

De zesde wereldklimaatconferentie eind vorig jaar is geëindigd in een impasse. De voornaamste reden hiervoor was de controverse over het al dan niet gebruiken van flexibiliteitsmechanismen en koolstofreservoirs om de Kyoto-doelstellingen te halen.

Koolstofmanagement biedt wellicht een oplossing door bij te dragen tot de reductie van broeikasgassen, rekening houdend met de mogelijkheid van flexibiliteit en koolstofreservoirs.

Pascal BOECKX en
Oswald VAN CLEEMPUT



Koolstofmanagement doorbraak voor de kl

Van 13 tot 25 november 2000 vond in het Nederlandse Den Haag de zesde wereldklimaatconferentie (COP6) plaats. De ultieme inzet van deze conferentie was het vastleggen van de operationele procedures bij het Kyoto-Protocol. Deze conferentie heeft niet geleid tot een internationale consensus om de vergalopperende broeikasgasemissies te stabiliseren en ze zal worden

hervat later dit jaar. Een onmiddellijke reactie, tegen aanvaardbare kosten, is noodzakelijk om de mogelijke onverwachte gevolgen, die een wijzigend klimaat met zich zou meebrengen te kunnen afremmen.

De versterking van het natuurlijk broeikaseffect is een van de meest ernstige milieuproblemen waarmee onze planeet wordt geconfronteerd. Het natuurlijk broeikaseffect, voor-



Amazonebos in brand. Bosbranden zijn een potentieel gevaar om koolstofreservoirs te niet te doen. (Foto : Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen).

t : Klimaatstimpasse?

namelijk door de aanwezigheid van waterdamp en CO_2 in de atmosfeer, zorgt voor een gemiddelde temperatuur op aarde van 15°C en maakt leven op onze planeet mogelijk. De huidige bezorgdheid is dus de versterking van dit natuurlijk broeikas-effect. Sinds het begin van de industrialisatie, midden negentiende eeuw, is de concentratie van broeikasgassen, zoals CO_2 , CH_4 en N_2O , dramatisch gestegen.

Momenteel resulteert dit in een additionele energiecaptatie van 2.75 W m^{-2} . Deze toename zou de klimaatstabiliteit van de aarde kunnen verstoren. De sterkte van de verstoringen en waar of wanneer deze zullen plaatsgrijpen is echter niet eenduidig aan te geven. De onzekerheid omtrent de ecologische, economische en sociale gevolgen ervan is bovendien nog veel groter.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentratie (ppbv)			
Huidig	356000	1714	311
Preindustriële	278000	700	275
Jaarlijkse toename (ppbv jaar ⁻¹)	1600	8	0.8
Verblijftijd (jaar)	Variabel ^a	12.2	120
Bijdrage tot het broeikas effect (W m ⁻²)	1.56	0.47	0.14
GWP ₁₀₀ ^b	1	21	310

(a) De mate waarin CO₂ wordt geabsorbeerd door oceanen en de biosfeer (bodem en planten) is onzeker.

(b) GWP100 = "Global Warming Potential": dit is de cumulatieve bijdrage tot het broeikas effect van een massa-eenheid van een broeikasgas - binnen een gekozen periode (hier 100 jaar) en relatief t.o.v. CO₂ - dat nu wordt geëmitteerd. De toekomstige bijdrage tot het broeikas effect van dat bepaald gas kan dan worden uitgedrukt in CO₂ equivalenten (CO₂e) door de hoeveelheid gas die wordt uitgestoten te vermenigvuldigen met de GWP100 van dat gas.

Tabel 1 : Concentratie, jaarlijkse toename, atmosferische verblijftijd en bijdrage tot het broeikas effect van CO₂, CH₄ en N₂O [1].

Kyoto-Protocol

Het Kyoto-Protocol (1997) (www.cop3.de) bepaalt het kader voor internationale actie m.b.t. deze mogelijke klimaatwijziging en verbindt geïndustrialiseerde landen (zogenaamde Annex 1-landen) tot individuele en bindende doelstellingen om hun broeikasgasemissies te reduceren binnen de periode 2008 – 2012. Het Protocol beoogt een verlaging van de globale uitstoot van broeikasgassen met 5,2% t.o.v. 1990 (referentiejaar). De toegevoegde emissiereductie voor de Europese Unie (EU) bedraagt 8% beneden het niveau van 1990. De EU herverdeelde deze emissiedoelstellingen, hetgeen resulteerde in een emissiereductie van 7,5% voor België. Het Kyoto-Protocol wordt echter pas van kracht wanneer het is gera-

AFKORTINGEN

CO ₂	: koolstofdioxide
CH ₄	: methaan
HFC's	: fluorkoolwaterstoffen
PFC's	: perfluorkoolwaterstoffen
SF ₆	: zwavelhexafluoride
CDM	: Clean Development Mechanism
IET	: International Emission Trading (IET).
Jl	: Joint Implementation (Jl),
N ₂ O	: lachgas

teerd door 55 landen, met inbegrip van Annex 1-landen die samen 55% van de CO₂-emissies in deze groep vertegenwoordigen. Op dit moment heeft nog geen enkel Annex 1-land het Kyoto-Protocol geratificeerd.

Flexibiliteit m.b.t. soorten gassen en sectoren

Het Kyoto Protocol is flexibel opgevat. De beoogde emissiereducties hebben betrekking op een korf van 6 broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O, HFC's, PFC's en SF₆). Een land kan zijn globale emissiereducties tot stand brengen via één of meerdere van deze gassen. In **Tabel 1** wordt een overzicht gegeven van de eigenschappen van belangrijkste 3 broeikasgassen. De niet-CO₂ gassen zijn allen veel krachtiger broeikasgassen dan CO₂. Zo stemt een emissiereductie van 1 kg N₂O overeen met ongeveer 310 kg CO₂ (GWP100 = 310). Vandaar dat emissiereducties worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten (CO₂e).

De nodige maatregelen kunnen ook genomen worden in uiteenlopende sectoren (energie, industrie, landbouw, afval, solventen en bossen). Het is immers gemakkelijker (maatschappelijk of budgettair) realiseerbaar om bijvoorbeeld de CH₄-emissie uit stortterreinen te verminderen dan de CO₂-emissies te reduceren via maatregelen binnen het wegverkeer. Bovendien dient de Kyoto-verbintenis nagekomen te worden binnen een periode van 5 jaar (tussen 2008 en 2012).

Hiernaast zijn in het Kyoto-Protocol drie zogenaamde flexibiliteitsmechanismen opgenomen:

- Joint Implementation (Jl),
- Clean Development Mechanism (CDM) en
- International Emission Trading (IET).

Koolstofputten of -reservoirs

Bovendien zijn er de fameuze artikels 3.3 en 3.4 van het Kyoto-Protocol. Hierin is gestipuleerd dat emissiedoelstellingen ook kunnen verwezenlijkt worden door koolstofputten of koolstofreservoirs te creëren of hun capaciteit te verhogen. Artikel 3.3 bepaalt dat CO₂-verwijdering via herbebossing en bebossing mag gerealiseerd worden. Artikel 3.4 vermeldt bijkomende menselijke activiteiten binnen de landbouw die kunnen bijdragen tot een verhoging van de koolstofreservoirs in de bodem. Indien aangetoond kan worden dat CO₂-equivalenten zijn vastgelegd via deze mechanismen, dan mogen deze van het nationaal broeikasgasbudget worden afgetrokken.

Zoals bleek uit COP6, bestaat veel controverse omtrent het gebruik van de flexibiliteitsmechanismen en koolstofreservoirs. In het vervolg van deze bijdrage gaan we hier dieper op in. Het principe van koolstofmanagement wordt geïntroduceerd, wat duidt op een aantal win-win maatregelen die kunnen bijdragen tot de reductie van broeikasgassen, rekening houdende met de mogelijkheden geboden door de flexibiliteitsmechanismen en koolstofreservoirs.



Foto 1 : CAT verbrandingsmotor voor het opwekken van elektriciteit uit CH₄, afkomstig van een koolmijn in de Kusbas regio van Siberië.

Flexibiliteitmechanismen

De basis voor het gebruik van de flexibiliteitmechanismen JI, CDM en IET ligt in het feit dat de kosten om broeikasgasemissies te verlagen sterk kan verschillen tussen verschillende regio's, terwijl de impact op de klimaatstabiliteit onafhankelijk is van de geografische locatie van de emissie of emissiereducties. Dus suggereert economische efficiëntie dat reducties van broeikasgasemissies dienen gerealiseerd te worden waar de grootste resultaten kunnen bekomen worden tegen de laagste kosten.

Elk land opgenomen in de lijst met Annex 1-landen mag een JI-project opstarten om emissiereducties te transfereren naar of te verwerven van elk ander Annex 1-land. Een CDM-project verloopt tussen een Annex 1-land en een niet-Annex 1-land met het expliciete doel om niet-Annex 1-landen hierdoor bij te staan in het bereiken van duurzame ontwikkeling en tegelijkertijd bij te dragen tot een verminderd broeikasgasbudget in Annex 1-landen. Het principe van IET impliceert dat Annex 1-landen die meer broeikasgassen wensen uit te stoten dan hun toegewezen hoeveelheid deze "emissievergunning" kan verwerven van andere landen. Hierbij wordt het verkopende land verplicht zijn emissies meer te reduceren dan de toegewezen emissiehoeveelheid.

Implementatie van het mechanisme

De gezamenlijke marginale kostencurven voor het reduceren van broeikasgassen kunnen sterk verschillen (bv. West-Europa versus Oost-Europa). Zoals blijkt uit het hypothetisch voorbeeld in *figuur 1* kunnen dikwijls meer CO₂-equivalenten gereduceerd worden tegen lagere kosten via externe projecten. Een billijke strategie hierbij is dat een land bij voorkeur eerst in eigen land (interne markt) "no-regret" projecten uitvoert om broeikasgasemissies te reduceren. "No-regret" maatregelen zijn deze maatregelen die negatieve kosten (of een winstvoordeel) opleveren (groen deel van de curven in *figuur 1*). Pas nadat alle negatieve interne kostenopties geëvalueerd en geïmplementeerd zijn heeft het zin na te gaan of de volgende ton CO₂e-reductie wordt gerealiseerd tegen bijkomende kosten of verworven zal worden via buitenlandse projecten (externe markt via JI, CDM-projecten) of eventueel eenvoudigweg via een handel in emissies (IET). Een project is echter pas geschikt om in aanmerking te komen als een CDM- of JI-project als men volgende voorwaarden kan aantonen:

- **Aanvaardbaarheid:** het project moet aanvaard worden door het gastland.
- **Additionaliteit:** een JI- of CDM-pro-

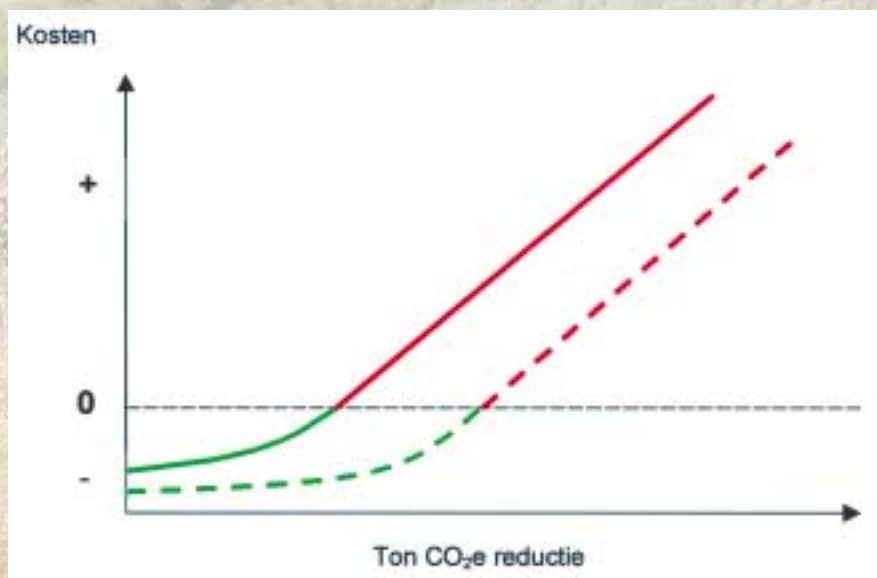
ject dient een investering te realiseren die anders niet zou worden uitgevoerd in het gastland, bv. bij gebrek aan technologische kennis of kapitaal; de gerealiseerde koolstofkredieten moeten onvervalst aan het project toegeschreven kunnen worden en niet het resultaat zijn van veranderingen die ook zouden gebeurd zijn in afwezigheid van het JI- of CDM-project;

- **Externaliteit:** het project mag niet resulteren in negatieve sociale of milieugevolgen; de CO₂-winst mag niet opgeheven worden door verhoogde emissies elders als resultaat van het project.
- **Capaciteit:** het project moet een duidelijk management en financiële en technologische capaciteit bezitten; de resultaten moeten op een transparante manier kunnen aangetoond worden.

De verificatie, het monitoren en kwantificeren van de aldus bekomen koolstofkredieten voor het investerende land zijn



Foto 2 : Primitieve affakkelininstallatie voor het onttrekken van CH₄ uit koolmijnen (Kusbas regio, Siberië).



Figuur 1 : Hypothetische gezamenlijke marginale kostencurven voor de reductie van broeikasgasemissies. De volle lijn stelt de interne markt voor, de stippellijn de externe markt; het groene gedeelte van de curven zijn "no regret" maatregelen.

hierbij cruciaal. Ook na COP6 bestaan echter hieromtrent geen strikte afspraken of regels. Des al niet te min worden verschillende JI- en CDM-projecten nu reeds opgestart.

Praktijkvoorbeeld Siberië

Een voorbeeld van een JI-project is de reductie van CH₄-emissies uit steenkoolmijnen in Siberië. Om ontploffingsgevaar te vermijden worden steenkoolmijnen ontgast via

affakkelininstallaties. Schattingen voor de Kusbas regio in Siberië geven aan dat op deze manier in 1999 alleen ongeveer 1.5 x 10⁶ miljoen ton CH₄ verloren ging in de atmosfeer. Dit CH₄-gas zou kunnen aangewend worden voor energiedoelinden indien meer verbrandingsmotoren (*foto 1*) beschikbaar zouden zijn, het pijplijnsysteem en de affakkelininstallaties (*foto 2*) konden verbeterd worden en mensen getraind konden worden. Verbranden van CH₄ levert uiteraard CO₂, maar geeft toch een positieve balans naar het broeikaseffect omdat CH₄ 21 maal (GWP100, zie *tabel 1*) krachtiger is dan CO₂. In termen van CO₂-equivalenten en energiebenutting wordt daarom winst geboekt.

Koolstofreservoirs in bossen en landbouwbodems

Momenteel wordt overwogen om landgebruik, landgebruikwijzigingen en bosbouw [2] aan te wenden als mogelijke maatregelen om de doelstellingen van het Kyoto-Protocol te halen. Het principe is het verhogen van koolstofreservoirs via maatregelen die beperkt zijn tot bebossing of herbebossing (Artikel 3.3) of via bijkomende menselijke activiteiten in de landbouwsector (Artikel 3.4). Met dit laatste beoogt men vooral om het koolstofgehalte in de bodem te verhogen.

Natuurlijke bossen en plantages

Natuurlijke bossen of oerbossen staan onder druk en dienen gehandhaafd of hersteld tot worden (*foto's 3,6 en 7*). Daar tegenover staat een steeds toenemende vraag naar bosproducten. De bosbouwindustrie dient daarom meer bosbouwproducten te betrekken uit plantages (*foto's 4 en 5*). Voor een investeerder bieden plantages bovendien meer economische en milieuvoordelen dan natuurlijke bossen, omdat bosbouwproducten geleverd kunnen worden via meerdere rotaties en het kappen van oerbossen kan worden gereduceerd.

Daarenboven kan geïnvesteerd worden in een nieuw bosbouwproduct - koolstof - dat tegen lage kosten kan worden opgeslagen (reservoir). Het eindgebruik van het bosproduct bepaalt hierbij wel de leeftijd en bijgevolg de periode waarin koolstof wordt vastgehouden. Dit is bijvoorbeeld veel hoger voor constructiehout dan voor papier. Het aanleggen van bossen voor brandhout kan daarom niet aangewend worden om de CO₂-uitstoot door fossiele brandstoffen te compenseren. Bossen voor de productie van biomassa dienen gezien te worden als een vorm van hernieuwbare energie, wat onrechtstreeks kan leiden tot een verminderd gebruik van fossiele brandstoffen. Het ecologisch beheer (*foto 5*) en de financiering van dergelijke plantages zijn cruciaal voor het duurzaam succes ervan. Bovendien dient per regio naar een evenwicht gezocht te worden tussen aangelegde plantages en het behoud van natuurlijke, inheemse boscossystemen. Het aanwenden van koolstofkredieten en het verkopen van een nieuw bosproduct - koolstof - biedt dus een bijkomende mogelijkheid voor de financiering van bosplantages.

Organisaties of landen die koolstofkredieten wensen te verwerven om hun broeikasgasemissies te neutraliseren zouden een dialoog kunnen beginnen met bosbouwbedrijven en gastlanden om er voor te zorgen dat projecten

Foto 3 :
Natuurlijk
Nothofagus bos
in het
Conguillio
nationaal park
van Chili.



Foto 4 : Bossen in Zuid Chili, op de voorgrond natuurlijke Nothofagus bos en op de achtergrond (donker groen) tegen de heuvelflank Pinus plantages.

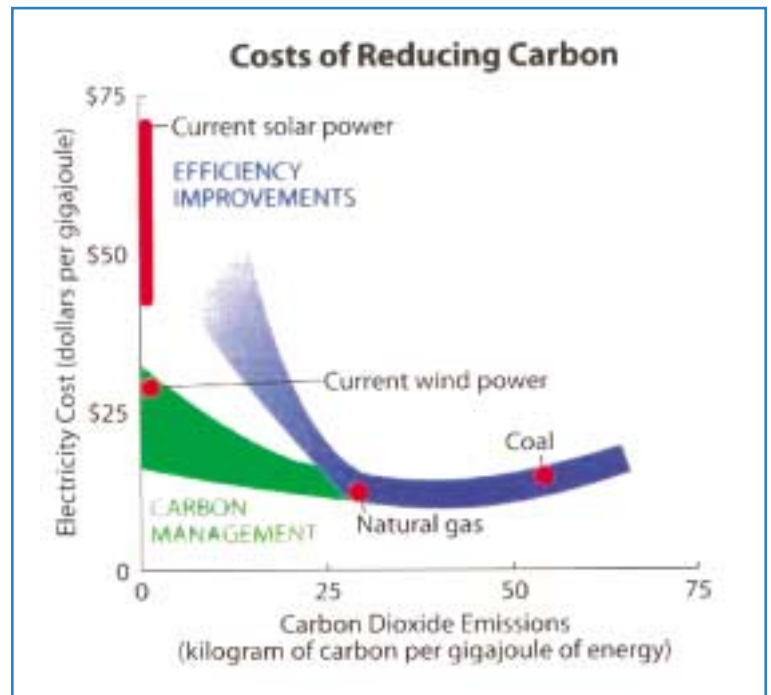
voor koolstofopslag in bosplantages worden gefinancierd en geïmplementeerd, waardoor kan worden bijgedragen tot een globale verlaging van broeikasgasemissies [3]. Voornamelijk Eucalyptus of Pinus plantages kunnen grote hoeveelheden koolstof vastleggen (5 ton C per ha per jaar).

Landbouwbodems

Het potentieel van de landbouwsector om stabiele koolstofputten te creëren is zeer aanzienlijk. Landbouwbodems kunnen tot 5% organisch materiaal bevatten. Dit organisch materiaal bevat ruwweg 50% koolstof. De hoeveelheid, de kwaliteit en de dynamiek van dit bodemorganisch materiaal hangen af van de managementpraktijken en het bodemgebruik. Bij het in cultuur brengen van natuurlijke graslanden of door ontbossing kan bodemorganisch materiaal verloren gaan via microbiële mineralisatie. Hierdoor wordt organische stof omgezet tot CO₂ dat zo in de atmosfeer terecht komt. Een aanzienlijke reeks maatregelen kan aangewend worden om het gehalte van het bodemorganisch materiaal opnieuw te verhogen of op een bepaald niveau te houden. Deze maatregelen hebben zowel betrekking op het wijzigen van het bodemgebruik als op het bodembeheer. Zo kunnen marginale of verlaten landbouwgronden geherwaardeerd worden door ze te converteren naar waterrijke natuurgebieden of bossen. De ondergrondse (maar ook de bovengrondse) koolstofstock kan hierdoor aanzienlijk verhogen. Bovendien zorgt deze omschakeling ook voor een bijkomende natuurwaarde en ontstaat aldus een win-win situatie.

Volgende beheersmaatregelen binnen de landbouw kunnen aangewend worden om het gehalte aan bodemkoolstof in akkers of graslanden te verhogen: beperkte bodembewerking, inwerken van oogstresten, gebruik van slib en dierlijke mest, extensifiëren van de landbouw en het aanmoedigen van bio-energie teelten. Recente studies toonden aan dat het potentieel van deze maatregelen zeer groot is. Bovendien wordt ook hier een win-win situatie gecreëerd: tegelijkertijd verhoogt namelijk de bodemvruchtbaarheid en krijgt de landbouw een meer duurzaam karakter. Hierbij dient wel de bedenking geformuleerd te worden dat het koolstofgehalte van de bodem niet oneindig kan verhogen maar dat een nieuw evenwicht wordt bereikt binnen een periode van 50 tot 100 jaar. De jaarlijkse koolstofaccumulatie in bodems m.b.t. bovenstaand management kunnen variëren tussen 0,1 en 1.0 ton C per ha en per jaar [2].

Voorlopige berekeningen tonen aan dat, wereldwijd, 9 – 12% van de CO₂ die door menselijke activiteiten wordt geproduceerd kan vastgelegd worden via organisch materiaal in de bodem [4]. Smith en co-auteurs [5] becijferden dat, door een combinatie van maatregelen binnen de landbouwsector, en rekening houdende met de beschikbare oppervlakten, de CO₂-uitstoot in de EU-15 tot 9% kan verminderd worden t.o.v. 1990. Lal en co-auteurs [6] en Follet en co-auteurs [7] toonden aan dat de potentiële capaciteit voor koolstofopslag van akkers en graslanden in



Figuur 2 : De reductie van CO₂-emissies door omschakeling van kolen naar gas kan kosten besparen, een verdere reductie is momenteel goedkoper te realiseren via koolstofmanagement (groen) dan via zonne-energie of extreme efficiëntieverbeteringen (blauw); hoewel windkracht relatief goedkoop is zal de beschikbare landoppervlakte de wijde verspreiding beperken [8].



Foto 5 : Het ongecontroleerd kappen van plantages (hier Pinus radiata) kan ernstige erosieproblemen veroorzaken.

Noord-Amerika respectievelijk 75 tot 208 en 29 tot 110 miljoen ton C per jaar bedraagt. Voor akkers en graslanden stemt dit overeen met respectievelijk 8.5 and 5.5% van de jaarlijkse broeikasgasuitstoot van de Verenigde Staten.

Foto 6 :
Fitzroya cupressoides (Alerce) bos: een voorbeeld van de unieke vegetatie in het kustgebergte van Zuid-Chili.



Foto 7 :
Immergroen Nothofagus betuloides bos in het Puyehue nationaal park, een voorbeeld van de oorspronkelijke unieke vegetatie in het gebergte van de Andes in Zuid-Chili.

De toekomst ?

De operationele procedures (regels en afspraken) bij de flexibiliteitsmechanismen en het gebruik van koolstofreservoirs ontbreken ook na de klimaatconferentie van Den Haag. Wij geloven dat de reductie van broeikasgassen o.a. kan gerealiseerd worden door CDM- en JI-projecten of koolstofputten via een zogenaamd duurzaam koolstofmanagement. Keith en Parson [8] (*figuur 2*) geven aan dat koolstofmanagement relatief goedkoper is dan bijvoorbeeld zonne-energie of extreme energie-efficiëntieverbeteringen voor de reductie van CO₂-equivalenten. Hoewel windenergie relatief goedkoop is, zal de beschikbare landoppervlakte de verspreiding hiervan meestal beperken. Bovendien wordt algemeen aanvaard dat dergelijke innovaties plaatsvinden met hun eigen intrinsieke snelheid en niet versneld worden door het politiek beleid.

Onder deze veronderstelling kan het gebruik van (tijdelijke) maatregelen onder de vorm van koolstofmanagement zinvol

zijn, omdat hierdoor tijd vrijkomt om nieuwe technologieën te ontwikkelen die minder kosten en efficiënter zijn dan de huidige beschikbare. Daarom is een snelle politieke beslissing aangewezen om JI, CDM en koolstofputten, binnen goed afgelijnde condities, aan te wenden in afwachting van innovatieve technieken die bijkomende reducties van broeikasgasemissies mogelijk maken tegen een redelijke prijs. Het principe van koolstofmanagement wordt daarom aangezien als de eerste in een rij van haalbare maatregelen om de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren. Politieke wil is nodig om deze mogelijkheid te creëren en van koolstofmanagement een innovatie te maken die de broeikasgasemissies kunnen helpen reduceren tegen aanvaardbare kosten.

Referenties

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1996). Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Cambridge University press, Cambridge, 572 p.
2. Watson R.T., Noble I.R., Bolin B, Ravindranath N.H., Verardo D.J. & Dokken D.J. (2000) Land Use, Land-Use Change and Forestry. A special report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, 377 p.
3. Wright J.A., DiNicola T & Gaitan E (2000) Latin American forest plantations: opportunities for carbon sequestration, economic development, and financial returns. Journal of Forestry 98: 20-23.
4. Batjes N.H. (1999) Management Options for reducing CO₂ concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. ISRIC Report No: 410 200 031, 114 p.
5. Smith P, Powlson D.S., Smith J.U., Falloon P & Coleman K (2000) Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. Global Change Biology 6: 525-539.
6. Lal R, Kimble J.M., Follet R.F. & Cole C.V. (1998) The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Ann Arbor Press, Chelsea, 128 p.
7. Follet R.F., Kimble J.M. & Lal R (2000) The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC press, Boca Rota, 442 p.
8. Keith D.W. & Parson A.W. (2000) A breakthrough in climate change policy. Scientific American 282: 78-79.

De auteurs

Pascal BOECKX is Ingenieur voor de Scheikunde en de Landbouwindustrieën (RUG 1991), Ingenieur in de Milieusanering (1992) en dr. in de toegepaste biologische wetenschappen (RUG 1998). Hij is assistent aan het Laboratorium voor Toegepaste Fysische Chemie, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen van de Universiteit Gent. Hij is als wetenschappelijk expert verbonden aan het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
E-mail : pascal.boeckx@rug.ac.be.

Oswald VAN CLEEMPUT is Ingenieur voor de Scheikunde en de Landbouwindustrieën (RUG 1965) en dr. in de toegepaste wetenschappen (RUG 1981). Hij is gewoon hoogleraar aan het Laboratorium voor Toegepaste Fysische Chemie, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen van de Universiteit Gent en eveneens verbonden aan het IPCC als wetenschappelijk expert.