



EFFECT VAN AGROFORESTRY OP ORGANISCHE STOF EN NUTRIËNTEN



Victoria Nelissen, Tom Coussement, Paul Pardon, Bert Reubens

Juni 2018



Auteurs

Victoria Nelissen – ILVO

Tom Coussement – BDB

Paul Pardon – UGent, ILVO

Bert Reubens – ILVO

Foto's ©

Consortium Agroforestry Vlaanderen, tenzij anders vermeld

Aansprakelijkheidsbeperking

De volledige inhoud van deze publicatie wordt beschermd door het auteursrecht. De partners van het VLAIO-project 'Agroforestry in Vlaanderen' (zijnde ILVO, Inagro, UGent, Bodemkundige Dienst van België en Agrobeheercentrum Eco²) verlenen echter aan alle gebruikers een gratis, wereldwijd toegangsrecht tot de publicatie en de toelating om de inhoud ervan te reproduceren, gebruiken, verspreiden en te tonen voor elke niet-commerciële doelstelling. Deze toelating is echter gekoppeld aan het correct vermelden van het auteurschap en de bijhorende eigendomsrechten.

Deze publicatie werd door de auteurs met de grootste zorg en zorgvuldigheid voorbereid. Noch de projectpartners, noch de auteurs, noch enige andere personen die betrokken werden bij de creatie, productie of totstandkoming van deze publicatie of de informatie die erin vervat zit, kan op enige wijze verantwoordelijk of aansprakelijk gesteld worden voor de juistheid, volledigheid of bruikbaarheid van enige informatie vervat in deze publicatie, noch kunnen ze aansprakelijk gesteld worden voor enige directe of indirecte schade die voortvloeit uit het gebruik van de informatie die beschikbaar gesteld wordt door deze publicatie.

Meer info en contact:

www.agroforestryvlaanderen.be

info@agroforestryvlaanderen.be

Leeswijzer

Wat is agroforestry? Bij agroforestry of boslandbouw wordt de teelt van houtige gewassen (bomen of struiken) doelbewust gecombineerd met die van landbouwgewassen of vee. Op die manier worden vaak nieuwe producten en/of diensten gecreëerd, zowel op economisch, ecologisch als sociaal vlak. Mits doordachte aanpak, kan agroforestry de bedrijfsrendabiliteit verhogen, en helpen om natuurlijke hulpbronnen te behouden en te beschermen.

In het rapport '[Teelttechnische impact agroforestry](#)' lichtten we de interacties tussen boom en gewas reeds kort toe. We bespraken de positieve interacties, zoals effecten op bodemorganische stof en nutriëntenbeschikbaarheid, maar gaven ook aan dat competitie voor licht, water en nutriënten mogelijk is, hoewel dit mits een doordachte aanpak sterk teruggedrongen kan worden. In dit rapport gaan we dieper in op de effecten van bomen op het bodemorganische stofgehalte en de nutriëntencyclus. In het rapport 'Biomassaproductie en kwaliteit van landbouwgewassen en bomen' (Pardon et al., 2018) wordt wat dieper ingegaan op de impact van lichtbeschikbaarheid.

Dit rapport werd geschreven in het kader van het VLAIO-project 'Agroforestry in Vlaanderen' (looptijd september 2014 - augustus 2019). Het wordt als een online module beschikbaar gesteld en systematisch geactualiseerd op basis van nieuwe kennis en ervaringen. Voor meer gedetailleerde informatie rond bepaalde onderwerpen, verwijst dit rapport ook regelmatig naar specifieke fiches beschikbaar via het online kennisloket op de website www.agroforestryvlaanderen.be.

Inhoud

1	Samenvatting	5
2	Inleiding	6
3	Agroforestry en bodemorganische koolstof	7
3.1	Rol van organische stof in de bodem	7
3.2	effecten van agroforestry op organische koolstof	7
4	Agroforestry en de nutriëntencyclus in de bodem	10
4.1	Welke processen?	10
4.1.1	Decompositie van biomassa van bomen	10
4.1.2	Verhoogde opname van nutriënten uit diepere bodemlagen via het wortelstelsel van bomen	11
4.1.3	Associaties met mycorrhizae-schimmels	11
4.1.4	Neerslag via bladerdek	11
4.1.5	Minder export van nutriënten uit de bodem	12
4.2	Effect van agroforestry op nutriëntenstocks in de bodem	12
4.3	Effect van agroforestry op stikstofdynamiek in de bodem: Eigen onderzoek	14
4.3.1	Algemene resultaten	14
4.3.2	Begroting van de verschillende aan- en afvoerposten van stikstof	16
4.3.2.1	Begroting van de individuele posten	16
4.3.2.2	Berekening voor perceel ieper 2	19
4.3.3	Conclusies	21
4.4	Effect van agroforestry op stikstofdynamiek in de bodem: Studie van Jose et al. (2000)	22
5	Competitie tussen boom en gewas	23
6	Referentielijst	24

1 SAMENVATTING

De bijdrage van de bomen aan de bodemorganische koolstof in agroforestrysystemen verloopt via decompositie van biomassa: snoeimateriaal, afgevallen bladeren, en zelfs afgestorven fijne wortels, die in de bovenste bodemlagen terechtkomen. Verder wordt er ook koolstof opgeslagen in de bovengrondse boombiomassa. In het totale agroforestrysysteem (ondergronds + bovengronds) kan in totaal zo'n 1.0 tot 2.8 ton C/ha/jaar opgeslagen worden.

Bomen beïnvloeden ook de nutriëntencyclus in de bodem via verschillende processen, waaronder decompositie van biomassa van bomen, verhoogde opname van nutriënten uit diepere bodemlagen, associaties met mycorrhiza-schimmels, stamafstroming, en minder export van nutriënten uit de bodem. Dit kan enerzijds resulteren in hogere nutriëntenstocks, maar anderzijds is ook competitie voor N mogelijk tussen gewas en boom, hetgeen kan resulteren in een lagere nutriëntenbeschikbaarheid.

Het voorkomen en de grootte van deze effecten worden wellicht beïnvloed door boomedichtheid, boomsoort, boomleeftijd, bodembeheer,...

Aangezien bomen en landbouwgewassen voor hun groei en ontwikkeling gebruik maken van dezelfde hulpbronnen, kan in zekere mate competitie optreden wanneer beide in combinatie geteeld worden. Hierbij wordt in hoofdzaak gewezen op competitie voor licht, water en nutriënten (Thevatasan & Gordon, 2004). Dit kan een effect hebben op de gerealiseerde productie en/of kwaliteit van het landbouwgewas, maar kan sterk teruggedrongen worden via de ruimtelijke organisatie, boomsoorten/gewaskeuze en beheer van de bomen. In dit rapport gaan we dieper in op de effecten van bomen op het bodemorganische koolstofgehalte en de nutriëntencyclus. Het is dus belangrijk om deze competitie zoveel mogelijk te limiteren maar ook om optimaal gebruik te maken van potentiële synergiën. Door input van nutriënten en organische stof afkomstig van bladval en worteldecompositie kunnen bomen immers voor een positief effect op de bodemvruchtbaarheid zorgen (Pardon et al., 2017).

3 AGROFORESTRY EN BODEMORGANISCHE KOOLSTOF

3.1 ROL VAN ORGANISCHE STOF IN DE BODEM

Organische koolstof speelt een belangrijke rol in de bodemvruchtbaarheid door in te werken op biologische, chemische en fysische eigenschappen in de bodem (Reubens et al., 2010; VLM, 2015):

- Het stimuleert het een evenwichtig bodemleven;
- Het verbetert de bodemstructuur zodat deze beter bewerkbaar wordt en er minder bodemverdichting optreedt (en wortels beter ontwikkelen);
- Het verhoogt het waterbergend vermogen, zodat er minder droogtestress optreedt, en de waterdoorlaatbaarheid, zodat er minder risico is op wateroverlast en erosie
- Het levert nutriënten, zodat er bespaard kan worden op kunstmeststoffen, en is in staat om positief geladen deeltjes (bv. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) aan zijn oppervlak te binden waardoor belangrijke voedingsstoffen beschikbaar blijven voor de planten
- Het werkt als buffer tegen schommelingen van de zuurtegraad van de bodem.

3.2 EFFECTEN VAN AGROFORESTRY OP ORGANISCHE KOOLSTOF

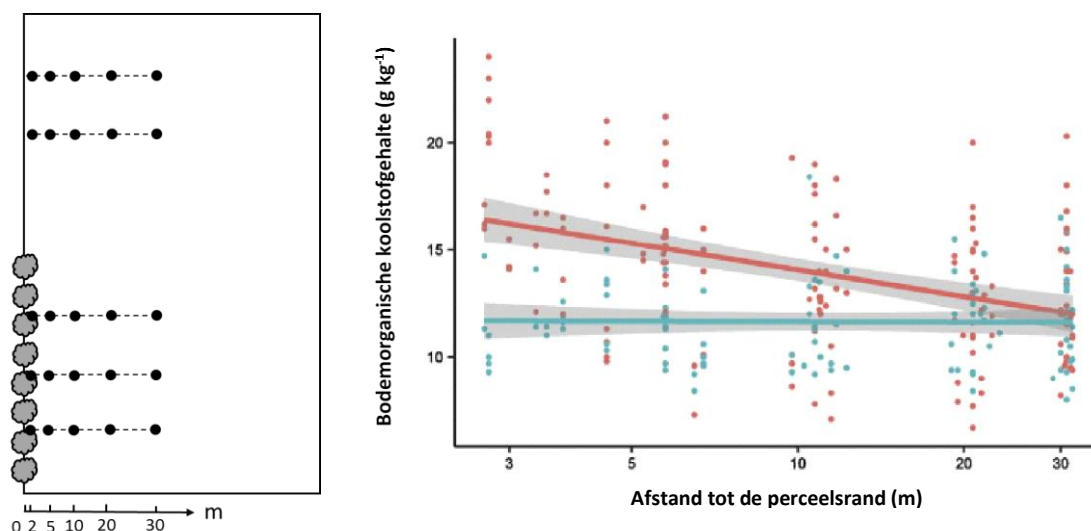
De bijdrage van de bomen aan de bodemorganische koolstof in agroforestrysystemen verloopt via decompositie van biomassa: snoeimateriaal, afgevallen bladeren, en zelfs afgestorven fijne wortels, die in de bovenste bodemlagen terechtkomen.

Om te weten hoe groot dat effect precies is voor de landbouwcondities in onze contreien, onderzochten Pardon et al. (2017) de koolstofstocks (voorraden) in de bodem op 11 akkerbouwpercelen met relatief 'mature' (volgroeide) bomenrijen (15 tot 47 j oude populieren) in België. Daarbij becijferden ze de graduele verandering vanaf de bomenrij tot verder weg in het perceel aan de hand van transecten (Figuur 1, Figuur 2). Ze stelden vast dat de bodemkoolstofstock in de bouwvoor (0-23 cm) over een periode van gemiddelde 25 jaar, op een afstand tussen 2 en 30 m van populierenrijen, met gemiddeld **0.21 ton C/ha/jaar** toenam. Dit komt in totaal overeen met een toename van 5,3 ton organische koolstof over deze periode (25 jaar) in vergelijking met een controle zonder bomenrij (Figuur 1, Figuur 2). Deze verhoging is voornamelijk te verklaren door input via bladval, en in mindere mate door takval. En hoewel wortelsystemen zo'n 25 à 35% van de volledige plantbiomassa bij populieren uitmaken, zal de bijdrage aan het organische koolstofgehalte via afbraak van fijne wortels en wortellexudaten in de toplaag van de bodem eerder beperkt zijn, vermits de wortels diepere bodemlagen zullen koloniseren (i) om competitie met het gewas te mijden en (ii) omwille van bodembewerkingen.

Pardon et al. (2017) stelden verder ook vast dat er in jonge agroforestrysystemen (boomleeftijd 3 à 5 jaar) geen significante effecten waren van de bomen op bodemorganische koolstof.



Figuur 1 Populierenrijen geselecteerd in het onderzoek van Pardon et al. (2017). Loodrecht op de bomenrij werden transecten aangelegd, langs dewelke op verschillende afstanden tot de bomenrij bodemstaalnames en staalnames voor gewasopbrengst gebeurden.



Figuur 2 Links: Proefopzet in het onderzoek van Pardon et al. (2017). Loodrecht op de bomenrij en op een rand zonder bomenrij als controle werden transecten aangelegd, langs dewelke op verschillende afstanden tot de bomenrij bodemstaalnames en staalnames voor gewasopbrengst gebeurden. Rechts: Bodemorganische koolstofgehalte als functie van de afstand tot de rand van het perceel, met bomenrij (rode lijn) en zonder bomenrij (controle; blauwe lijn). De lijnen zijn regressielijnen gefit op basis van de gemeten bodemorganische koolstofwaarden (punten). De grijze schaduw geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval (Pardon et al., 2017).

De resultaten van Pardon et al. (2017) liggen in lijn met resultaten uit literatuur. Ter info geven we hieronder ook de C-opslag in de boombiomassa uit enkele studies mee, vermits niet enkel bodemorganische koolstof maar ook koolstof in de boombiomassa interessant kan zijn in het kader van klimaatverandering en koolstofsequestratie. Nair et al. (2009) merken echter op dat het een grote uitdaging is om de koolstofstocks in de boombiomassa in agroforestry-systemen accuraat in te schatten. Bovengrondse biomassa wordt dikwijls ingeschat door middel van allometrische vergelijkingen, ontwikkeld voor bomen in natuurlijke bossen. Zulke modellen missen echter vaak nauwkeurigheid omdat ze ofwel heel site-specifiek zijn ofwel net heel algemeen. Verder kan het bladerdek van een boom in een agroforestry-situatie verschillend zijn van dit in een bos, de kroon- en wortelarchitectuur kunnen verschillen,...

In literatuur worden volgende resultaten teruggevonden betreffende bodemorganische koolstof en koolstof in de boombiomassa:

- Bambrick et al. (2010) bekwamen een resultaat dat vergelijkbaar is met wat wij maten (een toename van **0.30 ton C/ha/jaar** in de bodem nabij 21 jaar oude populieren (111 bomen/ha) in vergelijking met een controle zonder bomen).
- Peichl et al. (2006) onderzochten de bodemkoolstofstock (0-20 cm) in een agroforestry-systeem met 13 j oude populieren (111 bomen/ha); deze bedroeg 78.5 t C/ha. In een akkerbouwperceel zonder bomen bedroeg de stock 65 t C/ha. Een verschil van 13.5 t C/ha of **1.0 ton C/ha/jaar**. Verder onderzochten ze ook de hoeveelheid koolstof opgeslagen in de boven- en ondergrondse biomassa van de boomcomponent, deze bedroeg 1.2 ton C/ha/jaar.
- Ook Cardinael et al. (2017) onderzochten zowel de koolstofopslag in de bodem als in de onder- en bovengrondse boombiomassa in vijf agroforestry-percelen met akkerbouw (zowel jongere als oudere systemen). De hoeveelheid koolstof die extra werd opgeslagen in de bodem (0-30 cm) lag tussen **0.09 ton C/ha/jaar** voor een systeem met 6 jaar oude walnotenbomen (35 bomen/ha), en **0.46 ton C/ha/jaar** voor een systeem met 41 jaar oude walnotenbomen (102 bomen/ha). De hoeveelheid koolstof die werd opgeslagen in de onder- en bovengrondse boombiomassa lag tussen 0.004 (6 j oude walnoten) en 1.85 (18 j oude walnoten) t C/ha/jaar.
- Aertsens et al. (2013) rekenen met een potentiële koolstofopslag van 2.75 ton C/ha/jaar (koolstof in de bodem + boomcomponent) in een agroforestry-systeem, een waarde die gebaseerd is op verschillende studies uit Frankrijk.

Tabel 1 Resultaten uit verschillende wetenschappelijke publicaties betreffende C-opslagsnelheden in de bodem (SOC = bodemorganische koolstof) en in de boombiomassa.

Pardon et al. (2017) (Vlaanderen)	SOC stock (0-23 cm) accumulatiesnelheid
11 sites (15-47 j oude populieren - 60 m afstand tussen bomenrijen)	0,21 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Bambrick et al. (2010) (Quebec, Canada)	SOC stock (0-20 cm) accumulatiesnelheid
21 j oude populieren - 111 bomen/ha	0,30 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Peichl et al. (2006) (Ontario, Canada)	Totale boom C stock accumulatiesnelheid (boven- plus ondergronds)
13 j oude populieren - 111 bomen/ha	1,16 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Cardinael et al. (2017) (Frankrijk)	SOC stock (0-30 cm) accumulatiesnelheid
Site Châteaudun (6 j oude walnoot - 34 bomen/ha)	0,29 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Melle (6 j oude walnoot - 35 bomen/ha)	0,09 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Saint-Jean-d'Angély (41 j oude walnoot - 102 bomen/ha)	0,46 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹ (0-20 cm ipv 0-30 cm)
Site Vézénobres (18 j oude walnoot - 100 bomen/ha)	0,11 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Restinclières (18 j oude walnoot - 110 bomen/ha)	0,25 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
	Totale boom C stock accumulatiesnelheid (boven- plus ondergronds)
Site Châteaudun (6 j oude walnoot)	0,004 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Melle (6 j oude walnoot)	0,02 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Saint-Jean-d'Angély (41 j oude walnoot) (0-20 cm ipv 0-30 cm)	0,62 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Vézénobres (18 j oude walnoot)	1,85 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Restinclières (18 j oude walnoot)	0,77 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
	Totale stock accumulatiesnelheid (SOC 0-30 cm + biomassa stock)
Site Châteaudun (6 j oude walnoot)	0,294 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Melle (6 j oude walnoot)	0,11 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Saint-Jean-d'Angély (41 j oude walnoot) (0-20 cm ipv 0-30 cm)	1,08 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Vézénobres (18 j oude walnoot)	1,96 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹
Site Restinclières (18 j oude walnoot)	1,02 Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹

Belangrijke opmerking: bovenstaande cijfers betreffen een toename in koolstof op akkerbouwpercelen. We deden (nog) geen metingen naar extra koolstofopslag in de boomstrook en onder (permanent) grasland. Een beduidend aandeel van de gerealiseerde agroforestry in Vlaanderen bevindt zich echter op grasland.

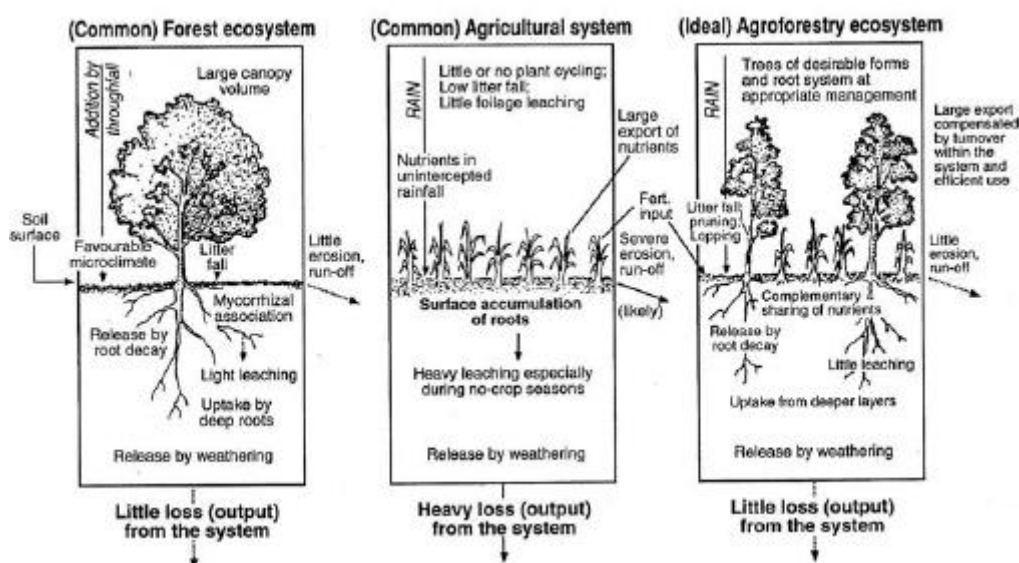
Wat koolstofopslag in **het totale agroforestrysysteem** betreft, zouden we op basis van bovenstaande studies een ondergrens van 1.02 ton C/ha/jaar aangeven en een bovengrens van 2.75 ton C/ha/jaar (of 3.7 tot 10 ton CO₂-eq/ha/jaar) als totale hoeveelheid (som bodem + biomassa). De 6 jaar oude systemen worden niet meegenomen als ondergrens, vermits we ervan uitgaan dat de bomen langer dan 6 jaar zullen blijven staan.

Merk op: dit is een zeer ruwe en algemene inschatting, vermits, zoals ook uit bovenstaande tabel (Tabel 1) blijkt, de exacte hoeveelheid koolstof die zal worden opgeslagen **afhankelijk is van o.a. boomedichtheid, boomsoort, boomleeftijd, bodembeheer, houttoepassing na kappen, etc.**

4.1 WELKE PROCESSEN?

Bomen beïnvloeden de nutriëntencyclus in de bodem via verschillende processen (Mabilde, 2014; Pardon et al., 2017; Figuur 3):

1. Decompositie van biomassa van bomen
2. Verhoogde opname van nutriënten uit diepere bodemlagen
3. Associaties met mycorrhiza-schimmels
4. Stamafstroming
5. Minder export van nutriënten uit de bodem



Figuur 3 Schematische weergave van de nutriëntencyclus in bos-, landbouw- en agroforestry-systemen (Nair, 1984).

4.1.1 DECOMPOSITIE VAN BIOMASSA VAN BOMEN

Zoals hierboven aangehaald, brengen bomen organisch materiaal aan in de bovenste bodemlagen via bladval, snoeimateriaal en afgestorven wortels (Pardon et al., 2017). De nutriënten in dit organisch materiaal komen ook hier terecht, en kunnen zorgen voor een substantiële verhoging van nutriënten in de bodem. De efficiëntie van de nutriëntenoverdracht hangt af van verschillende factoren:

- Hoeveel nutriënten bevat het organisch materiaal (bladeren, strooisel)?
- Welk aandeel van de nutriënten in de bladeren of het strooisel wordt vrijgesteld gedurende het groeiseizoen van het gewas?
- Hoeveel nutriënten worden opgenomen door het gewas ('recovery rate') en hoeveel terug door de bomen?

De hoeveelheid nutriënten die aangevoerd wordt door bladval of snoeimateriaal is afhankelijk van verschillende factoren: boomsoort, klimaat, leeftijd, snoeiregime, bodemvruchtbaarheid, ... Pardon et al. (2017) simuleerden een scenario voor populierenbomen (*Populus x canadensis*) waarbij aangenomen werd dat de hoeveelheid bladval van populieren 214 g/m² bedraagt, hetgeen overeenkomt met resultaten uit literatuur (Wotherspoon et al., 2014; Zhang, 1999). Dit resulteert in een **jaarlijkse nutriënten-input via bladval van 10.9 kg P/ha, 12.6 kg K/ha, 5.8 kg Mg/ha en 0.1 kg Na/ha** (wanneer gerekend wordt met de nutriëntenconcentraties van bladstrooisel zoals gerapporteerd door Meiresonne et al. (2007) en Lihavainen et al. (2016)). Wat N betreft, vond Zhang (1999) dat de totale N input via bladstrooisel in een alley cropping systeem met populier **11.0 kg N/ha/jaar** bedroeg.

De input via bladval kan dus een substantiële bijdrage leveren aan verhoogde bodemnutriëntenconcentraties in agroforestrysystemen. In het algemeen worden populierenbladeren gekarakteriseerd door hoge Ca concentraties. In de studie van Pardon et al. (2017) was het effect van de bomenrij op de Ca concentratie in de

bodem echter zeer beperkt in vergelijking met de Ca concentratie in de bodem, die voornamelijk bepaald wordt door bekalking.

4.1.2 VERHOOGDE OPNAME VAN NUTRIËNTEN UIT DIEPERE BODEMLAGEN VIA HET WORTELSTELSEL VAN BOMEN

De wortels van bomen gaan veel dieper dan die van de meeste landbouwgewassen. Nutriënten die migreren naar diepere bodemlagen - onder de wortelzone van gewassen - kunnen door de wortels van bomen onderschept worden. Deze nutriënten, die anders mogelijk zouden uitspoelen, kunnen zo worden gerecycleerd. Ze worden gestockeerd in de biomassa van bomen en keren deels terug naar de gewasgroeizone via bladval (Mcgrath et al., 2000; Postma, 2005). Via bladval, snoeimateriaal en afbraak van fijne boomwortels komen ze in de bovenste bodemlagen terecht. Bomen hebben dus het vermogen om nutriënten uit diepere bodemlagen op te vangen – en functioneren zo als een soort veiligheidsnet of 'safety-net' – om de rijke toplaag in stand te houden. Dit draagt bij tot een stijging van de totale nutriëntenbenutting van agroforestrysystemen (Glover en Beer, 1986). Allen et al. (2004) onderzochten deze 'safety-net' hypothese, in een pecannoot-katoen alley cropping agroforestry systeem in de VS, meer bepaald in Florida. Zij besloten dat de aanwezigheid van boomwortels een belangrijk effect had op nitraat in de bodem, en meer bepaald dat de aanwezigheid van bomen resulteert in minder nitraatuitspoeling in alley cropping systemen.

4.1.3 ASSOCIATIES MET MYCORRHIZAE-SCHIMMELS

Associaties met mycorrhizae-schimmels zijn gunstig voor plantengroei omdat de schimmels de opname van voedingsstoffen en water voor de plant vergemakkelijken. Conventionele landbouwpraktijken kunnen de samenstelling van mycorrhizae-populaties in de bodem wijzigen. Ploegen bijvoorbeeld kan het hyfen-netwerk van mycorrhizae verbreken (Jansa et al., 2003). Bovendien kan kunstmestbemesting een verschraving van het aantal soorten in de mycorrhizae-gemeenschap veroorzaken. Agroforestry vormt een betere omgeving voor mycorrhiza-schimmels door de aanwezigheid van een strook met bomen: het niet-ploegen en niet-bemesten van de strook, de aanwezigheid van een hogere plantendiversiteit en worteldensiteit maken meer kolonisatie door mycorrhizae-schimmels mogelijk (Burrows en Pflieger, 2002). In agroforestrysystemen bevinden mycorrhiza-schimmels zich ook in diepere bodemlagen (door symbiose met diep-wortelende bomen), in tegenstelling tot landbouwgewassen. Op die manier kan het immobiele fosfor, aanwezig in diepere bodemzones, opgenomen worden. Via bladval kan het vervolgens gerecycleerd worden, en potentieel ter beschikking gesteld worden aan het gewas (Cardoso et al., 2003). De vorming van hyfen verbetert ook de bodemaggregatie en -structuur (Haselwandter en Bowen, 1996). Er is echter nog maar weinig geweten over associaties met mycorrhiza-schimmels in agroforestrysystemen. De keuze van gewas- en boomsoort is bepalend voor het vormen van dergelijke associaties. Tot slot geldt in het algemeen dat de microbiële gemeenschapsstructuur in agroforestrysystemen kan wijzigen omwille van de input van strooisel en een effect op het microklimaat. De aanwezigheid van de boomstrook kan zowel een effect hebben op de totale microbiële biomassa als op de schimmel/bacterie verhouding (van der Zanden, 2017).

4.1.4 NEERSLAG VIA BLADERDEK

Ook neerslag die via het bladerdek op de bodem terechtkomt is een mogelijke bron van nutriënten (atmosferische depositie). Zo vond Zhang (1999) dat K input via neerslag die via het bladerdek van populier op de bodem terechtkomt (netto doorval (kg K/ha) = doorval (kg K/ha) – neerslag (kg K/ha)) drie keer hoger is in vergelijking met de input via bladstrooisel in een alley cropping systeem met populier in Ontario (Canada) (respectievelijk 15.4 kg K/ha/jaar en 5.5 kg K/ha/jaar). Gelijkaardige resultaten werden bekomen door Meiresonne et al. (2007) in een aanplant van populieren in België. Figuur 4 (zie verder) geeft ook aan dat er een sterk afstandseffect is van Na en K in vergelijking met de andere nutriënten, hetgeen mogelijk gelinkt kan worden aan neerslag die via het bladerdek de bodem bereikt: deze is voornamelijk beperkt tot de zone onder de het bladerdek van de bomen, terwijl bladval ook op grotere afstand van de bomenrij plaatsvindt. Wat N betreft, vond Zhang (1999) dat N input (NO_3^- -N + NH_4^+ -N) via neerslag, die via het bladerdek van populier op de bodem terechtkomt, meer dan 4 keer lager lag in vergelijking met de N input (totale N) via bladstrooisel in een alley cropping systeem met populier, in dezelfde studie als hierboven beschreven (respectievelijk 2.5 kg NH_4^+ -N + NO_3^- -N/ha/jaar en 11.0 kg N/ha/jaar).

4.1.5 MINDER EXPORT VAN NUTRIËNTEN UIT DE BODEM

Een hoger nutriëntengehalte in de bodem in een agroforestrysysteem kan ook verklaard worden door:

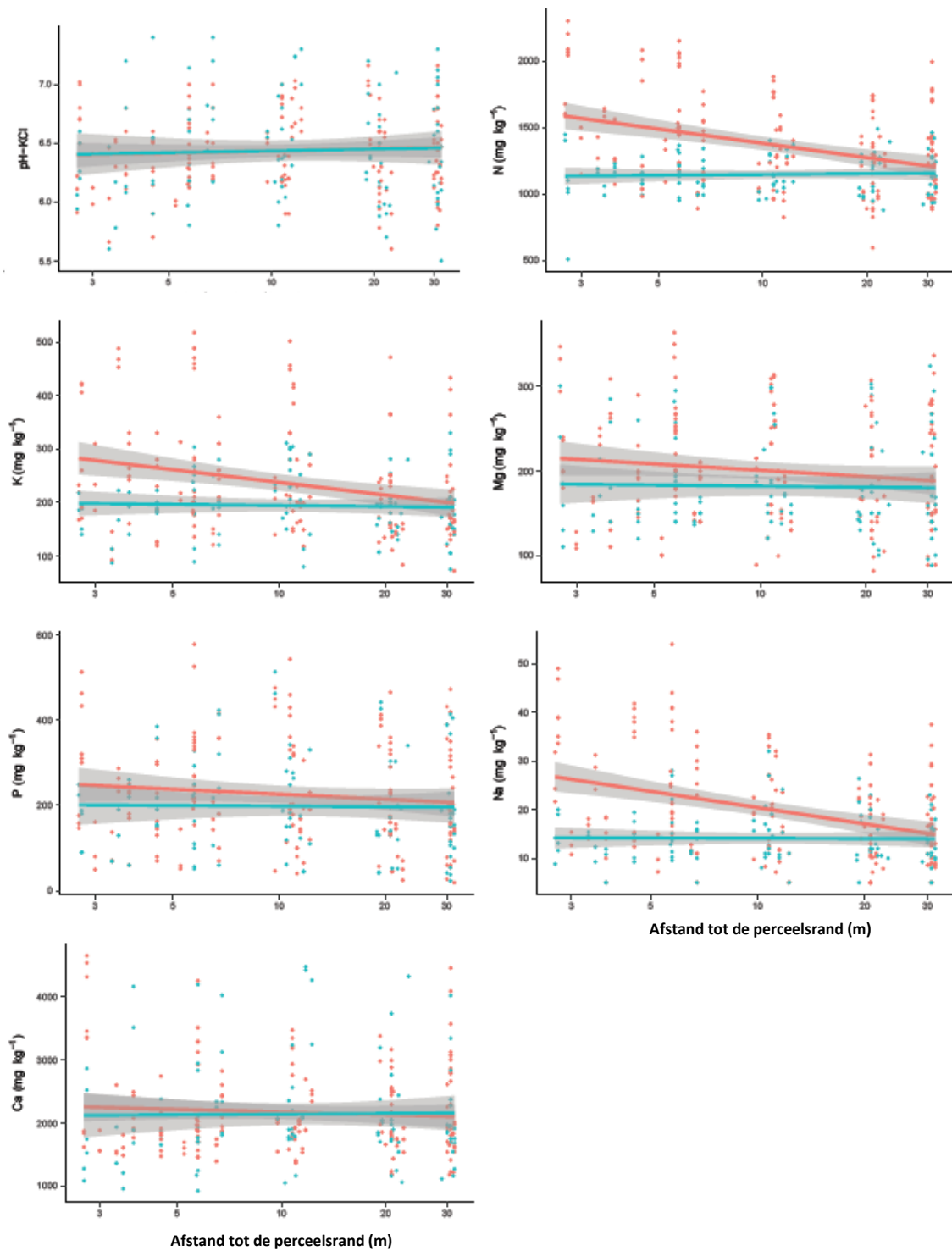
- minder uitspoeling naar diepere bodemlagen vlakbij de bomenrij, vermits de bomen de hoeveelheid neerslag die de bodem bereikt kunnen reduceren;
- een hogere CEC (kationuitwisselingscapaciteit) door een hoger organische koolstofgehalte in de bodem, waardoor de capaciteit om nutriënten vast te houden in de bodem toeneemt;
- afhankelijk van het gewas, kan ook een gewijzigde gewasontwikkeling en/of een afname in graanproductie voorkomen nabij de bomenrijen, dit omwille van competitie tussen boom en gewas voor licht, water of nutriënten (Reynolds et al., 2007; Van Vooren et al., 2016). Dit kan resulteren in een verminderde gewasopname van beschikbare nutriënten in de bodem.

4.2 EFFECT VAN AGROFORESTRY OP NUTRIËNTENSTOCKS IN DE BODEM

In het onderzoek van Pardon et al. (2017) (zie paragraaf 2.2) werden niet enkel hogere bodemorganische koolstofgehalten waargenomen bij de bomenrij, maar ook hogere bodemnutriëntenstocks (Figuur 4). Meer specifiek was er op een afstand tussen 2 m en 30 m van de populierenrijen, in de 0-23 cm bodemlaag, een toename van gemiddeld 556 kg totale N/ha, 86 kg P/ha, 108 kg K/ha, 45 kg Mg/ha en 16 kg Na/ha in vergelijking met de controle zonder bomenrij. Voor Ca was het effect heel beperkt.

De toename in bodemorganische koolstof en nutriënten kan er mogelijk toe leiden dat minder bemesting nodig is in agroforestrysystemen (Cardinael et al., 2015; Jose et al., 2000; Rivest et al., 2009; Zhang, 1999). Er moet echter met verschillende factoren rekening gehouden worden (Pardon et al., 2017):

- De bodemnutriëntenstatus kan erg heterogeen zijn op veldniveau.
- De bodemnutriëntenstatus verandert naarmate de bomen ouder worden.
- Wanneer volwassen bomen geoogst worden en vervangen door jonge exemplaren, zal er een initiële daling in organische stof- en nutriëntengehaltes plaatsvinden omwille van het beperkte effect van jonge bomen.
- In tegenstelling tot minerale meststoffen zal de vrijstelling van nutriënten die door bladval aangevoerd worden afhankelijk zijn van de mineralisatiesnelheid van het organische materiaal. Deze mineralisatie zal mogelijk niet samenvallen met de noden van het gewas.
- Tot slot wordt het voorkomen en de grootte van deze effecten wellicht beïnvloed door de boomsoort/ras (Pardon et al., in voorbereiding; Zhang, 1999).



Figuur 4 Bodemkarakteristieken (pH en nutriënten) in functie van de afstand tot de rand van het perceel, met bomenrij (rode lijn) en zonder bomenrij (controle; blauwe lijn). De lijnen zijn regressielijnen gefit op basis van de gemeten waarden (punten). De grijze schaduw geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval (Pardon et al., 2017).

4.3 EFFECT VAN AGROFORESTRY OP STIKSTOFDYNAMIEK IN DE BODEM: EIGEN ONDERZOEK

In het kader van het VLAIO-project 'Agroforestry in Vlaanderen', onderzochten we in 2015 en 2016 de stikstofdynamiek op zes akkerbouwpercelen. Deze percelen werden geselecteerd uit de dataset van 21 percelen gebruikt in de doctoraatsstudie van Pardon. Er werd gekozen voor percelen met een aanpalende rij populieren van volwassen leeftijd. Een overzicht van de dataset met de eigenschappen van het perceel en de bomenrij is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Eigenschappen van de percelen gebruikt voor het onderzoek naar de stikstofdynamiek in de bodem op percelen met een aanpalende rij populieren van volwassen leeftijd: klimaatgegevens ('Temp' = gemiddelde jaarlijkse luchttemperatuur in °C aan het bodemoppervlak, 'Neerslag' = jaarlijkse cumulatieve neerslag in mm.jaar⁻¹) voor de periode 1990-2015; bodemtextuur op basis van veldmetingen; DBH: boomdiameter op borsthoogte in m.

Locatie	Temp [°C]	Neerslag [mm]	Textuur perceel	Jaar van aanplant bomen	Boomhoogte [m]	DBH [m]
Ieper 1	10.1	679.4	Zandleem	1969	31.2	0.88
Ieper 2	10.1	679.4	Zandleem	1985	27.0	0.73
Sint-Pieters-Leeuw	10.3	787.9	Leem	2001	16.7	0.29
Geraardsbergen	10.2	775.5	Leem	1988	33.1	0.70
Tongeren	9.5	842.3	Leem	1998	26.7	0.60
Landen	9.8	814.1	Leem	1994	32.3	0.60

De gewasrotatie op de percelen gedurende de onderzoeksperiode is samengevat in Tabel 3.

Tabel 3 Teeltrotatie op de onderzochte percelen in 2015 en 2016.

Locatie	Hoofddeelt 2015	Groenbedekker 2015-2016	Hoofddeelt 2016
Ieper 1	Wintergerst	Mix	Korrelmaïs
Ieper 2	Korrelmaïs	Gras	Korrelmaïs
Sint-Pieters-Leeuw	Wintertarwe	Mosterd	Hakselmaïs
Geraardsbergen	Korrelmaïs	(Wintertarwe)	Wintertarwe
Tongeren	Wintertarwe	Witte mosterd	Korrelmaïs
Landen	Wintertarwe	Gele mosterd	Hennep

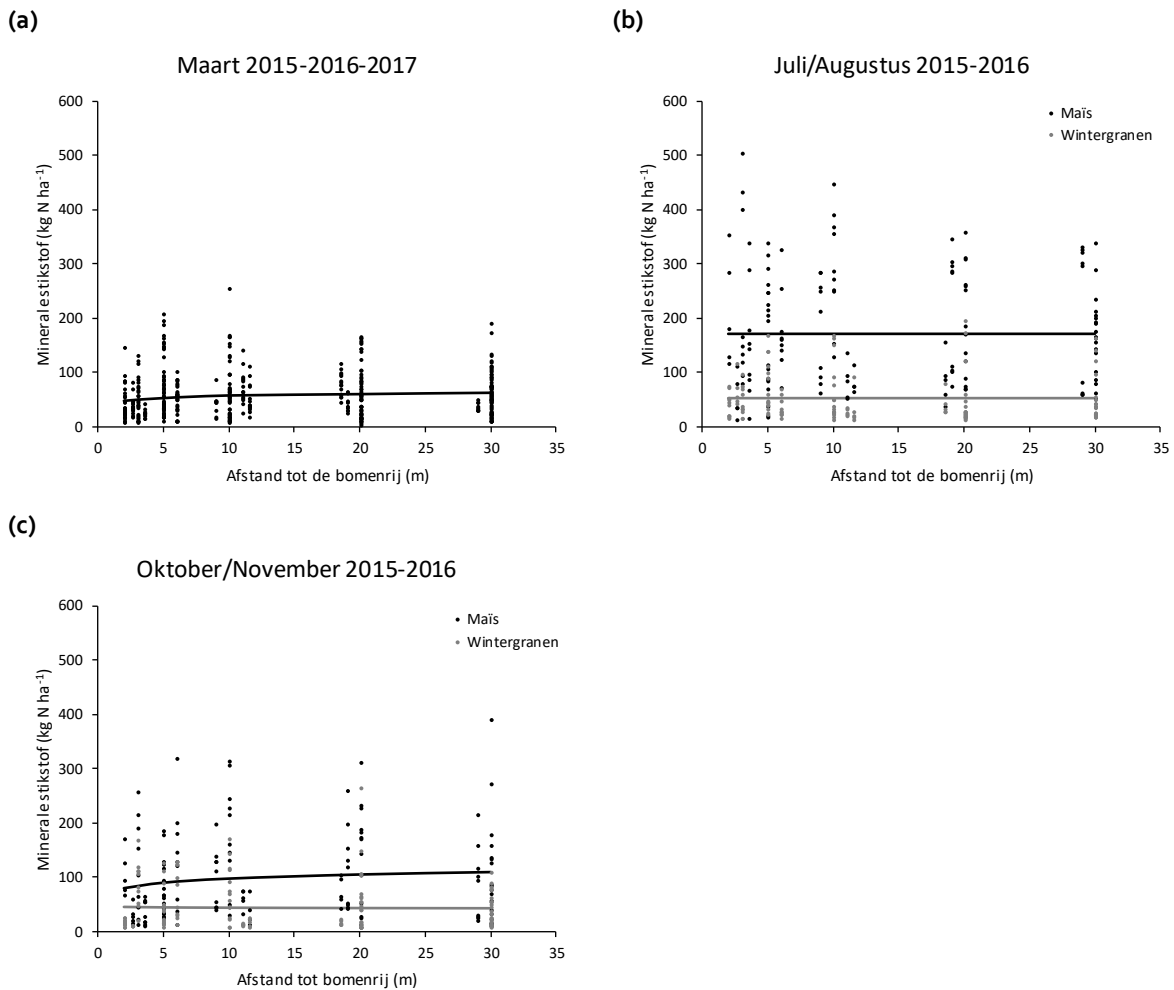
Bodemstaalnames werden uitgevoerd op drie tijdstippen in 2015 en 2016, en eenmalig in het voorjaar van 2017. De drie jaarlijkse staalnamemomenten vielen afhankelijk van de teelt samen met verschillende veldsituaties (Tabel 4).

Tabel 4 Veldsituatie bij de verschillende staalnamemomenten

Hoofddeelt	Staalname 1	Staalname 2	Staalname 3
Maïs	Voor bemesting (maart)	Start kolfzetting (juli/aug)	Oogst & N-residuperiode (okt/nov)
Wintergranen	Voor bemesting (maart)	Oogst (juli/aug)	N-residuperiode (okt/nov)

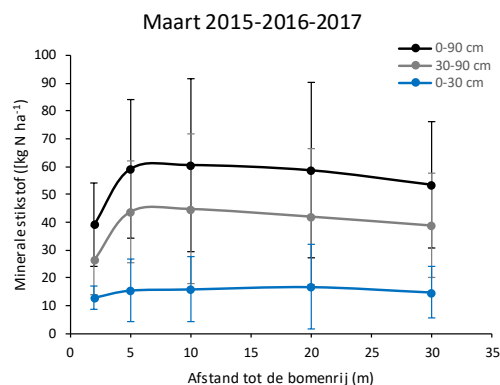
4.3.1 ALGEMENE RESULTATEN

De volledige dataset werd opgesplitst op basis van de drie staalnamemomenten: voorjaar, midden van het seizoen, en najaar. Vervolgens werd het minerale N-gehalte gesommeerd voor de bodemlaag 0-90 cm, gemodelleerd, en dit voor elk van de drie staalnamemomenten. Voor de hoofddeelt werden wintertarwe en wintergerst samen gegroepeerd onder 'wintergranen', en werden de stalen uit Landen in 2016 wanneer hennep op het perceel stond uit de analyse weggelaten. De stalen op 30 meter van de bomenrij werden in de verdere analyse aangenomen om representatief te zijn voor de volle veldsituatie, of met andere woorden, deze bevinden zich in de zone waar het effect van de bomenrij verwaarloosbaar wordt. Resultaten van de modellering zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Minerale N-gehalte in de bodem (0-90 cm) als functie van de afstand tot de rand van het perceel (bomenrij), bij drie staalnamemomenten: (a) voor de bemesting (Maart; alle gewassen), (b) tijdens het groeiseizoen (Juni – Augustus; maïs en wintergranen opgesplitst) en (c) bij oogst/nitraatresiduperiode (Oktober – November; maïs en wintergranen opgesplitst). De lijnen zijn regressielijnen gefit op basis van de gemeten waarden (punten).

In het voorjaar (Figuur 5a) werd geen significant effect van de hoofdteelt gevonden, maar wel van de afstand tot de bomenrij. In de proefplots dicht bij de bomenrij was de N-voorraad beperkt lager. Wanneer gekeken wordt naar het onderscheid tussen de bouwvoor (0-30 cm) en de diepere bodemlagen (30-90 cm) wordt duidelijk dat dit verschil hoofdzakelijk terug te brengen is op de diepere bodemlagen (Figuur 6).

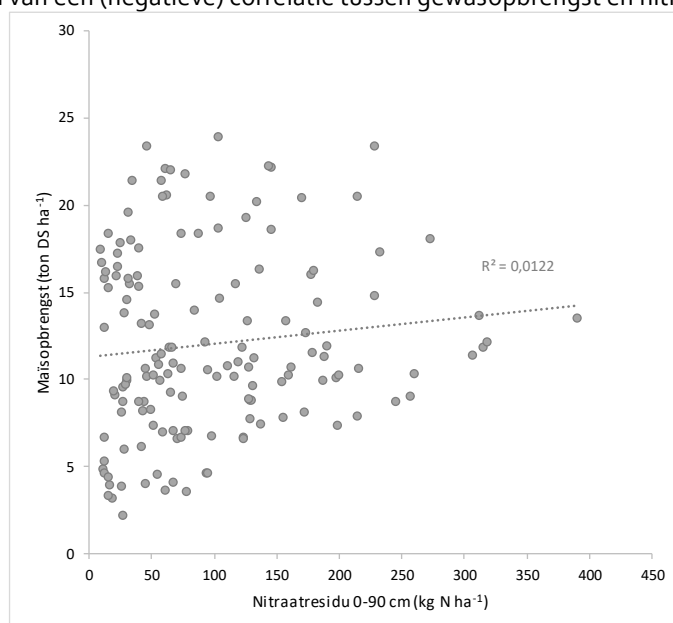


Figuur 6 Gemiddelde minerale N-gehalte in het voorjaar voor de bodem 0-90 cm (zwart) in functie van de afstand tot de bomenrij, en opgesplitst in de bouwvoor (0-30 cm, blauw) en de ondergrond (30-90 cm, grijs). Getoonde waarden zijn de gemiddelden over alle percelen voor het voorjaar van 2015, 2016 en 2017.

In het midden van het seizoen (Figuur 5b) was er geen significant effect van de afstand, maar wel tussen teelten wintergraan en maïs. De percelen met wintergranen vertonen een relatief lage N-voorraad, hetgeen logisch is gezien deze teelten op dat staalnamemoment geoogst worden en hun volledige N-opname reeds heeft kunnen plaatsvinden. Maïs is op dat moment daarentegen nog in volle gewasontwikkeling. De impact van de afstand die in het voorjaar nog significant was, is dat op dit moment voor beide teelten niet meer, en is mogelijk uitgewist door de bemesting na de voorjaarsstaalname.

In het najaar (Figuur 5c) was er een significant effect van zowel afstand als teelt. Percelen met maïs vertonen over het algemeen hogere N-residu's dan percelen waar wintergranen op stonden. Het effect van de afstand uitte zich in lagere N-residu's nabij de bomenrij voor maïs, met een afname in N-residu van ca. 30 kg N/ha in vergelijking met de situatie op 30 meter van de bomenrij. Voor wintergranen daarentegen was de gradiënt van de afstand niet betekenisvol.

De lagere N-residu's bij maïs nabij de bomen zijn opvallend, rekening houdend met de beduidend lagere opbrengst die in deze zone vastgesteld werd bij de oogst. De droge stofopbrengst van de maïs bedroeg in veel gevallen minder dan 50% van deze op 30 meter van de bomenrij. Gezien in het midden van het seizoen de N-voorraad niet verschilde met de afstand, wordt door lagere gewasopbrengst (en bijgevolg N-opname) juist een hoger N-residu dicht bij de bomenrij verwacht. Deze verwachte trend werd niet waargenomen, hetgeen ook blijkt uit de afwezigheid van een (negatieve) correlatie tussen gewasopbrengst en nitraatresidu (Figuur 7).



Figuur 7 Correlatie tussen maïsopbrengst (ton DS/ha) en nitraatresidu 0-90 cm (kg N/ha) voor het najaar van 2015 en 2016.

4.3.2 BEGROTING VAN DE VERSCHILLENDE AAN- EN AFVOERPOSTEN VAN STIKSTOF

Om meer inzicht te krijgen in de specifieke processen die plaatsvinden op de individuele percelen, werd voor één perceel in leper (leper 2 uit Tabel 2) de verhouding tussen de verschillende aan- en afvoerposten van N in kaart gebracht. Op dit perceel werd ook een uitgebreid proefopzet met foliewand uitgevoerd (volgens de aanpak van José et al. (2000), zie ook verder), waardoor hier nauwkeurige informatie beschikbaar was over het bodemvochtgehalte en de meteorologische gegevens.

4.3.2.1 BEGROTING VAN DE INDIVIDUELE POSTEN

Mineralisatie

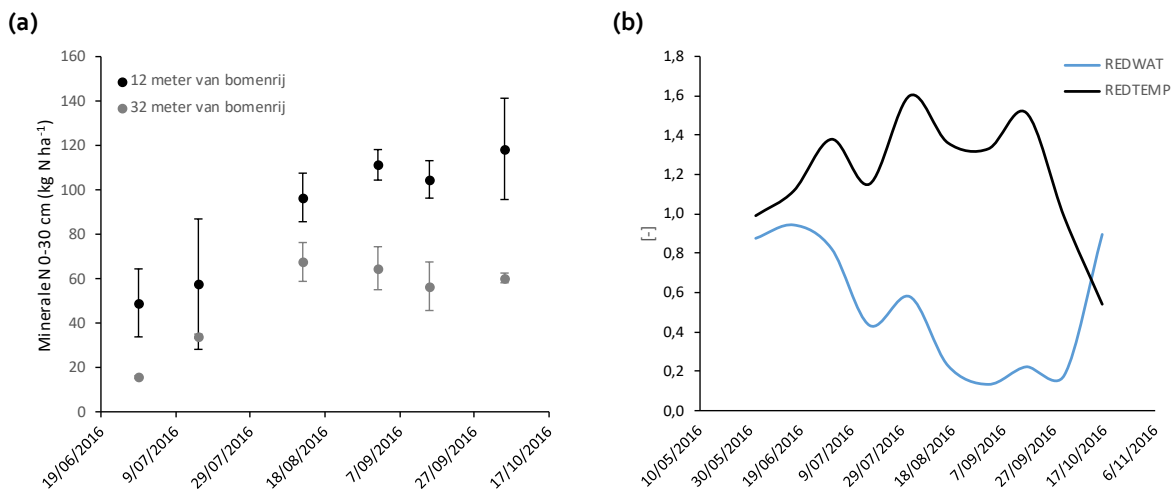
De N-mineralisatie van de bouwvoor werd bepaald aan de hand van metingen van het minerale N-gehalte in braakplotjes in de zomer van 2016. Voor elk plot werden 4 maïsrijen van 5 meter verwijderd, en bodemstalen werden genomen in de middelste 2 rijen om gewasopname vanuit de naburige maïsrijen te voorkomen. Braakplots werden aangelegd op 12 en 32 meter van de bomenrij, in drie herhalingen (Figuur 8). Het aanleggen van de proefplots dicht bij de bomenrij was onmogelijk zonder het parallel lopende onderzoek naar de N- en

vochtdynamiek te verstoren, zodat de plots op 12 meter dienst doen als proxy voor de situatie dicht bij de bomenrij.



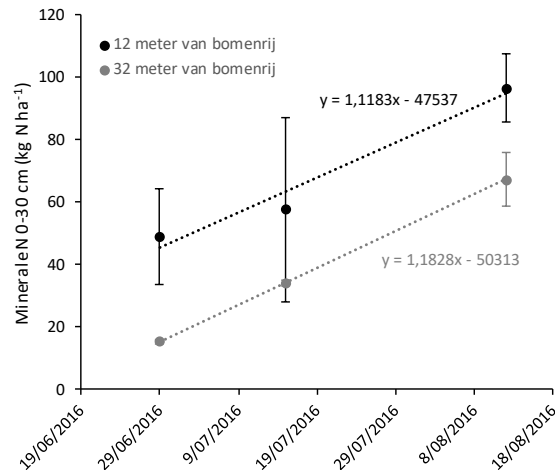
Figuur 8 Locatie van de braakplots op het perceel (links) en staalnamezone binnen elke plot (rechts, schematisch).

De gemeten N-vrijzetting in de bouwvoor is schematisch weergegeven in Figuur 9a. Het N-gehalte vertoonde een gestage toename tot half augustus, en vlakke daarna af, zowel voor de plots op 12 meter als op 32 meter van de bomenrij. Deze afname valt samen met het indrogen van de bodem, wat tot een sterke afname van de mineralisatie kan leiden. Dit wordt ook geïllustreerd aan de hand van een berekening van de reductiefactor voor vochtgehalte REDWAT uit het Wave-model (Herelixka et al., 2002). Deze factor geeft de reductie in mineralisatie weer door tekort of teveel aan bodemvocht: indien het bodemvochtgehalte niet limiterend is voor de mineralisatie is REDWAT gelijk aan 1, bij te hoog of te laag vochtgehalte neemt deze factor af (tot 0 bij extreme droogte wanneer de mineralisatie volledig stilvalt, of 0.5 in zeer natte omstandigheden). Deze factor wijst op een sterke terugval van de mineralisatie door droogte van midden augustus tot eind september (Figuur 9b). Analoog aan REDWAT is REDTEMP de reductiefactor voor temperatuur: deze is gelijk aan 1 bij een temperatuur van 15°C, neemt af tot 0 bij -15°C (mineralisatie valt volledig stil), en neemt toe boven 15°C tot een waarde van meer dan 3 boven 25°C.



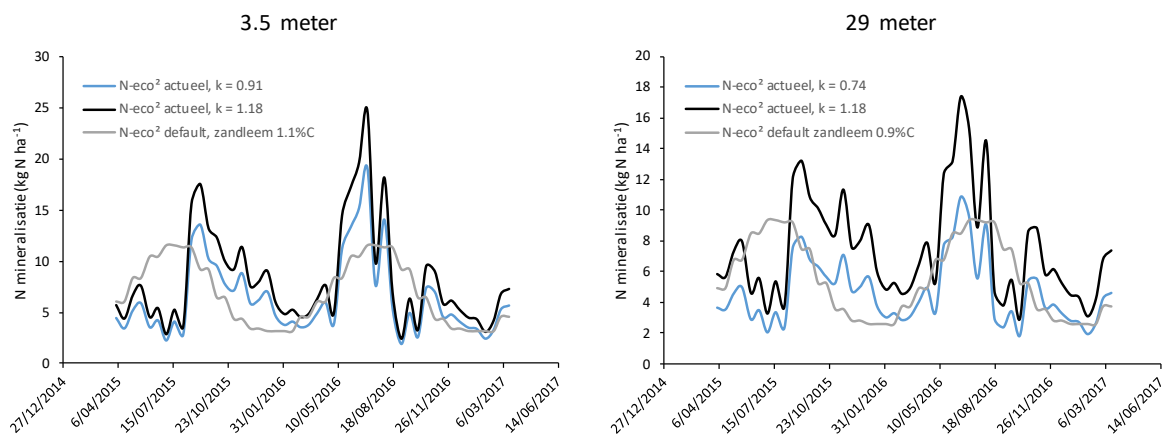
Figuur 9 (a) Mineraal N-gehalte in de bouwvoor 0-30 cm van de braakplotjes. (b) Evolutie van de reductie van de mineralisatie voor temperatuur (REDTEMP) en droogte (REDWAT, bepaald op basis van het gemiddelde vochtgehalte in de zone 2-30 meter van de bomenrij).

Een lineaire regressie werd uitgevoerd om de k-waarde van de mineralisatiecurve te bepalen. Deze regressie werd uitgevoerd op het gedeelte van de meetperiode waarin de N-vrijzetting een lineaire trend vertoonde, voordat een afvlakking door droogte plaatsvond (Figuur 10). De berekende k-waarde bedroeg 1.18 voor zowel de zone op 12 meter van de bomenrij als deze op 32 meter van de bomenrij. Wanneer vergeleken wordt met waarden uit Herelixka et al. (2002), dan wordt voor een bodem van dit type (zandleem met 0.9 of 1.1 %C voor respectievelijk 12 en 32 meter van de bomenrij) een beduidend lagere k-factor verwacht (0.74 en 0.91 respectievelijk).



Figuur 10 Lineaire regressie om de k-waarde van de mineralisatiecurve te bepalen.

Op basis van deze berekende k-factor werd de mineralisatie berekend volgens de methode uit Herelixka et al. (2002). De finaal berekende mineralisatie voor de periode 2015-2017, op 3.5 m en 29 m van de bomenrij, is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11 N-mineralisatie op 3.5 en 29 meter afstand van de bomenrij volgens: 1) de berekening uit N-eco² met $k = 0.91$, 2) de berekening uit N-eco² met $k = 1.18$, en 3) de standaardcurve volgens N-eco² voor zandleem met het relevant %C gehalte.

Atmosferische depositie

Voor depositie werd jaarlijks een forfaitaire waarde van 30 kg N/ha/jaar gebruikt.

Denitrificatie

Denitrificatie in de vadoze zone kan een betekenisvolle afvoerpost van stikstof betekenen in natte bodems met een hoog kleigehalte, maar is vrijwel verwaarloosbaar elders (Herelixka et al., 2002; Van Cleemput et al., 1996). Gezien het onderzochte perceel een relatief goed gedraineerde zandleembodem betreft (textuurklasse Lca), werd aangenomen dat de denitrificatie hier verwaarloosbaar was.

Bemesting

Mestsoort en tijdstip van toepassing werden verkregen bij de proefveldhouder. Indien geen N-inhoud van de mestsoort beschikbaar was werd gerekend met de gemiddelde waarde voor de mestsoort volgens Coppens et al. (2009).

Voor het bemestingseffect van de bladeren van de boom wordt uitgegaan van een relatief trage vrijzetting, zodat dit effect niet als een bemestingsinput meegerekend wordt maar zich zal uiten via het effect op de mineralisatie uit de bodemorganischestof.

Gewasopname

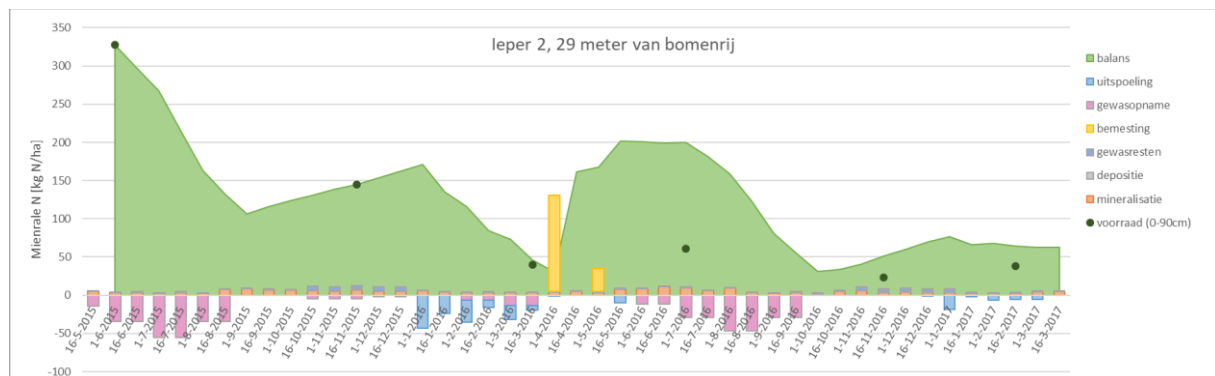
Voor de N-export van het gewas werd gerekend met gemiddelde cijfers per gewas, samengevat in het literatuuronderzoek uit Van Opstal et al. (2014). Deze export werd gecorrigeerd op basis van opbrengstmetingen uitgevoerd op het perceel in 2015 en 2016.

Uitspoeling

Uitspoeling werd ingeschat aan de hand van het Burns model (Burns, 1974).

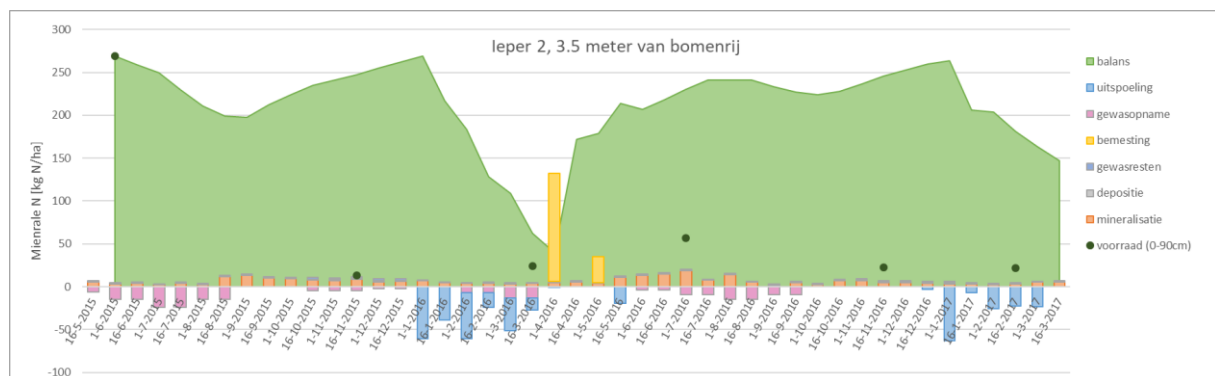
4.3.2.2 BEREKENING VOOR PERCEEL IEPER 2

De verschillende aan- en afvoerposten van stikstof werden gesommeerd met een tijdstap van 15 dagen voor de periode 2015 tot 2017. De uitgangssituatie was het eerste staal genomen op 10/06/2015. De balans werd eerst berekend voor de referentiesituatie op 29 meter van de bomenrij (Figuur 12). In 2015 en het voorjaar van 2016 was de overeenkomst met de veldmeting zeer goed. In 2016 werd de veldmeting in de zomer sterk overschat. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een uitzonderlijk natte periode in mei en juni 2016. De uitspoeling, berekend door het Burns model op basis van het neerslagoverschot, geeft doorgaans een goede weergave van de uitspoeling in de winter, maar is minder performant voor uitspoeling tijdens het groeiseizoen (Tits et al., 2015). Hierdoor wordt de N-voorraad die door de balans berekend wordt voor het groeiseizoen van 2016 waarschijnlijk sterk overschat. Een berekening van de uitspoeling aan de hand van een bodemvochtbalansmodel kan hier een betere inschatting geven.



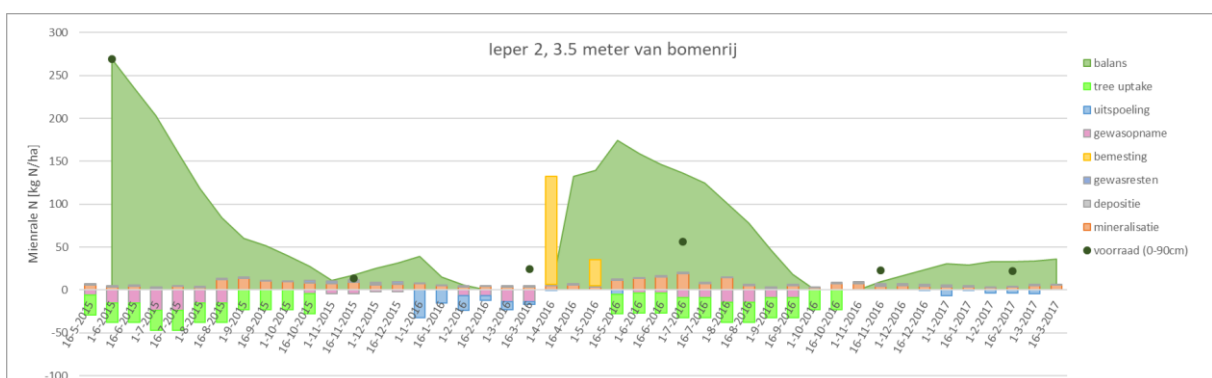
Figuur 12 Begroting van de aan- en afvoerposten van stikstof voor het perceel Ieper 2, voor de zone op 29 meter afstand van de bomenrij. De punten geven de gemeten minerale N-waardes weer in de 0-90 cm laag.

Wanneer dezelfde balans berekend wordt voor de situatie dichtbij de bomenrij (3.5 meter afstand van de bomenrij), wordt in het najaar van 2015 een hoger N-residu verwacht dan op 29 meter van de bomenrij, voornamelijk door de sterke afname in gewasopname (Figuur 13). De veldmeting op dat moment wijst echter op een veel lager N-residu, hetgeen overeenkomt met de resultaten van het model voor de volledige dataset (Figuur 5c).



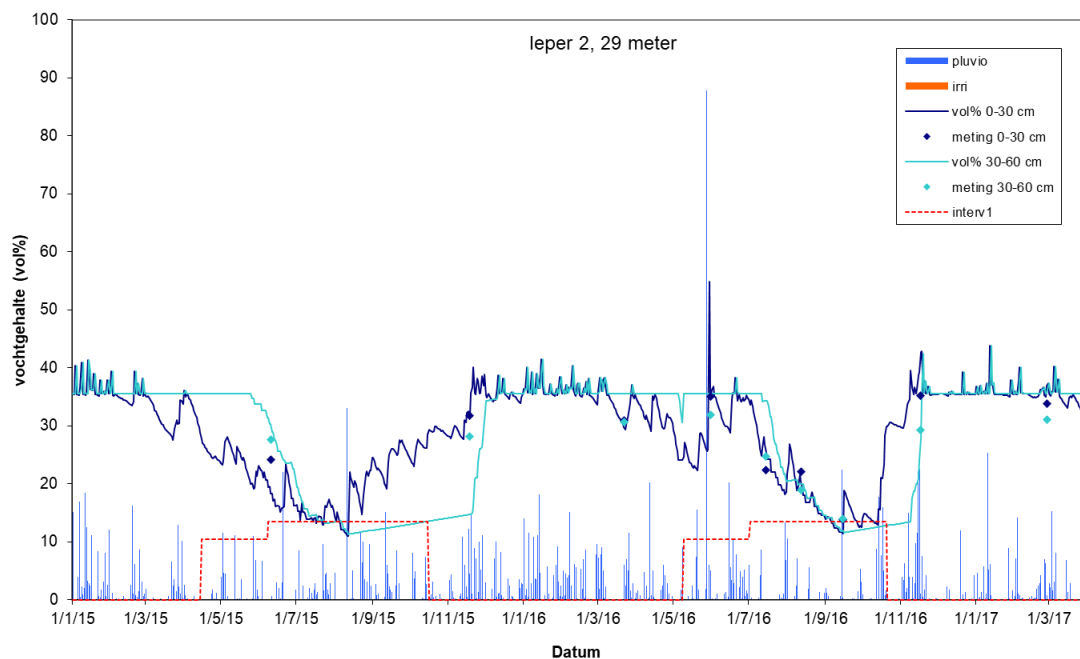
Figuur 13 Begroting van de aan- en afvoerposten van stikstof voor het perceel Ieper 2, voor de zone op 3.5 meter afstand van de bomenrij. De punten geven de gemeten minerale N-waardes weer in de 0-90 cm laag.

Bij de aan- en afvoerposten wordt enkel rekening gehouden met de N-opname door het gewas. Uit profielputten en de sleuf gegraven in het kader van het onderzoek naar competitie voor bodemvocht bleek echter dat de boomwortels ook sterk het perceel in groeien, met de hoogste worteldensiteit geobserveerd in de B-horizont onder de bouwvoor (ca. 30-70 cm diepte). Bijgevolg zal de opname van bodemvocht (en hierbij opgeloste minerale N) ook een rol spelen in de N-balans van de zone van het perceel dicht bij de bomenrij. In Figuur 14 is een inschatting gemaakt van de N-opname door de boomwortels die nodig is om het N-residu in 2015 te verklaren. Deze opname bedroeg in totaal 230 kg N/ha/jaar, wat qua grootteorde overeenkomt met de opname van maïs in een normale situatie, zoals deze op 29 meter van de bomenrij. Dit zou een zeer hoge opname door de bomen betekenen, en mogelijk spelen ook andere processen een rol bij het verlagen van de residuele minerale N naast de bomenrij. Anderzijds werd bij onderzoek in Duitsland in een alley cropping systeem met een relatief jong populierenrij (3-4 jaar oud) een jaarlijkse opname door de bomen van ca. 50-120 kg N/ha waargenomen, wat qua grootteorde in lijn ligt met de hier aangetroffen waarden (Marcus Schmidt, mondelinge communicatie). Een ander proces dat kan meespelen is een verhoogde opname van minerale N door de micro-organismen in de bodem dichtbij de bomen, zodat in deze zone een deel van de stikstof zich in organisch vorm bevindt, en bijgevolg ook minder gevoelig is voor uitspoeling.



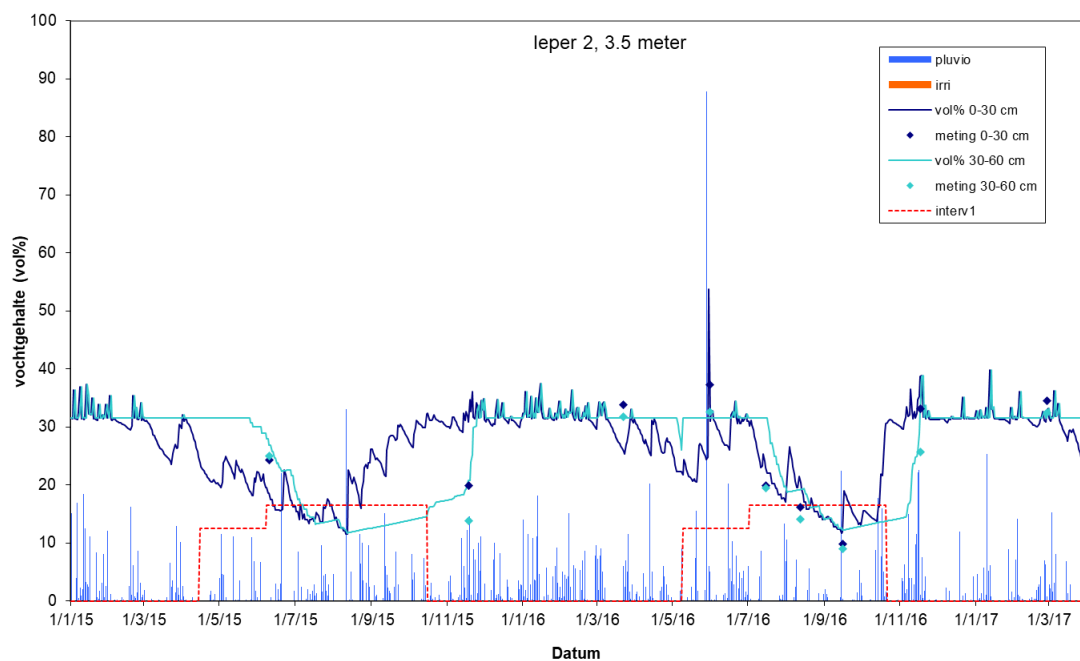
Figuur 14. Begroting van de aan- en afvoerposten van stikstof voor het perceel Ieper 2, voor de zone op 3,5 meter afstand van de bomenrij, met inschatting van de stikstofopname door de bomen die vereist is om het najaarsstaal van 2015 te benaderen.

Dat opname door de populieren een rol gespeeld heeft, wordt ook gestaafd door meting en modellering van het bodemvochtgehalte op dit perceel. Voor de periode van 01/01/2015 tot 31/03/2017 werd een bodemwaterbalansmodel opgesteld volgens het BDB-expertmodel. Dit model is gestoeld op de principes van modellen zoals BUDGET en AquaCrop (Raes et al., 2002; Steduto et al., 2012), en is uitvoerig gekalibreerd voor Vlaanderen. Voor het opstellen van het model werd de vochtretentiecurve in de bodemlagen 0-30 en 30-60 cm gebruikt, en gedurende het groeiseizoen werd de modelberekening getoetst aan periodisch genomen vochtstalen in de bodemlagen 0-30 en 30-60 cm. Net zoals bij de N-balans werd eerst een berekening gemaakt voor de zone op 29 meter van de bomenrij, waar verwacht wordt dat de impact van de bomen verwaarloosbaar is. Dit model geeft een goede overeenkomst met de bodemvochtmetingen (Figuur 15).



Figuur 15 Bodemvochtbalans op het perceel leper 2 voor de zone op 29 meter van de bomenrij voor de lagen 0-30 cm (donkerblauw) en 30-60 cm (lichtblauw) voor de periode 1/01/2015 tot 31/03/2017.

Wanneer het model berekend wordt voor de zone naast de bomenrij (op 3.5 meter afstand; Figuur 16), valt op dat het gesimuleerde vochtgehalte in de lagen 0-30 en 30-60 cm trendmatig hoger ligt dan de veldmetingen, voornamelijk in het najaar van 2015 en het volledige groeiseizoen van 2016. Gezien het model enkel rekening houdt met vochtopname door het gewas, wordt de discrepantie tussen model en metingen hier best verklaard door opname door de bomen.



Figuur 16 Bodemvochtbalans op het perceel leper 2 voor de zone op 3.5 meter van de bomenrij voor de lagen 0-30 cm (donkerblauw) en 30-60 cm (lichtblauw) voor de periode 1/01/2015 tot 31/03/2017.

4.3.3 CONCLUSIES

- De aanwezigheid van een bomenrij zorgt voor een afname van het N-gehalte in de laag 0-90 cm in het voorjaar. In het najaar werd dit effect ook waargenomen op maïspcelen.

- Deze afname houdt zeer waarschijnlijk verband met opname door de bomen. Ondanks het feit dat de N-opname van het gewas sterk gereduceerd is door de lage gewasgroei nabij de bomen, uit zich dit niet in hogere N-residu's, integendeel.

4.4 EFFECT VAN AGROFORESTRY OP STIKSTOFDYNAMIEK IN DE BODEM: STUDIE VAN JOSE ET AL. (2000)

Jose et al. (2000) voerden een experiment uit in een alley cropping systeem met 11-jaar oude zwarte walnoot en Amerikaanse eik, met maïs als tussengewas, in Indiana (vochtig continentaal klimaat) (VS). Een wortelbarrière van polyethyleen werd ondergronds, tot een diepte van 1.2 m, geïnstalleerd om de wortels van de zwarte walnoot te isoleren van die van de maïs in de helft van de plots. Op die manier werden twee behandelingen gecreëerd: met en zonder barrière. Effecten op gewasopbrengst en N-opname werden onderzocht. Met barrière lag de **korrelopbrengst** significant hoger in vergelijking met de behandeling zonder barrière (hetgeen ook het geval was op het perceel met de foliewand in leper). Competitie voor water wordt aangegeven als voornaamste oorzaak, maar het is ook mogelijk dat de boomwortels in competitie treden voor beschikbare nutriënten waardoor de nutriëntenopname in de maïs afneemt. Dit wordt bevestigd door de **N concentratie in het blad van de zwarte walnoot**, die hoger ligt in de behandeling zonder barrière dan in deze met barrière. Dit wijst erop dat, in de behandeling zonder barrière, de boomwortels uit een groter bodemvolume N kunnen opnemen, dus inclusief de bemeste strook met maïs. Dit resulteert in een hogere N concentratie in het blad van de bomen.

Verder werd in deze studie ook waargenomen dat het **percentage N in de maïsplant afkomstig van bemesting** lager lag in de behandeling met barrière dan in deze zonder barrière. Dit betekent dat maïsplanten in de behandeling met barrière meer N opnamen die reeds aanwezig was in de bodem dan N van de toegediende meststof. Een mogelijke verklaring is dat de zwarte walnoot reeds heel wat gemineraliseerde N heeft opgenomen tegen dat de maïs geplant wordt, waardoor de maïs voor zijn groei en ontwikkeling eerder afhankelijk is van de N afkomstig van de bemesting. Het hogere percentage N in de maïsplant afkomstig van bemesting in de behandeling zonder barrière, kan dan verklaard worden door competitie voor bodem N door de boomwortels, vermits de fijne boomwortels zich in dezelfde bodemlaag bevinden als de gewaswortels (0-30 cm laag). Een andere verklaring is dat N mineralisatie lager ligt in de behandeling zonder barrière, vermits ook de waterbeschikbaarheid lager ligt in deze behandeling in vergelijking met wanneer er wel een wortelbarrière aanwezig is.

Wat de **N opname in het blad van de bomen** betreft, was slechts 2% van de blad N opname afkomstig van N bemesting. 98% van de N opname in het blad was dus afkomstig van andere bronnen: gemineraliseerde bodem N en N die 'geretransloceerd' werd uit opslag in eerdere jaren. In het algemeen is competitie voor N uit bemesting tussen zwarte walnoot en maïs eerder beperkt, omwille van het temporele verschil in N behoefte: maïsplanten starten in het algemeen hun groei nadat de bladeren van de zwarte walnoot volgroeid zijn.

De benutting van de N door de maïsplant uit bemesting lag hoger in de behandeling met barrière dan in deze zonder barrière. De afname in '**fertilizer use efficiency**' in de behandeling zonder barrière zou geassocieerd kunnen worden met de gereduceerde gewasontwikkeling van de maïs. Wellicht is boom-gewascompetitie voor water de voornaamste oorzaak voor de gereduceerde maïsontwikkeling, hetgeen ook resulteert in een lagere benutting van de toegediende bemesting.

Potentiële competitie (voor licht, water, nutriënten) tussen boom en gewas kan teruggedrongen worden door:

- **voor boomsoorten te kiezen die een zo beperkt mogelijke overlap in groeiseizoen hebben met het landbouwgewas.** Een boomsoort die hiervoor bijvoorbeeld geschikt is, is de walnoot, aangezien deze slechts laat in het jaar bladeren krijgt, welke bovendien relatief veel licht door laten en vrij snel terug afvallen. Ook kers en populier zijn geschikte soorten, beiden kennen een snelle bladvertering, een snelle groei en een korte levensduur. Zoals reeds eerder vermeld, weten we van populieren dat ze oogstbare dimensies halen vanaf 15 à 20 jaar en dat je ze best niet veel langer laat staan om het risico op aantastingen te voorkomen. Kersen en notelaars worden in het bos gekapt vanaf leeftijden van 60 à 80 jaar; waarschijnlijk zal in agroforestrysystemen die kapbare leeftijd lager liggen. Beuk en eik daarentegen kennen een trage bladvertering en een langere levensduur: in het bos worden beuken gekapt vanaf 80 à 100 jaar en eiken vanaf 80 à 150 jaar, al zal de kapbare leeftijd in agroforestrysystemen wellicht ook hier lager liggen. Verder is ook de rassenkeuze belangrijk: zo lopen sommige populierenklonen later uit dan andere, hetzelfde geldt voor notelaars. Ook Gewone es komt zeer laat in blad en laat vrij veel licht door. Omwille van de essenziekte wordt het momenteel echter afgeraden om deze soort aan te planten.
- **de ruimtelijke inplanting** (oriëntatie, afstanden, ...) van de bomenrijen. Een noord-zuid oriëntatie wordt aangeraden, zodat de schaduw van de bomen vooral in de bomenrij zelf valt, waardoor minder competitie met het gewas optreedt (zie ook 1.1 en 1.2).
- **het snoei- en ander beheer** van de bomen.
- **een diepe bodembewerking** uit te voeren: deze reduceert ongewenste wortelgroei van de bomen in de groeizone van de gewassen.
- **een aangepaste keuze van het landbouwgewas/cultivar.** In een reële situatie zal er natuurlijk steeds een **gewasrotatie** zijn, waardoor het niet altijd mogelijk is om voor de meest geschikte (winter)gewassen te kiezen (zie verder).

Er wordt ook opgemerkt dat de **interactie/competitie tussen boom en gewas sterk verandert in de loop van de tijd**; pas wanneer de bomen groter/ouder worden, speelt dit een rol. De eerste jaren zal de interactie/competitie tussen boom en gewas beperkt zijn. Daarentegen is er, vooral op droogtegevoelige percelen, wel competitie mogelijk tussen boom en eventueel ongecontroleerde groei van grassen in de boomstrook: een goed beheer van de boomstrook, en het vrijhouden van de boomspiegel is dan ook belangrijk. **Bepaalde interacties** tussen boom, bodem en gewas kunnen **ook gunstig zijn onder veranderende klimatologische omstandigheden**: zo zou de impact van extreme weersomstandigheden (bv. extreme periodes van droogte) beter opgevangen kunnen worden in een agroforestrysysteem (*climate change adaptation*), door bijvoorbeeld lagere maximumtemperaturen en minder bodemevaporatie (Quinkenstein et al., 2009; Schoeneberger et al., 2012).

- Aertsens, J., De Nocker, L., Gobin, A., 2013. Valuing the carbon sequestration potential for European agriculture. *Land Use Policy* 31, 584-594.
- Allen, S.C., Jose, S., Nair, P.K.R., Brecke, B.J., Nkedi-Kizza, P., Ramsey, C.L., 2004. Safety-net role of tree roots: evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)-cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Forest Ecology and Management* 19, 395-407.
- Bambrick, A.D., Whalen, J.K., Bradley, R.L., Cogliastro, A., Gordon, A.M., Olivier, A., Thevathasan, N.V., 2010. Spatial heterogeneity of soil organic carbon in tree-based intercropping systems in Quebec and Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 79, 343-353.
- Burns I.G. (1974) A model for predicting the redistribution of salts applied to fallow soils after excess rainfall or evaporation. *Journal of Soil Sciences* 25, pp. 165-178.
- Burrows, R. L., Pflieger, F. L., 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. *Canadian Journal of Botany*, 80(2), 120-130.
- Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B.G., Saby, N.P.A., Parent, T., Dupraz, C., Bernoux, M., Chenu, C., 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon – a case study in a Mediterranean context. *Geoderma* 259-260, 288-299.
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B.G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., Chenu, C., 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 236, 243-255.
- Cardoso, I. M., Boddington, C., Janssen, B. H., Oenema, O., Kuyper, W., 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58, 33-43.
- Coppens G., Vandendriessche H., Moens W., Bries J. (2009). De mestwegwijzer: overzicht van 15 jaar mestanalyse door de Bodemkundige Dienst van België. 95 pp.
- Glover, N., Beer, J., 1986. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 4(2), 77-87. doi:10.1007/BF00141542
- Haselwandter, K., Bowen, G. D., 1996. Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. *Forest Ecology and Management*, 81(1-3), 1-17.
- Herelixa E., Vogels N., Vanongeval L., Geypens M., Oorts K., Rombauts S., Sammels L., Verstraeten W.W., El-Sadek A., Feyen J., Coppens F., Merckx R., D'Haene K., Moreels E., De Neve S., Salomez J., Boeckx P., Hofman G., Van Cleemput O., Librecht I., Wellens J., Van Orshoven J. (2002) Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij.
- Jansa, A. J., Mozafar, A., Kuhn, G., Anken, T., Ruh, R., Sanders, I. R., Frossard, E., 2003. Soil Tillage Affects the Community Structure of Mycorrhizal Fungi in Maize Roots. *Ecological Applications*, 13(4), 1164-1176.
- Jose, S., Gillespie, A.R., Seifert, J.R., Mengel, D.B., Pope, P.E., 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA 3. Competition for nitrogen and litter decomposition dynamics. *Agrofor. Syst.* 61-77.
- Mabilde L., 2014. Evaluatie van biotische en abiotische systeemkenmerken in jonge agroforestry-plantages in Vlaanderen. Masterproef, Universiteit Gent, Faculteit Bio-ingenieurwetenschappen, 134p.
- Mcgrath, D. A., Duryea, M. L., Comerford, N. B., Wendell, P., 2000. Nitrogen and Phosphorus Cycling in an Amazonian Agroforest Eight Years Following Forest Conversion. *Ecological Applications*, 10(6), 1633-1647.
- Nair, P. K. R., 1984. Soil Productivity Aspects of Agroforestry, ICRAF, Nairobi, Kenya, 85.
- Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D., 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172, 10-23.
- Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., Janssens, P., 2017. Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 247, 98-111.
- Pardon, P. et al., 2018. Biomassapductie en kwaliteit van landbouwgewassen en bomen. Rapport geschreven in het kader van het VLAIO-project 'Agroforestry in Vlaanderen'.
- Pardon, P., Mertens, J., Reubens, B., Reheul, D., Coussement, T., Nelissen, V., Verheyen, K., in voorbereiding. Increased SOC, soil nutrients and presence of macro-detritivores near tree alleys with *Juglans regia* did not increase arable crop yield.

- Peichl, M., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Huss, J., Abohassan, R.A., 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 66, 243-257.
- Postma, M., 2005. It's all in the mix.
- Quinkenstein, A., Wöllecke, J., Böhm, C., Grünewald, H., Freese, D., Schneider, B.U., Hüttl, R.F., 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science & Policy* 12, 1112-1121.
- Raes, D. 2002. BUDGET – a soil water and salt balance model. Reference manual. K.U.Leuven, Department Land Management, Leuven, Belgium.
- Reubens, B., D'Haene, K., D'Hose, T., Ruyschaert, G., 2010. Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie. Activiteit 1 van het Interregproject BodemBreed. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke-Lemberge, België. 203 p.
- Reynolds, P.E., Simpson, J.A., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. *Ecological engineering* 29, 362-371.
- Rivest, D., Cogliastro, A., Olivier, A., 2009. Tree-based intercropping systems increase growth and nutrient status of hybrid poplar: a case study from two Northeastern American experiments. *J. Environ. Manage.* 91, 432-440.
- Schoeneberger, M., Bentrup, G., de Gooijer, H., Soolanayakanahally, R., Sauer, T., Brandle, J., Zhou, X., Current, D., 2012. Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 67, 128-136
- Steduto P. C., Hsiao T., Fereres E., Raes D., 2012. Crop yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 66. 505 pp.
- Tits M., Elsen F., Coussemont T., Devenyns D., Elsen A., Bries J., Vandendriessche H. (2015). Integrale aanpak van waterkwaliteits- en kwantiteitsverbetering van de Horstgaterbeek en de Lossing in de omgeving van ruilverkaveling Molenbeersel rekening houdend met een mogelijk irrigatieproject. Bodemkundige Dienst van België vzw. Vlaamse Landmaatschappij Regio Oost, Copromotor. I.o.v. Vlaamse Regering. Eindrapport, 28/2/2015. 242 pp.
- Udawatta, R.P., Krstansky, J.J., Henderson, G.S., Garrett, H.E., 2002. Agroforestry practices, runoff, and nutrient loss: A paired watershed comparison. *Journal of Environmental Quality* 31, 1214-1225.
- van der Zanden, 2017. How microbial biomass and community structures vary within four different agroforestry systems in Belgium. Internship report, Ghent University and ILVO.
- Van Opstal M., Tits M., Beckers V., Elsen A., Van Overtveld K., Batelaan O., Van Orshoven J., Bries, J., Vandendriessche, H., Diels, J. (2014). Vernieuwde kwantificering van de verliezen van N en P vanuit de landbouw naar het oppervlaktewater. Eindrapport, mei 2014. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen (KU Leuven) en de Bodemkundige Dienst van België. 318 pp.
- Van Vooren, L., Reubens, B., Broekx, S., Pardon, P., Reheul, D., van Winsen, F., Verheyen, K., Wauters, E., Lauwers, L., 2016. Greening and producing: An economic assessment framework for integrating trees in cropping systems. *Agricultural Systems* 148, 44-57.
- VLM, 2015. Organische stof in de bodem.
- Wotherspoon, A., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Voroney, R.P. (2014). Carbon sequestration potential of five tree species in a 25-year-old temperate tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agrofor. Syst.* 88, 631-643. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-014-9719-0>.
- Zhang, P., 1999. Nutrient Inputs from Trees via Throughfall, Stemflow and Litterfall in an Intercropping System. M.Sc. Dissertation. University of Guelph (120p.).