods for soil structure determination.  
State Faculty of Agricultural Science, Ghent.

WILLIAMSON, W.T.H.; JOYCE PRINGLE; COUTTS, J.R.H.; 1956.

Rapid method for the determination of water-stable aggregates in  
soils.

Journal of the Science of Food and Agriculture, 7, 265-269.

WILLIS, W.; 1955.

Freezing and thawing and wetting and drying in soils treated with  
organic chemicals.

Soil Science Society of America Proceedings, 19, 263-267.

YODER, R.E.; 1936.

A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the  
physical nature of erosion losses.

Journal of the American Society of Agronomy, 28, 337-351.