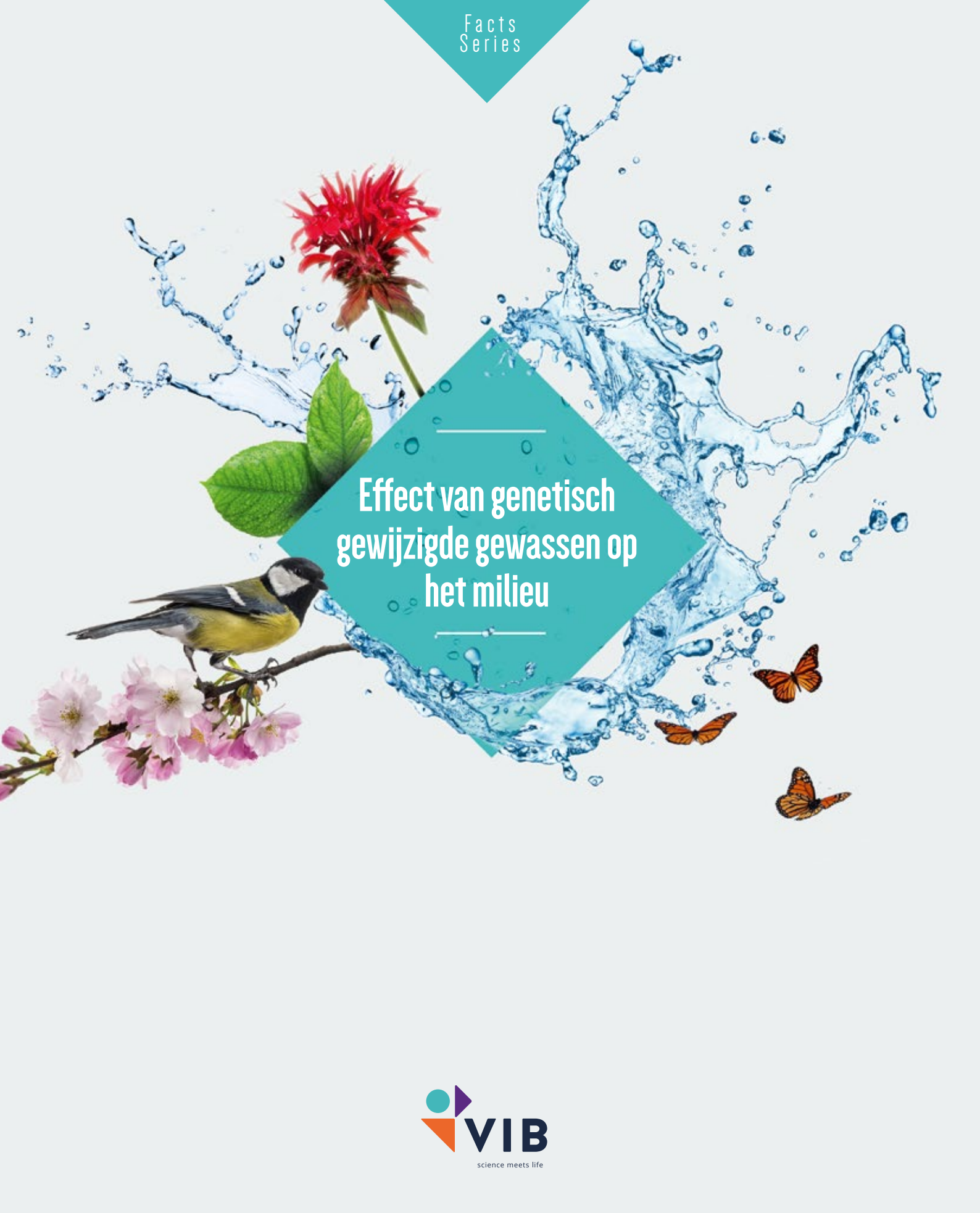




Effect van genetisch gewijzigde gewassen op het milieu

Inhoud

Samenvatting	3
Feiten en cijfers	4
1. Technologie versus toepassing	5
2. Impact van landbouw op het milieu	8
<i>Impact op de biodiversiteit</i>	9
<i>Bestrijdingsmiddelen</i>	9
<i>Bemesting</i>	10
<i>Ploegen</i>	11
<i>Luchtvervuiling</i>	12
<i>Irrigatie</i>	13
3. Directe effecten van een (ggo-)gewas op het milieu	14
<i>Gebruik van gewasbeschermingsmiddelen</i>	15
<i>De honingbij en andere niet-doelwitorganismen</i>	18
<i>Opbrengst per oppervlakte-eenheid</i>	21
<i>Verspreiding van genen via stuifmeel</i>	22
<i>Horizontale genoverdracht</i>	27
<i>Invasiviteit</i>	28
4. Indirecte effecten van een (ggo-)gewas op het milieu door verandering van teeltpraktijk	30
<i>Overstap naar niet-ploeglandbouw</i>	31
<i>Glyfosaat-tolerante gewassen: trop is te veel</i>	32
<i>Resistentie tegen herbiciden</i>	33
<i>Resistentie tegen Bt</i>	35
<i>Indirecte bijkomende teeltbescherming</i>	38
<i>Secundaire plagen</i>	39
5. De Europese milieurisicoanalyse voor een ggo-teelt	40
<i>Een vergelijkende studie met de niet-ggo-variant</i>	41
<i>Invasiviteit en verticale genoverdracht naar andere planten</i>	41
<i>Horizontale genoverdracht tussen plant en micro-organismen</i>	43
<i>Interactie tussen ggo-plant en doelwitorganismen</i>	43
<i>Interactie tussen ggo-plant en niet-doelwitorganismen</i>	44
<i>Impact van specifieke teelt-, management- en oogsttechnieken</i>	45
<i>Effecten op biogeochemische processen</i>	45
<i>Effecten op mens en dier</i>	46
<i>Post-market monitoring of opvolging van de commerciële teelten</i>	46
6. Besluit	47
7. Referenties	48

Samenvatting

Samen met het eerder verschenen achtergrondossier “Voedselveiligheid van genetisch gewijzigde gewassen”¹ vormt dit dossier een tweeluik rond de veiligheid van genetisch gewijzigde (ggo-)gewassen. In dit dossier wordt de impact van ggo-gewassen op het milieu besproken.

Iedere landbouwactiviteit, inclusief het telen van een bepaald gewas, heeft een impact op het milieu. Teeltschema’s bepalen welke onkruiden en insecten er voorkomen in het veld, landbouwmachines drukken de bodem samen, verbruiken brandstof en stoten CO₂ uit, terwijl meststoffen en pesticiden bij overmatig gebruik kunnen achterblijven in en op de bodem. Een gewas dat veel stuifmeel en nectar produceert zal bestuivers zoals bijen aantrekken, terwijl een ander gewas kan gaan woekeren en de lokale vegetatie onderdrukken. Zo heeft de overschakeling van bijvoorbeeld haver- op maïssteelt een impact op het milieu. Verder kan ook een kenmerk van een gewas (bijvoorbeeld insect-resistentie), vanaf hier gewaskenmerk genoemd, de impact op het milieu beïnvloeden. Nieuwe gewaskenmerken worden verkregen via plantenveredelingmethodes. Dit gaat van de meest traditionele technieken zoals kruisen, over genetische modificatie tot de allernieuwste methoden die nog doelgericht ingrijpen in het DNA van planten (voor meer info zie achtergrondossier “Van plant tot gewas: Het verleden, heden en de toekomst van plantenveredeling”²). De impact op het milieu van een gewas – ggo of niet-ggo – of van een gewaskenmerk – verkregen via ggo-technologie of niet – hangt echter in de eerste plaats af van het gewas en/of het gewaskenmerk zelf en niet van de technologie waarmee het gewas ontwikkeld werd. Wat ggo-gewassen betreft, zijn er momenteel vier belangrijke kenmerken die commercieel beschikbaar zijn. Sommige kenmerken zoals virus-, insect-resistentie en droogte-toolerantie hebben als doel de impact van landbouwpraktijken op het milieu te verlagen. Andere kenmerken zoals herbicide-tolerantie zijn vooral geïntroduceerd om voedselproductie efficiënter te maken. Niet van alle kenmerken kan met andere woorden gezegd worden dat ze een milieuvriendelijke landbouw ten goede komen. Echter, in tegenstelling tot de vele negatieve berichten in de media geven de cijfers over de milieu-impact van ggo-gewassen een ander beeld. Globaal gezien heeft de teelt van ggo-gewassen over de laatste 18 jaar een opmerkelijk milieuvoordeel opgeleverd.³ Insect-resistente gewassen hebben geleid tot een vermindering in het insecticidegebruik met 230 miljoen kilogram. Herbicide-tolerante gewassen hebben door hun ondersteuning van niet-ploeglandbouw geleid tot een verminderd gebruik van brandstof en verminderde CO₂-uitstoot, respectievelijk 6,3 miljard liter en 16,8 miljoen ton. Over alle ggo-gewassen heen is een milieuvoordeel van 37% gerealiseerd.

Dit dossier heeft tot doel het gepolariseerde debat rond de milieu-impact van ggo-gewassen een halt toe te roepen en een genuanceerd antwoord te bieden op de vele bezorgdheden die bestaan. Het telen van gewassen is per definitie een onnatuurlijke situatie met een negatieve impact op het milieu tot gevolg. Via plantenveredeling kunnen planten ontwikkeld worden die deze impact verkleinen. De impact – positief of negatief – hangt af van het gewaskenmerk en de teeltmethode, maar niet van de gebruikte veredelingstechnologie.

Feiten en cijfers

Landbouw is verantwoordelijk voor ongeveer 10% van de totale uitstoot van broeikasgassen in Europa.

Wereldwijd zijn herkauwers verantwoordelijk voor 25 tot 30% van de uitstoot van het broeikasgas methaan. De methaanproductie bij koeien ligt hoger naarmate ze meer grazen.

Indien er sinds 1965 geen genetische verbetering van onze landbouwgewassen door plantenveredeling zou gebeurd zijn, zou vandaag de totale oppervlakte gebruikt voor landbouw (het landbouwareaal) 3 tot 5% groter zijn.

De teelt van herbicide-tolerante ggo-gewassen heeft sinds de introductie geleid tot 16,8 miljoen ton minder CO₂-uitstoot en 6,3 miljard liter minder brandstofverbruik. Dat is het equivalent van bijna 7,5 miljoen auto's een jaar lang niet laten rijden.

Een recente meta-studie toont aan dat de teelt van de huidige ggo-gewassen geleid heeft tot 37% minder gebruik van gewasbeschermingsmiddelen voor deze teelten.

In 2013 werd 21,3 miljoen kilogram insecticiden (actieve stof) uitgespaard door de teelt van insect-resistente ggo-katoen.

Wanneer velden met insect-resistente ggo-gewassen vergeleken worden met conventionele velden waar er insecticiden gebruikt worden, worden er veel meer nuttige insecten teruggevonden in de velden met insect-resistente ggo-gewassen.

Zowel voor- als tegenstanders van ggo-technologie blijken het eens te zijn dat insect-resistentie kan leiden tot een belangrijke ecologische verbetering van ons landbouwsysteem.

Om resistentie in onkruiden, insecten, en schimmels te voorkomen moet aan geïntegreerde gewasbescherming gedaan worden waarbij verschillende middelen of technieken tegelijk ingezet worden tegen een bepaalde plaag.

Vooraleer een ggo-gewas op commerciële wijze kan geteeld worden in de Europese Unie wordt het door de Europese voedselveiligheidsautoriteit EFSA onderworpen aan een risicoanalyse voor teelt.

Technologie versus toepassing

Vele - zo niet alle - aspecten van landbouw hebben een negatieve impact op biodiversiteit, op bodemstructuur en -gezondheid en op lucht- en waterkwaliteit. In het debat rond genetisch gewijzigde (ggo-) gewassen wordt de vraag gesteld of de teelt van ggo-gewassen een groter milieurisico met zich meebrengt in vergelijking met de teelt van niet-ggo-gewassen. In dit dossier geven we antwoord op deze vraag en willen we de lezer vooral meegeven dat de gewaskenmerken de milieu-impact van een bepaald gewas bepalen, niet de technologie waarmee het gewas ontwikkeld werd.

De introductie van ggo-gewassen heeft niet alleen geleid tot bezorgdheid over de voedselveiligheid maar ook tot vragen over de mogelijke impact op het milieu. In hoeverre is de werking van insect-resistente ggo-gewassen specifiek? Kunnen ze ook nuttige insecten of organismen negatief beïnvloeden? Kunnen herbicide-tolerantiegeenen uit gewassen terecht komen in onkruiden waardoor deze minder goed te controleren zijn? In welke mate kunnen ggo-gewassen een positief effect hebben op de natuur? Kunnen ze het gebruik van gewasbestrijdingsmiddelen terugdringen?

Nieuwe gewasvariëteiten kunnen op verschillende manieren ontwikkeld worden. Zo kunnen schimmel-resistente aardappelen bijvoorbeeld via klassieke veredeling of via ggo-technologie tot stand komen (voor meer info zie achtergrondossier “Een schimmelresistente aardappel voor België”). De potentiële impact van gewassen, zoals woekeren en effecten op niet-doelwitorganismen en biodiversiteit, is zeer gelijkaardig voor ggo- en niet-ggo-gewassen. Toch is het vanzelfsprekend dat nagegaan wordt wat de impact van ggo-gewassen is op het milieu wanneer deze gewassen geteeld worden op grote schaal in het veld. Met de ggo-technologie kunnen er immers kenmerken verkregen worden die voordien niet aanwezig waren in gewassen. Deze nieuwe kenmerken kunnen een direct effect hebben op het milieu of er kan een indirect effect zijn op de omgeving doordat het nieuwe gewas op een andere manier geteeld wordt.

Net zoals een ggo-gewas een strenge voedselveiligheidsprocedure moet doorlopen vooraleer het toegelaten wordt voor gebruik in voeding en veevoeder (zie dossier “Voedselveiligheid van

genetisch gewijzigde gewassen”), wordt een ggo-gewas pas toegelaten in het veld nadat het aan een grote milieustudie werd onderworpen. Er wordt onder andere nagegaan of het ggo-gewas in vergelijking met het niet-ggo-gewas een ander effect heeft op de bodem, op het bodemleven, op insecten, op naburige planten, enzovoort. De potentiële milieueffecten van ggo-gewassen zijn al 30 jaar onderwerp van wetenschappelijk onderzoek. Identiek aan de voedselveiligheidstesten moeten ook de milieuveiligheidsanalyses gebeuren op basis van de gewaskenmerken. Er kunnen namelijk geen algemene uitspraken gedaan worden over alle ggo-gewassen en afhankelijk van het kenmerk moet ieder ggo-gewas apart bestudeerd worden. De ggo-gewassen die vandaag op het veld staan zijn voornamelijk herbicide-tolerant en/of insect-resistent (zie kaderstuk “Huidige ggo-toepassingen”).

In navolging van het achtergrondossier rond voedselveiligheid van ggo-gewassen behandelen we in dit dossier de effecten van de huidige ggo-gewassen op het milieu. Ook hier willen we op basis van de recente wetenschappelijke literatuur een genuanceerd antwoord bieden op de vele bezorgdheden die bestaan. Om de milieuveiligheid van ggo-gewassen correct te plaatsen, gaan we eerst in op de impact die landbouw in het algemeen heeft op het milieu. Cruciaal in deze discussie is de vraag hoe ggo-gewassen moeten geëvalueerd worden. Moet de milieu-impact van een ggo-teelt vergeleken worden met de conventionele teelt, met biologische landbouw of met een geïntegreerd landbouwbeleid?

HUDIGE GGO-TOEPASSINGEN

De belangrijkste ggo-toepassingen vandaag op de markt zijn herbicide-tolerantie, insect-resistentie, virus-resistentie en droogte-tolerantie. Vele andere toepassingen die kunnen bijdragen aan een duurzame landbouw (bijvoorbeeld schimmel-resistente ggo-aardappel) of die kunnen ingezet worden voor humanitaire doeleinden (bijvoorbeeld gouden rijst) zijn in ontwikkeling of wachten op een teelttoelating.

Herbicide-tolerante planten doorstaan een sproeibeurt met herbiciden (onkruidbestrijdingsmiddelen) terwijl alle onkruiden in het veld hierdoor verwijderd worden. Herbicide-tolerantie stuit op kritiek omdat het herbicidegebruik in de landbouw ondersteunt. Echter, herbicide-tolerantie is niet nieuw en ieder gewas is wel tolerant aan een of meerdere herbiciden. Zo kunnen grassen met specifieke herbiciden (bijvoorbeeld de werkzame stoffen propaquizafop en rimsulfuron) verwijderd worden in een aardappelveld omdat aardappel tolerant is aan deze producten.^{5,6} Naast spontaan ontstane toleranties, kan herbicide-tolerantie via veredeling verkregen worden. Sinds 1970 ontwikkelt men via klassieke veredelings technieken planten die tolerant zijn voor herbiciden die tegen een breed spectrum van onkruiden gebruikt kunnen worden. Dit kenmerk geeft de landbouwer een groot voordeel omdat het zorgt voor een flexibel en eenvoudig onkruidbeheer. In erosiegevoelige gebieden biedt herbicide-tolerantie overigens een indirect milieuvoordeel. Het laat namelijk een landbouw toe zonder ploegen. Hierdoor verbetert de bodemstructuur, is er minder bodemerosie en wordt ook minder brandstof gebruikt zodat minder CO₂ wordt uitgestoten. Ook met moderne veredelings technieken (zoals ggo-technologie) kan herbicide-tolerantie ontwikkeld worden. Herbicide-tolerantie staat dus los van enige verdelingsmethode en is vooral een antwoord op de noden van landbouwers. De meest gekende en commercieel succesvolle ggo-voorbeelden zijn glyfosaat- en glufosinaat-tolerantie (respectievelijk gecommercialiseerd onder de naam RoundUpReady en LibertyLink).⁷ Deze ggo-gewassen hebben hun herbicide-tolerantie te danken aan de productie van bacteriële eiwitten.

Insect-resistente gewassen kunnen zichzelf verdedigen tegen bepaalde schadelijke insecten. Hierdoor kan het insecticidegebruik drastisch verlaagd worden, wat een positief effect heeft op nuttige insecten en het milieu in het algemeen. Ook het insect-resistentiekenmerk hebben ggo-gewassen verkregen door het inbouwen van genetische informatie van bacteriën, meer bepaald van Bacillus thuringiensis (afgekort Bt). Insect-resistente Bt-gewassen produceren eiwitten van de Bacillus bacteriën waardoor ze specifieke insecten kunnen afweren.

Sinds de jaren 90 zijn er ggo's die resistent zijn tegen bepaalde plantenvirussen. Vooral de virus-resistente ggo-papaja is een succesverhaal. De ggo-papaja werd ontwikkeld door twee Amerikaanse universiteiten zonder inbreng van de industrie en heeft in 1998 de zwaar geteisterde papaja-industrie in Hawaï van de ondergang gered.⁸ Naast de papaja worden ook ggo-tomaten, -pompoeien, -paprika's op kleine schaal geteeld.⁷ Ze produceren een of meerdere eiwitten afkomstig van plantenvirussen of specifieke RNAi-moleculen, wat hen immuun maakt tegen deze specifieke virussen (voor meer info zie achtergrondossier “Virus-resistente papaja in Hawaï”).⁸

Sinds 2013 wordt in de Verenigde Staten ook ggo-mais geteeld die beter bestand is tegen periodes van droogte. Droogte-tolerantie wil niet zeggen dat de planten kunnen groeien in droge gebieden maar wel dat ze droge periodes kunnen overbruggen zonder drastische opbrengstverliezen te lijden. De huidige beschikbare droogte-tolerante ggo-mais gebruikt een eiwit van de bodembacterie Bacillus subtilis en levert onder droogtestress gemiddeld 7% meer opbrengst in vergelijking met de conventionele mais.⁹

2 Impact van landbouw op het milieu

Het produceren van voedsel voor mens en dier is een van de menselijke activiteiten die een enorme impact op het milieu heeft. Landbouw staat immers gelijk aan het beschermen van aangeplante gewassen en het onder controle houden van niet gewenste organismen zoals onkruiden en insecten. Ook een goede bodemvruchtbaarheid en -structuur zijn cruciaal voor een goede teelt. Daarom wordt het land bemest, terwijl de ploeg wordt ingezet om gewasresten onder te werken en de bodem losser te maken. Al deze ingrepen hebben een impact op het milieu.

Impact op de biodiversiteit

Biodiversiteit of biologische verscheidenheid verwijst naar de aanwezige variatie in het aantal en soort levende wezens op een bepaalde plaats. De mens is gestart met landbouw om meer voedsel te produceren en om minder afhankelijk te zijn van verzamelen en jagen.

Landbouw gaat steeds gepaard met het ontginnen van natuurgebieden en ontbossing en heeft een enorme impact op de natuurlijke biodiversiteit. De productie van voedsel grijpt verder in op het natuurlijke evenwicht. Planten staan immers aan de basis van iedere voedselpiramide, niet alleen aan die van de mens. Planten worden namelijk belaagd door bacteriën, virussen, schimmels, insecten en gewervelde planteneters. Bovendien zijn de vruchtbare gronden waar gewassen geteeld worden ook een geliefkoosde plek voor onkruiden of ongewenste planten die op die manier concurreren met het aangeplante gewas. Voldoende voedsel produceren voor mens en dier staat met andere woorden gelijk aan het onder controle houden van die andere levende wezens. Door deze te verwijderen uit het veld en in vele gevallen te elimineren, wordt de biodiversiteit aangetast; zowel rechtstreeks als onrechtstreeks. Een voorbeeld van een direct effect is de dalende aanwezigheid van insecten en zaad-producerende onkruiden wanneer velden behandeld worden met insecticiden en/of herbiciden. Indirect kan echter ook de biodiversiteit van vogels in het gedrang komen, aangezien insecten en onkruid onderdeel zijn van het dieet van bepaalde vogels.

Het effect van gewasbeschermingsmiddelen ligt voor de hand. Maar ook andere landbouw-



kundige praktijken hebben een grote impact op biodiversiteit. Ploegen zorgt verschillende keren per jaar voor een omwoeling van de bodem terwijl de ploeg en de zware tractoren zorgen voor verdichting van dieper liggende grondlagen. Dit alles heeft gevolgen voor het bodemleven.¹⁰ Het verspreiden van stalmest of kunstmest zorgt voor een hoge concentratie van stikstof en fosfaat in het veld wat het bodemleven en het grondwater beïnvloedt. In droge landbouwgebieden zal irrigatie ervoor zorgen dat droogte-minnende onkruiden minder kans hebben om zich te handhaven. Landbouw op zich (conventioneel of biologisch) heeft dus een overweldigende impact op de biodiversiteit. Maar deze impact hoeft niet altijd negatief te zijn. Door gewassen te telen ontstaan ook nieuwe ecosystemen die een bepaalde verrijking van de biodiversiteit met zich meebrengen.

Bestrijdingsmiddelen

Het gebruik van de eerste gewasbeschermingsmiddelen of pesticiden dateert van ongeveer 2000 jaar voor het begin van onze jaartelling. In het oude Sumerië en China

gebruikte men zowel plantaardige producten als zwavelhoudende stoffen om de oogsten te beschermen.¹¹ De 20ste eeuw bracht een grote verandering. Intensieve ontwikkelingen in de chemische sector zorgden immers voor de ontwikkeling van tal van producten waarmee onkruiden, schimmels en insecten afgedood konden worden. Hierdoor stegen de opbrengsten spectaculair.

Het afdoden van organismen in een veld om oogsten te kunnen verzekeren, zorgt voor een impact op het milieu die in veel gevallen getolereerd wordt. Het is immers de bedoeling om voedsel voor mens en dier te produceren en niet voor insecten en schimmels. Wanneer een dergelijke strategie gebruikt wordt, is het evenwel belangrijk dat de gewasbeschermingsmiddelen zo specifiek mogelijk werken. In deze context spreekt men van doelwit- en niet-doelwitorganismen. Doelwitorganismen zijn bijvoorbeeld bepaalde insecten die planten in hun groei belemmeren of die gaan lopen met een deel van de oogst. Insecten die het gewas niet schaden en nuttige insecten die het gewas beschermen doordat ze schadelijke insecten als prooi hebben, worden niet-doelwitorganismen genoemd. Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen moet deze insecten met andere woorden ongemoeid laten. Pesticiden moeten zoveel mogelijk doelwitten elimineren en zo weinig mogelijk (liefst geen) niet-doelwiteffecten hebben. Een plaag bestrijden zonder ongewenste neveneffecten is echter moeilijk bij alle gewasbeschermingsmethoden, zowel chemische als biologische. Pyrethrine bijvoorbeeld, een biologisch bestrijdingsmiddel dat in de biologische landbouw toegelaten is om insectenvraat tegen te gaan, is ook giftig voor bijen en andere nuttige insecten.^{2,12}



Bemesting

Planten hebben de unieke gave om zuurstof en suikers te maken uit zonne-energie, water en CO₂. Dat proces wordt fotosynthese genoemd. Planten hebben echter meer nodig dan suikers alleen om goed te kunnen groeien. Allerlei elementen zoals stikstof, fosfor en kalium halen ze uit de grond waarin ze groeien. Om de plantenproductiviteit hoog te houden, wordt landbouwgrond door bemesting verrijkt met deze elementen. Stalmest en organische mest hebben een wisselende samenstelling en zijn niet perfect aangepast aan de behoeften van een bepaalde teelt. Plantengroei wordt beperkt door het element dat in de laagste concentratie aanwezig is. Van de mest wordt dus niet alles gebruikt door de plant waardoor grond- en oppervlaktewater vervuild worden met extra nutriënten. Stalmest zorgt bovendien voor verzuring van de bodem. Kunstmest is uit landbouwkundig oogpunt soms een betere optie omdat de samenstelling geoptimaliseerd kan worden per teelt. Maar kunstmest produceren

is energievervlindend en milieuvervuilend en heeft bovendien een hoge kostprijs.

Bemesting van landbouwgronden is een van de hoofdoorzaken van de vervuiling van oppervlaktewateren. Het uitspoelen van fosfaatbemesting bijvoorbeeld in beken en rivieren kan leiden tot eutrofiëring van waterlopen en kustwateren.^{13,14} Eutrofiëring is een massale toename van de algengroei, waardoor alle zuurstof en dus alle leven uit waterecosystemen verdwijnt.

Ploegen

Met bepaalde landbouwpraktijken zoals het ploegen van een veld, het onderwerken van mest en het klaarleggen van een veld om het te kunnen inzaaien, zijn we zodanig vertrouwd dat we ervan uitgaan dat ze weinig schade berokkenen aan het milieu. Deze handelingen zijn echter verantwoordelijk voor erosie van de bodem en het verlies van landbouwproductiviteit. Afhankelijk van het bodemtype en het klimaat, kan ploegen uiteenlopende neveneffecten hebben. De bodem losser maken is noodzakelijk om een zware en samengedrukte

bodem terug luchtig te maken, maar het kan nadelig zijn voor lichte en erosiegevoelige bodems. Ploegen of het keren van de bodem verkrumelt de grond, waardoor vruchtbare grond gemakkelijker kan wegwaaien met de wind of weg kan spoelen na een flinke regenbui. Bodemkerende bewerkingen zorgen er ook voor dat natte ondergrond naar boven wordt gebracht, waardoor de grond uitdroogt. In gebieden met natte winters is dat goed, want hierdoor kan er vroeger gezaaid worden. In droge gebieden moet het echter vermeden worden, want die extra verdamping als gevolg van het ploegen zal de vochtreserves in de bodem aantasten. Maar ook het tijdstip waarop er wordt geploegd en de staat van het veld kunnen een zeer zware impact hebben. Een natte bodem berijden met zware tractoren kan er immers voor zorgen dat de grond volledig samengedrukt wordt. De bandensporen met bijhorende plassen die vanaf de herfst te zien zijn op de Vlaamse akkers zijn het kenmerk van samengedrukte bodems. Plantenwortels hebben het dan extra moeilijk om zich te ontwikkelen, met opbrengstverlies tot gevolg.

In Europa is achteruitgang van de bodem door erosie (vooral in Zuid-Europa) en bodemverdichting (in de nattere zones) een van de grote problemen bij traditionele landbouwactiviteiten.^{15,16} Vandaar dat er de laatste decennia een toenemende belangstelling is voor landbouw waarbij niet wordt geploegd. Door de grond niet te keren of minder intensief te mengen, blijven bijvoorbeeld meer gewasresten achter op het veld. De bodemdeeltjes worden hierdoor meer samengehouden, waardoor de bodem beter beschermd is tegen erosie. Minimale bodembewerkingen resulteren daarnaast ook in een optimale bodemstructuur. Zo vergroot de





draagkracht van de bodem, waardoor onder vochtige omstandigheden een niet-geploegd veld beter te berijden is dan een geploegde akker.¹⁶⁻¹⁸ Maar ook het bodemleven wordt veel minder verstoord, wat een positief effect heeft op de biologische activiteit in de bodem.¹⁹⁻²³ De aanwezigheid van gewasresten trekt ook meer vogels en kleine dieren aan. Spontane afbraak van de resten creëert nieuwe ecosystemen die de biodiversiteit in het veld vergroot.²⁴

Als niet ploegen zo veel voordelen heeft, waarom wordt er dan nog geploegd? Zoals gewoonlijk is er altijd een keerzijde. Niet-kerende bodembewerkingen gaan vaak samen met meer onkruid. En onkruiden zijn een nachtmerrie voor iedere landbouwer. Een van de mogelijkheden om onkruiden te verwijderen voor het gewas gezaaid wordt, is ze onderploegen. Maar wanneer de ploeg achterwege gelaten wordt

om de bodemstructuur te sparen, moeten onkruiden op een andere manier bestreden worden. Een manier – bijvoorbeeld het gebruik van herbiciden – die dan eveneens een negatief effect kan hebben op het milieu en biodiversiteit.

Luchtvervuiling

Menselijke activiteit heeft ervoor gezorgd dat gedurende de laatste 200 jaar de uitstoot van broeikasgassen zoals koolstofdioxide (CO₂), stikstofoxide (N₂O) en methaan (CH₄) zeer sterk is gestegen. Ook landbouw heeft hier een belangrijke bijdrage in. In Europa zijn landbouwactiviteiten verantwoordelijk voor ongeveer 10% van de totale uitstoot van broeikasgassen.²⁵ Niet alleen landbouwvoertuigen zorgen voor vervuiling van de lucht. Rijstvelden zijn bijvoorbeeld verantwoordelijk voor 10% van de mondiale door de mens veroorzaakte methaanemissie.²⁶

Methaan is één van de broeikasgassen die mee aan de basis liggen van de opwarming van de aarde. Ook de veestapel heeft een grote impact. In de Verenigde Staten en Europa zijn herkauwers verantwoordelijk voor 25 tot 30% van de uitstoot van methaan.^{6,27} Methaan wordt in de pens van runderen geproduceerd als bijproduct van de microbiële vertering en vooral uitgescheiden via de ademhaling. De methaanproductie wordt in de eerste plaats bepaald door het type voeder. Zo ligt de methaanproductie bij koeien hoger naarmate ze meer grazen.

Irrigatie

Tijdens hun groei worden gewassen geconfronteerd met allerlei ziekteverwekkers die een negatief effect hebben op de oogst. Verminderde prestaties van planten als gevolg van externe factoren zijn vaak het gevolg van

“stress”. Wanneer levende organismen zoals insecten en bacteriën aan de basis liggen, spreekt men van biotische stress. Maar er is ook abiotische stress. Hiermee wordt de verminderde groei door suboptimale omgevingsomstandigheden bedoeld, zoals bijvoorbeeld stikstoftekort in de bodem. Tekorten aan bepaalde voedingsstoffen in de bodem kunnen weggewerkt worden door een aangepaste bemesting. Verminderde opbrengsten als gevolg van droogte, een andere abiotische stressfactor, kunnen vermeden worden door irrigatie. 40% van de voedselproductie is afkomstig van irrigatielandbouw.⁷ Het water dat hiervoor gebruikt wordt, is vaak afkomstig van ondergrondse zoetwatervoorraden. Ongeveer 70% van het water dat onttrokken wordt aan de natuur, wordt gebruikt voor de landbouw.²⁸ Het vooruitzicht dat onze zoetwatervoorraden uitgeput raken, is weinig rooskleurig.

3 Directe effecten van een (ggo-)gewas op het milieu

Naast algemene landbouwkundige praktijken kan de teelt van een bepaald gewas door haar specifieke kenmerken bijkomende implicaties hebben voor de omgeving. De directe effecten van specifieke gewassenmerken worden in dit hoofdstuk behandeld. Dergelijke effecten kunnen zowel positief zijn als voor een extra milieubelasting zorgen en staan los van de veredelingsmethode die gebruikt werd om het gewas te ontwikkelen.

Gebruik van gewasbeschermingsmiddelen

Per jaar wordt 2,4 miljoen ton pesticiden (zoals insecticiden, fungiciden en herbiciden) gebruikt.^{29,30} Toch is ziekte eerder uitzondering dan regel in de plantenwereld. Planten hebben in de loop van de evolutie een immuniteit opgebouwd tegen een groot aantal belagers zoals schimmels, virussen, bacteriën en insecten. Niet alle ziekte-resistente planten zijn echter geschikt voor voeding of geliefd als commercieel ras. De consument en verwerkende industrie hebben hun eigen eisen waaraan een voedingsproduct moet voldoen; smaak, grootte, bewaarbaarheid zijn er enkele van. Een sprekend voorbeeld is het aardappelras *Bintje*. *Bintje* is zeer gevoelig voor de aardappelziekte waardoor het op grote schaal niet kan geteeld worden zonder het gebruik van grote hoeveel-



heden schimmelbestrijdingsmiddelen. *Bintje* blijft ongeveer 50% van het aardappelareaal in België uitmaken, terwijl er aardappelrassen beschikbaar zijn die met minder pesticiden kunnen geteeld worden.

Voor de aardappel maar ook voor andere gewassen investeren gewasveredelaars veel tijd en middelen om in de natuur voorkomende ziekteresistenties naar commercieel interessante plantenrassen over te brengen. Dit om de oogstzekerheid te verbeteren en het gebruik van pesticiden in de landbouw te verminderen. In biologische gewasveredeling worden bovendien inspanningen geleverd om rassen zo te veredelen dat ze bijvoorbeeld zeer snel na kieming een breed bladerdek ontwikkelen. Hierdoor krijgen kiemende onkruidzaden minder licht en kan men onkruidbestrijding verminderen.

Naast schimmels en onkruiden vormen ook insecten een groot probleem in de landbouw. Planten hebben in de loop van de evolutie verschillende strategieën ontwikkeld om zich te wapenen tegen insecten en andere planteneeters. Dat gaat van morfologische veranderingen zoals stekels tot de productie van bepaalde verdedigingsstoffen. Deze verdedigingsstoffen zijn vaak eiwitten en secundaire metabolieten zoals lectines, cysteine protease inhibitoren, glucosinolaten, alkaloiden, ...³¹ Secundaire metabolieten zijn chemische stoffen die een belangrijke rol spelen in de bescherming en overleving van planten. De verdedigingsstoffen maken deel uit van een biologische oorlogsvoering tussen plant en belager. Sommige stoffen worden continu geproduceerd door de plant, andere worden enkel geproduceerd wanneer de plant aangevallen wordt.



Lectines zijn suikerbindende eiwitten en zijn overvloedig aanwezig in het plantenrijk.³² Meestal zal een plant pas lectines produceren wanneer ze effectief aangevallen wordt. Bepaalde tarwerassen bijvoorbeeld produceren enkel tijdens een insectaanval lectines in de bladeren.³² Er bestaan honderden verschillende lectines die planten beschermen tegen planteneters en sommige lectines zoals fytohemagglutinine uit nierbonen zijn zelfs giftig voor de mens. Vandaar dat deze bonen gedurende lange tijd moeten gekookt worden om het lectine af te breken vooraleer we ze veilig kunnen consumeren. Commerciële plantensoorten kunnen in sommige gevallen resistent gemaakt worden tegen bepaalde insecten met behulp van kruisingen, op voorwaarde dat er een kruisbare plant voorhanden is die lectines of een andere beschermend product produceert.^{31,33} De teelt van zo'n insect-resistent gewas zal minder inzet van insecticiden eisen wat positief is voor het milieu, maar de bescher-

mende stof zoals lectine kan ook direct of indirect nuttige insecten of andere niet-schadelijke organismen schade toebrengen wat negatief is voor de biodiversiteit. De impact van het insect-resistent gewas op nuttige organismen wordt bepaald door de specificiteit van het resistentiemechanisme (bijvoorbeeld lectines) en niet door de technologie (kruisen, ggo-technologie, ...) waarmee het resistentiemechanisme in de plant is gebracht.

Naast gebruik te maken van de traditionele veredelings technieken zoals kruisen kan insect-resistentie ook verkregen worden met behulp van de ggo-technologie. Het bekendste voorbeeld zijn ongetwijfeld de Bt-gewassen. Deze gewassen hebben erfelijke informatie gekregen van de bacterie *Bacillus thuringiensis* waardoor de plant een of meerdere eiwitten produceert die schadelijk zijn voor bepaalde insecten.³⁴

Insect-resistente gewassen zijn planten die zichzelf beschermen tegen een of meerdere groepen van insecten. In het geval van de genetisch gewijzigde Bt-gewassen is de weerstand gericht tegen rupsen en larven van nachtvliners of kevers. Hierdoor moeten Bt-gewassen niet meer behandeld worden met chemische of biologische middelen die normaal ingezet worden om deze insecten te bestrijden. De insect-dodende werking van Bt is al meer dan 100 jaar gekend en commerciële producten op basis van Bt zijn beschikbaar sinds de jaren 1940.³⁴ Bt-sprays nemen meer dan 90% van de biologische pesticidenmarkt in en ze zijn een belangrijk middel om insecten onder controle te houden, vooral in de biologische landbouw.^{35,36} Vandaag worden er een viertal gewassen die via ggo-technologie de genetische informatie gekregen hebben om Bt-eiwitten te produceren op commerciële wijze geteeld: katoen, maïs, soja en aubergine. Vooral bij de katoenteelt wordt hierdoor drastisch bespaard op het insecticidegebruik.³⁴ Katoen is een gewas dat zeer grote hoeveelheden insecticiden vereist, onder andere tegen de bolworm. Katoen wordt geteeld op 2,5% van het globale landbouwareaal maar is verantwoordelijk voor 16% van het wereldwijde insecticidegebruik.³⁷ In 2013 werd 21,3 miljoen kilogram insecticiden (actieve stof) uitgespaard door de teelt van Bt-katoen.³ Dit komt neer op bijna een halvering van het totale insecticidegebruik in de katoenteelt; een vermindering van 48,3% om precies te zijn. Als de teelt sinds 1996 in rekening wordt gebracht, komt dit neer op 230 miljoen kg insecticiden die niet werden gebruikt dankzij de teelt van insect-resistente ggo-katoen.³ Bovendien resulteert de grootschalige teelt van ziekte-resistente ggo-gewassen in een vermindering van de algemene ziektedruk, wat vervolgens ook leidt

tot een verlaging van het gebruik van pesticiden in naburige niet-ggo-teelt.³⁸

Voor de maïs- en sojateelt zijn de resultaten qua uitgespaarde hoeveelheden insecticiden iets minder spectaculair omdat de insecten waartegen de Bt-gewassen zijn ontwikkeld minder dominant aanwezig zijn in vergelijking met de bolworm in katoenteelt. Toch gaat het ook hier om significante ecologische voordelen. In 2013 werd 8,2 miljoen kg insecticiden uitgespaard door de Bt-maïsteelt; een daling van 84% in gebruik van insecticiden specifiek gericht tegen de stengel- en wortelboorders.³ Tijdens de periode 1996-2013 heeft de Bt-maïsteelt gezorgd voor een vermindering van 72 miljoen kg insecticiden, waardoor de milieu-impact van de ggo-maïsteelt tijdens deze periode 53% lager ligt dan die van de conventionele teelt. Voor de beperkte Bt-sojateelt die pas in 2013 van start ging in Zuid-Amerika werd een besparing van 0,4 miljoen kg insecticiden gerealiseerd of 1% van het totale insecticidegebruik in de sojateelt.³

Het positief effect van de teelt van Bt-gewassen wordt onafhankelijk bevestigd door landbouweconoom Charles Benbrook;³⁹ een kritische stem in het ggo-debat die tegen alle wetenschappelijke data in beweert dat er geen wetenschappelijke consensus is over de veiligheid van de ggo-technologie.⁴⁰ Zowel vriend als vijand van ggo-technologie blijkt het dus eens te zijn dat insect-resistentie kan leiden tot een belangrijke ecologische verbetering van ons landbouwsysteem en dat Bt-gewassen dit in de afgelopen decennia overduidelijk hebben bewezen.



De honingbij en andere niet-doelwitorganismen

Wanneer planten geteeld worden die zichzelf beschermen tegen plaaginsecten, is het uiterst belangrijk om na te gaan wat hun effect is op nuttige insecten of op organismen die het gewas geen schade berokkenen (niet-doelwitorganismen). Het kan immers niet de bedoeling zijn dat de teelt van een nieuw gewas, ras of een nieuw gewassenmerk een nadelige verstoring in het ecosysteem veroorzaakt. Toch is dit niet zo evident, zeker niet wanneer een niet-doelwitorganisme grote fysiologische gelijkenissen vertoont met een plaagorganisme dat onder controle gehouden moet worden. Zo'n plaagorganisme kunnen raken zonder ongewilde effecten te veroorzaken op niet-doelwitorganismen is een grote uitdaging voor ieder gewasbeschermingsmethode, chemisch of biologisch. Ook natuurlijk geëvolueerde bescherming is niet altijd selectief. Planten produceren bepaalde beschermende stoffen om zich te wapenen tegen ziekteverwekkers en/of planteneters. Een voorbeeld hiervan zijn de eerder besproken lectines (zie pagina 16) die niet noodzakelijk zeer specifiek zijn.

In de discussie over het effect van landbouw op niet-doelwitorganismen krijgt vooral de honingbij veel aandacht. Dit nuttig insect is niet alleen de producent van honing maar neemt ook nog eens de bestuiving van een kwart van alle gewassen voor haar rekening.⁴¹ Een goede insectbestuiving is voor vele gewassen cruciaal zowel wat betreft kwaliteit als kwantiteit van de oogst. Imkers over de hele wereld zien hun bijenpopulaties achteruit gaan en leggen soms ongefundeerd één van de mogelijke verklaringen bij de introductie van ggo-gewassen. Echter, in Noord-Europa (bv. België) merkt men evenzeer een algemene verzwakking en abnormaal grote sterfte bij de honingbijen.⁴² Maar in België en in de omringende landen wordt geen enkel ggo-gewas op commerciële wijze geteeld. Hier kunnen ggo-gewassen dus per definitie niet de oorzaak zijn van de achteruitgang van bijenpopulaties.

Voor de insect-resistente Bt-gewassen worden geïmporteerd. De bij is immers een insect en komt door haar bestuivingswerkzaamheden in contact met grote hoeveelheden stuifmeel waar Bt-eiwitten in aanwezig zijn. Het gesuggereerde verband wordt echter niet ondersteund door wetenschappelijke data. Dit komt in de eerste plaats omdat Bt-eiwitten een zeer specifiek werkingsmechanisme hebben (voor meer info zie achtergrondossier "Bt-katoen in India"³⁴). Eens opgenomen, wordt een Bt-eiwit in de darm van een gevoelig insect herkend door specifieke darmwandreceptoren; een soort van antennes die een reactie in gang zetten als ze een signaal ontvangen.³⁴ Afhankelijk van het soort Bt-eiwit is Bt enkel werkzaam tegen specifieke insectenfamilies die de juiste "darmantennes" bezitten. De Bt-eiwitten die vandaag

gebruikt worden in de landbouw worden niet herkend door bijen, waardoor bijen per definitie niet gevoelig zijn voor de huidig toegelaten Bt-gewassen. Een groot aantal studies in het labo en in het veld hebben dit bevestigd.⁴³⁻⁴⁷ De studies hebben uitgewezen dat in vergelijking met pollen van niet-Bt-gewassen, de pollen van Bt-gewassen geen effect hebben op het bijengewicht, de oriëntatie, de hoeveelheid verzamelde pollen, de activiteit van de pollenverzamelaars, de gezondheidstoestand van de kolonie, het gewicht en ontwikkeling van het broed.⁴³⁻⁴⁷ Er werd eveneens aangetoond dat opgenomen Bt-eiwitten geen effect hebben op de darmcellen van bijen.⁴⁸

Het effect van Bt-eiwitten werd niet alleen op bijen bestudeerd. Ook andere insecten werden onderzocht. In Spanje bijvoorbeeld werd het effect nagegaan van Bt-maïs op verschillende

insecten in het veld. Een meta-analyse gebaseerd op 13 verschillende Spaanse veldproeven toonde aan dat de 26 onderzochte insectengroepen geen nadelig effect ondervonden van de Bt-maïs.⁴⁹ Er zijn evenwel studies die aantonen dat Bt-gewassen soms een negatief effect kunnen hebben op de ontwikkeling van bepaalde predatoren (insecten die andere insecten gebruiken als voeding) en parasitoïden (insecten die hun eitjes leggen in het lichaam van andere insecten) van Bt-gevoelige insecten.⁵⁰ Deze effecten zijn vaak te wijten aan een indirect ecologisch effect door het minder voorkomen van Bt-gevoelige insecten en worden daarom behandeld in het volgende hoofdstuk (zie pagina 30). Het sporadisch en beperkt negatief effect van Bt-gewassen op niet-doelwitorganismen en het milieu is verwaarloosbaar klein in vergelijking met de impact van het traditioneel insecticidegebruik.⁵⁰

DE MONARCHVLINDER

Een van de meest beruchte studies over het effect van ggo-gewassen op niet-doelwitorganismen is die over de monarchvlinder in de Verenigde Staten. In 1999 publiceerden drie insectendeskundigen van de Cornell Universiteit in New York in het gezaghebbende tijdschrift *Nature* dat het stuifmeel van insect-resistente Bt-maïs schadelijk was voor de monarchvlinder.⁵¹ Het artikel sloeg in als een bom. Het nieuws werd op de voorpagina van kranten gezet en verspreidde zich over gans de wereld. De monarchvlinder is net zoals de honingbij een insect dat bij veel mensen een gevoelige snaar raakt. De vlinder is in Noord-Amerika een symbool en wordt vaak "de Bambi van de insectenwereld" genoemd.⁵² De vlinders zijn niet alleen wondermooi met hun zwartgeaderde oranje vleugels, ze hebben ook een mysterieus kantje. Ieder jaar ondernemen ze een heldhaftige tocht van Canada en de Verenigde Staten naar de bossen in Mexico om te overwinteren. De jaarlijkse trek van vele miljoenen vlinders tegelijk over fenomenale afstanden is een van de meeste bekende fenomenen in de natuur.

Tijdens hun grote tochten leggen monarchvlinders hun eitjes op de zijdeplant (*Asclepias syriaca*); een plant



uit de maagdenpalmfamilie die voorkomt in Noord-Amerika en Mexico en als onkruid bestempeld wordt. De larven eten enkel bladeren van de zijdeplant. Ze doen zich gedurende twee weken tegoed aan de bladeren om daarna te verpoppen tot vlinder. De zijdeplant staat dus centraal in het voortbestaan van de monarchvlinder. De onderzoekers van de Nature-studie uit 1999 gaven larven van de monarchvlinder bladeren te eten die besprenkeld waren met het stuifmeel van insect-resistente Bt-maïs. De onderzoekers merkten dat 44% van de larven stierven en dat diegenen die overleefden kleiner waren dan de larven die bladeren aten zonder Bt-stuifmeel.⁵¹ Dat de larven van vlinders gevoelig zijn voor sommige Bt-eiwitten was op zich geen opvallend nieuws. Larven van monarchvlinders en larven van nachtvinders waartegen Bt-gewassen zijn ontwikkeld behoren immers beide tot de orde van de Lepidoptera. Bovendien worden Bt-eiwitten al sinds halfweg de 20ste eeuw gebruikt als (biologisch) bestrijdingsmiddel en was het gekend dat bij spuiten de populatie van Lepidoptera een knauw kreeg.^{53,54}

De grote vraag naar aanleiding van de Nature-studie was echter of de larven in natuurlijke omstandigheden ook effectief in contact komen met Bt-stuifmeel. Een andere belangrijke vraag is of ze gevoelig zijn voor alle Bt-eiwitten of slechts voor een of meerdere specifieke Bt-eiwitten. De Nature-studie gebruikte immers pollen die enkel het Cry1Ab-eiwit produceerden.

Zijdeplanten komen voor in en rond maïselden. In een veld kunnen ze tijdens de bloei besprenkeld worden met relatief grote hoeveelheden stuifmeel, maar in een veld worden ze gezien als onkruid waardoor landbouwers ze zoveel mogelijk verwijderen. Buiten het veld moeten de planten dan weer voldoende dicht staan bij het maïseld om bedekt te worden met maïsstuifmeel. Bovendien moet het maïsstuifmeel op de bladeren van de zijdeplant terechtkomen net op het moment dat de vlinders hun eitjes leggen en de larven uitkomen. Om na te gaan of monarchvlinders onder natuurlijke omstandigheden gevaar lopen, voerden het departement landbouw van de VS en verschillende universiteiten grootschalig onderzoek uit.

De verschillende studies werden in een gezamenlijk nummer van Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS) gepubliceerd in september 2001 en concludeerden dat het risico voor de monarchvlinder verwaarloosbaar klein is.⁵⁵⁻⁶⁰ In de originele Nature-studie werden niet-realistisch hoge hoeveelheden Bt-stuifmeel gebruikt. De meeste Bt-gewasvariëteiten produceren in het stuifmeel te kleine hoeveelheden Bt-eiwitten om onder veldomstandigheden schadelijk te zijn voor vlinders. De concentratie van Bt-eiwitten verschilt echter tussen de Bt-gewasvariëteiten. Eén variëteit – Bt176 – produceerde veel meer Bt-eiwitten in het stuifmeel in vergelijking met andere maïsvariëteiten (doordat het Bt-gen onder controle stond van een pollen-specifieke promotor). In het geval van Bt176 kon een Bt-concentratie op de zijdeplanten bereikt worden die schadelijk is voor monarchvlinders.⁵⁵ De Bt176-maïsvariëteit was echter een minder goed presterende variëteit in het veld en nam rond de eeuwwisseling 2% in van het maïsareaal in de VS. De hoge Bt-concentratie in het stuifmeel gaf de doorslag om de weinig succesvolle variëteit niet langer meer te koop aan te bieden.⁵² Een bijkomende belangrijke observatie was dat de piek van maïsstuifmeelproductie in de zuidelijk gelegen testgebieden niet samenvalt met de aanwezigheid van larven op de zijdeplanten. Enkel in de noordelijk gelegen gebieden was er in de helft van de gevallen wel een overlap. Ongeveer 50% van alle larven die tijdens de testperiode geteld werden, waren aanwezig tijdens de bloei van de maïsplanten.⁵⁶ Dit klinkt veel, maar de zijdeplanten waarop monarchvlinders hun eitjes leggen, komen niet enkel voor in of rond maïselden. In simulaties wordt

aangenomen dat dit in 56% van de gevallen is.^{56,58} Wanneer men bovendien rekening houdt met de maximale overlap tussen larvenaanwezigheid en maïsbloei (62%),⁵⁶ de huidige adoptiegraad van Bt-maïs in de VS (93%)⁷ en de kans dat het stuifmeel van de huidig geteelde Bt-gewassen een nadelig effect zou hebben op de monarchlarven (0,7%),⁵⁸ dan zou 0,2% van de monarchvlinders gevaar lopen. Deze kans is verwaarloosbaar klein ten opzichte van het risico dat monarchvlinders lopen bij het bespuiten van een maïseld met Bt-producten en/of andere gewasbeschermingsmiddelen.

De PNAS-studies gaven duidelijk aan dat risicobepaling voor niet-doelwitorganismen heel belangrijk is en dat het werkingsmechanisme achter de insect-resistente gewassen zo specifiek mogelijk moet zijn. In het ideale geval zouden de insect-afstotende stoffen in Bt-gewassen enkel in die plantendelen moeten geproduceerd worden die onderhevig zijn aan insectaanvallen. Stuifmeel dat een bron van voeding kan zijn voor nuttige insecten of waarmee andere planten (zoals zijdeplanten) mee kunnen bedekt worden, moet een zo laag mogelijke concentratie bevatten van deze producten. Bij de huidige geteelde Bt-gewassen is dit het geval. Dankzij de PNAS-studies werd het tegelijkertijd duidelijk dat de commotie rond het originele Nature-artikel buitenproportioneel was. De PNAS-studies haalden nauwelijks media-aandacht - vermoedelijk door de gebeurtenissen van 9/11 in de VS.

Opbrengst per oppervlakte-eenheid

De wereldwijd toenemende vraag naar landbouwproducten voor voeding, voeder en brandstof, legt een zware druk op het milieu en op het beschikbaar landbouwareaal. Hoe minder opbrengst kan gehaald worden per hectare landbouwgrond, hoe meer natuurlijke vegetatie moet opgeofferd worden en omgeschakeld worden naar landbouwgrond. Het telen van een laag renderend gewas heeft dan ook een niet te onderschatten negatief effect op het milieu. De toename van het landbouwareaal onder controle houden, zal een van de belangrijkste uitdagingen zijn om verlies aan natuurlijke vegetatie en biodiversiteit te voorkomen.

Tussen 1965 en 2004 is de wereldbevolking verdubbeld en werd per persoon gemiddeld

10% meer voedsel geconsumeerd.⁶¹ Toch steeg het landbouwareaal slechts met 2%. De reden hiervan is vooral de grotere opbrengst per hectare die dankzij de Groene Revolutie gerealiseerd kon worden. Deze landbouwrevolutie tussen 1960 en 1980 werd gekenmerkt door de opkomst van meststoffen, gewasbeschermingsproducten en irrigatietechnieken en viel samen met de ontwikkeling van plantvariëteiten die optimaal reageerden op de meststoffen⁶². De economen Evenson en Rosegrant berekenden dat in het jaar 2000 het landbouwareaal 3 tot 5% groter was geweest indien er sinds 1965 geen genetische verbetering van de landbouwgewassen door plantenveredeling zou gebeurd zijn.⁶³ Dit komt neer op een besparing van 9 tot 12 miljoen ha landbouwgrond in de ontwikkelde landen en 15 tot 20 miljoen ha in ontwikkelingslanden. Deze totale besparing van 24 tot 32 miljoen ha door de technologische ontwikkelingen tussen 1965 en 2000 komt

ongeveer overeen met recente gegevens van James Stevenson van de FAO (Food and Agriculture Organization) en Amerikaanse collega's.⁶¹ Op basis van een model dat rekening houdt met meer parameters berekenden ze dat er in 2004 tussen de 18 en 27 miljoen ha landbouwgrond extra in gebruik zou zijn, mochten de landbouwgewassen hetzelfde opbrengen als in 1965. Hiervan zou naar schatting 12 tot 18 miljoen ha bespaard zijn in de ontwikkelingslanden waardoor 2 miljoen ha ontbossing zou voorkomen zijn.

Deze berekeningen tonen aan dat verhoogde opbrengsten per ha geleid hebben tot minder uitbreiding van het landbouwareaal. Lokale socio-economische aspecten kunnen echter roet in het eten gooien. Verhoogde productiviteit is een noodzaak om areaaluitbreiding en ontbossing tegen te gaan maar is niet voldoende. Een hogere productiviteit per ha maakt landbouwactiviteiten financieel efficiënter wat op zich de uitbreiding van het landbouwareaal kan stimuleren. Door een hogere productiviteit per ha kan ook de prijs dalen waardoor de vraag kan stijgen en dus meer geproduceerd zal worden. Nieuwe technologieën kunnen dus paradoxaal genoeg ook bijdragen tot uitbreiding van het landbouwareaal. Vandaar dat wetenschappers van het Verenigd Koninkrijk en Brazilië in een recent artikel het beleid oproepen tot acties.⁶⁴ Deze kunnen economische sancties omvatten (belasting, subsidie), het reserveren van natuurzones in het landbouwareaal en het uitreiken van certificaten.⁶⁴ Hoog renderende gewassen zijn hard nodig maar een betere monitoring gecombineerd met een doordacht landbouwbeleid van de lokale overheden blijven essentieel om areaaluitbreiding te ontmoedigen.



Verspreiding van genen via stuifmeel (verticale genoverdracht)

De kans op kruisbestuiving tussen gewassen en wilde varianten heeft altijd bestaan en de verspreiding van genen uit veredelde gewassen naar wilde kruisbare soorten gebeurt sinds het ontstaan van de landbouw. Er zijn verschillende elementen die bepalend zijn voor de kans op genverspreiding via stuifmeel⁶⁵:

- De manier hoe stuifmeel overgebracht wordt (wind, insecten), de afstand tussen de planten en de levensduur van stuifmeel.

- Synchronisatie van bloei tussen planten.
- De seksuele compatibiliteit of de mogelijkheid van twee planten om vruchtbaar nageslacht te produceren.
- De ecologie van de wilde populatie en de mate waarin het verkregen gen een selectief voordeel kan bieden voor de wilde soorten.

De technologie die gebruikt werd om de gewassen te veredelen (kruising, mutatie-veredeling, ggo-technologie) heeft echter geen enkel effect op de kans op of impact van genverspreiding in de natuur. De impact wordt immers volledig bepaald door de genen en dus de kenmerken waarvoor de genen coderen die verspreid worden.

Neem bijvoorbeeld de teelt van gouden rijst (een ggo-rijstvariant die provitamine A produceert in de korrel), de teelt van een niet-ggo-sojaras dat herbicide-tolerant is en de teelt van een insect-resistente niet-ggo-sojaras. De laatste twee gewassen in dit voorbeeld werden dus via klassieke veredelingstechnieken ontwikkeld en niet via ggo-technologie. De kans op verspreiding van provitamine A-productie van de ggo-rijst naar wilde rijstsoorten is even groot als de kans op verspreiding van herbicide-tolerantie van niet-ggo-soja naar naburige planten die kunnen kruisen met soja. Hetzelfde geldt voor het insect-resistentiekenmerk. De impact echter is sterk verschillend. In het geval van de ggo-rijst zouden naburige planten de mogelijkheid tot provitamine A-productie kunnen overerven, een kenmerk dat alom tegenwoordig is in de natuur en geen selectief voordeel voor de plant met zich meebrengt. In het geval van de niet-ggo-soja kunnen naburige planten de tolerantie voor bepaalde herbiciden overerven

waardoor deze herbiciden niet meer kunnen gebruikt worden om ze te verwijderen. Dit voordeel geldt enkel voor planten in een omgeving waar het herbicide gebruikt wordt. In een omgeving waar het herbicide niet gebruikt wordt, hebben wilde planten geen voordeel bij herbicide-tolerantie. Dit is anders voor insect-resistentie. Bij introductie van dit kenmerk in wilde varianten zijn deze planten ook buiten een landbouwomgeving beter gewapend tegen insectenplagen wat hen een voordeel kan opleveren en wat een effect kan hebben op de diversiteit.

Genverspreiding in de natuur heeft met andere woorden enkel een impact op het milieu als het gen een selectief voordeel kan bieden voor planten die kunnen kruisen met het aangeplant gewas. Wilde planten die op deze manier een selectief voordeel bekomen, kunnen een verstoring van een bestaand ecologisch evenwicht tot gevolg hebben en andere planten wegdrukken. De keuze van kenmerk is bijgevolg een belangrijk punt in de risicoanalyse die aan een mogelijke teelttoelating moet voorafgaan. Merkwaardig genoeg blijkt dit op vlak van regelgeving enkel nodig te zijn voor ggo-gewassen, terwijl bovenstaand voorbeeld net aantoonde dat de veredelingstechnologie van ondergeschikt belang is ten opzichte van het gewassenmerk. Het verspreiden van genen in een populatie heeft geen impact op het milieu zolang deze genen het bestaande ecologisch evenwicht niet verstoren.

Vanuit socio-economisch oogpunt moet genverspreiding anders geëvalueerd worden, zeker in het geval van ggo-gewassen. De landbouwer, de voedingsindustrie en de consument willen in bepaalde gevallen een doelbewuste keuze maken tussen verschillende productietypes. Zo



zijn genetisch gewijzigde gewassen toegelaten in de conventionele landbouw maar niet in de biologische landbouw. Om de keuzevrijheid te respecteren en om economische schade bij de biosector te vermijden (verlies van biolabel) zijn richtlijnen opgesteld om genverspreiding uit ggo-velden naar conventioneel of biologisch geteelde velden tot een minimum te beperken. Wettelijk gezien leidt een onbedoelde vermenging van ggo-kenmerken in bioproducten van minder dan 0,9% niet tot een verlies van een biolabel, maar in de praktijk hanteert de bio-sector veelal een volledige nultolerantie ten aanzien van ggo's.

Dat het samen en naast elkaar bestaan van ggo en niet-ggo – ook wel co-existentie genoemd – in praktijk mogelijk is mits een beperkte tolerantie, zowel in de teelt als in de keten, toont het door de EU gefinancierde PRICE-project. PRICE is het acroniem voor Praktische Implementatie van Co-existentie in Europa en ging het effect

van de bestaande co-existentiemaatregelen in Europa na op genverspreiding van ggo-maïs naar aangrenzende velden met niet-ggo-maïs. Meerdere maatregelen blijken geschikt te zijn om een betekenisvolle vermenging tussen ggo- en niet-ggo-producten te vermijden.⁶⁶ In Europa is de grens van betekenisvolle vermenging gezet op 0,9%. Deze grens van 0,9% is belangrijk, omdat wanneer een ingrediënt in een product voor meer dan 0,9% afkomstig is van een ggo-gewas, het overeenkomstig product in Europa gelabeld moet worden als ggo-bevatend product.

Om genverspreiding via stuifmeel te vermijden, moeten minimale afstanden gerespecteerd worden tussen ggo-velden en niet-ggo-velden. Deze afstanden hangen af van gewas tot gewas. Bij een gewas zoals aardappelen dat weinig tot geen stuifmeel produceert en via knollen vermeerderd wordt, blijkt een afstand van vijf meter voldoende te zijn.⁴ Voor maïs toonde



een recente studie in Mexico – de bakermat van maïs – aan dat bij een minimale afstand van 20 meter de genverspreiding tussen ggo en niet-ggo onder de 0,9% gehouden kan worden.⁶⁷ Ook in Vlaanderen werd nagedaan of ggo-maïs teelt zonder hinder kan samengaan met de gangbare en biologische maïs teelt.⁶⁸ De conclusie van het ILVO-onderzoek was dat de door de Vlaamse regering vooropgestelde isolatieafstand van 50 meter ruim voldoende is om ggo-contaminatie van de conventionele partijen maïs door rondvliegend stuifmeel onder de drempelwaarde van 0,9% te houden. Het PRICE-project toonde met behulp van veldproeven aan dat als een ggo-veld en een niet-

ggo-veld dicht bij elkaar gelegen zijn dan 20 meter, genverspreiding alsnog kan tegengegaan worden door het aanleggen van een bufferzone tussen de ggo-maïs en de niet-ggo-maïs.⁶⁹ Een zone van 12 rijen niet-ggo-maïs blijkt voldoende te zijn. Als alternatief kunnen de ggo- en de niet-ggo-maïs op verschillende tijdstippen gezaaid worden. Wanneer tijdens de maand april vier weken zit tussen het zaaien van de ggo- en de niet-ggo-maïs of twee weken in de maand mei dan kan een ggo-gewas zelfs net naast een niet-ggo-maïs veld geteeld worden zonder kans op genverspreiding via stuifmeel.⁶⁹

Genverspreiding in het veld kan met andere woorden vermeden worden. Om echter een volledige scheiding te krijgen tussen ggo- en niet-ggo-producten zijn bijkomende maatregelen nodig. Schoonmaak van oogstmachines en het correct labelen van de oogst zijn hierbij de belangrijkste. Deze extra maatregelen om de keuzevrijheid te kunnen garanderen, gaan evenwel gepaard met extra kosten.

DE ZAAK CHAPELA

In oktober en november van het jaar 2000, verzamelden Ignacio Chapela en zijn doctoraatsstudent David Quist maïskolven van landrassen in het Mexicaanse Oaxaca.⁷⁰ De maïslandrassen (lokale maïsvariëteiten) worden in stand gehouden en verder veredeld door lokale boeren en kwekers door ze jaar na jaar te telen in kleine veldjes. De rassen zijn over de jaren heen genetisch geëvolueerd door menselijke inspanningen en door de omgevingsomstandigheden. De landrassen zijn een grote bron van diversiteit en worden gekoesterd door de lokale bevolking. Om de diversiteit hoog te houden is het aangewezen om deze rassen niet samen te telen met commerciële rassen. Bepaalde sterke gewassenmerken van commerciële rassen zouden via kruisingen in landrassen terecht kunnen komen waardoor sommige rassen een selectief voordeel kunnen krijgen ten opzichte van andere landrassen. Omwille van deze bezorgdheid en omdat de ggo-technologie tot nu toe enkel gebruikt is om commerciële rassen te verbeteren, laat Mexico de teelt van de huidige ggo-maïs niet toe. Groot was dan ook de verbazing toen Chapela en Quist in 2001 in het hoog aangeschreven tijdschrift Nature rapporteerden dat ze DNA-fragmenten van ggo-maïs teruggevonden hadden in het DNA van vier van de zes geteste maïslandrassen.⁷⁰

Ecologen en milieuactivisten riepen moord en brand omdat er in hun ogen bewijs was dat ggo-gewassen andere planten kunnen “besmetten” en dat lokale rassen hierdoor zouden kunnen verdwijnen. Wetenschappers waren niet verbaasd door de resultaten. Seksuele voortplanting is een van de meest natuurlijke fenomenen. Zolang er maïs bestaan heeft, hebben maïsplanten genen uitgewisseld via stuifmeel. Er is geen enkele reden waarom fectiele ggo-gewassen zich anders zouden gedragen. In de landrassen is er ongetwijfeld ook DNA terug te vinden van commerciële rassen en DNA van landrassen in commerciële rassen, maar dat is veel moeilijker aan te tonen. Mexico heeft nooit toelating gegeven voor de commerciële teelt van ggo-maïs, maar dit wil niet zeggen dat iedere boer dit verbod gevolgd heeft. Mexico importeert jaarlijks grote hoeveelheden ggo-maïs voor gebruik in de voeding. Ggo-maïszaden zijn dus volop aanwezig in Mexico en het is gekend dat sommige landbouwers dergelijke zaden gebruiken om een nieuwe teelt in te zaaien of deze zaden mengen met zelf geoogste zaden wanneer ze een tekort aan zaaizaad hebben.⁷¹ De teelt van ggo-maïsplanten in de nabijheid van of tussen landrassen kan er dus voor gezorgd hebben dat een of meerdere zaden in de kolven van de landrassen is terechtgekomen en dat deze op die manier DNA-fragmenten bevatten van de ggo-maïs. In elk geval zouden deze extra DNA-fragmenten niet zo maar resulteren in het verdwijnen van de landrassen. Omgekeerd kunnen er ook DNA-fragmenten van de landrassen in een of meerdere zaden van de ggo-maïsplanten terechtkomen.

Bovendien waren de data van Chapela en Quist niet zo overduidelijk. De auteurs hadden alle maïszaden van één kolf in één keer geanalyseerd en slechts een heel klein signaal opgevangen voor de aanwezigheid van ggo-materiaal. In de jaren die volgden herhaalden andere labo's de proefopzet van Chapela en Quist en zij kwamen tot andere resultaten. In de ene studie werden op 18 verschillende locaties 870 planten in 125 Mexicaanse velden getest. In geen enkele van de 153.746 geteste zaden kon DNA van een ggo-gewas gedetecteerd worden.⁷² In 2009 verscheen een andere studie die wel DNA van ggo-gewassen aantoonde in Mexicaanse landrassen maar de frequentie lag veel lager.⁷³

De laatste studie bevestigde dus de observatie van Chapela en Quist dat DNA-materiaal van ggo-maïs aanwezig kan zijn in Mexicaanse maïsrassen. De commotie die ontstond na de publicatie van het Nature artikel had echter een andere reden. Wetenschappers waren verbaasd en ongerust over twee andere stellingen van Chapela en Quist. In de Nature publicatie lieten de auteurs vallen dat er introgressie gebeurd was.⁷⁰ Dit is het fenomeen dat het DNA van de ene plant (bv. een ggo-plant) stabiel is ingebouwd in het DNA van een andere plant (bv. een landras) door herhaaldelijke terugkruisingen over verschillende jaren heen en waardoor er een nieuw tussenliggend hybride of ras ontstaat. Tijdens zo'n proces van introgressie blijft steeds meer DNA van de ene ouderplant (bv. de ggo-maïs) over in de nieuwe hybride en steeds minder DNA van de andere ouderplant (bv. de lokale maïsvariëteit). Als er geen inspanningen gedaan worden om de lokale variëteiten te behouden, kunnen met andere woorden genen van lokale rassen verdwijnen uit een populatie. Chapela en Quist hadden geen enkele data om deze hypothese van introgressie te ondersteunen. In de analyse van de maïszaden van de landrassen werd slechts een zwak positief signaal opgevangen. De ggo-maïs die ze als positieve controle gebruikt hadden in het experiment gaf een zeer sterk signaal. Dit wijst erop dat in de kolven van de landrassen slechts een heel beperkt aantal zaden ontstaan zijn na bestuiving met ggo-stuifmeel. Om na te gaan of er introgressie gebeurd was, hadden Chapela en Quist in de eerste plaats bladmateriaal van landrassen moeten analyseren en geen zaden. Chapela en Quist hadden ook de “positieve” zaden moeten planten en in de

volgende generatie moeten nagaan of er effectief een kruising was gebeurd tussen ggo-plant en landras. Deze experimenten werden niet uitgevoerd. De grote irritatie die te lezen was in berichten van andere wetenschappers als reactie op het Nature artikel was dan ook vooral een reactie op het slordig onderzoek van Chapela en Quist die eenvoudige controle-experimenten niet uitgevoerd hadden.^{74,75}

Een tweede opmerkelijke vergissing in de conclusies van Chapela en Quist is dat volgens de auteurs de DNA-fragmenten van de ggo-gewassen zich anders gedroegen in het DNA van de landrassen. Bepaalde DNA-fragmenten zouden volgens hen ongecontroleerd bewegen in het DNA van de maïslandrassen. Deze stelling gaat volledig in tegen de kennis die opgedaan is over verschillende decennia moleculair onderzoek heen en kon op weinig bijval rekenen in de wetenschappelijke gemeenschap. Chapela en Quist baseerden zich op resultaten bekomen via de inverse PCR-techniek, een methode die zeer gevoelig is om foute resultaten te produceren.^{74,75} Deze techniek is nuttig op voorwaarde dat de resultaten achteraf gecontroleerd worden om ze te bevestigen of te ontkrachten. Controle-experimenten werden niet uitgevoerd door Chapela en Quist en hun resultaten kunnen zeer eenvoudig verklaard worden door het nadeel van de inverse PCR-techniek, namelijk het creëren van valse resultaten.^{74,75} De publicatie van Chapela en Quist is een jammerlijk voorval van slecht uitgevoerd onderzoek dat tijdens de normaal zeer strenge kwaliteitscontrole van tijdschriften zoals Nature toch door de mazen van het net glipt en gepubliceerd geraakt. Gelukkig reageren collega-wetenschappers na publicatie van dergelijke artikels om de foutief gemaakte hypothesen bij te stellen.

Horizontale genoverdracht

Verspreiding van stuifmeel zoals hierboven beschreven kan aanleiding geven tot overdracht van genetische informatie van ouder op nageslacht, ook wel verticale genoverdracht genoemd. Daarnaast bestaat ook horizontale genoverdracht. Dit is het uitwisselen van genen tussen organismen zonder dat er seksuele voortplanting gebeurd is. Bacteriën zijn hier ongelooflijk goed in.⁷⁶ Ze zijn buitengewoon handig in het opnemen en uitwisselen van DNA onder elkaar. Maar ook andere organismen (zoals planten, mijten, nematoden) hebben in de loop van de evolutie genetische informatie overgenomen van andere organismen, meestal van bacteriën. Horizontale genoverdracht heeft

op deze manier meegespeeld in het aanpassingsproces van organismen aan veranderende leefomstandigheden en heeft zelfs in sporadische gevallen gezorgd voor het ontstaan van nieuwe soorten.⁷⁷

In het debat rond ggo-gewassen werd horizontale genoverdracht plots een onderwerp door de discussie rond antibioticum-resistentiegenen. Dit zijn genen die een organisme beschermen tegen het schadelijk effect van antibiotica. Deze genen worden steeds minder gebruikt tijdens de ontwikkeling van ggo-gewassen omwille van de negatieve perceptie die rond antibioticum-resistentiegenen hangt. Maar in de beginperiode van de ggo-technologie (waaruit de huidige geteelde ggo-gewassen

ontsproten zijn) werden ze veel gebruikt. Een antibioticum-resistentiegen werd samen met het gen van interesse ingebouwd in het DNA van planten zodat de ggo-planten in het labo op een efficiënte manier geselecteerd konden worden uit de grote groep van ggo- en niet-ggo-planten. Al vlug ontstond de bezorgdheid dat deze antibioticum-resistentiegenen van ggo-gewassen overgedragen zouden kunnen worden naar bacteriën (of andere organismen zoals schimmels) in de bodem, vooral omdat deze genen oorspronkelijk uit bacteriën komen. Vele tientallen studies werden uitgevoerd in het labo en in het veld. Enkel in de periode tussen 2002 en 2012 waren dit al 59 studies.⁷⁸ Daaruit bleek dat de frequentie van horizontale gentransfer van planten naar andere organismen (waaronder bacteriën) extreem klein is en dat het in het veld nog nooit kon worden aangetoond.⁷⁶ Enkel onder kunstmatige labo-omstandigheden kon met zeer lage frequentie (1 kans op 10 000 tot 1 kans op 100 miljoen) overdracht gezien worden tussen plant en bacterie van een stukje DNA dat zeer grote gelijkenissen vertoont in plant en bacterie.^{79,80}

In het zeer onwaarschijnlijke geval dat er toch een antibioticum-resistentiegen van een ggo-plant naar een bacterie overgebracht zou kunnen worden, is het van belang om te weten over welk antibioticum-resistentiegen het gaat. Deze genen worden ingedeeld in drie verschillende groepen naargelang hun gebruik in menselijke en diergeneeskunde en naargelang hun aanwezigheid in het leefmilieu.¹ In de EU zijn tijdens de ontwikkeling van commerciële ggo-gewassen enkel antibioticum-resistentiegen toegelaten die al wijdverspreid aanwezig zijn in het milieu of genen die resistentie leveren tegen antibiotica die van geen of ondergeschikt

belang zijn in de geneeskunde. (Inter)nationale instellingen die waken over voedsel- en milieuveiligheid zoals de European Food Safety Authority (EFSA) zien hier op toe.

Invasiviteit

Het introduceren van planten of dieren in een gebied waar ze nog niet aanwezig zijn, moet altijd nauwlettend in het oog gehouden worden. Er zijn immers genoeg voorbeelden uit het verleden waar het bewust of onbewust uitzetten van bepaalde dieren en planten dramatische gevolgen heeft gehad voor de fauna en flora van een bepaald gebied. Denk maar aan het uitzetten van konijnen in Australië of aan de Zuid-Amerikaanse waterhyacint die sinds 1992 het Victoriameer in Kenya volledig overwoekert. Een ander voorbeeld is de invasie van Amerikaanse velden en natuurgebieden door Kudzu, een Aziatische klimplant.⁸¹ Kudzu werd voor het eerst geïntroduceerd in de Verenigde Staten in de late 19de eeuw als een schaduwgevende klimplant voor portieken en binnenplaatsen. In begin van de 20ste eeuw werd het gepromoot als voedergewas en veel aangeplant om erosie van landbouwgrond tegen te gaan. Door de ideale klimaatomstandigheden, de afwezigheid van ziektes en plagen en de zeer moeilijke bestrijding, heeft de plant zich sindsdien explosief kunnen verspreiden. Het overgroeit wegen en bruggen, huizen, telefoonpalen en hoogspanningsmasten en het overdekt en vernietigt lokale vegetatie. In het zuiden van de Verenigde Staten staat Kudzu bekend als “de plant die het Zuiden heeft opgegeten”.⁸¹

Algemeen gesproken kan de introductie van een nieuw gewaskenmerk op twee manieren woekering van planten teweegbrengen. Ener-

zijds kan het nieuwe kenmerk ervoor zorgen dat het gewas zelf ongebreideld begint te groeien in een landbouwomgeving, anderzijds kan een nieuw gewaskenmerk via kruisingen verspreiden naar wilde gewasvarianten.

Een hypothetisch voorbeeld van de eerste situatie is vorst-resistentie bij aardappel. Na de aardappeloogst blijft er altijd onbedoeld een klein deel van de aardappelen achter in de grond. Het merendeel hiervan zal kapotvriezen tijdens de winter en het volgende voorjaar geen onkruid vormen. Vorst-resistente aardappelen die achterblijven op het veld zouden daarentegen tijdens het voorjaar wel kunnen kiemen en als onkruid verschijnen in de volgende teelt. Een hypothetisch voorbeeld van de tweede situatie is de verspreiding van een droogte-resistentiegen naar een wilde gewasvariant. Het nageslacht van deze plant kan zich over de tijd verspreiden naar drogere gebieden waar

het andere planten kan verdringen. Als de verdrongen planten bijvoorbeeld een betere habitat vormden voor bepaalde insecten, kan dit op verschillende niveaus een verstoring van het ecosysteem en biodiversiteit met zich meebrengen.

Om het risico op invasiviteit correct in te schatten moet ook rekening gehouden worden met het oorsprongsgebied van het gewas. Maïs bijvoorbeeld is ingevoerd vanuit Zuid-Amerika. In onze contreien is er geen “wilde” maïs. In Europa is er dan ook geen enkel risico dat ggo-maïs de natuurlijke maïspopulaties zullen beïnvloeden. Hetzelfde geldt voor aardappel en andere gewassen uit andere continenten. In landen zoals de VS, Argentinië en Brazilië met een aanzienlijk soja-areaal komen dan weer geen wilde soja variëteiten voor, omdat de plant uit Azië werd ingevoerd.

Kudzu, een Aziatische klimplant die lokale vegetatie overgroeit in de VS.





4 Indirecte effecten van een (ggo-)gewas op het milieu door verandering van teeltpraktijk

Naast het direct effect van een planteneigenschap op het milieu kunnen ook de landbouwpraktijken die gepaard gaan met de teelt van een specifiek gewas een effect hebben op de omgeving. De teelt van herbicide-tolerante planten bijvoorbeeld laat landbouwers toe om minder te gaan ploegen, wat grote positieve effecten heeft op bodemstructuur en bodemorganismen. De ondoordachte teelt van enkelvoudig insect-resistente gewassen kan dan weer aanleiding geven tot de opkomst van resistente insecten.

Overstap naar niet-ploeglandbouw

In tegenstelling tot ziekte-resistente gewassen die door hun kleinere behoefte aan pesticiden een heel direct milieuvoordeel met zich meebrengen (zie pagina 17), steunen herbicide-tolerante gewassen op het gebruik van herbiciden. Toch kunnen herbicide-tolerante teelten – meer in het bijzonder de teelt van glyfosaat-tolerante gewassen – een duidelijk milieuvoordeel opleveren, op voorwaarde dat goede landbouwpraktijken gerespecteerd worden.

Teelten die tolerant zijn voor breedspectrum-herbiciden zoals glyfosaat gaan hand in hand met niet-ploeglandbouw. Dit is een vorm van landbouw waarbij de bodem niet of slechts minimaal verstoord wordt. Meestal wordt bedoeld dat de grond niet gekeerd wordt maar wel losgemaakt. Na de oogst wordt de grond gescheurd en verkruiemd met behulp van tanden die door de grond worden getrokken maar zonder de grond te verplaatsen. Een meer extreme vorm is de “direct-zaai” techniek of de niet-ploeglandbouw *sensu stricto*. Hierbij wordt elke vorm van grondbewerking achterwege gelaten waardoor de bodem permanent bedekt is met een gewas of met gewasresten van vorige teelten. In de bodem wordt enkel een smalle gleuf gemaakt om het gewas te zaaien en de bodem wordt volledig ongestoord gelaten.

Aan een niet-ploeglandbouw zijn een aantal belangrijke milieuvoordelen gekoppeld (zie eerder pagina 11). Eerst en vooral komt het de gezondheid van de bodem ten goede, het bodemleven wordt veel minder verstoord, de kans op erosie verkleint en de draagkracht

van de bodem vergroot. Een tweede voordeel van niet-ploeglandbouw is het verminderd gebruik van machinaal ploegen. Minder frequent machines op het veld betekent minder brandstofgebruik en bijgevolg ook een lagere CO₂-uitstoot. Volgens de Engelse landbouweconomen Graham Brookes en Peter Barfoot is er in vergelijking met de conventionele ploeglandbouw per groeiseizoen 27 liter minder brandstof nodig om in het niet-ploegsysteem een hectare te bewerken.³ Gebruikmakend van deze cijfers rekenden Brookes en Barfoot uit dat de niet-ploeglandbouw als gevolg van herbicide-tolerante teelt in 2013 een besparing opleverde van 785 miljoen liter brandstof. Als er rekening mee gehouden wordt dat het verbruik van 1 liter brandstof gepaard gaat met een uitstoot van 2,7 kilogram CO₂, werd er door de brandstofbesparing 2 miljoen ton minder CO₂ uitgestoten.³ Om deze getallen meer aanschouwelijk te maken, becijferden Brookes en Barfoot dat dit in 2013 alleen al neerkwam op een effect dat vergelijkbaar is met 931 000 auto's een jaar lang niet laten rijden. Als het effect bekeken wordt sinds de introductie van herbicide-tolerante ggo-gewassen in 1996, dan heeft de niet-ploeglandbouw die hierbij gepaard gaat, geleid tot 16,8 miljoen ton minder CO₂-uitstoot,

Jonge sojaplanten gedijen in de rest van een tarwe-oogst. Deze vorm van niet-ploeg landbouw biedt een goede bescherming voor de bodem tegen erosie en helpt vocht vast te houden voor het nieuwe gewas.
©Tim McCabe. Met dank aan USDA Natural Resources Conservation Service.



doordat er 6,3 miljard liter minder brandstof geleid tot 16,8 miljoen ton minder CO₂-uitstoot, doordat er 6,3 miljard liter minder brandstof werd verbruikt. Dat is het equivalent van bijna 7,5 miljoen auto's een jaar lang niet laten rijden.³

Voor gewassen die tolerant zijn voor glyfosaat – het herbicide waartegen de meeste herbicide-tolerante planten bestand zijn – blijkt er een bijkomend milieuvoordeel te zijn. In vergelijking met andere herbiciden scoort glyfosaat immers beduidend beter op vlak van milieu-impact.⁸² Als hiermee rekening gehouden wordt, is er sinds de introductie van de glyfosaat-tolerante teelten een opmerkelijke daling merkbaar van de milieu-impact. Wereldwijd gaat dit voor soja over een verlaging van de milieu-impact met 14,5%, voor maïs 13,5%, tot bijna 28% voor de herbicide-tolerante koolzaadteelt.³

Glyfosaat-tolerante gewassen: trop is te veel

Hoewel de herbicide-tolerante teelt de afgelopen zestien jaar ecologisch was dan de conventionele teelt, blijft de vraag wat de impact is als bepaalde gewassen op een zeer groot areaal geteeld worden. In dat verband blijkt vooral de herbicide-tolerante sojateelt het slachtoffer te zijn van eigen succes. Gedreven door de verlaagde productiekosten van de genetisch gewijzigde sojateelt en de stijgende vraag naar sojaproducten gingen sojaboeren in Argentinië en Brazilië op grotere schaal produceren.^{83,84} Wiskundige modellen schatten dat er in Argentinië door de beschikbaarheid van herbicide-tolerante soja meer dan 8,6 miljoen hectaren extra zijn aangeplant.⁸⁵ Doordat de ggo-sojateelt financieel aantrekkelijker is, door



de nog steeds toenemende vraag naar soja en door de grotere regenval in de droogbossen van Chaco vond er zelfs een grote ontbossing plaats in Zuid-Amerika.^{86,87} Gevaar op ontbossing is echter geen reden om herbicide-tolerante teelten te verbieden. Het is wel een reden om de bossen in kwestie te beschermen.

Het gigantisch soja-areaal leidt ook tot bezorgdheid voor de negatieve effecten van een monocultuur. Naast het opgebruiken van bepaalde nutriënten in de bodem,⁸⁸ hebben de grootchalige herbicide-tolerante teelten als bijkomend gevolg dat zeer grote gebieden met hetzelfde herbicide behandeld worden. In het geval van glyfosaat-tolerante gewassen is dat glyfosaat. Onder invloed van acties van milieugroeperingen is dit herbicide de laatste jaren onder grote druk komen te staan. Afhankelijk van de hoeveelheid waarin producten gebruikt worden, hebben alle producten – inclusief herbiciden zoals glyfosaat – een schadelijk effect op de omgeving. Sommige pesticiden zijn zelfs van de markt gehaald omdat bleek dat hun impact te groot was. Een welgekend voorbeeld is DDT. Strikte risicoanalyses en continue monitoring zijn dus van het grootste belang om de impact

van gewasbeschermingsmiddelen zo laag mogelijk te houden. Echter in tegenstelling tot DDT, wordt het negatieve beeld dat opgehangen wordt rond glyfosaat niet bevestigd door wetenschappelijke data. In vergelijking met de meeste andere herbiciden heeft glyfosaat zelfs een kleinere impact op het milieu.⁸⁹ Desalniettemin is het massaal gebruik van glyfosaat door de teelt van glyfosaat-tolerante gewassen geen goede evolutie. Echter, wanneer herbicide-tolerante gewassen op een doordachte manier geteeld worden volgens goede landbouwpraktijken, kunnen ze via hun ondersteunend effect op een niet-ploeglandbouw indirect bijdragen tot een significante daling van de landbouwimpact op het milieu.

Resistentie tegen herbiciden

Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen moet altijd doordacht gebeuren. Zo moet er bijvoorbeeld afwisseling zijn tussen de gebruikte producten. Indien deze landbouwlogica niet gerespecteerd wordt, bestaat de kans dat insecten, schimmels, onkruiden, ... zich aanpassen en resistentie ontwikkelen tegen het product. Omdat de teelt van een herbicide-tolerant gewas gepaard gaat met het gebruik van

een bepaald herbicide, is het van groot belang dat over de jaren heen ook andere onkruidbestrijdingsmiddelen (mechanisch of chemisch) gebruikt worden. Indien dit niet gebeurt, is er een groot risico dat onkruiden tolerant worden voor het herbicide. Dit zijn echter geen “super-onkruiden” die met geen enkel middel meer te bestrijden zijn. Het zijn daarentegen onkruiden die niet meer afgedood kunnen worden door het herbicide waartegen ze resistentie ontwikkeld hebben. Daardoor blijven de onkruiden na behandeling in het veld staan en gaat de efficiëntie van de teelt van het herbicide-tolerant gewas fel achteruit. Landbouwkundig gezien is dit zeer nadelig. De landbouwers hebben er dus alle belang bij de code van goede landbouwpraktijken zo strikt mogelijk te volgen. In deze discussie kan heel sterk de vergelijking gemaakt worden met antibiotica. Niet de antibiotica zijn de oorzaak van het ontstaan van de resistente ziekenhuisbacterie, maar wel het kwistig en ondoordacht gebruik ervan.

Alle onkruiden hebben het vermogen om tolerantie te ontwikkelen voor om het even welke herbicide. Lang voor de ontwikkeling van de eerste ggo-plant werd al tolerantie voor bepaalde herbiciden vastgesteld in het veld. Zo zijn er glyfosaat-tolerante onkruiden (*Conyza bonariensis* en *Conyza sumatrensis*) gesignaleerd in Griekenland, een land dat alle teelt van ggo-gewassen verbiedt en waar nog nooit glyfosaat-tolerante gewassen geteeld werden.⁸⁶ Hetzelfde geldt voor Frankrijk waar glyfosaat-tolerant raaigras (*Lolium rigidum*) opgemerkt is.⁸⁶ Met andere woorden, niet alle resistente onkruiden zijn te wijten aan de teelt van herbicide-tolerante gewassen, maar het grootschalig gebruik van glyfosaat in de VS heeft de resistentie lokaal mogelijk gemaakt en versneld. In



Noord- en Zuid-Amerika was de introductie van herbicide-tolerante gewassen zo'n succes en iedereen was zo overdonderd door de simpele manier van onkruidbestrijding, dat bijna iedere boer herbicide-tolerante gewassen begon te telen. De keuze in soort herbicide-tolerantie was beperkt en er werden voornamelijk glyfosaat-tolerante gewassen op de markt gebracht. In Argentinië duurde het slechts acht jaar vooraleer nagenoeg alle landbouwers hun conventionele soja ingeruild hadden voor glyfosaat-tolerante soja.⁸⁸ In 2012 was 93% van alle soja in de Verenigde Staten afkomstig van herbicide-tolerante soja.⁹⁰ Niet alleen het massale gebruik vormt een risico om ongevoelige onkruiden te ontwikkelen maar vooral de gebruikte teeltschema's zijn cruciaal. Op plaatsen in Noord- en Zuid-Amerika, waar het mogelijk is om twee sojateelten na elkaar uit te voeren in één jaar tijd, werd er vaak een jaar na jaar gekozen voor twee glyfosaat-tolerante sojateelten. Op andere plaatsen werd glyfosaat-tolerante soja afgewisseld met glyfosaat-tolerante maïs. Beide schema's waren niet weldoordacht. Door te veel te rekenen op glyfosaat als enige onkruidbestrijding en het niet respecteren van essentiële teeltprincipes, zijn gigantische arealen jaar na jaar behandeld met hetzelfde herbicide. Wat te verwachten was, is dan ook gebeurd. In minder dan 10 jaar na de introductie van glyfosaat-tolerante gewassen verschenen de eerste glyfosaat-tolerante onkruiden, zowel in Argentinië als in de Verenigde Staten.⁸⁴ Dit heeft als groot gevolg dat er in sommige regio's meer glyfosaat gebruikt wordt dan initieel nodig of dat de landbouwers in bepaalde gevallen teruggrijpen naar oude, meer schadelijke herbiciden. Men ziet dan ook dat het milieuvoordeel als gevolg van de verschuiving in herbicidegebruik afkalft. Zo



verminderde het milieuvoordeel van de glyfosaat-tolerante sojateelt in Argentinië van 21% in 2004 naar slechts 1% in 2013.^{7,91}

Maar het kan ook anders. Herbicide-tolerant koolzaad wordt in Canada geteeld in afwisseling met tarwe en rogge waardoor het slechts om de vier jaar op eenzelfde akker groeit.⁹² Bovendien hebben landbouwers de mogelijkheid om twee verschillende herbicide-tolerantiekenmerken te gebruiken. Ze wisselen glyfosaat- en glufosinaat-tolerant ggo-koolzaad met elkaar af. Glyfosaat en glufosinaat zijn twee verschillende herbiciden die op een totaal andere manier werken.⁸⁴ Met andere woorden, een onkruid dat ongevoelig wordt voor glyfosaat zal het jaar erop door glufosinaat bestreden worden. Zo werd er in Canada in 2010, 6,5 miljoen hectare koolzaad geteeld waarvan 47% glyfosaat-tolerant (ggo), 46% glufosinaat-tolerant (ggo), 6% imazamox/imazapyr-tolerant (niet-ggo) en 1% conventioneel koolzaad.^{89, 93} Door de afwisseling van gewas en van soort herbicide-tolerantie is er in Canada sinds de start van herbicide-tolerante ggo-teelten geen abnormale verhoging te zien in het opkomen van herbicide-tolerante onkruiden.⁸⁶ Wanneer er dus op de juiste manier

met herbicide-tolerante gewassen wordt omgesprongen, zal de kans op het verkrijgen van tolerante onkruiden niet vergroten. Eenzelfde verhaal zien we in Australië. Vóór de introductie van herbicide-tolerante ggo-gewassen had Australië al te kampen met onkruiden die ongevoelig geworden waren voor bepaalde herbiciden.⁹⁴ Uit hun teelt-technische fouten hebben ze geleerd en wanneer de herbicide-tolerante ggo-gewassen voorhanden waren, hebben de Australische landbouwers ze onmiddellijk op een doordachte manier gebruikt. Ook daar is er geen toename van tolerante onkruiden te zien.

Niettegenstaande het historisch overgebruik van glyfosaat van een gebrek aan inzicht in onkruidbeheer getuigt, kan niet alle schuld bij de landbouwers gelegd worden. De overheden, producenten van de herbicide-tolerante toepassingen en de landbouworganisaties hadden het gebruik van herbiciden en de teeltsituatie moeten opvolgen, documenteren en waar nodig ingrijpen. Plantenbiotechnologie kan veel verwezenlijken maar de introductie van een ggo-gewas mag niet leiden tot het overboord gooien van de basisprincipes van goede landbouwkundige praktijken.

Resistentie tegen Bt

Net zoals onkruiden resistent kunnen worden aan herbiciden, kunnen ook insecten zich



Conventionele maïs (links) aangetast door de Europese stengelboorder, terwijl Bt-maïs (rechts) resistent is tegen dit insect.

aanpassen aan gewasbeschermingsmiddelen of zelfs aan teeltpraktijken die hen onder controle houden. De maïswortelboorder (*Diabrotica virgifera*) veroorzaakt in de Verenigde Staten grote schade aan maïs. De larven voeden zich met de wortels van maïsplanten met beschadiging en opbrengstverlies tot gevolg terwijl de kevers die ontstaan uit de larven zich voeden met maïsbladeren en -kolven. In de VS wordt de maïswortelboorder onder controle gehouden door een jaarlijkse teeltrotatie tussen maïs en soja. Soja produceert cysteine protease inhibitoren (zie pagina 15) waardoor de larven niet kunnen overleven op de sojawortels en de infectiedruk terug daalt. Echter over de jaren hebben de larven zich aangepast aan soja waardoor de teeltrotatie niet meer werkt en de wortelboorder niet meer onder controle kan gehouden worden. De onderliggende reden voor de ontstane resistentie blijkt een verandering te zijn van de darmbacteriën in de insecten.⁹⁵

Om resistentie in organismen zoals onkruiden, insecten, en schimmels te voorkomen moet aan geïntegreerde gewasbescherming gedaan worden waarbij verschillende middelen of technieken tegelijk ingezet worden tegen een bepaalde plaag. Dit is in het verleden te weinig gebeurd. Daardoor kon de maïswortelboorder zich aanpassen aan de insect-resistente Bt-gewassen en als dusdanig de effectiviteit van de maïs-sojarotatie ondermijnen. Uit labo-experimenten werd snel duidelijk dat insecten zich vrij vlot kunnen aanpassen aan Bt-eiwitten. Na een selectie van acht generaties kon al in de late jaren 1990 aangetoond worden dat de Europese stengelboorder resistent kon worden tegen een specifiek Bt-gewas.⁹⁶ Gezien het succes van Bt-katoen en Bt-maïs is het de grootste nachtmerrie van de boeren dat

insecten zoals de katoenbolworm op den duur ongevoelig zou worden voor de Bt-eiwitten. De Bt-planten zouden dan minder efficiënt de schade van insecten kunnen tegengaan waardoor het insectprobleem terug van vooraf aan zou beginnen. Overheden en producenten stimuleerden daarom landbouwers om bepaalde teeltmaatregelen te nemen zodat de opkomst van Bt-resistente insecten kon tegengegaan worden (zie kaderstuk “Onderdrukken van Bt-resistentie door goede landbouwpraktijken”). Deze voorzorgsmaatregelen zijn in bepaalde gevallen te weinig opgevolgd.⁹⁷ Ondertussen zijn vijf insectensoorten waargenomen in het veld die resistent zijn tegen een Bt-eiwit waardoor de bescherming tegen deze insecten bij de overeenkomstige Bt-gewassen (zowel maïs als katoen) in bepaalde gebieden aan effectiviteit inboet.⁹⁷

Landbouwers kunnen door goede landbouwpraktijken te volgen Bt-resistentie tegengaan. Daarnaast draagt ook de producent een verantwoordelijkheid. Als we duurzaam willen telen, zijn gewassen met een enkelvoudige afweermechanisme beter te mijden. Verder kunnen de overheden goede landbouwpraktijken stimu-

leren en eenzijdige teelten afkeuren. De meest efficiënte manier om resistentie te onderdrukken, is namelijk een gewas verschillende verdedigingsmechanismen tegelijk laten produceren. Maïs en katoen met twee of meer verschillende Bt-eiwitten werkzaam tegen eenzelfde insect hebben een duurzamere afweer. Als de kans op het verkrijgen van resistentie tegen één Bt-eiwit 1 op 100 000 zou zijn, dan wordt de kans op resistentieontwikkeling tegen de twee verschillende Bt-eiwitten tegelijkertijd ineens 1 kans op 10 miljard. Dit geldt evenzeer voor conventioneel veredelde gewassen. Bij deze laatste weet men echter in de meeste gevallen niet op wat de resistentie gebaseerd is en of er een of meerdere afweermechanismen voor verantwoordelijk zijn.

Om dit onderdeel af te ronden, moet bovendien opgemerkt worden dat niet alle insecten die resistent zijn tegen een of meerdere Bt-eiwitten ontstaan zijn door de teelt van Bt-gewassen. Nog voor de commerciële teelt van Bt-gewassen startte, werd al resistentie van insecten tegen bepaalde Bt-eiwitten waargenomen in het veld.⁹⁸ Deze resistentie was te wijten aan het gebruik van sproeimiddelen op basis van Bt.

ONDERDRUKKEN VAN BT-RESISTENTIE DOOR GOEDE LANDBOUWPRAKTIJKEN

Een aantal zaken moet in beschouwing genomen worden, wil men resistentie tegen Bt-eiwitten voorkomen. Ten eerste is er de “dosisregel”. Deze regel vormt een hoeksteen in de controle van Bt-resistente insecten. De regel stelt dat Bt-planten een voldoende hoge dosis Bt-eiwitten moeten produceren om de overgrote meerderheid (>99%) van de doelwitinsecten te doden. Als de dosis te laag is en bepaalde insecten kunnen een Bt-maaltijd overleven, dan kunnen ze zich geleidelijk aan aanpassen en voor nageslacht zorgen dat ook minder gevoelig zal zijn. In zo’n geval zou een Bt-veld in een mum van tijd vol zitten met Bt-resistente insecten.

De tweede cruciale maatregel is het stapelen van afweermechanismen. De kans dat een spontane mutatie in het DNA van een insect leidt tot resistentie tegen een Bt-eiwit is heel klein. Deze kleine kans op resistentie verlaagt nog drastisch door twee Bt-eiwitten werkzaam tegen hetzelfde insect maar met een verschillend werkingsmechanisme in een plant te produceren. Immers, een katoenbolworm die resistent geworden is tegen het ene toxine, zal nog altijd gevoelig zijn voor het andere. Daardoor wordt het insect nog altijd afgedood en verdwijnt de verworven resistentie terug uit de populatie. In Australië, India en de Verenigde Staten heeft men deze boodschap begrepen. Ongeveer 90% van de Indiase Bt-katoenplanten bevat nu al twee afweermechanismen; in Australië en de VS is dit 100%.⁷⁹⁹ Hierdoor wordt de kans op het doorbreken van de plantenweerstand kleiner. Desalniettemin mag het meervoudige afweermechanisme niet als mirakeloplossing naar voor geschoven worden, ook hier moeten maatregelen genomen worden. Gewassen met een enkelvoudig afweermechanisme mogen bijvoorbeeld niet samen geteeld worden met gewassen met een meervoudig afweermechanisme. Insecten krijgen dan immers stapsgewijs de tijd om zich aan te passen en de meervoudige afweer zal veel vlugger doorbroken worden. Tussen 2004 en 2010 werd ggo-katoen geteeld in de VS die een of twee verschillende Bt-eiwitten produceerde. Vandaag ligt de frequentie van resistentie tegen beide Bt-eiwitten bij sommige insecten op meer dan 50%. In Australië zijn alle enkelvoudige Bt-katoenrassen in één keer gewisseld met tweevoudig resistent katoen. In Australië ligt de resistentiefrequentie momenteel op minder dan 1%.⁹⁹

Een laatste belangrijke teeltmaatregel is de “toevluchtsregel”. In de VS, Australië en andere landen wordt er overheidshalve opgelegd dat boeren die Bt-katoen of Bt-maïs telen naast hun Bt-velden ook stroken met niet-Bt-katoen of -maïs (vluchtgewas) inzaaien. De bedoeling is dat wanneer een insect resistent wordt, het bij voorkeur zal paren met een Bt-gevoelig insect dat aanwezig is in het vluchtgewas. Als de mutatie een genetisch recessieve eigenschap oplevert, zijn de nakomelingen van een dergelijke kruising Bt-gevoelig. Wanneer deze eitjes afgezet worden op een Bt-plant, worden de larven na een Bt-maaltijd afgedood en is de resistentie uit het veld verdwenen. Een vergelijkbaar scenario wordt nagestreefd met het uitzetten van steriele volwassen insecten.¹⁰⁰ Deze insecten worden opgekweekt in het laboratorium waarna ze bestraald worden zodat ze geen nageslacht meer kunnen maken. De steriele insecten worden daarna in groten getale uitgezet in de velden. Door de overmaat aan steriele insecten zullen eventueel resistent geworden insecten uit het Bt-veld in de eerste plaats paren met de steriele, uitgezette insecten. In dit geval kan er geen nageslacht meer gevormd worden waardoor de resistentie een stille dood sterft. Zo werden in de katoenvelden van de staat Arizona tussen 2006 tot 2009 liefst 2 miljard steriele Pectinophora gossypiella-motten (“pink” bolworm) uitgezet (of 25 000 steriele motten per ha per jaar). Het bestrijdingsprogramma kende succes: in 2009 konden slechts 2 larven geteld worden in 16 600 katoenbollen tegenover 2 550 larven in 2005. De infectiegraad daalde dus van 15,3% naar 0,012% wat een terugval is van 99,9%. Eenzelfde daling werd gezien in het aantal motten dat wekelijks in insectenvallen terechtkwam.¹⁰¹



Indirecte bijkomende teeltbescherming

Een grootschalige studie waarbij gedurende 20 jaar metingen werden uitgevoerd op 36 verschillende locaties in China ging de aanwezigheid na van lieveheersbeestjes, gaasvliegen en spinnen in Bt-katoenvelden.¹⁰² De data tonen aan dat het aantal van deze nuttige insecten en spinnen gestegen was; een toename die de onderzoekers volledig wijten aan het verminderd gebruik van breedspectrum insecticiden. Doordat de katoenbolworm niet meer gecontroleerd hoeft te worden via bespuitingen met breedwerkende insecticiden, worden andere insecten in het katoenveld niet meer afgedood. Lieveheersbeestjes, gaasvliegen en spinnen worden vaak predatoren genoemd omdat ze natuurlijke vijanden zijn van plaaginsecten. Deze predatoren kunnen met andere woorden plagen op een natuurlijke wijze onder controle houden. Dit is bijvoorbeeld de reden dat lieveheersbeestjes en sluipwespen ingezet worden in de biologische serreteelt van groenten. De Chinese onderzoekers merkten dat deze nuttige predatoren zich verspreidden naar omliggende maïs-, aardnoten- en sojavelden. In deze naburige niet-Bt-gewassen hielden ze plaaginsecten ook onder controle waardoor de noodzaak tot sproeien ook in de niet-Bt-velden verminderde.¹⁰² In dit geval profiteren de omringende niet-ggo-velden dus niet alleen van de algemeen verlaagde ziektedruk maar

ook van de grotere aantallen nuttige insecten. Met andere woorden: de Bt-technologie kan een belangrijke ondersteuning bieden aan een landbouw die minder gebruik maakt van chemische bestrijdingsmiddelen en meer gericht is op biologische pestcontrole.

De positieve effecten gerapporteerd in de Chinese studie zijn niet altijd direct te extrapoleren naar andere studies. Het effect van Bt-teelten op niet-doelwitorganismen blijkt zowel af te hangen van het gewas als van het insect. In 2007 pakte het tijdschrift *Science* uit met een meta-analyse die gebruik maakte van 42 veldexperimenten en die een brede waaier aan niet-doelwitinsecten in rekening bracht.¹⁰³ De analyse bracht aan het licht dat bepaalde niet-doelwitorganismen in minder groten getale aanwezig waren in Bt-velden in vergelijking met insecticide-vrije controlevelden. Echter, hun aantal in Bt-velden was veel groter dan in velden die conventioneel werden behandeld met insecticiden. Een later gepubliceerde studie waarbij 21 extra veldstudies werden opgenomen, kwam tot dezelfde conclusie.³⁶

Het verminderd aantal insecten in Bt-velden in vergelijking met niet-behandelde niet-Bt-velden kan twee oorzaken hebben. Enerzijds kan het een toxisch effect zijn doordat niet-doelwitorganismen direct beïnvloed worden door de Bt-planten of indirect via het eten van prooi-insecten die van de Bt-planten aten. Anderzijds kan het een ecologisch effect zijn. Bepaalde insecten (predatoren) zijn minder aanwezig omdat ze hun prooi elders moeten zoeken vermits er minder Bt-gevoelige prooi-insecten in het veld zijn. Gegevens uit de laatste grote meta-analyse studie wijzen in de richting van een ecologisch effect.³⁶ Laboratoriumstudies

toonden immers aan dat bepaalde predatoren die in mindere getale aanwezig waren in een Bt-veld, zelf niet gevoelig waren voor de Bt-eiwitten. Ze waren daarentegen bijna uitsluitend afhankelijk van de rupsen van maïsboorders. Vermits Bt-gewassen ontwikkeld zijn om maïsboorders tegen te gaan, ligt het voor de hand dat in Bt-velden ook minder predatoren zullen zijn. Er moet echter opgemerkt worden dat wanneer maïsboorders op een andere manier gecontroleerd worden (bv. door Bt te sproeien of met behulp van andere middelen), de specifieke predatoren ook minder aanwezig zullen zijn. De belangrijkste conclusie van beide meta-analyse studies is evenwel dat wanneer Bt-velden vergeleken worden met insecticide-behandelde niet-Bt-velden, er veel meer nuttige insecten werden teruggevonden in de Bt-velden.^{36,103}

Secundaire plagen

Het verminderd gebruik van insecticiden in de teelt van insect-resistente Bt-gewassen kan in bepaalde omstandigheden een indirect negatief effect hebben. Op basis van een 10-jaar durende veldproef in de Noord-Chinese provincie Heibei merkten Chinese onderzoekers een gestage toename van de populatie blindwantsen in Bt-katoenvelden.¹⁰⁴ Deze wantsen zijn gevoelig voor de breedspectrum insecticiden die in conventionele katoenteelten ingezet worden tegen de bolworm. Echter door het verminderd insecticidegebruik in Bt-katoen worden de wantsen minder onder controle gehouden en kunnen ze uitgroeien tot secundaire plagen. In de VS is er een gelijkaardig probleem met de “western bean cutworm” in maïs. Dit insect is slechts beperkt gevoelig voor de huidig geteelde Bt-maïs. Door de sterke vermindering in breedspectruminsecticiden en

door de kleinere aanwezigheid van insecten die wel gecontroleerd worden door Bt-maïs, komt het insect veel meer voor dan vóór de introductie van Bt-maïs.¹⁰⁵

Terwijl deze gegevens volgens tegenstanders van ggo-technologie bewijzen dat de Bt-technologie geen duurzame oplossing is, tonen deze resultaten net de positieve aspecten van Bt-gewassen in de praktijk aan. De Bt-eiwitten in ggo-gewassen zijn zo specifiek in hun werking tegen de doelwitinsecten waardoor andere insecten zoals wantsen en bladluizen niet afgedood worden als ze zich voeden met het gewas. Bovendien kunnen deze niet-doelwitorganismen enkel uitgroeien tot plaag als er in Bt-velden effectief minder breedspectrum-insecticiden gebruikt worden. Secundaire plagen kunnen voorkomen worden door additionele genetische resistentie te ontwikkelen en in te bouwen in Bt-gewassen, ofwel door op zoek te gaan naar andere gewasbeschermingsmethoden (biologische bestrijding of insecticiden met een meer specifieke werking). Een meer biologische bescherming wordt net mogelijk doordat er minder gewasbeschermingsmiddelen gebruikt worden. Op korte termijn bestaat evenwel de kans dat landbouwers teruggrijpen naar de oorspronkelijke insecticiden omdat dit de meeste eenvoudige en goedkope manier is. Bt-technologie is geen mirakeloplossing die alle gewasproblemen in één keer oplost. Het is daarentegen wel een belangrijk hulpmiddel om stap voor stap te evolueren naar een duurzame landbouw met een zo’n klein mogelijke impact op het milieu.



5 De Europese milieurisicoanalyse voor een ggo-teelt

Een ggo-gewas mag in de Europese Unie op commerciële wijze geteeld worden, na een milieurisicoanalyse. De betreffende Europese regelgeving is heel streng en vereist enorm veel analyses. Een bedrijf dat een ggo-gewas op de markt wil brengen, dient een omvangrijk dossier aan te leveren met de resultaten van de gevraagde analyses. Het dossier wordt vervolgens grondig nagekeken door de European Food Safety Authority (EFSA) of een van de EU-lidstaten. De uiteindelijke beslissing voor het toelaten van de gevraagde ggo-teelt ligt in handen van de Europese Commissie en de lidstaten. Hieronder wordt beschreven – veelal met technische details – welke soort analyses dit dossier moet bevatten. Voor alle duidelijkheid, het enorm streng regularisatiesproces dat alle ggo-planten moet doorlopen bij officiële voedselveiligheidsagentschappen geldt niet voor gewassen die kenmerken verkregen via klassieke en mutatieveredeling. Wetenschappelijk gezien zou het logischer zijn om nieuwe gewassen te evalueren op basis van hun nieuwe kenmerken, niet op basis van de veredelingsmethode waarmee ze genetisch aangepast zijn.

Een vergelijkende studie met de niet-ggo-variant

In 2010 stelde het ggo-panel van de EFSA richtlijnen op waaraan een teeltaanvraag moet voldoen.¹⁰⁶ Het aanvraagdossier voor de teelt van ggo-gewassen in Europa moet een voedselveiligheidsstudie (althans voor voeder en voeding) en een milieustudie bevatten. De experimenten uitgevoerd en geëvalueerd tijdens dergelijke voedselveiligheidsstudie worden uitvoerig beschreven in het achtergrondossier “Voedselveiligheid van genetisch gewijzigde gewassen”.¹ De data aangeleverd door de milieustudie moeten de EU-lidstaten en EFSA in staat stellen om na te gaan of de introductie van een specifieke ggo-plant in het milieu ongunstige effecten zou kunnen hebben op het milieu, menselijke gezondheid, of dierlijke gezondheid. Hierbij wordt gekeken naar zowel de bedoelde als eventuele onbedoelde gevolgen van de genetische modificatie. Bedoelde effecten zijn effecten waarvoor de ggo-plant ontwikkeld werd. Het bedoeld effect van bijvoorbeeld een insect-resistente plant is het onderdrukken van schade door specifieke plaaginsecten. Onbedoelde effecten kunnen onder meer het gevolg zijn van verschillen tussen ggo- en niet-ggo-plant zoals bijvoorbeeld de plaats in het DNA van de plant waar de genen zijn ingebouwd. Om eventuele onbedoelde effecten te kunnen achterhalen wordt een vergelijkende studie uitgevoerd tussen de ggo-plant en de niet-ggo-variant.

Om een teelttoelating te krijgen moet een aanvraagdossier ook specifieke analyses bevatten wat betreft de interactie van de ggo-plant met de omgeving. Bij elke hieronder

besproken analyse wordt eerst nagegaan welke aspecten van de ggo-plant een mogelijk negatief effect kunnen inhouden voor het milieu. Het werkelijke risico wordt vervolgens bepaald door rekening te houden met de blootstelling van het milieu aan de eventuele negatieve aspecten van de ggo-plant.

Invasiviteit en verticale genoverdracht naar andere planten

Het introduceren van planten of dieren in een gebied waar ze nog niet aanwezig zijn, moet steeds nauwlettend in het oog gehouden worden. Er zijn immers genoeg voorbeelden uit het verleden waar het bewust of onbewust uitzetten van bepaalde dieren en planten dramatische gevolgen heeft gehad voor de fauna en flora van een bepaald gebied (zie pagina 29).

Wat invasiviteit betreft houdt EFSA rekening met het risico op twee vlakken. Enerzijds de mogelijkheid dat de ggo-plant of wilde verwanten van de ggo-plant die het ggo-kenmerk verkregen hebben via kruising (zie pagina 22), zouden kunnen woekeren in het veld. Hierdoor zouden bijvoorbeeld intensere onkruidstrategieën moeten toegepast worden wat op zijn beurt een meer uitgesproken effect zou kunnen hebben op het milieu. Anderzijds wordt rekening gehouden met het effect dat het ggo-kenmerk zou kunnen hebben buiten het veld. Door woekering van planten die het ggo-kenmerk verkregen hebben, zouden andere planten verdrukt kunnen worden wat een effect kan hebben op de biodiversiteit. Dit kan ook een doorwerkend effect hebben op bepaalde dier-

en/of insectensoorten die de plant als voedsel, bescherming of voortplanting gebruiken.

In de evaluatie van een mogelijke verandering in invasiviteit, wordt eerst gekeken of de algemene biologische kenmerken, zoals bijvoorbeeld de kiemkracht van het zaad, van het ggo-gewas veranderd zijn. Is dit niet het geval, dan hangt in beide gevallen het risico op invasiviteit af van de mate waarin het ggo-kenmerk een effect heeft op woekering en van de kans

dat het ggo-kenmerk via kruising kan overgaan naar wilde plantvarianten (verticale genoverdracht). De evaluatie van dit risico is dus zo goed als volledig afhankelijk van het ggo-kenmerk en van de gebruikte plantensoort (Tabel 1). De data die gebruikt worden voor deze risicoanalyse zijn enerzijds verkregen uit de wetenschappelijke literatuur en worden anderzijds aangeleverd door de aanvrager van de toelatingsprocedure.¹⁰⁶

Kenmerk	Gewas
Zaadkieming of kiemkracht	Voortplantingsbiologie
Kiemrust of de mate waarin zaden gedurende meerdere jaren in rust kunnen gaan zonder kiemkracht te verliezen	Verspreiding van stuifmeel, zaden, knollen, bollen, ... in het milieu
Groeisnelheid van zaailing	Leefbaarheid van stuifmeel, zaden, knollen, bollen, ... in de tijd
Zaadproductie	Aanwezigheid van wilde varianten
Resistentie tegen abiotische stress (koude, droogte, ...)	Aangepast zijn aan de groeiomstandigheden
Resistentie tegen biotische stress (schimmels, insecten, ...)	

Tabel 1. Voorbeelden van factoren die invasiviteit en onbedoelde verspreiding van gewaskenmerk stimuleren en in rekening gebracht worden tijdens de risicoanalyse uitgevoerd door EFSA.

Horizontale genoverdracht tussen plant en micro-organismen

Door het telen van gewassen kan er planten-DNA (dus ook DNA van een ggo-plant) in de omgeving terecht komen: bladeren vallen op de grond en worden verteerd door bodemorganismen, wortelstelsel en stoppels van bijvoorbeeld maïs blijven achter op het veld, dieren en insecten eten van het levend of afgestorven plantenmateriaal, enzovoort. EFSA houdt in haar ggo-risicoanalyse rekening met de mogelijkheid dat het DNA van een plant overgedragen kan worden naar micro-organismen zoals bacteriën en schimmels, ook wel horizontale genoverdracht genoemd (zie pagina 27). Tijdens de risicoanalyse wordt nagegaan wat de kans is dat het toegevoegde DNA-fragment overgedragen wordt aan niet-ggo-micro-organismen. De kans op zo’n horizontale gentransfer is ontzettend klein. Echter wanneer er een grote gelijkenis is tussen het DNA-fragment toegevoegd aan de ggo-plant en DNA-fragmenten van een bepaald micro-organisme kan de kans voor een horizontale genoverstap vergroten. Hetzelfde geldt als er een potentieel selectief voordeel is voor het micro-organisme bij het opnemen van het extra stuk DNA of als het ggo-plantenmateriaal niet afbreekt en gedurende lange tijd aanwezig blijft in het milieu. Met al deze factoren wordt rekening gehouden.

Ook wordt geëvalueerd wat het potentieel gevolg is van een dergelijke horizontale genoverdracht voor mens, dier en het milieu, moest zo’n transfer toch gebeuren. Bijzondere aandacht gaat naar het gebruik van antibioticumresistentiegenen. Voor meer informatie hierom-

trent verwijzen we naar het achtergronddossier “Voedselveiligheid van genetisch gewijzigde gewassen”.¹

Interactie tussen ggo-plant en doelwitorganismen

Plaag- of ziekte-resistente gewassen hebben strategieën die hen in staat stellen om bepaalde insecten, bacteriën, schimmels of virussen af te weren. Dit kan bijvoorbeeld door de productie van bepaalde eiwitten zoals de Bt-eiwitten afkomstig van *Bacillus thuringiensis* (zie kaderstuk “Huidige ggo-toepassingen” of achtergronddossier “Bt-katoen voor India”³⁴) die schadelijk zijn voor insecten. Doelwitorganismen zijn die organismen waartegen een strategie is ontwikkeld. Alle andere organismen worden beschouwd als niet-doelwitorganismen (zie volgende paragraaf). Het ligt voor de hand dat men liefst zo efficiënt mogelijk de doelwitorganismen wil afweren zonder ook een negatief effect te hebben op de niet-doelwitorganismen. EFSA (of een van de EU-lidstaten) maakt een risicoanalyse in hoeverre dit kan verwacht worden voor het specifiek ggo-gewas waar ze een wetenschappelijke opinie moet over formuleren. Hierbij wordt onder andere het werkingsmechanisme van het ingebrachte eiwit dat zorgt voor plantenafweer in rekening gebracht, alsook de levenscyclus van het doelwitorganisme, de verschillende soorten gastheren die gebruikt worden door het doelwitorganisme, de geografische verspreiding en mobiliteit van het doelwitorganisme, ...

Daarnaast moet de aanvrager van het dossier ook teeltstrategieën voorleggen aan EFSA om het doorbreken van de plantenafweer zo lang

mogelijk tegen te houden. Insecten, bacteriën en schimmels passen zich immers aan minder gunstige omstandigheden aan zoals de teelt van ggo-gewassen met een afweermechanisme of het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Als planten ingezet worden met een afweermechanisme tegen een insect of schimmel dan zullen er in de loop van de tijd via selectie insect- en schimmelvarianten ontstaan die het afweermechanisme in de plant kunnen omzeilen. Om dit zoveel mogelijk tegen te gaan, moet de aanvrager van het dossier kunnen aantonen dat de doelwitorganismen op een efficiënte manier worden afgeweerd. Zo moet bijvoorbeeld de productie van de afweermoleculen groot genoeg zijn (afhankelijk van de opname van plantenmateriaal door de belager) zodat de belager niet kan overleven (zie kaderstuk “Onderdrukken van Bt-resistentie door goede landbouwpraktijken”). Er moet ook nagegaan worden indien er in natuurlijke populaties van doelwitorganismen al methodes beschikbaar zijn om de plantenafweer te doorbreken. Er wordt in de evaluatie dus ook rekening met het potentieel risico dat doelwitorganismen de afweer kunnen doorbreken. Resistentie-management is echter niet vereist voor de introductie van gewassen die een afweermechanisme verkrijgen door klassieke veredeling, zoals de aardappelrassen Toluca, Bionica en Carolus (zie achtergrondossier “Een schimmel-resistente aardappel voor België¹⁰⁴”).

Interactie tussen ggo-plant en niet-doelwitorganismen

Een belangrijk aspect van de risicoanalyse die teeltoelating voorafgaat, is het nagaan of de ggo-plant en de teelt ervan direct en/of indirect

een mogelijk gevaar kan zijn voor niet-doelwitorganismen. Niet-doelwitorganismen zijn zoals hierboven uitgelegd, organismen die geen nadelig effect veroorzaken op de groei en/of ontwikkeling van het gewas en die met andere woorden niet bestreden moeten worden. Niet-doelwitorganismen kunnen echter ongewild beïnvloed worden zowel door de nieuw geïntroduceerde kenmerken van een gewas als door specifieke teeltmaatregelen die gepaard gaan met de ggo-plant. Indien dit het geval is, kan de teelt van de ggo-plant een effect hebben op de biodiversiteit van het ecosysteem.

Vermits er in ieder ecosysteem een zeer groot aantal niet-doelwitorganismen zijn, is het onmogelijk om ze allemaal op hun directe en/of indirecte gevoeligheid te testen. Daarom worden niet-doelwitorganismen ingedeeld in vijf categorieën en worden een aantal vertegenwoordigers geselecteerd die representatief zijn voor iedere groep. Deze verschillende categorieën zijn: planteneters, natuurlijke vijanden, bestuivers, composteerders en plantsymbionten (soorten die voordelig samenleven met het gewas). Van deze organismen moet nagegaan worden in hoeverre ze met het specifieke ggo-gewas in contact kunnen komen, met welke delen van de plant, op welke manier en tijdens welk stadium van hun levenscyclus. Er moet bepaald worden in hoeverre niet-doelwitorganismen gevoelig zijn voor het gewassenmerk van de ggo-planten of voor een verandering in landbouwpraktijk, hoe overvloedig ze aanwezig zijn, hoe ze interageren met doelwitorganismen en hoe belangrijk ze zijn voor het ecosysteem.¹⁰⁶

Bovenvermelde analyses moeten niet alleen uitgevoerd worden voor bitrofe interacties (plant/

niet-doelwitorganisme) maar ook voor interacties waarbij meer dan twee verschillende organismen betrokken zijn (multitrofe interacties). Een organisme (bv. regenworm) dat rechtstreeks in contact komt met het ggo-gewas (bv. afgevallen blad van een insect-resistente plant) kan misschien geen hinder ondervinden van het gewassenmerk, maar wanneer dit organisme als prooi fungeert voor een ander organisme (bv. vogel) kan niet zomaar uitgesloten worden dat deze laatste na verloop van tijd geen negatieve effecten zal ondervinden. Sommige schadelijke gewassenmerken kunnen immers accumuleren in de voedselketen. Alle data nodig voor de risicoanalyse rond niet-doelwitorganismen worden verkregen uit laboratoriumtesten of tijdens veldproeven.

Al deze bovengenoemde analyses maken duidelijk dat het resultaat van de risicoanalyse sterk afhangt van het gewas, het ingebrachte kenmerk en het ecosysteem.

Impact van specifieke teelt-, management- en oogsttechnieken

De introductie van een ggo-plant in het veld kan gepaard gaan met specifieke veranderingen in teelt-, management- en/of oogsttechnieken. Ook het effect van deze veranderingen op het milieu en de biodiversiteit moet onderzocht worden vooraleer een ggo-gewas een teelttoelating kan krijgen.

Het meest voor de hand liggende voorbeeld zijn de herbicide-tolerante gewassen. Het telen van deze gewassen is onlosmakelijk verbonden met het gebruik van één of meerdere specifieke herbiciden. In de meeste gevallen zal dit

een verschuiving in het herbicidengebruik met zich meebrengen waarbij de herbiciden waarvoor het gewas tolerant is meer zullen gebruikt worden, terwijl het gebruik van andere herbiciden zal afnemen. Er moet dus nagegaan worden welk effect dit teweegbrengt, onder andere op de biodiversiteit in en rond het veld en welke directe en indirecte gevolgen er zijn. Door het flexibel en efficiënt onkruidbeheer dat gepaard gaat met de teelt van bepaalde herbicide-tolerante gewassen kan de landbouwer gemakkelijker overschakelen naar een niet-ploeglandbouw (zie pagina 31 en achtergrondossier “Herbicide-tolerante soja in Argentinië⁸⁴”). Deze vorm van landbouw wordt in gebieden met erosiegevoelige bodems aanbevolen om de bodemstructuur te verbeteren maar heeft een significant effect op het leven in en op de bodem.

Effecten op biogeochemische processen

Biogeochemische processen omvatten de beweging, opslag en omzetting van energie, water, koolstof, stikstof en andere elementen in het ecosysteem. Voorbeelden zijn de opname van CO₂ door planten uit de atmosfeer, afbraak van plantenmateriaal, vorming van organische stof in de bodem, verdamping van water uit de bodem, omzetting van stikstof, ... Biogeochemische processen zijn essentieel in het opbouwen van de bodemvruchtbaarheid maar ze dragen ook bij tot het verlies van bepaalde componenten uit de bodem, bv. de vrijstelling van de broeikasgassen (CO₂, methaan en stikstofoxide) wat negatief is voor het milieu. Aanvragers van een ggo-teelttoelating moeten data aanleveren om te kunnen achterhalen of de ggo-plant

en de bijhorende teeltwijze een potentieel negatief effect kan hebben op biogeochemische processen in vergelijking met de huidige productiewijzen en de niet-ggo-variant.¹⁰⁶

Effecten op mens en dier

Niettegenstaande de toelatingsprocedure voor het telen van een ggo-gewas zich logischerwijze concentreert op het potentieel effect van het ggo-gewas en de bijhorende teeltwijze op het milieu, moet bij een teeltaanvraag ook een risicoanalyse uitgevoerd worden om potentiële gezondheidseffecten op mens en dier na te gaan.¹⁰⁶ Landbouwers, dieren en in mindere mate ook voorbijgangers komen immers in contact met landbouwgewassen en/of worden blootgesteld aan stuifmeel en stof afkomstig van deze planten. Er moet dus kunnen uitgesloten worden dat de teelt van een ggo-gewas een verhoogd risico met zich meebrengt in vergelijking met een niet-ggo-teelt wat betreft menselijke en dierlijke gezondheid. Daarom moeten ook deze ggo-gewassen of onderdelen, zoals stuifmeel, op mogelijke allergeniciteit en contacttoxiciteit geëvalueerd worden. Bovendien kan er niet uitgesloten worden dat – zelfs voor een gewas dat niet bestemd is voor consumptie zoals bv. snijbloemen – er accidentele opname zou zijn. Deze accidentele opname wordt ook meegenomen in de risicobeoordeling. In de praktijk komt het er dus op neer dat een ggo-gewas, waarvoor een teelttoelating wordt aangevraagd, zowel een risicoanalyse moet doorstaan wat betreft potentiële effecten op het milieu en biodiversiteit als een risicoanalyse voor potentiële gezondheidseffecten op mens en dier.¹

Post-market monitoring of opvolging van de commerciële teelten

Wanneer EFSA een positieve opinie aflevert aan de Europese Commissie kunnen de Europese beleidsmakers een ggo-gewas toelaten voor teelt. Naast de risicoanalyse die voorafgaat aan de teelttoelating moet het toegelaten product echter blijvend opgevolgd worden in het veld, ook na teeltgoedkeuring. Dit wordt voornamelijk gedaan om na te gaan of het gewas gebruikt wordt zoals vooropgesteld, om de verwachte effecten van het gewas te bevestigen en/of om na te gaan of er onverwachte neveneffecten zijn. Voor een herbicide-tolerant en insect-resistent gewas is er bijvoorbeeld opvolging nodig voor de mogelijke ontwikkeling van resistente onkruiden en insecten respectievelijk.

6 Besluit

Het aantal variabelen dat de impact van landbouw op de omgeving bepaalt, is enorm. Naast teeltwijze zijn het vooral de kenmerken van een specifiek gewas (opbrengstpotentieel, ziekteresistentie,...) die bepalend zijn voor de milieubelasting. Deze twee parameters – teeltwijze en gewaskenmerken – zijn echter onafhankelijk van de technologie die gebruikt is om het gewas te veredelen. Alle veredelde gewassen – zowel bekomen via “traditionele” veredelings technieken als via ggo-technologie – kunnen een impact hebben op het milieu.

Op regulatorisch vlak wordt er echter een groot onderscheid gemaakt tussen beide technologieën. Terwijl de traditionele en mutatie-verdelingsproducten vrij op de Europese markt mogen gebracht worden, zijn strikte risicoanalyses vereist om de potentiële effecten van ggo-gewassen op het milieu na te gaan. Ggo-gewassen worden in dit verband vergeleken met niet-ggo-gewassen die volgens conventionele landbouwpraktijken geteeld worden.

Net zoals ieder gewas met specifieke kenmerken hebben insect-resistente, droogte-tolerante en virus-resistente gewassen allemaal directe of indirecte effecten op de omgeving. Deze effecten kunnen zowel positief of negatief zijn maar zullen in de meeste gevallen zowel positieve als negatieve elementen hebben. Het is dus zaak om de risicoanalyse dossier per dossier uit te voeren en voor de teelttoelating de milieu-impact te evalueren op basis van een kosten-batenanalyse. Met andere woorden: wat is in vergelijking met de voordelen van een bepaalde teelt, de aanvaardbare en onaanvaardbare impact op het milieu?

De omvang van de milieurisicoanalyses en de strenge regelgeving zorgen ervoor dat enkel ggo-gewassen op de markt komen die geen grotere negatieve impact hebben op het milieu in vergelijking met de niet-ggo-varianten.

7 Referenties

- 1 VIB Achtergrond dossier. Voedselveiligheid van genetisch gewijzigde gewassen. Beschikbaar via <http://www.vib.be/nl/educatie/PlantEnBiotech/Pages/Achtergrond dossier.aspx>, (2015).
- 2 VIB Achtergrond dossier. Van plant tot gewas: Het verleden, heden en de toekomst van plantenveredeling. Beschikbaar via http://www.vib.be/nl/educatie/PlantEnBiotech/Documents/vib_facts_series_vanplanttotgewas.pdf, (2016).
- 3 Brookes, G. & Barfoot, P. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996-2013: impacts on pesticide use and carbon emissions. GM crops & food, (2015).
- 4 VIB Achtergrond dossier. Een schimmelresistente aardappel voor België. Beschikbaar via <http://www.vib.be/nl/educatie/PlantEnBiotech/Pages/Achtergrond dossier.aspx>, (2015).
- 5 <http://www.adama.com/uk/en/our-solutions/herbicides/shogun.html>.
- 6 United States Environmental Protection Agency. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2012. Beschikbaar via <http://www3.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/US-GHG-Inventory-2014-Main-Text.pdf>, (2014).
- 7 James, C. Global Status of Commercialized Biotech/ GM Crops: 2014. ISAAA Brief No. 49. ISAAA: Ithaca, NY. Beschikbaar via <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/>, (2014).
- 8 VIB Achtergrond dossier. Virus-resistente papaja voor Hawaï. Beschikbaar via <http://www.vib.be/nl/educatie/PlantEnBiotech/Pages/Achtergrond dossier.aspx>, (2014).
- 9 Castiglioni, P. *et al.* Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. Plant physiology 147, 446-455, (2008).
- 10 Soil Quality Institute, U. S. D. o. A. Agricultural Management Effects on Earthworm Populations. Soil Quality Agronomy Technical Note 11, 1-8, (2001).
- 11 Oerke, E. C. Crop losses to pests. J Agr Sci 144, 31-43, (2006).
- 12 Johnson, R. M. Honey bee toxicology. Annual review of entomology 60, 415-434, (2015).
- 13 Carpenter, S. R. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105, 11039-11040, (2008).
- 14 Schindler, D. W. *et al.* Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105, 11254-11258, (2008).
- 15 Hobbs, P. R. Conservation Agriculture: What is it and why is it important for future sustainable food production? Paper presented at international workshop on increasing wheat yield potential, Cimmyt, Obregon, Mexico, 20-24 March 2006. The Journal of Agricultural Science 145, 127-137, (2007).
- 16 Holland, J. M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. Agr Ecosyst Environ 103, 1-25, (2004).
- 17 Chamen, T. *et al.* Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 2. Equipment and field practices. Soil Till Res 73, 161-174, (2003).
- 18 Hobbs, P. R. Conservation Agriculture: What is it and why is it important for future sustainable food production? Beschikbaar via <http://www.ecaf.org/docs/aposolo/CA%20What%20Is%20It%20and%20Why%20Is%20It%20Important%20for%20Future%20Sustainable%20Food%20Production.pdf>.
- 19 Alvarez, R. & Steinbach, H. S. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil Till Res 104, 1-15, (2009).
- 20 Parmelee, R. W. *et al.* Earthworms and Enchytaeids in Conventional and No-Tillage Agroecosystems - a Biocide Approach to Assess Their Role in Organic-Matter Breakdown. Biol Fert Soils 10, 1-10, (1990).
- 21 USDA-NRCS. Conservation tillage and terrestrial wildlife. Beschikbaar via http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_022238.pdf, (1999).
- 22 Wang, Y. *et al.* Long-term impact of farming practices on soil organic carbon and nitrogen pools and microbial biomass and activity. Soil Till Res 117, 8-16, (2011).
- 23 Mathew, R. P., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R. & Balkcom, K. S. Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities. Applied and Environmental Soil Science doi:10.1155/2012/548620, (2012).
- 24 USDA-NRCS. Conservation tillage and terrestrial wildlife. http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_022238.pdf, (1999).
- 25 Eurostat. Agriculture, forestry and fishery statistics. Beschikbaar via <http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-statistical-books/-/KS-FK-15-001>, (2015).
- 26 (EPA), U. S. E. P. A. EPA Global Anthropogenic non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020, EPA 430-R-06-003 (United States Environmental Protection Agency, 2006). Beschikbaar via <https://www3.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/nonco2projections.html>, (2012).
- 27 Joint Research Centre. Information on methane emission. Beschikbaar via http://edgar.jrc.ec.europa.eu/part_CH4.php, (2015).
- 28 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Our food and agriculture in numbers. Beschikbaar via <http://www.fao.org/assets/infographics/FAO-Infographic-food-ag-en.pdf>, (2013).
- 29 Malakof, D. & Stokstad, E. Infographic: pesticide planet. Science 341, 730-731, (2013).
- 30 United States Environmental Protection Agency (EPA). Pesticides Industry Sales and Usage 2006 and 2007 Market Estimates Beschikbaar via <https://www.epa.gov/pesticides/pesticides-industry-sales-and-usage-2006-and-2007-market-estimates>, (2011).
- 31 Mithofer, A. & Boland, W. Plant defense against herbivores: chemical aspects. Annual review of plant biology 63, 431-450, (2012).
- 32 Vandenborre, G., Smagghe, G. & Van Damme, E. J. Plant lectins as defense proteins against phytophagous insects. Phytochemistry 72, 1538-1550, (2011).
- 33 Macedo, M. L., Oliveira, C. F. & Oliveira, C. T. Insecticidal activity of plant lectins and potential application in crop protection. Molecules 20, 2014-2033, (2015).
- 34 VIB Achtergrond dossier. Bt-katoen in India. Beschikbaar via <http://www.vib.be/nl/educatie/PlantEnBiotech/Pages/Achtergrond dossier.aspx>, (2013).
- 35 Gaudana, S. B. & Bagchi, T. in Microorganisms in Environmental Management: Microbes and Environment (eds T. Satyanarayana & Narain Bhavdish Johri) 431-450 (Springer Netherlands, 2012).
- 36 Naranjo, S. E. Impacts of Bt crops on non-target invertebrates and insecticide use patterns. CAB reviews: Perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources 4, (2009).
- 37 Environmental Justice Foundation. The deadly chemicals in cotton. Beschikbaar via http://ejfoundation.org/sites/default/files/public/the_deadly_chemicals_in_cotton.pdf, (2007).
- 38 Hutchison, W. D. *et al.* Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. Science 330, 222-225, (2010).
- 39 Benbrook, C. M. Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. - the first sixteen years. Environmental Sciences Europe 24, (2012).
- 40 ENSSER. Signatories No Scientific Consensus on GMO Safety as of 20 January 2015. Beschikbaar via http://www.ensser.org/fileadmin/user_upload/150120_signatories_no_consensus_lv.pdf, (2015).
- 41 Klein, A. M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings. Biological sciences / The Royal Society 274, 303-313, (2007).
- 42 European Union Reference Laboratory for honeybee health (EURL). A pan-European epidemiological study on honeybee colony losses 2012-2013. (2014).
- 43 Duan, J. J., Marvier, M., Huesing, J., Dively, G. & Huang, Z. Y. A meta-analysis of effects of Bt crops on honey bees (Hymenoptera: Apidae). PloS one 3, e1415, (2008).
- 44 Hendriksma, H. P., Hartel, S. & Steffan-Dewenter, I. Testing pollen of single and stacked insect-resistant Bt-maize on *in vitro* reared honey bee larvae. PloS one 6, e28174, (2011).
- 45 Rose, R., Dively, G. P. & Pettis, J. Effects of Bt corn pollen on honey bees: emphasis on protocol development. Apidologie 38, 368-377, (2007).
- 46 Hendriksma, H. P. *et al.* Effect of stacked insecticidal Cry proteins from maize pollen on nurse bees (*Apis mellifera carnica*) and their gut bacteria. PloS one 8, e59589, (2013).
- 47 Dai, P. L. *et al.* Effects of Bt cry1Ah corn pollen on immature worker survival and development of *Apis cerana cerana*. J Apicult Res 54, 72-76, (2015).
- 48 Wang, Y. Y. *et al.* Toxicological, Biochemical, and Histopathological Analyses Demonstrating That Cry1C and Cry2A Are Not Toxic to Larvae of the Honeybee, *Apis mellifera*. Journal of agricultural and food chemistry 63, 6126-6132, (2015).
- 49 Comas, C., Lumbierres, B., Pons, X. & Albajes, R. No effects of *Bacillus thuringiensis* maize on nontarget organisms in the field in southern Europe: a meta-analysis of 26 arthropod taxa. Transgenic research 23, 135-143, (2014).
- 50 Naranjo, S. E. Effects of GM Crops on Non-target Organisms. Plant Biotechnology: Experience and Future Prospects, A. Richroch *et al.* (eds.), (2014).
- 51 Losey, J. E., Rayor, L. S. & Carter, M. E. Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature 399, 214, (1999).
- 52 Fedoroff, N. V. & Brow, N. M. Mendel in the kitchen, a scientist's view of genetically modified foods. Joseph Henry Press, Washington D.C., (2004).
- 53 Johnson, K. S., Scriber, J. M., Nitao, J. K. & Smitley, D. R. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* to Three Nontarget Lepidoptera in Field Studies. Environmental Entomology 24, (1995).
- 54 Miller, J. C. Field Assessment of the Effects of a Microbial Pest Control Agent on Nontarget Lepidoptera. American Entomologist 36, 135-139, (1990).
- 55 Hellmich, R. L. *et al.* Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-purified proteins and pollen. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98, 11925-11930, (2001).
- 56 Oberhauser, K. S. *et al.* Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98, 11913-11918, (2001).
- 57 Pleasants, J. M. *et al.* Corn pollen deposition on milkweeds in and near cornfields. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98, 11919-11924, (2001).
- 58 Sears, M. K. *et al.* Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: a risk assessment. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98, 11937-11942, (2001).
- 59 Stanley-Horn, D. E. *et al.* Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98, 11931-11936, (2001).
- 60 Zangerl, A. R. *et al.* Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98, 11908-11912, (2001).
- 61 Stevenson, J. R., Villoria, N., Byerlee, D., Kelley, T. & Maredia, M. Green Revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 110, 8363-8368, (2013).

62 Evenson, R. E. & Gollin, D. Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science* 300, 758-762, (2003).

63 Evenson, R. E. & Rosegrant, M. The impact of international agricultural research. Crops variety improvement and its effect on productivity, eds. Evenson RE, Gollin D Beschikbaar via <http://www.fao.org/docs/eims/upload/282053/9780851995496.pdf> 473-497, (2003).

64 Phalan, B. *et al.* Conversation Ecology. How can higher-yield farming help to spare nature? *Science* 351, 450-451, (2016).

65 Dale, P. J., Clarke, B. & Fontes, E. M. G. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nat Biotechnol* 20, 567-574, (2002).

66 PRICE. Assessment of flowering delays in combination with separation distances and buffer zones on coexistence. Newsletter 03/04, beschikbaar via http://price-coexistence.com/page/downloads/Newsletter_03-04-01_-_Assesment_of_flowering_delays.pdf, (2015).

67 Baltazar, B. M. *et al.* Pollen-Mediated Gene Flow in Maize: Implications for Isolation Requirements and Coexistence in Mexico, the Center of Origin of Maize. *PloS one* 10, e0131549, (2015).

68 ILVO, De Vlaamse regelgeving omtrent co-existentie: een evaluatie in praktijkomstandigheden. Beschikbaar via http://www.ilvo.vlaanderen.be/Portals/0/Documents/Nieuws/Eindrapport_ma%C3%AFs_coexistentieproef.pdf, (2011).

69 PRICE. Assessment of flowering delays in combination with separation distances and buffer zones on coexistence. Newsletter 03/04, available via http://price-coexistence.com/page/downloads/Newsletter_03-04-01_-_Assesment_of_flowering_delays.pdf, (2015).

70 Quist, D. & Chapela, I. H. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414, 541-543, (2001).

71 Bellon, M. R. & Berthaud, J. Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in Mexico. The importance of farmers' behavior. *Plant physiology* 134, 883-888, (2004).

72 Ortiz-Garcia, S. *et al.* Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102, 12338-12343, (2005).

73 Pineyro-Nelson, A. *et al.* Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular ecology* 18, 750-761, (2009).

74 Kaplinsky, N. *et al.* Biodiversity (Communications arising): maize transgene results in Mexico are artefacts. *Nature* 416, 601-602, (2002).

75 Metz, M. & Fütterer, J. Biodiversity (Communications arising): suspect evidence of transgenic contamination. *Nature* 416, 600-601, (2002).

76 Keese, P. Risks from GMOs due to horizontal gene transfer. *Environmental biosafety research* 7, 123-149, (2008).

77 Fuentes, I., Stegemann, S., Golczyk, H., Karcher, D. & Bock, R. Horizontal genome transfer as an asexual path to the formation of new species. *Nature* 511, 232-235, (2014).

78 Nicolia, A., Manzo, A., Veronesi, F. & Rosellini, D. An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. *Critical reviews in biotechnology* 34, 77-88, (2014).

79 Ceccherini, M. *et al.* Degradation and transformability of DNA from transgenic leaves. *Applied and environmental microbiology* 69, 673-678, (2003).

80 de Vries, J., Heine, M., Harms, K. & Wackernagel, W. Spread of recombinant DNA by roots and pollen of transgenic potato plants, identified by highly specific biomonitoring using natural transformation of an *Acinetobacter* sp. *Applied and environmental microbiology* 69, 4455-4462, (2003).

81 Blaustein, R. J. Kudzu's invasion into Southern United states life and culture. *The Great Reshuffling: Human dimensions of invasive species*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. The World Conservation Union. McNeeley, J. A. ed., 55-62, (2001).

82 New York State Integrated Pest Management Program. The environmental impact of herbicides 2012. Beschikbaar via http://nysipm.cornell.edu/publications/eiq/files/EIQ_values_2012herb.pdf, (2012).

83 Grau, H. R., Gasparri, N. I. & Aide, T. M. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environ Conserv* 32, 140-148, (2005).

84 VIB Achtergrond dossier. Herbicide-tolerante soja in Argentinië. Beschikbaar via <http://www.vib.be/nl/educatie/PlantEnBiotech/Pages/Achtergrond dossier.aspx>, (2013).

85 Trigo, E. Fifteen years of genetically modified crops in Argentine agriculture. Beschikbaar via http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/15_YEARS_OF_GM_CROPS_IN_ARGENTINE_AGRICULTURE.pdf (2011).

86 Gasparri, N. I. & Grau, H. R. Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972-2007). *Forest Ecol Manag* 258, 913-921, (2009).

87 Hoyos, L. E. *et al.* Deforestation and precipitation patterns in the arid Chaco forests of central Argentina. *Appl Veg Sci* 16, 260-271, (2013).

88 Trigo, E. Fifteen years of genetically modified crops in Argentine agriculture. Beschikbaar via http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/15_YEARS_OF_GM_CROPS_IN_ARGENTINE_AGRICULTURE.pdf (2011).

89 New York State Integrated Pest Management Program. The environmental impact of herbicides 2012. Beschikbaar via http://nysipm.cornell.edu/publications/eiq/files/EIQ_values_2012herb.pdf, (2012).

90 James, C. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2012. *ISAAA Brief* 44, (2012).

91 Brookes, G. & Barfoot, P. GM Crops: The global economic and environmental impact - The first nine years 1996-2004. *AgBioForum* 8, 187-196, (2005).

92 Powles, S. B. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Manag Sci* 64, 360-365, (2008).

93 Canola Council of Canada. Beschikbaar via <http://www.canolacouncil.org/markets-stats/statistics/estimated-acreage-and-percentage/>

94 Powles, S. B. & Howat, P. D. Herbicide-Resistant Weeds in Australia. *Weed Technol* 4, 178-185, (1990).

95 Chu, C. C., Spencer, J. L., Curzi, M. J., Zavala, J. A. & Seufferheld, M. J. Gut bacteria facilitate adaptation to crop rotation in the western corn rootworm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110, 11917-11922, (2013).

96 Bolin, P. C., Hutchison, W. D. & Andow, D. A. Long-term selection for resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac endotoxin in a Minnesota population of European corn borer (Lepidoptera : Crambidae). *J Econ Entomol* 92, 1021-1030, (1999).

97 Tabashnik, B. E. & Carrière, Y. Successes and failures of transgenic Bt crops: global patterns of field-evolved resistance. *Bt Resistance, Characterization and strategies for GM crops producing Bacillus thuringiensis toxins*; Soberón M. *et al.* (Eds.), (2015).

98 Liu, Y. B., Tabashnik, B. E. & PuzsaiCarey, M. Field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin CryIC in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J Econ Entomol* 89, 798-804, (1996).

99 Tabashnik, B. E., Brevault, T. & Carriere, Y. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nat Biotechnol* 31, 510-521, (2013).

100 Tabashnik, B. E. *et al.* Suppressing resistance to Bt cotton with sterile insect releases. *Nat Biotechnol* 28, 1304-1307, (2010).

101 Tabashnik, B. E. *et al.* Sustained susceptibility of pink bollworm to Bt cotton in the United States. *GM crops & food* 3, 194-200, (2012).

102 Lu, Y., Wu, K., Jiang, Y., Guo, Y. & Desneux, N. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature* 487, 362-365, (2012).

103 Marvier, M., McCreedy, C., Regetz, J. & Kareiva, P. A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on nontarget invertebrates. *Science* 316, 1475-1477, (2007).

104 Lu, Y. *et al.* Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science* 328, 1151-1154, (2010).

105 Lindroth, E. *et al.* Population Genetics of the Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) Across the United States. *Ann Entomol Soc Am* 105, 685-692, (2012).

106 European Food Safety Authority. Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. *EFSA Journal* 8, (2010).

Basisonderzoek in de levenswetenschappen, dat is de kernactiviteit van VIB. Enerzijds de grenzen verleggen van wat we weten over moleculaire mechanismen, hoe deze mechanismen levende wezens zoals mensen, dieren, planten en micro-organismen regelen, en anderzijds zorgen voor tastbare resultaten die bijdragen aan een betere samenleving.

Gestoeld op een partnerschap met vijf Vlaamse universiteiten - UGent, KU Leuven, Universiteit Antwerpen, Vrije Universiteit Brussel en Universiteit Hasselt – en een stevig investeringsprogramma, bundelt VIB de expertise van 75 onderzoeksgroepen in één instituut. Het techtransfer-team van VIB vertaalt proactief biologische inzichten in nieuwe economische activiteiten die op hun beurt weer kunnen leiden tot nieuwe producten, medicijnen e.d. die kunnen gebruikt worden in de geneeskunde, landbouw en tal van andere toepassingen.

VIB neemt ook actief deel aan het publieke debat over biotechnologie door het ontwikkelen en verspreiden van een breed scala aan wetenschappelijk onderbouwde informatie over alle aspecten van de biotechnologie.

Meer info op www.vib.be.

VIB

Rijvisschestraat 120
9052 Gent
België
Tel. +32 9 244 66 11
Fax +32 9 244 66 10
info@vib.be
www.vib.be

V.U. Jo Bury, Rijvisschestraat 120, 9052 Gent, België - D/2016/12/267/6

