Wetenschappelijk kader voor het gebruik van houtsnippers als organische bodemverbeteraar in de Vlaamse landbouw

Overzicht van de huidige kennis en ervaringen in Vlaanderen
op basis van onderzoeks- en demoprojecten

Januari 2021

Contact: Bodemkundige Dienst van België vzw
W. de Croylaan 48, 3001 Leuven-Heverlee
e-mail: info@bdb.be
tel.: +32 (0)16 31 09 22
Mia Tits: mtits@bdb.be
Annemie Elsen: aelsen@bdb.be

Verspreiding: OVAM (enkel intern gebruik), Bodemkundige Dienst van België

Te citeren als: Tits M., Elsen A. (2021) Wetenschappelijk kader voor het gebruik van houtsnippers als organische bodemverbeteraar in de Vlaamse landbouw – Overzicht van de huidige kennis en ervaringen in Vlaanderen op basis van onderzoeks- en demoprojecten. Bodemkundige Dienst van België, 61 pp.

Inhoud

1. Definitie ... 3
2. Achtergrond, doelstelling ... 4
3. Literatuur ... 5
3.1. Takkenhoutsnippers als nevenproduct van bosbouw ... 5
3.2. Mulchen of inwerken van snoeihout in boomgaarden ... 5
3.3. Effecten van het inwerken van takkenhoutsnippers en snoeihout ... 5
3.3.1 Verhoging van het organische-stofgehalte en koolstofopslag in de bodem ... 5
3.3.2 Verbeterde bodemstructuur, waterhuishouding en erosiebestrijding ... 6
3.3.3 Microbieel bodemleven ... 6
3.3.4 Beschikbaarheid van voedingselementen (N) ... 7
3.3.5 Gewasontwikkeling en opbrengst ... 9
3.4. Techniek ... 9
3.4.1 Welke houtsnippers ... 9
3.4.2 Wanneer moeten houtsnippers toegediend worden? ... 10
3.4.3 Hoeveel houtsnippers toedienen? ... 10
3.4.4 Inoculatie met bosgrond ... 10
3.4.5 Inwerken van de houtsnippers ... 11
3.4.6 Zaaien ... 11
4. Onderzoeks- en demoprojecten met houtsnippers in Vlaanderen ... 12
4.1. Koester de Koolstof ... 12
4.2. Koester de Kempense Koolstof ... 14
4.3. Koolstofcirkels in Haspengouwse land- en tuinbouw ... 16
4.4. Leve(n)de Bodem ... 17
4.5. SoilCare ... 18
5. Onderzoek houtsnippers ... 20
5.1. Samenstelling van de gebruikte houtsnippers ... 20
5.2. Gedrag van houtsnippers in de bodem ... 22
5.2.1 Afbraak op korte termijn in veldomstandigheden (strooiselzakjes) ... 22
5.2.2 Afbraakdynamiek op langere termijn in labo-omstandigheden (incubatieproeven) ... 23
5.2.3 Lange-termijnopbouw van organische stof en vergelijking met andere organische materialen (simulaties met Cslim©) ... 26
6. Veldproeven ... 31
6.1. Overzicht veldproeven ... 31
6.2. Proefveldresultaten ... 33
6.2.1 Organische koolstof ... 33
6.2.2 Infiltratiesnelheid ... 35
6.2.3 Aggregaatstabiliteit ... 38

6.2.4 Minerale stikstof ... 39
6.2.5 Gewasopkomst en plantenaantallen ... 45
6.2.6 Gewasgroei en -opbrengst ... 48
6.2.7 Bodemleven ... 52
7. Besluiten ... 54
7.1. Organische-stofopbouw ... 54
7.2. Bodemstructuur en -waterhuishouding, infiltratiesnelheid, erosiegevoeligheid ... 54
7.3. Minerale-N-dynamiek ... 55
7.4. Gewasopkomst ... 55
7.5. Gewasopbrengst ... **Error! Bookmark not defined.**
7.6. Bodemleven ... **Error! Bookmark not defined.**
7.7. Praktisch ... 55
7.7.1 Wetgeving ... 55
7.7.2 Beschikbaarheid van houtsnippers ... 55
7.7.3 Logistiek en kosten ... 56
7.7.4 Carbon farming - mogelijkheden in Vlaanderen ... **Error! Bookmark not defined.**
8. Referenties ... 57

1. Definitie

Wikipedia: Ramial chipped wood (RCW), also called BRF (from the French name, bois raméal fragmenté, "chipped branch-wood"), is a type of woodchips made solely from small to medium-sized branches. The adjective "ramial" refers to branches (rami). RCW is a forest product used in agriculture for mulching and soil enrichment. It may be laid on top of the soil (as in mulching), mixed into it (as a green manure), or composted first and then applied. RCW consists of the twigs and branches of trees and woody shrubs, preferably deciduous, including small limbs up to 7 cm (23⁄4 in.) in diameter. It is processed into small pieces by chipping, and the resulting product has a relatively high ratio of cambium to cellulose compared to other chipped wood products. Thus, it is higher in nutrients and is an effective promoter of the growth of soil fungi and of soil-building in general. The goal is to develop an airy and spongy soil that holds an ideal amount of water and resists evaporation and compaction, while containing a long-term source of fertility. It can effectively serve as a panacea for depleted and eroded soils. The raw material is primarily a byproduct of the hardwood logging industry, where it was traditionally regarded as a waste material. Research into forest soils and ecosystems at Laval University (Quebec, Canada) led to the recognition of the value of this material and to research into its uses.

2. Achtergrond, doelstelling

In zowat heel Vlaanderen vormen de lage organische-stofgehaltes in de landbouwbodems een belangrijk probleem (Tits et al., 2020). In de helft van de akkers en 52% van de weilanden ligt het koolstofgehalte onder de streefzone (= zone van de optimale toestand). Organische stof is de sleutel tot een goede bodemkwaliteit, een betere bodemvruchtbaarheid en waterhuishouding, een betere bodemweerbaarheid en een actiever bodemleven. Om het organische-stofgehalte en de bodemkwaliteit opnieuw op peil te brengen is een regelmatige aanvoer van vers organisch materiaal onontbeerlijk.

Ook in verband met de klimaatopwarming en de opslag van koolstof in de bodem wordt meer en meer gekeken naar landbouwbodems als mogelijke en interessante koolstofsinks. Voorbeelden hiervan zijn projecten zoals Landbouwers-Koolstofbouwers (https://www.bdb.be/Productendiensten/Onderzoekstudies/Landbouwers_Koolstofbouwers/tabid/339/language/nl-BE/Default.aspx), Koolstofboeren (https://www.boerennatuur.be/koolstofboeren/), Carbon Farming (https://northsearegion.eu/carbon-farming/), enz. Door meer koolstof in de bodem op te slaan kunnen landbouwers niet alleen de bodemkwaliteit van hun percelen verbeteren, maar ook bijdragen aan klimaatmitigatie.

Het organische-stofgehalte in de bodem kan opgekrikt worden door de aanvoer van extra vers organisch materiaal zoals gewasresten, dierlijke en andere organische mest. Echter, aanvoer van vers organisch materiaal onder vorm van dierlijke en andere organische mest is gebonden aan beperkingen door de mestwetgeving (https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Bemestingsnormen_2021.pdf), in verband met de N- en P-aanvoer door dit materiaal.

Anderzijds wordt het agrarisch landschap in Vlaanderen vaak gekenmerkt door een mozaïek van akkers, weilanden en boomgaarden, omzoomd met kleine landschapselementen (KLE's) zoals houtranden, struiken, bomenrijen, holle wegen, enz. Historisch gezien hadden deze landschapselementen verschillende praktische functies: tegengaan van winderosie en creëren van een gunstig microklimaat voor gewasgroei, productie van brandhout, afbakening van velden, omheining van weilanden, beschutting van het vee enz. Het zijn ook belangrijke leefgebieden voor allerlei soorten planten en kleine diersoorten. In de afgelopen decennia zijn veel van deze landschapselementen echter verdwenen door intensivering van de landbouw. De resterende KLE's maken deel uit van ons cultureel erfgoed en maken het landschap aantrekkelijker voor recreanten. Ze worden echter vaak niet meer goed onderhouden, hoewel regelmatig onderhoud van de heggen nodig is om een duurzaam gebruik van de aangrenzende velden te behouden.

De laatste jaren komen de voordelen van kleine-landschapselementen echter meer en meer opnieuw in beeld. Vanuit de overheid (Vlaamse Landmaatschappij) wordt het onderhoud van KLE's aangemoedigd door de mogelijkheid tot het sluiten van beheersovereenkomsten (https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Beheerovereenkomsten/Fiches%20BO%20PDPOIII/KLE_met_EU_web.pdf). En ook vanuit de verschillende Regionale Landschappen en tal van gemeenten rijzen nieuwe initiatieven om aan landschapsbeheer te doen als paddestoelen uit de grond (bv. verschillende projecten van Boerennatuur: https://www.boerennatuur.be/werking/onze-projecten/) en wordt er nagedacht over vergoedingen voor landbouwers hiervoor maatregelen toe te passen.

Het houtafval dat ontstaat bij het onderhoud van KLE's wordt vaak gebruikt als biobrandstof, maar de kleinere takkenfracties zijn hiervoor niet geschikt. In plaats daarvan zouden ze kunnen worden versnipperd. Deze houtsnippers kunnen toegepast worden in landbouwvelden om het gehalte aan organische stof in de bodem en de bodemkwaliteit in het algemeen te verbeteren en zo de koolstofkringloop te sluiten.

3. Literatuur

3.1. Takkenhoutsnippers als nevenproduct van bosbouw

Het takkenhoutsnipper-verhaal in de landbouw begon in het midden van de jaren '70 in Canada, waar men op zoek ging naar nieuwe producten die konden afgeleid worden uit de enorme hopen takken die na houtkap verspild werden (Caron, 1994). In de zomer van 1978 werden daar dan ook de eerste veldproeven aangelegd met loofhout ("ramial chipped wood" (RCW)). In deze context refereert "Ramial wood", of "Bois raméal" in het Frans, naar twijgen met een diameter kleiner dan 7 cm die niet als brandhout (kunnen) gebruikt worden.

In 2002 en de daaropvolgende jaren werden in België proeven met takkenhoutsnippers ("bois raméal fragmenté", (BFR)) aangelegd op het Centre des technologies agronomiques in Strée (Archambeaud & Noël, 2006). De techniek bleek in deze proeven een ideaal hulpmiddel te zijn voor de aanpak van actuele problemen zoals erosie, nitraatuitspoeling, daling van de biodiversiteit en de biologische bodemvruchtbaarheid. Uit de metingen bleek dat de toediening van 100 m³/ha takkenhoutsnippers aanleiding gaf tot de vorming van 7,5 t/ha humus (stabiele organische stof in de bodem), met alle positieve gevolgen van dien voor de bodemstructuur, zijn waterinfiltrerend en waterhoudend vermogen en zijn nutriëntenleverend vermogen.

3.2. Mulchen of inwerken van snoeihout in boomgaarden

Naast de ervaringen met takkenhoutsnippers afkomstig van bosbeheer en bosbouw in Canada en Wallonië bestaat er ook interessante ervaring in Vlaanderen en andere Europese landen met het mulchen of inwerken van snoeihout en zelfs versnipperde boomstronken (na rooien van bomen) in fruitboomgaarden. In plaats van snoeihoutafval af te voeren (bv. als houtige biomassa voor energieproductie) kan het als mulch op de bodem worden achtergelaten (vooral met het oog op erosiebestrijding en verbetering van de bodem-waterhuishouding in olijfboomgaarden in de Middellandse-Zeegebieden) (Moreno-Garcia et al., 2018; Calatrava & Franco, 2011; Montanaro et al., 2017) of worden ingewerkt in de bodem van de boomgaard. Zowel mulchen als inwerken in de bodem heeft een positieve invloed op het organische-stofgehalte van de bodem en de algehele bodemkwaliteit.

3.3. Effecten van het inwerken van takkenhoutsnippers en snoeihout

3.3.1 Verhoging van het organische-stofgehalte en koolstofopslag in de bodem

Omwille van het hoge gehalte aan resistent organisch materiaal worden takkenhoutsnippers (of gesnipperd snoeiafval) beschouwd als een ideale bodemverbeteraar om het gehalte aan stabiele organische stof in de bodem op relatief korte tot middellange termijn te verhogen (Noël, 2006).

N'dayegamiye & Angers (1993) vonden na 2-jaarlijkse toedieningen van 25, 50 en 100 t/ha gesnipperd snoeihout gedurende 9 jaar op een teeltrotatie met tarwe, gerst en maïs op een zandleembodem in Canada een stijging van het organische-koolstofgehalte met 16 tot 37% en een accumulatie van stabiele organische stof.

In proeven uitgevoerd in België werd aangetoond dat 1 m³ takkenhoutsnippers aanleiding gaf tot de productie van 75 kg humus, hetzij 7,5 t/ha humus bij een toediening van 100 m³/ha, tijdens de eerste twee jaar na de toediening (Archembeaud & Noël, 2006). In een leembodem met 1,0%C komt dit ongeveer overeen met een stijging van het organische-koolstofgehalte met 0,2%.

Ook in andere onderzoeken werden gelijkaardige effecten aangetoond (o.a. Tremblay & Beauchamp, 1997; Repullo et al., 2012).

In onze klimaat- en bodemomstandigheden is de bodem in staat om jaarlijks 143 m³/ha takkenhoutsnippers (BRF) af te breken en om te zetten naar humus (Noël, 2006). Deze snelle afbraak is het gevolg van de stimulerende werking van de houtsnippers op het bodemleven.

De afbraaksnelheid is afhankelijk van de inertheid van het materiaal en de activiteit van de micro-organismen, die op haar beurt afhangt van factoren als temperatuur, pH, zuurstofvoorziening, vochtgehalte en de aard van het af te breken organisch materiaal (Schurink & Russchen, 2011). Is de organische stof stabiel, dan is deze inert en de afbraaksnelheid ervan is erg traag. Deze fractie zorgt voor structuur in de bodem en draagt bij aan het vochtleverend vermogen voor het gewas. Is de organische stof instabiel, dan bestaat deze meer uit versere delen, zoals bijvoorbeeld plantenresten en organische meststoffen.

3.3.2 Verbeterde bodemstructuur, waterhuishouding en erosiebestrijding

3.3.2.1 Korte termijn: fysische impact houtsnippers

Het inwerken van houtsnippers heeft een positieve invloed op

- het vochthoudend vermogen van de bodem (Tremblay & Beauchamp, 1997);
- de porositeit, structuur en algehele fysische bodemkwaliteit, dankzij een toename van de schimmelpopulatie (Germer et al., 2017);
- de aggregaatstabiliteit op korte termijn (8 weken), dankzij de stimulering van de schimmelpopulaties in de bodem (Lalande et al., 1998); N'dayegamiye & Angers (1993) vond echter, ondanks een duidelijke toename van het organische-stofgehalte in de bodem na de toediening van houtsnippers, geen effect op het percentage stabiele aggregaten.

Wanneer houtsnippers of versnipperd snoeiafval gemulcht worden op het bodemoppervlak zijn er een duidelijk positieve effecten met betrekking tot

- het tegengaan van het uitdrogen van de bodem;
- erosiebestrijding (Moreno-Garcia et al., 2018; Calatrava & Franco, 2011; Montanaro et al., 2017).

3.3.2.2 Lange termijn: verhoging organische-stofgehalte

Zie 3.3.1. Verhogen van het organische-stofgehalte van de bodem leidt tot een betere bodemstructuur, waterhuishouding en minder erosie.

3.3.3 Microbieel bodemleven

De afbraak of mineralisatie en omzetting van organisch materiaal zijn biologische processen die hoofdzakelijk worden uitgevoerd door bacteriën en schimmels. Naarmate het aangevoerde organische materiaal een C/N-verhouding heeft die beter is afgestemd op de C/N-verhouding van het microbiële bodemleven dat instaat voor de afbraak en omzetting ervan, zijn de positieve effecten op dit bodemleven groter. Bacteriën hebben een C/N-verhouding tussen 5 en 7 en bij schimmels varieert deze tussen 7 en 25 (http://www.soilhealth.com/soil-health/organisms/fungi-bact/). Daardoor stijgt de verhouding schimmels/bacteriën in de bodem naarmate de C/N-verhouding van het aangevoerde vers organisch materiaal stijgt (Grosso et al., 2016) en zien we bv. in bosbodems, waar het strooisel typisch een hoger C/N-verhouding heeft, een overheersing van de schimmels t.o.v. bacteriën, terwijl in akkerbodems, door de aanvoer van N-rijke gewasresten en organische mest, de bacteriën overheersen.

Volgens Six et al. (2006) heeft vooral de aanwezigheid van schimmels in de bodem een groter positief effect op de bodemkwaliteit en op de capaciteit om koolstof stabiel op te slaan. Een kwantitatieve en kwalitatieve verbetering van de organische stof in de bodem wordt meestal waargenomen in agro-ecosystemen die een microbieel leven gedomineerd door schimmels bevorderen.

Lalande et al. (1998) vonden een snelle stijging (binnen 8 weken) van zowel de bacterie- als de schimmelpopulaties na de inwerking van takkenhoutsnippers, die geleidelijk afvlakte in het tweede seizoen na de toediening. Het effect op de schimmelpopulatie was groter en duurde langer en zorgde voor een significante verbetering van de bodemstructuur (aggregaatstabiliteit).

Ook Tremblay en Beauchamp (1997) vonden een (tijdelijke) stijging van schimmelpopulaties in de bodem na inwerken van houtsnippers.

3.3.4 Beschikbaarheid van voedingselementen (N)

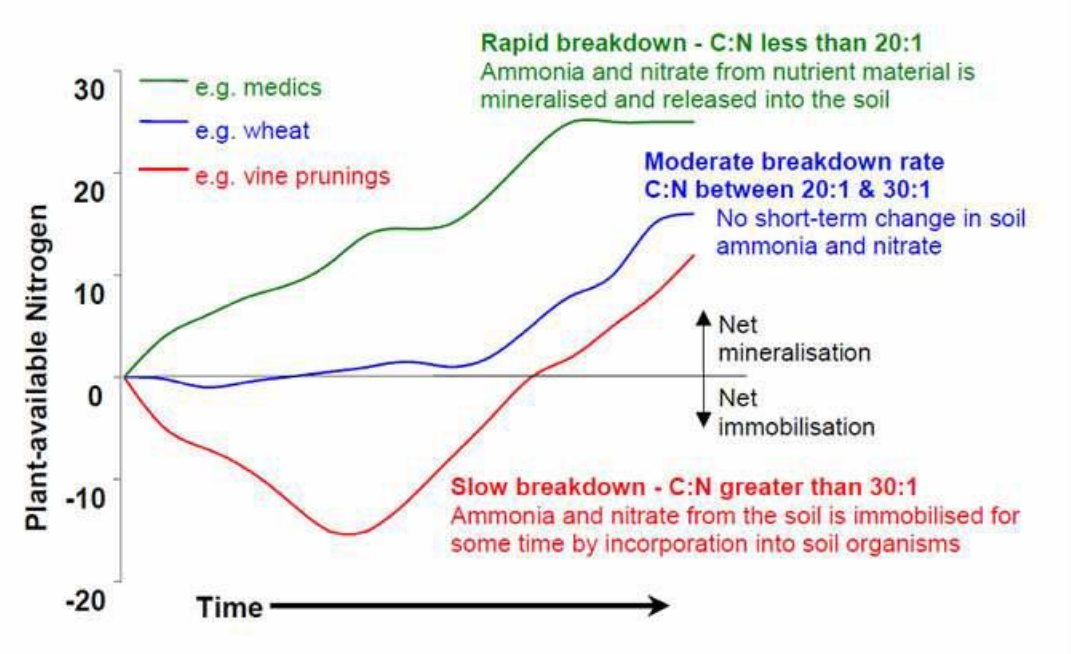
3.3.4.1 Korte termijn: N-immobilisatie

De aanvoer van vers organisch materiaal met een gunstige C/N-verhouding heeft een belangrijk positief effect op de algehele bodemkwaliteit. Dergelijk organisch materiaal stimuleert immers het bodemleven en dus ook de nutriëntenkringloop, zonder dat er concurrentie voor stikstof ontstaat tussen planten en micro-organismen. Gewassen kunnen op deze manier een optimale opbrengst produceren. Kunstmest zal tot op een zeker niveau ook leiden tot een hogere gewasopbrengst, maar stimuleert het bodemleven en dus de nutriëntenkringloop niet omdat er geen koolstofaanvoer is. Op langere termijn is het dus noodzakelijk om koolstof aan te voeren, bv. in de vorm van vaste mest, compost of houtsnippers, om het bodemleven en dus de nutriëntenkringloop in stand te houden.

Algemeen wordt gesteld dat een C/N-verhouding van 30 (20 à 40) van het aangevoerde organisch materiaal optimaal is voor het bevorderen van het bodemleven zonder de gewasopname van nutriënten in het gedrang te brengen. Bij toediening van organisch materiaal met een hogere C/N-verhouding treedt netto stikstofimmobilisatie op, d.w.z. dat de micro-organismen extra minerale N uit de bodem zullen opnemen en vastleggen voor hun eigen groei. Wanneer dit in het najaar gebeurt als er geen gewas meer op het veld staat, is dit een positief effect, omdat het nitraatresidu en de N-uitspoeling tijdens de winter hierdoor gereduceerd worden. In het voorjaar en tijdens het groeiseizoen kan dit immobilisatie-effect zorgen voor een N-tekort voor het gewas en moet er eventueel extra N-bemesting voorzien worden (bv. door het zaaien van vlinderbloemige groenbedekkers/-bemesters, die bij aanvang van het groeiseizoen worden ingewerkt of door het toedienen van drijfmest of kunstmest).

Vanwege de hogere C/N-verhouding van schimmels komt bij de mineralisatie door schimmels meer stikstof vrij dan bij de mineralisatie door bacteriën. Organische materialen met een hoge C/N-verhouding worden dan ook bijna uitsluitend door schimmels afgebroken. Op kalkrijke kleigronden spelen bacteriën een grote rol bij de omzetting van organisch materiaal. Op zure zandgronden (pH 5) gaan ook schimmels een grote rol spelen bij de mineralisatie (Schurink & Ruschen, 2011).

Uit Figuur 1 blijkt dat bij de afbraak van organisch materiaal met een C/N-verhouding lager dan 20 direct stikstof vrijkomt. Bij een C/N-verhouding tussen de 20 en de 30 komt het vrijkomen van stikstof langzamer op gang en bij een C/N-verhouding groter dan 30 wordt stikstof eerst tijdelijk vastgelegd.



Figuur 1: Mineralisatie/immobilisatie van 3 typen organisch materiaal (Treeby and Goings 2001) new.dpi.vic.gov.au/.../soil-management, overgenomen uit Schurink & Russchen, 2011

In Tabel 1 is de C/N-verhouding van enkele organische materialen weergegeven.

Tabel 1: C/N-verhouding organische materialen (Schurink & Russchen, 2011; Tits et al., 2011)

Organisch materiaal	C/N verhouding
Bodembacteriën	5
Protozoa	10
Nematoden	10
Gft-compost	11-17
Bodemschimmels	15
Stalmest	15
Grasmaaisel	12-19
Hooi	25
Graswortels	20-34
Groencompost van snoeiafval	54
Bladeren	60
Houtsnippers	75
Stro	80
Dennennaalden	80
Turf	115
Zaagsel	325
Bark (houtafval)	491

De C/N-verhouding van houtsnippers afkomstig van dunne takken kan variëren tussen 30 en 170, terwijl de C/N-verhouding van versnipperde stammen kan oplopen tot 750 (Caron, 1994). Het gehalte aan essentiële plantnutriënten (N, P, N, Ca, Mg) neemt toe als de diameter van de takken afneemt. Hoe dikker de takken hoe minder verteerbaar ze worden. Bij zeer hoge C/N-verhouding (bv. stammenhout) kan er zelfs minder N-immobilisatie optreden omdat het bodemleven te weinig gestimuleerd wordt (Larochelle, 1994).

Uit de proeven aangelegd in Wallonië werd de stikstof-immobilisatie door de takkenhoutsnippers afgeleid op basis van de volgende formule: % immobilisatie = 27% + 7,5% per dosis van 100 m³/ha houtsnippers (Archambeaud & Noël, 2006 en Anon., 2006).

In Canadees onderzoek uitgevoerd in 1998 (Lalande et al., 1998) werd enige N-immobilisatie vastgesteld, maar enkel in het seizoen dat onmiddellijk volgde op de toediening van takkenhoutsnippers.

Het stikstofimmobilisatie-effect van de toediening van houtsnippers heeft een gunstige invloed op de beperking van nitraatresidu's en nitraatuitspoeling tijdens de winter. Zo stelde Homyak et al. (2008) voor om houtsnippers te gebruiken in de bosbouw na het kappen van bomen, om de vrijkomende stikstof vast te leggen en te vermijden dat er nitraatuitspoeling optreedt. Om in akkers te vermijden dat er extra stikstofmeststoffen moeten toegediend worden voor de volgende teelten in het eerste jaar na het inwerken van houtsnippers is het inzaaien van vlinderbloemigen een veelbelovende maatregel. De vlinderbloemigen zijn des te effectiever omdat ze enkel stikstof aanvoeren (gratis!) als er te weinig stikstof in de bodem beschikbaar is, hetzij door de opname door een vorige teelt, hetzij door de toediening en afbraak van houtsnippers.

3.3.4.2 Lange termijn: verhogen van het nutriëntenleverend vermogen

Het fenomeen van stikstofimmobilisatie duurt meestal ongeveer één jaar na de inwerking van de houtsnippers. Daarna wordt stikstof, en andere voedingselementen, langzaam opnieuw vrijgezet uit de gevormde humus.

Op langere termijn zal het inwerken van houtsnippers zorgen voor een stijging van het organische-stofgehalte van de bodem en dus van de bodemvruchtbaarheid en het nutriëntenleverend vermogen van de bodem. Zo werd het positieve effect van de inwerking van snoeiafval o.a. vastgesteld in proeven in olijfboomgaarden (Ordonez_fernandez et al., 2015).

3.3.5 Gewasontwikkeling en opbrengst

3.3.5.1 Korte termijn: effecten op volgteelt

In sommige gevallen kan de toediening van houtsnippers leiden tot lagere opbrengsten van het eerste gewas na toediening, toe te schrijven aan de N-immobilisatie (Noël, 2006). Echter, een goed beheer van de bemesting kan dit probleem oplossen. Zo kan de toediening van houtsnippers gecombineerd worden met een drijfmesttoediening of met het inzaaien van vlinderbloemigen, om voldoende stikstof voor de volgteelt te verzekeren.

In de Belgische proeven werd geen remming van kieming of andere fytosanitaire impact waargenomen (de volgende gewassen werden getest: brouwgerst, tijdelijk grasland, grasklaver, hakselmaïs, aardappelen, tarwe, spelt, gerst, bieten, luzerne en brandnetels) (Noël, 2006). De toevoeging van takkenhoutsnippers heeft ook geen invloed op de bodem-pH (Noël, 2006; Germer, 2017). Anderzijds werd wel een verhoging gemeten van minerale voedingselementen zoals P, K, Ca, Mg. In de proeven met aardappelen uitgevoerd in Canada door Tremblay & Beauchamp (1997) werden geen aantastingen door schurft of rhizoctonia als gevolg van de houtsnippertoediening waargenomen.

3.3.5.2 Lange termijn: verhoging organische-stofgehalte en bodemvruchtbaarheid

Zie 3.3.1. Een hoger organische-stofgehalte in de bodem zorgt voor een betere bodemstructuur, waterhuishouding en nutriëntenleverend vermogen, wat de gewasontwikkeling en –opbrengst ten goede komt.

3.4. Techniek

3.4.1 Welke houtsnippers

Als houtsnippers worden toegediend met als doel het verbeteren van het organische-stofgehalte in de bodem, de bodemkwaliteit en de bodemvruchtbaarheid wordt aanbevolen om takkenhout te gebruiken afkomstig van loofbomen en voldoende klein versnipperd:

Loofhout (geen naaldhout): de afbraak en omzetting van houtsnippers in de bodem gebeurt gemakkelijker voor loofhout dan voor naaldhout. Volgens Caron (1994) worden de beste resultaten bekomen met loofhout vanwege de chemische structuur van hun lignine. Ook volgens Krishna & Mohan (2017) is de ligninestructuur verschillend tussen naald- en loofhout en breekt het strooisel van naaldbomen trager af dan dat van loofbomen omdat dit laatste meer kalium en fosfor bevat, minder lignine en minder ether-oplosbare bestanddelen.

Takkenhout (geen stammen of wortels): Volgens Caron (1994) verwijst de term "Ramial wood" (takkenhout) naar taken met een diameter kleiner dan 7 cm. In vergelijking met stamhout bevatten deze takken meer oplosbare of weinig-gepolymeriseerde lignine, de basis voor het ontstaan van bodemaggregaten. Ook volgens Larochelle (1994) is het ligninegehalte in takkenhout hoger dan in stamhout. De voorkeur gaat hier zelfs naar de nog kleinere takken, met een diameter kleiner dan 3 cm, die een nog hoger ligninegehalte hebben dan de dikkere takken. Wat het stikstofgehalte betreft geldt hoe dikker de takken hoe lager het stikstofgehalte.

Snoeihout in boomgaarden: Zoals hoger aangehaald worden in boomgaarden, vooral in de Middellandse-Zeegebieden, ook houtsnippers oppervlakkig toegediend (mulchen) met het oog op erosiebestrijding. In dat geval worden, naast het snoeihout, vaak ook gerooide bomen/stronken in hun geheel versnipperd en uitgespreid over de bodem.

Snippergrootte: Een maximale grootte van 1-3 cm wordt vooropgesteld. De diameter van de takken en de fijnheid van de snippers hebben een invloed op de afbraaksnelheid door de micro-organismen in de bodem (arochelle (1994). Het versnipperen of vemalen van het takkenhout zorgt er voor dat de micro-organismen het hout vlot kunnen binnendringen en dat de nutriënten en energie opgeslagen in het hout goed bereikbaar is (Caron (1994; Lemieux 1993).

3.4.2 Wanneer moeten houtsnippers toegediend worden?

In gematigde klimaatsomstandigheden blijkt het najaar de beste periode te zijn om houtsnippers in te werken in akkers (Caron et al., 1998), idealiter gevolgd door het inzaaien van een groenbedekker. Gedurende de eerste maanden na toediening zal de afbraak van dit materiaal door microörganismen in de bodem immers stikstofimmobilisatie veroorzaken, omwille van zijn relatief hoge C/N-verhouding. Bovendien kunnen de niet-verteerde houtsnippers fysische belemmeringen vormen voor een regelmatige uitzaai en gewasopkomst.

3.4.3 Hoeveel houtsnippers toedienen?

In de verschillende geraadpleegde bronnen werden uiteenlopende hoeveelheden houtsnippers toegediend en ingewerkt, gaande van 25 m³/ha (N'dayegamiye & Angers, 1993) tot meer dan 450 m³/ha (Noël, 2006), aan verschillende frequenties, gaande van eenmalige toedieningen (Larochelle,1994; Noël, 2006; Lalande et al., 1998; Tremblay & Beauchamp, 1997) tot tweejaarlijkse toedieningen gedurende 9 jaar (N'dayegamiye & Angers, 1993).

Wanneer houtsnippers toegediend worden met het oog op het verhogen van het organische-stofgehalte, het verbeteren van de algemene bodemkwaliteit (erosiegevoeligheid, bodemleven, …) stellen Caron et al. (1998) een dosis van 150 – 200 m³ per hectare voorop. Na 3-4 jaar kunnen dan nog bijkomende toedieningen van 10-20 m³ per hectare gegeven worden. Wanneer te grote dosissen toegediend worden, is er minder contact tussen de snippers en de bodem, waardoor de afbraak en omzetting van de snippers vertraagt (Larochelle, 1994).

3.4.4 Inoculatie met bosgrond

Studies hebben aangetoond dat de microörganismen die aanwezig zijn in bosbodems en essentieel zijn voor de afbraak van houtige materialen (Basidiomyceten, symbiotische bacteriën, microarthropoden, …) vaak afwezig zijn in akkerbodems (Caron et al., 1998). Door per hectare 100-200 kg bosgrond (strooisel) toe te voegen zouden deze microörganismen opnieuw kunnen

geïntroduceerd worden (Larochelle, 1994), waardoor de afbraak en omzetting van de houtsnippers naar humus zou bevorderd worden. In de demonstratiepercelen van het project Koester de Koolstof (zie verder) werden echter weinig of geen verschillen waargenomen tussen houtsnippertoedieningen met en zonder toevoeging van bosgrond.

3.4.5 Inwerken van de houtsnippers

Verschillende auteurs (Larochelle, 1994; Caron et al., 1998; Archambeaud & Noël, 2006) stellen dat de houtsnippers oppervlakkig moeten ingewerkt worden in de bovenste laag van 5 tot 10 cm, waar zich de meeste Basidiomyceten (aerobe schimmels) bevinden. Ploegen is uit den boze omdat hierdoor de levenscyclus van de microörganismen wordt afgebroken en de microörganismen te diep begraven worden, waardoor ze minder goed kunnen werken. Niet-kerende grondbewerking is aangewezen (Gilli & Günther, 2012).

Het mulchen is een meer traditionele gebruikswijze van takkenhoutsnippers in bv. boomgaarden, die er in bestaat om het materiaal op de bodem te spreiden en op de oppervlakte te laten liggen, zonder in te werken. Op deze manier wordt het uitdrogen van de bodem en de onkruidgroei tegengegaan (Noël, 2006), en in hellende percelen is dit ook een vorm van erosiebestrijding (zie 3.2). In akkerbouwpercelen is deze techniek echter praktisch niet toepasbaar.

3.4.6 Zaaien

Volgens Archambeaud & Noël (2006) vormt het zaaien, na een correcte inwerking van voldoende klein versnipperde takkenhoutsnippers, geen enkel probleem, zelfs op de dag van inwerking zelf. Zaaien kan gebeuren met een gewone zaaimachine. Voor geen enkele teelt werd fytotoxiciteit vastgesteld.

4. Onderzoeks- en demoprojecten met houtsnippers in Vlaanderen

Geïnspireerd op de ervaringen in Canada en later ook in Wallonië ontstond ook in Vlaanderen het idee om takkenhout afkomstig van het onderhoud van houtkanten te versnipperen en in te werken in akkerbodems om het organische-stofgehalte te verhogen. Dit idee werd in 2016 voor het eerst toegepast in demopercelen in Vlaanderen, in het kader van het Leaderproject Koester de Koolstof. Later volgden nog een hele reeks andere onderzoeks- en demoprojecten. Zo werden proef- en demopercelen aangelegd in verschillende landbouwstreken en bodemtypes (zand, leem) en gevolgd door verschillende akkerbouwteelten (tarwe, suikerbieten, maïs, cichorei, ...) en zelfs in een tweetal laagstamfruitpercelen.

In deze proeven kwamen de volgende aspecten aan bod:

- Effect van het inzaaien van vlinderbloemige of andere groenbedekkers na de toediening;
- Vergelijking met andere organische bodemverbeteraars (stalmest, compost, bokashi);
- Effect van het toevoegen van bosgrond;
- Effect van de manier van inwerken in zandbodem;
- Effect van een tweede toediening na 3 jaar.

In de volgende paragrafen worden de onderzoeks- en demoprojecten kort samengevat.

4.1. Koester de Koolstof

Projectpartners: Agrobeheercentrum Eco² (Boerennatuur), Bodemkundige Dienst van België

Projectperiode: 2016-2018

Financierder: Leader Haspengouw

Websites:

https://www.bdb.be/Productendiensten/Onderzoekstudies/Koesterdekoolstof/tabid/140/language/nl-BE/Default.aspx

http://www.agrobeheercentrum.be/Projecten/Koester-de-koolstof#.YA5_kehKhPY

https://www.boerennatuur.be/koester-de-koolstof-inhoudelijk-eindrapport/

Publicaties:

Tits & Lammens, 2017; Tits & Lammens, 2018; Tits & Vervoort, 2019; Anon, 2019

https://www.tvl.be/programmas/fan-van-limburg-houtsnippers-tegen-bodemerosie-35229

https://www.inagro.be/Artikel?guid=3585

https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/show/Bodemverrijking-met-houtsnippers.htm

https://www.boerderij.nl/Home/Nieuws/2017/11/Houtsnippers-in-bodem-kunnen-bijdragen-aan-meer-koolstof-217207E/

https://vilt.be/nl/nieuws/kunnen-houtsnippers-zich-bewijzen-als-bodemverbeteraar

In het PDPO Leaderproject Koester de Koolstof werd het effect van de toediening van houtsnippers op vier verschillende akkerpercelen in Zuid-Limburg en Voeren opgevolgd gedurende twee jaar (najaar 2016 tot en met najaar 2018). De aanleiding hiervoor was het steeds dalende koolstofgehalte van landbouwgronden, de hoge erosiegevoeligheid van akkers in Zuid-Limburg en het achterstallige beheer van houtkanten gedurende de laatste jaren.

In het najaar 2016 werden vier demonstratieve percelen met takkenhoutsnippers aangelegd, in Tongeren, Gingelom, Hoeselt en Voeren. In deze percelen werden dosissen van 80 en 150 m³/ha houtsnippers in het najaar toegediend en oppervlakkig ingewerkt (10 cm diepte), gevolgd door het inzaaien van vlinderbloemige of niet-vlinderbloemige groenbedekkers en niet-kerende grondbewerking in het voorjaar. Ook de inoculatie van de houtsnippers met bosgrond, om de vertering van de houtsnippers te verbeteren, werd hier uitgetest.

In deze percelen werden een hele reeks waarnemingen en metingen uitgevoerd om de effecten van de toediening van houtsnippers die vooropgesteld worden vanuit de literatuur aan te tonen:

- De chemische samenstelling van de toegediende houtsnippers en bosgrond werd geanalyseerd door de Bodemkundige Dienst.
- Het organische-koolstofgehalte in de bodem werd gemeten bij het begin en het einde van het project.
- De organische-stofevolutie op langere termijn werd geschat met behulp van het Cslim©-model (zie 5.2.3).
- Het effect op het bodemleven werd nagegaan op basis van regenwormtellingen.
- De invloed van de houtsnippers op de erosiegevoeligheid van de bodem werd nagegaan aan de hand van metingen van de infiltratiesnelheid.
- De invloed van de houtsnippers op de stikstofdynamiek in de bodem (mineralisatie, immobilisatie) werd onderzocht aan de hand van bodemanalyses in het voor- en najaar.
- Eventuele (negatieve) effecten op de gewasontwikkeling werden in kaart gebracht door plantentellingen en opbrengstmetingen uit te voeren

Om na te gaan wat het potentieel aan houtkanten in de regio is, werd tenslotte een inventarisatie uitgevoerd van de houtkanten in de buurt van een van de proefpercelen.

Uit de resultaten van dit proefveldonderzoek konden de volgende besluiten afgeleid worden:

- de infiltratiemetingen bevestigden de positieve effecten op de bodem-waterhuishouding en de erosiegevoeligheid;
- de organische-koolstofmetingen en simulaties met Cslim© toonden een significante toename van het organische-stofgehalte op langere termijn aan;
- de minerale-stikstofmetingen illustreerden de tijdelijke stikstofimmobilisatie-effecten, met als positief effect de vermindering van het nitraatresidu in het eerste jaar na toediening;
- de plantentellingen bevestigden dat er, in de omstandigheden van deze percelen (toediening van houtsnippers in het najaar, gecombineerd met de zaai van een groenbedekker gevolgd door een voorjaarsteelt) geen negatieve effecten op de gewasopkomst en -ontwikkeling waren;
- het tijdelijke stikstofimmobilisatie-effect in het voorjaar van 2017 bleek uiteindelijk ook geen invloed te hebben op de gewasopbrengst van suikerbieten.

Uit de resultaten van de inventarisatie van houtkanten rond het perceel in Hoeselt bleek dat er heel wat houtkanten aanwezig zijn, maar dat deze door achterstallig beheer vaak nog weinig hakhout bevatten. Voor de voorziening van houtsnippers kunnen dus wel degelijk lokale houtkanten gebruikt worden, al zullen deze actiever beheerd moeten worden in de toekomst om er meer uit te kunnen halen.

4.2. Koester de Kempense Koolstof

Projectpartners: Agrobeheercentrum Eco², Hooibeekhoeve, Bodemkundige Dienst van België, KU Leuven, gemeente Ravels, gemeente Oud-Turnhout, gemeente Balen, Boerenbond, Regionaal landschap Kleine en Grote Nete en Landelijke Gilde.

Periode: 2018-2020

Financierder: Leader Kempen-Maasland

Websites:

https://www.bdb.be/Productendiensten/Onderzoekstudies/Koesterdekoolstof/tabid/140/language/nl-BE/Default.aspx

https://www.boerennatuur.be/koester-de-kempense-koolstof/

https://www.boerennatuur.be/van-houtkant-tot-in-de-bodem/

https://www.provincieantwerpen.be/aanbod/dese/hooibeekhoeve/praktijkonderzoek-voedergewassen/vergroening-en-agrobiodiversiteit/projecten.html#link1

https://www.boerenbond.be/actualiteit/van-houtkant-tot-de-bodem

https://ruraalnetwerk.be/projecten/koester-de-kempense-koolstof

Publicaties:

Vervoort et al., 2020

https://vilt.be/nl/nieuws/houtsnippers-verrijken-bodem

In het Leader-project Koester de Kempense Koolstof werd de mogelijkheid onderzocht om aan de restfractie afkomstig van het beheer van houtkanten een duurzaam gebruik te koppelen als bodemverbeteraar in de landbouw. Het potentieel van de houtsnippertechniek in de Kempense landbouwbodem werd onderzocht.

In het voorjaar van 2018 werden door Hooibeekhoeve drie demopercelen aangelegd met toediening van houtsnippers, in Balen, Ravels en Retie. Op de demopercelen werd telkens een vergelijking gemaakt van stroken met en zonder houtsnippers aan een dosis van 150 m³ per ha, dit zowel in het voor- als in het najaar van 2018. In de literatuur (zie 3.4.5) wordt aangegeven dat de toepassing van houtsnippers het meest effect heeft wanneer dit wordt gecombineerd met een niet-kerende grondbewerking. Meerjarige proeven van Hooibeekhoeve laten echter zien dat niet-kerende bodembewerking op de Kempense zandgrond en binnen een teeltplan met veel maïs en gras geen evidentie is. Omwille van deze ervaring werd ook een vergelijking van bodembewerkingen meegenomen op de verschillende demovelden, nl. ploegen, spitten, diepe en ondiepe niet-kerende bodembewerking. Op de percelen te Balen en Ravels werd er gedurende twee jaar maïs geteeld. In Retie werd in 2018 maïs en in 2019 suikerbieten geteeld.

Deze proeven werden gedurende twee jaar opgevolgd, tot in het voorjaar van 2020 en de volgende waarnemingen en metingen werden uitgevoerd:

- De samenstelling van alle gebruikte snippers werd geanalyseerd door de Bodemkundige Dienst van België.
- Chemisch bodemparameters: organische-stofgehalte bij het begin en einde van de proef, minerale-N-gehalte op verschillende tijdstippen tijdens het groeiseizoen.
- Fysische bodemparameters: aggregaatstabiliteit.
- Gewasopbrengst.

- Opvolging van de afbraak van houtsnippers in de bodem door het ingraven van strooiselzakjes met twee verschillende soorten houtsnippers (notelaar en populier).
- Nagaan van de interactie met het bodemleven aan de hand van de theezakjestest (Keuskamp et al., 2013).

Bij KU Leuven werd bovendien een incubatie-experiment gestart, om het gedrag van de snippers in de bodem beter in kaart te kunnen brengen. Twee verschillende soorten snippers (eik en wilg) werden toegevoegd aan bodem afkomstig van twee verschillende locaties en in gecontroleerde omstandigheden geïncubeerd bij 25°C gedurende 250 dagen. De dosis snippers kwam overeen met een toepassing van 40 ton of ongeveer 150 m³ verse snippers per hectare.

Rekening houdend met al deze resultaten werden tenslotte de lange-termijneffecten van de houtsnippertoediening gesimuleerd met behulp van de Cslim©-applicatie van de Bodemkundige Dienst van België (zie 5.2.3).

Uit de resultaten van dit onderzoek werden de volgende besluiten afgeleid:

- Het gebruik van houtsnippers als bodemverbeteraar voor de landbouw draagt bij aan het sluiten van kringlopen en een maximale valorisatie van biomassa(rest)stromen uit het landschap. Het toedienen op akkers van versnipperd, lokaal geoogst hout uit een ecologisch georiënteerd landschapsbeheer is een hoogwaardige toepassing volgens het cascadeprincipe voor (biomassa)reststromen (Ladder van Lansink).
- Voor de organische-stofopbouw in de bodem zijn houtsnippers een interessante grondstof door hun hoge C/N-verhouding. Simulaties met de Cslim©-applicatie en incubatieproeven tonen dat de houtsnippertechniek een traag afbrekende koolstofbron in de bodem brengt die het potentieel heeft om op langere termijn de voorraden aan bodemkoolstof duurzaam te verhogen en op die manier de bodemkwaliteit te verbeteren. Tegelijk tonen de proeven en simulaties aan dat dit positieve effect niet op korte termijn verwacht moet worden, maar eerder als een investering op langere termijn. Vooral in het teken van de klimaatopwarming kan een hoger organische-stofgehalte de weerbaarheid van de bodem tegen o.a. droogte verhogen.
- Een bodemparameter die wel op korte termijn sterk kan worden beïnvloed door het toepassen van houtsnippers is de hoeveelheid beschikbare stikstof. De afbraak van de houtsnippers door bodem-micro-organismen gaat immers gepaard met een tijdelijke vastlegging of immobilisatie van minerale stikstof. Dat kan een gewenst effect zijn (minder stikstofuitspoeling in het najaar en de winter) maar kan ook tijdelijk leiden tot stikstoftekorten bij de gewassen en dus verlies aan opbrengst. Het effect van snippers op de bodemstikstof is afhankelijk van de soort snippers en de snelheid waarmee de houtsnippers in de bodem worden afgebroken, wat op haar beurt afhankelijk is van bodemomstandigheden (e.g. bodemtype, temperatuur, vochtgehalte, voorgeschiedenis…). Immobilisatie kan zich ook nog voordoen in het jaar na toepassing. Het is daarom zeer belangrijk om, na de toediening, het minerale-stikstofgehalte in de bodem voor de volgende teelt goed op te volgen.
- Een belangrijke praktische kanttekening is de beperkte beschikbaarheid van houtsnippers van goede kwaliteit en de logistieke kant van het houtkantenbeheer. Die zorgen voor significante drempels om deze techniek volwaardig te integreren in de landschapszorg. Door meer in te zetten op een gefaseerde, planmatige aanpak door verschillende actoren in het landschap (e.g. gemeente, landbouwers, loonwerker,…) kan deze toepassing wel kansen creëren voor een evenwichtig beheer dat gedragen is door alle belanghebbenden. Zo kan het agrarisch landschap weer ruimte bieden voor biodiverse en multifunctionele houtkanten. Ook rond de economische aspecten zijn er nog vragen. De kostprijs van de houtsnippers enerzijds en de opbrengstderving na toediening anderzijds maken dat de (teelt)kosten op korte termijn stijgen zonder dat daar een direct rendement tegenover staat. Dit kan voor landbouwers een struikelblok zijn om met de techniek aan de slag te gaan. Daarom is het belangrijk dat het opslaan van koolstof in de bodem

door hergebruik van biomassa afkomstig van duurzaam houtkantenbeheer als maatregel gestimuleerd en gedragen wordt door het Vlaamse landbouwbeleid.

4.3. Koolstofcirkels in Haspengouwse land- en tuinbouw

Projectpartners: Agrobeheercentrum Eco² (Boerennatuur), Bodemkundige Dienst van België, PIBO campus Tongeren, PCfruit

Periode: 2019-2021

Financierder: Leader Haspengouw

Websites:

https://www.bdb.be/Productendiensten/Onderzoekstudies/Koolstofcirkels_Haspengouw/tabid/340/language/nl-BE/Default.aspx

http://www.agrobeheercentrum.be/Projecten/Koolstofcirkels#.YA6Az-hKhPY

https://www.pibo-campus.be/projecten/lopende-projecten/leader-koolstofcirkels/

https://www.pcfruit.be/nl/onderzoek/onderzoeksdomeinen/bodem/erosie-de-sier-en-fruitteelt/koolstofcirkels-haspengouwse-land-en

http://www.limburg.be/Limburg/Goedgekeurde-projecten/Projecten/Koolstofcirkels-in-Haspengouwse-land-en-tuinbouw.html

Publicaties:

https://www.tvl.be/programmas/hallo-limburg-wakker-op-de-akker-koolstofcirkels-104687

Op basis van de positieve ervaringen van het Koester-de-Koolstofproject werd in 2019 een vervolgproject opgestart in dezelfde regio. Dit project is tot op heden nog lopend. Het proefveld dat in het Koester-de-Koolstofproject werd aangelegd en opgevolgd te Tongeren wordt in dit project verder opgevolgd en uitgebreid met bijkomende houtsnipperbehandelingen en met verschillende houtsnippersoorten. Op dit perceel werden in 2019 suikerbieten en in 2020 wintertarwe geteeld. Daarnaast wordt ook het demoperceel te Hoeselt (2019 cichorei, 2020 wintertarwe) nog in beperkte mate verder opgevolgd.

In dit project worden daarnaast ook de mogelijkheden voor valorisatie van hout in fruitplantages nagegaan. In laagstamfruitplantages komen bij het rooien grote hoeveelheden hout vrij. Het stamhout wordt er vaak uitgehaald om te gebruiken als brandhout en de overige takken en wortels werden vroeger samengeduwd en verbrand. Het verbranden is echter wettelijk niet meer toegestaan. Daarom wordt in dit project nagegaan of het infrezen en onderwerken van volledige bomen een alternatief kan zijn voor het opbranden. In het kader hiervan werden 2 bijkomende proeven aangelegd te Sint-Truiden, 1 in een appel- en 1 in een perenboomgaard, waarin het effect van het infrezen van gerooide bomen in de bodem werd nagegaan.

Dit project is tot op heden nog lopend en tot nu toe werden de volgende waarnemingen en metingen uitgevoerd:

- De samenstelling van de gebruikte snippers werd geanalyseerd door de Bodemkundige Dienst van België.
- Chemische bodemparameters: organische-stofgehalte bij het begin en einde van de proef, minerale-N-gehalte op verschillende tijdstippen tijdens het groeiseizoen.
- Bodemstructuur: aggregaatstabiliteit
- Suikerbieten, wintertarwe: gewasopbrengst
- Fruitbomen:

  - bepaling van stamomtrek en gemiddelde scheutlengte en bodemvolume op verschillende tijdstippen
  - Opbrengstbepalingen, minerale samenstelling van bladeren en vruchten en vruchtkwaliteit

- De lange-termijnevolutie van organische stof in de bodem werd geschat voor de verschillende behandelingen in het perceel te Tongeren met behulp van de Cslim©-applicatie.

4.4. Leve(n)de Bodem

Projectpartners: Bodemkundige Dienst van België, Agrobeheercentrum Eco², Agriton

Periode: 2017-2019

Financierder: Provincie Vlaams-Brabant (Interreg)

Publicaties:

Vanrespaille et al., 2019

https://leden.inagro.be/levendebodem/Artikel/guid/5531

In 2017-2019 voerde de Bodemkundige Dienst van België, in samenwerking met Agrobeheercentrum Eco² en Agriton, het onderzoek "Praktijkevaluatie bodemverbeterende middelen: stalmest, bokashi en houtsnippers" uit in opdracht van de Provincie Vlaams-Brabant binnen het Interreg-project Leve(n)de Bodem.

In het kader van dit project werd de toepassing van houtsnippers getest en gedemonstreerd op 2 praktijkvelden:

- In Molenstede (Diest) op een maïsperceel op zandbodem met een tamelijk laag organische-koolstofgehalte; in dit perceel werd een normale drijfmesttoediening van 40 ton/ha uitgevoerd. In het voorjaar werden 2 stroken aangelegd: één strook met toediening van 41 ton/ha houtsnippers (oppervlakkig ingewerkt) en een tweede met de normale praktijk van de landbouwer, zonder extra toediening van organisch materiaal.
- In Tielt-Winge op een korrelmaïsperceel met een akkerbouwhistoriek van suikerbieten, wintertarwe en wintergerst, op een lemig-zandbodem met een laag organische-koolstofgehalte; in dit perceel werden vier stroken aangelegd met varkensdrijfmest, houtsnippers, stalmest en bokashi. De houtsnippers werden in het voorjaar ingewerkt aan een dosis van 27 ton/ha en gecombineerd met een drijfmesttoediening van 20 ton/ha.

De volgende waarnemingen en metingen werden uitgevoerd:

- Analyse van de gebruikte bodemverbeterende middelen (houtsnippers, stalmest, drijfmest, bokashi)
- Opvolging van de gewasgroei tijdens het groeiseizoen: opkomsttellingen.
- Opvolging van de minerale stikstof in de bodem op verschillende tijdstippen tijdens het groeiseizoen en in het najaar.
- Gewasopbrengsten.

Ook hier werd de lange-termijnevolutie van het organische-koolstofgehalte voor de verschillende behandelingen gesimuleerd met Cslim©.

Uit de resultaten van dit onderzoek konden, met betrekking tot houtsnippers, de volgende besluiten afgeleid worden:

- Uit de houtsnipperanalyses blijkt dat houtsnippers op milieukundig vlak veilig zijn om te gebruiken.

- Effect op de gewasopkomst en de opbrengst: in Molenstede was de maïsopkomst even goed met als zonder houtsnippers. In Tielt-Winge had de strook met houtsnippers een lagere opkomst dan de andere stroken, maar zonder invloed op de eindopbrengst. In het uitzonderlijk droge 2018 was er zelfs een positief effect van de houtsnippertoediening: op één perceel was de maïsopbrengst gemiddeld extreem laag vanwege de droogte, maar had de strook met houtsnippers beduidend hogere opbrengsten. Tijdens de droogte was N-immobilisatie dus zeker geen beperkende factor op de opbrengst. Door het waterbergend vermogen van de nog niet helemaal verteerde houtsnippers, zou het zelfs kunnen dat water langer beschikbaar was en een deel van de opbrengstderving kon tegengaan.
- In het najaar werd N-immobilisatie vastgesteld. Op de stroken met houtsnippers was de groenbedekker (raaigras) licht vergeeld en kleiner.
- Volgens de CSLIM-modellen zou het toedienen van houtsnippers zorgen voor een directe sprong in organische stof in de bodem. Die bestaat voor een groot deel uit niet-afgebroken materiaal, maar ook het humusgehalte zou een boost van 0,1% C krijgen en nadien gestaag stijgen. Meetresultaten kunnen na één jaar deze bevindingen nog niet bevestigen.

4.5. SoilCare

Projectpartners: Wageningen Research (Nl), Newcastle University (UK), KU Leuven (Be), University of Gloucenstershire (UK), University Hohenheim (Du), RIKS (Nl), Technical University of Crete (Gr), JRC (It), University of Bern (Zwi), Milieu LTD (Be), NIBIO (No), Bodemkundige Dienst van België (Be), Aarhus University (De), GWCT (UK), Teagasc (Ier), ESAC (Po), ICPA (Ro), University of Padova (It), IAPAN (Po), Wageningen University (Nl), University of Pannonia (Ho), Swedish University of Agricultural Sciences (Swe), AgroIntelligence Aps. (De), Crop Research Institute (Tsj), University of Almeria (Sp), FRAB (Fr), Scienceview Media (Nl).

Periode: 2016-2021

Financierder: EU, Horizon2020

Websites:

www.soilcare-project.eu

https://www.bdb.be/Productendiensten/Onderzoekstudies/SoilCare/tabid/136/language/nl-BE/Default.aspx

Publicaties:

Tits et al. (2017); Tits (2018); Dieleman P. (2018)

Het Europees Horizon2020 project SoilCare werd opgestart in 2016. Dit project heeft als doel teeltsystemen en landbouwtechnieken in kaart te brengen die kunnen bijdragen tot de verbetering van de bodemkwaliteit en zodoende ook tot de rendabiliteit en duurzaamheid van de landbouw in Europa. Het project is een samenwerking tussen 28 partners uit verschillende Europese landen en wordt gecoördineerd door WER (Wageningen Environmental Research) (Nederland).

In België is de Bodemkundige Dienst verantwoordelijk voor de uitbouw en opvolging van een studiegebied gelegen in de gemeenten Lubbeek, Bierbeek en Boutersem, ten oosten van Leuven. De Bodemkundige Dienst van België verzorgt er, in samenwerking met de KU Leuven, de aanleg en opvolging van veelbelovende teeltsystemen en is verantwoordelijk voor de productieve samenwerking met alle Vlaamse stakeholders.

Specifiek voor het Vlaamse studiegebied werden, na intensief overleg met de stakeholders, een aantal veelbelovende teeltsystemen geselecteerd om verder uit te testen en te demonstreren in de praktijk, waaronder het gebruik van bodemverbeterende middelen, zoals gft-compost en houtsnippers, in vergelijking met meer traditionele organische bemesting zoals varkensstalmest.

Hiervoor werd in het najaar 2017 op een perceel te Lovenjoel (Bierbeek) een strokenproef aangelegd in 4 herhalingen, waarin de toediening van 150 m^3/ha houtsnippers vergeleken werd met de toediening van analoge hoeveelheden gft-compost en varkensstalmest (rekening houdend met de bemestingsnormen) evenals met een controlebehandeling zonder toediening van extra organisch materiaal. Het perceel heeft een lemig-zandbodem en een initieel zeer laag organische-koolstofgehalte. De proef werd opgevolgd gedurende 3 jaar (najaar 2017 – najaar 2020) en tijdens deze jaren werden achtereenvolgens wintertarwe, wintergerst en aardappelen geteeld.

De volgende waarnemingen en metingen werden uitgevoerd:

- Analyse van de gebruikte organische materialen (houtsnippers, compost, mest)
- Chemische bodemparameters:
    - Organische-koolstofgehalte bij het begin en einde van de proef
    - Minerale-N-gehalte op verschillende tijdstippen tijdens het groeiseizoen en in het najaar
- Fysische bodemparameters:
    - Infiltratiesnelheid
    - Aggregaatstabiliteit
- Gewasontwikkeling (plantenaantallen) en opbrengst

5. Onderzoek houtsnippers

5.1. Samenstelling van de gebruikte houtsnippers

In het kader van de verschillende onderzoeks- en demoprojecten werden stalen van 28 verschillende houtsnipperpartijen, afkomstig van verschillende (onderdelen van) boom- en struiksoorten en met verschillende ouderdommen geanalyseerd. In Figuur 2 worden de belangrijkste analyseresultaten grafisch weergegeven.

De volumedichtheid schommelde tussen 0,14 en 0,40 kg/l, met een gemiddelde van 0.26 kg/l. Dit betekent dat een toediening van 150 m³/ha (aanbevolen hoeveelheid voor een eerste toediening) gemiddeld overeenkomt met een dosis van ongeveer 40 t/ha. Een toediening van 50 m³/ha (aanbevolen 4- of 5-jaarlijkse hoeveelheid) komt dan overeen met ongeveer 13 ton/ha.

Het drogestofgehalte varieert in functie van het soort hout, de bewaartijd en de bewaaromstandigheden. Gemiddeld bedroeg het drogestofgehalte van de geanalyseerde houtsnippers 57% en het schommelde tussen 35 en 88%.

Het organischestofgehalte bedroeg gemiddeld 89% van de droge stof. De meeste stalen hadden een organischestofgehalte van 85% of hoger, maar er waren 2 uitschieters met een duidelijk lager organischestofgehalte van rond de 50%: een houtsnipperstaal met onbekende oorsprong van Hooibeekhoeve en een staal dat genomen werd in een containerpark. Deze resultaten wijzen op de aanwezigheid van een relatief grote hoeveelheid grond in deze stalen.

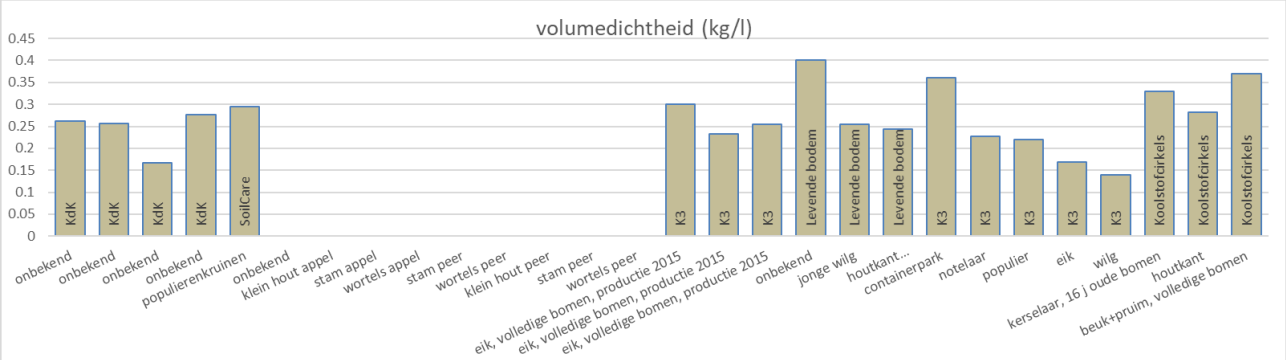
De pH van de stalen bedroeg gemiddeld 6,1 en varieerde tussen 4,7 en 7,4. Ook voor deze parameter werd een afwijkend resultaat vastgesteld voor het containerparkstaal, met een hogere pH (7,4) dan de andere stalen (max. 6,7).

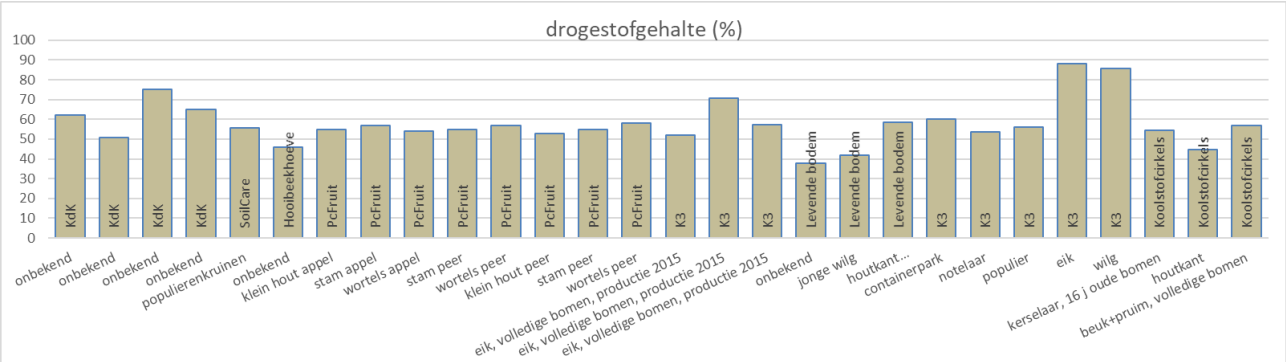
De waarden voor de geleidbaarheid (EC) schommelden voor alle stalen tussen 45 en 148 µS/cm, behalve voor 2 stalen: het containerparkstaal had een hogere waarde van 400 µS/cm en één staal afkomstig van populierenhout had een extreem hoge waarde van 1360. Voor het populierenstaal is de oorzaak van deze hoge waarde niet duidelijk (mogelijk outlier of een foute meting); voor het containerparkstaal wijst de hogere waarde opnieuw op een mogelijke vervuiling van het staal met grond.

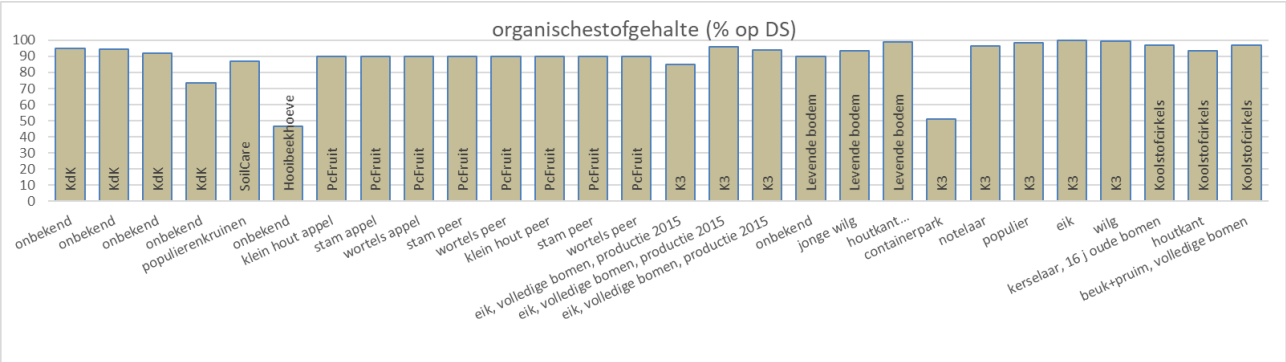
Hetzelfde geldt voor de chloride-gehaltes: het containerparkstaal vertoont een extreem hoge waarde van 168 mg/l, waar de gehaltes van de andere stalen schommelen tussen 7 en 35 mg/l.

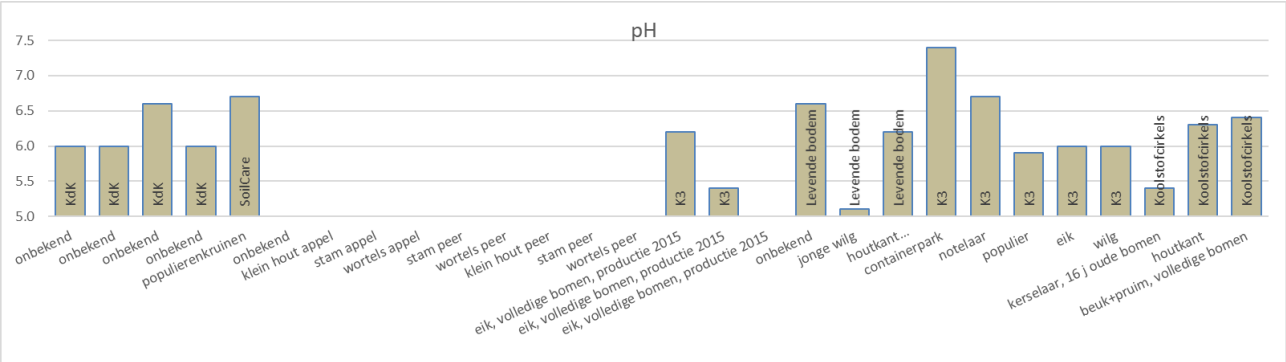
De C/N-verhouding van de houtsnippers varieerde tussen 20 en 151. Daarbij gold (logischerwijze): hoe jonger het hout (dunne takken, groene twijgen), hoe lager de C/N-verhouding. De hoogste C/N-verhoudingen (> 100) werden gemeten bij versnipperde volledige volgroeide bomen. Algemeen geldt dat bij de toediening van organische materiaal met een C/N-verhouding groter dan 30 aan de bodem N-immobilisatie kan verwacht worden.

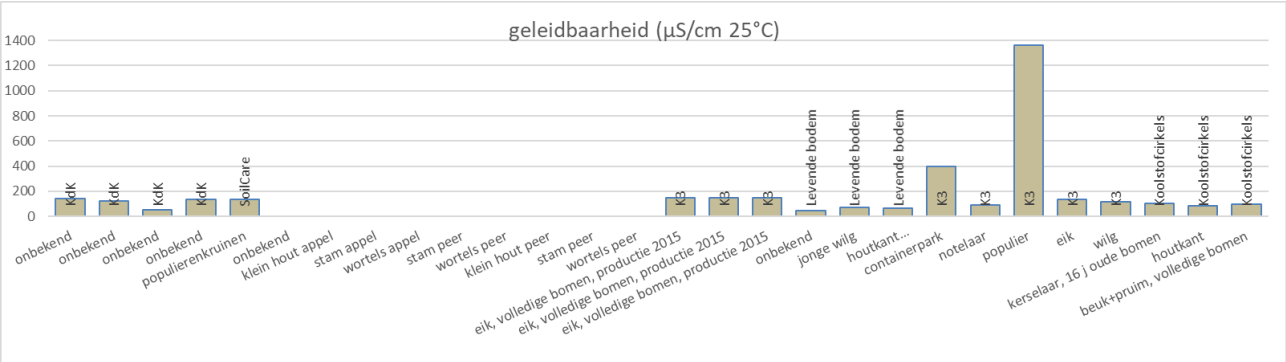
Tenslotte werd ook het P-gehalte van de houtsnippers gemeten en hieruit werd de C/P-verhouding berekend. Hieruit blijkt dat houtsnippers, afhankelijk van de ouderdom en soort van het hout, hoge tot zeer hoge C/P-verhoudingen hebben, die een stuk hoger liggen dan deze van bv. gft-compost en runderstalmest. Naar de landbouwpraktijk toe en in het kader van het mestdecreet (fosforklassen) is dit een belangrijke vaststelling: in tegenstelling tot andere organische bodemverbeteraars zoals compost en mest kunnen houtsnippers in akkers toegediend worden zonder risico's op te hoge P-toedieningen.

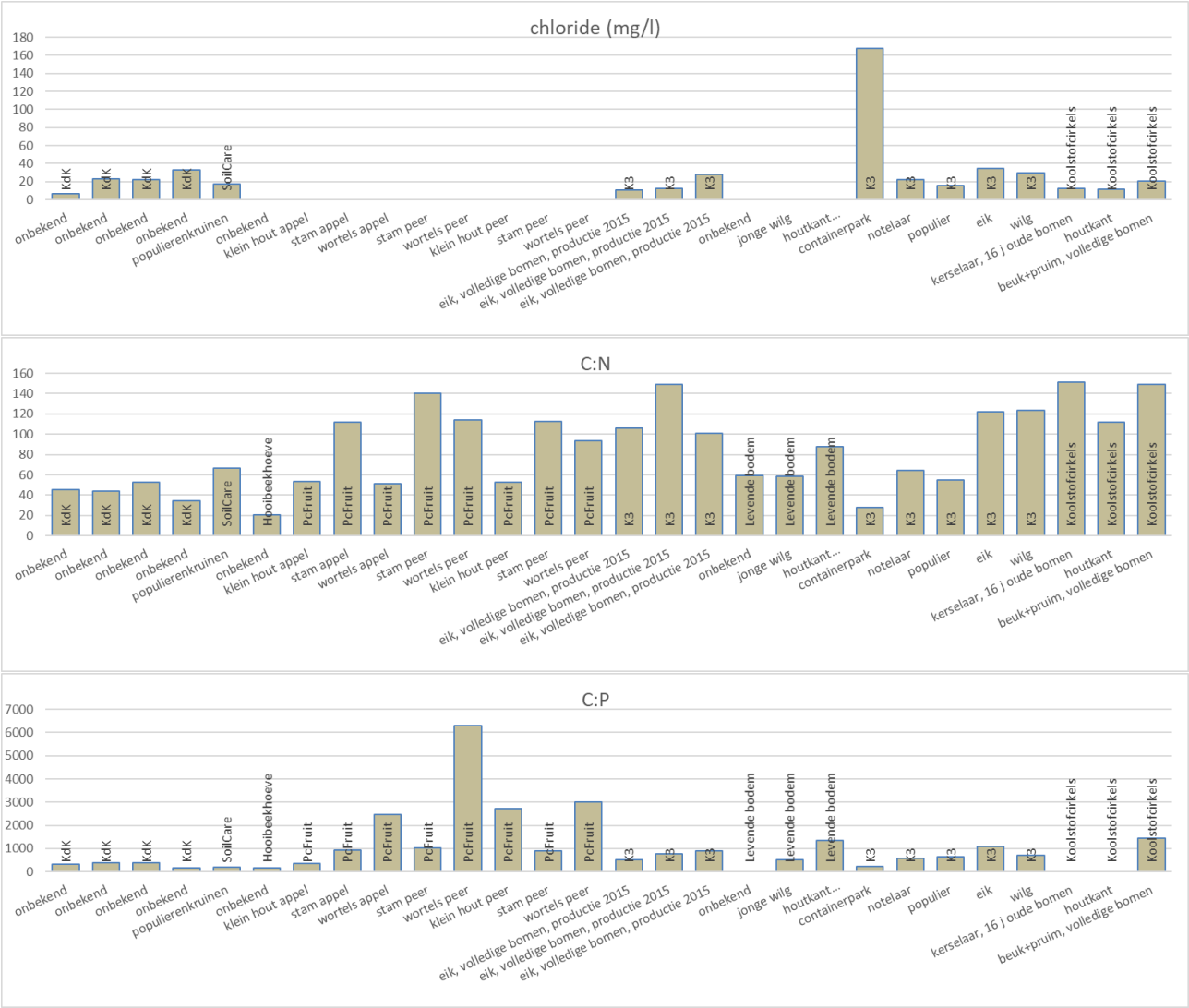

volumedichtheid (kg/l)
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
KdK
SoilCare
K3
Levende bodem
Koolstofarkels
onbekend
populierenkruinen
klein hout appel
stam appel
wortels appel
stam peer
wortels peer
klein hout peer
eik, volledige bomen, productie 2015
jonge wilg
houtkant...
containerpark
notelaar
populier
eik
wilg
kerselaar, 16 j oude bomen
houtkant
beuk+pruim, volledige bomen


drogestofgehalte (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
KdK
SoilCare
Hooibeekhoeve
PcFruit
K3
Levende bodem
Koolstofarkels
onbekend
populierenkruinen
klein hout appel
stam appel
wortels appel
stam peer
wortels peer
klein hout peer
eik, volledige bomen, productie 2015
jonge wilg
houtkant...
containerpark
notelaar
populier
eik
wilg
kerselaar, 16 j oude bomen
houtkant
beuk+pruim, volledige bomen


organischestofgehalte (% op DS)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
KdK
SoilCare
Hooibeekhoeve
PcFruit
K3
Levende bodem
Koolstofarkels
onbekend
populierenkruinen
klein hout appel
stam appel
wortels appel
stam peer
wortels peer
klein hout peer
eik, volledige bomen, productie 2015
jonge wilg
houtkant...
containerpark
notelaar
populier
eik
wilg
kerselaar, 16 j oude bomen
houtkant
beuk+pruim, volledige bomen


pH
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
KdK
SoilCare
K3
Levende bodem
Koolstofarkels
onbekend
populierenkruinen
klein hout appel
stam appel
wortels appel
stam peer
wortels peer
klein hout peer
eik, volledige bomen, productie 2015
jonge wilg
houtkant...
containerpark
notelaar
populier
eik
wilg
kerselaar, 16 j oude bomen
houtkant
beuk+pruim, volledige bomen


geleidbaarheid (µS/cm 25°C)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
KdK
SoilCare
K3
Levende bodem
Koolstofarkels
onbekend
populierenkruinen
klein hout appel
stam appel
wortels appel
stam peer
wortels peer
klein hout peer
eik, volledige bomen, productie 2015
jonge wilg
houtkant...
containerpark
notelaar
populier
eik
wilg
kerselaar, 16 j oude bomen
houtkant
beuk+pruim, volledige bomen



Figuur 2: Analyseresultaten van de gebruikte houtsnippers in de verschillende onderzoeks- en demoprojecten

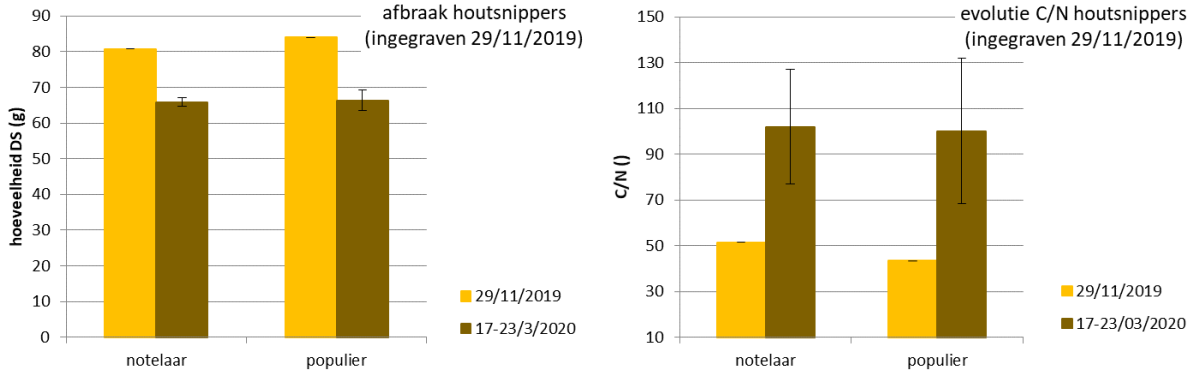
5.2. Gedrag van houtsnippers in de bodem

5.2.1 Afbraak op korte termijn in veldomstandigheden (strooiselzakjes)

Om een duidelijker beeld te krijgen van wat er gebeurt met houtsnippers die oppervlakkig in de bodem ingewerkt worden in veldomstandigheden werd in het kader van het project “Koester de Kempense Koolstof” een veldtest uitgevoerd met strooiselzakjes. Eind november 2019 werden zakjes bestaande uit fijnmazig synthetisch materiaal (witte-vliegengaas) gevuld met 150 g van twee soorten houtsnippers (populier en notelaar) en oppervlakkig ingegraven in het demoperceel te Balen (Figuur 7). Het droge-stofgehalte van de houtsnippers bedroeg 54% voor het notenhout en 56% voor het populierenhout. De C/N-verhouding bedroeg 64 voor het notenhout en 55 voor het populierenhout.

Figuur 3: Oppervlakkig ingraven van strooiselzakjes in het proefveld te Balen (november 2019)

Na ongeveer 3,5 maanden (midden maart 2020) werden de strooiselzakjes opgegraven en werden hun droge-stofinhoud en C/N-verhouding opnieuw bepaald. Uit de metingen bleek dat gemiddeld 21% (16% - 25%) van het organisch materiaal afgebroken was gedurende deze periode. Dit betreft het gemakkelijk afbreekbaar gedeelte van het organisch materiaal. Het resterende materiaal heeft een hogere C/N-verhouding, is dus resistenter en zal trager afgebroken worden en (gedeeltelijk) omgezet worden naar humus (Figuur 4).

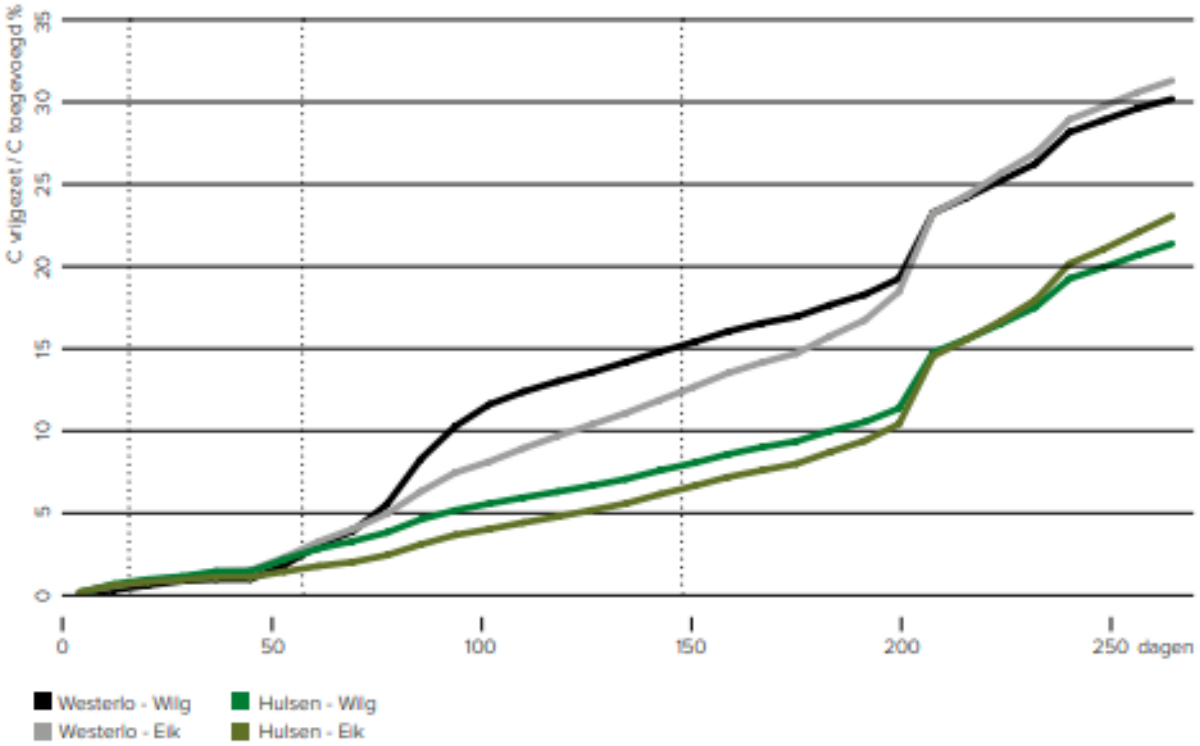


Figuur 4: Afbraak van oppervlakkig ingegraven houtsnippers in het proefveld te Balen: evolutie DS (links) en C/N-verhouding (rechts)

5.2.2 Afbraakdynamiek op langere termijn in labo-omstandigheden (incubatieproeven)

Om het afbraakgedrag van houtsnippers op langere termijn in te schatten werden door de KU Leuven twee verschillende soorten snippers (eik en wilg) toegevoegd aan de bodem van twee verschillende locaties (Hulsen en Westerlo) en in gecontroleerde omstandigheden gedurende 250 dagen

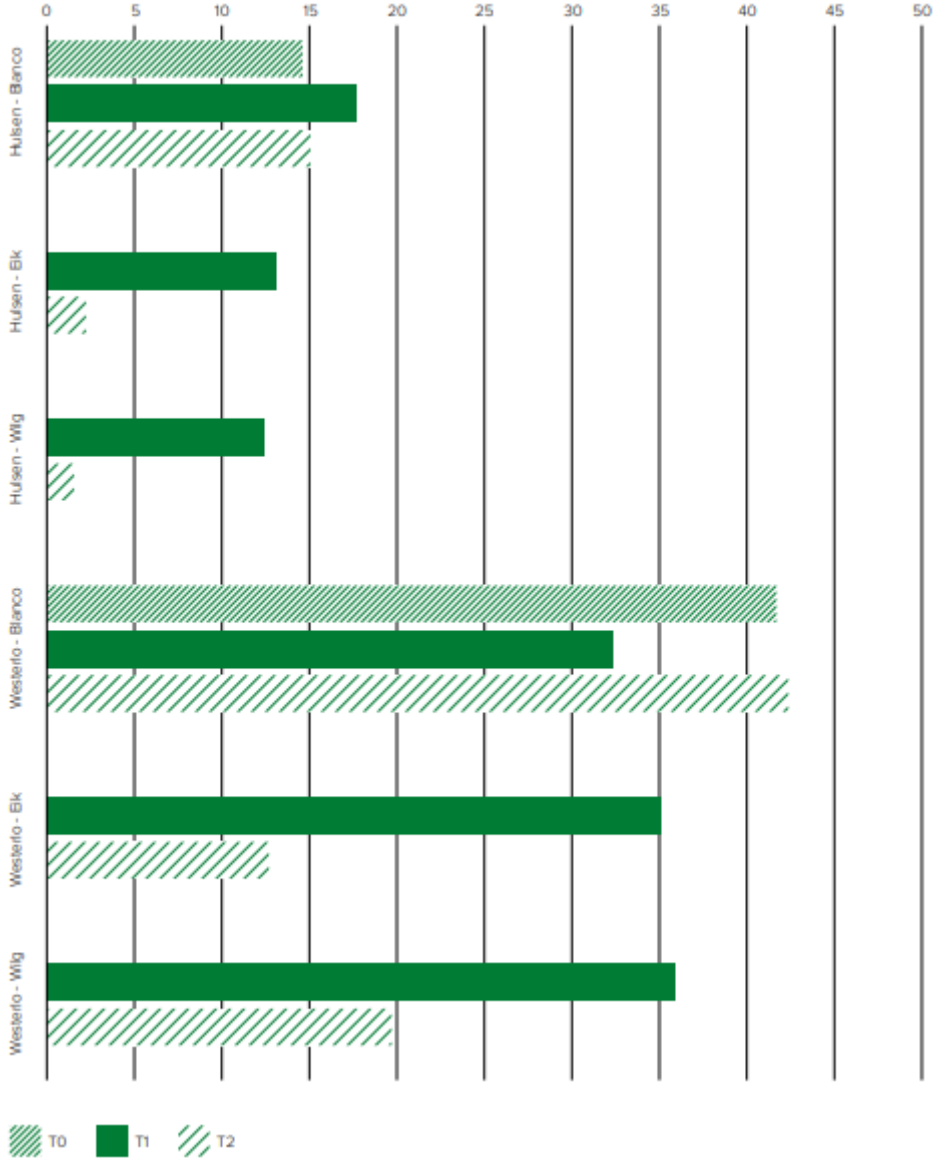
geïncubeerd bij 25°C en optimaal vochtgehalte (60% van de bodemporiën gevuld met water) (Vervoort et al., 2020). Hierbij werd aan de bodem in elk incubatiepotje een hoeveelheid gedroogde en fijngemalen houtsnippers toegevoegd die overeenkomt met een toepassing van 40 ton of ongeveer 150 m³ verse snippers per hectare. De afbraak van de snippers werd opgevolgd door de CO_2-productie in de potjes regelmatig te meten met een gas-analyzer. Op drie tijdstippen werden ook het koolstof- en stikstofgehalte van de bodem bepaald. De CO_2-metingen werden omgerekend naar hoeveelheid vrijgezette koolstof en gecorrigeerd voor de koolstof die al aanwezig was in de bodem door de koolstof vrijgezet uit de blanco potjes (zonder houtsnippers) af te trekken van de hoeveelheid koolstof vrijgezet uit de potjes met snippers. In Figuur 5 worden deze hoeveelheden vrijgezette koolstof uitgedrukt in % van de hoeveelheid koolstof toegevoegd via houtsnippers.



Figuur 5: Cumulatieve curve van het % vrijgezette C in een incubatieproef met houtsnippers (wilg en eik) toegevoegd aan twee verschillende bodems (Westerlo en Hulsen) (bron: Vervoort et al., 2020)

De resultaten tonen duidelijk de invloed van de bodemcontext: de cumulatief vrijgezette koolstof was hoger voor de bodem uit Westerlo dan voor deze uit Hulsen. Het type snippers had minder invloed, met een iets hogere vrijzetting voor wilg dan voor eik. Na 200 dagen incubatie verdween dat verschil. Hoewel de snippers fijngemalen waren en zowel de temperatuur als het vochtgehalte in de bodem optimaal gehouden werden, verliep de afbraak traag en was er zelfs na 231 dagen nog geen afvlakking van de curve die zou wijzen op de uitputting van de hoeveelheid op korte termijn mineraliseerbaar organisch materiaal.

Analoog met de resultaten gemeten in veldproeven (zie 6.2.1) was de hoeveelheid toegevoegde snippers te klein en hun omzetting naar humus te traag om op korte termijn meetbare effecten te hebben op het totale koolstofgehalte in de bodem. Wat wel sterk opvalt is een hogere hoeveelheid minerale N in de geïncubeerde bodems van Westerlo, wat meteen de snellere afbraak van zowel de wilgen- als de eikensnippers verklaart (Figuur 6). Het minerale-stikstofgehalte viel bovendien sterk terug tijdens het verloop van de proef. De afbraak van de snippers zorgde voor een sterke vastlegging van de minerale stikstof. De afbraak van de snippers zelf werd waarschijnlijk ook vertraagd door een gebrek aan minerale stikstof.



Figuur 6: Evolutie van het minerale-N-gehalte (nitraat en nitriet) tijdens de incubatieproef (T0 = vóór toevoeging snippers; T1 = na 14 dagen; T2 = na 43 dagen) (bron: Vervoort et al., 2020)

De C/N-verhouding van de eiken- en wilgenhoutsnippers toegevoegd in deze proef was nagenoeg dezelfde (120, zie Figuur 2), wat het geringe verschil in afbraaksnelheid tussen de twee houtsoorten verklaart. Op basis van de bekomen C-curves tussen dag 53 en dag 134 (Figuur 5) werd een eerste orde-mineralisatiemodel gefit om de afbraak op langere termijn te kunnen modelleren:

$$OC\ (t) = OC_A\ (1-e^{-kt})$$

waarbij: OC (t) = de hoeveelheid organische stof gemineraliseerd op tijd t

OC_A = de hoeveelheid mineraliseerbare koolstof (op korte termijn)

k = de mineralisatiesnelheid (per dag) bij 25°C en een optimaal vochtgehalte

De bekomen parameters voor dit model (Tabel 2) moeten met de nodige voorzichtigheid worden gebruikt. Er kon immers geen asymptotisch model worden gefit met een afvlakking van de curve vooraleer OC_A de waarde van 100% bereikt. Het feit dat de curve ook na een heel lange incubatietijd (231 dagen) nog steeds vrijwel lineair verliep kan twee verklaringen hebben:

- een heel trage afbraaksnelheid van de snippers;

- een afbraakproces dat gelimiteerd werd door gebrek aan beschikbare stikstof.

Tabel 2: Parameters van het 1ste-orde-mineralisatiemodel gefit op de mineralisatiecurves van incubatieproeven met houtsnippers (dag 53 tot dag 134) (bron: Vervoort et al., 2020)

Bodem - snippers	OC_A (%C)	k (dag^{-1})
Hulsen – eik	45,09	0,002
Hulsen – wilg	22,45	0,005
Westerlo – eik	48,93	0,003
Westerlo - wilg	23,54	0,012

5.2.3 Lange-termijnopbouw van organische stof en vergelijking met andere organische materialen (simulaties met Cslim©)

Om de organische-stofopbouw op langere termijn in te schatten werden de teelt- en bemestingsgegevens van verschillende proefpercelen evenals de samenstelling van de gebruikte houtsnippers ingevoerd in het Cslim© expertsysteem van de Bodemkundige Dienst van België (https://bdbnet.bdb.be/pls/apex/f?p=131:48). Deze applicatie is gebaseerd op het RothC-model, een wetenschappelijk model dat de organische-stofdynamiek in de bodem simuleert, rekening houdend met de aanvoer van gewasresten, organische bemesting en ander organisch materiaal, bodemtype, teeltrotatie en weersomstandigheden (Coleman & Jenkinson, 2014). Het model werd door de BDB gekalibreerd voor Vlaamse omstandigheden en verwerkt in een toegankelijke en praktisch bruikbare internetapplicatie. Voor de simulaties met houtsnippers werd uitgegaan van een afbraaksnelheid (k-waarde) van de houtsnippers van 0,003/dag bij 25°C en bij optimaal vochtgehalte. Dit komt overeen met de k-waarden bekomen in de incubatieproeven (Tabel 2) en strookt ook met de waarden die gebruikt worden voor de resistente fractie van organisch materiaal (RPM) in het RothC-model waarop Cslim© gebaseerd is (Coleman & Jenkinson, 2014).

In de proefpercelen van het project Koester de Koolstof (Figuur 7) werd uitgegaan van een driejaarlijkse toepassing van varkensdrijfmest (15 t/ha). Daarnaast werden een éénmalige of een vijfjaarlijkse toepassing van ongeveer 39 ton/ha houtsnippers (komt overeen met 150 m^3/ha) vergeleken met de toepassing van analoge hoeveelheden gft-compost of stalmest en met de situatie zonder extra organische-stoftoediening. De toegepaste teeltrotaties waren: wintertarwe+mosterd, vezelvlas+mosterd, wintertarwe+grassnede, snijmaïs, suikerbieten, cichorei (Tongeren); aardappelen, wintertarwe+mosterd, suikerbieten, wintertarwe+grassnede, snijmaïs (Gingelom); snijmaïs+mosterd, suikerbieten+mosterd, wintertarwe+mosterd (Hoeselt); snijmaïs, wintertarwe+mosterd, wintergerst+mosterd (Voeren).

Voor het perceel te Tongeren werden in het kader van het vervolgproject Koolstofcirkels nog bijkomende simulaties uitgevoerd waarbij verschillende combinaties van maatregelen m.b.t. het verbeteren van het organische-stofgehalte in de bodem vergeleken werden in 8 verschillende scenario's:

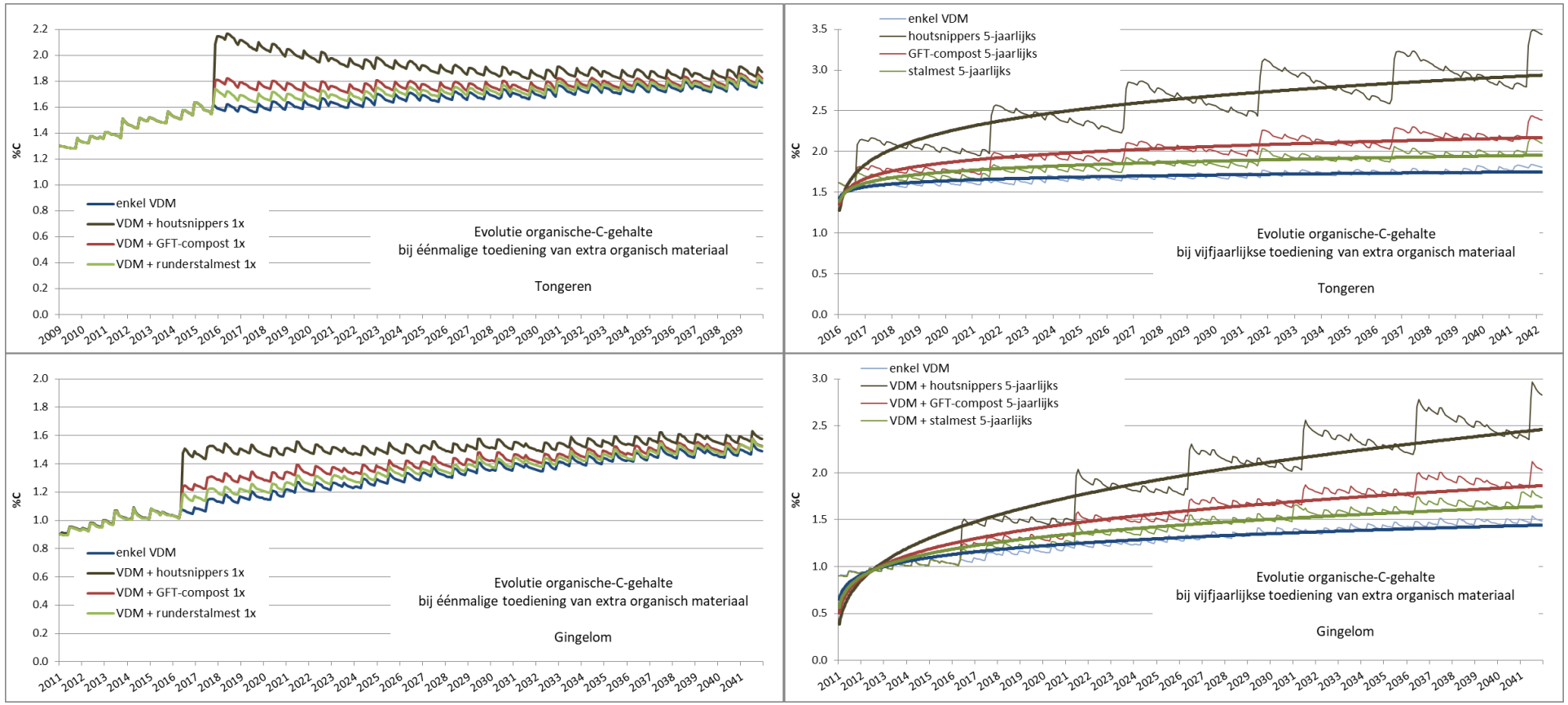
- "worst case" scenario: monocultuur maïs zonder extra organische-stoftoediening;
- scenario "effect vruchtwisseling": gangbare akkerbouwrotatie zonder extra organische-stoftoediening (geen groenbedekkers en geen organische bemesting);
- scenario "effect groenbedekker": gangbare akkerbouwrotatie met groenbedekkers na elke wintertarweteelt;
- praktijkscenario landbouwer, "effect dierlijke mest": gangbare akkerbouwrotatie met groenbedekkers en dierlijke mest, komt overeen met de referentiestrook van het demoperceel;

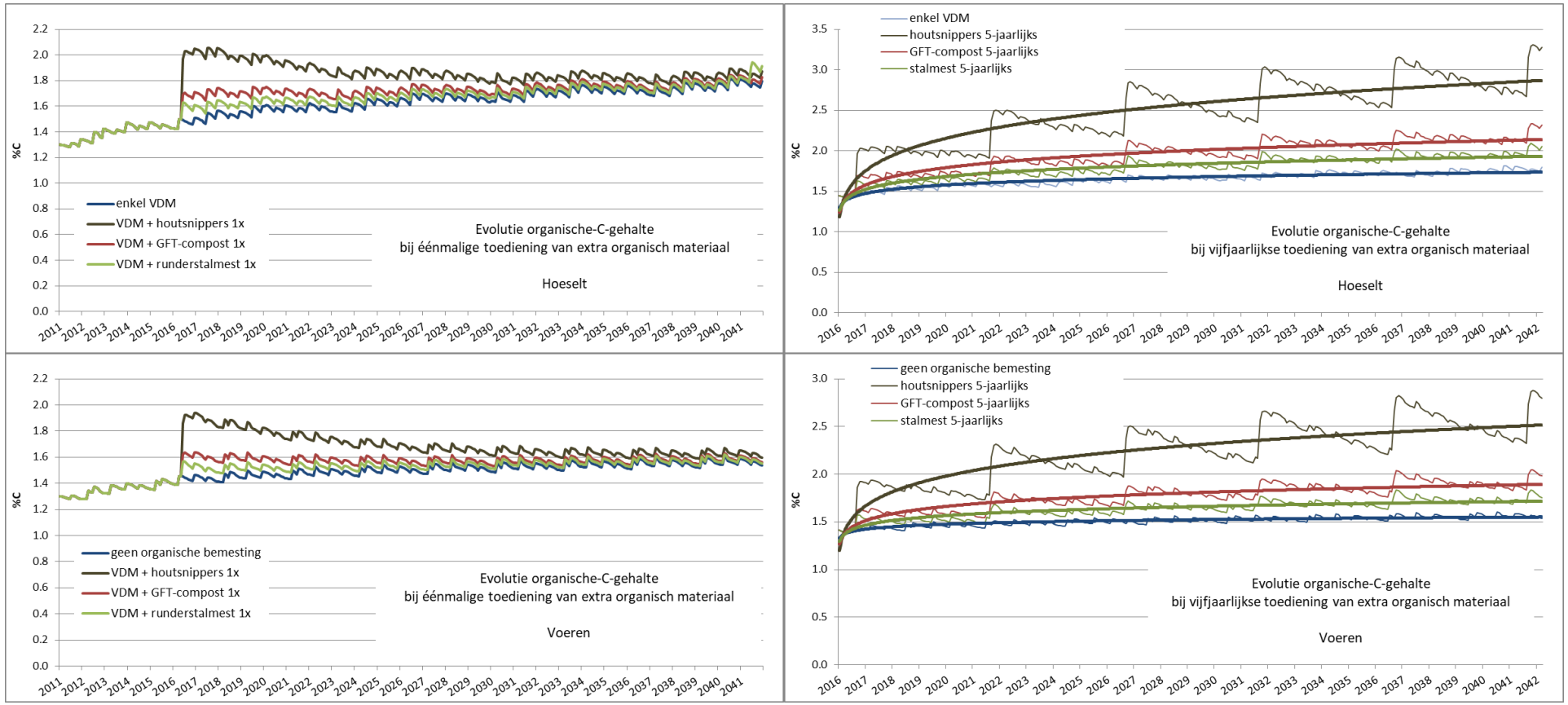
- praktijkscenario "effect 1-malige houtsnippertoediening": praktijksituatie landbouwer + 150 m³/ha houtsnippers in najaar 2016, komt overeen met object 1 van het demoperceel;
- praktijkscenario "effect 2 houtsnippertoedieningen": praktijksituatie landbouwer + 150 m³/ha houtsnippers in najaar 2016 + 100 m³/ha houtsnippers in voorjaar 2019; komt overeen met object 2 van het demoperceel;
- praktijkscenario "effect 10-jaarlijkse houtsnippertoedieningen": praktijksituatie landbouwer + 150 m³/ha houtsnippers om de 10 jaar;
- scenario "zuiver effect 10-jaarlijkse houtsnippertoedieningen": gangbare akkerbouwrotatie zonder groenbedekkers of dierlijke mest, maar met 150 m³/ha houtsnippers om de 10 jaar.

Uit al deze simulaties (Figuur 7, Figuur 8) kan het volgende afgeleid worden:

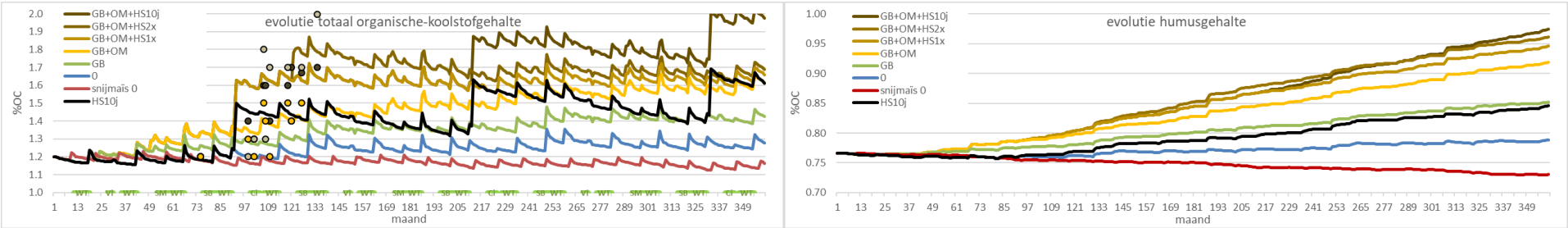
- Het afwisselen van teelten in de vruchtwisseling, met o.a. teelten zoals wintergranen en suikerbieten heeft duidelijk op zich al een positief effect op de organische stof in de bodem, in vergelijking met het "worst case" scenario monocultuur snijmaïs.
- Het zaaien van groenbedekkers waar mogelijk (na elke teelt van wintergraan) evenals het toedienen van dierlijke mest geven telkens nog een extra boost aan de organische stof en aan het humusgehalte in de bodem.
- Een éénmalige toediening van 150 m³/ha houtsnippers zorgt voor een sprong in het verloop van de totale organische stof. Als we naar de humusfractie kijken zien echter we dat het effect van deze éénmalige toediening nog lang blijft nawerken. Doordat het toegediende organisch materiaal slechts zeer geleidelijk omgezet wordt naar humus blijft het humusgehalte na deze éénmalige toediening stijgen tot het einde van de simulatieperiode (± 30 jaar).
- Gelijkaardige sprongen in totale organische-stofgehalte zijn zichtbaar bij de 2-voudige en 10-jaarlijkse toedieningen van houtsnippers, waarbij de geleidelijke toename van het humusgehalte nog iets sterker is dan bij de éénmalige toediening.
- Tenslotte kunnen we uit het scenario met enkel 10-jaarlijkse toediening van houtsnippers, zonder groenbedekkers of dierlijke mest afleiden dat het effect hiervan op lange termijn in dezelfde grootteorde ligt als dat van de groenbedekkers.

In het project Koester de Kempense Koolstof werden simulaties doorgerekend voor het demoperceel in Retie. Rekening houdend met de historiek van het perceel werd de volgende teeltrotatie toegepast: maïs, aardappelen, maïs, maïs+groenbedekker, suikerbieten, waarbij voor de suikerbieten telkens 80 ton per hectare zeugendrijfmest toegediend werd. Hier werden drie scenario's doorgerekend: (1) geen houtsnippertoediening; (2) een éénmalige toediening van 150 m³ per hectare zoals toegediend in de demoproeven en (3) vijfjaarlijkse toedieningen van 40 m³ per hectare. De resultaten de de simulaties worden getoond in Figuur 9. In dit perceel wordt ook in het referentiescenario zonder inwerking van houtsnippers al een zekere stijging van het organische-koolstofgehalte in de bodem voorspeld, dankzij de gevarieerde teeltrotatie en het veelvuldig gebruik van vanggewassen en dierlijke mest. Het totale organische-koolstofgehalte krijgt telkens een boost na het inwerken van de groenbedekkers en bij elke toevoeging van drijfmest. Daarbovenop zorgen de eenmalige toediening van 150 m³ per hectare houtsnippers en de vijfjaarlijkse toedieningen van 40 m³ per hectare houtsnippers telkens voor een extra stijging van het organische-stofgehalte. Al deze organische-stoftoevoegingen bestaan uit vers organisch materiaal dat vervolgens geleidelijk afgebroken wordt en gedeeltelijk omgezet naar stabiele organische stof in de bodem of humus. Wanneer we enkel de humusfractie van de organische stof in de bodem uitzetten in een grafiek, wordt het langetermijneffect van de houtsnippers, zelfs bij een éénmalige toediening, nog duidelijker.

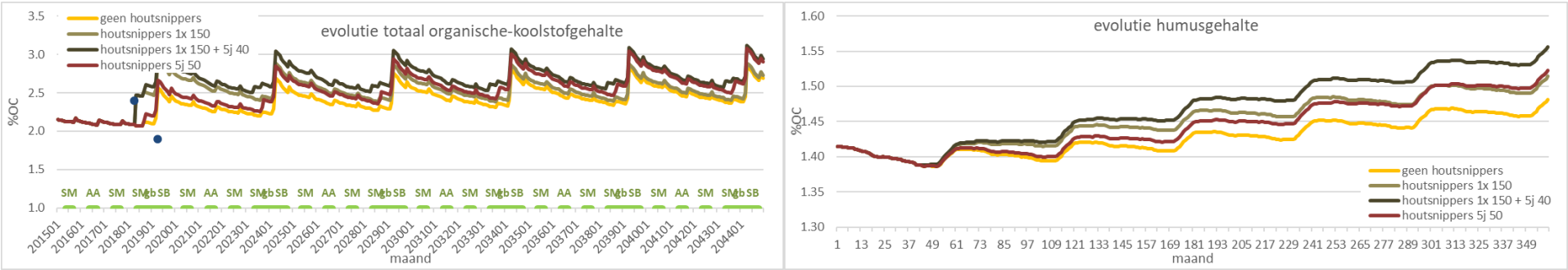

%C
enkel VDM
VDM + houtsnippers 1x
VDM + GFT-compost 1x
VDM + runderstalmest 1x
Evolutie organische-C-gehalte
bij éénmalige toediening van extra organisch materiaal
Tongeren
enkel VDM
houtsnippers 5-jaarlijks
GFT-compost 5-jaarlijks
stalmest 5-jaarlijks
Evolutie organische-C-gehalte
bij vijfjaarlijkse toediening van extra organisch materiaal
Tongeren
enkel VDM
VDM + houtsnippers 1x
VDM + GFT-compost 1x
VDM + runderstalmest 1x
Evolutie organische-C-gehalte
bij éénmalige toediening van extra organisch materiaal
Gingelom
enkel VDM
VDM + houtsnippers 5-jaarlijks
VDM + GFT-compost 5-jaarlijks
VDM + stalmest 5-jaarlijks
Evolutie organische-C-gehalte
bij vijfjaarlijkse toediening van extra organisch materiaal
Gingelom



Figuur 7: Simulaties van de organische-koolstofdynamiek in de bodem met Cslim© voor de demopercelen in Tongeren, Gingelom, Hoeselt en Voeren (project Koester de Koolstof), bij eenmalige (links) of vijfjaarlijkse (rechts) toediening van 39 t/ha extra organisch materiaal (houtsnippers, GFT-compost of runderstalmest)



Figuur 8: Simulaties van de organische-koolstofdynamiek in de bodem met Cslim© voor het demoperceel in Tongeren (project Koolstofcirkels) bij verschillende combinaties van maatregelen om het organischestofgehalte in de bodem te verhogen: totaal organische-koolstofgehalte (links) en humusgehalte (rechts)

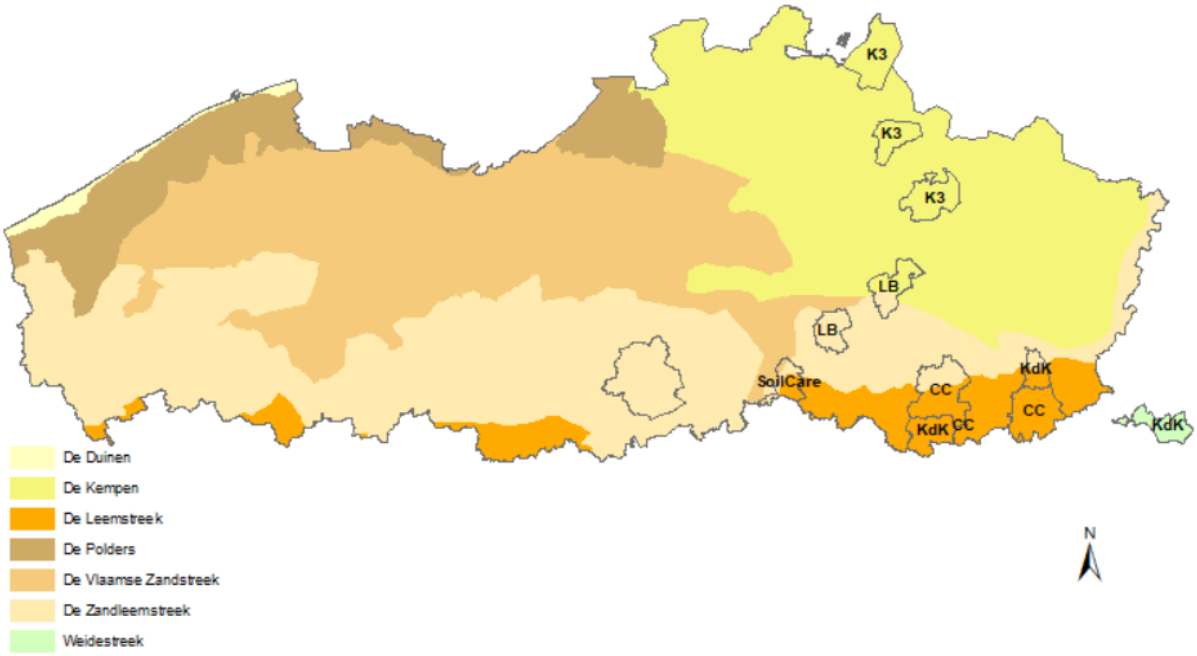


Figuur 9: Simulaties van de organische-koolstofdynamiek in de bodem met Cslim© voor het demoperceel in Retie (project Koester de Kempense Koolstof) bij verschillende toedieningen van houtsnippers: totaal organische-koolstofgehalte (links) en humusgehalte (rechts)

6. Landbouwkundige effecten

6.1. Overzicht veldproeven

In Figuur 10 en Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de veldproeven die aangelegd werden met houtsnippers sinds 2016, hun ligging en hun voornaamste kenmerken.



Figuur 10: Overzicht van de gemeenten en landbouwstreken waar veldproeven met houtsnippers aangelegd en opgevolgd werden in het kader van de verschillende onderzoeks- en demoprojecten (KdK = Koester de Koolstof; CC = Koolstofcirkels; K3 = Koester de Kempense Koolstof; SoilCare; LB = Leve(n)de Bodem)

Tabel 3: Aangelegde veldproeven met houtsnippers (HS) in het kader van de verschillende onderzoeks- en demoprojecten: kenmerken van de proeven

	Koester de Koolstof (KdK)	SoilCare (SoilCare)	Koester de Kempense koolstof (K3)	Koolstofcirkels (CC)	Leve(n)de Bodem (LB)
Omschrijving	4 demopercelen, vergelijking met normale praktijk landbouwer	1 proef in 4 herhalingen, vergelijking met compost en stalmest	3 demopercelen + 1 proef in herhalingen, combinatie met verschillende bodembewerkingen	akkerpercelen: verderzetting 2 demopercelen KdK + extra HS-toediening en N-bemestingstrappen fruitpercelen: 2 demopercelen	2 demopercelen vergelijking met drijfmest, stalmest, compost, bokashi
Periode	2016-2018	2017-2021	2018-2019	2019-2020	2018-2019
Regio	Zuid-Limburg	Vlaams-Brabant	Kempen	Zuid-Limburg	Vlaams-Brabant
Bodemtype	leem	lemig zand	zand	lichte leem - leem	zand, lemig zand
Initieel OC (%)	laag - tamelijk hoog	zeer laag	streefzone	akkerpercelen: streefzone - tamelijk hoog fruitpercelen: tamelijk laag - streefzone	laag – tamelijk laag
HS-dosissen	150 en 2x80 m³/ha	150 m³/ha	150 m³/ha	akkerpercelen: 150 m³/ha en 150+100 m³/ha fruitpercelen: 20 en 53 t/ha	40 en 27 t/ha
Toedieningstijdstip	najaar	najaar	voorjaar	najaar en voorjaar	voorjaar
Bosgrond	met en zonder	zonder	zonder	zonder	zonder
Inwerking	oppervlakkig	oppervlakkig	oppervlakkig en dieper	akkerpercelen: oppervlakkig fruitpercelen: infrezen	oppervlakkig
Bodembewerking	niet-kerend	niet-kerend	niet-kerend en ploegen	akkerpercelen: niet-kerend fruitpercelen: /	niet-kerend
Groenbedekker	vlinderbloemige/ niet-vlinderbloemige/geen	niet-vlinderbloemige	geen	akkerpercelen: geen fruitpercelen: deels japanse haver	geen
Teelten	suikerbieten, cichorei, maïs	wintertarwe, wintergerst, aardappelen	maïs	akkerpercelen: suikerbieten, wintertarwe, fruitpercelen: laagstam appel en peer	maïs

6.2. Proefveldresultaten

6.2.1 Organische koolstof

Volgens een aantal geraadpleegde bronnen in de literatuur zou de toediening van houtsnippers op relatief korte termijn een boost moeten geven aan het organische-stofgehalte in de bodem. Om dit na te gaan werd het organische-koolstofgehalte (organische stof bestaat gemiddeld voor 58% uit koolstof) gemeten in de verschillende proef- en demopercelen op verschillende tijdstippen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de nog aanwezige (en niet afgebroken) houtsnippers in de bodem niet meegenomen worden in de bodemstaalname en -analyse. Het gemeten C-gehalte in de bodemstalen onderschat dus de totale aanwezige hoeveelheid organisch materiaal in de bodem.

6.2.1.1 Akkerpercelen

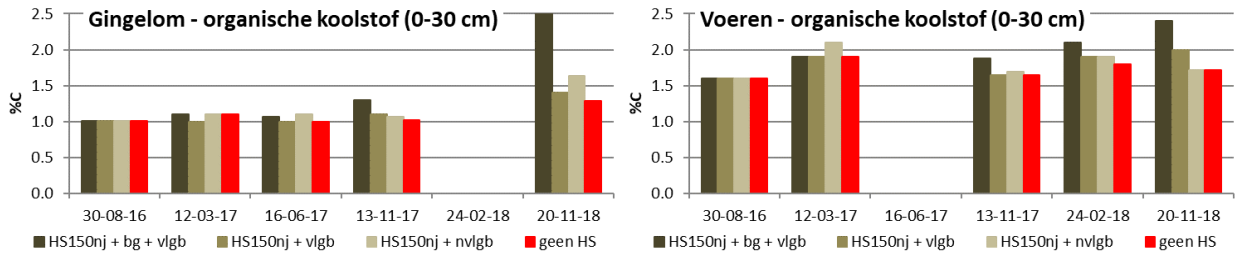
In de percelen te Gingelom en Voeren (Figuur 11) wordt 2 jaar na de toediening van de houtsnippers een kleine toename van het OC-gehalte in de bodem vastgesteld, vooral zichtbaar in de stroken geïnoculeerd met bosgrond. In Tongeren en Hoeselt daarentegen (Figuur 12) is deze toename, ook na 4 jaar, nog helemaal niet duidelijk. In Tongeren werd in het voorjaar 2019 een bijkomende strook aangelegd waarin een 2de dosis houtsnippers toegediend werd, evenals bijkomende stroken met verschillende N-toedieningen. Maar ook hier zijn anno 2020 nog geen effecten meetbaar.

Ook in de demopercelen te Ravels, Retie en Balen werden 1 jaar na de houtsnippertoediening nog geen effecten op het OC-gehalte gemeten (Figuur 13).

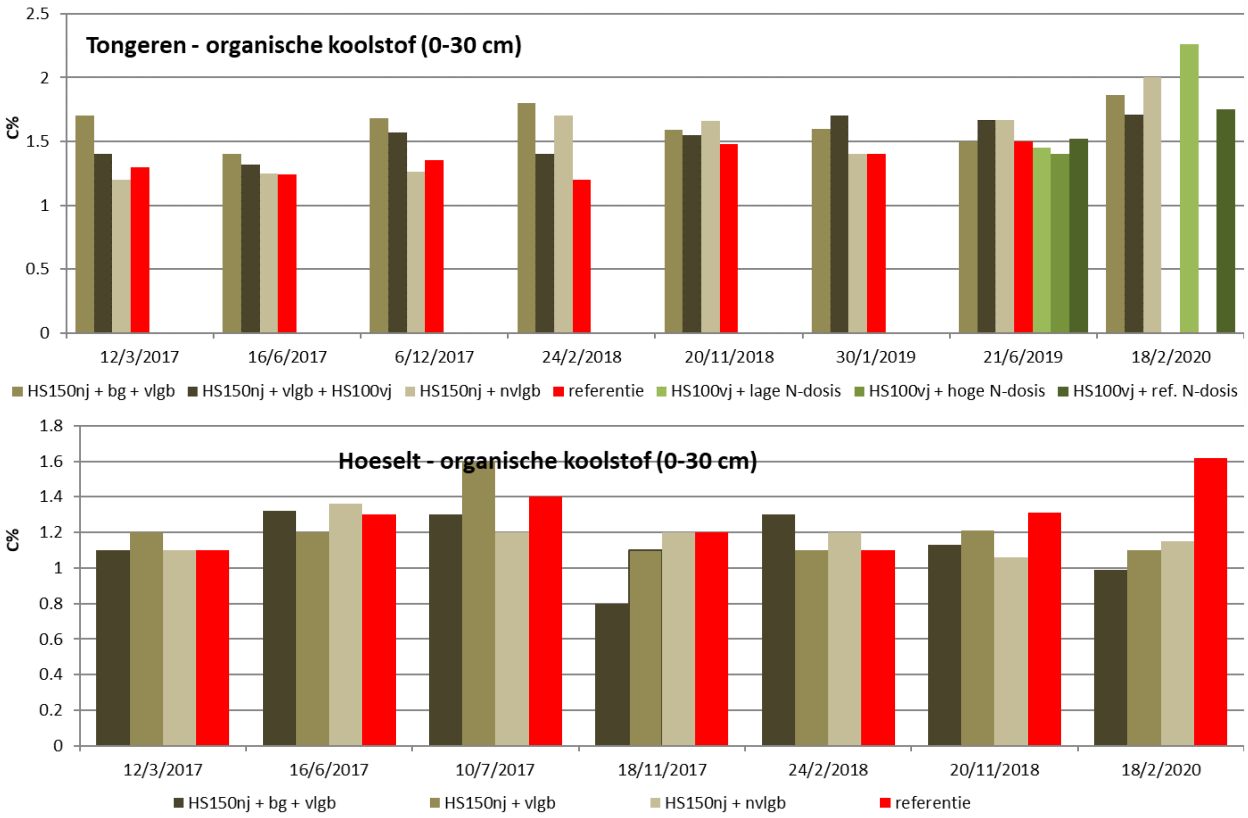
Hetzelfde geldt voor de percelen te Molenstede (Diest) en Tielt-Winge (Figuur 14), waar geen verschillen in OC-gehalte werden waargenomen tussen referentiestroken en stroken met houtsnippers, stalmest of Bokashi.

In de veldproef die in herhalingen werd aangelegd in Lovenjoel in het kader van het SoilCare-project werden de hoogste OC-gehaltes weliswaar gemeten in de behandelingen met houtsnippers, maar zonder significante verschillen met de andere behandelingen (Figuur 15).

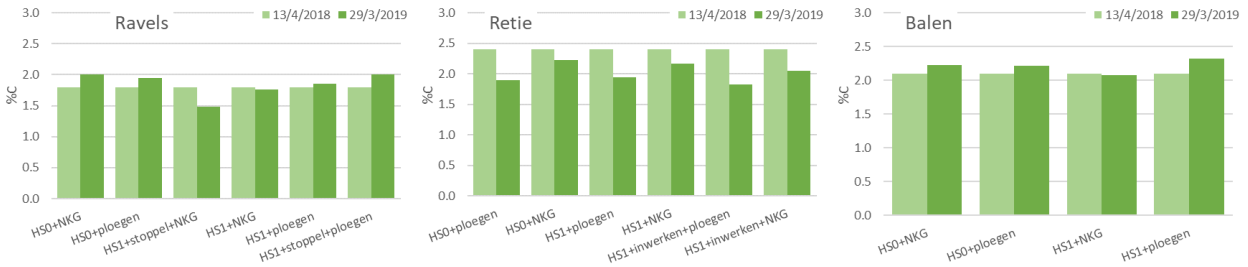
Deze resultaten tonen aan dat de afbraak van de houtsnippers in de bodem en de opbouw van organische stof een werk van lange adem is, waarvan de resultaten waarschijnlijk pas meetbaar zullen zijn na een langere periode dan 4 jaar. Bovendien wordt de in situ waarneming van de evolutie van het OC-gehalte bemoeilijkt door de grote inherente variabiliteit in de OC-metingen zelf (staalname, ...), waardoor eventuele gemeten verschillen moeilijk statistisch aantoonbaar zijn.



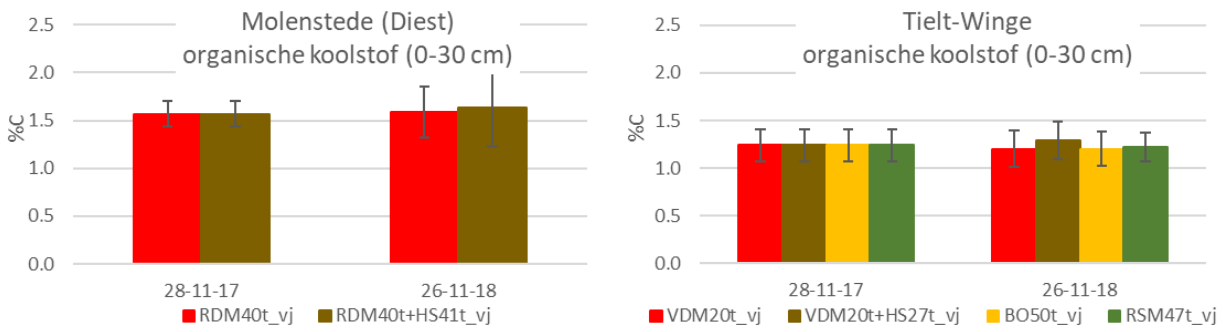
Figuur 11: Organische-koolstofgehalte (0-30 cm) in de demopercelen te Gingelom (links) en Voeren (rechts) (project Koester de Koolstof): referentie = zonder houtsnippers; HS150nj = 150 m³/ha in najaar 2016; bg = inoculatie met bosgrond; vlgb = vlinderbloemige groenbedekker; nvlgb = niet-vlinderbloemige groenbedekker



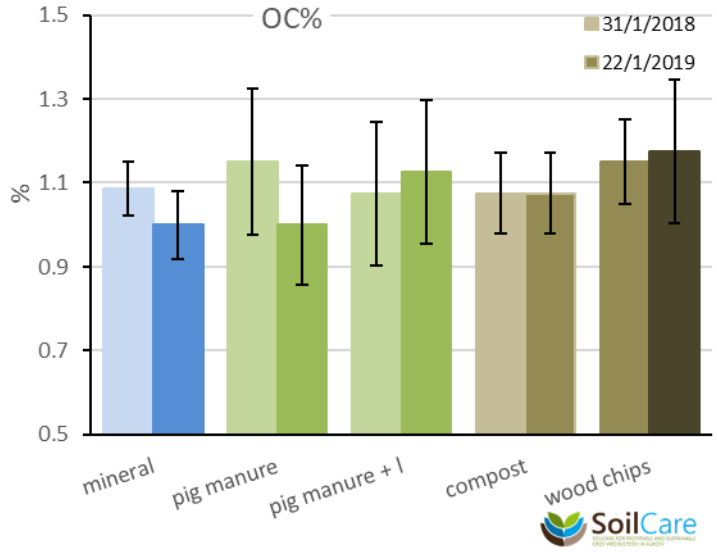
Figuur 12: Organische-koolstofgehalte (0-30 cm) in de demopercelen te Tongeren (boven) en Hoeselt (onder) (projecten Koester de Koolstof en Koolstofcirkels): referentie = zonder houtsnippers; HS150nj = 150 m³/ha in najaar 2016; HS100vj = 100 m³/ha in voorjaar 2019; bg = inoculatie met bosgrond; vlgb = vlinderbloemige groenbedekker; nvlgb = niet-vlinderbloemige groenbedekker



Figuur 13: Organische-koolstofgehalte (0-30 cm) in de demopercelen te Ravels, Retie en Balen (project Koester de Kempense Koolstof): HS0 = zonder houtsnippers; HS1 = toediening van 150 m³/ha houtsnippers; NKG = niet-kerende bodembewerking; stoppel = stoppelbewerking



Figuur 14: Organische-koolstofgehalte (0-30 cm) in de demopercelen te Diest (links) en Tielt-Winge (rechts) (project Leve(n)de Bodem): RDM40t = runderdrijfmest 40 t/ha; HS41t = houtsnippers 41 t/ha; VDM20t = varkensdrijfmest 20t/ha; HS27t = houtsnippers 27 t/ha; BO50t = Bokashi van rundermest 40 t/ha; RSM47t = runderstalmest 40 t/ha; vj = voorjaarstoediening



Figuur 15: Organische-koolstofgehalte (0-30 cm) in het proefperceel te Lovenjoel (project SoilCare, met de volgende behandelingen: mineral = enkel minerale bemesting; pig manure = 16 t/ha varkensstalmest; pig manure + l = 16 t/ha varkensstalmest gemengd met lavagruis; compost = 16 t/ha GFT-compost; wood chips = 150 m³/ha houtsnippers

6.2.1.2 Laagstamboomgaarden

Het infrezen van gerooide bomen in de bodem in 2018 had na één jaar (meting zomer 2019) nog geen meetbare positieve invloed op het organische-koolstofgehalte in de bodem van het demoperceel appel. De gemeten OC-gehaltes waren zelfs lager in de percelen met ingefreesde bomen dan in deze zonder. Ook de inzaai van een groenbedekker Japanse haver had geen invloed.

In het demoperceel peer zorgde het versnipperen en inwerken van oude Conference-bomen wel voor een lichte verhoging van het organischestofgehalte in de bodem in 2019. In 2020 liep dit verschil nog iets verder op.

6.2.2 Infiltratiesnelheid

De toediening van houtsnippers heeft een positief effect op de infiltratiesnelheid van regenwater in de bodem, waardoor ook de risico's op erosie en verslemping afnemen. Dit positief effect speelt in theorie zowel op korte termijn (door het effect van de aanwezigheid van poreuze houtsnippers in de bodem) als op langere termijn (door de verhoging van het organische-stofgehalte in de bodem).

De infiltratiesnelheid kan gemeten worden met de (enkele- of dubbele-) ring-infiltrometer. Het principe van deze meting is relatief eenvoudig: één of twee metalen ringen worden ongeveer 5 cm diep in de bodem gedreven, zodat water dat in de ring gegoten wordt enkel naar beneden (en niet lateraal) kan wegstromen. Vervolgens wordt de ring gevuld met water waarna, met behulp van een meetschaal gemonteerd op een vlotter en een chronometer, de snelheid waarmee het waterpeil daalt wordt gemeten.

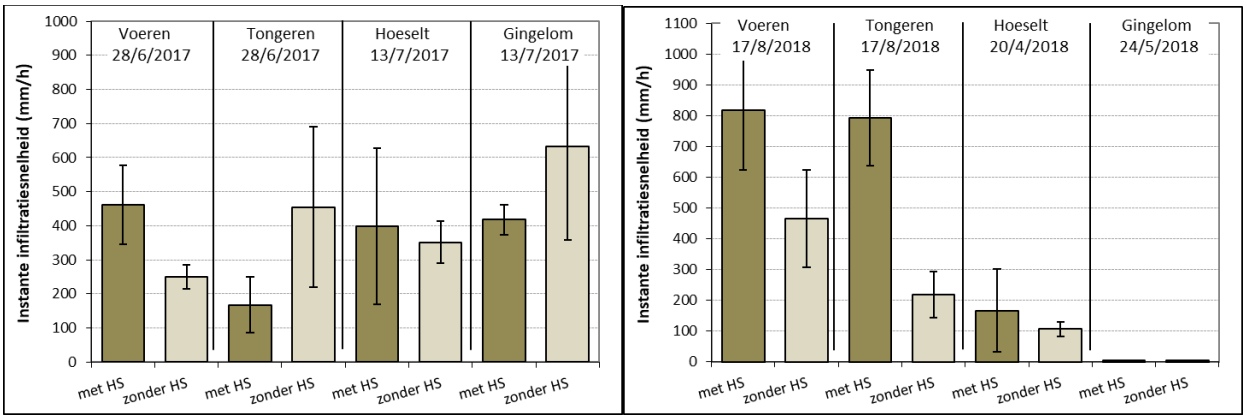
Om tot representatieve resultaten te komen vergt deze meting echter meerdere herhalingen per strook, wat de meting tamelijk arbeidsintensief maakt. De kwaliteit van de meting is ook afhankelijk van de weersomstandigheden en de bodemtoestand; het mag niet extreem droog of extreem nat zijn.

In de demoproeven van het Koester de Koolstofproject werd de infiltratiesnelheid 2 x gemeten, telkens in een zone zonder en een zone met houtsnippers en telkens in 3 of 4 herhalingen (Figuur 16). In de zomer 2017 (een half jaar na de houtsnippertoediening) werd enkel in de proef te Voeren een duidelijk significant verschil tussen de zones met en zonder houtsnippers vastgesteld, waarbij de snelheid hoger was in de zone met houtsnippers. Een jaar later, in 2018, werd een eerste meting uitgevoerd in april en mei, in Hoeselt en Gingelom. Aangezien de bodem echter algemeen nog veel te nat was werden zeer lage infiltratiesnelheden gemeten en konden daardoor geen verschillen vastgesteld worden. De meting in de 2 andere proeven (Voeren en Tongeren) werd uitgesteld tot augustus en bij deze metingen waren zeer duidelijke en significante verschillen merkbaar tussen de zones met houtsnippers (hogere infiltratiesnelheid) en deze zonder houtsnippers.

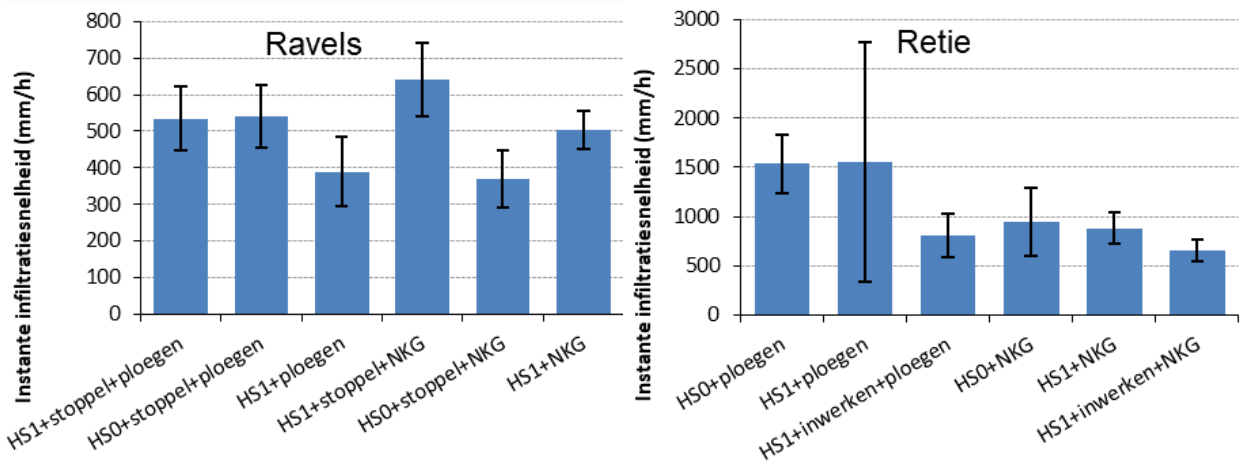
In de demopercelen in Retie en Ravels werden eveneens infiltratiemetingen uitgevoerd (Figuur 17). De resultaten hiervan waren echter helemaal niet logisch en leken eerder te wijten te zijn aan de variabiliteit binnen het perceel dan met de uitgevoerde behandelingen.

Ook in de veldproef te Lovenjoel (SoilCare-project) werd de infiltratiesnelheid gemeten op 2 tijdstippen, nl. in het voorjaar 2019 (2de jaar na de houtsnippertoediening) en 2020. In 2019 was de infiltratiesnelheid het hoogste in de behandeling met houtsnippers, met een significant hogere infiltratie dan deze in de behandeling zonder organische toediening. Tussen de verschillende organische toedieningen was er geen significant verschil. In 2020 waren alle behandelingen met organische toedieningen weliswaar gemiddeld beter dan deze onder organische toediening, maar konden er geen significante verschillen aangetoond worden.

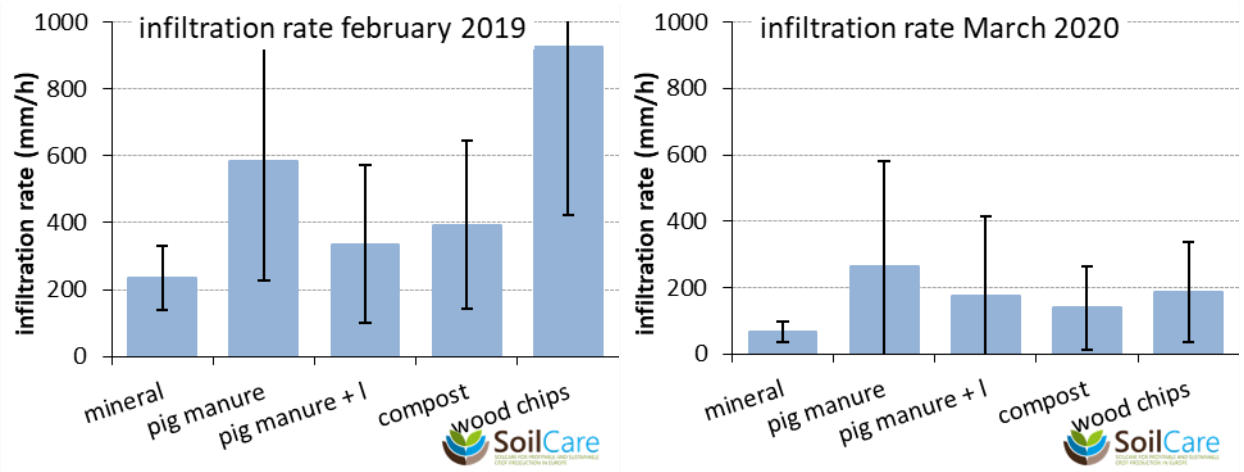
Uit deze resultaten blijkt nogmaals de moeilijkheid om kwaliteitsvolle metingen van de infiltratiesnelheid uit te voeren. Desondanks is het positieve effect van de toediening van organische materialen in het algemeen en meer specifiek van houtsnippers op de waterinfiltratie in de bodem duidelijk.



Figuur 16: Infiltratiesnelheid in 2017 en 2018 in de demopercelen te Tongeren, Hoeselt, Gingelom en Voeren (project Koester de Koolstof); HS=houtsnippers; met HS: najaarstoediening van 150 m³/ha + bosgrond gevolgd door een vlinderbloemige groenbedekker; zonder HS: referentie zonder houtsnippertoediening



Figuur 17: Infiltratiesnelheid gemeten in het voorjaar 2019 in de demopercelen te Ravels, Retie en Balen (project Koester de Kempense Koolstof): HS0 = zonder houtsnippers; HS1 = toediening van 150 m³/ha houtsnippers; NKG = niet-kerende bodembewerking; stoppel = stoppelbewerking



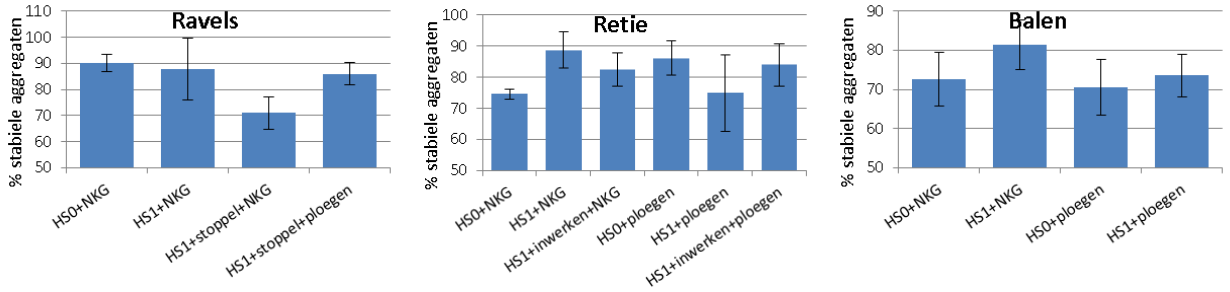
Figuur 18: Infiltratiesnelheid in 2019 en 2020 in het proefveld te Lovenjoel (project SoilCare): mineral = enkel minerale bemesting; pig manure = 16 t/ha varkensstalmest; pig manure + l = 16 t/ha varkensstalmest gemengd met lavagruis; compost = 16 t/ha GFT-compost; wood chips = 150 m³/ha houtsnippers

6.2.3 Aggregaatstabiliteit

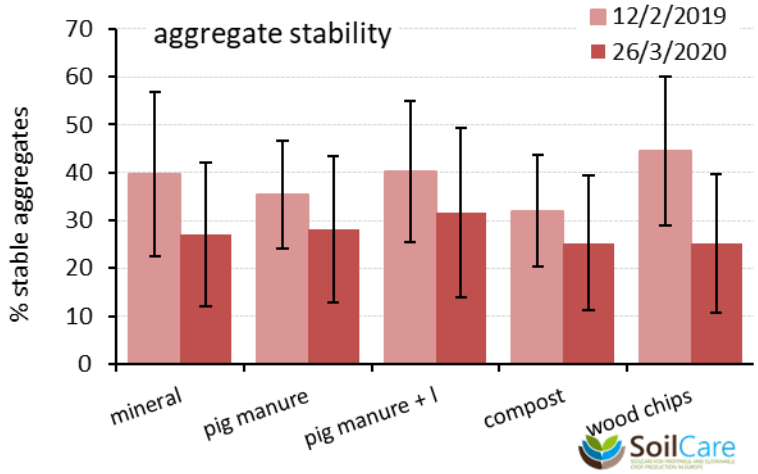
De stabiliteit van de bodemkruimels (aggregaten) bepaalt in belangrijke mate de gevoeligheid van de bodem voor erosie en verslemping. Ze wordt gemeten door de "natte zeefmethode" en uitgedrukt in % waterstabiele aggregaten. Het effect van de inwerking van houtsnippers op de vorming van bodemkruimels hangt samen met de vorming van stabiele organische stof (humus) door de afbraak en omzetting van de houtsnippers in de bodem. Het is dus te verwachten dat dit effect pas na verloop van jaren meetbaar zal zijn. Bovendien speelt de voorgeschiedenis van het perceel ook een rol, omdat naast humus ook bodembewerking, bemesting en doorworteling een sterke invloed hebben op de vorming van stabiele aggregaten.

In het demoperceel te Ravels (Koester de Kempense Koolstof) werd geen positief effect van de houtsnippertoediening op de aggregaatstabiliteit vastgesteld. Eén van de stroken met houtsnippers had zelfs een significant lagere stabiliteit dan de andere stroken (Figuur 19). In Retie en Balen was de aggregaatstabiliteit het laagste in stroken zonder houtsnippers en het hoogste in de stroken met houtsnippers gevolgd door niet-kerende grondbewerking. In een aantal stroken leek het ploegen na de houtsnippertoediening een nadelige invloed te hebben op de aggregaatstabiliteit (Figuur 19).

Ook in het proefveld te Lovenjoel (SoilCare) werd de aggregaatstabiliteit bepaald op twee tijdstippen, nl. 1,5 en 2,5 jaar na de houtsnippertoediening. Op het eerste tijdstip was de aggregaatstabiliteit gemiddeld weliswaar het hoogste in de behandeling met houtsnippers, maar er werden geen significante verschillen vastgesteld tussen de behandelingen.



Figuur 19: Aggregaatstabiliteit gemeten in het voorjaar 2019 in de demopercelen te Ravels, Retie en Balen (project Koester de Kempense Koolstof): HS0 = zonder houtsnippers; HS1 = toediening van 150 m³/ha houtsnippers; NKG = niet-kerende bodembewerking; stoppel = stoppelbewerking



Figuur 20: Aggregaatstabiliteit gemeten in het voorjaar 2019 en 2020 in het proefveld te Lovenjoel (project SoilCare): mineral = enkel minerale bemesting; pig manure = 16 t/ha varkensstalmest; pig manure + l = 16 t/ha varkensstalmest gemengd met lavagruis; compost = 16 t/ha GFT-compost; wood chips = 150 m³/ha houtsnippers

6.2.4 Minerale stikstof

Door de relatief hoge C/N-verhouding van houtsnippers wordt verwacht dat er een tijdelijke stikstofimmobilisatie zal plaatsvinden na de toediening ervan. Afhankelijk van weers- en bodemomstandigheden zal deze immobilisatie op korte of langere termijn optreden. Dit betekent dat de effecten zowel positief (vastleggen van minerale stikstof in het najaar en dus daling van het nitraatresidu) als negatief (minder beschikbare stikstof voor het gewas in het voorjaar) kunnen zijn. Om toch voldoende stikstof voor het volggewas te voorzien wordt aanbevolen om de toediening van houtsnippers te combineren met de toediening van bv. drijfmest of met het inzaaien van vlinderbloemige groenbedekkers.

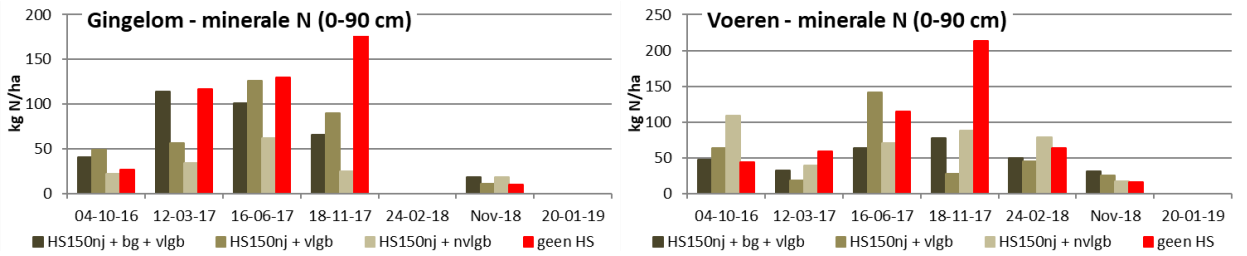
6.2.4.1 Akkerpercelen

In Gingelom, Voeren, Tongeren en Hoeselt (Figuur 21, Figuur 22) waren er in het najaar 2016, direct na de toediening van de houtsnippers, nog geen eenduidige effecten merkbaar op de minerale stikstof in de bodem. In het daaropvolgende voorjaar 2017 was de minerale-stikstofvoorraad in de 4 demopercelen het hoogste voor de stroken zonder toediening van houtsnippers, wat wijst op N-immobilisatie door de afbraak van de houtsnippers. Ook het nitraatresidu in daaropvolgende jaar (november 2017) was overal het hoogst in de stroken zonder houtsnippers (met uitzondering van 1 strook met houtsnippers in Tongeren, waar een hoger residu gemeten werd). Vanaf het voorjaar van 2018 werden geen (consistente) verschillen in minerale-stikstofgehalte meer vastgesteld tussen de stroken met en zonder houtsnippers.

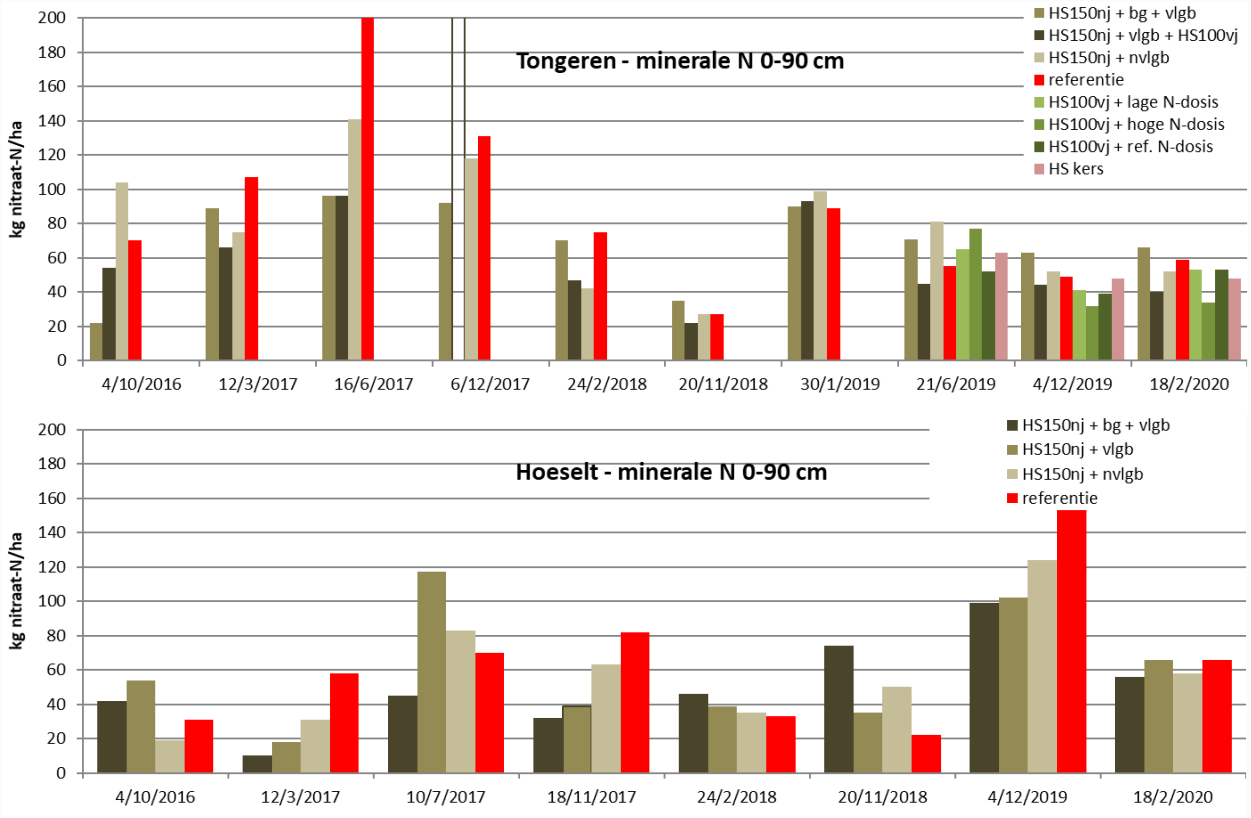
In Ravels, Retie en Balen werden de houtsnippers in het voorjaar toegediend, vóór de zaai van maïs. In het daaropvolgende najaar (november 2018) was het nitraatresidu hoger in de percelen zonder houtsnippers te Ravels. Daarna leek het N-immobilisatie-effect grotendeels uitgewerkt. In Retie en Balen was de immobilisatie in het najaar in de stroken met houtsnippers minder duidelijk (Figuur 23).

In de demopercelen te Molenstede (Diest) en Tielt-Winge (project Leve(n)de Bodem) was het effect van de houtsnippertoediening in het voorjaar op het nitraatresidu in het volgende najaar zeer duidelijk (Figuur 24): de houtsnippers zorgden hier voor N-immobilisatie met een significant lager nitraatresidu als gevolg.

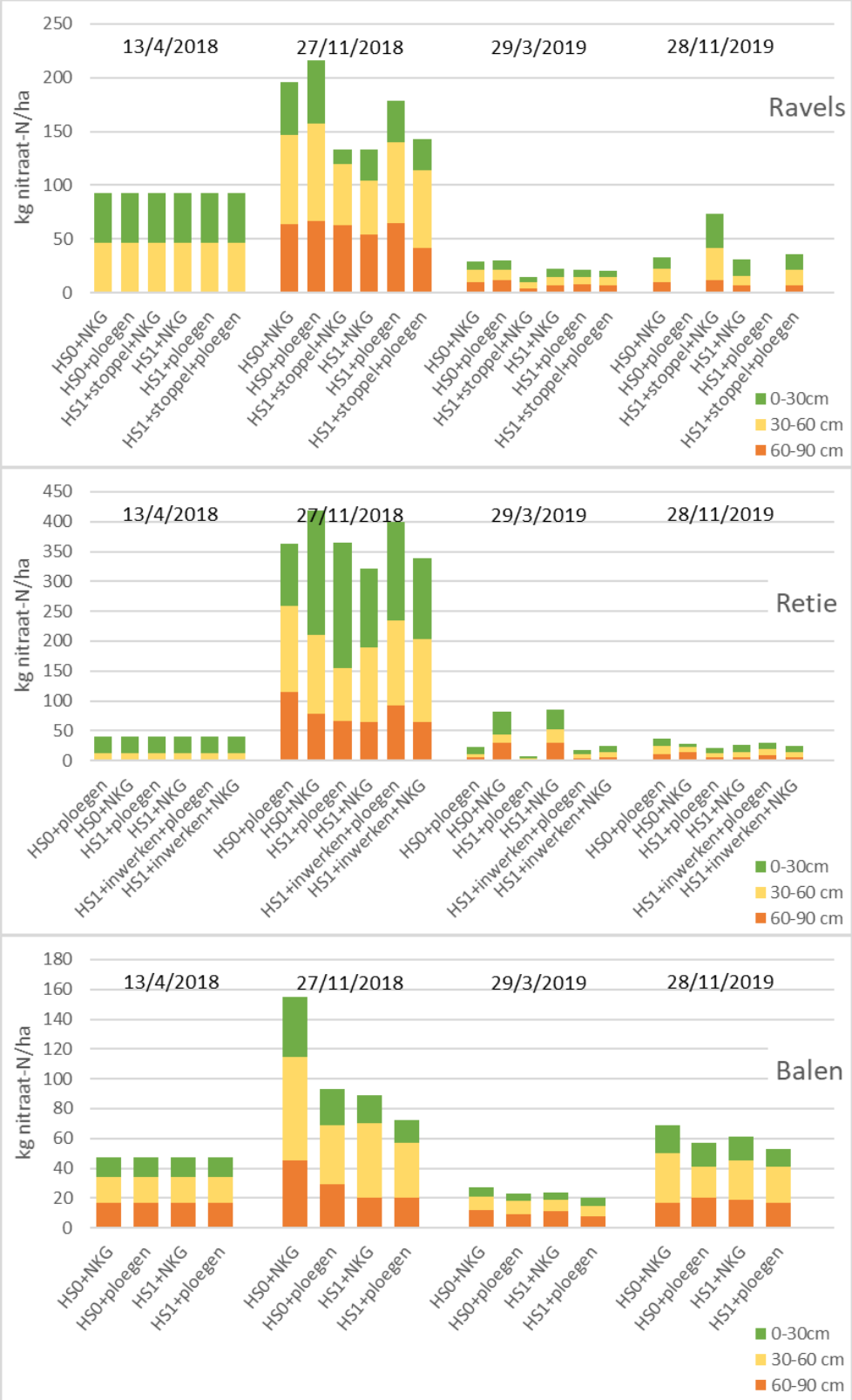
In het proefveld te Lovenjoel (project SoilCare) werd geen lagere N-voorraad gemeten in het voorjaar volgend op de najaarstoediening van houtsnippers (Figuur 25). De afbraak van de houtsnippers met N-immobilisatie als gevolg was op dit moment nog niet volop ingezet. In het volgende najaar echter, werd ook hier duidelijk een lager nitraatresidu gemeten dan in de andere behandelingen, hoewel het verschil enkel met de compost-behandeling significant was. Nadien verdween het effect opnieuw.



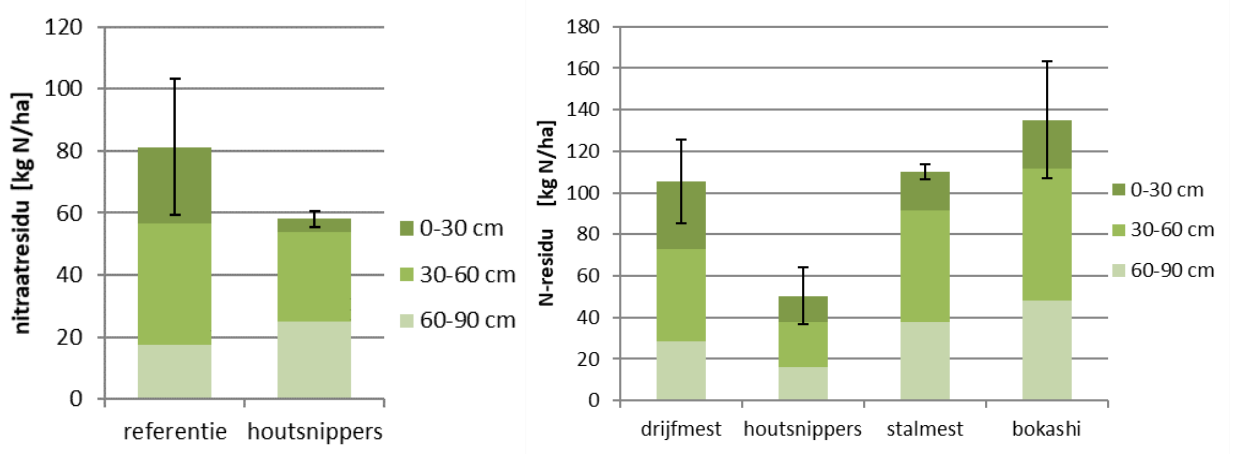
Figuur 21: Minerale-N-gehalte in de demopercelen te Gingelom (links) en Voeren (rechts) (project Koester de Koolstof): referentie = zonder houtsnippers; HS150nj = 150 m³/ha in najaar 2016; bg = inoculatie met bosgrond; vlgb = vlinderbloemige groenbedekker; nvlgb = niet-vlinderbloemige groenbedekker



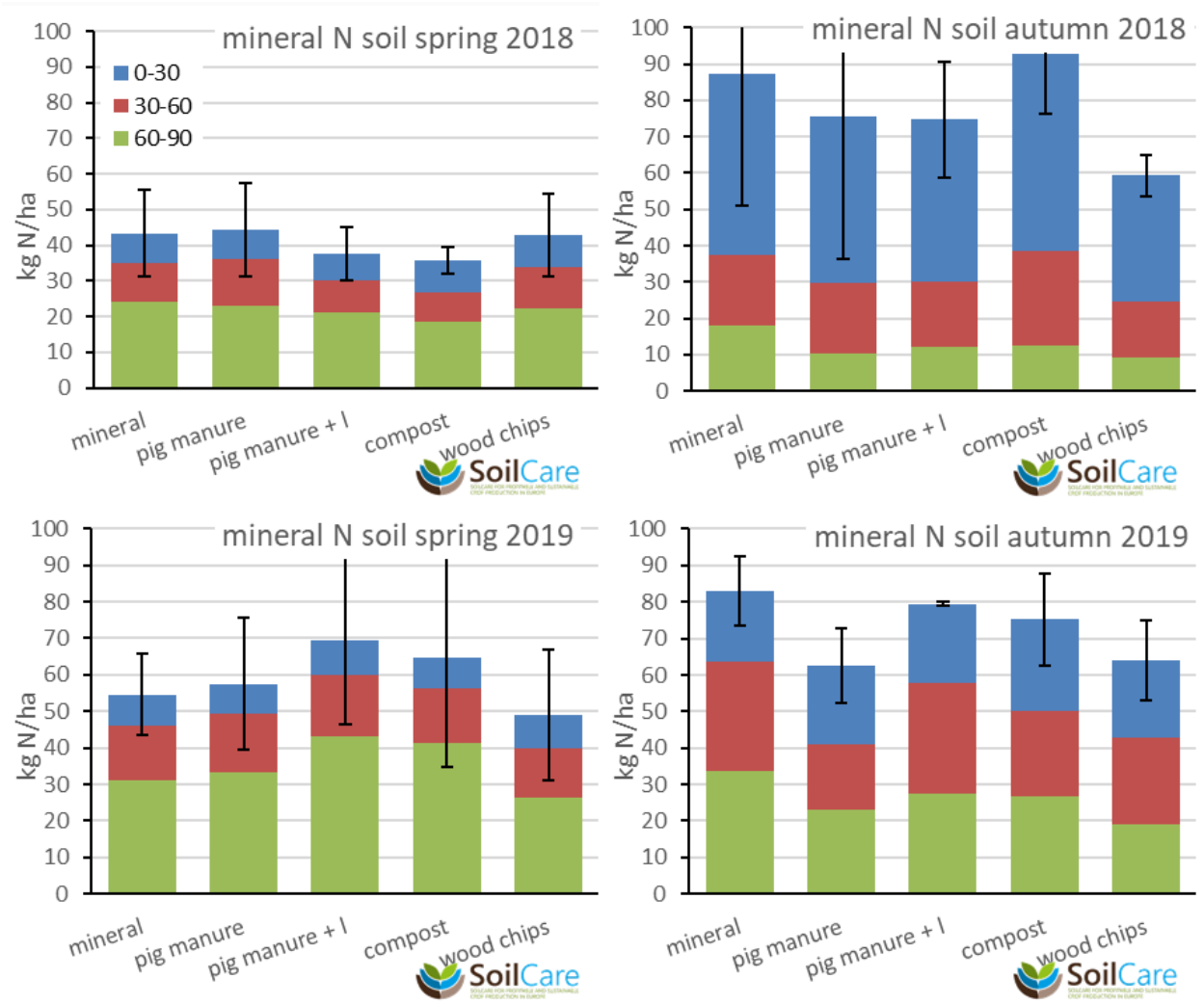
Figuur 22: Minerale-N-gehalte in de demopercelen te Tongeren (boven) en Hoeselt (onder) (projecten Koester de Koolstof en Koolstofcirkels): referentie = zonder houtsnippers; HS150nj = 150 m³/ha in najaar 2016; HS100vj = 100 m³/ha in voorjaar 2019; bg = inoculatie met bosgrond; vlgb = vlinderbloemige groenbedekker; nvlgb = niet-vlinderbloemige groenbedekker



Figuur 23: Minerale-N-gehalte in de demopercelen te Ravels (boven), Retie (midden) en Balen (onder) (project Koester de Kempense Koolstof): HS0 = zonder houtsnippers; HS1 = 150 m³/ha in voorjaar 2018; NKG = niet-kerende bodembewerking; stoppel = stoppelbewerking



Figuur 24: Minerale-N-gehalte in het najaar volgend op de toediening van houtsnippers in de demopercelen te Diest (links) en Tielt-Winge (rechts) (project Leve(n)de Bodem)

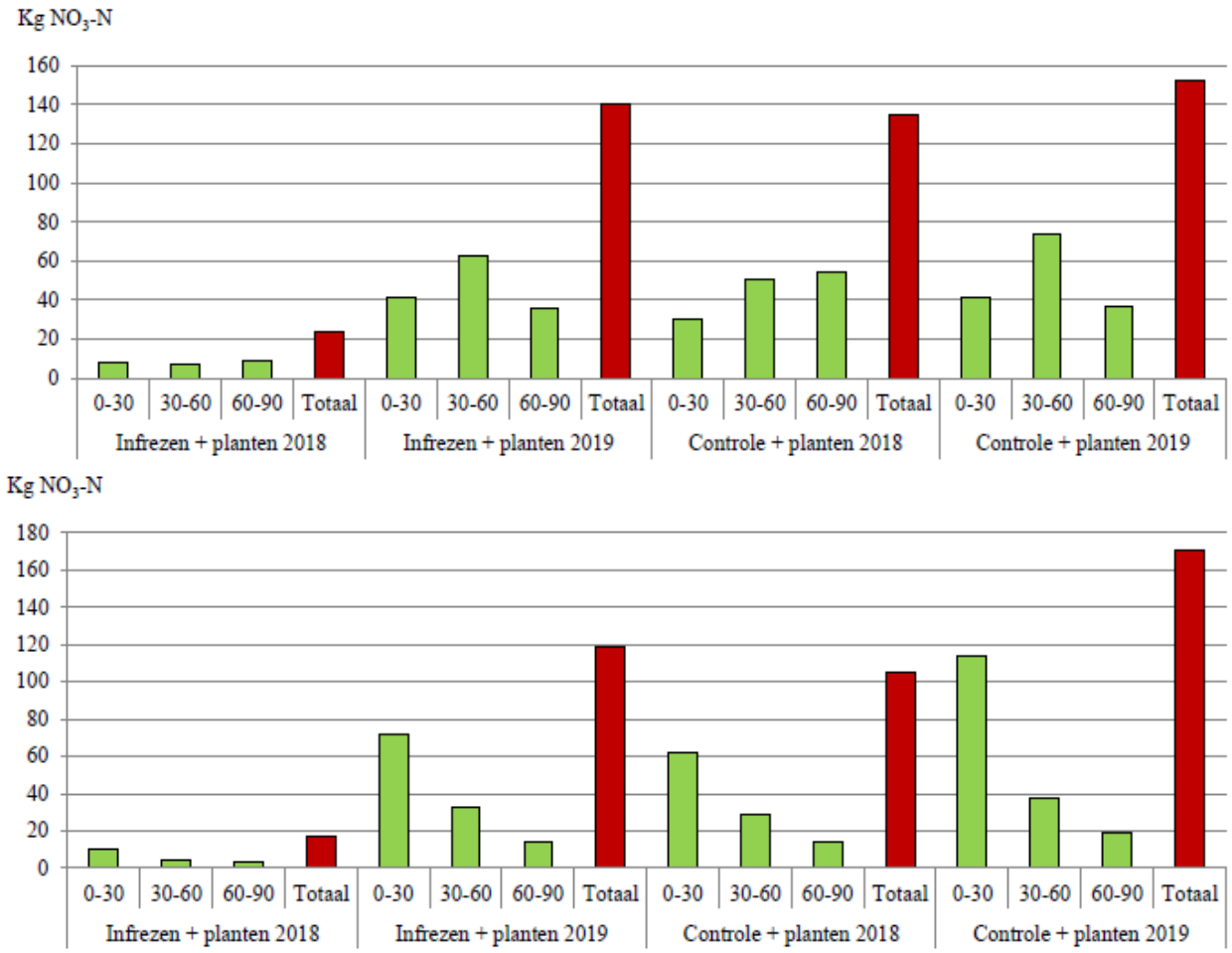


Figuur 25: Minerale-N-gehalte in het proefveld te Lovenjoel (project SoilCare) na najaarstoediening van houtsnippers in 2017; mineral = enkel mineraal bemest; pig manure = varkensstalmest; pig manure + l = varkensstalmest met lavagruis; compost = GFT-compost; wood chips = houtsnippers

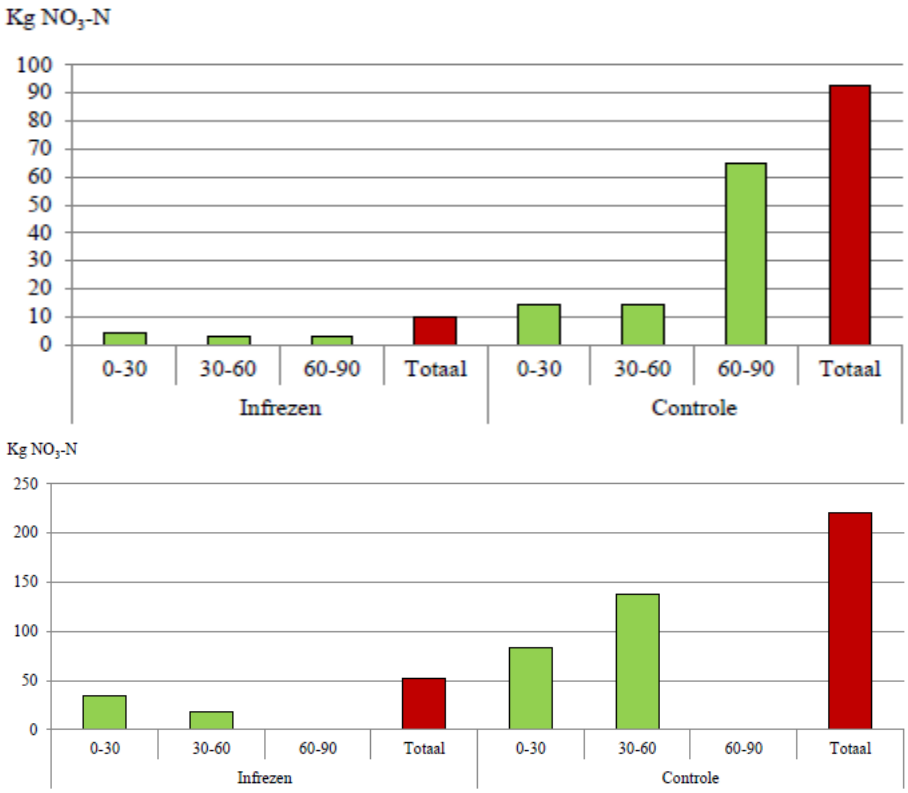
6.2.4.2 Laagstamboomgaarden

In het demoperceel appel zorgde het ingewerkte hout in het najaar 2019 ervoor dat er zowel in 2019 als in 2020 tijdens het seizoen minder beschikbare stikstof in de bodem aanwezig was. Bij de behandeling waar direct opnieuw werd geplant (zonder inzaai van een groenbedekker) lag ook het nitraatresidu zowel in december 2019 als in november 2020 veel lager. Wanneer een jaar gewacht werd om te planten was er in 2019 geen verschil met de controle. In 2020 had het object waar het hout werd afgevoerd en waar een jaar werd gewacht om te planten veruit het hoogste nitraatresidu.

Ook in het demoperceel peer was er tijdens het seizoen minder stikstof beschikbaar in de percelen met ingewerkt hout en was het nitraatresidu lager, en dit zowel in 2019 als in 2020.



Figuur 26: Nitraatresidu gemeten op 4/12/2019 (boven) en op 10/11/2020 (onder) in het demoperceel appel te Sint-Truiden (bron: Pcfruit – project Koolstofcirkels)



Figuur 27: Nitraatresidu gemeten op 4/12/2019 (boven) en op 10/11/2020 (onder) in het demoperceel peer te Sint-Truiden (bron: Pcfruit)

6.2.5 Gewasopkomst en plantenaantallen

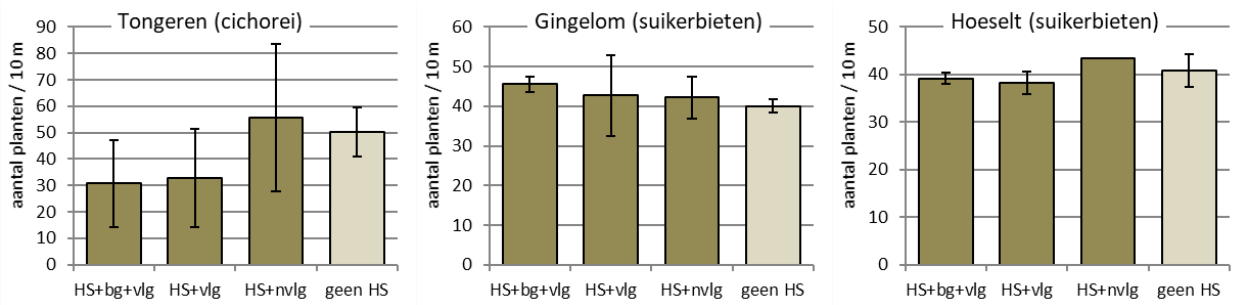
In het eerste jaar na de toediening zouden houtsnippers een effect kunnen hebben op de gewasopkomst en –(begin)ontwikkeling, enerzijds door de aanwezigheid van fysische obstakels (de nog niet verteerde houtsnippers) voor een gelijkmatige zaai en gewasopkomst en anderzijds door de tijdelijke onbeschikbaarheid van stikstof door immobilisatie. Om dit na te gaan werden plantentellingen uitgevoerd in verschillende proefvelden.

In de demonstratiepercelen te Tongeren, Hoeselt, Gingelom en Voeren, met najaarsinwerking van houtsnippers gevolgd door een groenbedekker en inzaai van een voorjaarsteelt na de winter, werden verschillende plantentellingen uitgevoerd in de eerstvolgende hoofdteelt (Figuur 28). Bij de suikerbieten in Gingelom en Hoeselt werd er geen enkele opkomstremming vastgesteld. De cichorei in Tongeren kende een zeer onregelmatige opkomst, echter zonder gevolg voor de eindopbrengst (zie verder).

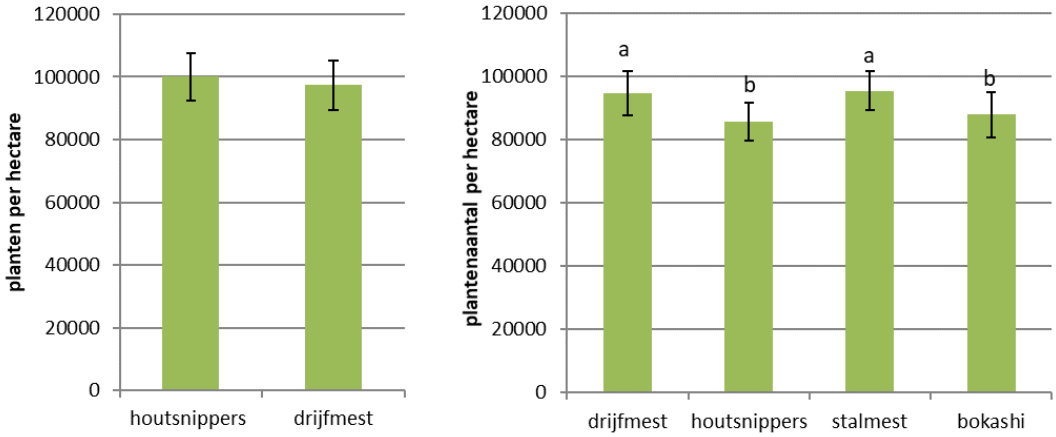
In de demopercelen met maïs na voorjaarstoediening van houtsnippers te Molenstede (Diest) en Tielt-Winge (project Leve(n)de Bodem) werden evenmin verschillen in gewasopkomst/plantentaantallen vastgesteld (Figuur 29).

In de SoilCare-proef, waar direct na het inwerken van de houtsnippers wintertarwe werd gezaaid, werd duidelijk een minder goede opkomst en begin-ontwikkeling vastgesteld dan in de rest van het veld, zonder houtsnippers (Figuur 30). Dit wijst erop dat het waarschijnlijk toch beter is om niet direct na de toediening van de houtsnippers een wintergraan in te zaaien.

Het jaar nadien werd wintergerst gezaaid en werden geen opkomstverschillen meer vastgesteld (Figuur 31). Ook in de aardappelen van 2020 werd geen negatief effect van de houtsnippers op de plantenaantallen meer opgemerkt.

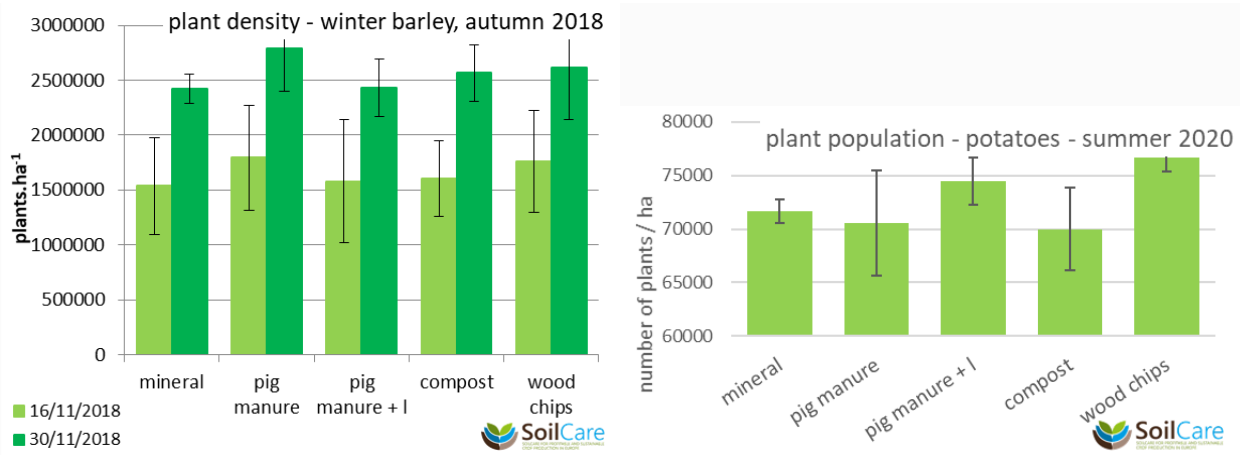


Figuur 28: Plantenaantallen in Tongeren, Gingelom en Hoeselt (project Koester de Koolstof) na najaarstoediening van houtsnippers in 2016: HS = houtsnippers, bg = bosgrond, vlg = vlinderbloemige groenbedekker, nvlg = niet-vlinderbloemige groenbedekker



Figuur 29: Plantenaantallen maïs in Molenstede (Diest) (links) en Tielt-Winge (rechts) (project Leve(n)de Bodem) na voorjaarstoediening van houtsnippers in 2018

Figuur 30: Satellietbeeld genomen na najaarstoediening van houtsnippers in het proefveld te Lovenjoel (project SoilCare), na de zaai van wintertarwe in het najaar 2017; de blekere stroken komen overeen met de houtsnippertoedieningen (bron: Google Earth)



Figuur 31: Plantenaantallen wintergerst (najaar 2018) en aardappelen (2020) in het proefveld te Lovenjoel na toediening van houtsnippers najaar 2016 (project SoilCare); mineral = enkel mineraal bemest; pig manure = varkensstalmest; pig manure + l = varkensstalmest met lavagruis; compost = GFT-compost; wood chips = houtsnippers

6.2.6 Gewasgroei en -opbrengst

De tijdelijke N-immobilisatie en de mogelijke effecten van de houtsnippertoediening op de gewasopkomst en –begingroei zou uiteindelijk een negatief effect kunnen hebben op de opbrengst van het eerstvolgende gewas dat geteeld wordt na de houtsnippertoediening.

Anderzijds kan verwacht worden dat het verhogen van het organische-stofgehalte, de verbetering van de waterhuishouding van de bodem en de algemene verbetering van de bodemkwaliteit op langere termijn een positieve invloed zou hebben op de gewasopbrengst.

Om dit na te gaan werden in de verschillende proef- en demopercelen opbrengstmetingen uitgevoerd.

6.2.6.1 Akkerpercelen

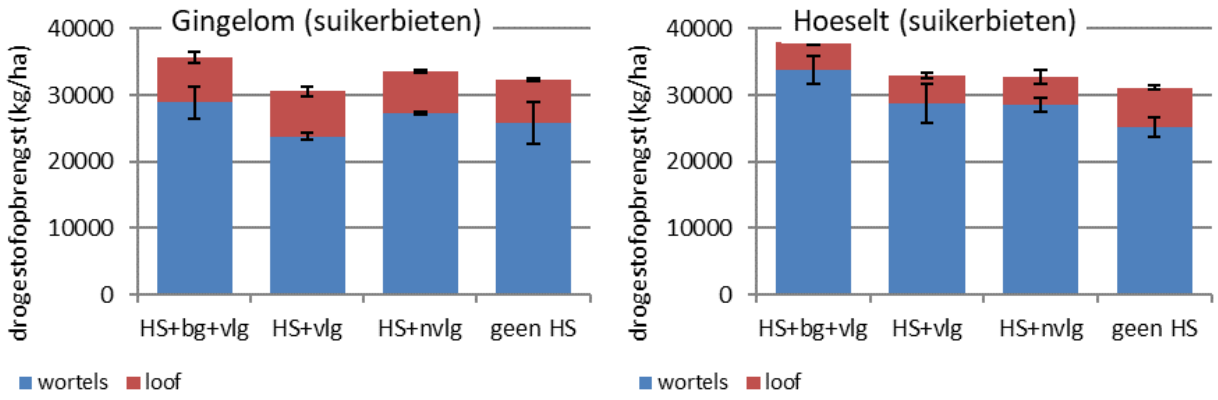
In 2017 werd de gewasopbrengst bepaald van de suikerbieten in Gingelom en Hoeselt. De resultaten van de drogestofopbrengst worden gegeven in Figuur 32. In Gingelom werden geen verschillen tussen de behandelingen vastgesteld. In Hoeselt gaven de suikerbieten in de strook met houtsnippers+bosgrond+vlinderbloemige groenbedekkers een hogere opbrengst dan deze in de zone zonder houtsnippers.

In 2019 werd de gewasopbrengst bepaald van de suikerbieten in Tongeren (Figuur 33). Ook hier werden geen verschillen tussen de verschillende houtsnipperbehandelingen vastgesteld. Enkel de objecten met verschillende N-bemestingsdosissen leken een effect te hebben op de opbrengst.

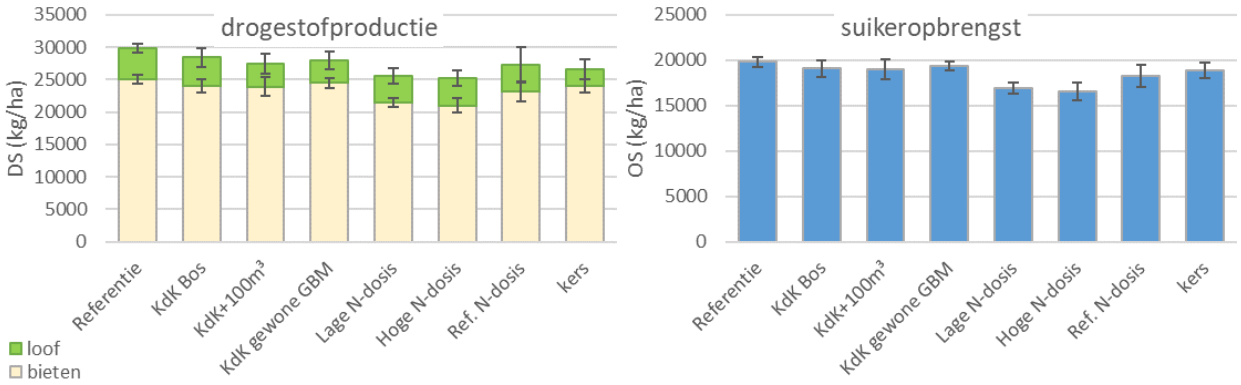
In de maïspercelen in de Kempen (Ravels, Retie en Balen) hadden de extreme weersomstandigheden van 2018 en 2019 een grote invloed op de gewasontwikkeling. Enkel het perceel te Balen kon nog als proef geoogst worden. In 2018 was hier de opbrengst bij ploegen met houtsnippers 4,7% lager dan zonder houtsnippers. Bij ondiepe niet-kerende bodembewerking was er geen verschil tussen de stroken met en zonder snippers. In 2019 waren de verschillen groter. Zowel bij ploegen als bij ondiepe niet-kerende bodembewerking bedroeg de meeropbrengst bij de objecten zonder houtsnippers meer dan 20% t.o.v. de objecten met houtsnippers. Een mogelijke verklaring hiervoor ligt in de lagere beschikbaarheid van stikstof door een (laattijdig) immobilisatie-effect in de stroken met inwerking van houtsnippers.

In het uitzonderlijk droge jaar 2018 werd in de demopercelen te Molenstede (Diest) en Tielt-Winge de maïsopbrengst bepaald na een voorjaarstoediening van houtsnippers (Figuur 34). In Molenstede was de maïsopbrengst zeer laag vanwege de droogte, maar had de strook met houtsnippers toch beduidend hogere opbrengsten. In Tielt-Winge was er geen verschil tussen de behandelingen. Tijdens de droogte was N-immobilisatie dus zeker geen beperkende factor op de opbrengst. De meeropbrengst in de strook met houtsnippers zou deels kunnen verklaard worden door het hogere waterbergend vermogen van de nog niet helemaal verteerde houtsnippers, waardoor de maïs iets minder te lijden had van de droogte.

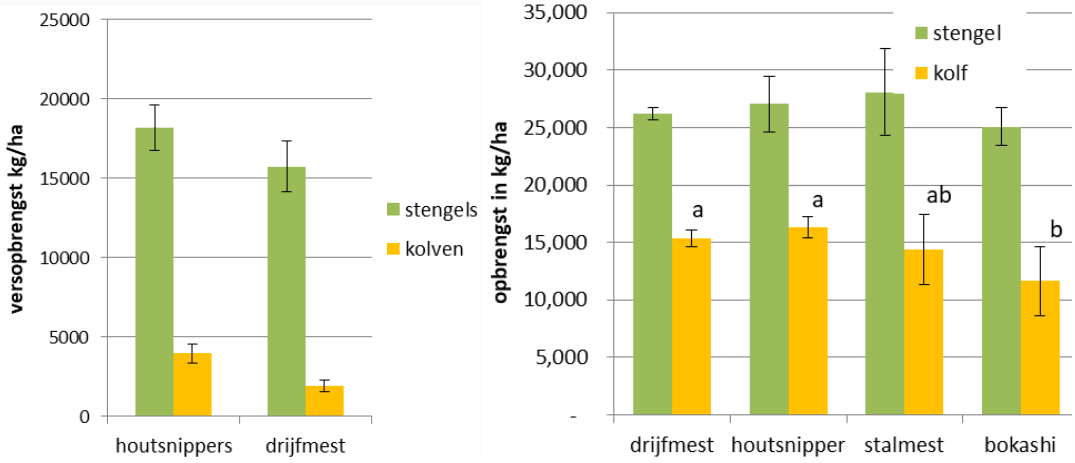
In het proefveld te Lovenjoel tenslotte (project SoilCare) werd gedurende de 3 proefjaren geen enkele significant verschil in gewasopbrengst tussen de behandelingen vastgesteld (Figuur 35).



Figuur 32: Gewasopbrengsten in Gingelom en Hoeselt in 2017 na najaarstoediening van 150 m³/ha houtsnippers in 2016; HS = houtsnippers, bg = bosgrond, vlg = vlinderbloemige groenbedekker, nvlg = niet-vlinderbloemige groenbedekker



Figuur 33: Gewasopbrengsten suikerbieten in Tongeren in 2019 na najaarstoediening van houtsnippers in 2016 (en een 2de toediening in 2019); KdK Bos = 1-malige toediening van 150 m³/ha in najaar 2016 + bosgrond + vlinderbloemige groenbedekker in 2016; KdK+100m³ = idem + 2de toediening van 100 m³/ha in 2019; KdK gewone GBM = idem + niet-vlinderbloemige groenbedekker; Lage N-dosis, Hoge N-dosis en Ref. N-dosis = éénmalige toediening van 100 m³/ha in voorjaar 2019 met resp. een lage, hoge en advies-N-dosis; kers = behandeling met een onbekende dosis kersenhoutsnippers



Figuur 34: Gewasopbrengsten van maïs in Molenstede (Diest) (links) en Tielt-Winge (rechts (project Leve(n)de bodem) na voorjaarstoediening houtsnippers in 2018

Figuur 35: SoilCare-proef te Lovenjoel, gewasopbrengsten van de wintertarwe (2018), wintergerst (2019) en aardappelen (2020) na najaarstoediening van houtsnippers in 2017; mineral = enkel mineraal bemest; pig manure = varkensstalmest; pig manure + l = varkensstalmest met lavagruis; compost = GFT-compost; wood chips = houtsnippers

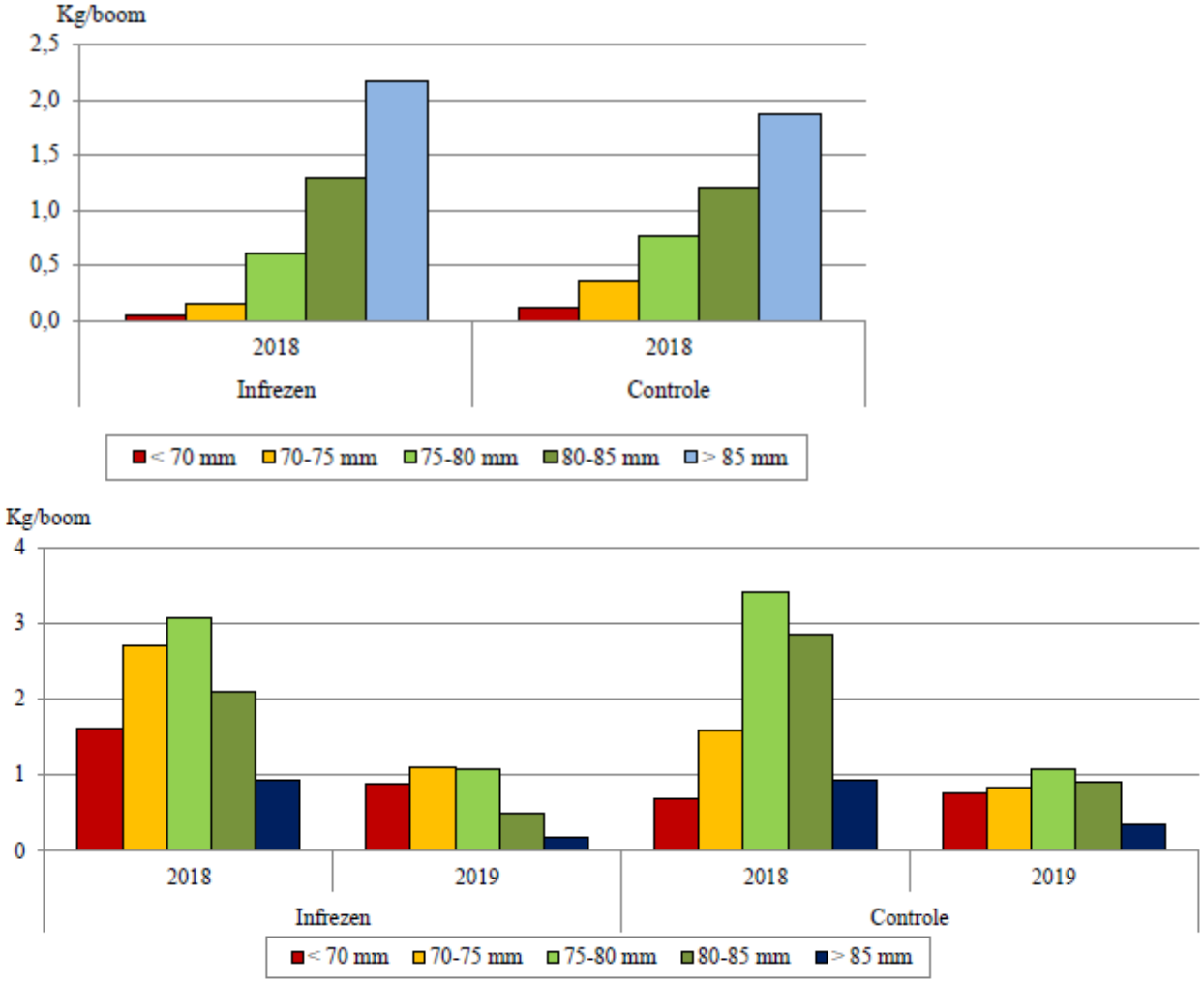
6.2.6.2 Laagstamboomgaarden

In 2019 had het inwerken van de bomen enkel een effect op de groeikracht van de appelbomen indien in hetzelfde jaar werd geplant. Eind 2019 was het boomvolume iets kleiner en ook de gemiddelde scheutlengte was iets korter. De toename van de stamomtrek was vergelijkbaar. Het inwerken van de bomen had geen effect op de appel-opbrengst in 2019 (Figuur 36). Ook de vruchtkwaliteit werd niet beïnvloed. Er waren geen verschillen in hardheid of suikergehalte.

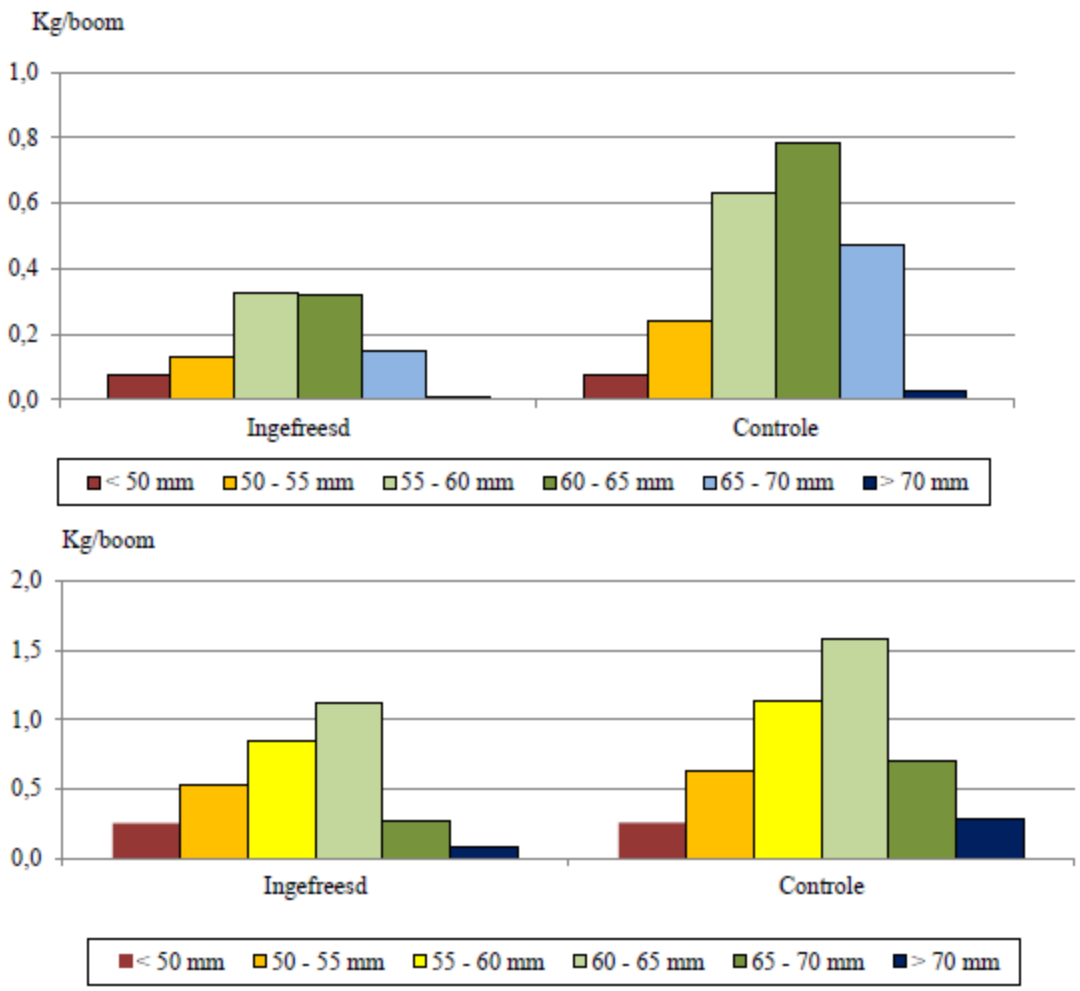
In 2020 had het ingewerkte hout geen effect meer op de groei van de bomen en ook niet op de opbrengst. Het gemiddeld vruchtgewicht lag wel lager, maar de vruchtkwaliteit werd niet beïnvloed (Figuur 36).

In het demoperceel peer had het inwerken van het hout in 2019 weinig effect op de groeikracht van de bomen. Eind 2019 was het boomvolume iets kleiner, maar de gemiddelde scheutlengte was vergelijkbaar. Eind 2020 was er wel een effect: het boomvolume was iets groter, de gemiddelde scheutlengte iets langer en de toename van de stamomtrek iets sterker

In 2019 bleef de perenproductie nog beperkt op deze jonge bomen, maar toch hing er op de controle ± 50 % meer en waren de peren bovendien ook dikker. Ook in 2020 had de controle zonder houtinwerking een hogere opbrengst en een betere vruchtmaat (Figuur 37).



Figuur 36: Opbrengst appels september 2019 (boven) en september 2020 (onder), maatsortering (bron: Pcfruit)

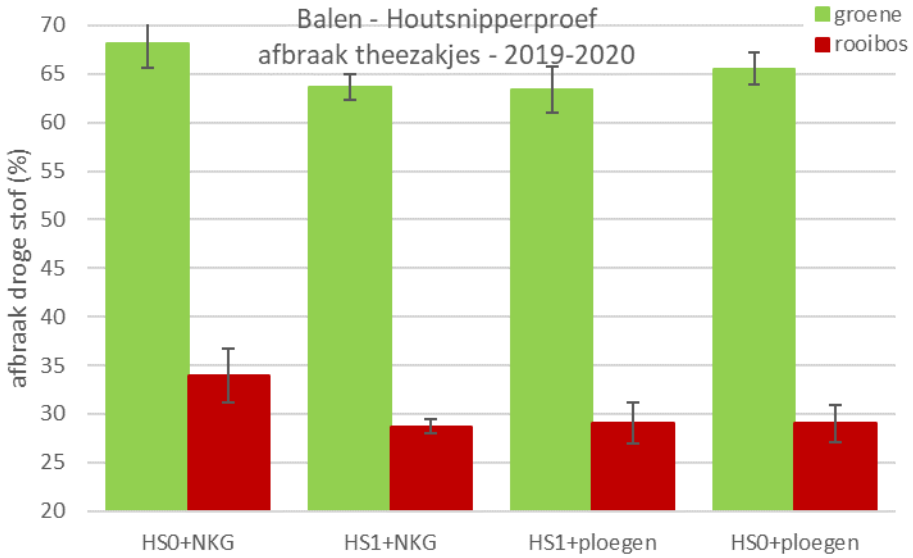


Figuur 37: Opbrengst peren augustus 2019 (boven) en 2020 (onder), maatsortering (bron: Pcfruit)

6.2.7 Bodemleven

De invloed van het inwerken van houtsnippers op de activiteit van het bodemleven werd getest door strooiselzakjes met een referentiesubstraat in te graven, nl. met de theezakjestest. De theezakjestest is een eenvoudige en goedkope methode om de afbraaksnelheid van organisch materiaal in de bodem na te gaan. Om het effect van de houtsnippers op het bodemleven na te gaan, werd de theezakjestest (Keuskamp et al., 2013) uitgevoerd in het demoperceel te Balen van het project Koester de Kempense Koolstof (Vervoort et al., 2020). Bij elk van de behandelingen werden van een makkelijk afbreekbare en meer resistente theesoort (resp. groene thee en rooibosthee) telkens zeven theezakjes ingegraven in het najaar van 2019 (november) en opnieuw opgegraven in het voorjaar van 2020. Deze theesoorten worden gezien als een referentiesubstraat voor het inschatten van de afbraakdynamiek in de bodem. Rooibosthee bevat bovendien veel lignine, net zoals houtsnippers. Na opgraving werd de droge-stofinhoud van de theezakjes bepaald en werd het percentage afbraak van het organisch materiaal berekend (Figuur 38). Voor de groene thee schommelde dit tussen 59 en 72 % en voor de rooibosthee tussen 27 en 38%. Opvallend in de resultaten is dat de hoogste afbraak gemeten werd in de strook waar ook de hoogste opbrengst behaald werd (strook zonder houtsnippers en niet-kerend bewerkt). Mogelijk zijn zowel de relatief lagere opbrengst als de lagere werking van de bodemorganismen in de stroken met houtsnippers

in deze veldproef gelinkt aan een lagere stikstof-beschikbaarheid in de bodem omwille van nog een beperkt, laattijdig immobilisatie-effect (2 jaar na de toediening van de houtsnippers!).



Figuur 38: Activiteit van het bodemleven gemeten op basis van de "teabag index": afbraak van ingegraven theezakjes tijdens de winter (HS0 = zonder houtsnippers, HS1 = met inwerken van houtsnippers; NKG = niet-kerende grondbewerking)

Op basis van de afbraakpercentages van beide theesoorten werden, volgens de teabag index-methode, voor elk van de behandelingen in het demoperceel de afbraaksnelheid en een stabilisatiefactor voor het organisch materiaal in de bodem berekend. De stabilisatiefactor kan geïnterpreteerd worden als "het remmend effect van omgevingsfactoren op de afbraak van de labiele fractie van organisch materiaal in de bodem". Gemiddeld was de stabilisatiefactor hoger voor de geploegde stroken dan voor de stroken met niet-kerende grondbewerking. Per type grondbewerking was de stabilisatiefactor ook hoger voor de stroken met houtsnippers dan zonder houtsnippers. Er was echter een zeer grote variatie tussen de verschillende metingen. Naar analogie met de afbraakpercentages op basis van gewicht (Figuur 38) was de afbraaksnelheid het hoogst in de strook zonder houtsnippers met niet-kerende grondbewerking.

7. Besluiten

7.1. Samenstelling houtsnippers

Het volumegewicht en het drogestofgehalte van houtsnippers kan sterk schommelen in functie van de houtsoort, de fijnheid van de snippers, de bewaartijd en de bewaaromstandigheden. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het bepalen van de toe te dienen hoeveelheid snippers.

Met betrekking tot de chemische samenstelling van de snippers zijn de C/N- en C/P-verhouding landbouwkundig gezien zeer belangrijke parameters. Deze verhoudingen liggen voor houtsnippers veel hoger dan voor andere, meer gangbare organische bodemverbeteraars zoals dierlijke mest maar ook compost. Daardoor is het, in het kader van het mestdecreet, mogelijk om grotere hoeveelheden toe te dienen in landbouwpercelen en zo een boost te geven aan het organische-stofgehalte van de bodem zonder risico's op te hoge P- of N-toedieningen.

Voor de toepassing in landbouwpercelen is het belangrijk om enkel houtsnippers te gebruiken van gekende afkomst en niet bv. houtsnippers op te halen in een containerpark. Analyse van dergelijke snippers wijst immers op (mogelijke) belangrijke vervuiling met grond. Ook andere parameters, zoals de pH, de EC (geleidbaarheid) en het chloridegehalte gaven afwijkende resultaten voor het containerparkstaal.

7.2. Organische-stofopbouw

Cslim©-simulaties die de samenstelling van de houtsnippers (C/N-verhouding en k-waarde bepaald op basis van incubatieproeven) in rekening brengen wijzen op een groot potentieel voor organische-stofopbouw in de bodem op langere termijn, zelfs groter dan compost.

Op kortere termijn (max. 4 jaar) was er in de veldproeven met houtsnippers, waarvan de eerste aangelegd werden in het najaar 2016, hier en daar wel al een trend zichtbaar, maar dit effect is tot nu toe nog steeds niet duidelijk meetbaar. Dit is weliswaar te verwachten, gezien de trage opbouw van organische stof in de bodem.

In de demopercelen van het project Koester de Koolstof werden de houtsnippers in enkele stroken ook geïnoculeerd met bosgrond om de nodige schimmels voor de vertering van hout in de bodem te brengen. Dit leek wel een positief effect te hebben op de toename van organische koolstof in de bodem. In de praktijk echter is het waarschijnlijk moeilijk haalbaar om dit op grotere schaal toe te passen op akkerbouwpercelen.

7.3. Bodemstructuur en -waterhuishouding, infiltratiesnelheid, erosiegevoeligheid

De water-infiltratiesnelheid in de bodem is moeilijk op een reproduceerbare manier te meten. Desondanks kon het positieve effect van een houtsnippertoediening op de infiltratiesnelheid significant aangetoond worden in 4 veldproeven.

De gevoeligheid van de bodem voor erosie en verslemping wordt in belangrijke mate bepaald door de stabiliteit van de bodemkruimels (aggregaten). Het effect van de inwerking van houtsnippers op de vorming van bodemkruimels hangt samen met de vorming van stabiele organische stof (humus) door de afbraak en omzetting van de houtsnippers in de bodem. Het is dus te verwachten dat dit effect pas na verloop van jaren meetbaar zal zijn. In enkele demo- en proefpercelen werden metingen uitgevoerd van de aggregaatstabiliteit. De resultaten wezen weliswaar meestal op een betere aggregaatstabiliteit na inwerken van houtsnippers, maar de verschillen met de controle-percelen zonder houtsnippers waren nooit significant.

7.4. Minerale-stikstofdynamiek

Door de tijdelijke stikstofimmobilisatie na de toediening van houtsnippers, omwille van hun hoge C/N-verhouding, werden in de meeste proef- en demopercelen in het eerstvolgende najaar na de toediening duidelijk lagere nitraatresidu's gemeten. In de twee boomgaarden waar volledige bomen werden ingefreesd in de bodem was dit effect zelfs in het tweede jaar na toediening nog meetbaar.

In enkele percelen werd ook een lagere minerale-stikstofvoorraad in het voorjaar na de toediening gemeten, meestal zonder (meetbare) nadelige gevolgen voor de opbrengst, behalve in Balen en ook in de perenboomgaard met ingefreesde bomen.

7.5. Gewasontwikkeling en -opbrengst

Op gebied van gewasopkomst en plantenaantallen werden geen negatieve effecten vastgesteld bij een najaarstoediening van houtsnippers gevolgd door voorjaarsteelten suikerbieten, cichorei of maïs en evenmin bij een voorjaarstoediening gevolgd door de inzaai van maïs.

In de proef te Lovenjoel, waar wintertarwe werd ingezaaid vlak na de inwerking van de houtsnippers, werden wel een minder goede opkomst en beginontwikkeling waargenomen bij de wintertarwe, waarvan het effect nog waarneembaar was op de gewasopbrengst; een jaar later was dit negatief effect verdwenen bij de wintergerst.

Verder werden nog enkele negatieve effecten op de gewasopbrengst ten gevolge van tijdelijke stikstofimmobilisatie waargenomen in het maïsperceel te Balen en in de perenboomgaard te Sint-Truiden. Deze negatieve effecten kunnen in de praktijk gemakkelijk vermeden worden door een goede opvolging van de stikstofbeschikbaarheid in de bodem in het voorjaar en een aangepaste stikstofbemesting.

In alle andere percelen was er geen negatief effect van de houtsnippertoediening op de gewasopbrengst merkbaar. In het maïsperceel te Molenstede (Diest) werd in het extreem droge jaar 2018 zelfs een positief effect van de houtsnippers waargenomen. De onverteerde houtsnippers in de bodem zorgden hier voor een iets betere vochtvoorziening voor het gewas.

7.6. Praktisch

7.6.1 Wetgeving

Het gebruik van biomassa-reststromen uit landschapsbeheer wordt in Vlaanderen gereguleerd door het Vlaams reglement voor duurzaam gebruik van materiaalkringlopen en afvalstoffen, nl. de VLAREMA-wetgeving. Ook het toedienen van houtsnippers op landbouwbodems valt onder deze regelgeving. Houtige reststromen uit landschapsbeheer kunnen als afval of grondstof bestempeld worden, naargelang de oorsprong van de biomassa (Actieplan Duurzaam beheer van biomassa(rest)stromen, 2015):

Afval: snoeihout afkomstig van houtkanten/kleine landschapselementen/laanbomen zonder bepaalde beheervisie of -plan;

Grondstof: hout uit duurzaam beheerde bossen, houtkanten, kleine landschapselementen en laanbomen evenals hout gebruikt als mulch dat voldoet aan de kwaliteitseisen van de omzendbrief 'Kwaliteit van houtsnippers voor gebruik als mulchmateriaal'.

Om houtsnippers te mogen inwerken op landbouwgronden moeten ze afkomstig zijn van bossen, houtkanten of kleine landschapselementen die onderhouden worden volgens een duurzaam beheerplan. Als dit niet zo is worden de houtsnippers initieel als afval beschouwd en moet een grondstoffenverklaring

bij OVAM kunnen voorgelegd worden voor deze specifieke toepassing. Hierbij is een analyse van nutriënten en zware metalen noodzakelijk om aan te tonen dat de houtsnippers niet vervuild zijn.

Intussen is OVAM, met de medewerking van de Bodemkundige Dienst van België en Boerennatuur, bezig met het uitwerken van een praktisch wetgevend kader uit voor de milieukundig verantwoorde toepassing van houtige biomassa als bodemverbeteraar.

7.6.2 Beschikbaarheid van houtsnippers

Naast bedrijfseigen houtsnippers (laanbomen, hagen, enz.) is de meest duurzame bron van houtsnippers voor gebruik in landbouwpercelen, in het licht van het sluiten van koolstofkringlopen, afkomstig van het onderhoud van houtkanten en kleine landschapselementen. Het aanplanten en onderhouden van houtkanten is dan ook de meest directe factor waarop kan ingespeeld worden om de beschikbaarheid van houtsnippers te verhogen (Vervoort et al., 2020). De hoeveelheid houtsnippers die bekomen kan worden uit houtkantenbeheer hangt onder andere af van het type houtkant (hakhout, middelhout of hooghout), de soorten in de houtkant (zachte of harde loofsoorten) en de mate van opvolging van het beheer (achterstallig beheer, reguliere onderhoudssnoei). Gemiddeld komt bij het onderhoud 60 kg vers hout per lopende meter houtkant vrij (TWECOM, 2015), variërend van 40 kg tot 140 kg per lopende meter, met die beperking echter dat dat houtkanten jaarlijks maar per 100 meter mogen worden kortgezet om het milieu zo min mogelijk te verstoren. Voor de productie van 40 ton verse houtsnippers zou dus gemiddeld 670 m houtkant nodig zijn. In akkerbouwpercelen kan een éénmalige dosis houtsnippers van 150 m³ per hectare toegediend worden om het organische-stofgehalte in de bodem een boost te geven. Maar ook met vijfjaarlijkse toedieningen van een kleinere dosis, bv. 40 m³ per hectare, kan op lange termijn een gelijkaardig effect bekomen worden. Ook houtkantenbeheer kent een cyclisch patroon. Zo wordt hakhout om de 7 à 15 jaar, afhankelijk van de houtsoort, kort gezet, vervolgens na 1 jaar weer vrijgesteld en na 2 à 3 jaar opgesnoeid (stimuleren om in de hoogte te groeien). Een eenvoudige rekensom voor de gemeente Ravels, een gemeente met relatief veel houtkanten, toont aan dat er op dit moment ruim onvoldoende houtkanten aanwezig zijn om de aanbevolen dosissen op grote schaal toe te passen (Vervoort et al., 2020). Om het aanplanten van nieuwe houtkanten aan te moedigen (onder andere) ontstaan er de laatste jaren op verschillende niveau's tal van initiatieven om landbouwers te helpen om aan landschapsbeheer en koolstofopslag te doen en wordt ook nagedacht over stimulansen en vergoedingen voor landbouwers hierin willen investeren.

7.6.3 Logistiek en kosten

Om de houtsnippers in de bodem te krijgen, zijn verschillende werkzaamheden nodig: van het onderhoud van de houtkanten, het versnipperen van het hout en het transporteren en eventueel bewaren van de snippers tot het uitrijden en inwerken ervan in de grond. Al deze handelingen bepalen de kost voor het inzetten van snippers uit houtkantenbeheer als bodemverbeteraar. Vervoort et al. (2020) berekenden dat de totale kostprijs van het inwerken van houtsnippers aan een dosis van 10 ton/ha (komt overeen met ongeveer 40 m³/ha) 530,5 €/ha bedraagt. Dit is een aanzienlijke investering.

Een landbouwer betrokken bij het SoilCare-project in Vlaanderen twijfelde of de kostprijs van deze maatregel (hetzij op basis van eigen productie van houtsnippers hetzij op basis van de aankoop ervan) zou opwegen tegen de eventuele (nog voor hem onzekere) voordelen. Bovendien zijn er volgens hem risico's op slechte gewasopkomst en –begingroei als het versnipperen niet fijn genoeg gebeurt of de snippers niet deskundig toegediend en ingewerkt worden.

Om een dergelijke klimaatrobuuste maatregel te stimuleren wordt deze dus best gekoppeld aan een verdienmodel dat minstens de kosten en gederfde inkomsten dekt.

8. Referenties

Archambeaud M., Noël B. (2006) Le « bois raméal fragmenté » – Un outil pour doper les sols en matières organiques. Techniques culturales simplifiées, n° 37, mars/avril/mai 2006, pp. 10-13.

Calatrave J., Franco J.A. (2011) Using pruning residues as mulch: Analysis of its adoption and process of diffusion in Southern Spain olive orchards. Journal of Environmental Management 92: 620-629.

Caron C. (1994) Ramial chipped wood : a basic tool for regenerating soils. Publication n° 50, http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf, édité par le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, Département des Sciences du Bois et de la Forêt, Québec, Canada. 15 pp.

Caron C., Lemieux G., Lachance L. (1998) "Regenerating Soils with Ramial Chipped Wood". in Maine Organic Farmer & Gardener. Augusta Maine, USA decembre 1998 Vol. 25, No. 4 ISSN 098l-9194 Québec GOA 1N0 Faculté de Foresterie, Université Laval, publication n° 100 Québec G1K 7P4, Canada. https://www.dirtdoctor.com/organic-research-page/Regenerating-Soils-with-Ramial-Chipped-Wood_vq4462.htm

Coleman K., Jenkinson D.S. (2014) RothC - A model for the turnover of carbon in soil. Model description and users guide (Windows version) (updated June 2014).

Deying Zhao, Cungang Cheng, Deguo Lyu, Man Jiang M., Guodong Du (2016) Effects of residue coverage on the characteristics of soil carbon pools in orchards. Archives of Agronomy and Soil Science, 63:6:771-783.

Germer S., van Dongen R., Kern J. (2017) Decomposition of cherry tree prunings and their short-term impact on soil quality. Applied Soil Ecology 117-118: 156-164.

Gilli, C., Günther, V. (2012) Le bois raméal fragmenté. Agroscope, fiche technique, 2 pp.

Grosso F., Baath E., De Nicola F. (2016) Bacterial and fungal growth on different plant litter in Mediterranean soils: Effects of C/N ratio and soil pH. Applied Soil Ecology 108: 1-7.

Homyak P.M., Yanai R.D., Burns D.A., Briggs R.D., Germain R.H. (2008) Nitrogen immobilization by wood-chip application: Protecting water quality in a northern hardwood foresyt. Forest Ecology and Management 255: 2589-2601.

Keuskamp J.A., Dingemans B.J.J., Lehtinen T., Sarneel J.M., Hefting M.M. (2013) Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. Methods in Ecology and Evolution 4 (11): 1070-1075.

Lalande R., Furlan V., Angers D.A., Lemieux G. (1998) Soil improvement following addition of chipped wood from twigs. American Journal of Alternative Agriculture, 13(3): 132-137.

Montanaro G., Tuzio A.C., Xylogiannis E., Kolimenakis A., Dichio B. (2017) Carbon budget in a Mediterranean peach orchard under different management practices. Agriculture, Ecosystems and Environment 238: 104-113.

Moreno-Garcia M., Repullo-Ruiberriz de Torres M.A., Carbonell-Bojollo R.M., Ordonez-Fernandez R. (2017) Management of pruning residues for soil protection in olive orchards. Land degradation & development, 2018-09, 29(9): 2975-2984.

N'dayegamiye N., Angers D.A. (1993) Organic matter characteristics and water-stable aggregation of a sandy loam soil after 9 years of wood- residue applications. Canadian J. Soil Sci. 73:115-122.

Noël B. (2005) Le Bois Raméal Fragmenté – Plus de carbone pour nos sols – Un outil pour une agriculture durable & respectueuse de l'environnement.

Noël B. (2006) Mise en œuvre de la technique du Bois Raméal Fragmenté (BRF) en agriculture wallonne. Rapport final, Juin 2006. Projet effectué par le Centre des Technologies Agronomiques (CTA), subventionné par le Ministère de la Région Wallonne. 168 pp.

Repullo M.A., Carbonell R., Hidalgo J., Rodriguez-Lizana A., Ordonez R. (2012) Using olive pruning residues to cover soil and improve fertility. Soil & Tillage Research 124: 36-46.

Rey F., Breton V., Meistermann S., Crosaz Y. (2009) Le bois raméal fragmenté (BRF) en végétalisation pour la lutte contre l'érosion de surface. irstea. 2009, pp.44. ffhal-02592918f

Rodriguez-Lizana A., Espejo-Perez A.J., Gonzalez-Fernandez P., Ordonez-Fernandez R. (2008) Pruning residues as an alternative to traditional tillage to reduce erosion and pollutant dispersion in olive groves. Water Air Soil Pollut, 193: 165-173.

Schurink E., Russchen H.J. (2011) C/N effecten op de groei van orchideeën. Eindrapport van het project PT 13818 uitgevoerd door DLV Plant, Wageningen en gefinancierd door Productschap Tuinbouw.

Six J., Frey S.D., Thiet R.K., Batten K.M. (2006) Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:555-569.

Tits M., Odeurs W., Elsen A., Vandendriessche H. (2011) Organische stof: de essentie van bodemkwaliteit. Handboek bij het lessenpakket uitgegeven door de Bodemkundige Dienst van België, 120 pp.

Tits M., Lammens B. (2018) Koester de Koolstof – Inhoudelijk Eindrapport. 27 pp.

Tits M., Vervoort L. (2019) Koester de koolstof in Zuid-Limburg - Kringloop sluiten bij het beheer van houtkanten. Tits M., Vervoort L. (2019) Boer&Tuinder, 28 februari 2019.

Tits M., Elsen A., Deckers S., Bries J., Vandendriessche H. (2020) Bodemvruchtbaarheid van de akkerbouw- en weilandpercelen in België en noordelijk Frankrijk (2016-2019). Publicatie van de Bodemkundige Dienst van België, 235 pp.

Vanrespaille H., Bonnast J., Elsen A. (2019) Praktijkevaluatie bodemverbeterende middelen: stalmest, bokashi en houtsnippers. Project uitgevoerd door Bodemkundige Dienst van België en agrobeheercentrum Ecokwadraat in opdracht van Vlaams-Brabant. Eindrapport, 22/01/2019. 45 pp. In kader van Interreg Leve(n)de bodem.

Vulgariserende publicaties m.b.t. houtsnippers:

Anon. (2019) Wat houtkant voor akkerbouwer kan betekenen? Snippers! VILT, 1/2019.

Dieleman P. (2018) Effectief werken aan de bodemkwaliteit. Management & Techniek , 26/3/2018, pp. 5-7.

Tits M. (2018) BDB test bodemsparende en -verbeterende technieken. Management & Techniek , 15, 3 september 2018, pp. 10-11.

Tits M., Elsen A., Merckx W. (2017) SoilCare voor een rendabele en duurzame gewasproductie in Europa. Landbouwleven , Akkerbouw | Online 27/11/2017 13:50.

Tits M., Lammens B. (2017) Koester de koolstof en verbeter de bodemkwaliteit met houtsnippers. Management&Techniek; , 20, 3/11/2017. pp. 44-46.

Tits M., Lammens B. (2017) Verbeter de bodemkwaliteit door toepassing van houtsnippers. Landbouwleven , 9/9/2017.

Vervoort L., Rops J., Tits M. (2019) Koolstof, van houtkant tot in de bodem. Boer&Tuinder, 10 oktober 2019, pp. 48-49.

Vervoort L., Tits M., Vancampenhout K., Van de Ven G. (2020) Van houtkant tot in de bodem. Praktijkgids in kader van het project Koester de Kempense Koolstof, uitgevoerd door Boerennatuur Vlaanderen, Bodemkundige Dienst van België, Hooibeekhoeve en KU Leuven Campus Geel, met de financiële steun van LEADER Kempen Oost en de gemeenten Balen, Oud-Turnhout, Ravels en Retie.

ToDo

- Tekst literatuur verder uitschrijven (techniek houtsnippertoediening)
- Aanvullen grafieken – eventueel layout verbeteren
- Algemene besluiten en praktische bedenkingen uitschrijven