



Ministerie van Middenstand en Landbouw
Bestuur Onderzoek en Ontwikkeling DG6
Dienst Betoelaagd Onderzoek
WTCIII - 20^{ste} verdieping
Simon Bolivarlaan 30
1000 - Brussel

Beredeneerd beregenen van stamslaboon en voorjaarsspinazie op zandleem- tot leembodems

P. Deproost, F. Elsen, L. Vanongeval en M. Geypens

Bodemkundige Dienst van België

April 2001



Ministerie van Middenstand en Landbouw
Bestuur Onderzoek en Ontwikkeling DG6
Dienst Betoelaagd Onderzoek
WTCIII - 20^{ste} verdieping
Simon Bolivarlaan 30
1000 - Brussel

Beredeneerd beregenen van stamslaboon en voorjaarsspinazie op zandleem- tot leembodems

P. Deproost, F. Elsen, L. Vanongeval en M. Geypens

Bodemkundige Dienst van België

April 2001

Bodemkundige Dienst van België

W. de Croylaan 48

B-3001 Heverlee

België

Tel: +32 (0)16 31 09 22

Fax: +32 (0)16 22 42 06

E-mail: info@bdb.be

Website: <http://www.bdb.be>

Overname van gegevens van deze publicatie voor persoonlijk gebruik is toegestaan mits duidelijke bronvermelding. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht en hiervoor is de schriftelijke toestemming van de auteurs vereist.

INHOUD**Voorwoord**

INHOUD	I
INLEIDING	3
DEEL 1: DIVERSE ASPECTEN VAN BEREGENING	5
1. Bodemkarakteristieken	6
2. Gewaskenmerken	10
2.1 Vochtverbruik en gewascoëfficiënten	10
2.2 Kritische bodemvochtspanning	10
2.3 Interventiedrempel voor berekening	13
3. De vochtbalans als basis van het adviessysteem	15
4. Evaluatie van tensiometer- en TDR-bepalingen	18
4.1 Tensiometer	18
4.2 TDR (Time Domain Reflectometry)	21
4.3 Correlatie tussen TDR-, tensiometer- en gravimetrische vochtbepalingen	22
4.4 Besluit	24
DEEL 2: BEREGENING BIJ DE STAMSLABONENTEELT	27
1. Problematiek	27
2. Proefopzet	29
2.1 Onderzoeksstrategie	29
2.2 Relatie tussen handoogsten en machinale oogsten	29
2.3 Proefveldoverzicht	30
3. Invloed van berekening op de gewasontwikkeling	33
3.1 LAI, bodembedekkingsgraad en drooggewicht	33
3.2 Plantstructuur	34

3.3 Wortelontwikkeling	36
3.4 Besluit	37
4. Invloed van klimaat op de gewasontwikkeling	39
4.1 Groeicurven	39
4.2 Groeicurven en klimaatsparameters	39
4.3 Besluit	42
5. Effect van relatieve droogtestress op de peulopbrengst	43
5.1 Droogte tijdens de vegetatieve fase	43
5.2 Droogte tijdens de bloei	44
5.3 Droogte tijdens de peulontwikkeling	45
5.4 Droogte tijdens zowel bloem- als peulontwikkeling	45
5.5 Relatie tussen de voldoening aan de vochtvraag en de opbrengst	46
5.6 Harvest Index (HI) en Water Use Efficiency (WUE)	48
5.7 Samenvatting en besluit	49
6. Bloem-en peulontwikkeling, peulrijping en –kwaliteit	52
6.1 Kwantitatieve studie van de generatieve ontwikkeling	52
6.2 Evolutie van het peulgewicht	58
6.3 Invloed van droogtestress op de rijpingssnelheid van de peulen	59
6.4 Belang van beregening voor een optimaal vochtgehalte van de peulen	60
6.5 Besluit	62
7. Stikstofhuishouding bij stamslaboon onder beregening	64
7.1 Effect van beregening op de stikstofopname door het gewas en de Nitrogen Use Efficiency (NUE)	64
7.2 Stikstofremobilisatie als aanpassingsstrategie bij relatieve droogte	65
7.3 Doorspoeling en stikstofuitspoeling	67
7.4 Besluit	68
8. Optimale beregeningsstrategie voor stamslabonen	69
DEEL 3: BEREGENING BIJ DE TEELT VAN SPINAZIE	71
1. Problematiek	71
2. Proefopzet	72

3. Invloed van berekening op gewasontwikkeling en opbrengst	73
4. Stikstofhuishouding bij spinazie onder berekening	76
4.1 Stikstof- en nitraatgehalte van het gewas	76
4.2 Stikstofopname en Nitrogen Use Efficiency (NUE)	77
4.3 Besluit	78
5. Optimale beregeningsstrategie voor spinazie	79

Literatuur

Nawoord

Voorwoord

In onze industriële maatschappij wordt steeds meer aandacht gevraagd voor het zuinig en beredeneerd aanwenden van water. Het in stand houden van deze kostbare natuurlijke rijkdom vergt ons aller inzet, niet alleen uit economische overwegingen, maar eveneens uit milieuoverwegingen.

Het is uit deze dubbele bekommernis dat het Ministerie van Middenstand en Landbouw – dienst Betoelaagd Onderzoek – in 1997 een onderzoeksproject heeft gelanceerd over de vraag naar het optimaal gebruik van irrigatiewater in de stamslabonenteelt en de spinazieteelt, twee belangrijke groenten die hoofdzakelijk voor de industriële verwerking in aanmerking komen. In de literatuur werden hieromtrent geen eenduidige gegevens gevonden.

De Bodemkundige Dienst van België, als uitvoerder van het onderzoeksproject, heeft deze problematiek op een grondige, maar ook op een realistische manier aangepakt. Het onderzoek vond inderdaad plaats onder de heersende klimaatsomstandigheden op proefpercelen – zandleem- en leembodems – zoals die in de praktijk voorkomen.

Vanuit zuiver wetenschappelijk standpunt bekeken, vormen dergelijke proefomstandigheden geen ideale uitgangspositie. Dat de Bodemkundige Dienst er toch in geslaagd is hieruit duidelijke, verantwoorde en betrouwbare besluiten te trekken is te wijten aan de doordachte en strikt opgevolgde proefopzet gedurende vier opeenvolgende jaren, aan de zeer intensieve bodem-, klimaat- en plantanalyses vóór, tijdens en na de teelt, alsook aan de kritische verwerking en interpretatie van alle geregistreerde gegevens.

De richtlijnen die uit dit wetenschappelijk werk worden afgeleid en die in dit document op een bijzonder bevattelijke wijze zijn weergegeven, zullen ongetwijfeld hun sporen nalaten. Bedrijfsverantwoordelijken, voorlichters en industriële partners zullen er de informatie vinden waarover zij moeten beschikken om de irrigatie van stamslabonen en voorjaarsspinazie optimaal te sturen.

J. WEERTS
Assistent-directeur
Ministerie van Middenstand
en Landbouw (DG 6)
Dienst Betoelaagd Onderzoek
BRUSSEL

INLEIDING

De huidige landbouwpraktijken worden gekenmerkt door een steeds groeiend besef van het belang van irrigatie voor de verwezenlijking van een maximaal rendement en een optimale productkwaliteit. De extensieve groenteteelt vormt hierop zeker geen uitzondering. Naast de klassieke bemestings- en bestrijdingsstrategieën draagt een adequate vochtvoorziening eveneens in belangrijke mate bij tot de verwezenlijking van een optimale productie. Gezien de opbrengstzekerheid wordt verhoogd, houdt de industrie bovendien rekening met de aanwezigheid van een beregeningsinstallatie op het bedrijf bij de bepaling van de contractprijs.

Water kan beschouwd worden als één van de belangrijkste productiesturende factoren en vormt een sterk limiterende factor voor de gewasgroei en productie onder droge weersomstandigheden. Ook in België kunnen periodes van intensieve droogtestress een sterke reductie van het rendement veroorzaken, zodat de vraag naar irrigatie zeer reëel is. Zo had de sterke droogte in 1990 rampzalige gevolgen voor de landbouwsector, zoals beschreven in onderstaand artikel dat in De Standaard verscheen:

“Droogte catastrofaal voor bonenteelt in Haspengouw”

GINGELOM – De bonenteelt wordt zwaar geteisterd door de aanhoudende droogte. Boeren oogsten dit jaar nauwelijks een tiende van een normale productie. “De schade aan bonen en andere zomerogsten kan alleen door veel regen in de volgende dagen rechtgezet worden”, aldus een landbouwer uit Gingelom. Voornamelijk voor bonen, maïs en bieten wordt 1990 een misoogst. De opbrengst van bonen, een alternatieve zomerteelt in Haspengouw en goed voor ongeveer een zesde van de akkerenteelten, blijft dit jaar ver beneden de hoeveelheid, nodig om de kosten te dekken. Bonen brengen normaal 12.000 tot 13.000 kg per ha op. Dit jaar is dat amper 1.000 kg en 2.000 kg per ha, aldus Ferdinand Porta uit Borlo die in Zuid-Limburg zo’n 200 ha bonen “onder contract” teelt. De kostprijs van bonen ligt in de buurt van 60.000 fr. per ha. Boeren krijgen 7 fr. per kg uitbetaald. In het beste geval is dat nu 14.000 fr. per ha.

“Alleen als het vlug en voldoende regent, kan de laatste oogst nog gedeeltelijk gered worden”, zo luidt het.

...

(ELS)

Bron: De Standaard, 14-15/8/1990

Overtuigd van het belang van beregening, stelt zich vervolgens de vraag naar een weldoordachte irrigatiesturing. Hiervoor zijn zowel een correcte opvolging van de bodemvochttoestand als specifieke teeltkennis vereist. Elk gewas wordt gekenmerkt door teeltspecifieke stress- en interventiedrempels, die bovendien afhankelijk zijn van de verschillende groeistadia van het gewas. In de literatuur vindt men dikwijls geen duidelijke of éénduidige richtlijnen qua beregeningsstrategie. Bovendien dienen onderzoeksresultaten met de nodige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden, gezien de lokale klimatologische omstandigheden en bodemtypes de reactie van het gewas op droogtestress beïnvloeden.

Deze publicatie behandelt in dit kader de teelt van stamslabonen en voorjaarsspinazie en is het resultaat van vier jaar onderzoek in dit domein. Meer specifiek wordt de uitwerking voorgesteld van irrigatieschema's voor beide teelten op zandleem- en leembodems onder gematigde klimaatsomstandigheden (België en omstreken). Speciale aandacht gaat uit naar deze bodemtypes, gezien ze gekenmerkt worden door een lang uitdrogingstraject en een belangrijke natuurlijke bodemvochtreserve.

Bij de bepaling van een irrigatiestrategie wordt de minimalisatie van de beregening en de maximalisatie van de exploitatie van de aanwezige bodemvochtreserve vooropgesteld. Op deze wijze kan doorspoeling van water en voedingselementen gereduceerd worden. Uiteindelijk wordt een economische optimalisatie van de beregening beoogd, zowel in termen van een maximale productie als van een optimale productkwaliteit.

Een eerste hoofdstuk van deze publicatie bespreekt enkele algemene aspecten van beregening, teneinde de lezer beter vertrouwd te maken met deze problematiek. Vervolgens worden de beregeningsstrategieën voor respectievelijk stamslabonen en voorjaarsspinazie afgeleid op basis van een uitgebreid onderzoek naar de invloed van irrigatie op gewasontwikkeling, opbrengst, productkwaliteit en stikstofhuishouding.

DEEL 1: DIVERSE ASPECTEN VAN BEREGENING

Beregenen is meer dan ‘water geven bij droogte’. Beredeneerd beregenen vereist kennis omtrent de specifieke bodemkarakteristieken van het perceel, gezien de voor de plant beschikbare bodemvochtreserve sterk verschilt in functie van het bodemtype. Ook het voorkomen van een ondiepe grondwatertafel of de aanwezigheid van ondoordringbare lagen (bijvoorbeeld een ploegzool) kan de vochthuishouding in belangrijke mate beïnvloeden. Bovendien moet men bij de bepaling van de beregeningsdosis rekening houden met de heterogeniteit van het veld, de slempgevoeligheid van bepaalde gronden of het risico tot afspoeling bij hellende percelen.

Naast de bodemkarakteristieken bepalen de specifieke teelteigenschappen het optimale tijdstip van tussenkomst via beregening. Zowel droogtestress als te vroeg beregenen kunnen een daling van de productie en de productkwaliteit teweegbrengen. Bovendien varieert de gevoeligheid van het gewas voor droogte naargelang het groeistadium.

In de praktijk is het dan ook vrijwel onmogelijk het optimale tijdstip van beregening visueel te bepalen. Wanneer de invloed van de droogte op de gewasontwikkeling merkbaar wordt, kan het zowel reeds te laat als nog te vroeg zijn om de beregening aan te vangen. Ook de handmatige controle van de vochtigheidsgraad van de bodem levert hieromtrent niet voldoende informatie. Bovendien is de voorspelling van de beregening noodzakelijk voor een goede bedrijfsplanning en dient men de juiste prioriteiten te stellen indien meerdere percelen gelijktijdig moeten beregend worden.

Tenslotte betekent beregening een belangrijke kost en dient het financieel rendement van elke dosis in overweging te worden genomen. De opbrengstverhoging die met een beregeningsdosis kan verwezenlijkt worden, moet voldoende hoog zijn om de kosten van deze dosis en de tijdsinvestering te dekken.

1. Bodemkarakteristieken

De vochtretentiekarakteristieken van de bodem bepalen in sterke mate de hoeveelheid bodemvocht die beschikbaar is voor de plant. De vochtretentiecurve, die het verband weergeeft tussen het bodemvochtgehalte en de vochtspanning bij uitdroging van de bodem, wordt in het laboratorium bepaald en vormt de belangrijkste bodemparameter bij de irrigatiesturing.

De vochtspanning of de negatieve drukhoogte is een maat voor de uitdrogingstoestand van de bodem en geeft het gemak aan waarmee de plant water kan onttrekken aan de grond, of m.a.w. de onderdruk die de plantenwortels moeten uitoefenen om water aan de bodem te onttrekken. Deze drukhoogte is meer negatief naarmate de grond droger wordt. Men kan deze drukhoogte ook weergeven als vochtspanning, met een positieve waarde. De vochtspanning kan uitgedrukt worden in kPa, cbar of cm waterkolom (1 kPa = 1 cbar \cong 10 cm waterkolom) of via de pF-waarde, gedefinieerd als de logaritme van de negatieve druk in cm waterkolom. Het verband tussen voorgenoemde eenheden wordt weergegeven in tabel 1.1.

Voor een volledig *verzadigde* bodem geldt dat de bodemvochtspanning 0 is. Deze toestand is zeer ongunstig voor de plant, gezien alle bodemporiën gevuld zijn met water en de zuurstoftoevoer naar de wortels verhinderd wordt.

Veldcapaciteit (FC) is het vochtgehalte van de bodem op het ogenblik dat het weinig gebonden water onder invloed van de zwaartekracht is uitgespoeld. De vochtspanning bij veldcapaciteit is afhankelijk van het bodemtype en de grondwaterstand en situeert zich voor de bodems in onze streken tussen 8 kPa (pF 1.9) en 20 kPa (pF 2.3). Indien het bodemvochtgehalte stijgt boven veldcapaciteit treedt doorspoeling op.

Bij afwezigheid van neerslag daalt het vochtgehalte van de bodem onder invloed van de wateropname door het gewas. Naarmate de bodem verder uitdroogt, wordt het resterende vocht sterker door de bodempartikels vastgehouden, waardoor de vochtspanning stijgt en het gewas moeilijker water kan opnemen. Op een bepaald punt wordt de vochtspanning dusdanig hoog dat het gewas geen water meer kan onttrekken aan de bodem. Het *verwelkingspunt* (WP) is bereikt. Dit komt nagenoeg overeen met een vochtspanning van 1600 kPa (pF 4.2).

Tabel 1.1 Verband tussen de vochtspanningseenheden (kPa, mbar, pF)

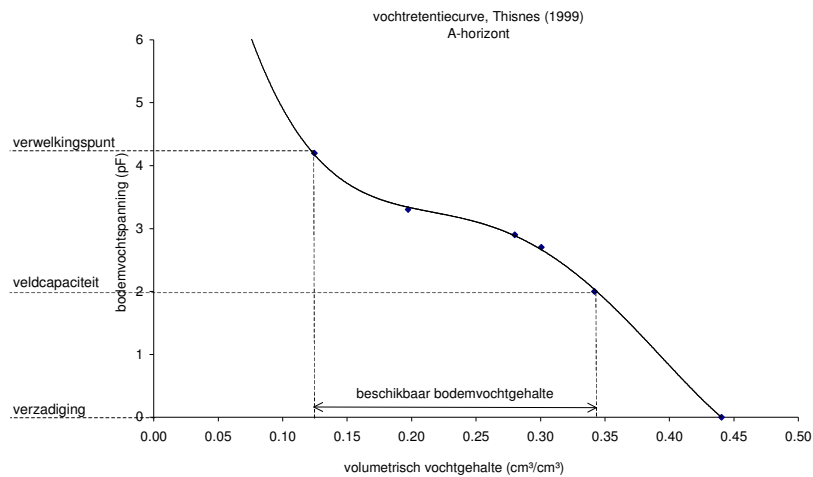
kPa	mbar	pF
0	0	pF 0.0
1	10	pF 1.0
2	20	pF 1.3
4	40	pF 1.6
5	50	pF 1.7
6	60	pF 1.8
8	80	pF 1.9
10	100	pF 2.0
20	200	pF 2.3
30	300	pF 2.5
40	400	pF 2.6
50	500	pF 2.7
65	650	pF 2.8
80	800	pF 2.9
100	1000	pF 3.0
130	1300	pF 3.1
160	1600	pF 3.2
200	2000	pF 3.3
1600	16000	pF 4.2

Figuur 1.1 geeft het typische verloop van een vochtretentiecurve weer voor een leembodem (Thisnes, 1999). Het bodemvochtgehalte dat beschikbaar is voor de plant, is gelegen tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt en wordt het *opneembaar* of *beschikbaar vochtgehalte* genoemd. Vochtgehalten hoger dan veldcapaciteit kunnen niet weerhouden worden in de bodem: de gravitatiekracht veroorzaakt drainage van het overtollige water tot veldcapaciteit is bereikt. Indien het vochtgehalte lager dan het verwelkingspunt ligt, kan het resterende vocht niet langer opgenomen worden door de plant.

Hoewel het bodemvocht in theorie kan opgenomen worden tot het verwelkingspunt wordt bereikt, wordt de wateropname reeds gereduceerd vooraleer de bodemvochtspanning tot dergelijke hoge waarden is gestegen. Zolang de bodem vochtig genoeg is, kan volledig aan de vochtvraag van het gewas worden voldaan. Naarmate de uitdroging vordert, wordt het water sterker vastgehouden door de bodem en is bijgevolg minder gemakkelijk opneembaar. Wanneer de *'kritische bodemvochtspanning'* wordt bereikt, kan

het vocht niet snel genoeg getransporteerd worden naar de wortels, zodat niet langer aan de volledige vochtvraag wordt voldaan. Op dit ogenblik ondervindt het gewas 'droogtestress'. (Allen et al., 1998). Het vochtgehalte tussen veldcapaciteit en het kritisch vochtgehalte wordt het *gemakkelijk opneembaar vochtgehalte* genoemd.

De kritische bodemvochtspanning verschilt van gewas tot gewas en is des te lager naarmate het gewas droogtegevoeliger is. Bovendien varieert de kritische bodemvochtspanning naargelang het weer. Bij hoge vochtvraag en groeizaam weer kan het gewas slechts het nodige vocht opnemen indien de bodem zeer vochtig is.



Figuur 1.1 Typisch verloop van de vochtretentiecurve bij een leembodem

De evolutie van de bodemvochtspanning in functie van het bodemvochtgehalte vormt een belangrijk element bij de bepaling van het optimale tijdstip voor berekening. Een steil verloop van de vochtretentiecurve betekent dat het gewas bij vochtopname uit de bodem vrij snel met relatief hoge vochtspanningen geconfronteerd wordt. Bij een vlakker verloop van de vochtretentiecurve zal een zelfde daling van het bodemvochtgehalte daarentegen slechts een zwakke stijging van de bodemvochtspanning teweeg brengen.

Het verloop van de uitdrogingscurve verschilt zeer sterk van bodem tot bodem en wordt zowel door de textuurklasse, de bodemstructuur als het humusgehalte van de bodem beïnvloed. Een leembodem bevat doorgaans een

hoger gehalte aan opneembaar vocht dan een zandbodem. Een hoger humusgehalte levert meestal een hoger opneembaar vochtgehalte. De hoeveelheid gemakkelijk opneembaar vocht ligt daarentegen doorgaans hoger bij zandbodems dan bij klei- of leembodems.

De vochtretentiecurven verlopen meestal vlakker tussen de vochtspanningen 10 kPa (pF 2) en 200 kPa (pF 3.3) voor zandleembodems dan voor leembodems. Dit heeft een aantal belangrijke gevolgen:

- sommige gewassen zullen de kritische bodemvochtspanning meestal sneller bereiken op leembodems
- de totale bodemvochtreserve is dikwijls groter bij zandleembodems dan bij leembodems
- voor berekening bij lage vochtspanningen kunnen slechts kleinere dosissen toegediend worden op leembodems teneinde veldcapaciteit niet te overschrijden en doorspoeling te vermijden.

Het exacte verloop van de vochtretentiecurve is zeer specifiek voor elke bodemlaag en elk perceel en kan nauwelijks veralgemeend worden voor een bepaald bodemtype. De bepaling van vochtretentiekarakteristieken op basis van de bodemtextuur kan leiden tot een foutieve inschatting van de bodemvochtspanning bij een welbepaald bodemvochtgehalte en bijgevolg een verkeerde inschatting van de relatieve droogtestress die de plant ondervindt. Uiteindelijk kunnen onnauwkeurige vochtretentiekarakteristieken een foutieve berekening van het tijdstip en de dosis van berekening tot gevolg hebben.

2. Gewassenmerken

2.1 Vochtverbruik en gewascoëfficiënten

Evapotranspiratie kan gedefinieerd worden als het verlies van bodemwater naar de atmosfeer ten gevolge van twee processen: enerzijds de rechtstreekse evaporatie of verdamping van het bodemoppervlak en anderzijds de transpiratie van het gewas. Beide processen geschieden gelijktijdig en zijn moeilijk te scheiden. Bij aanvang van de groeicyclus gaat water voornamelijk verloren door evaporatie, terwijl het aandeel van transpiratie stijgt naarmate het gewas verder ontwikkelt en de bodembedekkingsgraad toeneemt. Bij een volledig ontwikkeld gewas wordt meer dan 90% van het vochtverbruik bepaald door transpiratie (Allen et al., 1998).

De evapotranspiratie van een gewas (ET_m) kan ingeschat worden op basis van de referentie-evapotranspiratie (ET_o) en specifieke gewascoëfficiënten (k_c -factoren) die eigen zijn aan de teelt en variëren in functie van de gewasontwikkeling:

$$ET_m = k_c \times ET_o \text{ (mm/dag)}$$

ET_o wordt gedefinieerd als de evapotranspiratie van een referentieoppervlak, zijnde een hypothetisch grasveld met specifieke karakteristieken, en wordt enkel beïnvloed door meteorologische factoren. ET_o kan derhalve als een klimaatsparameter beschouwd worden die de vochtvraag van de atmosfeer begroot (Allen et al., 1998). De Penman-Monteith methode wordt algemeen aanvaard als de beste methode ter berekening van ET_o (Itier et al., 1995). Deze berekeningsmethode baseert zich op de volgende meteorologische parameters: temperatuur, straling, relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid.

2.2 Kritische bodemvochtspanning

2.2.1 Waterbeschikbaarheid in de bodem

De totale bodemvochtreserve (Total Available Water of TAW, uitgedrukt in mm) die beschikbaar is voor de plant, wordt bepaald door de hoeveelheid bodemwater die opneembaar is tussen veldcapaciteit en het verwelkingspunt, rekening houdend met de bewortelingsdiepte. De hoeveelheid water tussen veldcapaciteit en een bepaalde (kritische) bodemvochtspanning wordt de gemakkelijk opneembare vochtreserve genoemd (Readily Available Water of

RAW). Indien de kritische bodemvochtspanning wordt overschreden, wordt niet langer aan de vochtvraag van het gewas voldaan en treedt (lichte) droogtestress op. De reële evapotranspiratie is lager dan de maximale evapotranspiratie ($ET_a < ET_m$) en daalt naarmate de droogtestress toeneemt. De kritische bodemvochtspanning is afhankelijk van de teelt, de teeltontwikkeling en de klimatologische vochtvraag. Bij hoge vochtvraag en groeizaam weer zal een gewas reeds bij een lagere vochtspanning de verdamping reduceren dan bij somber en koud weer (Doorenbos et al., 1979).

In onze streken treffen we op zandleem-, leem- en kleigronden al te vaak een ploegzool aan, waardoor de wortelontwikkeling aanzienlijk kan belemmerd worden. Bij aanwezigheid van een ploegzool wordt de totale bodemvochtreserve dan ook sterk gereduceerd. Een bijkomend effect is dat de stikstofvoorziening eveneens gevoelig wordt verminderd, gezien de diepere bodemlagen niet aangesproken worden. Overvloedige neerslag en berekening kunnen eveneens de wortelontwikkeling beperken, gezien de plant in de bovenste bodemlaag een voldoende vochtreserve aantreft en bijgevolg niet actief op zoek gaat naar water in de diepere lagen. Dit heeft tot gevolg dat het gewas bij eisende weersomstandigheden de buffer die op grotere diepte aanwezig is, niet kan benutten, waardoor de plant sneller droogtestress zal ondervinden dan bij diepere beworteling. Dikwijls wordt de beworteling beperkt tot de bouwlaag. Dit betekent voor een teelt met bewortelingsdiepte 45 cm dat de beschikbare vochtreserve met 35% wordt gereduceerd, waardoor sneller dient berekend te worden.

2.2.2 Fysiologische reactie van het gewas

Het bereiken van de kritische bodemvochtspanning brengt een fysiologische reactie teweeg bij het gewas. Gezien bij droogtestress de wateraanvoer kleiner is dan het waterverlies, zal de plant trachten de transpiratie te beperken door middel van een gedeeltelijke sluiting van de huidmondjes of stomata. De keerzijde van deze sluiting is echter dat de fotosynthese eveneens wordt gereduceerd, waardoor de droge stofproductie daalt.

Ook de waterstatus van het plantweefsel kan beïnvloed worden door droogtestress. Onder waterstatus verstaat men de bladwaterpotentiaal (LWP) die bepaald wordt door de som van de turgorpotentiaal (TP) en de osmotische potentiaal (OP). Hierbij wordt verondersteld dat de matrixpotentiaal verwaarloosbaar klein is. Een potentiaalgradiënt is de drijvende kracht voor de waterbeweging in de plant: water beweegt namelijk van een hogere naar een lagere potentiaal. Indien de wortels niet voldoende water kunnen

aanleveren, zal de watertoevoer het verlies via transpiratie niet kunnen dekken en daalt de LWP in het blad.

Tijdens de jaren '70 en het begin van de jaren '80 werd verondersteld dat de kritische bodemvochtspanning kon bepaald worden op basis van de meting van de LWP en de OP. Er werd namelijk gesteld dat een daling van de turgorpotentiaal – die kan berekend worden als het verschil tussen de LWP en de OP – aan de basis lag van de sluiting van de huidmondjes (Millar en Gardner, 1972). Vanaf de tweede helft van de jaren '80 groeide echter de bewustwording dat de relatie tussen de LWP en TP enerzijds en de stomatale weerstand en gewasgroei anderzijds niet zo vanzelfsprekend was als aanvankelijk werd aangenomen.

In 1986 vermeldden Gollan et al. dat steeds meer bewijsmateriaal werd aangevoerd dat de bodemvochttoestand de stomatale weerstand en gewasgroei kon beïnvloeden zonder dat de waterstatus van de plant veranderde. Volgens Davies en Zhang (1991) kunnen planten bij uitdroging van de bodem hoge, onverstoorte turgorpotentialen vertonen en tegelijkertijd een sterke reductie in gewasgroei. Verscheidene auteurs verklaren dit fenomeen op basis van de variatie in bodemvochtspanning volgens de diepte. Zo wordt de gewasontwikkeling of sluiting van de stomata beïnvloed door een boodschap van de ondiep gelegen wortels, terwijl dieper gelegen wortels nog steeds voldoende water kunnen voorzien voor het behoud van een optimale bladwaterpotentiaal (Gowing et al., 1990).

Een mogelijke kandidaat als boodschappermolecule is ABA (Abscisinezuur). Tardieu et al. (1991) vermelden dat geen duidelijke relatie gevonden werd tussen de bladwaterpotentiaal en de stomatale weerstand, doch dat het verband tussen de bladweerstand en de concentratie aan ABA in het xyleemsap zeer consistent was. Ook door andere onderzoekers werd aangetoond dat de sluiting van de stomata gecontroleerd werd via een ABA-boodschap vertrekkende vanuit de wortels.

De fysiologische reactie op droogtestress behoort tot een domein van het wetenschappelijk onderzoek waar nog veel controversies bestaan. Davies en Zhang (1991) besluiten dat de bladweerstand of bladgroei betere indicatoren zijn voor droogtestress dan de algemeen toegepaste meting van de bladwaterrelaties. Doch ook de meting van de stomatale weerstand is zeer delicaat onder veldomstandigheden, gezien de sluiting van de stomata zeer sterk onderhevig is aan variaties van het microklimaat.

Deze publicatie baseert zich bij de bepaling van de kritische vochtspanning dan ook rechtstreeks op de reductie van de gewasontwikkeling (zie deel 2+3 – hoofdstuk 3).

2.3 Interventiedrempel voor beregening

De interventiedrempel voor beregening is het vochtgehalte of de vochtspanning van de bodem waarbij dient beregend te worden voor een optimale productie en productkwaliteit.

Afhankelijk van de teelt en het groeistadium zal de interventiegrens voor beregening al dan niet samenvallen met de kritische vochtspanning. Een maximale evapotranspiratie gedurende de volledige groeicyclus bevordert een maximale vegetatieve gewasgroei. De optimale interventiegrens voor beregening – waarbij een maximale productie en een optimale productkwaliteit wordt beoogd - kan echter aanzienlijk lager liggen. Zeker voor vruchtvormende gewassen, zoals stamslabonen, geldt dat niet zozeer een maximale vegetatieve groei, doch wel een maximale en gelijktijdig vruchtvorming beoogd wordt. Dit in tegenstelling tot bladgewassen, zoals spinazie of grasland, waar het rendement zeer sterk bepaald wordt door de vegetatieve gewasontwikkeling.

De interventiegrens mag bovendien niet constant gehouden worden gedurende de volledige teeltcyclus, gezien de gevoeligheid van het gewas aan droogtestress varieert volgens de groeistadia. Zoals beschreven door Doorenbos et al. (1979) wordt het verband tussen de reductie van de actuele evapotranspiratie onder invloed van droogtestress en de hierdoor veroorzaakte opbrengstreductie uitgedrukt door middel van de gewasresponscoëfficiënt K_y , die varieert in functie van het groeistadium:

$$K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) = \left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right)$$

waarbij K_y = gewasresponsfactor
 ET_a = actuele evapotranspiratie (mm/dag)
 ET_m = potentiële evapotranspiratie (mm/dag)
 Y_a = reële opbrengst (ton/ha)
 Y_m = potentiële opbrengst (ton/ha)

Zo zou bijvoorbeeld de gewasresponscoëfficiënt voor bonen tijdens de bloeiperiode volgens Doorenbos et al. (1979) gelijk zijn aan 1.1. Dit betekent

dat indien 10% van de maximale evapotranspiratie niet gerealiseerd wordt tijdens de bloei, de peulopbrengst gereduceerd wordt met 11% bij de eind oogst. Zoals zal blijken kan deze Ky-factor echter niet eenvoudigweg toegepast worden onder Belgische klimaatsomstandigheden bij stamslabonenteelt op zandleem- en leembodems (zie deel 2 – hoofdstuk 5).

3. De vochtbalans als basis van het adviessysteem

Natuurlijke neerslag vormt de belangrijkste aanvoer van water. Van de totale hoeveelheid neerslag wordt slechts een gedeelte effectief weerhouden in het bodemprofiel. Afhankelijk van de neerslagintensiteit, het bodemvochtgehalte en de hellingsgraad van het perceel kan een gedeelte van de totale watertoevoer verloren gaan door afspoeling en/of doorspoeling, indien respectievelijk de infiltratiecapaciteit en het bodemvochtgehalte bij veldcapaciteit worden overschreden.

De totale beschikbare bodemvochtreserve wordt bepaald door de vochtretentiekarakteristieken van de bodem (zie deel 1 – hoofdstuk 1) en de bewortelingsdiepte. Deze vochtreserve wordt aangevuld door de hoeveelheid effectieve neerslag enerzijds en de capillaire opstijging anderzijds. Deze laatste factor is afhankelijk van de diepte van de grondwatertafel, de bodemtextuur en de actuele bodemvochtspanning van de doorwortelde bodemlaag.

Van de totale bodemvochtreserve zal een gedeelte verloren gaan door rechtstreekse evaporatie van het bodemoppervlak. Deze rechtstreekse evaporatie blijft belangrijk zolang de bodembedekkingsgraad niet volledig is. Naarmate de gewasontwikkeling toeneemt, zal het aandeel van de transpiratie door het gewas stijgen. Gewasontwikkeling en meteorologische parameters – temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid en straling – bepalen de evapotranspiratie.

De vochtbalansmethode wordt door de Bodemkundige Dienst van België aangewend bij de opvolging van de bodemvochttoestand en de dag-aan-dag irrigatiesturing. De evolutie van het bodemvochtgehalte wordt regelmatig gecontroleerd op basis van gravimetrische vochtbepalingen op bodemstalen. Eveneens wordt de ontwikkeling van het gewas opgevolgd.

De vochtbalansmethode wordt in figuur 1.2 verduidelijkt.

Figuur 1.2 Opvolging van de vochttoestand via de vochtbalansmethode

De totale beschikbare vochtreserve (TAW_{max}) stijgt naargelang de bewortelingsdiepte toeneemt tot een maximum wordt bereikt. De kritische vochtgrens (TAW_{stress}) geeft het gemakkelijk beschikbaar vochtgehalte aan; dit varieert volgens de vochtvraag. De eigenlijke interventiegrens voor beregening (TAW_{interv}) is afhankelijk van het groeistadium van het gewas. Het gesimuleerde verloop van de bodemvochtreserve (TAW_{act}) wordt regelmatig gecontroleerd op basis van gravimetrische vochtmetingen (TAW_{grav}).

Op het ogenblik dat de bodemvochtreserve daalt tot de interventiegrens dient ingegrepen te worden via beregening. Het overschrijden van de maximale vochtreserve dient vermeden te worden gezien op dat ogenblik doorspoeling van water en nutriënten optreedt.

De bedrijfsleider meet dagelijks de neerslag op en registreert de beregeningsdosissen. Het uiteindelijke beregeningsadvies wordt gebaseerd op de actuele bodemvochtreserve, het bodemtype, het ontwikkelingsstadium van de teelt, de weersvoorspelling en de marginale kost van een beregeningsbeurt. Op deze wijze wordt het advies 3 à 5 dagen op voorhand verstrekt met vermelding van de weersvoorwaarden waaronder kan beregend worden, zodat een degelijke bedrijfsplanning mogelijk is. Deze berekening dient vanzelfsprekend uitgesteld te worden naargelang in de tussentijd neerslag geregistreerd wordt.

4. Evaluatie van tensiometer- en TDR-bepalingen

Naast de theoretische opvolging van de bodemvochttoestand via de vochtbalans, kunnen verscheidene methoden aangewend worden om de simulatie van de vochtuishouding te controleren, waaronder de gravimetrische vochtbepaling, de tensiometer en TDR (Time Domain Reflectometry). Vanuit de praktijk komt bovendien de vraag naar meetinstrumenten die een rechtstreekse aflezing door de bedrijfsleider toelaten en als beslissingscriterium kunnen aangewend worden voor de irrigatiesturing. De markt stelt een groot gamma aan meetinstrumenten ter beschikking, doch de vraag stelt zich naar de betrouwbaarheid van dergelijke metingen, de gebruiksvriendelijkheid en andere voor- of nadelen.

Gedurende 4 onderzoeksjaren (1997-2000) werd TDR op de proefvelden uitgetest. Bovendien werd deze meting gedurende het laatste jaar (2000) gecombineerd met tensiometermetingen. Op basis van de uitgevoerde meetreeksen kan een evaluatie gemaakt worden van beide instrumenten. De metingen worden vergeleken met deze van de gravimetrische vochtstalen, die zeer betrouwbaar doch tijdrovend zijn.

4.1 Tensiometer

De tensiometer bestaat uit een verzadigde, poreuze, keramische kop die verbonden is met een manometer via een met water gevulde buis. Wanneer de tensiometer in de bodem wordt geplaatst, wordt water door de bodem uit de keramische kop gezogen tot zich een evenwicht instelt en de waterpotentiaal overal gelijk is. Op deze wijze wordt een onderdruk gecreëerd in de tensiometerbuis, die geregistreerd wordt door de manometer en de zuigspanning van de bodem aangeeft (Jury et al., 1991).

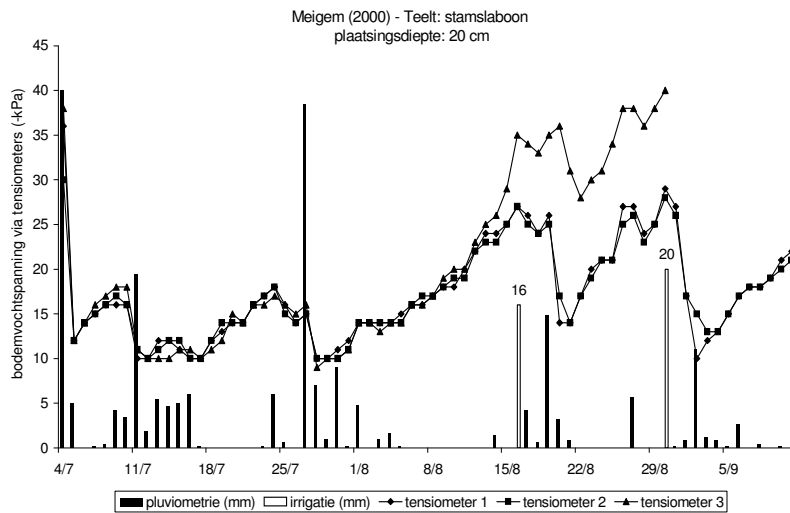
4.1.1 Voordelen

De bepaling van de bodemvochttoestand via tensiometers heeft als voordeel dat de meting zeer makkelijk uitvoerbaar is, doordat de waarde rechtstreeks op de manometer kan worden afgelezen. Bovendien kan de vochtspanning zonder omrekening worden opgemeten, gezien de tensiometer de zuigspanning registreert die de wortels van de plant ondervinden. Niet het volumetrisch vochtgehalte, doch deze zuigspanning is het beslissingscriterium bij irrigatiesturing.

4.1.2 Nadelen

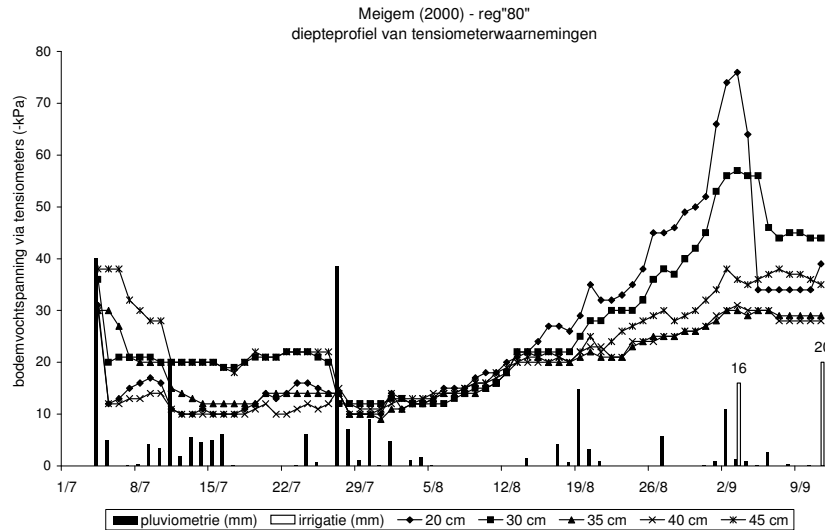
De nadelen van de tensiometer mogen zeker niet over het hoofd gezien worden. De bodemvochttoestand wordt namelijk gekenmerkt door een sterke heterogeniteit, zowel horizontaal als verticaal. Deze ruimtelijke variatie is des te sterker naarmate hogere zuigspanningen worden bereikt, gezien de hydraulische conductiviteit daalt naargelang de bodem sterker uitdroogt. Ook de worteldistributie is een bijkomende bron van ruimtelijke variatie, daar de wateropname voornamelijk plaatsvindt in de nabijheid van wortels. De wortelontwikkeling in de bodem wordt bovendien beïnvloed door lokale verschillen in bodemcompactatie (Jones en Tardieu, 1998).

Figuur 1.3 illustreert duidelijk dat de sturing van berekening zeker niet op één enkele tensiometer mag worden gebaseerd en dat de metingen met de nodige voorzichtigheid dienen te worden geïnterpreteerd. Hoewel gedurende een groot gedeelte van de teeltcyclus de bodemvochtspanningen, geregistreerd door drie tensiometers, zeer gelijklopend waren, gaf tensiometer 3 vanaf 15/8 abnormaal hoge waarden aan. De oorzaak moet gezocht worden in het sterk lokale karakter van de meting. De plaatsing van minstens drie tensiometers is derhalve noodzakelijk om een betrouwbaar beeld te hebben van de bodemvochtspanning op perceelsniveau.



Figuur 1.3 Ruimtelijke variatie bij tensiometerbepalingen (Meigem, 2000)

Ook de plaatsingsdiepte van de poreuze kop in de bodem is zeer belangrijk. De variatie van de tensiometerwaarden in functie van de diepte werd geëvalueerd op basis van een reeks van 5 tensiometers, die op verschillende diepten in een zandleemprofiel werden geplaatst: 20, 30, 35, 40 en 45 cm. Het resultaat wordt weergegeven in figuur 1.4 en illustreert het belang van de keuze van de plaatsingsdiepte van de tensiometer. Via een gravimeterische vochtbepaling kan daarentegen de volledige bouwvoor (0-30 cm) worden bemonsterd.



Figuur 1.4 Bodemvochtspanning in functie van de plaatsingsdiepte van de tensiometer (Meigem, 2000)

Duidelijk blijkt dat de sterkste uitdroging wordt waargenomen op 20 cm diepte, waar de bodemvochtspanning daalt tot 76 kPa. Tevens is de reactie op de beregeningsdosis op deze diepte zeer sterk. Ook de tensiometer op 30 cm diepte onderscheidt zich duidelijk van de dieper geplaatste tensiometers, doch de reactie op uitdroging en beregening is minder sterk dan op 20 cm. Dit betekent dat een dieper geplaatste tensiometer de interventie-zuigspanning later bereikt dan een tensiometer die enkele centimeters hoger wordt geplaatst, waardoor de beregening later gestart wordt. De keuze van een interventievochtspanning moet dan ook strikt verbonden worden met een plaatsingsdiepte, indien men beregening via tensiometers wil sturen. Gezien het steile verloop van de vochtretentiecurve bij zandgronden, zal de variatie

van de vochtspanning in de tijd en vooral in functie van de diepte bij die gronden nog veel groter zijn.

De tensiometers op 35 en 40 cm diepte volgen vrijwel hetzelfde verloop. Hier daalt de zuigspanning slechts tot 30 kPa en is de reactie op de beregeningsdosis minimaal. De tensiometer geplaatst op 45 cm meet hogere zuigspanningen (tot 38 kPa) dan deze op 35 en 40 cm. Dit verschil kan enkel verklaard worden op basis van het voorkomen van lokale heterogeniteiten in de vochttoestand, bijvoorbeeld door een plaatselijk intensievere beworteling.

Tenslotte is het noodzakelijk dat de tensiometer nauwkeurig opgevolgd en regelmatig gecontroleerd wordt. Niet alleen dient de tensiometerbuis tijdig bijgevuld te worden, doch tevens moet de correcte kalibratie van de wijzerstand regelmatig gecontroleerd worden. Het bijvullen kan relatief gemakkelijk opgevolgd worden door de bedrijfsleider, gezien men snel kan controleren of het waterniveau in de tensiometerbuis al dan niet gezakt is. Bij controle van de wijzerstand dient men echter de sluitdop van de tensiometer los te draaien teneinde te controleren of de wijzer van de manometer op het nulpunt terugvalt. Deze controle is noodzakelijk gezien meermaals tijdens de proef werd vastgesteld dat abnormale meetwaarden veroorzaakt werden door een incorrecte kalibratie van de wijzers van de manometer, hoewel alle tensiometers bij de plaatsing gecontroleerd werden.

4.2 TDR (Time Domain Reflectometry)

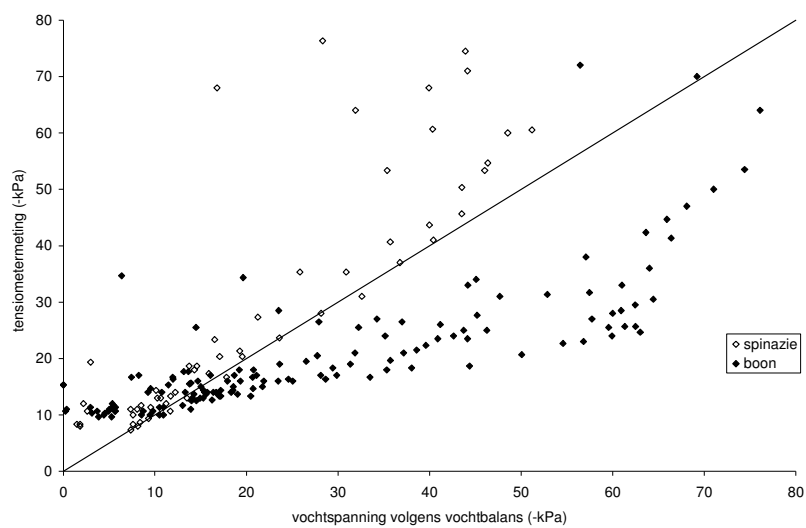
De TDR-methode is gebaseerd op een indirecte schatting van het volumetrisch vochtgehalte. Aan de hand van electromagnetische golven wordt de diëlectrische constante van het bodemvolume tussen de twee polen van de TDR-sonde opgemeten. Via een regressievergelijking kan deze diëlectrische constante vervolgens gerelateerd worden aan het volumetrisch bodemvochtgehalte (Jury et al., 1991).

Voor de TDR draait de evaluatie negatief uit ten gevolge van de grote heterogeniteit van de metingen, die blijkt uit de enorme variatie tussen de herhalingen, zowel in ruimte als in tijd. Een belangrijke verklaring ligt in de meetmethode, zijnde de directe volumetrische bepaling van het vochtgehalte. Vooral in de bouwlaag is de macroporositeit zeer heterogeen, hetgeen een directe invloed uitoefent op de meting. Vanuit praktisch oogpunt verkrijgt men bovendien geen rechtstreekse informatie omtrent de vochtspanning. Voor een bepaalde bodem moet eerst de vochtretentiecurve gekend zijn, vooraleer de vertaling kan gemaakt worden naar vochtspanningen.

4.3 Correlatie tussen TDR-, tensiometer- en gravimetrische vochtbepalingen

De verschillende meetmethoden kunnen onderling vergeleken worden door de metingen uitgevoerd met behulp van tensiometers of TDR-sondes, te vergelijken met de gravimetrische vochtbepalingen. Gezien beide metingen slechts zelden op hetzelfde tijdstip werden uitgevoerd, werden de ontbrekende waarden afgeleid uit de vochtbalans. De simulatie van het vochtverloop via de vochtbalans volgde namelijk de gravimetrische vochtbepalingen.

Figuur 1.5 toont, zowel voor spinazie als stamslaboon, de relatie tussen de gemiddelde vochtspanningen opgemeten via tensiometers en de vochtspanningen berekend volgens de vochtbalans. De bissectrice geeft de correcte correlatie weer, waarbij beide metingen perfect overeenkomen.

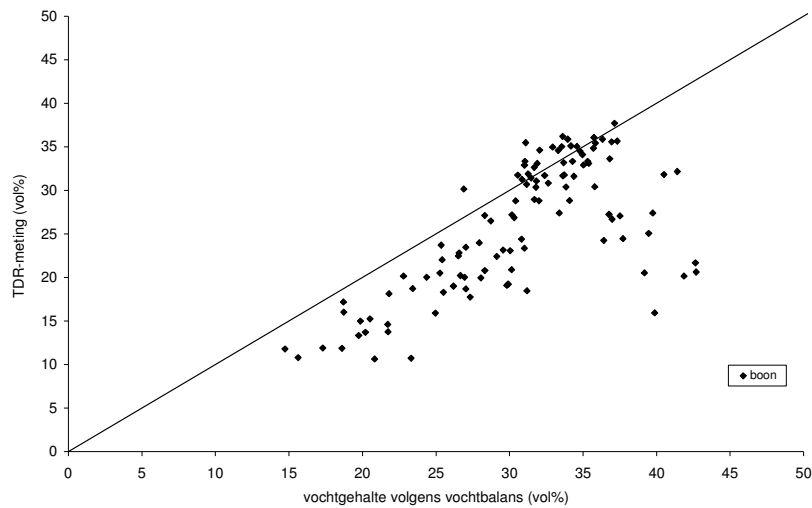


Figuur 1.5 Verband tussen tensiometermetingen en gesimuleerde vochtspanningen (Meigem, 2000)

Uit deze figuur blijkt dat de afwijking van de tensiometermetingen voor spinazie binnen aanvaardbare grenzen bleef voor de lage vochtspanningen, net boven veldcapaciteit, hoewel de waarden doorgaans in lichte mate overschat werden. Voor de hogere waarden liep het echter mis en werden de afgelezen waarden volledig onbetrouwbaar. Deze hoge waarden werden

echter opgemeten op het einde van het seizoen bij hoge temperaturen, veel zon en een hoge verdamping door het gewas. Op dit ogenblik werden de tensiometerbuizen niet tijdig bijgevuld, wat het doorslaan van de tensiometers verklaart. Bovendien wordt de ruimtelijke variatie in zuigspanning zeer groot bij dit weer, gezien water zeer snel wordt onttrokken in de bewortelde zones en het evenwicht binnen een klein tijdsinterval niet kan hersteld worden omwille van de lagere hydraulische conductiviteit. De frequentie-analyse geeft aan dat 87% van de tensiometermetingen hoger liggen dan de berekende waarden, doch slechts 17% heeft een afwijking van meer dan 10 kPa.

De vochtspanningen die opgemeten werden bij de bonenproef, werden daarentegen duidelijk onderschat. Ongeveer 68% van de tensiometerwaarden vertoonden een negatieve afwijking. De onderschatting is voornamelijk te wijten aan de plaatsingsdiepte van de tensiometers; die werden in vergelijking tot de spinazieproef 5 cm dieper geplaatst. Ook hier is het opvallend dat de spreiding voor de hogere zuigspanningen groter is dan voor de lage. Gezien slechts bij hogere bodemvochtspanningen wordt berekend, is de precisie van juist deze metingen zeer belangrijk.



Figuur 1.6 Verband tussen TDR-metingen en gesimuleerde vochtgehalten

De correlatie tussen de vochtgehalten, gemeten via de TDR-sondes, en de vochtgehalten berekend in de vochtbalansen, was duidelijk zwakker dan voor de tensiometers, zoals ook blijkt uit figuur 1.6. We merken hier een zware

onderschatting van het bodemvochtgehalte bij de TDR-metingen: 83% van de waarnemingen liggen lager dan de gesimuleerde vochtgehalten. Hier loopt men bijgevolg het risico veel te vroeg te beregenen. Dit in tegenstelling tot de tensiometermetingen bij de bonenproef, waar men eerder te laat zal beregenen.

4.4 Besluit

Op basis van de uitgevoerde studie wordt de tensiometer positiever beoordeeld dan TDR:

1. De tensiometer wordt bij de aflezing als gebruiksvriendelijker beoordeeld dan TDR. De aflezing van de manometer kan in één oogopslag gebeuren en geeft de vochtspanning rechtstreeks weer. Voor de interpretatie van het vochtgehalte aangegeven door TDR, moet de relatie met de vochtspanning gekend zijn. Deze relatie is typisch voor elke bodem en elk perceel en dient vooraf in het laboratorium bepaald te worden.
2. De overeenkomst tussen de metingen en de volgens de vochtbalans berekende waarden is het grootst bij de tensiometer. Bovendien blijkt dat de TDR-metingen zowel in tijd als in ruimte een zeer grote variatie vertonen. Terwijl de tensiometers op een kleine afwijking na dezelfde evolutie van de vochttoestand weergeven, vertonen de TDR-metingen, bij vergelijking van verschillende herhalingen binnen éénzelfde zone, onverklaarbare sprongen.

Hoewel de tensiometer positiever wordt beoordeeld dan TDR, blijven aan deze meting nog steeds een aantal nadelen verbonden:

1. De tensiometers dienen tijdig gecontroleerd te worden (bijvullen van de tensiometerbuizen, controle van de wijzerstand...)
2. Eén enkele tensiometer kan geen betrouwbare metingen leveren, gezien het sterk gelokaliseerde karakter van de meting. De combinatie van minstens 3 tensiometers is noodzakelijk.
3. Een bepalende keuze dient gemaakt te worden m.b.t. de plaatsingsdiepte van de tensiometer. Een exacte diepte is belangrijk en beïnvloedt in belangrijke mate de waarde die wordt afgelezen.

4. De afwijking die de tensiometer vertoont, wordt doorgaans groter bij hogere vochtspanningen. Bovendien is het meetbereik van de tensiometer beperkt. Vanaf pF 2.9 (80 kPa) wordt de kans op doorslaan – en bijgevolg onbruikbaar worden van de tensiometer – reëel.

5. Enkele praktische problemen kunnen evenmin vermeden worden bij het werken met tensiometers: vertrapping van het gewas in de buurt van de tensiometer, lokale bodemcompactie, watercaptatie door de tensiometerbuizen.

Mits goed beheer en een correcte interpretatie kan de tensiometer een interessante bijdrage leveren tot de opvolging van de bodemvochttoestand in onderzoekscontext. De analyse van de tensiometer- en TDR-metingen laat echter besluiten dat deze methoden de gravimetrische vochtstalen en de opvolging via de vochtbalansen niet kunnen vervangen en in de praktijk niet als betrouwbaar middel voor irrigatiesturing door de bedrijfsleider kunnen aangewend worden.

Algemeen kan gesteld worden dat irrigatiesturing via de vochtbalans het voordeel levert dat de noodzaak tot berekening op voorhand kan voorspeld worden. Berekening vraagt namelijk planning: 3 à 4 dagen op voorhand dient de bedrijfsleider reeds te weten welke velden moeten worden berekend, onder meer voor de rotatie van de uitrusting of het verlenen van prioriteit aan bepaalde teelten. Tensiometers, TDR of gravimetrische vochtbepalingen geven daarentegen momentele waarden, die geen informatie leveren over de evolutie van de bodemvochttoestand gedurende de volgende dagen. Bij vaststelling van hogere vochtspanningen is men dikwijls reeds enige dagen te laat, zeker indien de beregeningsbeurt praktisch gezien niet onmiddellijk na de waarneming kan uitgevoerd worden. Evenmin kan via deze meetwaarden de correcte beregeningsdosis bepaald worden. Via de berekeningen van de vochtbalans kan men daarentegen de weersverwachting verwerken, een aangepaste dosis bepalen en overberekening en rechtstreekse doorspoeling van irrigatiewater vermijden.

DEEL 2: BEREKENING BIJ DE STAMSLABONENTEELT

1. Problematiek

De groeicyclus van stamslaboon (*Phaseolus vulgaris* L.) kan onderverdeeld worden in verschillende stadia, die elk in verschillende mate onderhevig zijn aan droogtestress. De belangrijkste te onderscheiden groeifasen zijn de vegetatieve ontwikkeling, de bloei en de peulontwikkeling, eventueel opgedeeld in peulvorming en peulvulling. Wat betreft de droogtegevoeligheid van deze verschillende stadia bestond echter geen consensus. Menig onderzoek duidde de bloeiperiode aan als het meest gevoelige stadium, al dan niet gecombineerd met de fase van peulontwikkeling. Doorenbos (1979) stelde de gewasresponsfactor (zie deel 1 - paragraaf 2.3) gelijk aan 1.1 tijdens de bloei, gevolgd door 0.75 tijdens de peulvorming. Tijdens de vegetatieve periode veronderstelde Doorenbos daarentegen slechts een zwakke invloed van droogtestress op de opbrengst, wat weerspiegeld werd in een gewasresponsfactor 0.2. Uit andere studies bleek de fase van peulvulling het gevoeligst aan droogtestress, terwijl omtrent de invloed van droogte tijdens de vegetatieve fase evenmin éénduidigheid bestond. Muirhead en White (1981) stelden dat Europese onderzoekers in het algemeen geen invloed van droogtestress op de opbrengst vaststelden wanneer deze zich voordeed vóór de bloei.

Omtrent de interventiegrenzen voor berekening bij stamslabonen bestond evenmin duidelijkheid, noch in de vulgariserende literatuur, noch in de wetenschappelijke literatuur. De bodemvochtspanningen die worden aangegeven als interventiedrempels voor berekening variëren, afhankelijk van de bron, tussen 20 kPa en 60 kPa.

Een overzicht van de belangrijkste literatuurbronnen met vermelding van de 'kritische' bodemvochtspanning en ontwikkelingsfase(n) wordt weergegeven in tabel 2.1.

Algemeen wordt gesteld dat een verhoging van de irrigatiefrequentie of lage interventiedrempels resulteren in een toename van productie en gewasontwikkeling (Lee et al., 1977). Andere bronnen vermelden daarentegen dat op een zeker niveau de opbrengsttoename stabiliseert bij verhoogde watertoediening (Doss et al., 1977). Bonnano en Mack (1983) wijzen op het risico van legering en schimmelaantasting bij frequente irrigatie in combinatie met hoge natuurlijke neerslag, waardoor de opbrengst gereduceerd wordt.

Tabel 2.1 Overzicht van de kritische bodemvochtspanning en ontwikkelingsfase(n) zoals aangegeven door verscheidene literatuurbronnen

Bron	bodemvochtspanning	kritieke ontwikkelingsfase
White et al. (1991)	-	vegetatief stadium + vroeg peulvulling
Hegde & Srivinas (1990)	45 kPa op 15 cm diepte	-
Singh (1989)	gemiddeld 21 kPa	-
Cselötei & Varga (1987)	-	bloei en peulontwikkeling
Varga & Köszegi (1987)	-	bloei en peulontwikkeling
Bonnano & Mack (1983)	interventie bij 60 kPa	volledige teeltcyclus
Mack & Varseveld (1982)	interventie bij 60 kPa	-
Muirhead & White (1981)	interventie bij 50 kPa	peulvulling
Stansell & Smittle (1980)	interventie bij 25 kPa	volledige teeltcyclus
Doorenbos (1979)	-	bloei en peulontwikkeling
Dubetz & Mahalle (1969)	45 tot 62 kPa	bloei
Maurer et al. (1969)	-	bloei en peulontwikkeling
Kattan & Flemming (1956)	-	bloei en peulontwikkeling
Dekkers (2000)	40 kPa	-
ILWB (1998)	20 tot 30 kPa	-
Huininck (1991)	1000 kPa	vóór de bloei
Boerenbond (1980)	25 kPa	-

Kenmerkend voor de oogst van groene bonen voor de industrie in België en omliggende landen is dat de volledige productie op éénzelfde tijdstip machinaal wordt geoogst. Het is dan ook van het allergrootste belang dat een maximaal aantal peulen het rijpheidstadium bereikt hebben op het ogenblik van de oogst (Muirhead en White, 1981), dit in tegenstelling tot de oogst van droge bonen (Weaver en Ng, 1984) of productiesystemen waar de bonen meermaals worden geoogst (Singh, 1989). De homogeniteit van de peulproductie is met andere woorden uitermate belangrijk.

2. Proefopzet

2.1 Onderzoeksstrategie

Gedurende de eerste biënnale van het onderzoek (1997-1998) werden per seizoen 4 proefvelden aangelegd op zandleem- of leemgronden. Op elk van deze proefvelden werden 6 verschillende beregeningsstrategieën toegepast. Voor 4 behandelingen werd gedurende de volledige teeltcyclus een zelfde interventiegrens aangehouden, zijnde bodemvochtspanningen van 30 kPa (pF 2.5), 50 kPa (pF 2.7), 80 kPa (pF 2.9) of 200 kPa (pF 3.3). Bij de 2 overige behandelingen werd een vochtspanning getolereerd tot maximum 200 kPa tijdens respectievelijk de eerste 40 en de eerste 60 dagen van de groeicyclus, waarna getracht werd een bodemvochtspanning van 50 kPa aan te houden. Naar deze behandelingen wordt respectievelijk met de volgende benamingen verwezen: “30”, “50”, “80”, “200”, “40/200” en “60/200”.

Op basis van de resultaten van de eerste biënnale werden de behandelingen voor de volgende onderzoeksjaren (1999-2000) enigszins gewijzigd. Het regime “30” werd niet langer in de proefopzet opgenomen, gezien berekening bij dergelijke bodemvochtspanningen in de praktijk op deze gronden niet haalbaar was en bovendien leidde tot lage opbrengsten. De regimes met interventiegrens 50 kPa, 80 kPa en 200 kPa werden behouden. Aan deze reeks behandelingen werden twee regimes toegevoegd, waarbij 200 kPa werd getolereerd gedurende respectievelijk de peulontwikkeling voor het regime “200(P)” en de bloem- en peulontwikkeling voor het regime “200(B+P)”. Tijdens de overige groeistadia werd 80 kPa als interventiegrens aangehouden. Deze behandelingen werden aangelegd voor 3 proefvelden per seizoen.

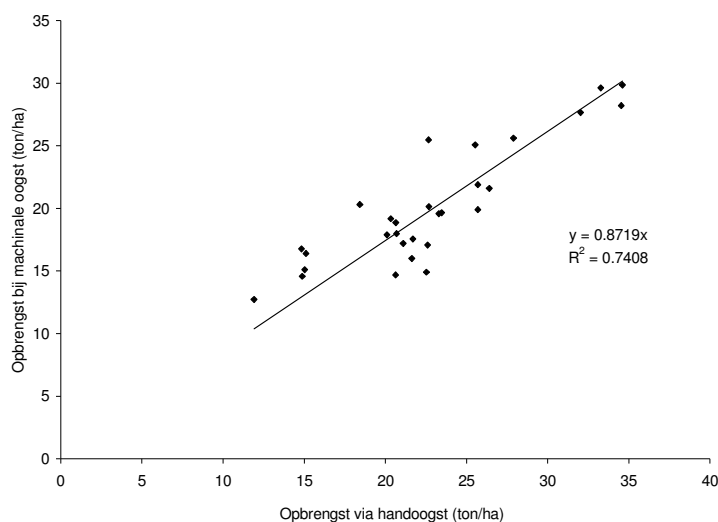
De proef werd uitgevoerd op twee bedrijven in de zandleemstreek (Meigem, Wontergem) en drie bedrijven in de leemstreek (Thisnes, Waremmes, Gingelom). De berekening werd steeds uitgevoerd met een haspelinstallatie.

2.2 Relatie tussen handoogsten en machinale oogsten

Bekeken vanuit het oogpunt van de bedrijfsleider is het machinaal oogstrendement het belangrijkste beoordelingscriterium bij de bepaling van de optimale beregeningsstrategie. Logischerwijze volgt hieruit de vraag naar het verband tussen deze machinale opbrengst en de handopbrengsten, waarop dit onderzoek zich baseert. Meermaals werden om deze reden de machinale en

handmatige rendementsbepaling gelijktijdig uitgevoerd, zodat hun onderlinge relatie kon onderzocht worden.

De opbrengstbepaling via handoogsten bleek een goede maat te zijn voor de reële machinale opbrengsten. Noch in positieve, noch in negatieve zin werd het machinale oogstrendement beïnvloedt door het verschil in gewasontwikkeling dat op een aantal proefvelden ten gevolge van het beregeningsregime werd gerealiseerd. De algemene evaluatie van de machinale oogstrendementen gaf een gemiddelde opbrengstreductie van 13% aan ten opzichte van de handmatige oogsten (figuur 2.1).



Figuur 2.1 Vergelijking van machinale opbrengsten en handoogsten

2.3 Proefveldoverzicht

De proefopzet ter bepaling van de optimale irrigatiestrategie voor stamslabonen werd gedurende vier onderzoeksjaren uitgevoerd op 14 verschillende proefvelden. Gezien de klimaatsomstandigheden sterk varieerden van jaar tot jaar en bovendien de zaaidata van de proefvelden zoveel mogelijk werden gespreid in de tijd, dient een duidelijk overzicht van de voor ieder proefveld unieke bodemvochtomstandigheden als leidraad genomen te worden voor de bespreking van de onderzoeksresultaten.

Figuur 2.2 Overzicht van het voorkomen van droogtestress tijdens de teeltcycli 1997-2000

Figuur 2.2 geeft een gedetailleerd overzicht van het optreden van droogteperioden tijdens de teeltcycli, waarbij steeds uitgegaan wordt van het regime waar geen of het minst aantal beregeningsdosissen werd toegediend. De periode van de groeicyclus werd opgesplitst in eenheden van 5 dagen, die vervolgens onderverdeeld werden in 5 bodemvochtspanningsklassen, namelijk bodemvochtspanningen lager dan pF 2.7, tussen pF 2.7 en pF 2.9, tussen pF 2.9 en pF 3.1, tussen pF 3.1 en 3.3 en bodemvochtspanningen hoger dan pF 3.3.

De proefvelden werden in 2.2 geklasseerd volgens het voorkomen van de droogteperioden met aanduiding van de groeicycli: vegetatief stadium (vanaf zaaidatum tot 40 dagen vóór de oogstdatum), bloei (vanaf 40 dagen tot 20 dagen vóór de oogstdatum) en peulontwikkeling (vanaf 20 dagen vóór de oogstdatum).

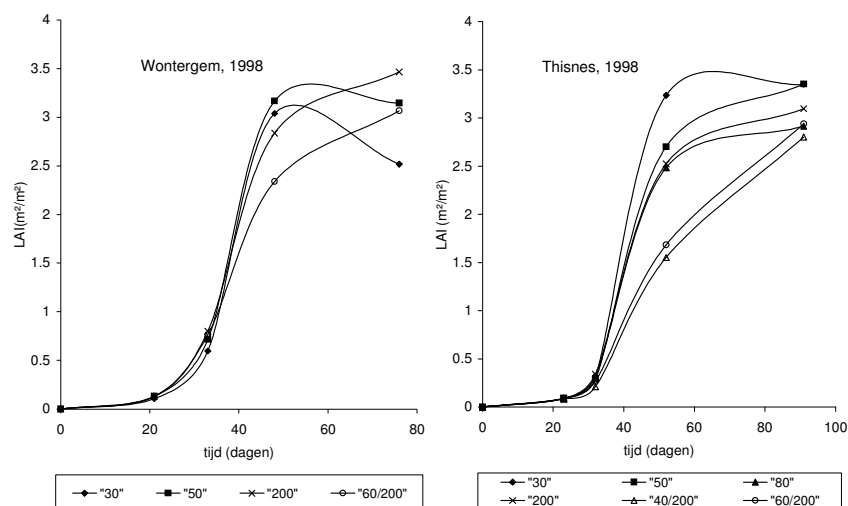
3. Invloed van berekening op de gewasontwikkeling

3.1 LAI, bodembedekkingsgraad en drooggewicht

De vegetatieve ontwikkeling bij stamslabonen werd opgemeten aan de hand van de bodembedekkingsgraad, de droge stofproductie en de LAI (verhouding van het totale bladoppervlak tot het bodemoppervlak). De gewasontwikkeling is duidelijk zwakker wanneer het gewas droogtestress ondervindt. Reeds vanaf vochtspanningen hoger dan pF 2.7 wordt een reductie van de gewasgroei vastgesteld. Diverse literatuurbronnen bevestigen de positieve invloed van irrigatie op de blad- en stengelontwikkeling (Bonnanno en Mack, 1983b; Millar en Gardner, 1972). Maurer (1969) stelde reeds een reductie van de plantontwikkeling vast vanaf 30 kPa, terwijl Singh (1989) een maximale vegetatieve ontwikkeling noteerde bij een gemiddelde bodemvochtspanning van 12 kPa. Millar en Gardner (1972) vermeldden een reductie van de drogestofproductie met 47% bij een stijging van de vochtspanning van 28 tot 40 kPa.

De proefvelden Wontergem 1998 en Thisnes 1998 werden gekenmerkt door een droogteperiode tijdens het vegetatief stadium. Vooral te Thisnes 1998 werden zeer hoge bodemvochtspanningen bereikt gedurende deze fase met een groot effect op de blad- en stengelontwikkeling tot gevolg (figuur 2.3). De LAI lag veel lager bij de regimes “200” en “60/200”, terwijl het regime “30” een uitermate sterke bladontwikkeling vertoonde. Duidelijk bleek eveneens dat het gewas een ‘inhaalmanoeuvre’ kan uitvoeren, wanneer na de droogteperiode een periode van voldoende neerslag en voldoening aan de vochtvraag volgt. De bladontwikkeling kende bij de regimes “200” en “60/200” een sterke toename tot aan de oogst, terwijl de gewasgroei bij de overige regimes stagneerde.

Het risico tot schimmelaantasting en afsterven van de bladeren ten gevolge van de legering van het gewas is bovendien hoger bij de meest beregende regimes, zoals duidelijk geïllustreerd wordt door het verloop van de LAI te Wontergem 1998. De regimes “30” en “50” vertoonden een duidelijke reductie in bladmassa. Mack en Varseveld (1982) stellen dat een beregeningsfrequentie van 4 tot 8 dagen een gunstig microklimaat creëert voor de ontwikkeling van schimmelziekten, vooral bij hoge plantdichtheden. Kleine rijafstanden hebben namelijk een gereduceerde luchtbeweging tot gevolg, waardoor de relatieve vochtigheid onder het bladerdek verhoogt. Ook andere ziekten, waaronder bacterierot, worden bij stamslaboon bevorderd onder invloed van te vochtige omstandigheden (Doorenbos et al., 1979).



Figuur 2.3 Invloed van berekening op de vegetatieve gewasontwikkeling

Eerder werd de kritische vochtspanning gedefinieerd als de vochtspanning waarbij de maximale evapotranspiratie en bijgevolg de maximale droge stofproductie niet langer gerealiseerd worden. Op basis van het effect van berekening op de gewasontwikkeling kunnen we besluiten dat de kritische bodemvochtspanning vrij laag is voor stamslabonen (30-50 kPa). Deze kritische bodemvochtspanning is bij de bonenteelt echter geen interventiegrens voor berekening, aangezien niet zozeer de vegetatieve, doch wel de generatieve ontwikkeling (bloem- en peulvorming) bepalend is voor de opbrengst.

3.2 Plantstructuur

3.2.1 Groei en ontwikkeling bij stamslabonen

Afhankelijk van de temperatuur duurt het 5 à 10 dagen na zaaidatum vooraleer de planten met de zaadlobben boven de grond komen. Dit is het zogenaamde 'kromme-nek-stadium'. Enkele dagen later ontstaan twee enkelvoudige bladeren of kiemlobben. In dit stadium kunnen de planten geruime tijd verkeren. De zaadlobben vallen spoedig af (Neuvel, 1994).

Bij verdere ontwikkeling van het gewas ontstaan verscheidene drietallige bladeren op de hoofdstengel. In de oksels van deze bladeren ontstaan twee

bloemen, een steeltje met bloemen en een steeltje met een knoop, waarop een nieuw drietallig blad ontstaat. Op deze knoop ontstaan na enige tijd opnieuw bloemen, een steeltje met bloemen en een knoop waarop een volgend drietallig blad ontstaat. Ook in de oksels van de kiemlobben en vanuit de oksels van de inmiddels afgevallen zaadlobben kunnen op dezelfde wijze bloemen en bladeren ontstaan. Op deze manier blijft de plant zich vertakken en bladeren en bloemen produceren (Neuvel, 1994).

3.2.2 Analyse van de plantstructuur

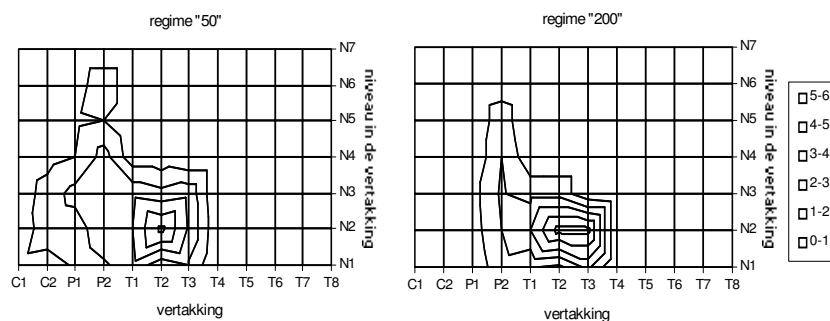
De studie van de plantstructuur omvat de lokalisering van het voorkomen van generatieve elementen - zijnde bloemknoppen, bloemen en peulen - op de verschillende vertakkingen en niveaus van de plantstructuur. De vertakkingen kunnen gedefinieerd worden als de zijassen die vertrekken vanop de hoofdas, terwijl de niveaus de verdere vertakkingen van een zijstengel aanduiden. Het volgende schema verduidelijkt de gebruikte benamingen:

Vertakkingen:	C1, C2 = zaadlobben P1, P2 = kiemlobben T1, T2, T3... = drietallige bladeren
Niveaus:	N1 = blad aan de hoofdstengel N2 = eerste drietallig blad van de vertakking N3 = tweede drietallig blad van de vertakking N4 etc...

De analyse van de plantstructuur wees op een sterkere uitbreiding naar de hogere niveaus van de lage vertakkingen bij de meest beregende regimes. De 'drogere' regimes vertoonden daarentegen een sterker geconcentreerde generatieve ontwikkeling: korter tegen de hoofdstengel en op minder vertakkingen. Deze sterkere concentratie kan gerelateerd worden aan het vroegtijdig beëindigen van de bloemontwikkeling bij matige droogte tijdens de bloei (zie deel 2 - hoofdstuk 6). De extra bloemen die bij betere vochtvoorziening of na beregenen nog gevormd worden, ontstaan op een later tijdstip uit bladoksels die verder van de hoofdstengel verwijderd zijn.

Deze theorie kan het best geïllustreerd worden aan de hand van het proefveld te Thisnes 1999, waar vanaf het einde van de bloei en gedurende de volledige peulontwikkeling een sterke differentiatie in bodemvochtspanning tussen de behandelingen werd gerealiseerd (figuur 2.4). De bloem- en peulontwikkeling was het sterkst geconcentreerd op het tweede niveau van de tweede en/of derde vertakking (5-6 elementen), nam af naarmate de locatie verder verwijderd was

van dit centrum en was meer verspreid over de plantstructuur na intensiever beregenen (regime "50").



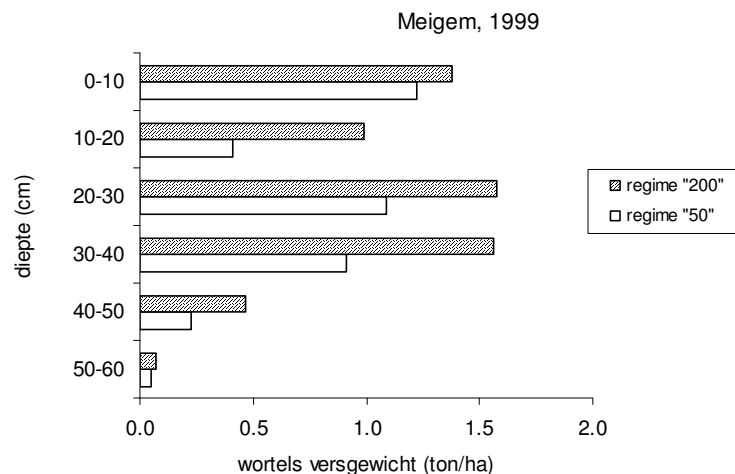
Figuur 2.4 Spreiding van de bloem- en peulontwikkeling, uitgedrukt in aantal elementen per niveau en vertakking (Thisnes, 1999)

3.3 Wortelontwikkeling

De ontwikkeling van een diep en efficiënt wortelstelsel is één van de belangrijkste aanpassingsstrategieën van een plant aan droogte (Berengena et al., 1985). De term 'efficiënt' geeft aan dat de wortels in staat zijn de beschikbare bodemvochtreserve in de wortelzone volledig te benutten. Deze efficiëntie hangt niet alleen af van de totale wortelmassa, doch ook van de verdeling en dichtheid van de beworteling.

In 1997 werd de wortelontwikkeling gekarakteriseerd door een visuele beschrijving van een profiel van de wortelzone, doch deze methode bleek niet geschikt voor een voldoende vergelijking van de beworteling. Vanaf 1998 werd overgeschakeld op het uitwassen van de wortels uit een gekend bodemvolume. De resultaten toonden aan dat de wortelontwikkeling duidelijk de invloed van beregening ondervindt. Ook bij stamslaboon zorgt droogtestress ervoor dat de wortels actiever op zoek gaan naar water, zodat het wortelstelsel zich sterker ontwikkelt. Deze bevinding wordt bevestigd door het onderzoek van Muirhead en White (1981).

Te Meigem 1999 was deze invloed van relatieve droogtestress op de wortelontwikkeling duidelijk merkbaar (figuur 2.5).



Figuur 2.5 Effect van beregening op de wortelontwikkeling van stamslaboon bij de oogst

3.4 Besluit

De reactie van stamslabonen op droogtestress blijkt duidelijk uit de analyse van de gewasontwikkeling. Reeds bij vochtspanningen hoger dan pF 2.7 wordt de vegetatieve ontwikkeling gereduceerd: de planten blijven kleiner en ontwikkelen minder bladmassa. De groeiachterstand ten gevolge van droogtestress is echter niet definitief, maar wordt geheel of gedeeltelijk ingehaald wanneer na de droogteperiode de vochtreserve opnieuw op peil blijft. Frequent beregenen stimuleert niet alleen de gewasgroei, doch brengt ook een aantal nadelen met zich mee: de kans op legering van het gewas neemt toe, evenals het voorkomen van schimmelaantastingen.

Onder beregening vertoont de bloem- en peulontwikkeling een sterkere uitbreiding naar de hogere niveaus van de lagere vertakkingen. Relatieve droogtestress leidt daarentegen tot een sterker geconcentreerde generatieve ontwikkeling: bloemen en peulen ontwikkelen zich dichter tegen de hoofdstengel en op een kleiner aantal vertakkingen.

Tenslotte wordt ook bij stamslabonen de wortelontwikkeling beïnvloedt door relatief hogere vochtspanningen. Relatieve droogte stimuleert de beworteling om actiever op zoek te gaan naar water, zodat een uitgebreid wortelstelsel

wordt ontwikkeld. Frequent beregenen zorgt er daarentegen voor dat het wortelstelsel 'lui' wordt en zich ondieper ontwikkelt, waardoor het gewas minder bestand is tegen een plotse, intensieve droogteperiode.

4. Invloed van klimaat op de gewasontwikkeling

De term ‘groeizaam weer’ wijst reeds op de belangrijke invloed van de klimaatsomstandigheden op de gewasgroei. Lage temperaturen en sombere weersomstandigheden leiden tot een gereduceerde gewasgroeisnelheid en een verlenging van de teeltcyclus. Gezien bij de vochtbalansmethode rekening wordt gehouden met de gewasontwikkeling, kan de simulatie van de gewasgroei op basis van meteorologische parameters interessante informatie verschaffen voor de irrigatiesturing. Dit kan gebeuren op basis van groeicurven.

4.1 Groeicurven

Het verband tussen de gewasontwikkeling (LAI, bodembedekkingsgraad of totaal drooggewicht) en een onafhankelijke variabele (tijd, temperatuursom, stralingssom) kan uitgedrukt worden aan de hand van een groeicurve. Groeicurven kunnen in drie fasen onderverdeeld worden: een exponentiële groeifase, een lineaire fase en een rijpingsfase. Deze drie fasen komen overeen met respectievelijk een toenemende, een constante en een afnemende groeisnelheid. De gewasgroei kan met andere woorden weergegeven worden door een S-vormige curve met de volgende vergelijking (Spitters, 1981):

$$G = G_n \cdot [1 - \exp(-A \cdot X^B)]$$

waarbij G = de gewasparameter (LAI, bodembedekkingsgraad, drooggewicht)
 G_n = de maximale waarde van deze parameter
 X = de onafhankelijke variabele (tijd, temperatuursom, stralingssom)
 A, B = vormconstanten

De parameters G_n , A en B werden bepaald door middel van een niet-lineaire regressie via het statistische softwarepakket SPSS.

4.2 Groeicurven en klimaatparameters

Groeicurven voor LAI, bodembedekkingsgraad en drooggewicht kunnen bepaald worden in functie van de tijd – de meest gebruikte voorstellingswijze – doch eveneens in functie van andere onafhankelijke variabelen zoals bvb. de temperatuur of de straling. Teneinde de meest geschikte onafhankelijke variabele en bijgevolg de meest bepalende parameter voor de gewasgroei te determineren, werd de niet-lineaire regressie uitgevoerd met vier verschillende

onafhankelijke variabelen. De S-curven werden bepaald in functie van de tijd, de temperatuursom, de stralingssom en de temperatuursom boven 10°C. Bij deze laatste parameter werd de som gemaakt van de verschillen tussen de gemiddelde dagelijkse temperatuur en 10°C. Beneden deze temperatuur is geen gewasgroei meer mogelijk bij bonen (Doorenbos et al., 1979). Neuvel (1994) maakte eveneens gebruik van deze parameter bij het voorspellen van de duur van de groeicyclus.

Tabel 2.2 geeft de determinatiecoëfficiënten weer van de simulatie van de groeicurven voor het geheel van de resultaten van de vier onderzoeksjaren (1997-2000).

Tabel 2.2 Determinatiecoëfficiënten (R^2) voor de gewasgroei

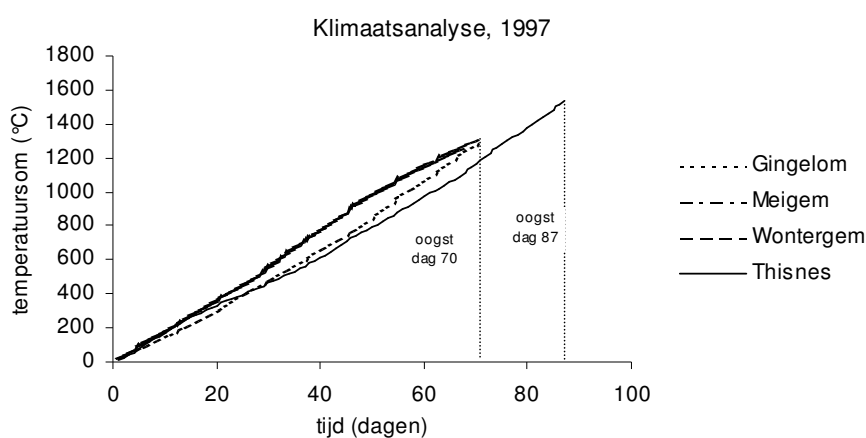
		1997-2000
LAI in functie van	tijd	0.57
	temp	0.68
	straling	0.55
	temp>10°C	0.76
BBG in functie van	tijd	0.70
	temp	0.82
	straling	0.70
	temp>10°C	0.91
DG in functie van	tijd	0.57
	temp	0.66
	straling	0.59
	temp>10°C	0.73

Zoals blijkt uit de determinatiecoëfficiënten wordt de gewasgroeisnelheid zeer goed bepaald door de omgevingstemperatuur boven 10°C. Bijgevolg vormt de temperatuursom boven 10°C de meest geschikte parameter voor de voorspelling van de gewasontwikkeling.

De lengte van de groeicyclus van stamslabonen varieert tussen 60 en 90 dagen (Doorenbos et al., 1979). Zoals uit de klimatologische analyse van de groeicurven reeds bleek, leiden hoge temperaturen tot een snellere

ontwikkeling van het gewas. Dit is in overeenstemming met de theorie van Neuvel (1994), waarin gesteld wordt dat de duur van de groeicyclus afhankelijk is van de temperatuur, de neerslag en de variëteit. De relatie tussen het vochtregime en de duur van de teeltcyclus bleek uit de kwantitatieve analyse van de bloem- en peulontwikkeling (zie deel 2 - hoofdstuk 6). Matige droogtestress veroorzaakt een versnelling van het rijpingsproces.

De verlenging van de teeltcyclus onder invloed van lage temperaturen wordt geïllustreerd in figuur 2.6, waar de temperatuursom en de lengte van de cyclus worden aangegeven in functie van de tijd. Meigem en Wontergem kenden vrijwel hetzelfde temperatuursverloop en bijgevolg een zelfde duur van de groeicyclus. De aanvankelijk lage temperaturen te Gingelom werden nadien ingehaald, zodat dit proefveld eveneens rond cyclusedag 70 werd geoogst. De zeer lage temperaturen te Thisnes hadden daarentegen een duidelijke verlenging van de groeicyclus tot gevolg.



Figuur 2.6 Invloed van de temperatuur op de lengte van de teeltcyclus

Voornamelijk het verloop van de bodembedekkingsgraad wordt goed gesimuleerd door een sigmoïdale curve op basis van de temperatuursom boven 10°C. Gezien de evolutie van de LAI bij een aantal velden een daling vertoonde tijdens de rijpingsfase was de theoretische S-curve niet steeds geschikt voor de simulatie van de gewasgroei. Ook voor de evolutie van het drooggewicht week deze dikwijls af van een sigmoïdaal verloop doordat groene bonen vóór de eigenlijke afrijping worden geoogst. Deze afwijking werd modelmatig echter

meestal opgevangen door een hoge G_n -waarde. De evolutie van de bodembedekkingsgraad kan gebruikt worden bij de inschatting van het vochtverlies door gewasvaportranspiratie, aangezien de gewascoëfficiënt k_c en de bodembedekkingsgraad in zekere mate aan elkaar kunnen gerelateerd worden.

4.3 Besluit

De temperatuursom boven 10°C is de determinerende factor voor de gewasontwikkeling bij stamslabonen. Vooral de evolutie van de bodembedekkingsgraad kan met vrij grote zekerheid voorspeld worden, wanneer het temperatuursverloop gekend is. Op deze wijze kan bij dag-aan-dag irrigatiesturing een betere inschatting gemaakt worden van de potentiële gewasvaportranspiratie (ET_m), zodat de waterverliezen naar de atmosfeer nauwkeuriger begroot kunnen worden.

5. Effect van relatieve droogtestress op de peulopbrengst

De groeicyclus van stamslabonen kan onderverdeeld worden in 3 fasen: het vegetatief stadium, de bloei en de peulontwikkeling. Het effect van relatieve droogtestress op de peulopbrengst wordt in belangrijke mate bepaald door het tijdstip van optreden van deze droogtestress. Figuur 2.2 toont een overzicht van het tijdstip en de mate van droogtestress voor alle proefvelden en vormt zo de basis van de volgende analyse.

5.1 Droogte tijdens de vegetatieve fase

Het proefveld te Thisnes 1998 werd gekenmerkt door een duidelijke gradiënt in droogtestress tijdens de vegetatieve groeifase. Droogte heeft - zoals aangegeven door de evolutie van de LAI (figuur 2.3) – de gewasontwikkeling sterk geremd. Deze zware achterstand in vegetatieve ontwikkeling leidde echter niet tot een reductie van de peulopbrengst (tabel 2.3). Hieruit kunnen we afleiden dat berekening vóór de bloei weliswaar de blad- en stengelontwikkeling stimuleert, doch niet resulteert in opbrengstverhoging bij de eind oogst. Bij de teelt van stamslabonen kunnen we met andere woorden hogere bodemvochtspanningen tolereren gedurende de vegetatieve ontwikkelingsfase, zonder dat productieverlies optreedt.

Tabel 2.3 Peulopbrengst bij droogtestress tijdens de vegetatieve fase

Thisnes 1998	opbrengst (ton/ha) (*)	
reg “30”	15.4	ab
reg “50”	15.8	a
reg “80”	13.6	ab
reg “200”	15.6	ab
reg “40/200”	13.2	b
reg “60/200”	14.3	ab

(*) Opbrengsten gevolgd door éénzelfde letter zijn niet significant verschillend op een 95% betrouwbaarheidsniveau

Ook Kattan en Fleming (1956) kwamen tot dezelfde vaststelling. Zij vermeldden dat de periode tussen zaai en bloei niet gevoelig is voor droogtestress. Zelfs indien de plantgroei duidelijk werd geremd, werd nadien geen opbrengstreductie of slechtere peul kwaliteit vastgesteld. Kattan en Fleming verklaarden deze waarneming door te stellen dat jonge planten zeer snel herstellen na een periode van droogtestress.

5.2 Droogte tijdens de bloei

Een veel sterkere differentiatie in opbrengst werd daarentegen vastgesteld wanneer droogtestress voorkwam tijdens de bloei. In tegenstelling tot wat verscheidene literatuurbronnen vermelden, werd echter geen opbrengstreductie, maar wel een aanzienlijke opbrengststijging waargenomen naarmate hogere vochtspanningen optraden tijdens de bloei en/of de aanvang van de peulvorming, zoals wordt aangegeven in tabel 2.4.

Wontergem 1998 en Wontergem 1997 vormen typevoorbeelden van differentiatie in droogtestress tijdens de late vegetatieve fase en de bloei, gevolgd door een periode van voldoende vochtvoorziening tijdens de peulontwikkeling. De hoogste productie werd genoteerd bij de behandeling "60/200", waar de bodemvochtspanning in de bouwvoor opliep tot pF 3.1 voor Wontergem 1998 en pF 3.3 voor Wontergem 1997. Zoals aangegeven in tabel 2.4 zorgden frequente berekening en lage vochtspanningen voor de laagste opbrengsten.

Tabel 2.4 Peulopbrengst bij droogtestress tijdens de bloei

Regime	opbrengst (ton/ha) (*)			
	Wontergem 98	Wontergem 97	Meigem 97	Meigem 98
reg "30"	13.3 d	15.0 c	18.4 b	23.1 c
reg "50"	16.7 bdc	17.7 bc	17.8 b	23.7 c
reg "80"	16.0 dc	20.6 ab	20.3 ab	27.4 b
reg "200"	20.2 ab	20.7 ab	22.7 a	28.4 ab
reg "40/200"	19.6 abc	20.6 ab	20.9 ab	28.6 ab
reg "60/200"	22.7 a	22.7 a	23.5 a	30.1 a

(*) Opbrengsten gevolgd door éénzelfde letter zijn niet significant verschillend op een 95% betrouwbaarheidsniveau

Te Meigem 1997 en Meigem 1999 ving de droogteperiode later aan, waardoor de volledige bloeiperiode als ‘kritieke’ periode kan beschouwd worden. Een verschuiving van de droogteperiode naar de tweede helft van de bloei en de aanvang van de peulontwikkeling trad op te Meigem 1998 en Waremmen 1998. Voor al deze proefvelden – waarvan enkele opbrengsten worden weergegeven in tabel 2.4 – konden we steeds opnieuw dezelfde tendens vaststellen: hoge bodemvochtspanningen (tot pF 3.3) tijdens de bloei of de aanvang van de peulontwikkeling leidden tot hoge opbrengsten, terwijl berekening bij lagere zuigspanningen de opbrengst in belangrijke mate reduceerde. Frequent beregenen tijdens de bloei veroorzaakte een opbrengstreductie van 20 à 40 %. Vochtspanningen hoger dan pF 3.3 leidden echter eveneens tot opbrengstreducties (Gingelom 1997, laattijdig beregend wegens een defecte beregeningsinstallatie).

5.3 Droogte tijdens de peulontwikkeling

Omwille van de zeer hoge neerslagfrequentie tijdens het seizoen 2000 was slechts een zeer beperkte differentiatie tussen de behandelingen mogelijk en werden geen significante verschillen in opbrengst genoteerd. Het enige proefveld dat als kenmerkend kan beschouwd worden voor de invloed van droogtestress tijdens de peulontwikkeling is Thisnes 1997. Het ontbreken van opbrengstdifferentiatie bij dit veld leidt tot de conclusie dat berekening tijdens de tweede helft van de peulontwikkeling de opbrengst niet in belangrijke mate beïnvloedt.

5.4 Droogte tijdens zowel bloem- als peulontwikkeling

De langste droogteperiode werd gerealiseerd op het proefveld Thisnes 1999. Hier werd een matige droogtestress (pF 2.7 tot pF 2.9) waargenomen tijdens de bloei, waarna zware droogtestress volgde tijdens de peulontwikkeling (zuigspanningen tot hoger dan pF 3.3 bij het droogste regime). Wanneer de opbrengstresultaten geanalyseerd worden, merken we geen significante verschillen tussen de vergewichten. Deze resultaten zijn echter misleidend gezien de peulen een lager vochtgehalte hadden bij de droogste regimes. De drooggewichten van de peulopbrengsten komen dan ook meer in aanmerking als basis van de analyse. Hier merken we weerom dat de meest beregende regimes “50” en “80” de laagste peulproductie realiseerden. De hoogste productiviteit werd waargenomen bij het droogste regime (reg“200”), gevolgd door de regimes “200(P)” en “200(B+P)” (tabel 2.5).

Tabel 2.5 Droogtestress tijdens bloem- en peulontwikkeling

Thisnes 1999				
Regime	versgewicht (ton/ha)(*)		drooggewicht(ton/ha)(*)	
reg "50"	17.5	a	1.45	c
reg "80"	17.9	a	1.52	bc
reg "200(P)"	21.6	a	1.89	a
reg "200(B+P)"	17.9	a	1.83	ab
reg "200"	20.7	a	1.96	a

(*) Opbrengsten gevolgd door éénzelfde letter zijn niet significant verschillend op een 95% betrouwbaarheidsniveau

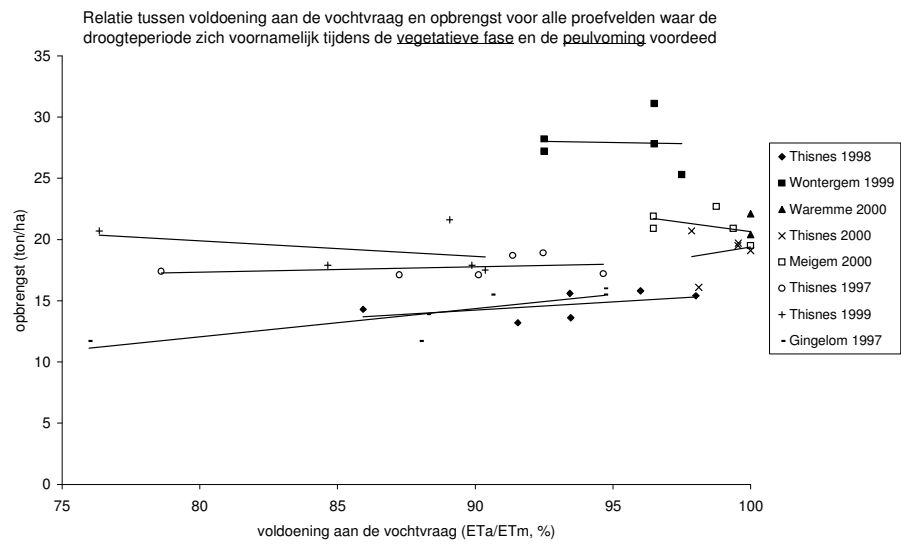
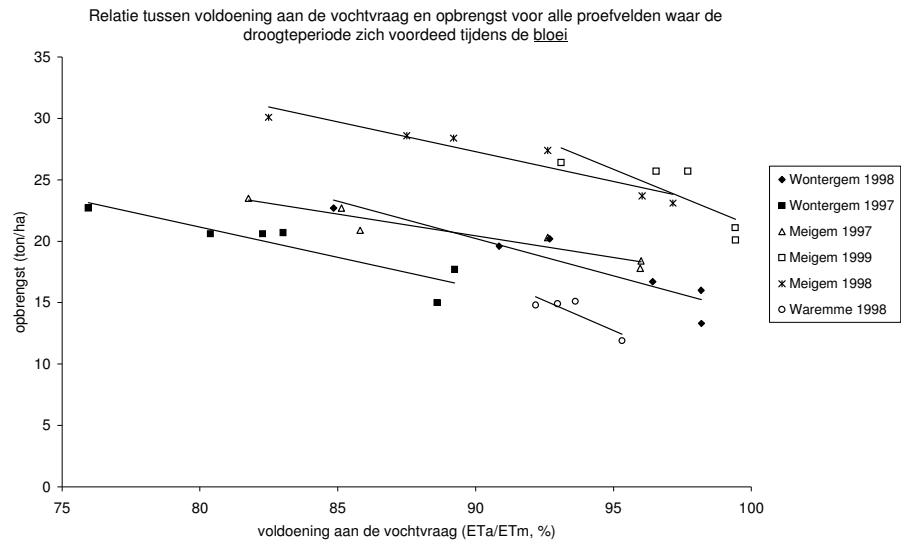
5.5 Relatie tussen de voldoening aan de vochtvraag en de opbrengst

De voldoening aan de vochtvraag, die berekend wordt als de verhouding tussen de actuele en de maximale evapotranspiratie, vormt een belangrijke indicator van de mate waarin het gewas te lijden had onder droogtestress.

Wanneer de gemiddelde opbrengst wordt uitgezet in functie van de voldoening aan de vochtvraag, kunnen duidelijk 2 groepen onderscheiden worden:

1. proefvelden waar de droogteperiode zich situeerde tijdens de bloei
2. proefvelden waar de droogteperiode zich situeerde tijdens de vegetatieve fase of de peulontwikkeling

Beide situaties worden in figuur 2.7 weergegeven. Uit deze figuren blijkt duidelijk dat bij droogtestress tijdens de bloeiperiode een negatief verband bestaat tussen de voldoening aan de vochtvraag en de opbrengst: hoe groter de voldoening aan de vochtvraag tijdens de bloei, hoe lager de opbrengst. De lagere opbrengsten bij intensiever beregenen zijn niet veroorzaakt door zuurstoftekort ter hoogte van de wortels ten gevolge van wateroverlast. Indien dit het geval was, zou de gewasgroei eveneens geremd worden. Het tegengestelde werd echter bewezen (zie deel 2 – hoofdstuk 3).



Figuur 2.7 Relatie tussen de voldoening aan de vochtvraag en de opbrengst

Wanneer de droogteperiode tijdens de vegetatieve fase en/of peulontwikkeling valt, merken we geen relatie meer tussen de voldoening aan de vochtvraag en de opbrengst. Berekening tijdens deze perioden oefent klaarblijkelijk geen invloed uit op de productie.

5.6 Harvest Index (HI) en Water Use Efficiency (WUE)

De volgende formule wordt aangewend ter berekening van de Harvest Index:

$$HI = \frac{DG_{peulen}}{DG_{totaal}} \text{ met DG = drooggewicht (ton/ha)}$$

Hoe hoger deze HI, hoe meer de plant investeert in de ontwikkeling van de peulen en hoe efficiënter de productie verloopt. Vroegtijdig beregenen tijdens de bloei veroorzaakt lage waarden van de HI. Naarmate hogere zuigspanningen worden toegestaan, stijgt de HI. Tabel 2.6 geeft een duidelijke illustratie van deze vaststelling. De WUE is een maat voor de efficiëntie van het waterverbruik door het gewas en geeft de relatie tussen de opbrengst en het vochtverbruik door evapotranspiratie weer.

Tabel 2.6 Harvest Index (HI)

	Harvest Index (g/g)			
	WON 98	WAR 98	MEI 97	MEI 98
regime "30"	0.27	-	0.24	0.37
regime "50"	0.27	0.26	0.29	0.34
regime "80"	0.29	0.29	0.34	0.41
regime "200"	0.35	0.31	0.37	0.39
regime "40/200"	0.33	-	0.39	0.42
regime "60/200"	0.39	0.33	0.40	0.42

De laagste WUE wordt vastgesteld bij de meest beregende regimes. Hieruit blijkt dat lage interventiegrenzen aanleiding geven tot 'luxe-consumptie' van water door het gewas. De extra wateropname bevordert slechts de vegetatieve ontwikkeling.

Tabel 2.7 Water Use Efficiency (WUE)

	WUE (kg/m ³)		
	WAR 98	MEI 97	MEI 98
regime "30"	-	13.8	14.9
regime "50"	6.5	13.6	16.8
regime "80"	8.6	16.0	19.7
regime "200"	8.7	19.5	22.1
regime "40/200"	-	18.0	22.6
regime "60/200"	9.0	20.9	23.4

5.7 Samenvatting en besluit

In tegenstelling tot wat de meeste literatuurbronnen aangeven, waren intensieve berekening, lage bodemvochtspanningen en een sterke vegetatieve ontwikkeling onder 'Belgische' klimaatsomstandigheden en op zandleem- tot leembodems niet gerelateerd aan hoge opbrengsten. Integendeel, de hoogste opbrengsten werden gerealiseerd bij de minst beregende regimes. Het al dan niet voorkomen van een sterke opbrengstdifferentiatie hing bovendien in sterke mate af van de specifieke groeifase gedurende dewelke de droogtestress zich voordeed. De bodemvochttoestand tijdens de bloei en de aanvang van de peulontwikkeling bleek determinerend voor de peulopbrengst bij de eind oogst.

Tabel 2.8 Rendementsdaling ten gevolge van één overbodige beregeningsdosis

	opbrengst		rendements- daling (ton/ha)	beregening- dosis (mm)
	optimaal regime (ton/ha)	één dosis te veel (ton/ha)		
Wontergem 1997	22.7	20.6	2.1	20
Meigem 1997	23.1	20.9	2.2	17
Wontergem 1998	22.7	19.9	2.8	22
Meigem 1998	30.1	28.5	1.6	25
Thisnes 1999	20.7	17.9	2.8	14
Gemiddelde rendementsdaling:			2.3 ton/ha	

Dat één enkele beregeningsdosis die te veel wordt toegediend, een belangrijke rendementsdaling veroorzaakt, wordt door tabel 2.8 geïllustreerd.

Voor 5 proefvelden, waar de beslissing tussen al dan niet beregenen tijdens de bloei of de aanvang van de peulvorming cruciaal was, zijn de opbrengsten voorgesteld, evenals de toegediende marginale dosis. Op basis van deze resultaten kunnen we besluiten dat indien één enkele dosis wordt toegediend vooraleer de optimale interventiegrens wordt bereikt, het rendement gevoelig zal dalen. Deze rendementsdaling is gelegen tussen 1.6 en 2.8 ton/ha, met een gemiddelde van 2.3 ton/ha. Te vroeg beregenen bij stamslabonen betekent niet alleen dat de toegediende dosis verloren is qua arbeids-, energie- en onderhoudskost, maar veroorzaakt daarenboven een belangrijk opbrengstverlies bij de eind oogst. Intuïtief 'beregemen bij droogte' is dan ook ten zeerste af te raden bij de teelt van stamslabonen.

De invloed van berekening in functie van de groeistadia kan als volgt worden samengevat voor de teelt van stamslabonen:

1. Tijdens de vegetatieve fase veroorzaken vochtspanningen tot pF 3.3 in de bouwlaag een duidelijke reductie in vegetatieve groei, doch beïnvloeden de peulopbrengst niet.
2. Droogtestress tijdens de bloei en de aanvang van de peulontwikkeling zorgt daarentegen duidelijk voor differentiatie van de opbrengst. De zone waar de hoogste bodemvochtspanningen worden bereikt, levert de beste opbrengstresultaten, zowel qua versgewicht als qua drooggewicht. Wanneer de opbrengst uitgezet wordt in functie van de voldoening aan de vochtvraag, merken we zeer duidelijk een dalende trend. Met andere woorden, hoe meer berekening tijdens de bloei, hoe hoger de voldoening aan de vochtvraag en hoe lager de opbrengst. Dit telkens binnen de vochtspanningsintervallen van het onderzoek (maximaal pF 3.3).
3. Hoge vochtspanningen tijdens de laatste fase van de peulontwikkeling beïnvloeden de opbrengst vrijwel niet, wanneer deze uitgedrukt wordt in termen van drooggewicht. Uitgedrukt in versgewicht verandert deze relatie, daar het vochtgehalte van de peulen in belangrijke mate lager is bij de droogste behandelingen.

Hoewel de hoogste opbrengsten voorkwamen bij hoge vochtspanningen tijdens de bloei en de aanvang van de peulontwikkeling, werd eveneens vastgesteld dat de peulrijping het verst gevorderd was onder deze condities. De vraag blijft dan ook open of dit opbrengstverschil kan ingehaald worden wanneer op een later

tijdstip wordt geogst. Deze vraag kan beantwoord worden op basis van de kwantitatieve analyse van de bloem- en peulontwikkeling, die in volgend hoofdstuk wordt besproken.

6. Bloem- en peulontwikkeling, peulrijping en –kwaliteit

Gedurende de laatste onderzoeksjaren werd uitgebreid ingegaan op de analyse van de bloem- en peulontwikkeling, teneinde een verklaring te vinden voor de waarnemingen van de vorige onderzoeksjaren. Meer bepaald de evolutie van de peulopbrengst in functie van de tijd en van de rijpingsgraad, het verband tussen de rijpingsgraad en de bodemvochttoestand en de spreiding van de bloem- en peulvorming in de tijd vragen hierbij speciale aandacht. Op basis van deze analyse werd getracht een verklaring te vinden voor de hoge peulopbrengsten die werden waargenomen bij hogere relatieve droogtestress tijdens de bloei.

6.1 Kwantitatieve studie van de generatieve ontwikkeling

6.1.1 Bloem- en peulontwikkeling bij *Phaseolus vulgaris* L.

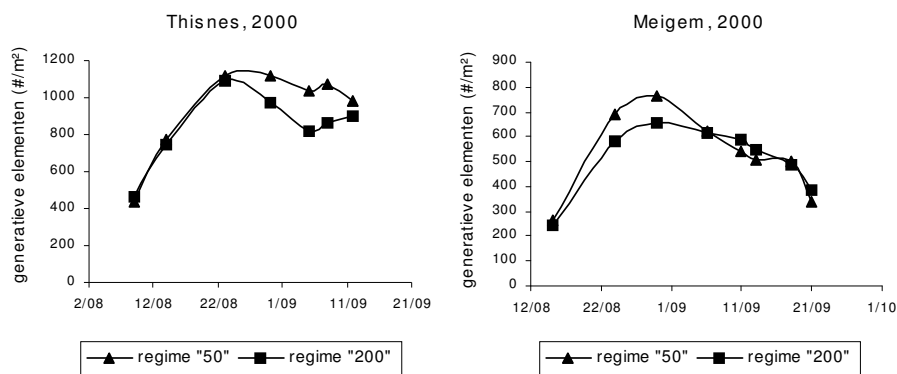
Bij *Phaseolus vulgaris* L. is de groei ‘gedetermineerd’, waarmee wordt bedoeld dat de gewasgroei wordt beëindigd tijdens de bloei. De zogenaamde ‘niet-gedetermineerde’ boonsoorten worden gekenmerkt door een continue groei, ook nadat de bloeiwijze is gevormd. (Stobbe et al., 1965).

Vaak stelt men bij stamslabonen vast dat een groot aantal bloemen afsterven en zich bijgevolg niet tot peulen ontwikkelen. Mogelijke oorzaken van dit afsterven zijn onder meer hoge temperaturen, een laag bodemvochtgehalte en een lage relatieve luchtvochtigheid. Plantgrootte, lichtintensiteit, bodemvruchtbaarheid en insecten kunnen eveneens een invloed uitoefenen (Stobbe et al., 1965). Ook Weaver en Ng (1984) vermeldden dat droogtestress vooral tijdens het bloeistadium en vlak na de peulinitiatie leidt tot afsterven. Cselötei en Varga (1987) stelden bovendien vast dat de watervoorziening voornamelijk het totaal aantal peulen beïnvloedt, terwijl het gemiddelde gewicht van de individuele peulen weinig verschillen vertoont.

6.1.2 Totale generatieve ontwikkeling

De generatieve ontwikkeling werd opgevolgd vanaf de bloei. Op regelmatige tijdstippen werden tellingen en analyses van de plantstructuur uitgevoerd. Zelfs ná de machinale oogst werd de analyse nog enkele malen uitgevoerd op een kleine, niet-geogoste oppervlakte van het perceel. Gezien de hoge neerslagfrequentie tijdens het seizoen 2000 kon slechts een minimale differentiatie tussen de regimes verwezenlijkt worden en werden geen

significante verschillen in opbrengst waargenomen. Nochtans werden significante verschillen in bloem- en peulvorming vastgesteld.



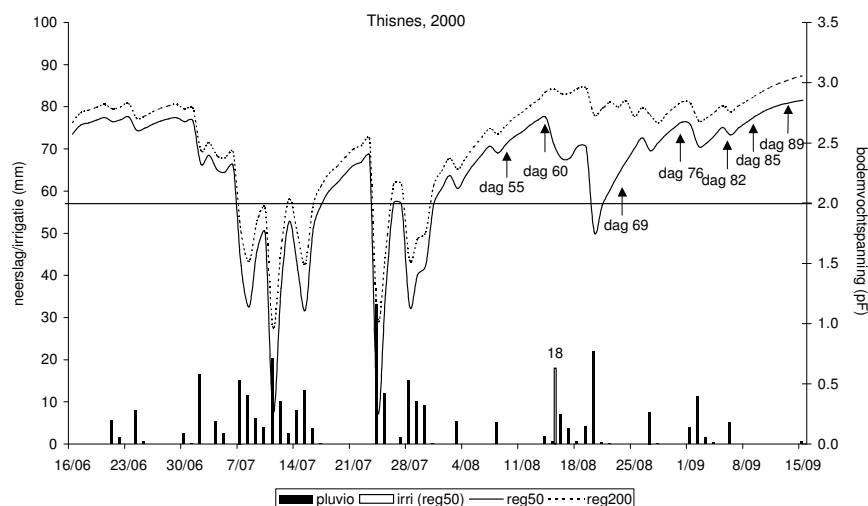
Figuur 2.8 Invloed van berekening op het totaal aantal generatieve elementen

Uit de analyse blijkt dat irrigatie een impuls geeft aan de ontwikkeling van bloemen en peulen (figuur 2.8). In totaal worden meer generatieve elementen gevormd wanneer de bodemvochtvoorziening op peil wordt gehouden, zoals eveneens door menig wetenschappelijk onderzoek wordt bevestigd (Cselötei en Varga, 1987; Weaver en Ng, 1984; Varga en Köszegi, 1987; Dubetz en Mahalle, 1969). Hierdoor wordt de bloeiperiode verlengd, terwijl relatieve droogtestress ervoor zorgt dat de bloei vroeger wordt afgesloten. Bovendien groeien meer bloemen uit tot peulen bij berekening. Afsterven van bloemen en jonge peulen komt in grotere mate voor onder droge omstandigheden, zoals vermeld door Weaver en Ng (1984).

De algemene daling van de generatieve ontwikkeling wordt veroorzaakt doordat, zelfs onder optimale groeiomstandigheden, 45 tot 80% van de geïnitieerde vruchten afsterft (Sage en Webster, 1987). Door de sterkere generatieve ontwikkeling van de meest beregende regimes is de 'potentiële' opbrengst hoger, meer bepaald wanneer tijdens de bloei en de aanvang van de peulontwikkeling beregend wordt. Of dit hoger potentieel al dan niet in hogere opbrengsten wordt omgezet, hangt af van de wijze waarop de bloem- en peulontwikkeling geschiedt, met speciale aandacht voor de spreiding in de tijd.

6.1.3 Spreiding van de bloem- en peulontwikkeling

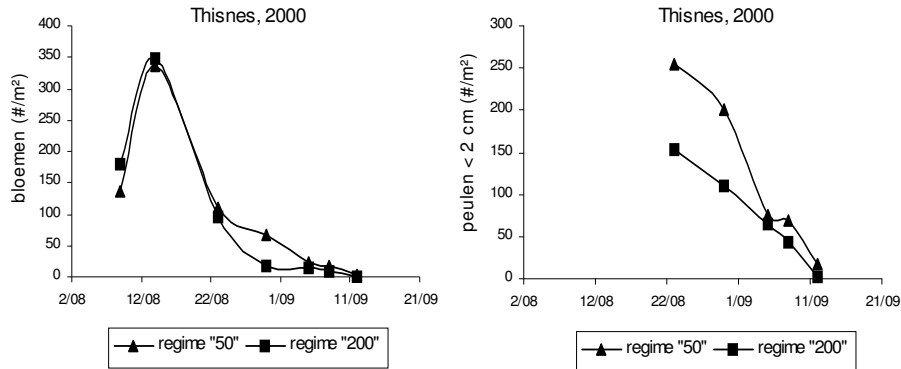
Gezien de bodemvochtspanningen tijdens het seizoen 2000 slechts begonnen te stijgen op het ogenblik dat het gewas reeds in bloei stond, kon onmogelijk geanalyseerd worden of berekening een invloed uitoefent op de aanvang van de bloei, met andere woorden of de vorming van bloemen al dan niet vervroegd wordt door relatieve droogte. Literatuurbronnen spreken elkaar op dit vlak tegen. Robinson en Domingo (1956) stelden vast dat de plantontwikkeling wordt vertraagd door droogtestress vóór de bloei, terwijl Kattan en Fleming (1956) tot het besluit kwamen dat droogtestress geen invloed uitoefende op het aanvangstijdstip van de bloei.



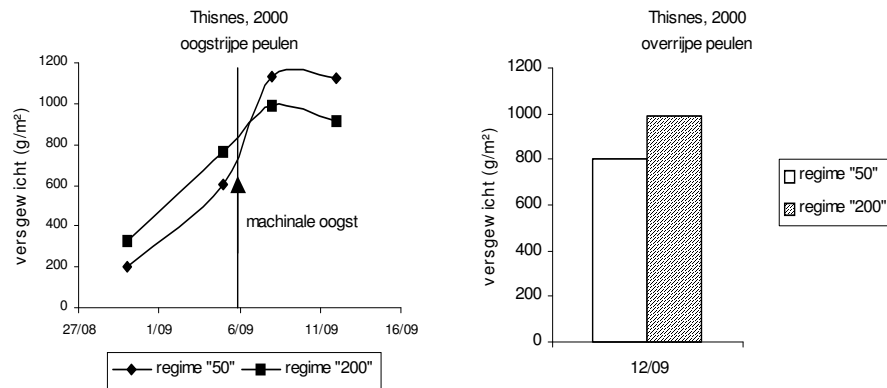
Figuur 2.9 Situering van de bloem/peulanalyses in het verloop van de gemiddelde bodemvochtspanning van de bouwlaag (Thisnes, 2000)

Te Thisnes 2000 werd een berekening uitgevoerd op het proefvlak “reg 50”. Na deze dosis (15/8) bleek de peulzetting (lengte peulen < 2 cm) significant hoger voor het beregende regime (figuur 2.10). Ook gedurende de volgende staalnamen bleef dit effect zichtbaar en bleek het regime “50” significant meer peulen te vormen. Deze waarneming bevestigt dat dankzij berekening minder bloemen en/of kleine peulen (lengte < 2 cm) afsterven, zodat een groter potentieel aan peulen in een initieel ontwikkelingsstadium aanwezig is.

Uit de eerste staalname na de beregeningsdosis bleek nog geen effect op de bloemontwikkeling. De tellingen van eind augustus gaven daarentegen een hoger aantal bloemknoppen en bloemen aan voor alle volgende staalnamen, met uitzondering van de laatste, gezien op dat ogenblik vrijwel geen bloemknoppen of peulen (lengte < 2 cm) meer aanwezig waren. Hier wordt aangetoond dat beregening de bloemontwikkeling stimuleert, terwijl relatieve droogte ervoor zorgt dat deze geremd en vroeger beëindigd wordt.

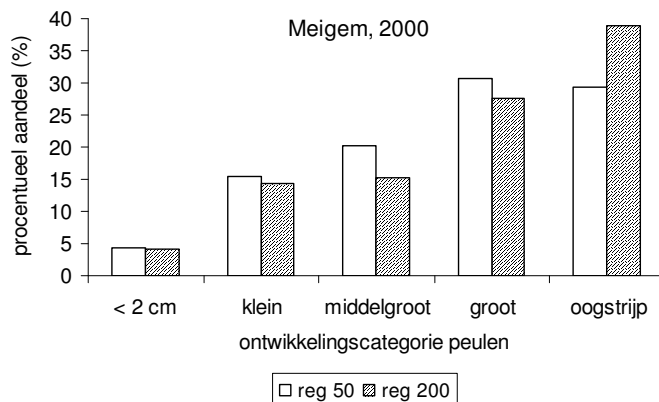


Figuur 2.10 Invloed van beregening op de bloemontwikkeling en peulvorming



Figuur 2.11 Invloed van beregening op het versgewicht van oogstrijpe en overrijpe peulen

Hoewel er meer generatieve elementen gevormd werden, stelden we vast dat het aantal peulen in de oogstrijpe klasse aanvankelijk het hoogst was bij het droogste regime en slechts op latere datum werd ingehaald door het beregende regime (figuur 2.11). Op deze datum is het aandeel van de overrijpe peulen onder het beregende regime reeds te hoog en zou de partij voor de verwerkende industrie afgekeurd worden. Hieruit kunnen we afleiden dat het rijpingsproces van de peulen versneld wordt door relatieve droogte, wat tevens bevestigd wordt door de peulmassa en de boon/peul-gewichtsverhoudingen, die een maat vormen voor de rijpingsgraad van de peulen.

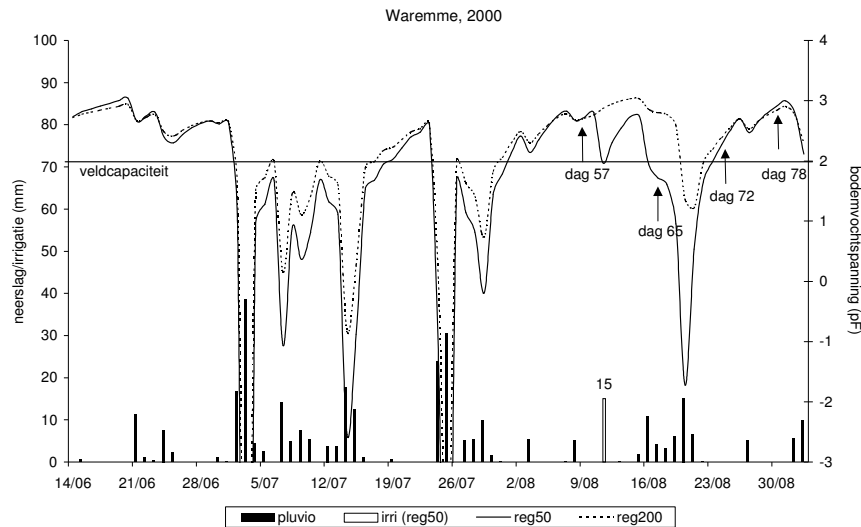


Figuur 2.12 Procentuele verdeling van de peulen over de verschillende ontwikkelingscategorieën bij de oogst

De verdeling van de peulen over de verschillende ontwikkelingscategorieën te Meigem (2000) verduidelijkt nogmaals dat het aandeel van de oogstrijpe peulen het grootst is bij de onberegende behandeling (figuur 2.12). We kunnen veronderstellen dat deze gunstige spreiding mogelijk te wijten is aan de relatief vroegere beëindiging van de bloei bij dit regime. Ook Stobbe (1965) stelt dat een groter percentage bloemen zich tot peulen kan ontwikkelen, wanneer de planten relatief minder bloemen dragen. Dit effect is te wijten aan een verlaagde competitie tussen de bloemen (Stobbe et al., 1965). Gezien de oogstrijpe peulen ontstaan uit bloemen die tijdens de eerste fase van de bloei gevormd worden, is het belangrijk dat een zo groot mogelijk aandeel van deze bloemen zich ontwikkelt tot peulen. Figuur 2.12 verduidelijkt dat de bloemontwikkeling, indien zij gestimuleerd is door beregening, het percentage bloemen dat zich tot oogstrijpe peulen ontwikkelt doet dalen.

6.1.4 Negatieve invloed van ‘overberekening’

‘Overberekening’ leidt tot een reductie van de bloem- en peulontwikkeling en lagere opbrengsten, wat kon vastgesteld worden op het proefveld te Waremmé 2000. Uit figuur 2.13 blijkt dat dit proefveld werd gekenmerkt door perioden van zware uitspoeling en zelfs van totale verzadiging van de bodem. De beregeningsdosis die bij het regime “50” op het einde van de bloeiperiode werd toegediend, leidde tot een daling van de vochtspanning tot ver beneden veldcapaciteit ten gevolge van natuurlijke neerslag. Het verzadigingspunt werd opnieuw bereikt, wat zeer nadelig was voor de gewasgroei. Regime “200” bleef hier echter van gespaard.

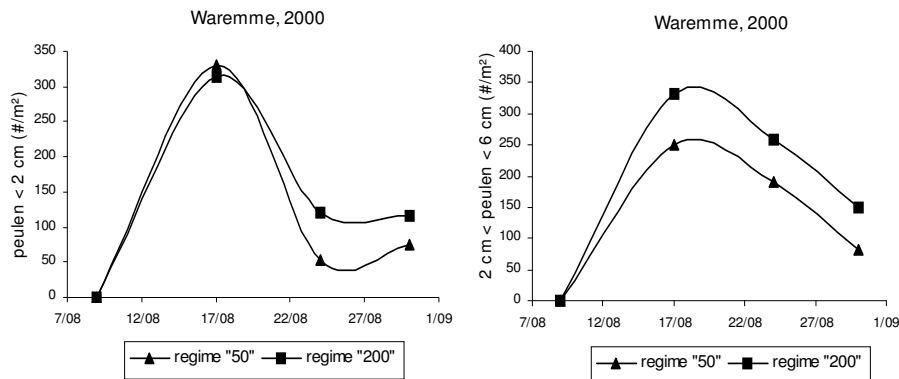


Figuur 2.13 Situering van de bloem/peulanalyses in het verloop van de bodemvochtspanning (Waremmé, 2000)

White (1991) geeft aan dat bonen gevoelig zijn aan dergelijke overmatige watertoevoer met reducties van opbrengst en gewas- en wortelontwikkeling tot gevolg. In de wortelzone wordt de diffusie van gassen gereduceerd, waardoor zuurstofgebrek optreedt en CO_2 en ethyleen worden geaccumuleerd. De negatieve invloed van de bodemvochttoestand bleek ook duidelijk uit de zeer zwakke gewasontwikkeling.

Het effect van de berekening werd na de periode van bodemverzadiging duidelijk. De bloem- en peulontwikkeling werd geremd onder invloed van de extreem vochtige bodemcondities. Dit verschil werd teruggevonden in de

opbrengstresultaten, waarbij de opbrengst – zij het niet significant – hoger lag voor het droogste regime.



Figuur 2.14 Invloed van overbereging op de peulontwikkeling

6.2 Evolutie van het peulgewicht

Aangezien de keuze van de oogstdatum in belangrijke mate de totale opbrengst beïnvloedt en we vaststelden dat de totale generatieve reproductie het hoogst is bij de beregende behandelingen, rest ons de volgende vraag:

“Kan de potentieel hogere opbrengst die aanwezig is onder relatief vochtige groeiomstandigheden, nog verwezenlijkt worden op een latere oogstdatum en het rendement, gerealiseerd onder drogere omstandigheden, evenaren of overschrijden?”

De studie van de evolutie van de peulontwikkeling levert ons grotendeels een antwoord op deze vraag. Slechts bij één proefveld wordt een ‘inhaalbeweging’ vastgesteld, doch de productie van de beregende behandelingen overschreed de productie van de onberegende zones niet. Andere proefvelden bevestigden het voorkomen van dergelijke ‘inhaalbeweging’ niet, doch gaven aan dat het opbrengstverschil behouden bleef op latere oogstdatum. De opbrengstreducties die vastgesteld werden wanneer beregend werd bij 30 kPa en 50 kPa tijdens de bloei waren echter dermate groot dat het zeer onwaarschijnlijk is dat dit opbrengstverschil nog kan ingehaald worden op een latere oogstdatum.

Gezien - zoals beschreven wordt in paragraaf 6.3 – de rijpingsgraad bij de oogst varieert in functie van de behandeling, dient hiermee rekening gehouden te

worden wanneer de opbrengstresultaten worden vergeleken. Een valabele vergelijking van de peulopbrengsten kan slechts uitgevoerd worden bij een zelfde rijpingsgraad. Ter ondersteuning van de stelling dat het opbrengstverschil niet kan ingehaald worden, kunnen echter de resultaten van de kwantitatieve studie van de peulontwikkeling aangewend worden. Hoewel er meer generatieve elementen gevormd worden, stellen we vast dat het aantal peulen in de hoogste ontwikkelingsklasse aanvankelijk het hoogst is bij het droogste regime en slechts op latere datum wordt ingehaald door het beregende regime.

We kunnen stellen dat de hogere reproductie niet wordt omgezet in een hoger rendement bij de oogst. Het rijpingsproces wordt vertraagd en meer gespreid in de tijd bij berekening, waardoor het aantal generatieve elementen in de hoogste ontwikkelingscategorie het laagst is. Bijgevolg leidt berekening tot een kleinere hoeveelheid oogstrijpe peulen en een groter aantal peulen die de optimale rijpingsgraad nog niet bereikt hebben. De oogst is met andere woorden meer heterogeen en sterker gespreid in de tijd wanneer de bodemvochtspanning laag wordt gehouden. Droogtestress tijdens de bloei en bij aanvang van de peulontwikkeling zorgt er daarentegen voor dat de bloei tijdig wordt afgesloten, zodat de gelijktijdige ontwikkeling van een homogene peulmassa wordt bevorderd waardoor een hoger rendement wordt gerealiseerd bij de oogst.

6.3 Invloed van droogtestress op de rijpingsnelheid van de peulen

De gewichtsverhouding tussen de boontjes en de peulen vormt een waardevolle maatstaf bij de beoordeling van de rijpingsgraad van de peulen. Uit de analyse bleek dat de proefvelden, waarbinnen belangrijke verschillen in opbrengst werden gevonden, eveneens gekenmerkt werden door uitgesproken verschillen in rijpingsgraad. De gegevens tonen aan dat de rijping van de peulen versneld wordt door relatieve droogtestress, wat door verscheidene literatuurbronnen wordt bevestigd (White et al., 1991; Cselötei en Varga, 1987). White (1991) stelt dat deze strategie voornamelijk wordt aangewend door *Phaseolus vulgaris* bij droogtestress tijdens een verder gevorderd stadium van de teeltcyclus. Ronbins en Domingo (1956) preciseren dat droogtestress gedurende de bloei of later leidt tot een versnelde ontwikkeling van de peulen. Uit voorliggend onderzoek blijkt eveneens dat droogtestress tijdens de bloei- en/of peulvorming deze rijpingsnelheid beïnvloedt.

Tabel 2.9 Invloed van berekening op de rijpingsgraad van de peulen

	boon/peul-gewichtsverhouding (%)(*)			
	WON 98	WON 97	MEI 97	MEI 98
regime "30"	3.7 c	5.5 b	5.0 c	5.3 c
regime "50"	4.1 c	5.9 b	6.0 abc	5.9 c
regime "80"	3.8 c	5.8 b	5.7 bc	5.6 c
regime "200"	4.4 bc	7.2 a	7.0 ab	6.4 bc
regime "40/200"	5.8 a	6.0 b	6.5 abc	7.6 ab
regime "60/200"	5.7 ab	7.2 a	7.4 a	8.2 a

(*) Waarden gevolgd door éézelfde letter zijn niet significant verschillend op een 95% betrouwbaarheidsniveau

Bij de analyse van de bloem- en peulontwikkeling tijdens het seizoen 2000 werd de invloed van berekening op de rijpingsnelheid per ontwikkelingscategorie onderzocht. Uit de gegevens bleek eveneens dat de afrijping vertraagd wordt door irrigatie, wat zowel merkbaar was aan de hoeveelheid peulen in de meest ontwikkelde categorie en hun peulgewicht als aan de boon/peul-gewichtsverhouding.

Tenslotte bleek uit de praktijk dat een onberegende zone vroeger moest geoogst worden omwille van de te ver gevorderde peulrijping (Thisnes 1997). De onberegende zone werd 6 dagen vroeger geoogst, doch met vergelijkbare opbrengsten.

6.4 Belang van berekening voor een optimaal vochtgehalte van de peulen

De studie van het droge stofpercentage van de peulen laat toe de invloed van de berekening op de wateropname door de peulen te analyseren. Enerzijds is het watergehalte van de peulen een belangrijke kwaliteitsparameter, gezien de peulen langer vers blijven en een beter uitzicht behouden, wanneer ze meer water bevatten (Cselötei en Varga, 1987; Varga en Köszegi, 1987). Anderzijds wordt de opbrengst van het perceel in positieve zin beïnvloed, gezien een zelfde droge stofproductie leidt tot een hogere opbrengst in versgewicht.

*Figuur 2.15 Invloed van berekening op het droge stofpercentage van de peulen
(Thisnes 1999)*

Het effect van berekening op het droge stofpercentage van stamslabonen blijkt duidelijk uit de resultaten van het proefveld Thisnes 1999. Bij deze proef vond de sterkste uitdroging plaats op het einde van de peulontwikkeling en werden op dat ogenblik bodemvochtspanningen tot pF 3.3 bereikt op het minst beregende regime. De evolutie van de bodemvochtspanningen gedurende de laatste periode van 20 dagen vóór de oogst, m.a.w. de eigenlijke periode van peulontwikkeling, werd in grafiek 2.15 voorgesteld. Tevens werd bij elk van de behandelingen aangegeven welk droge stofgehalte van de peulen op het ogenblik van de oogst werd genoteerd.

De hoogste droge stofpercentages kwamen voor bij hoge vochtspanningen gedurende de laatste fase van de peulontwikkeling. Het regime "200(B+P)" waar gemiddeld de hoogste zuigspanningen voorkwamen gedurende deze periode, had een droge stofgehalte van 10.3%. Bij regime "200" had berekening vlak vóór de oogst dit gehalte een weinig verlaagd. Het regime "200(P)" daarentegen ondervond de gunstige invloed van lage bodemvochtspanningen op het einde van de peulvorming en benaderde vrijwel de waarden van de regimes "50" en "80", die zeer laag waren dankzij regelmatige berekening. Cselötei en Varga (1987) stelden een analoge invloed van berekening op het droge stofpercentage van de peulen vast en stelden dat voor een goede peulkwaliteit het droge stofpercentage van de peulen 10% niet mag overschrijden.

6.5 Besluit

Doordat enerzijds de rijping van de peulen wordt bevorderd door droogte en anderzijds de generatieve ontwikkeling wordt gestimuleerd door berekening, rijst de vraag of de achterstand in opbrengst onder berekening niet voornamelijk wordt veroorzaakt door een tragere rijping, waardoor een optimale en hogere opbrengst op een latere datum zou vallen.

Wanneer de evolutie van het peulgewicht wordt geanalyseerd, blijkt echter dat het verschil in opbrengst doorgaans behouden blijft en dat de achterstand ook op latere datum niet kan ingehaald worden onder beregende omstandigheden. Na relatieve droogte tijdens de bloei is het opbrengstverschil bovendien dermate groot dat het weinig waarschijnlijk is dat deze achterstand nog zou kunnen ingehaald worden. Bovendien kan de oogst slechts in beperkte mate verlaat worden, gezien de rijpingsgraad van de geoogste peulmassa als limiterende factor geldt.

Irrigatie geeft duidelijk een impuls aan de generatieve ontwikkeling. De bloeiperiode wordt bovendien verlengd bij berekening. Relatieve droogte zorgt

er daarentegen voor dat de bloei vroegtijdig beëindigd wordt. Tevens werd vastgesteld dat tengevolge van de hogere bodemvochtspanningen minder bloemen uitgroeien tot peulen, wat waarschijnlijk te wijten is aan het afsterven van bloemen en/of kleine peulen (lengte < 2 cm)

Hoewel er in totaal meer generatieve elementen gevormd worden bij beregening, stellen we vast dat het aantal peulen in de meest gevorderde ontwikkelingsklasse het hoogst is onder drogere omstandigheden. Gezien het grootste aantal oogstrijpe peulen voorkomt bij de droogste behandelingen, leiden deze eveneens tot de hoogste opbrengsten.

We kunnen besluiten dat het groter aantal generatieve elementen dat aanwezig is na intensieve beregening niet wordt omgezet in een hogere opbrengst. De plant investeert bij beregening veel energie in de ontwikkeling van nieuwe bloemen en peulen, terwijl bij een matige droogtestress deze energie kan aangewend worden om de snelle rijping van de aanwezige peulen te bevorderen. Bij relatieve droogtestress levert het gewas het grootste aantal oogstrijpe peulen op het ogenblik van de oogst en bijgevolg de hoogste opbrengst. Beregening zorgt voor een meer heterogene verdeling in de rijping van de peulen of met andere woorden voor meer peulen die nog niet onder de categorie 'oogstrijp' vallen of die al te rijp zijn. Het streefdoel voor een maximale opbrengst en optimale peulkwaliteit is echter de verwezenlijking van een zo homogeen mogelijke opbrengst op de oogstdatum.

7. Stikstofhuishouding bij stamslaboon onder berekening

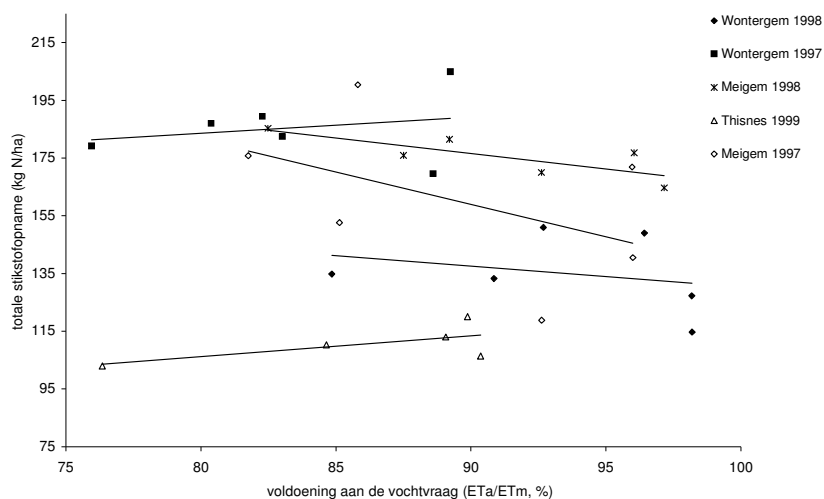
Gezien irrigatie een invloed uitoefent op de beschikbaarheid van nutriënten - in het bijzonder stikstof - in de bodem, moet men er rekening mee houden dat de opbrengst ook op indirecte wijze beïnvloed wordt door berekening (Muirhead en White, 1981). Het is dan ook belangrijk de studie van de stikstofhuishouding op te nemen in het onderzoek naar een optimale beregeningsstrategie.

De evaluatie van de stikstofhuishouding bij bonen is niet vanzelfsprekend. De stikstoffixatie is weliswaar relatief laag bij bonen in vergelijking tot andere leguminosen, maar zij blijft als grote onbekende over in de stikstofbalans. Bovendien is het voorkomen en de activiteit van rhizobiumbacteriën gevoelig aan droogtestress. Studies toonden echter aan dat stikstoffixatie bij bonen relatief tolerant is aan uitdroging van de bodem. Tenslotte reduceert sterke bemesting eveneens het stikstoffixatieproces (Serraj en Sinclair, 1998).

7.1 Effect van berekening op de stikstofopname door het gewas en de Nitrogen Use Efficiency (NUE)

Teneinde een algemeen beeld te krijgen van de invloed van de vochtvoorziening op de stikstofopname, werd de stikstofopname uitgezet in functie van de voldoening aan de vochtvraag. Een reductie van de wateropname zou mogelijk gerelateerd kunnen worden aan een reductie van de stikstofopname, gezien water de nutriëntentoevoer naar de plant bevordert. In figuur 2.16 wordt deze relatie voor enkele proefvelden, die een sterke differentiatie in voldoening aan de vochtvraag kenden, weergegeven. Een duidelijk verband werd echter niet gevonden: zowel positieve als negatieve relaties kwamen voor, doch doorgaans was de determinatiecoëfficiënt dermate klein dat geen duidelijke conclusies konden worden afgeleid.

De Nitrogen Use Efficiency (NUE) geeft de verhouding weer tussen de gerealiseerde droge stofproductie en de opgenomen hoeveelheid stikstof. De NUE kan voor stamslaboon zowel voor de totale plant als voor individuele delen (bvb. de peulen) berekend worden. Meestal blijkt geen duidelijk verband te bestaan tussen het vochtregime en de NUE bij stamslaboon. Voor enkele proefvelden wordt echter een toename van de NUE waargenomen naargelang minder beregend werd. De resultaten van twee proefvelden worden weergegeven in tabel 2.10.



Figuur 2.16 Stikstofopname door stamslabonen in functie van de voldoening aan de vochtvraag

Tabel 2.10 NUE bij stamslabonen

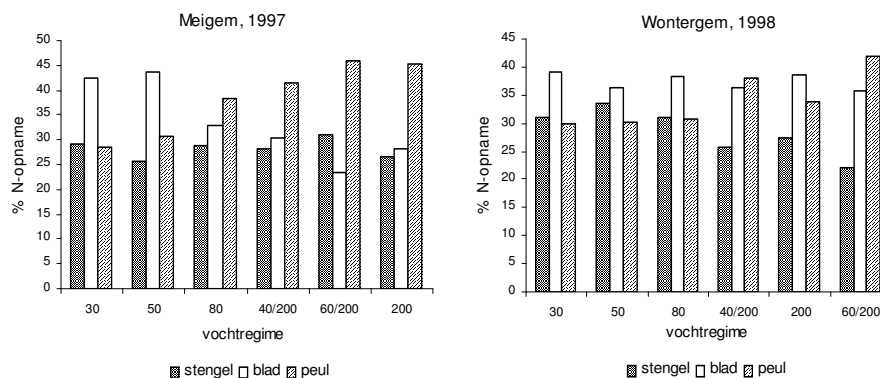
	NUE peulen (g/g)	
	Wontergem 1999	Thisnes 1999
reg 50	29.6	36.7
reg 80	30.9	35.1
reg 200(P)	30.8	38.7
reg 200(B+P)	33.0	38.2
reg 200	33.0	42.7

7.2 Stikstofremobilisatie als aanpassingsstrategie bij relatieve droogte

Foster et al. (1995) stellen dat N-remobilisatie bij bonen een belangrijke aanpassingsstrategie vormt bij matig of niet-continu vochtgebrek. Bij matige droogte wordt de stikstof van het blad geremobiliseerd naar de peulen. Bij zeer

zware droogtestress daarentegen wordt deze capaciteit tot N-remobilisatie sterk gereduceerd.

Om vast te stellen of deze remobilisatie voorkomt onder de omstandigheden van de aangelegde proefvelden en de gerealiseerde droogtestress, werden voor elk proefveld de percentages van de stikstofopname berekend, die op het ogenblik van de oogst in de stengels, de bladeren en de peulen werden teruggevonden. De verhouding van de hoeveelheid N in de peulen tot de totale hoeveelheid N in de plant staat beter bekend als de NHI (Nitrogen Harvest Index) en geeft weer in welke mate de stikstofopname aangewend werd voor de productie van oogstbaar product.



Figuur 2.17 Stikstofremobilisatie onder invloed van droogtestress

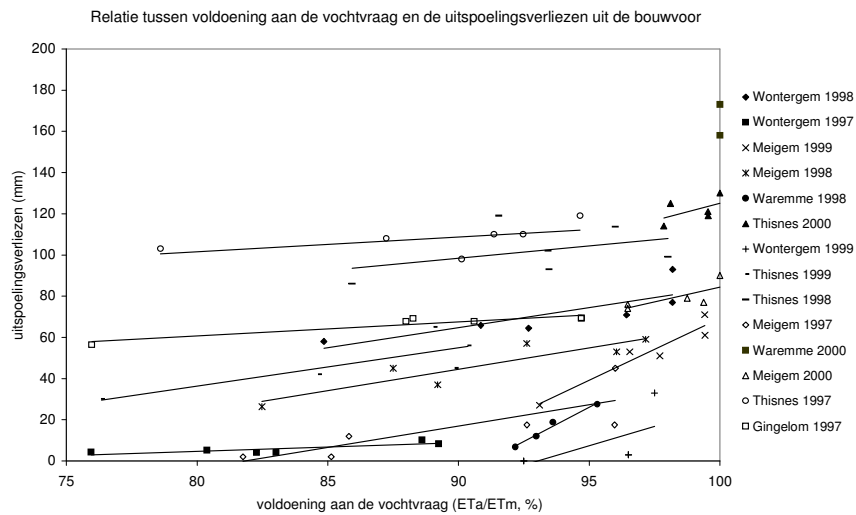
Uit deze analyse bleek dat een dergelijke remobilisatie zich inderdaad voordeed bij de proefvelden waar relatieve droogte voorkwam tijdens de bloei en/of bij de aanvang van de peulvorming. Eén van de meest sprekende voorbeelden van deze theorie is het veld Meigem 1997 (figuur 2.17). Hier stellen we zeer duidelijk vast dat bij de minst beregende behandelingen de peulen duidelijk begunstigd worden wat betreft de verdeling van de totale stikstofopname in het gewas. Voor deze regimes is 40 à 45% van de totale opgenomen stikstof aanwezig in de peulen, terwijl dit voor de regimes “30” en “50” slechts rond de 30% is. Deze translocatie gebeurde duidelijk van de bladeren naar de peulen.

In andere gevallen, bvb. Wontergem 1998, stellen we eveneens een remobilisatie van N naar de peulen vast, doch wordt de afname in het procentuele aandeel in de stikstofopname vooral waargenomen bij de stengels en minder bij de bladeren.

Algemeen kan gesteld worden dat deze remobilisatie van stikstof naar de peulen leidt tot een betere benutting van de beschikbare stikstof, gezien een groter aandeel van de opgenomen stikstof wordt omgezet in oogstbaar product en afgevoerd van het veld.

7.3 Doorspoeling en stikstofuitspoeling

Figuur 2.18 geeft een overzicht van het verband tussen de voldoening aan de vochtvraag en de doorspoelingsverliezen uit de bouwvoor. Steeds wordt een positief verband teruggevonden, waardoor aangegeven wordt dat berekening een verhoging van de uitspoeling veroorzaakt. Deze stijging is echter klein ten opzichte van de verschillen die tussen de proefvelden onderling voorkomen. Het maximale verschil in doorspoeling tussen de behandelingen is 40 mm; tussen de proefvelden en jaren loopt dit verschil daarentegen op tot 160 mm. Met andere woorden, de klimaatsomstandigheden en neerslagfrequentie van het seizoen oefenen een veel grotere invloed uit op de doorspoeling dan de berekening.



Figuur 2.18 Doorspoelingsverliezen in functie van de voldoening aan de vochtvraag

7.4 Besluit

Uit de analyse van de verdeling van de opgenomen hoeveelheid stikstof in de plant bleek dat remobilisatie van de N naar de peulen zich voordeed, wanneer relatieve droogte voorkwam tijdens de bloei en/of bij de aanvang van de peulvorming. Deze redistributie van stikstof vormt een interessante aanpassingsstrategie bij droogte, gezien de plant bij de assimilatie van stikstof de voorkeur geeft aan de ontwikkeling van de peulen.

Er is enig verband tussen berekening en uitspoeling. De toename van de uitspoeling is echter klein in vergelijking tot de natuurlijke variatie die ten gevolge van neerslag wordt vastgesteld. Dit betekent natuurlijk niet dat de minimalisatie van de berekening niet dient nagestreefd te worden. Onder gecontroleerde berekening – waarbij erover gewaakt wordt de maximale capaciteit van de bodem niet te overschrijden en waarbij de maximale productie wordt gehaald – is het aandeel van deze extra doorspoeling minimaal.

8. Optimale beregeningsstrategie voor stamslabonen

Bovenstaande resultaten en vaststellingen laten toe een beregeningsstrategie voor stamslaboon af te leiden voor zandleem- en leembodems. Deze kan als volgt samengevat worden:

1. Berekening vóór de zaai kan noodzakelijk zijn indien de vochtreserve te ver is uitgeput. Men moet er steeds over waken de kieming van de bonen onder gunstige bodemvochtomstandigheden te laten geschieden, zodat alle planten gelijktijdig kiemen en een zelfde ontwikkelingsstadium hebben. Berekening vlak na zaai moet zo mogelijk vermeden worden, aangezien de kans op verslemping van de bodem zeer groot is.
2. Tijdens de vegetatieve fase mag de berekening uitgesteld worden tot pF 3.3 (200 kPa), gezien bij de oogst geen invloed op de opbrengst merkbaar is. In praktijk verkiezen we echter deze grens op het einde van deze fase iets te verlagen, namelijk tot pF 3.1 (130 kPa), wanneer de kans op neerslag gedurende de volgende periode laag blijft. Hiervoor is een betrouwbare weersvoorspelling noodzakelijk. De reden hiervoor is dat bij sterke uitdroging op het einde van het vegetatief stadium er onvermijdelijk zal moeten beregend worden tijdens de bloei, wat nadelig is voor de opbrengst.
3. Tijdens de bloei dient berekening zolang mogelijk uitgesteld te worden. De interventiegrens wordt gelegd op pF 3.3 (200 kPa).
4. Bij aanvang van de peulvorming mogen eveneens dezelfde hoge zuigspanningen aangehouden worden. Berekening tijdens de peulontwikkeling zorgt niet voor een verhoging van de opbrengsten. Op het einde van de peulvorming dient echter een beregeningsdosis overwogen te worden bij pF 2.9 (80 kPa) à 3 (100 kPa) teneinde een gunstig vochtgehalte van de peulen te realiseren bij de oogst.

De voorgestelde beregeningsstrategie verlegt de interventiegrenzen naar hogere vochtspanningen dan aangegeven door literatuurbronnen. Zeker voor zandleem- en leembodems leidt dit verleggen van de interventievochtspanning tot een grotere benutting van de natuurlijke bodemvochtreserve. Het aantal beregeningsdossissen wordt tot een minimum beperkt, waardoor de stikstofbenutting verbeterd wordt en uitspoeling van nutriënten eveneens minimaal is.

Ook de economische optimalisatie wordt door het aanpassen van de interventiegrenzen verwezenlijkt. Enerzijds wordt vermeden dat ‘nutteloze’ beregeningsdosissen (d.i. zonder rendementsverhoging) zouden toegediend worden, zodat zowel in beregeningskosten als in arbeid kan bespaard worden. Anderzijds blijkt dat één beregeningsdosis te veel toedienen tot een rendementsdaling van gemiddeld 2.3 ton/ha leidt (zie paragraaf 5.7). De toepassing van de voorgestelde strategie tijdens de bloem- en peulvorming zorgt dan ook voor een aanzienlijke rendementsverhoging. Gezien minimaal geïnvesteerd wordt in de vegetatieve ontwikkeling, wordt bovendien de efficiëntie van de wateropname verhoogd. Tenslotte wordt ook de kwaliteit van de peulen (versheid, homogeniteit van de peulrijping) door de voorgestelde strategie bevorderd.

Algemeen kunnen we stellen dat intuïtief ‘beregenen bij droogte’ ten zeerste af te raden is bij stamslabonen. Te vroeg beregenen betekent niet alleen een zinloze investering van arbeid en energie, doch leidt tevens tot een belangrijke rendementsdaling. Met een minimum aantal beregeningsdosissen kan de opbrengst van stamslabonen gemaximaliseerd worden, mits een doordachte beregeningsstrategie en een correcte timing van de beregening.

DEEL 3: BEREGENING BIJ DE TEELT VAN SPINAZIE

1. Problematiek

Zowel in vulgariserende als in wetenschappelijke literatuur is relatief weinig terug te vinden omtrent berekening bij spinazie (*Spinacia oleracea* L.). Gezien spinazie een bladgroente is, reageert de teelt zeer snel op droogtestress. Bovendien kan de opgelopen schade niet meer ingehaald worden omwille van de korte teeltcyclus en verhoogt droogtestress de kans op doorschieten (Unilet, 1991).

Unilet (1991) vermeldt dat het vochtverbruik van spinazie matig is tot het 8-bladig stadium. Nadien neemt dit verbruik sterk toe en is maximaal gedurende de laatste 15 dagen vóór de oogst.

Uit het onderzoek van Thompson en Doerge (1995) resulteerde 8 kPa als optimale bodemvochtspanning onder druppelberekening bij spinazie. Zij stelden eveneens vast dat overmatig beregenen (zuigspanning < 4.2 kPa) leidde tot een lagere opbrengst en een lagere stikstofopname. Huinck (1991) vermeldt 25 kPa als uitdrogingsgrens voor spinazie. Volgens een artikel van de Boerenbond (1980) ligt de kritische vochtspanning eveneens tussen 20 en 30 kPa. Het ILWB (1998) stelt de interventiegrens daarentegen bij relatief hogere zuigspanningen: 35 tot 45 kPa. Dekkers (2000) maakt een onderscheid tussen spinazieteelt op zand- en kleibodems: op zandbodem dient berekening gestart te worden bij 40 kPa tijdens de kieming en 20 kPa tijdens de eigenlijke teeltcyclus. Op kleibodems liggen deze vochtspanningen iets hoger, namelijk respectievelijk 50 kPa en 25 kPa.

De literatuurstudie geeft aan dat geen eensgezindheid bestaat omtrent de interventiegrens voor berekening bij de spinazieteelt. Bovendien wordt een zelfde interventiegrens aangehouden gedurende de volledige teeltcyclus. Het is echter niet ondenkbaar dat een andere interventiegrens geldt tijdens de fase van trage groei (eerste helft van de groeicyclus) in vergelijking tot de fase van exponentiële groei (tweede helft van de groeicyclus). Deze hypothese maakt dan ook onderdeel uit van de proefopzet.

2. Proefopzet

Tijdens de tweede biënnale van het onderzoek (1999-2000) werd de spinazieteelt eveneens in de proefopzet opgenomen. Doorgaans werd het onderzoek uitgevoerd op voorjaarsspinazie, geteeld als voortelt vóór stamslabonen. Gezien de bodemvochtreserve tijdens het voorjaar voldoende hoog is, zijn de bodemvochtomstandigheden doorgaans gunstig bij de zaai. Bij zomer- en najaarsspinazie kan berekening noodzakelijk zijn om een goede kieming en opkomst van de spinazie te verzekeren.

De groeicyclus van spinazie werd in 2 fasen ingedeeld: een fase van trage gewasontwikkeling en een fase van exponentiële groei. Tijdens het eerste seizoen (1999) werden de bodemvochtspanningen 25 kPa (pF 2.4) en 80 kPa (pF 2.9) of een combinatie van beiden als interventiegrens voor berekening vastgelegd: regimes “2.4”, “2.9”, “2.4/2.9” en “2.9/2.4”. Tijdens het tweede jaar (2000) werden deze verschoven naar respectievelijk 50 kPa (pF 2.7) en 100 kPa (pF 3): regimes “2.7”, “3”, “2.7/3” en “3/2.7”.

De proef werd uitgevoerd op twee bedrijven in de zandleemstreek (Meigem, Wongerem) en twee bedrijven in de leemstreek (Thisnes, Waremmé). De berekening werd steeds uitgevoerd met een haspelinstallatie.

3. Invloed van berekening op gewasontwikkeling en opbrengst

Aangezien bij de spinazieteelt enkel de vegetatieve ontwikkeling van belang is, betekent gewasontwikkeling opbrengst.

Zowel in 1999 als in 2000 werden vrij grote hoeveelheden natuurlijke neerslag tijdens het voorjaar geregistreerd. Enkel te Meigem 2000 konden duidelijk verschillende bodemvochtregimes door berekening gerealiseerd worden. De resultaten zijn echter zeer duidelijk, zodat dit proefveld als typevoorbeeld kan dienen van het effect van berekening tijdens de exponentiële groeifase. Hoge bodemvochtspanningen werden echter voor geen van de zes proefvelden bereikt gedurende de eerste helft van de teeltcyclus.

Te Meigem 2000 zorgde natuurlijke neerslag ervoor dat de bodemvochtreserve gedurende het grootste gedeelte van de groeicyclus op peil bleef, doch tijdens de laatste week vóór de oogst werd de kritische stressgrens bereikt en konden de regimes op basis van één of twee dosissen van elkaar onderscheiden worden. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de toegediende dosissen te Meigem. De oogst werd uitgevoerd op cyclusdag 39.

Tabel 3.1 Situering van de beregeningsdosissen bij spinazie te Meigem (2000)

Regime	Tijdstip	Dosis
“2.7”	dag 34 – dag 37	15 mm – 20 mm
“2.7/3”	dag 34	15 mm
“3/2.7”	dag 37	20 mm
“3”	dag 38	13 mm

Zeer grote opbrengstreducties werden genoteerd bij uitstel van berekening. Drie dagen uitstel van berekening bij eisende klimaatsomstandigheden veroorzaakte een opbrengstreductie van 6 à 7 ton/ha bij de handoogst (regime “2.7/3” ten opzichte van de regimes “3/2.7” en “3”).

Na correcte toediening van de eerste dosis zorgde de toediening van een extra dosis vlak voor de oogst voor een bijkomende stijging van het rendement met 2 ton/ha (regime “2.7”). Het effect van de eerste dosis uitte zich voornamelijk

in een stijging van de droge stofproductie, terwijl de laatste dosis een rendementsverhoging teweegbracht op basis van een hoger vochtgehalte van het gewas bij de oogst. Dit bleek duidelijk uit de vergelijking van de drooggewichten en de drogestofgehalten (tabel 3.2). De rendementsbepaling op het onberegend gedeelte van het perceel leverde 24.4 ton/ha, waaruit blijkt dat beregening het rendement tot 65% deed stijgen.

Uit de analyse van de WUE (Water Use Efficiency) blijkt dat deze het hoogst was voor het regime “2.7”, waaruit kan afgeleid worden dat het regime met de meeste beregening en de hoogste opbrengst eveneens het meest efficiënt is qua waterverbruik.

Tabel 3.2 Opbrengstanalyse voor spinazie te Meigem (2000)

	opbrengst (ton/ha) (*)		droge stofgehalte		WUE		
	versgewicht	drooggewicht	(%)		(kg/m ³)		
regime “2.7”	40.3	a	2.38	a	5.92	c	34.7
regime “2.7/3”	38.1	b	2.50	a	6.57	b	30.5
regime “3/2.7”	31.4	c	1.99	b	6.35	bc	25.1
regime “3”	31.1	c	2.03	b	6.55	b	27.3
onberegend	24.4	d	1.95	b	8.01	a	21.8

(*) Waarden gevolgd door éénzelfde letter zijn niet significant verschillend op een 95% betrouwbaarheidsniveau

Te Meigem 1999 en te Waremmen 1999 werd respectievelijk halfweg en op het einde van de exponentiële groeifase beregend. De opbrengstbepalingen gaven voor beide velden aan dat door middel van slechts één irrigatiedosis bij lage bodemvochtspanningen (pF 2.4-2.5) geen significant verschil in opbrengst kon gerealiseerd worden. Het lagere droge stofgehalte bij beregening wees echter op een recente wateropname, die niet in dezelfde mate werd waargenomen bij de onberegende regimes.

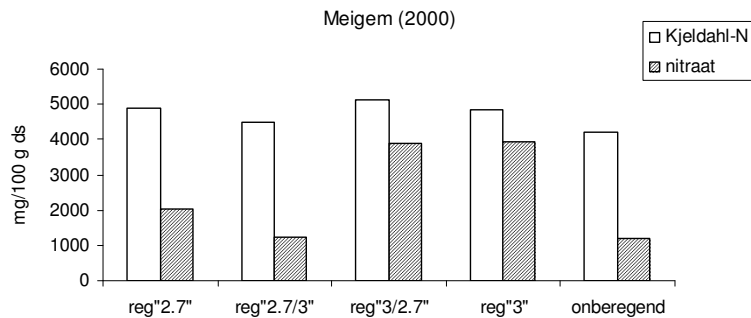
De resultaten van het veld Meigem 2000 toonden echter aan dat op zandleembodems pF 2.7 als interventievochtspanning niet mag overschreden worden tijdens de 2de helft van de groeicyclus. De droge stofproductie neemt aanzienlijk toe indien tijdig beregend wordt. Beregening enkel dagen vóór de oogst zorgt voor een hogere opbrengst, wanneer deze uitgedrukt wordt in

versgewicht. Deze opbrengststijging is toe te schrijven aan een hoger vochtgehalte van de bladeren, zoals blijkt uit de analyse van het droge stofgehalte.

4. Stikstofhuishouding bij spinazie onder berekening

De sterkste differentiatie tussen de beregeningsregimes werd voor spinazie gerealiseerd op het proefveld te Meigem 2000. Dit proefveld kan dan ook als typevoorbeeld genomen worden voor de invloed van berekening op de stikstofgehalten van spinazie. Het overzicht van de beregeningsdosissen (tabel 3.1) kan gebruikt worden als leidraad bij de analyse.

4.1 Stikstof- en nitraatgehalte van het gewas



Figuur 3.1 Invloed van berekening op het stikstofgehalte (Kjeldahl-N en nitraat) bij spinazie

De laagste N-gehalten van het gewas werden vastgesteld bij de onberegende zone, zowel voor de Kjeldahl-N als voor $\text{NO}_3\text{-N}$ (figuur 3.1). Hieruit blijkt dat de opname van stikstof gereduceerd werd door droogtestress.

Een late beregeningsdosis heeft onmiddellijk een sterke opname van nitraat-N tot gevolg. Dat blijkt duidelijk uit de hoge gehalten voor de regimes "3/2.7" en "3", die beide vlak voor de oogst beregend werden. Voor het regime "2.7/3" lag deze opname duidelijk het laagst, wat logischerwijze volgt uit het feit dat de laatste berekening reeds lang vóór de oogst werd uitgevoerd.

De stikstof die door het plantenweefsel effectief werd opgenomen, vertoont een gelijkaardige tendens. De laagste waarden werden vastgesteld bij de onberegende zone, gevolgd door het regime "2.7/3". De overige drie regimes bevatten een gelijkaardig gehalte aan Kjeldahl-N.

Volgens de huidige wetgeving mag het nitraatgehalte van voorjaars- en zomerspinazie (1/4 tot 1/11) maximaal 2500 mg NO₃/kg versgewicht bedragen. Voor winterspinazie geldt 3000 mg NO₃/kg als norm. Zeer late berekening (regimes “3/2.7” en “3”) kan leiden tot hogere nitraatgehalten bij spinazie (tabel 3.3), terwijl de opbrengst slechts verhoogd wordt door een hoger watergehalte van de bladeren. Tijdige tussenkomst via berekening bij pF 2.7 leidt daarentegen tot de hoogste opbrengsten, terwijl het nitraatgehalte onder de norm blijft bij de oogst (regime “2.7”).

Tabel 3.3 Nitraatgehalte bij spinazie (mg/kg versgewicht)

	Nitraatgehalte van spinazie (mg/kg versgewicht)
regime “2.7”	1188
regime “2.7/3”	802
regime “3/2.7”	2465
regime “3”	2573
onberegend	923

4.2 Stikstofopname en Nitrogen Use Efficiency (NUE)

Berekening bij vochtspanning pF 2.7 zorgde voor een hogere stikstofopname. De regimes die slechts éénmaal beregend werden, vertoonden onderling weinig verschillen in stikstofopname, doch de onberegende zone kende een reductie van 30% ten opzichte van de optimaal beregende behandeling.

Analoog aan de WUE is de NUE een maat van de efficiëntie waarmee de plant de opgenomen hoeveelheid stikstof benuttigt. NUE wordt berekend als het geproduceerde drooggewicht per eenheid van stikstofopname.

De regimes “3/2.7” en “3” werden vlak vóór de oogst beregend, doch deze dosis had enkel een verhoging van het versgewicht tot gevolg. Het drooggewicht was analoog aan de onberegende zone. De stikstofopname was echter veel hoger voor deze regimes met als logisch gevolg dat de NUE zeer laag werd. Hetzelfde effect werd vastgesteld bij het regime “2.7” dat vlak vóór de oogst voor een tweede maal werd beregend. Ook hier was een hogere stikstofopname niet gerelateerd aan een hogere droge stofproductie, waardoor

de NUE lager lag dan voor het regime “2.7/3”, waar geen tweede irrigatiedosis werd toegediend.

Tabel 3.4 Stikstofopname en NUE bij spinazie (Meigem, 2000)

	opbrengst (ton/ha)		N-opname (kg N/ha)	NUE (g/g)
	versgewicht	drooggewicht		
regime “2.7”	40.3	2.38	126.9	18.8
regime “2.7/3”	38.1	2.50	119.5	21.0
regime “3/2.7”	31.4	1.99	119.4	16.7
regime “3”	31.1	2.03	116.8	17.4
onberegend	24.4	1.95	87.4	22.3

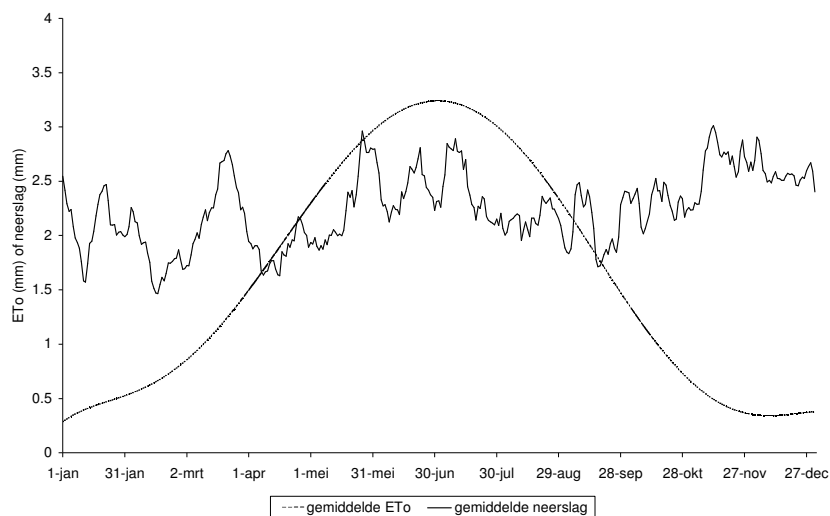
De resultaten van het proefveld te Meigem tonen aan dat berekening vlak vóór de oogst leidt tot een verhoogde stikstofopname, die echter niet omgezet wordt tot een hogere productie, uitgedrukt in drooggewicht, waardoor een sterke daling in NUE wordt veroorzaakt.

4.3 Besluit

We kunnen besluiten dat de stikstofopname bij spinazie een sterke invloed van berekening ondervindt. Tijdig beregenen zorgt ervoor dat de opgenomen stikstof nog kan omgezet worden in droge stofproductie, waardoor de NUE hoog is. Bij berekening vlak vóór de oogst wordt een extra hoeveelheid stikstof opgenomen, doch deze is voornamelijk onder nitraatvorm aanwezig en draagt niet bij tot een verhoging van het drooggewicht. Bijgevolg is de NUE dan ook zeer laag bij late berekening en bestaat het risico dat de norm voor het nitraatgehalte van het gewas wordt overschreden. Bovendien kan door een berekening daags vóór de oogst het wettelijke maximum van 2500 mg/kg versgewicht voor voorjaarsspinazie overschreden worden.

5. Optimale beregeningsstrategie voor spinazie

De klimatologische omstandigheden lieten niet toe voldoende verschil tussen de beregeningsregimes te realiseren gedurende de eerste fase van de groeicyclus. We kunnen echter aannemen dat bij de voorjaarsteelt van spinazie de natuurlijke neerslag vrijwel steeds de beperkte vochtvraag dekt. De meerjarige analyse van neerslag- en evapotranspiratiegegevens geeft aan dat slechts vanaf begin mei de gemiddelde dagelijkse referentie-evapotranspiratie (ET_o) de gemiddelde neerslag (gemiddeld over de 10 volgende dagen van de jaarlijkse gemiddelden) overschrijdt. Wanneer deze relatief lage ET_o bovendien gecombineerd wordt met een lage gewascoëfficiënt k_c tijdens de eerste fase van de teeltcyclus, kunnen we veronderstellen dat het vochtverbruik van het gewas doorgaans niet hoog genoeg is om een sterke uitdroging van de bodem te veroorzaken. Tijdens de fase van exponentiële groei stijgt het vochtverbruik daarentegen sterk en wordt bij afwezigheid van neerslag irrigatie noodzakelijk.



Figuur 3.2 Meerjaarlijkse analyse (1959-1998) van de neerslag en ET_o te Ukkel

Meigem 2000 kan als sprekend voorbeeld dienen voor het aantonen van de belangrijke rol van berekening bij de realisatie van een hoge opbrengst bij spinazie. We merkten dat enkele dagen uitstel tijdens de exponentiële groeifase enorme opbrengstreducties veroorzaakte, die enerzijds bepaald

werden door een verminderde droge stofproductie, en anderzijds door een laag vochtgehalte van het gewas op het ogenblik van de oogst. Hieruit bleek dat men bij spinazie de bodemvochtspanning pF 2.7 zeker niet mag overschrijden gedurende de exponentiële groeifase. Tijdig beregenen is de boodschap, gezien de daling van de drogestofproductie onder invloed van droogtestress niet meer ingehaald wordt. Ook dient vermeden te worden vlak vóór de oogst te beregenen, gezien hierdoor een sterke stijging van het nitraatgehalte van het gewas veroorzaakt wordt. Dit kan leiden tot een hoger nitraatgehalte dan de wettelijke norm.

Voor spinazie werd aangetoond dat beregening dient gestart te worden bij relatief lage vochtspanningen, gezien droogtestress snel leidt tot opbrengstreductie. Hierdoor kan de aanwezige bodemvochtreserve minder geëxploiteerd worden dan bijvoorbeeld bij stamslabonen het geval is. Ten opzichte van literatuurbronnen wordt de beregening echter geminimaliseerd in die zin dat de interventiegrens op pF 2.7 wordt gelegd in plaats van op pF 2.4-2.5.

Dankzij een doordachte beregeningstrategie en een nauwkeurige opvolging van de bodemvochttoestand kan rechtstreekse doorspoeling ten gevolge van beregening vermeden worden. Ook indien bij lage bodemvochtspanningen wordt beregend, kan op basis van de vochtbalans het optimale tijdstip en de correcte beregeningsdosis bepaald worden, zodat het maximale vochthoudende vermogen van de bodem niet wordt overschreden.

Literatuurbronnen

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper n°56, Rome. 300 p.

Berengena, J., Gimenez, C., Alba, A. and Fereres, E. (1985). The role of the root system in the drought resistance of sunflower. In: Les besoins en eau des cultures. Conférence internationale, Paris, 11-14 sept. 1984. INRA, Paris. p385-395.

Boerenbond (1980). Gebruik van de tensiometer – Handleiding.

Bonnano, A.R. and Mack, H.J. (1983a). Yield components and pod quality of snap beans grown under differential irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(5), 832-836.

Bonnano, A.R. and Mack, H.J. (1983b). Water relations and growth of snap beans as influenced by differential irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(5):837-844.

Cselötei, L. and Varga, Gy. (1987). The effect of irrigation on the quality and harvest time of snap beans. *Acta Horticulturae* n°220, 377-381

Davies, W.J. and Zhang, J. (1991). Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42, 55-76.

Dekkers, W.A. (2000). Beregenen van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PAV, Lelystad. Publicatie nr. 99, 97 p.

Doorenbos, J., Kassam, A.H., Bentvelsen, C.L.M., Branscheid, V., Plusjé, J.M.G.A., Smith, M., Uittenbogaard, G.O. and Van Der Wal, H.K. (1979). Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper nr. 33, 193 p.

Doss, B.D., Evans, E.E. and Turner, J.L. (1977). Irrigation and applied nitrogen effect on snap beans and pickling cucumbers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102, 654-651.

Dubetz, S. and Mahalle, P.S. (1969). Effect of soil water stress on bush beans *Phaseolus vulgaris* L. at three stages of growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94, 479-481.

- Foster, E.F., Pajarito, A. and Acosta-Gallegos, J. (1995). Moisture stress impact on N partitioning, N remobilization and N-use efficiency in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. of Agric. Sci.* 124, 27-37.
- Gollan, T., Passioura, J.B. and Munns, R. (1986). Soil water status affects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 13, 459-464.
- Gowing, D.J.G., Davies, W.J. and Jones, H.G. (1990). A positive root-sourced signal as an indicator of soil drying in apple, *Malus x domestica* Borkh.
- Hegde D.M. and Srinivas K. (1990). Plant water relations and nutrient uptake in French bean. *Irrig. Sci* (1990) 11, 51-56.
- Huininck, J.T.M. (1991). Tensiometer prima hulpmiddel bij berekening. *Groenten en Fruit / Vollegrondsgroenten* n°29, 6-9.
- ILWB (1998). Tabel met gewasgegevens in het kader van het 5b-project irrigatie. Instituut voor Land- en Waterbeheer, KULeuven.
- Itier, B., Maraux, F., Ruelle, P. and Deumier, J.M. (1995). Applicability and limitations of irrigation scheduling methods and techniques. In: *Irrigation Scheduling: From Theory to Practice*, Proceedings ICID/FAO Workshop, sept. 1995, Rome. Water Report No. 8, FAO, Rome.
- Jones, H.G. and Tardieu, F. (1998). Modelling water relations of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* 74, 21-46.
- Jury, W.A., Gardner, W.R. and Gardner, W.H. (1991). *Soil Physics*, 5th edition. John Wiley & Sons, New York. 328p.
- Kattan, A.A. and Fleming, J.W. (1956). Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth and composition of snap beans. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 68, 329-342.
- Lee, J.M., Read, P.E. and Davis, D.W. (1977). Effect of irrigation on interocular cavitation and yield in snap bean. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102, 276-278.

Mack, H.J. and Varseveld, G.W. (1982). Response of bush snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to irrigation and plant density. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(2), 286-290.

Maurer, A.R., Ormrod, D.P. and Scott, N.J. (1969). Effect of five soil-water regimes on growth and composition of snap beans. *Can. J. Plant Sci.* 49, 271-278.

Millar A.A. and Gardner W.R. (1972). Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. *Agronomy journal* vol. 64 - nr. 5: 559-562.

Muirhead, W.A. and White, R.J.G. (1981). The influence of soil water potential on the flowering pattern, pod set and yield of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Irrigation Science* 3, 45-56.

Neuvel, J.J. (1994). Teelt van stamslabonen, flageolets en bruine bonen. Teelthandleiding nr. 66, Proefcentrum voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad.

Robins, J.S. and Domingo, C.E. (1956). Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. *Agron. J.* 48, 67-70.

Sage, T.L. and Webster, B.D. (1987). Flowering and fruiting patterns of *Phaseolus vulgaris* L. *Bot. gaz.* 148(1), 35-41.

Singh, B.P. (1989). Irrigation water management for bush snap bean production. *HortScience* 24(1), 69-70.

Spitters, C.J.T. (1981). Grondslagen plantaardige productie. *Algemene plantenteelt 1. Theoretische teeltkunde*, 103 p.

Stansell J.R. and Smittle D.A. (1980). Effects of Irrigation Regimes on Yield and Water Use of Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105(6): 869-873.

Stobbe, E.H., Ormrod, D.P. and Woolley, C.J. (1965). Blossoming and fruit set patterns in *Phaseolus vulgaris* L. as influenced by temperature. *Can. J. of Bot.* 44, 813-819.

Tardieu, F., Katerji, N., Bethenod, O., Zhang, J. and Davies, W.J. (1991). Maize stomatal conductance in the field: its relationship with soil and plant

water potentials, mechanical constraints and ABA concentration in the xylem sap. *Plant, Cell and Environm.* 14, 121-126

Thompson, T. and Doerge, T.A. (1995). Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated collard, mustard and spinach. *HortScience* 30(7): 1382-1387.

Unilet (1991). *Epinard pour l'appertisation et la surgélation*. Unilet Informations, n°spécial épinard, 31 p.

Varga, G. and Kőszegi, O.M. (1987). Irrigation peculiarities of spring and summer snap beans. *Acta Horticulturae* n°220, 371-3751.

Weaver, M.L. and Ng, H. (1984). Effect of soil moisture tension on pod retention and seed yield of beans. *HortScience* 19(4), 567-569.

White, J.W. and Izquierdo, J. (1991). Physiology of yield potential and stress tolerance. *Uit: van Schoonhoven, A. and Voysest, O (eds.). Common beans: research for crop improvement. CAB international Wallingford, p. 339-382.*

Nawoord

Van bij de oprichting van de Bodemkundige Dienst van België vormt het toegepast onderzoek op de Belgische bodemtypes de pijler van de advisering in de land- en tuinbouw.

Ook in het voorliggende onderzoek is een belangrijke stap gezet naar een verfijning van de advisering voor de intensieve landbouwpraktijk in onze lage landen. Een degelijke kennis van gewas en bodem, vertrekkende van perceelsspecifieke kenmerken laat een individuele benadering toe in de advisering bij de verbetering van de bodemvruchtbaarheid, de bemesting, de ziektebestrijding, maar ook bij de berekening. De ervaring leert immers dat de beste resultaten en het beste rendement niet worden gehaald door toepassing van algemene, gemiddelde adviezen of zogenaamde universele teeltrichtlijnen.

Dit onderzoek bevestigt bovendien dat in de landbouwpraktijk het milieu- en natuurbeheer niet verwaarloosd wordt en dat vanuit beider oogpunt gezien niet noodzakelijkerwijze tegengestelde doelstellingen nagestreefd worden. Landbouw en milieu kunnen elkaar grotendeels aanvullen wanneer men op een zorgvuldige wijze uitgaat van de kwaliteiten en de kenmerken van elk perceel afzonderlijk.

Het beregeningsadvies dat dankzij dit onderzoek op een verbeterde en verfijnde wijze kon geformuleerd worden, leidt weliswaar tot maximale rendementen met een hoge kwaliteit, doch dit gebeurt uitdrukkelijk met een minimaal waterverbruik waardoor ook uitspoeling van voedingselementen wordt voorkomen.

Een degelijk onderbouwd, meerjarig onderzoek in praktijksituaties vergt veel steun, inzet en financiële middelen. Onze gemeente dank gaat dan ook in de eerste plaats uit naar het Ministerie van Middenstand en Landbouw, Directoraat-Generaal Onderzoek en Ontwikkeling. De voortdurende en stimulerende aandacht voor dit onderzoek van de heer J. Weerts, assistent-directeur, en zijn medewerker, de heer F. Soors, heeft zonder twijfel een belangrijke steun betekend voor de onderzoekers.

Zonder de enthousiaste medewerking van de bedrijfsleiders, de heren Ph. Moës, L. Malfait, J. Lejeune, A. Hanlet en H. Van Vynckt, was dit onderzoek niet mogelijk geweest en ook van de verwerkende industrie werd een begrijpend geduld gevraagd bij de vele proefoogsten. Aan allen onze oprechte dank.

Het resultaat van de vermelde samenwerking ligt voor u. We hopen dat vele bedrijfsleiders, teelttechnici, voorlichters en adviseurs hier veel nut en voordeel mogen uit putten.

Prof. dr.ir. Maarten Geypens

Directeur
Bodemkundige Dienst van België v.z.w.