

Bodemverdichting in de landbouw

Vermijden en herstellen





Deze brochure “Bodemverdichting in de landbouw: vermijden en herstellen” is samen door de partners van het project PROSENSOLS uitgewerkt.

Het project PROSENSOLS is tot stand gekomen met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling Interreg IV Frankrijk – Wallonië – Vlaanderen. Het project heeft tot doel om de problemen van bodemdegradatie aan te pakken over de regionale, provinciale en nationale grenzen heen. Kennis over landbouwtechnieken en bodembescherming worden uitgewisseld tussen de departementen Nord, Pas-de-Calais, Aisne, Oise en de provincies Henegouwen, West- en Oost-Vlaanderen.

Landbouwpraktijken zijn sterk uiteenlopend en de impact hiervan op het milieu en de bodem kan zeer specifiek zijn. PROSENSOLS stelt zich tot doel:

- **Het sensibiliseren** van de bevolking over milieukundige, economische en socio-culturele functies van de bodem, over de bedreigingen waaraan de bodem is blootgesteld en de gevolgen hiervan op lokaal en grensoverschrijdend niveau. De maatregelen die men kan nemen om bodembedreigingen aan te pakken komen eveneens aan bod.
- **Het evalueren** van de effecten van de verschillende landbouwpraktijken op bodemverdichting, erosie, koolstofvoorraden in de bodem, verzilting, fosforgehalte en biodiversiteit.
- **Het bevorderen** van landbouwpraktijken om bodemverdichting, erosie, verlies aan organisch materiaal, overmaat aan fosfor in de bodem en de daling van de biodiversiteit te beperken.
- **Het formuleren** van aanbevelingen voor het beleid over landbouwpraktijken om bodemdegradatie te beperken.

Meer info kunt u vinden op de website: www.prosensols.eu.



INTERREG doet grenzen vervagen

1. Structuur van de bodem

De bodem is samengesteld uit minerale deeltjes, organisch materiaal, water en lucht. De structuur van de bodem is de manier waarop de vaste bodemdeeltjes gegroepeerd zijn tot kluitjes of aggregaten en de aard en intensiteit van de bindingen die tussen de kluitjes bestaan. De aggregaten van verschillende grootte zijn opgebouwd uit organisch en mineraal materiaal en worden vastgehouden door worteltjes, zwamvlokken van schimmels, afscheidingen van bodemfauna en organisch materiaal. Naast de vaste bodemdeeltjes zijn er ook de poriën die de porositeit van de bodem vormen. Zij kunnen gevuld zijn met water of lucht. Duidelijk ontwikkelde kluitjes, vormen een goede en stabiele bodemstructuur. Een bodem met een stabiele kruimelstructuur is gunstig voor de landbouw.

De structuur van de bodem kan tijdens de loop van het jaar veranderen door wisselende weersomstandigheden (periodes van sterke droogte of neerslag, afwisseling van vorst en dooi), biologische activiteit, aan-/afwezigheid van vegetatie, activiteit van het wortelstelsel, aanvoer van organisch materiaal maar ook door bodembewerking uitgevoerd door de landbouwer, door het veld te berijden of door betreding door het vee.

**Verwar structuur niet met textuur van de bodem:
de percentages aan zand- , leem- en kleideeltjes vormen de textuur.**

Waarom is bodemstructuur belangrijk?

Bodemstructuur speelt een doorslaggevende rol bij:

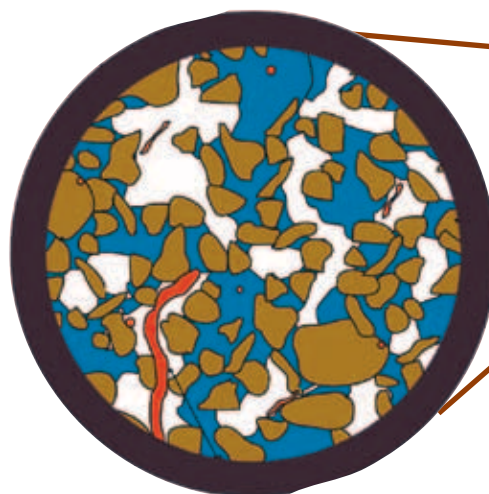
- het stockeren van water in de bodem;
- het bewegen van water tussen het oppervlak, de bouwvoor en de onderliggende bodem (drainage en capillariteit), wat bevordert wordt door de samenhang van de poriën (connectiviteit);
- de verluchting van de bodem;
- de ontwikkeling en werking van de wortels;
- de opslag en het vrijkomen van voedingsstoffen;
- de temperatuur en de temperatuurschommelingen in de bodem;
- de schuilmogelijkheden voor het bodemleven (bacteriën, schimmels, nematoden, regenwormen, insecten,...) en de activiteit ervan;
- het milieu (vermindering van erosie, het vasthouden en afbreken van vervuilende stoffen).



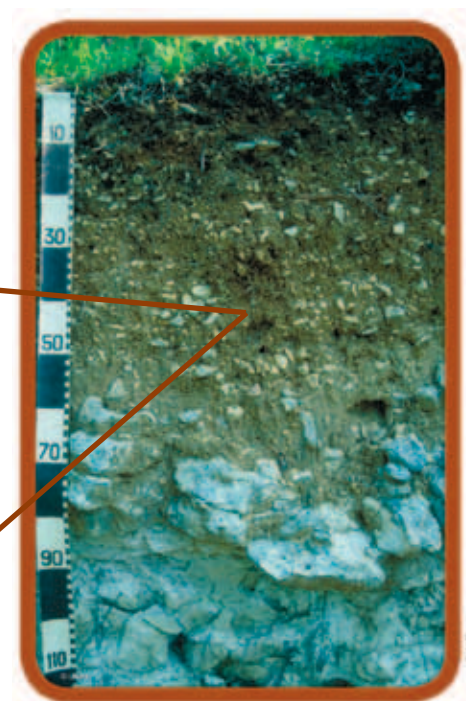
Samenstelling van de bodem

De bodem bestaat uit vaste deeltjes, lucht, water en levende dieren.

-  Lucht
-  Levende organismen
-  Water
-  Vast materiaal (mineraal en organisch)



Bron: Université catholique de Louvain



De omzetting van het moedergesteente en de plantengroei leiden tot de vorming van een bodem.

Structuur van de bodem

Kruimelstructuur in een bodem rijk aan organisch materiaal (links), te vergelijken met een ongunstige structuur met hoekige (blokkige) aggregaten met bijna gladde oppervlakken (rechts).



Bron: Parc Naturel du Pays des Collines (links) Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais (rechts)

2. Bodemverdichting

Bodemverdichting is het samendrukken van bodemdeeltjes door het uitoefenen van een externe druk. Het effect verspreidt zich vanaf het punt waar de druk wordt uitgeoefend in horizontale maar vooral in verticale richting (verdichtingsgolven). De verdichting of compactie veroorzaakt een herschikken van de aggregaten in de bodem totdat een nieuw evenwicht is bereikt tussen de weerstand die de bodem biedt en de druk die uitgeoefend wordt. De ruimtelijke schikking, de grootte, de vorm en de interne samenhang van de aggregaten veranderen zodat er hoekige of afgeplatte aggregaten worden gevormd. De porositeit neemt af, vooral het aandeel grote poriën vermindert (dus de dichtheid van de bodem verhoogt), en de continuïteit van de poriën wordt onderbroken. Zo zal door een rijdende tractor het gewicht op de bodem via de banden overgedragen worden en zal de bodem verdichten om deze druk te kunnen dragen. Het zichtbaar effect aan het bodemoppervlak is de vorming van een rijspoor.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

Het gewicht van vee kan de bodem verdichten.



Verdichtingsgolf in de bodem, onder de hoeven van een koe en de banden van een landbouwmachine.

Bron: Inagro



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais



Bron: Université catholique de Louvain

Vorming van een rijspoor onder het gewicht van een landbouwvoertuig dat over een te natte bodem heeft gereden.

Bodemverdichting is het resultaat van een verticale en horizontale beweging van de bodemdeeltjes. De verticale beweging wordt veroorzaakt door een statisch effect, “het gewicht”; de horizontale beweging door het versnellen, vertragen, doorslippen en veranderen van rijrichting van het landbouwvoertuig. In de bodemlaag onder de bouwvoor wordt de verdichting voornamelijk door het verticaal effect veroorzaakt.

Waar in de bodem treedt verdichting op?

Nabij het oppervlak, op het niveau van de ploegzool en in de ondergrond.

Verdichting **nabij het oppervlak**, in de bouwvoor (naargelang de situatie tot 20 à 30 cm diep), grijpt plaats waar landbouwvoertuigen heen en weer rijden of onder de hoeven van de dieren. Verdichting wordt belangrijker naarmate de uitgeoefende druk op de bodem groter is, de bodem vochtiger of losser is.

De ploegzool is een verdichte laag in de bodem die weinig water doorlaat en moeilijker doordringbaar is voor wortels en regenwormen. De ploegzool bedraagt enkele centimeters en bevindt zich aan de onderzijde van de bouwvoor. Ze wordt gevormd doordat de bodem telkens tot op dezelfde diepte bewerkt wordt. De vorming van de ploegzool



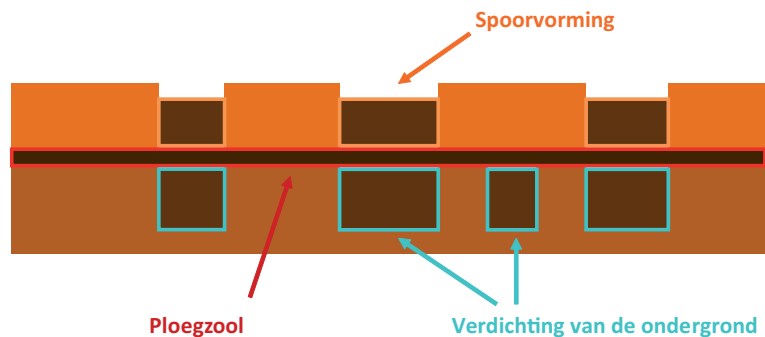
Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais

De donkergekleurde bouwvoor is verdicht, onder de bouwvoor tussen de twee gele lijnen is er een verdichte laag met blokkige structuur.

wordt nog versterkt door een ongescherpte ploeg die de grond eronder platdrukt.

Bij zeer grote belasting wordt **de ondergrond** verdicht. Deze verdichting kan tot 60 cm diep of meer reiken. De aanwezigheid van een ploegzool of grint kan de dieper lig-

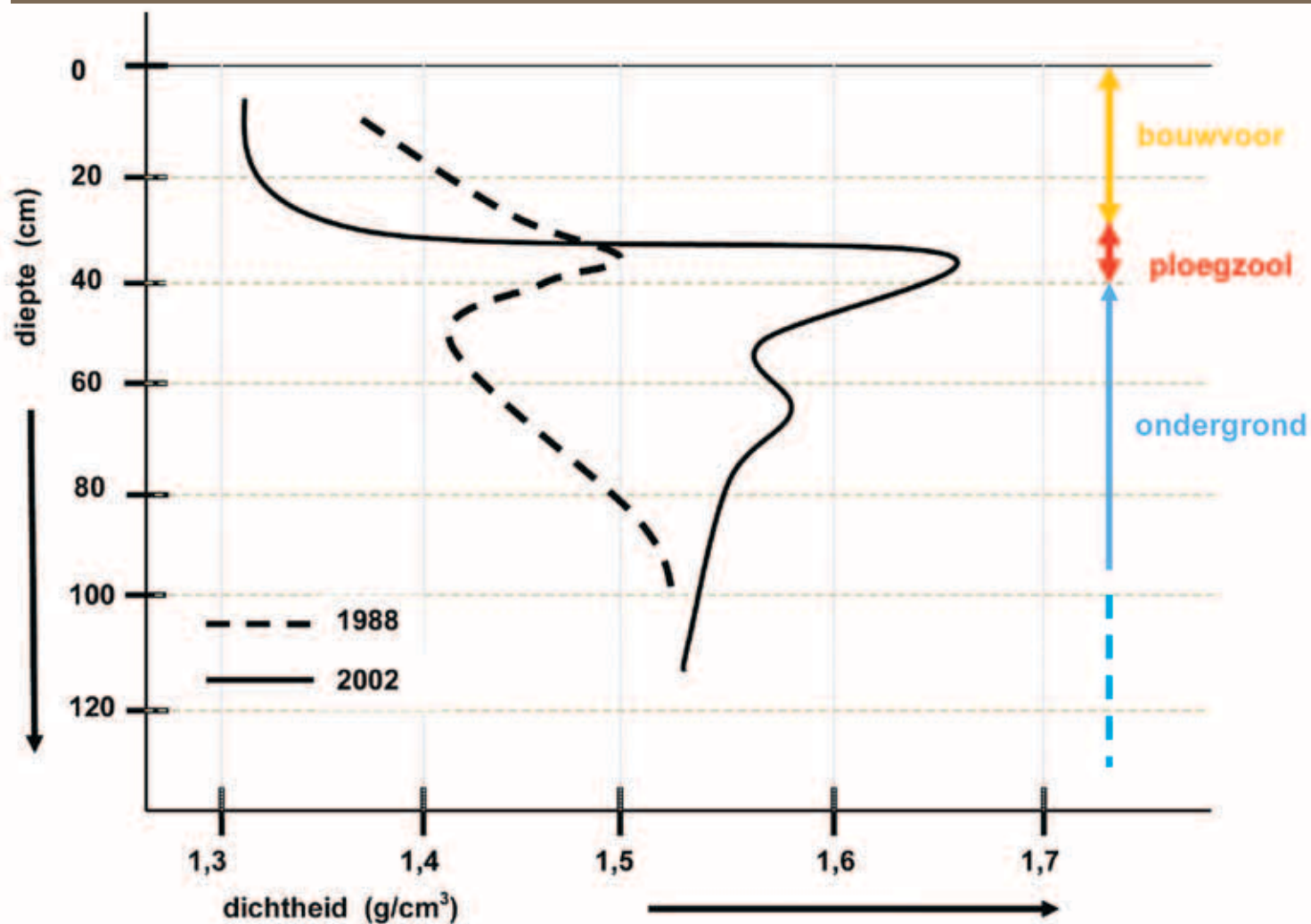
gende bodemlagen een beetje beschermen tegen deze belasting. De laatste decennia zien we een toenemende verdichting van de ondergrond. De verdichting van deze laag is van lange duur.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

Verdichting in de bouwvoor onder een rijspoor en in de ploegzool en verdichting in de ondergrond.

Verband tussen de dichtheid (schijnbaar soortelijk gewicht) van de bodem en de diepte. Merk de aanwezigheid op van de ploegzool, evenals de verhoging van de verdichting van de ondergrond in de laatste decennia.



Bron: aangepast van Alterra – Centrum Bodem – Wageningen University and Research Centre, Paul Römken

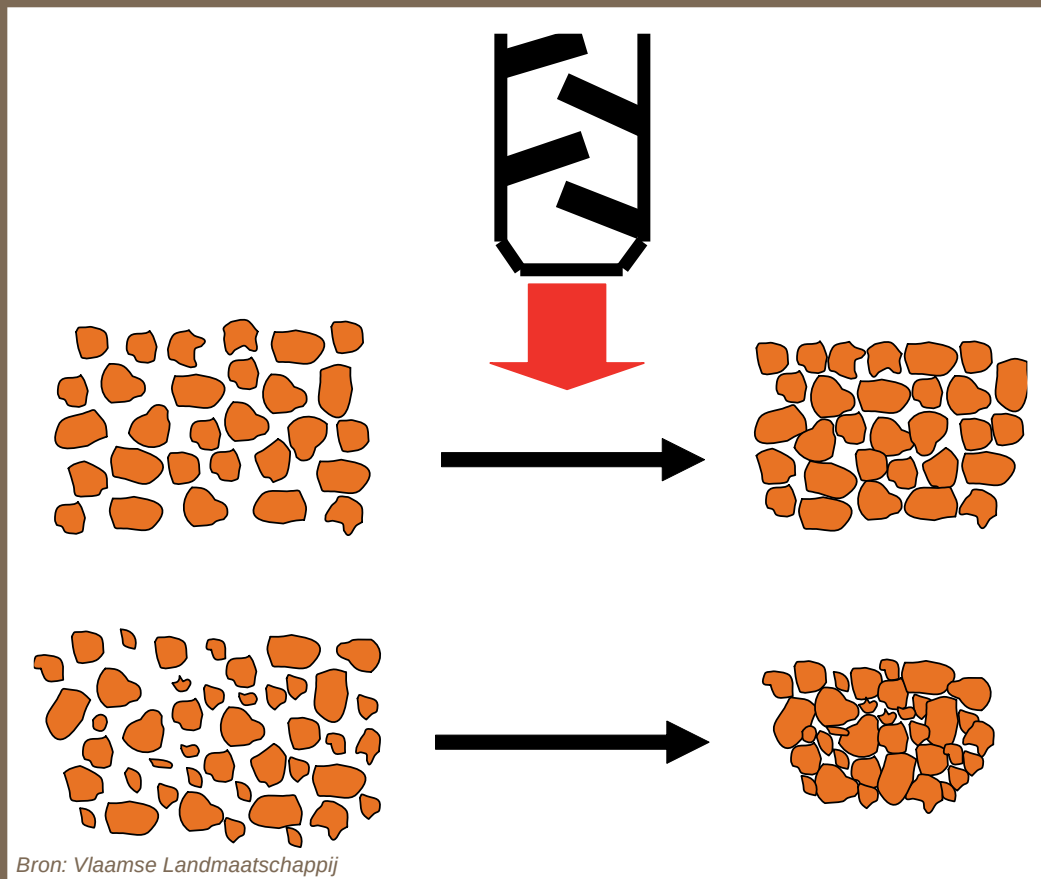
verdichting van landbouwbodems

3. Verdichting wordt beïnvloed door

- De **gevoeligheid van een bodem** of de natuurlijke tendens van een bodem om te kunnen verdichten, wordt bepaald door de bodemeigenschappen zoals textuur, structuur en het gehalte aan organisch materiaal.
- De **kwetsbaarheid van een bodem** op een bepaald moment: hoe gemakkelijk de bodem kan verdichten is afhankelijk van de bodemvochtigheid.

Textuur

Elk type bodem kan verdicht worden, maar een bodem met deeltjes van veel verschillende groottes heeft een natuurlijke tendens om gemakkelijker te verdichten dan een bodem met veel deeltjes van dezelfde grootte: bij een uitgeoefende druk schuiven de kleine bodemdeeltjes in de holtes tussen de grotere deeltjes.



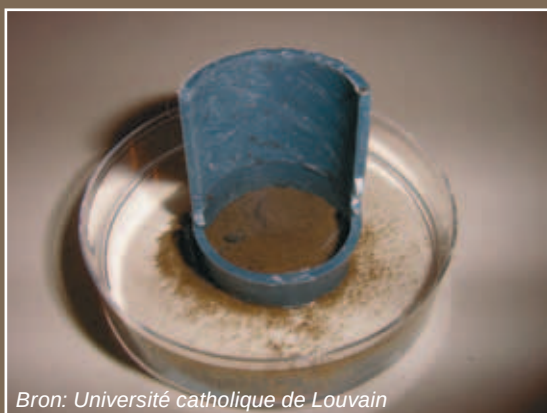
Verdichting naargelang de korrelgrootteverdeling van de bodem: een bodem met veel deeltjes met sterk uiteenlopende groottes (d.w.z. kleine en grote deeltjes) kan meer verdicht worden.

Structuur en organisch materiaal

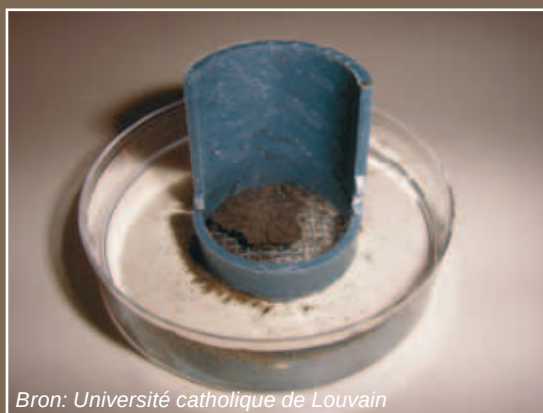
De vorming en de stabiliteit van aggregaten en de hoeveelheid en de grootte van de poriën bepalen de intensiteit van de verdichting. Een vers bewerkte en losse bodem is vatbaarder voor verdichting dan een stoppelveld. Een hoger gehalte aan organisch materiaal geeft stabielere aggregaten en bevordert het bodemleven. Afscheidingen van bacteriën, zwamvlokken, regenwormen ... bevorderen het maken van stabiele aggregaten en bioporiën. Ook wortels helpen bij de vorming van stabiele bodemkluitjes. (Te) intensieve bodembewerking daarentegen veroorzaakt een te grote afbraak van de kluitjes, een toename van de oxidatie van het organisch materiaal en een grotere sterfte bij de regenwormen.



Bron: Université catholique de Louvain



Bron: Université catholique de Louvain



Bron: Université catholique de Louvain

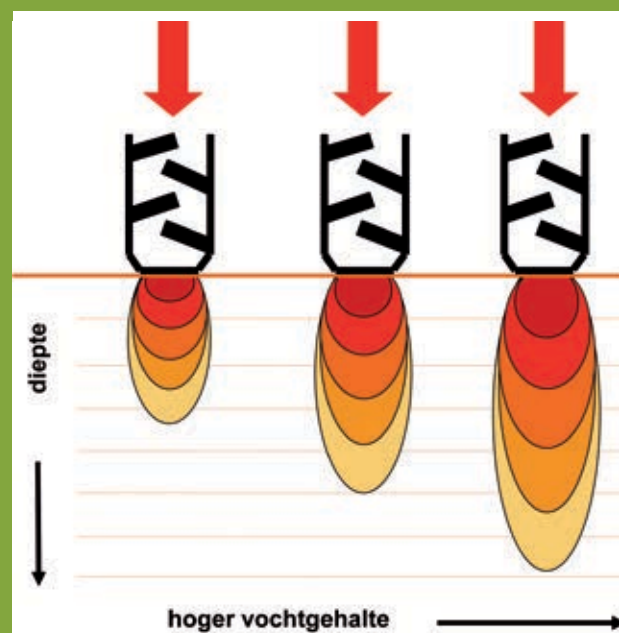
Evaluatie van de stabiliteit van de aggregaten door de onderdompelingsproef: rechts een stabiel kluitje, links een kluitje dat snel uit elkaar valt in afzonderlijke bodemdeeltjes.

Vochtgehalte van de bodem

Een vochtige bodem is kwetsbaarder voor verdichting dan een droge bodem: het water vormt een smeermiddel zodat de bodemdeeltjes zich gemakkelijker ten opzichte van elkaar kunnen verplaatsen. De samen drukbaarheid van de bodem voor eenzelfde uitgeoefende uitwendige druk neemt toe met toenemend vochtgehalte; de effecten reiken ook dieper in de bodem. Wanneer de bodem zeer vochtig is (verzadigd), verglijdt de bodem en wordt de continuïteit van de poriën onderbroken. De bodem kan zelfs "vloeibaar" worden en alle structuur verliezen. Deze effecten zijn nog moeilijker te herstellen dan deze van verdichting.

Van links naar rechts: met toenemend vochtgehalte nemen de effecten van verdichting toe.

Bron: Vlaamse Landmaatschappij



De neerslag en de evapotranspiratie, de diepte van de grondwatertafel, de aanwezigheid van een waterloop en het reliëf zijn de belangrijke factoren die het vochtgehalte en dus de kwetsbaarheid van de bodem voor verdichting bepalen.

Een bodem is gevoeliger voor verdichting in de lente en in de herfst dan in de zomer. Jammer genoeg zijn dat nu net de periodes die samenvallen met het bewerken en het berijden van de percelen.

De laatste decennia zijn (matig) natte weilanden omgezet tot akker. Wanneer het oogsten onder ongunstige omstandigheden gebeurt, kan er veel schade aan deze velden berokkend worden, zowel in de bouwvoor als in de ondergrond.

Aslast (ton)	Effecten meetbaar tot (cm)
4	30
6	40
10	50
15	60



Bron: Inagro

Berijden van het perceel en bewerking van de bodem

Het aantal **veldbetredingen** op een perceel is belangrijk: de banden van de landbouwmachines berijden jaarlijks tussen 70 en 100% van de oppervlakte. Het uitvoeren van gecombineerde grondbewerkingen in één werkgang of het toepassen van minimale bodembewerking hebben een positief effect, maar het is vooral tijdens de oogst dat de zwaarste landbouwvoertuigen gebruikt worden. De eerste werkgang is verantwoordelijk voor de grootste verdichting (tussen 50 en 85% van het totaal naargelang het voertuig en de bodem). Bij herhaaldelijk rijden over de bodem neemt de verdichting toe (per werkgang 5 tot 10%) en reiken de effecten tot grotere dieptes. Naarmate het voertuig zich langzamer verplaatst, zijn de effecten van verdichting groter. Versnellingen en vertragingen leiden tot pieken in de druk uitgeoefend op de bodem en een slechte grip veroorzaakt het doorslippen van de wielen. Ook de trillingen van een rijdend voertuig veroorzaken verdichting.

Naarmate **de aslast** en **de contactdruk** op de bodem groter is, neemt verdichting toe. De verdichting van de bovenste bodemlaag is te wijten aan de contactdruk, de verdichting van de diepere bodemlagen aan de aslast.

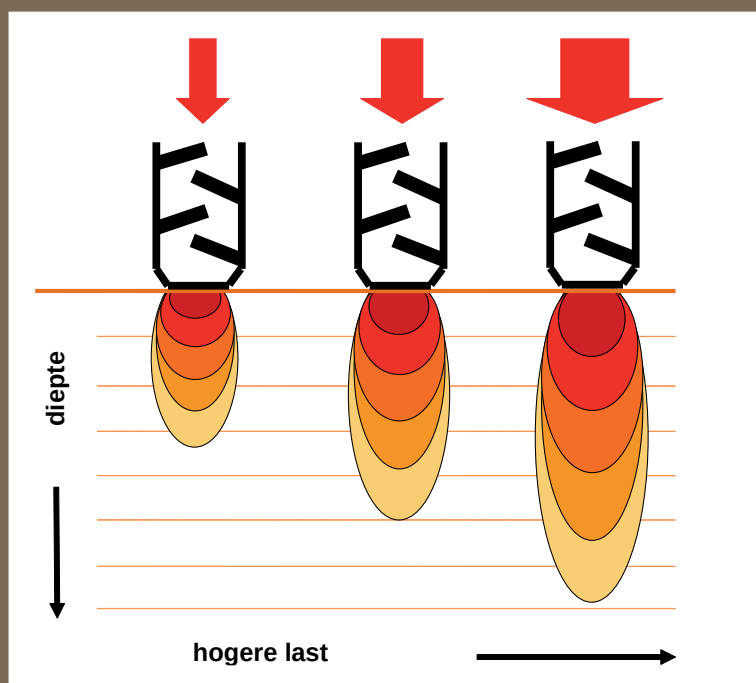
Aslast: in de praktijk dikwijls uitgedrukt in ton.

Contactdruk: aslast gedeeld door het contactoppervlak tussen de banden en de bodem (1 bar = 100 kPa = 1 kg/cm²).



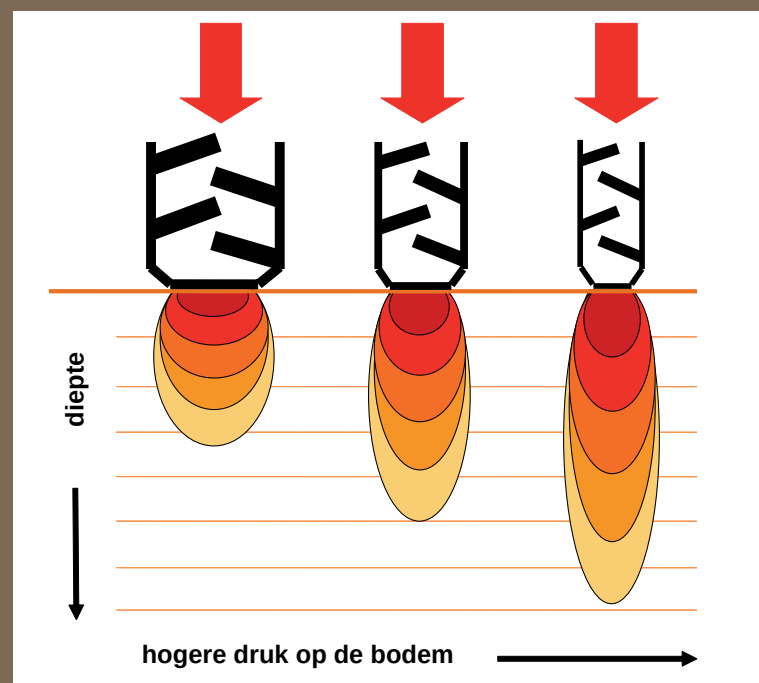
Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais

► De diepte van een rijspoor toont het effect van een band op de bodem.



► Effect van de last op de verdichting. Van links naar rechts: bij hetzelfde type band, met toenemende last, stijgt het effect op de bodem.

Bron: Vlaamse Landmaatschappij



► Effect van de contactdruk op de verdichting. Van links naar rechts: met smallere banden, voor eenzelfde last, nemen de effecten van verdichting toe.

Bron: Vlaamse Landmaatschappij

De grootte en het type band bepalen de contactdruk op de bodem.

De contactdruk neemt af indien:

- de breedte en de diameter van de band verhoogt;
- de rigiditeit van de banden vermindert;
- de bandenspanning vermindert.



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais

Bij eenzelfde aslast, naargelang de banddruk (links 4 bar, rechts 2.4 bar) zien we een dieper rijspoor links dan rechts (rijspoor in rood gekleurd).



Bij eenzelfde aslast, zien we naargelang de bandenspanning van de zelfrijder (1.2 bar links, 0.7 bar rechts) een diepere bandafdruk links dan rechts.



Bron: Vlaamse overheid, LNE-ALBON

En de verdichting van de ondergrond?

De structuur van de ondergrond wordt grotendeels bepaald door de textuur omdat de onderliggende bodemlagen niet bewerkt worden en het gehalte aan organisch materiaal zeer laag is.

De aanwezigheid van barsten en bioporiën in de ondergrond heeft weinig invloed op de algemene structuur van de bodem, maar is wel belangrijk voor de zuurstof- en waterhuishouding in de bodem. De verdichting van de ondergrond is dus schadelijk voor het functioneren van de bodem.



In dit bodemprofiel zijn met een blauwe kleurstof de regenwormgangen en barsten zichtbaar gemaakt. Onder de bouwvoor zijn deze van groot belang voor de lucht- en waterhuishouding.



De vorming van een fysieke hindernis in de bodem met zones van compacte grond, de ploegzool en een verdichte ondergrond brengen een goede werking van de bodem in gevaar.

De gevolgen van verdichting zijn velerlei.

Gedrag van het water in de bodem

Infiltratie van het water in de bodem vertraagt, de oppervlakkige of ondiepe laterale afvoer wordt bevoordeeld ten opzichte van verticale drainage. De bodem is sneller en langer vochtig en warmt trager op in de lente, wat de biochemische processen vertraagt. De bewerking van de bodem kan slechts op latere tijdstippen in het jaar beginnen of de oogst verloopt moeilijker. Ook verhindert de ploegzool in droge periodes de capillaire stijging van het water.

De opkomst van het zaaigoed is ongelijk, het risico op parasieten verhoogt en het afrijpen van het gewas vertraagt en is onregelmatig. Meststoffen en pesticiden blijven minder lang in de bodem, worden sneller afgevoerd naar de grachten en beken en verminderen de waterkwaliteit. Percelen op een helling vertonen een groter risico op erosie (en dan vooral in de rijsporen die de helling volgen) en op grondverschuivingen.

De capaciteit van de bodem om water te stockeren vermindert, zodat reeds vroeger in het groeiseizoen een tekort aan water optreedt en de noodzaak voor beregening toeneemt.

De beluchting van de bodem

Door verdichting vermindert de beluchting van de bodem, wat tot een zuurstoftekort (anaërobie) kan leiden. Hierdoor wordt de kieming en de optimale werking van de wortels belemmerd. De mineralisatie van organische meststoffen en van het organisch materiaal vermindert, wat vooral een probleem is in de armere bodems. De risico's op denitrificatie (met de productie van het N_2O -gas) zijn verhoogd, zodat men verplicht is om meer (kunst)mest te gebruiken.

Leven in de bodem

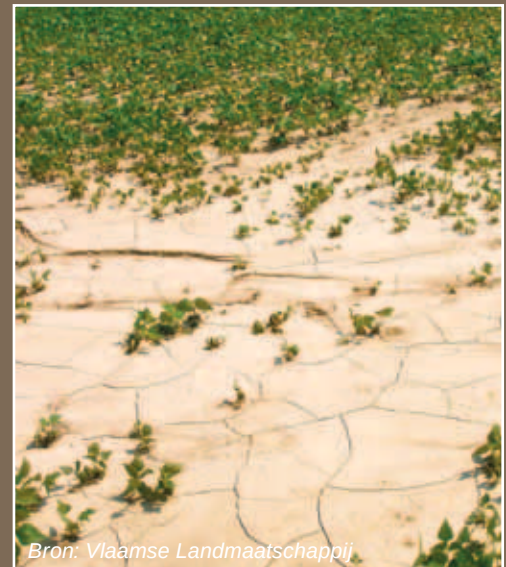
Het bodemleven in een verdichte bodem is gewijzigd. Een verdichte bodem nabij het grondoppervlak bemoeilijkt het leven van geleedpotigen (insecten, mijten, duizendpoten...) omdat er door de verdichting minder grote poriën, die hun leefomgeving vormen, aanwezig zijn. De nematoden concentreren zich dan rond de wortels, met grotere kans op schade aan de gewassen. Ook worden minder bacteriën door de nematoden opgegeten: de stikstofcyclus geraakt verstoord en minder stikstof wordt aan de bodem afgegeven. De regenwormen (anecische wormen of diepgravers) maken verticale gangen en kunnen de sterk verdichte lagen doorboren. Deze wormen zijn echter gevoeliger aan een verminderde hoeveelheid zuurstof in een zeer natte bodem.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

Het risico op erosie neemt toe omdat het water bij voorkeur de helling volgt in de rijsporen.

Onderaan het perceel wordt sediment afgezet.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

Ontwikkeling van het wortelstelsel

De ontwikkeling van het wortelstelsel wordt belemmerd zodat er slechts gedeeltelijk gebruik gemaakt wordt van het beschikbare bodemvolume. De opname van minder mobiele voedingsstoffen zoals fosfor en kalium vermindert hierdoor. Water wordt in een verdichte bodem sterker vastgehouden of is aanwezig onder de ploegzool en kan moeilijker door de planten opgenomen worden. Zonnebloem, luzerne, gerst en tarwe kunnen iets beter in een verdichte horizont dringen, maar een groot aantal gewassen kunnen dit niet en worden zo geremd in hun ontwikkeling.



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais



Bron: Université catholique de Louvain

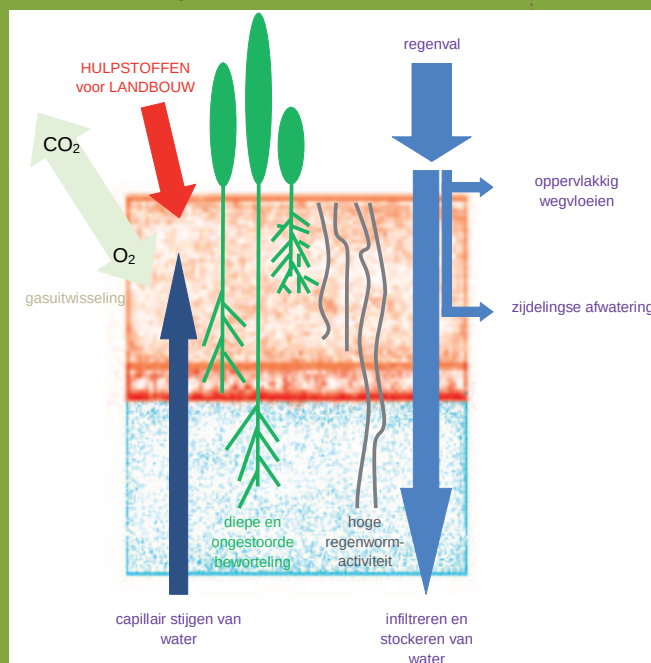
In verdichte bodems groeien misvormde wortels zoals wortels in hanepoot-vorm of in visgraat-vorm, ze kunnen dus slechts een beperkt deel van de bodem gebruiken.



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais

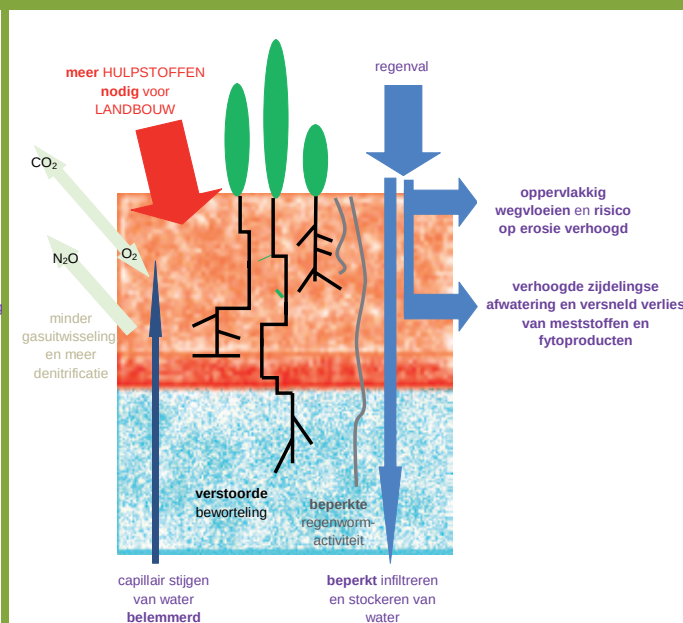
Vergelijking van de functies die een niet-verdichte (links) en een verdichte bodem (rechts) kunnen vervullen: effecten op infiltratie van het neerslagwater, regenwormactiviteit, ontwikkeling van wortelstelsel, beweging van het capillair water, beluchting van de bodem, denitrificatie en de nodige hulpmiddelen voor de landbouw.

Functies in een goede landbouwbodem



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

Functies in een verdichte landbouwbodem



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

Veel studies hebben het verlies aan opbrengst door bodemverdichting onderzocht. Deze verliezen bedragen tot 20% (soms zelfs tot 50%) naargelang de teelt en de graad van verdichting. De groenteteelt, waarin meer langdurige gevolgen van verdichting op de ondergrond zijn vastgesteld, is gemiddeld gevoeliger voor verdichting. De gevolgen zijn het belangrijkst in (zeer) droge of (zeer) natte seizoenen. Niet alleen het opbrengstverlies maar ook de kwaliteit van de geoogste producten (de vorm van de knolgewassen, het suikergehalte van bieten, ...) is van belang.



Bron: aangepast naar Hankansson I. and R.C. Reeder, 1994

Vereenvoudigde voorstelling van de evolutie van de opbrengsten na sterke verdichting. De verliezen te wijten aan oppervlakkige verdichting (bouwvoor en ploegzool) verdwijnen in de loop van de jaren maar de verliezen te wijten aan de verdichting van de diepere bodemlagen zijn van lange duur.



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais

Groei van misvormde wortel door sterke verdichting van de bodem veroorzaakt door het berijden met machines (links), te vergelijken met een niet verdichte bodem (rechts).

5. Het opsporen van verdichting

Verdichting, vooral in de dieper liggende bodemlagen, is vaak moeilijk zichtbaar. Wanneer verdichting vastgesteld wordt, is het belangrijk om te proberen de oorzaak hiervan te achterhalen door terug te kijken op het gebruik van het perceel in de voorbije jaren.



Bron: Universiteit Gent

▶ Langdurig stagnerend water op een akker kan wijzen op de aanwezigheid van verdichting.

Terreinwaarnemingen

Door verdichting vertraagt de infiltratie van het neerslagwater en blijft het stagneren op het bodemoppervlak. Water dat langer dan 3 dagen op een vlak perceel blijft staan of een perceel dat in het voorjaar trager uitdroogt, wijst op verdichting in de bodem.

Minder regenwormen, toenemende erosie op percelen die onder een helling liggen, moeilijkere bewerkbaarheid van de bodem zijn bijkomende indicatoren.

Ook dwerggroei en vertraging in de groei van de gewassen, het geel worden van de planten, een grotere kwetsbaarheid voor ziektes, schade aangebracht door insecten, een ongelijke rijping en een verlaging van de opbrengsten, zelfs met een voldoende bemesting, kunnen wijzen op een probleem van verdichting.

Een specifiek voorbeeld is de groei van maïs in de vorm van golven. Ter hoogte van de rijsporen ziet men een verminderde groei van de planten. Zo'n groeiwijze kan men soms ook zien in een perceel met gele mosterd.

Ridderzuring en weegbree wijzen op anaërobe omstandigheden. Planten zoals made-liefje, paardenbloem, kweekgras en haagwinde kunnen wijzen op een verdichte bodem.

▶ Een (deel van een) slecht gedraineerde weide is beschadigd door de vertrappeling door het vee.



Bron: Universiteit Gent



Bron: Vlaamse Landmaatschappij



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

▼ Rijsporen en gelocaliseerde verdichting in een graan- en bietenveld door de circulatie op het perceel leiden tot opbrengstverlies.

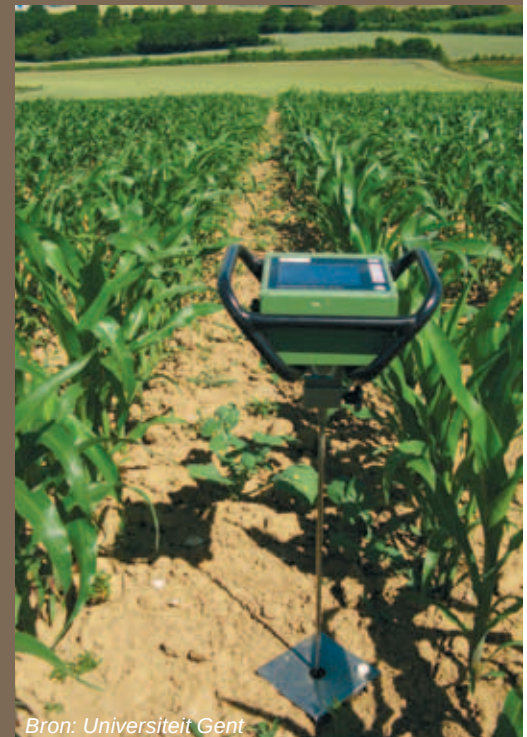
▶ Ongelijkmatige ontwikkeling van enkele rijen maïs wijst op het berijden van het terrein met zware machines op een te vochtige bodem in het voorjaar.



Bron: Universiteit Gent

Metten van de indringingsweerstand

Men kan op een eenvoudige manier een verdichte laag in de bodem vaststellen: men duwt **een prikstok of metalen staaf** met een constante snelheid in de bodem. De diepte waarop men een grote weerstand voelt, wordt genoteerd. De **penetrologger** is een gesofisticeerd instrument waarbij de indringingsweerstand gemeten wordt met een elektronische penetrometer met datalogger. Vermits de weerstand van de bodem toeneemt met toenemende droogte zal een droge bodem meer verdicht aanvoelen dan een natte bodem. Het bepalen van de verdichting gebeurt bij voorkeur in de lente wanneer de bodem voldoende vochtig is (en zich op veldcapaciteit bevindt).



▶ Prikstok. Let op het gewas dat een onregelmatige groei vertoont. De planten op de voorgrond zijn lager en bleker dan die op de achtergrond.

▶ Digitale penetrologger.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

De droptest bestaat eruit een klomp grond (20 cm x 20 cm en 30 cm diep) te laten vallen in een plastic bak vanaf heuphoogte (1 meter). Dit wordt 3 keer herhaald.

Droptest en bodemprofiel

Met de “droptest” of met een bodemprofiel kan men meer in detail de structuur van de bodem bekijken.

De droptest geeft een idee van de kwaliteit van de structuur van de bodem aan de hand van de aggregaten waaruit hij bestaat. Een klomp grond wordt voorzichtig uitgespit en verbrokeld. De grootte, de vorm, de kleur, de porositeit van de bekomen aggregaten worden geëvalueerd, eveneens het aantal regenwormen, de aanwezigheid van oogstresten, het aantal en de vorm van de wortels (recht of hoekig, dichtheid van de wortelharen). Aggregaten met een hoekige of blokkige vorm, scherpe breukvlakken, een grijsblauwe kleur, weinig regenwormen, weinig afgebroken oogstresten, een oppervlakkige beworteling en een sterk vervormde (kromme) en atypische vorm van de wortels wijzen op verdichting van de bodem.

Het bodemprofiel, een gegraven sleuf loodrecht op de rijrichting, toont de opeenvolging van de verschillende lagen/horizonten en de compacte zones. Dezelfde parameters als voor de droptest kunnen aan de hand van het bodemprofiel geëvalueerd worden. Daarenboven kan men zien of er een ploegzool aanwezig is, of er barsten en regenwormgangen gekoloniseerd zijn door wortels en of er vervormde wortels rond verdichte kluiten voorkomen.



Bron: ésipta – Soméa - INRA



Bron: ésipta – Soméa - INRA

De gevormde aggregaten worden op een witte achtergrond gerangschikt van groot naar klein. De grootte, vorm, kleur ... van de aggregaten laten toe om de kwaliteit van de structuur te beoordelen. Een groot aantal grote en hoekige aggregaten (rechts) wijst op een bodem met structuurproblemen.



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais

Op dit bodemprofiel kan men onder het zaaibed een ongunstige structuur waarnemen met grote en hoekige aggregaten en weinig barsten, wat de drainage van de bodem aantast.



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais

De rechterzijde van het bodemprofiel toont een bodem met kruimelstructuur. De structuur links is compacter en minder gunstig voor de bietengroei.

Andere methodes

Het meten van **de dichtheid** van de bodem (schijnbaar soortelijk gewicht) en de infiltratiesnelheid van water in de bodem zijn andere wetenschappelijke manieren die kunnen gebruikt worden om verdichting in de bodem te bepalen.

De infiltrometer bestaat uit 2 ringen die gedeeltelijk in de grond worden gebracht. De ringen worden met water gevuld en de snelheid waarmee het water van de binnenring in de grond dringt, gemeten.



Bron: Université catholique de Louvain



Meer intensieve bodembewerking, bijkomende chemische bemesting, draineringswerken, meer beregening worden gezien als maatregelen om de problemen van verdichting te verzachten. Ze kunnen tijdelijk de effecten van verdichting maskeren maar het gaat dus niet om echte oplossingen. De exploitatiekost neemt toe en ook het risico op milieuhinder. Bovendien zal door een meer intensieve bodembewerking de oxidatie van het organisch materiaal verhogen, wat tot een vermindering van de bodemkwaliteit leidt.

Herstel van bodemverdichting betekent het losmaken en het openbreken van sterk verdichte lagen om de drainage, de zuurstofhuishouding, de wortelontwikkeling en het bodemleven te verbeteren.

Opgelet:
het remediëren van een verdichte bodem neemt de oorzaken van verdichting niet weg!

Bewerking van de bodem

De traditionele manier om een verdichte bodem in de bouwvoor los te maken is **een mechanische bodembewerking door ploegwerk of decompactie** gevolgd door het voorbereiden van het zaaibed. Deze bewerking heeft tot doel grote poriën te vormen zonder de aggregaten te vernietigen.

De behandeling van de rijsporen moet loodrecht of diagonaal op de rijrichting gebeuren met een werktuig voorzien van tanden met grote tussenruimte zodat het water naar de ondergrond kan lopen.

Diepe decompactie (tot 40 cm diep) en diepploegen gebeurt tegenwoordig meer en meer omdat de landbouwers zich meer bewust zijn van de problemen van bodemverdichting en ze over krachtiger machines beschikken, die kunnen ingezet worden om de bodem te decompacteren.

Diepgronden is een herstellende maatregel om het weinig doordringbaar karakter van de ploegzool en de ondergrond te doorbreken zonder de draagkracht van de ondergrond aan te tasten. Er worden barsten gevormd in plaats van talrijke breukvlakken zodat een te grote herschikking van de aggregaten vermeden wordt. Deze techniek kan men toepassen op het volledig perceel of enkel op de risicozones bijv. wendakkers of op de rijbanen van de machines, en moet gebeuren dwars op de drainage en de eventuele helling van het perceel.





Bron: Université catholique de Louvain

De decompactor maakt barsten en breuken en wordt bij voorkeur gebruikt onder droge omstandigheden.

Bij diepgronden trekt men een ploegzuil (of "tand") met aan het uiteinde een beitel op ongeveer (5   10 cm door de bodem onder de te behandelen laag. Naarmate de beitel (en eventuele zijvleugels) breder is en schuiner staat, moet de tractor krachtiger zijn om de grond te kunnen behandelen of moet de werkdiepte worden verminderd. Anders beperkt het losmaken van de bodem zich enkel rond de ploegzuil of in het slechtste geval verglijdt de bodem rond de ploegzuil.

Na het diepgronden is het oppervlak van de grond onregelmatiger naarmate de beitel en eventuele zijvleugels schuiner staan.

Het diepgronden van de bodem dient te gebeuren bij het juiste bodemvochtgehalte. Dit gebeurt het best onder droge omstandigheden vooral in een bodem met een kleiige ondergrond om de bodem goed open te doen barsten. In zandige en lemige bodems mag de grond wat vochtiger zijn om te vermijden dat de bodem te veel verpulverd zou worden.



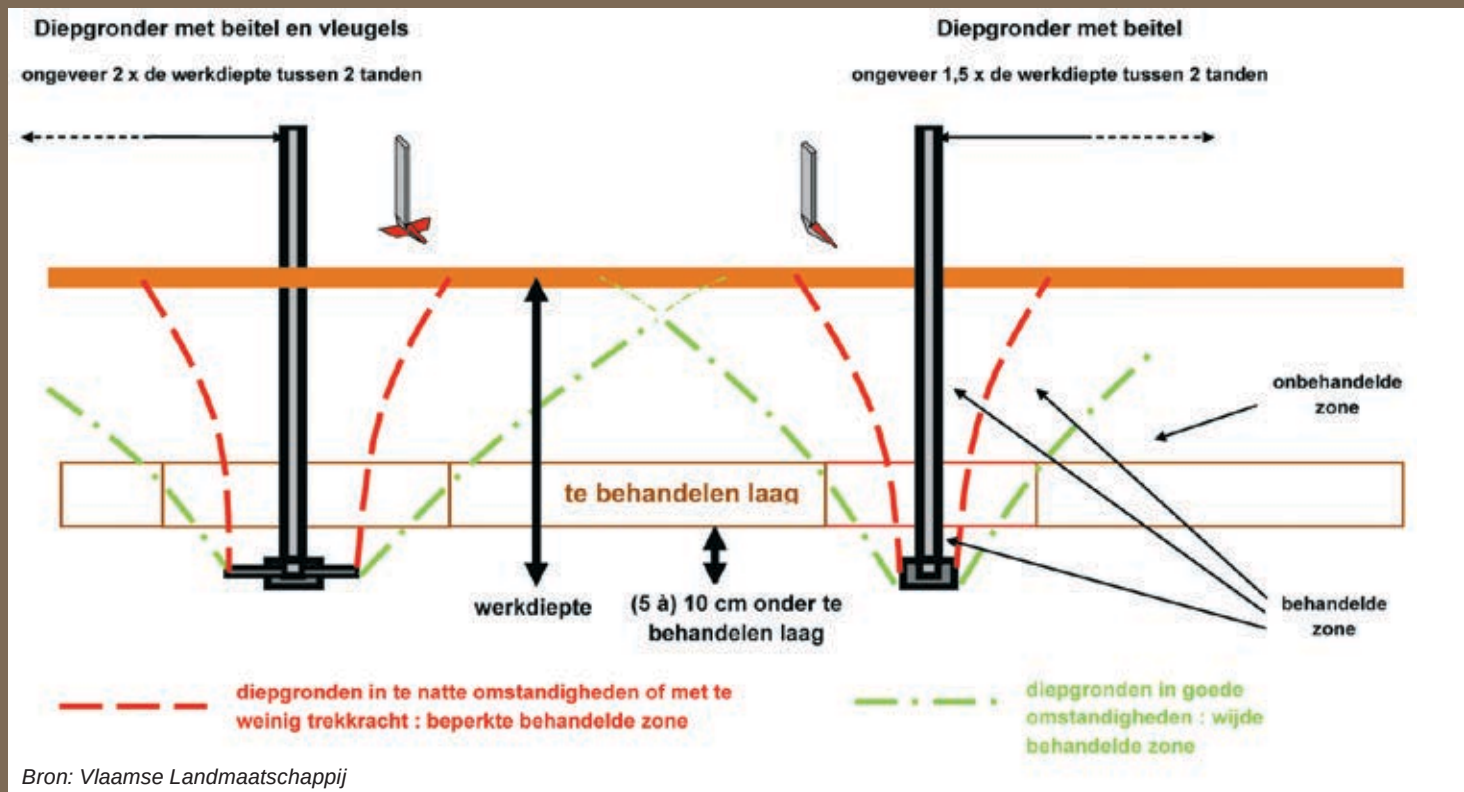
Bron: Inagro

Decompactor



Bron: Evers Agro B.V. – www.eversagro.nl

Diepgronder



▶ Werking van een diepgronder met vleugels (links) en met scherpe punt (rechts). De gestippelde lijn bakent het volume af van de behandelde bodem: diepgronden uitgevoerd onder goede omstandigheden bewerkt een groter bodemvolume (groene gestippelde lijn) dan onder te natte omstandigheden (rode gestippelde lijn).

Decompactie van weilanden gebeurt het best vlak voor een neerslagperiode zodat de graszode minder uitdroogt. Een schijf vóór de tand laat een betere indringing van de tand toe doorheen de graszode.

Om het risico op hercompactatie te verminderen, is het aangeraden om na het diepgronden de bodem voor een zekere periode niet te berijden en natuurlijk te laten stabiliseren. Het tijdstip van diepgronden in een rotatie is ook van belang. Het diepgronden gebeurt preferentieel na de oogst van een graangewas en vóór het inzaaien van een groenbedekker met diepe en sterke beworteling die in staat is om in de gemaakte scheuren en barsten in de bodem te groeien en deze dus te behouden.

Bij het toepassen van minimale bodembewerking is een kleine verplaatsing van de bodem wenselijk om te vermijden dat de aggregaten op exact dezelfde plaats terugvallen. Vooraleer echter over te gaan tot het toepassen van minimale bodembewerking, is het belangrijk om de toestand van de ondergrond te evalueren en te decompacteren of te diepgronden indien nodig.



Stimuleren van het bodemleven

door regenwormen...

In een bodem met een belangrijke populatie aan regenwormen, gebeurt de drainage van water tot 10 keer sneller dan in een bodem zonder regenwormen.

Regenwormen, vooral de diepgravers van verticale en diepe gangen, zorgen voor de vorming van bioporiën in de bodem. De natuurlijke regeneratie van een verdichte bodem door regenwormen is mogelijk, maar verloopt zeer traag onder graan- en oliehoudende gewassen. Een rotatie waarbij voldoende vers organisch materiaal wordt aangebracht is van primordiaal belang, vooral onder minimale bodembewerking.



door het wortelstelsel ...

De dagelijkse cyclus van zwellen en krimpen door evapotranspiratie destabiliseert de bodem rond de wortels. De belangrijkste wortels ontwikkelen zich bij voorkeur in barsten en bioporiën. Het vermogen van wortels om verdichte lagen in de bodem te doorboren is immers zeer beperkt. Het dichte en vertakte wortelstelsel van raaigras (als groenbedekker of permanente weide) kan de bodem in de bovenste 20 cm voor een stuk openbreken, net zoals de penwortel en de robuuste wortels van rode klaver, luzerne, wikke en lupinen. De diepe (bladrammenas en maïs) en vertakte wortels (rogge en tarwe) helpen vooral bij het open houden van de (onder-)grond. Dit is vooral belangrijk na het diepgronden van de grond of bij minimale bodembewerking.

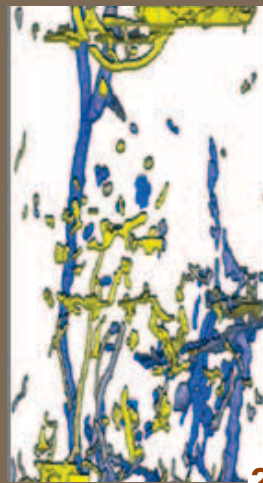
Bron : Louis Bolk Instituut (uit "Van schraal naar rijk zand", 2008)



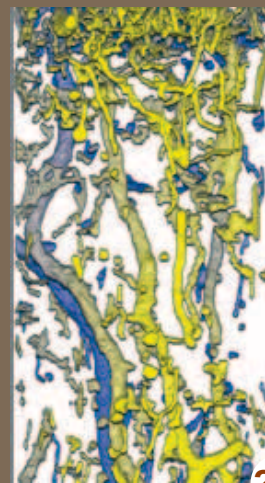
1



2a



2b



2c



Evolutie van het herstel van regenwormgangen in de bodem. Natuurlijke herkolonisatie door regenwormen van het bodemprofiel na verdichting:

- (1) niet verdichte bodem
- (2a): 1 maand na verdichting
- (2b): 8 maand na verdichting
- (2c): 24 maand na verdichting

Bron: INRA, Capowiez et al., 2008

Natuurlijke cycli

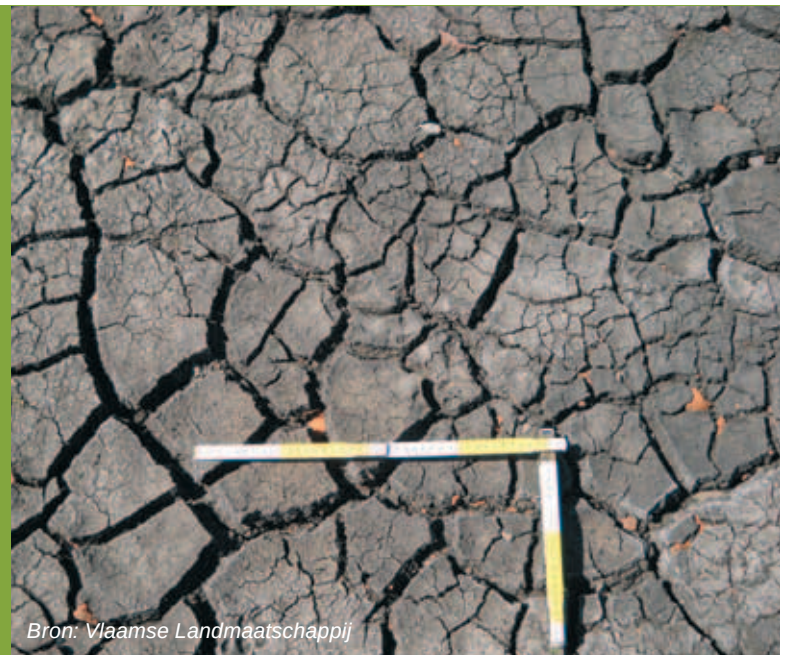
Afwisseling van “vorst-dooi” en “vochtig-droog” hebben een beperkt effect op het losmaken van de bodem.

Het uitzetten van het water bij vorst leidt tot het opheffen van de bodem en het breken van compacte zones. Dit fenomeen is meestal beperkt tot de bouwvoor en wordt gebruikt voor het losmaken van kleibodems. Ook bevatten kleibodems kleimineralen die zwellen in de aanwezigheid van water en krimpen bij het uitdrogen, zodat soms diepe barsten in de bodem gevormd worden en de wortels diepere bodemlagen kunnen bereiken.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

► Bewerkte kleibodem voor het ingaan van de winter zodat door vorstwerking de bodem kan losgemaakt worden.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

► Vorming van barsten door het krimpen bij het sterk uitdrogen van een ondergelopen kleibodem.



7. Zorg dragen voor de bodem: vermijden van verdichting

Met een aantal voorzorgsmaatregelen kan men verdichting van de bodem vermijden en de kwaliteit van de bodem vrijwaren. Er bestaat echter geen mirakeloplossing.

Door een combinatie van maatregelen...

- **Berijd het perceel alleen** wanneer de bodem minder kwetsbaar is, dus **bij een geschikt vochtgehalte**. Let erop dat de vochtigheid van de bodem aan het oppervlak niets zegt over het vochtgehalte dieper in de bodem. Zorg ervoor dat laaggelegen percelen voldoende gedraineerd zijn door grachten regelmatig te ruimen of door een kunstmatig drainagesysteem in de bodem te voorzien. Behoud te vochtige percelen als weiland.
- **Verminder zoveel mogelijk de uitgeoefende druk op de bodem.**
 - Het gebruik van lichter materiaal, het ontdebellen van de wielas (tandemas), het gebruik van dubbele banden per wielas en het gebruik van bredere banden of banden met een lagere druk doen het effect van verdichting op de bodem verminderen.
 - Overlaad de laadwagens niet: een maximum van 5 tot 6 ton per as is aanbevolen.
 - Gebruik enkel ballast bij zware werken, om het doorslippen tot een minimum ter herleiden.
 - Rupsbanden kunnen veel schade aan de bodem vermijden omdat het gewicht van de machine gespreid wordt over een groter bodemoppervlak.

Test om de bodemvochtigheid te evalueren

Neem een kleine hoeveelheid grond op ongeveer 10 cm diepte. Rol de bodem tussen de handpalmen en probeer een worstje te maken.

- Er kan geen worstje gevormd worden omdat de grond aan de handpalmen blijft plakken: de bodem is extreem vochtig en het berijden van het terrein zal zeer grote schade aan de bodem veroorzaken.
- Een lang en fijn worstje kan gemakkelijk gevormd worden: de bodem is zeer vochtig en het berijden van het terrein met zware voertuigen zal grote schade veroorzaken aan de bodem.
- Een worstje kan net gevormd worden maar het breekt gemakkelijk: het berijden van het terrein met lichtere voertuigen of voertuigen die een lichte druk uitoefenen op de bodem zal weinig schade veroorzaken.
- Er kan geen worstje gevormd worden want de bodem is te hard of te kruimelig: de bodem is weinig gevoelig aan verdichting omdat hij droog is.

Opgelet: deze test houdt geen rekening met de textuur van de bodem.

vlak. De contactdruk is dus kleiner. Het gebruik van rupsbanden in plaats van gewone banden wordt nog verder onderzocht omdat bij rupsbanden soms zeer hoge pieken van druk onder de wielen kunnen optreden en omdat ze trillingen genereren.



Bron: Inagro

Het gebruik van brede banden, dubbele banden, twee of meerdere assen, het oordeelkundig gebruik van ballast, lichter materiaal, verminderen de druk uitgeoefend op de bodem door landbouwwerktuigen.



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais



Bron: Agricultures & Territoires – Chambre d'Agriculture de Région du Nord – Pas de Calais



Bron: Joskin SA - www.joskin.com



Bron: Vereniging VACO, Bedrijfstakorganisatie voor de Banden- en Wielenbranche, Leiden (uit "Landbouwbanden")



Bron: Frans Vervae B.V. - www.vervae.nl



Bron: www.claas.com



Bron: Inagro



Met gecombineerde werkgangen voert men verschillende bewerkingen uit in één enkele werkgang.

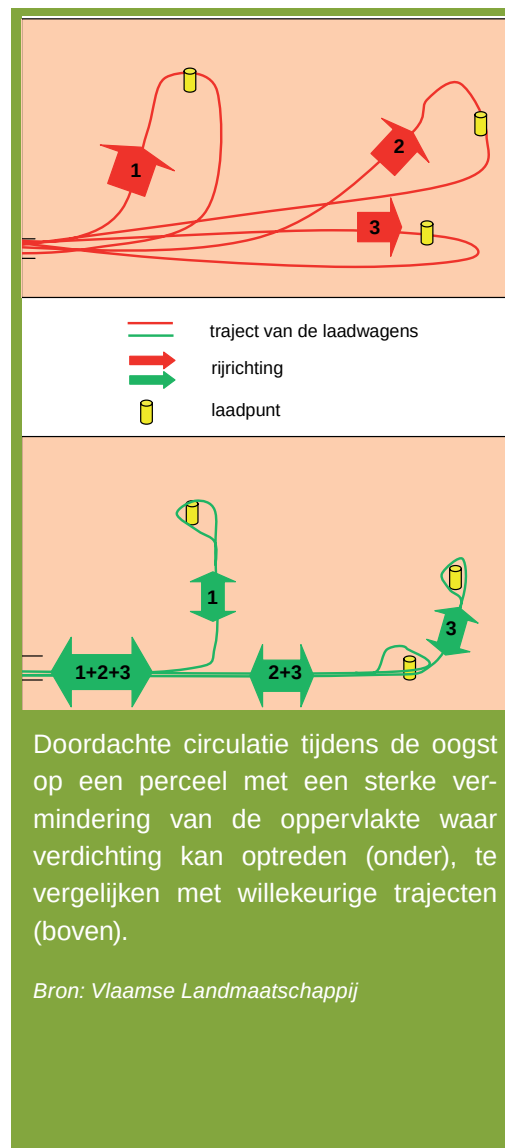
- **Verminder het aantal veldbetredingen en vermijd het willekeurig berijden van het perceel.** Beperk het oppervlak waarop landbouwmachines rijden, vooral tijdens de oogst. Los de lading op de rand van het perceel of vermijd dat te zware oogstkarren het hele terrein berijden. Bodembewerkingen combineren en/of doorvoeren van minimale bodembewerking vermindert het aantal werkgangen op het perceel. Een systeem van exploitatie op vaste rijsporen en werken volgens het principe van “gecontroleerd verkeer” beperken de oppervlakte waar bodemverdichting kan optreden.



Bij een uitbating volgens vaste rijpaden is een zone gereserveerd voor het berijden van het terrein. Die zone is strikt gescheiden van de zaairijen. Na verschillende jaren waarin de bodem herhaaldelijk bereiden is, kan men een hoekige bodemstructuur zien (links), terwijl onder het gewas de bodemstructuur kruimelig en dus optimaal is (rechts).

Bron: Le Coopérateur Agricole (www.lacoop.coop), édition novembre-décembre 2010 (Xavier Masson, Institut polytechnique LaSalle-Beauvais)

- **Bewerk de bodem voorzichtig en met zorg.** Bewerk de bodem niet elk jaar tot op dezelfde diepte om het vormen van een ploegzool te vermijden (verhoog de ploegdiepte niet omdat dit het gehalte aan organisch materiaal verdunt). Het aanscherpen van de ploegscharen vermindert de vorming van een ploegzool. Het “bovenover” ploegen (waar de vier wielen van de tractor het volle veld berijden) laat toe de bodem te beschermen. Een bodembewerking die te intensief is, maakt de aggregaten kapot en is niet altijd nodig voor alle gewassen: bij te droge omstandigheden verpulveren de aggregaten, in te natte omstandigheden zullen de tanden van de werktuigen door de bodem glijden, wat tot versmering leidt.



Bron: Parc Naturel du Pays des Collines



Bron: Institut technique de la betterave

- ▶ Het diepe wortelsysteem van een biet.



Bron: Inagro

- ▶ De wortels van snijrogge als groenbedekker kunnen zonder probleem de diepere bodem bereiken.



Bron: Inagro

- ▶ De wortels van haver kunnen zonder probleem de diepere bodem bereiken.

- **Draag zorg voor de rotatie.** Breng voldoende organisch materiaal in de bodem: residu's met hoge C/N verhouding zoals stro en de aanvoer van compost onderhouden het bodemleven en verbeteren langdurig de vruchtbaarheid en stabiliteit van de bodem. Gewassen die in de zomer kunnen geoogst worden, dragen bij tot de bescherming van de bodem tegen verdichting omdat de oogstwerkzaamheden meestal onder betere weersomstandigheden plaatsvinden. De introductie van groenbedekkers met diepe beworteling of met penwortel houdt de ondergrond open.



Bron: Vlaamse Landmaatschappij

- **Regel de veebezetting.** De begrazingsdensiteit verminderen heeft een positief effect, maar een afstemming op de bodemvochtigheid levert een beter resultaat op. Behoud een voldoende biomassa aan gras om de bodembedekking te garanderen.
- **Volg de pH van de bodem op.** Een te lage pH ($\text{pH KCl} < 5 - 5,5$) vermindert de stabiliteit van de aggregaten en de activiteit van de regenwormen. Door de bodem te bekalken kan men de pH verhogen en helpt het calcium bij de vorming van stabiele aggregaten.



Partners van het project Prosensols

Inagro

www.inagro.be

- Annelies Pollentier
E-mail: annelies.pollentier@inagro.be
Tel : + 32 51 27 33 80
- Tomas Van de Sande
E-mail: tomas.vandesande@inagro.be
Tel : + 32 51 27 33 13



Vlaamse Landmaatschappij (VLM)

Velodroomstraat 28, B-8200 Brugge
www.vlm.be

- Sébastien Janssens
E-mail: sebastien.janssens@vlm.be
Tel : + 32 50 45 81 18
- Carole Ampe
E-mail : carole.ampe@vlm.be
Tel : +32 50 45 90 17



Université catholique de Louvain (UCL)

Croix du Sud 2, Bte L7.05.02, B-1348 Louvain-la-Neuve
www.uclouvain.be

- Marie-Pierre Hiel
E-mail: marie-pierre.hiel@uclouvain.be
Tel : + 32 10 47 37 16
- Charles Biélders
E-mail: charles.biélders@uclouvain.be
Tel : +32 10 47 37 14



Parc Naturel du Pays des Collines (PNPC)

Ruelle des Ecoles 1, B-7890 Ellezelles
www.paysdescollines.be

- Baptiste Hottekiet
E-mail: b.hottekiet@pnpc.be
Tel : + 32 68 54 46 02



Chambre Régionale d'Agriculture Nord - Pas de Calais

140, Bd de la Liberté, F-59000 Lille
www.agriculture-npdc.fr

- Pierre Mortreux
E-mail: Pierre.mortreux@agriculture-npdc.fr
Tel : + 33 3 27 21 46 90



56, Avenue Roger Salengro, BP 80039 –
62051 Saint-Laurent Blagny Cedex

- François Derancourt
E-mail : Francois.derancourt@agriculture-npdc.fr
Tel. : + 33 3 21 60 57 64

Chambre Départementale d'Agriculture Aisne

1 rue René Blondelle, F-02000 Laon
www.agri02.com

- Stéphanie Ambrosino
E-mail: Stephanie.ambrosino@ma02.org
Tel : +33 3 23 22 51 08



Universiteit Gent

Coupure Links 653, B-9000 Gent
www.ugent.be

- Jan Vermang
E-mail: jan.vermang@ugent.be
Tel : + 32 9 264 60 58



Geassocieerde partners van het project Prosensols

Greenotec a.s.b.l.

Rue de la Charmille 16, B-4577 Strée-lez-Huy
www.greenotec.be

- Sébastien Weykmans
E-mail: weykmans.s@greenotec.be
Tel : + 32 478 22 27 56



Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, LNE, ALBON

Koning Albert II-laan 20 bus 20, B-1000 Brussel
www.lne.be/themas/bodem

- Johan Desmet
E-mail: johan.desmet@lne.vlaanderen.be
Tel : + 32 2 553 21 98



Provincie Oost-Vlaanderen, Steunpunt Erosie

Gouvernementstraat 1, B-9000 Gent
www.oost-vlaanderen.be

- Katrien Baetens en Eddy Poelman
E-mail: erosie@oost-vlaanderen.be
Tel : + 32 9 267 89 00



Chambre d'Agriculture de l'Oise

Rue Frère Gagne, F-60021 Beauvais Cedex
www.agri60.fr

- Christian Dersigny
E-mail: christian.dersigny@agri60.fr
Tel : + 33 3 44 11 44 51



Parc Naturel des Plaines de l'Escaut

31 Rue des Sapins, B-7603 Bon Secours
www.plainesdesescaut.be

- Marie-Hélène Durdu
E-mail: mhdurdu@plainesdesescaut.be
Tel : + 32 69 77 98 10



Syndicat mixte du Parc Naturel Régional Scarpe - Escaut

357 Rue Notre Dame d'Amour, F-59230 Saint-Amand-les Eaux
www.pnr-scarpe-escaut.fr

- Christelle Parmentier
E-mail: c.parmentier@pnr-scarpe-escaut.fr
Tel : + 33 327 19 19 70



Met de steun van:



Realisatie: partnerschap Prosensols (2011)

Deze publicatie werd met de meeste zorg en nauwkeurigheid opgesteld.

De informatie uit deze publicatie kan geen aanleiding geven tot enige schadeclaim ten aanzien van de partners van het project Prosensols.