

Politique
scientifique fédérale



Federaal
Wetenschapsbeleid



Vlaamse
Instelling voor
Technologisch
Onderzoek

Proceedings van de studiedag

Ozon op leefniveau en ozonprecursoren: wetenschappelijke instrumenten en beleid

10 juni 2004

Paleis der Academiën, Brussel

OZON
OZONE

OZON
OZONE

Actes de la journée d'étude

L'ozone dans l'air ambiant et les précurseurs d'ozone: les instruments scientifiques et la politique

OZONE

OZONE

10 juin 2004

Palais des Académies, Bruxelles

Chaque auteur est responsable du contenu de son article.

Elke auteur is verantwoordelijk voor de inhoud van zijn artikel.

Proceedings van de studiedag

**Ozon op leefniveau en ozonprecursoren:
wetenschappelijke instrumenten en beleid**

10 juni 2004

Paleis der Academiën, Brussel

**OZON
OZONE**

**OZON
OZONE**

Actes de la journée d'étude

**L'ozone dans l'air ambiant et les précurseurs d'ozone:
les instruments scientifiques et la politique**

10 juin 2004

Palais des Académies, Bruxelles

OZONE

**OZON
OZONE**

Inhoud / Contenu

Verwelkoming en inleiding

Propos de bienvenue et introduction

Philippe Mettens (Federaal Wetenschapsbeleid / Politique scientifique fédérale)

3

Sessie 1: Situering van het ozonprobleem

Session 1: Présentation de la problématique de l'ozone

9

Beoordeling van de ozonvervuiling in de omgevingslucht: EU-indicatoren en hun verloop in België 11

Gerwin Dumont (IRCEL / CELINE)

Troposferische ozon: een kwaad met vele vertakkingen 23

Chris Vinckier (KULeuven)

Respiratoire effecten van ozon 31

Guy Joos (UGent)

Ozon grenswaarden ter bescherming van de vegetatie: verleden, heden en toekomst 35

Karine Vandermeiren (CODA / CERVA)

Sessie 2: Wetenschappelijke instrumenten voor beleidsondersteuning

Session 1: Présentation de la problématique de l'ozone

45

La modélisation inverse: un outil pour déterminer les émissions 47

Jean-Francois Muller (IASB / BIRA)

BeEUROS: een instrument voor ozonbeleid in België 55

Frans Fierens (IRCEL / CELINE)

Effect van maatregelen in de transportsector op troposferische ozon en de uitstoot van precursoren 63

Ina De Vlieger (VITO)

Analyse coût-efficacité des mesures de réduction des émissions de gaz précurseurs 73

Georges Liébecq (ECONOTEC)

Externe kosten van ozonconcentraties en reducties 81

Rudi Torfs (VITO)

Sessie 3: Beleidsstrategieën in Europa en België		91
Session 3: Stratégies politiques en Europe et en Belgique		
Het Vlaamse NEC-reductieprogramma (NO _x en NMVOS)	93	
<i>David Knight (AMINAL)</i>		
Les autorités publiques face à la problématique de l’ozone: mesures et stratégies	101	
<i>Estelle Ceulemans (Cabinet de la Ministre de l’Environnement)</i>		
Le programme de lutte contre l’ozone en Région wallonne	103	
<i>Annick Fourmeaux (DGRNE)</i>		
Maatregelen op korte termijn in de stad, zinnig?	107	
<i>Peter Vanderstraeten (BIM / IBGE)</i>		
Sessie 4: Slotsessie		117
Session 4: Session de clôture		
Vraagstelling / Questions		
<i>Moderator/Modérateur Luc Int Panis (VITO)</i>		
Slot- en dankwoord / Clôture et remerciements	119	
<i>Martine Vanderstraeten (Federaal Wetenschapsbeleid / Politique scientifique fédérale)</i>		
Samenvatting van de studiedag		121
Résumé de la journée d’étude		
Samenvatting van de studiedag / Résumé de la journée d’étude	123	
<i>Felix Deutsch, Jean Vankerkom (VITO)</i>		
Bijlage 1: Organisatie studiedag		151
Annexe 1: Organisation journée d’études		
Bijlage 2: Deelnemerslijst		153
Annexe 2: Liste de participants		
Bijlage 3: Programma		155
Annexe 3: Programme		



**Philippe Mettens, Voorzitter van het Federaal
Wetenschapsbeleid**

VERWELKOMING EN INLEIDING



**Philippe Mettens, Président de la Politique scientifique
fédérale**



PROPOS DE BIENVENUE ET INTRODUCTION



**OZON
OZONE**

Verwelkoming en inleiding / Propos de bienvenue et introduction

Philippe Mettens

Voorzitter van het Federaal Wetenschapsbeleid / Président de la Politique scientifique fédérale, Wetenschapstraat 8 rue de la Science, B-1000 Brussel-Bruxelles

Mesdames, Messieurs,
Dames en heren,

Het is me een waar genoegen u te mogen verwelkomen op deze studiedag met als thema 'Ozon op leefniveau en ozonprecursoren'. De studiedag wordt gefinancierd door het Federale Wetenschapsbeleid en georganiseerd in samenwerking met de VITO

Met de zomer voor de deur, zal de problematiek van ozon in de leefomgeving ongetwijfeld weer in de actualiteit komen. België kende de laatste twee decennia behoorlijk wat periodes van fotochemische luchtverontreiniging, met name ozonpieken. In augustus 2003 werden we andermaal geconfronteerd met belangrijke ozonoverschrijdingen. Er zijn voldoende redenen om daarover bezorgd te zijn: gezondheidsproblemen, nadelige effecten op gewassen, aantasting van materialen...

Daarenboven neemt de achtergrondconcentratie van troposferisch ozon op wereldvlak gestaag toe. Hierdoor worden drempelwaarden, de waarden waarboven het gevaarlijk wordt voor mens en vegetatie, sneller overschreden.

De eerste sessie van deze studiedag bespreekt de processen en het transport van ozon op leefniveau, de impact ervan op mens en milieu en de samenhang met andere milieuproblemen.

Vervolgens wordt, in de tweede sessie, dieper ingegaan op de wetenschappelijke instrumenten ter ondersteuning van het ozonbeleid. Dankzij de resultaten van jaren van wetenschappelijk onderzoek heeft men een beter inzicht gekregen in de problematiek en in de mogelijkheden en beperkingen van beleidsopties.

Wetenschappelijke bevindingen vinden steeds meer hun weg naar het beleid. Hiervan getuigen de recente initiatieven op verschillende beleidsniveaus (Europees, nationaal en regionaal) die tijdens de laatste sessie aan bod komen.

Tous les acteurs concernés sont à présent convaincus que la problématique de l'ozone doit être considérée dans sa dimension globale et toute sa complexité. Il serait irréaliste de penser que des mesures nationales ou régionales puissent apporter une solution totale à un problème qui est principalement déterminé par des processus globaux.

Ainsi, la circulation de l'ozone et des précurseurs d'ozone à l'échelle planétaire, et l'incidence des concentrations latentes ne peuvent pas être négligées.

Il faut également tenir compte de la complexité des processus chimiques de la formation d'ozone et des interactions entre des mesures de politique dirigées vers différentes problématiques telles que l'ozone, l'acidification ou le changement climatique.

Cette journée d'étude a pour objectif d'apporter les bases scientifiques nécessaires au renforcement de la politique de l'ozone. En effet, la recherche doit renforcer la capacité de la Belgique de contribuer au développement et à l'évaluation de mesures au niveau national, Européen et international.

Dans la suite de mon exposé je souhaiterais préciser la place de la problématique de l'ozone dans les activités de recherches de la Politique scientifique. Je profiterai de cette occasion pour réaffirmer le rôle de la Politique scientifique fédérale que j'ai le privilège de présider.

La mission de la Politique scientifique fédérale est double:

- c'est une mission opérationnelle, à travers des programmes de recherche en appui à la décision et le soutien à des réseaux de recherche fondamentale;
- c'est également une mission de coordination de l'ensemble de l'effort de recherche fédéral mais aussi des stratégies de mise en œuvre de l'espace européen de la recherche.

Ainsi, la Politique scientifique fédérale centre-t-elle ses initiatives sur des domaines où la recherche est porteuse de solutions concrètes à des problématiques à large incidence sociétale.

Confrontées à la complexité des évolutions techniques, économiques, sociales et environnementales, les autorités publiques ne peuvent plus se fonder uniquement sur des avis scientifiques partiels et occasionnels. Ces instances doivent pouvoir s'appuyer sur une expertise scientifique permanente et cohérente, fournie par des équipes de recherche capables d'orienter de manière durable leurs travaux en fonction des demandes actuelles et futures de la société. Ainsi, le caractère proactif des recherches doit être renforcé.

C'est la raison pour laquelle un volet important des activités de la Politique scientifique fédérale prend la forme de programmes pluriannuels d'aide à la décision.

L'appui scientifique répond à plusieurs exigences:

- formuler et éclairer correctement les choix du monde politique;
- établir un diagnostic complet des situations et des problèmes qui appellent une intervention des pouvoirs publics;
- élaborer des conclusions et des recommandations utilisables dans le processus de préparation et de mise en œuvre des politiques elles-mêmes;
- anticiper les besoins futurs en terme de connaissances.

Les domaines d'interventions principaux sont les suivants:

- le développement durable;
- la protection de la santé du travailleur;
- la cohésion sociale;
- la société de l'information;
- les pôles d'attraction interuniversitaires (c'est à dire la mise en commun des savoirs des universités flamandes et francophones autour de projets définis);
- les pôles d'attraction technologiques;
- les banques de données administratives et statistiques.

Ces domaines de recherche sont annuellement financés à hauteur de 92 millions d'euros environ, c'est-à-dire 20% de notre budget annuel global. Cela représente près de 600 contrats passés entre la Politique scientifique fédérale et ses partenaires (belges et non belges, car plusieurs de ces programmes sont ouverts aux équipes européennes).

Het thema van de studiedag vandaag sluit inhoudelijk aan bij de onderzoeksactiviteiten die het Federaal Wetenschapsbeleid sinds het begin van de jaren negentig financiert in het brede domein van Duurzame ontwikkeling. In de eerste helft van de jaren negentig waren er de impulsprogramma's 'Global change' en 'Transport en Mobiliteit'.

Aansluitend, van 1996 tot 2001, werden beide onderzoeksdomeinen geïntegreerd in het eerste 'Plan voor wetenschappelijke ondersteuning van een beleid gericht op duurzame ontwikkeling', het zogenaamde PODO I.

Een tweede 'Plan voor wetenschappelijke ondersteuning van een beleid gericht op duurzame ontwikkeling', het PODO II, loopt van 2001 tot eind 2005.

Zowel het PODO I als het PODO II worden uitgevoerd in het kader van een Samenwerkingsakkoord tussen de federale overheid, de Gewesten en de Gemeenschappen.

Momenteel is een integratie en assessment-rapport in voorbereiding waarin de resultaten en (potentiële) beleidstoepassingen van 12 jaar onderzoek betreffende 'Global change' worden geanalyseerd. Eén van de hoofdstukken behandelt specifiek de problematiek van troposferisch ozon.

Daarnaast bereiden mijn medewerkers een syntheserapport voor van het onderzoek dat betrekking heeft op de ozonproblematiek, doorheen de verschillende onderzoeksacties van het Federaal Wetenschapsbeleid met inbegrip van het onderzoek uitgevoerd door de Federale Wetenschappelijke Instellingen. Dit rapport beantwoordt aan de verbintenissen van het Federaal Wetenschapsbeleid in het kader van het Nationaal Ozonplan.

Beide documenten worden eind juni aan al de deelnemers aan deze studiedag toegestuurd.

Hierbij wens ik nogmaals te benadrukken dat de studiedag en de geplande rapporten perfect passen binnen het geheel van de mechanismen die het Federaal Wetenschapsbeleid ontwikkelt om bij te dragen tot het valoriseren van de wetenschappelijke kennis die binnen de programma's tot stand komt en tot het versterken van de raakvlakken tussen onderzoek en beleid.

Tot slot wil ik iedereen die heeft bijgedragen aan de voorbereiding van deze studiedag oprecht bedanken, in het bijzonder de leden van het wetenschappelijke comité dat samen met de organisatoren het concept en de inhoud van deze dag heeft uitgewerkt.

Rest mij u allen een vruchtbare studiedag toe te wensen en u uit te nodigen de dialoog ook in de toekomst verder te zetten.



Voorzitter: Martine De Mazière (BIRA)

SITUERING VAN HET OZONPROBLEEM

Président: Martine De Mazière (IASB)

**PRÉSENTATION DE LA PROBLÉMATIQUE DE
L'OZONE**

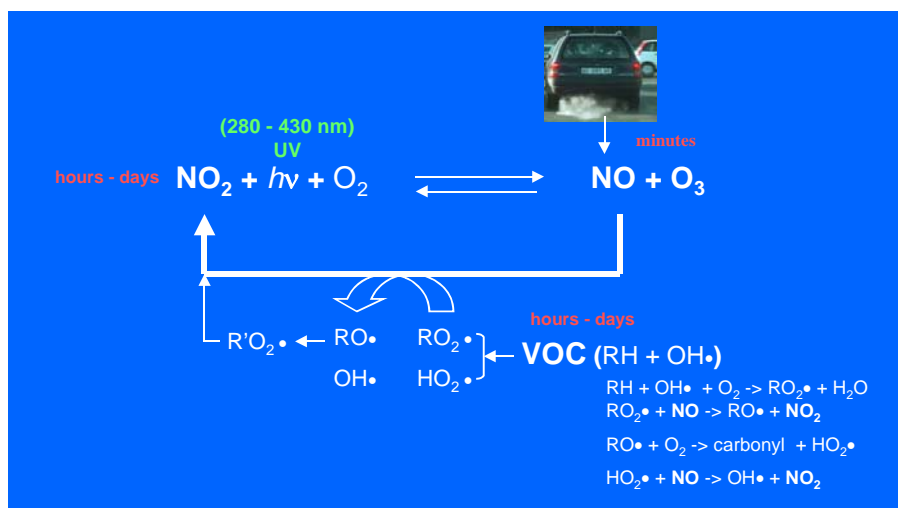
Beoordeling van de ozonvervuiling in de omgevingslucht: EG-indicatoren en hun verloop in België

Gerwin Dumont

Intergewestelijke Cel Leefmilieu (IRCEL), Kunstlaan 10-11, B-1210 Brussel

In een eerste deel wordt de vorming en afbraak van ozon in de omgevingslucht schematisch voorgesteld en besproken. Een tweede deel definieert de indicatoren die binnen de EG gehanteerd worden om de ozonvervuiling in de omgevingslucht te beschrijven en te vergelijken. Deze EG-indicatoren worden besproken en hun verloop in België wordt geïllustreerd. Tot slot wordt nagegaan of de situatie in België verbetert dan wel verslechtert.

1. VORMING EN AFBRAAK



Figuur 1. Principeschema voor de vorming en afbraak van ozon in de omgevingslucht.

Ozon in de omgevingslucht wordt gevormd door inwerking van UV-licht ($h\nu$) op stikstofdioxide (NO_2). Daardoor ontstaat een zuurstofatoom dat heel snel combineert met een zuurstofmolecule (O_2) en daarbij ozon (O_3) en NO vormt. Het gevormde ozon reageert met NO terug naar NO_2 . Deze reacties verlopen snel (enkele minuten) en in verder niet vervuilde lucht stelt zich uiteindelijk een fotostationair evenwicht in waarbij de bereikte ozonconcentratie enkele 10-tallen $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt.

Een *netto verhoogde aanmaak van ozon* wordt alleen bekomen wanneer er extra NO_2 gevormd wordt door andere reacties. Er is een grote groep van reactieve stoffen die NO kunnen oxideren tot NO_2 , namelijk de peroxyradicalen (RO_2) en het waterstofperoxide (HO_2). Die ontstaan in de omgevingslucht als tussenproducten in de oxidatie van VOS-vervuiling (vluchtige organische stoffen, in het schema als RH-alkanen voorgesteld) onder invloed van zonlicht. Die oxidatie is complex en begint meestal door een aanval van het hydroxylradicaal ($\text{RH} + \text{OH}\cdot$). De gevormde peroxyradicalen reageren dan met NO, leveren het extra NO_2 maar daarbij wordt het hydroxylradicaal terug vrijgezet. OH werkt dus als een soort katalysator. Via zeer complexe reacties kan het gevormde RO radicaal verder reageren tot andere organische peroxiden (RO_2) die dan ook weer NO oxideren tot NO_2 . Het is de totale capaciteit

van een bepaalde VOS om peroxiden te vormen die zijn ‘fotochemisch ozonvormingspotentialiaal’ uitmaakt.

1.1 Ozonregimes

Het ozongedrag in de omgevingslucht wordt bepaald door de verhouding NO/VOS:

- Bij weinig NO zal die schaarse NO bepalend zijn voor de hoeveelheid nettoproductie van ozon. De (te) overvloedig aanwezige VOS kunnen zelfs onder elkaar reageren in plaats van met NO. De hoeveelheid ‘brandstof’ (NO) voor de ozonmotor is hier bepalend voor het bereikte ozongehalte. Dit regime wordt het NO_x-gecontroleerde ozonregime genoemd. Een vermindering van NO_x (van brandstof) leidt in dit regime tot minder ozon.
- Bij ‘evenwaardige’ aandelen NO en VOS (de verhouding VOS/NO_x = 8/1) draait de netto ozonproductie optimaal: zowel de brandstof (NO) als de motor (VOS) zijn bepalend voor het eindresultaat aan ozon. Een vermindering van allebei leidt tot vermindering van het ozonresultaat.
- Bij een overmaat aan NO (d.w.z. op plaatsen of tijdstippen waarop steeds maar verder NO in het systeem wordt gepompt) zal die overmaat NO het ozon voor een stuk wegtitren tot NO₂. Hier is het de capaciteit van de motor zelf (VOS) die bepalend is voor de netto ozonproductie (VOS-gecontroleerd regime). Een afname aan VOS leidt tot minder ozon. Een vermindering van de NO echter brengt in deze situatie een vermindering van de titratie met zich mee, d.w.z. een vermindering van de ozonafbraak, dus een vermeerdering van ozon als eindresultaat.

1.2 Minder NO betekent meer O₃ en omgekeerd

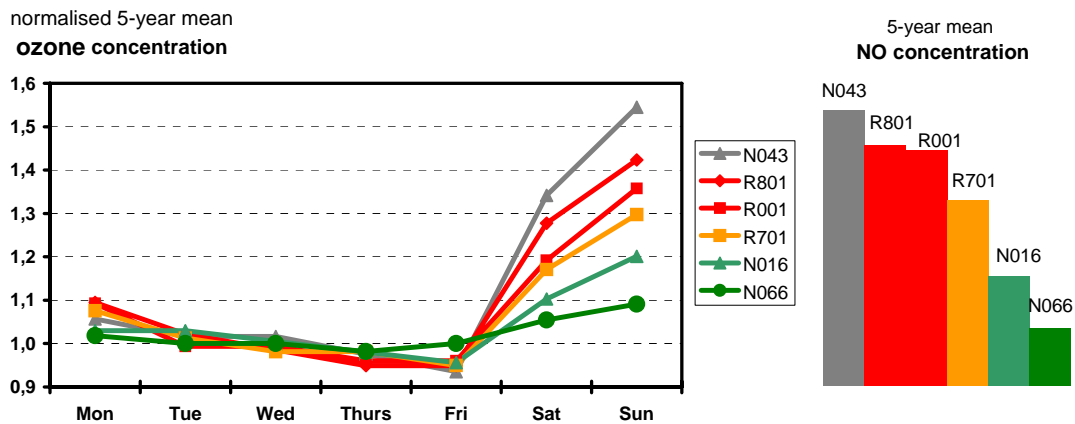
In de gebieden waar de ozonvorming gecontroleerd wordt door de VOS (waar dus een overmaat aan NO is) wordt het ozon onderdrukt (getitreerd) door het overmatige NO. Waar en/of wanneer die onderdrukking kleiner is en/of gedeeltelijk wegvalt, kan de ozonvorming vergroten. Hieronder twee voorbeelden daarvan.

1.2.a *Er is meer ozon op het platteland dan in de steden*

Noordwest-Europese regio's (waaronder België) kennen, wegens de grote dichtheid aan industrie en verkeer, een overmaat aan NO (VOS-gecontroleerd ozonregime). En dat is bij voorbaat het geval in de steden en langs verkeerswegen waar de uitstoot door auto's (voornamelijk NO) zeer groot is. Omdat dit NO maar enkele minuten in de lucht verblijft (het wordt omgezet naar het veel langer overlevend NO₂) is dus de grootste titratie van ozon dicht bij de auto's. Grote titratie betekent lage ozonwaarden. Daarom zijn de concentraties van ozon lager in de binnensteden dan op de buiten waar er minder verkeer is en waar het NO (oorspronkelijk afkomstig van het verkeer in en rond de steden) zich al heeft omgezet tot NO₂. De hoogste ozonconcentraties worden bijgevolg genoteerd in gebieden waar de NO-belasting het kleinst is: in rurale en afgelegen verkeersarme streken. In Wallonië zijn daarom de ozonconcentraties gemiddeld hoger dan in Vlaanderen of in Brussel.

1.2.b *In de steden is er meer ozon tijdens het weekend*

Een andere manier om lagere NO-waarden te bekomen doet zich voor tijdens elk weekend in de steden. Waar in de week de uitstoot ervan hoog is, zakt die tijdens het weekend met zo'n 30%. Op zaterdagen en zondagen is er bijgevolg minder titratie van ozon door NO en dus meer ozon.



Figuur 2. Wanneer, zoals tijdens het weekend met minder verkeer, de afbraak (titratie) van ozon door NO vermindert, dan stijgen de ozongehaltes. Het weekendeffect is des te meer uitgesproken naarmate de NO-onderdrukking in de week groter is nl. op plaatsen met veel verkeer (N043, Haren). Het effect verdwijnt praktisch op plaatsen waar de NO-belasting het laagst is (bv. N066, Eupen in een bos).

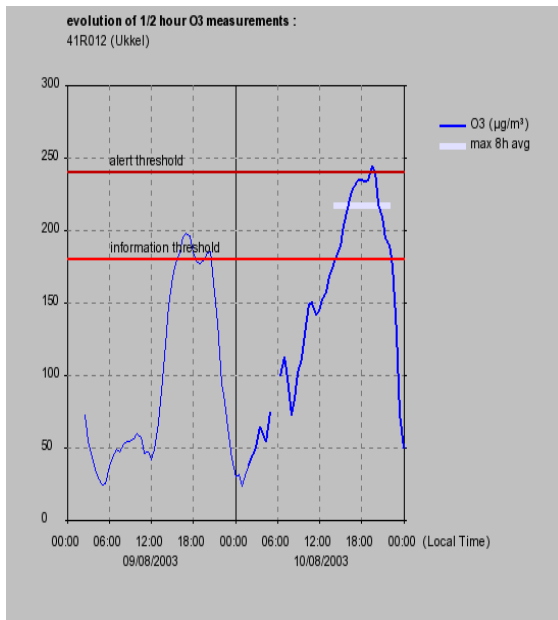
Dit fenomeen dat zowel experimenteel als modelmatig is vastgesteld in onze Noordwest-Europese steden, wordt het ozon weekendeffect genoemd. Hoe hoger de NO-concentratie tijdens de week, hoe groter het weekendeffect op zaterdag en zondag. Het weekendeffect daalt met de afname van de NO-situatie: het hoogst in een verkeersstation (N043, Haren), over stations in binnensteden (R801, R001 en R701, Antwerpen, Brussel en Gent) naar afgelegen gebieden (N016, Dessel en N066, Eupen) waar het weekendeffect zich nog nauwelijks manifesteert.

1.2.c Kortetermijnmaatregelen tijdens episodes met veel ozon

Als kortetermijnmaatregelen in vervuilde Noordwest-Europese streken (waaronder ons land) erin zouden bestaan om het verkeer in periodes met veel ozon te verminderen tot op het niveau van tijdens het weekend (een 30% vermindering van de uitstoot), dan leert het weekendeffect ons dat de ozonconcentraties zullen stijgen. Dit is te wijten aan de verminderde afbraak van ozon wat een netto stijging betekent. Wegens verminderde uitstoot van NO wordt ozon immers minder weggetitreerd.

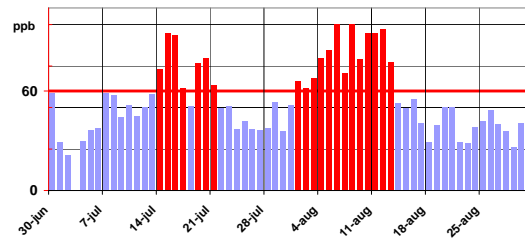
2. EG-INDICATOREN OM DE OZONVERVUILING TE KUNNEN BEOORDELEN

In de tweede helft van de jaren '90 heeft de EG-commissie een geïntegreerd plan opgemaakt ter bestrijding van de verzuring, vermisting en vervuiling door ozon in de EU-15. Dit plan leverde een nieuwe ozonrichtlijn op (2002/3/EG) en een richtlijn met een beperking van de maximaal per lidstaat toegelaten uitstoot aan SO₂, NO_x, NH₃ en VOS (de NEC-richtlijn 2001/81/EG). In de richtlijn betreffende ozon in de lucht worden 2 parameters gebruikt om de langetermijndoelstellingen en streefwaarden voor ozon te kwantificeren. Het **'hoogste 8-uursgemiddelde van een dag'** en **'AOT40_{ppb}'** (Accumulated exposure Over the Threshold of 40ppb = 80 µg/m³).

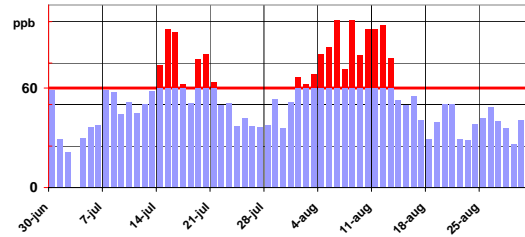


Hoogste 8-uursgemiddelde op 10/08/03 te Ukkel bedroeg 220 µg/m³

bron: <http://www.irceline.be>



NET60_{ppb-max8u}: het aantal dagen waarop het hoogste 8-uursgemiddelde > 120 µg/m³ (=60 ppb)



Illustratie van de AOT60_{ppb-max8u}: de som van de overschotten boven 120 µg/m³ (=60 ppb) van de hoogste 8-uursgemiddelden van elke dag

Figuur 3. Illustratie van de parameters die aan de basis liggen van de ozon beoordelings-indicatoren die in de EG-bestrijdingsstrategieën EG-ozonrichtlijn worden gebruikt.

Voor de bescherming van de volksgezondheid worden met de parameter 'hoogste 8-uursgemiddelde van een dag' twee varianten van een toestandsindicator gedefinieerd:

- een overschrijdingsindicator: het aantal dagen per kalenderjaar waarop het hoogste 8-uursgemiddelde van die dag groter is dan 120 µg/m³ (= 60 ppb) (**NET60_{ppb-max8u}**: Number of Exceedances of the Threshold door het hoogste 8-uursgemiddelde)
- een jaaroverlastindicator: het overschot boven 120 µg/m³ van het hoogste 8-uursgemiddelde per dag, opgeteld over alle dagen van een kalenderjaar (**AOT60_{ppb-max8u}**);

Voor de bescherming van ecosystemen wordt de parameter 'AOT40ppb' gebruikt:

- voor bossen wordt deze parameter bepaald over de maanden april tot en met september het overschot boven 80 µg/m³ van alle uurwaarden tussen 8 en 20 uur (Midden-Europese tijd) opgeteld tijdens de maanden april tot en met september (**AOT40_{ppb-bossen}**).
- voor gewassen en semi-natuurlijke vegetatie wordt met deze parameter een beperkter seizoen bestreken: het overschot boven 80 µg/m³ van alle uurwaarden tussen 8 en 20 uur (Midden-Europese tijd) opgeteld tijdens de maanden mei, juni en juli (**AOT40_{ppb-vegetatie}**).

Tabel 1. EG-streefwaarden, langetermijndoelstellingen en referentiewaarde (is geen doelstelling: alleen een toetsingscriterium).

indicator	streefwaarde (in 2010)	Langetermijn-doelstelling	referentie
NET60ppb-max8u	≤ 25 dagen per kalenderjaar (gemiddeld over 3 jaar)	0 (niet meer)	
AOT60ppb-max8u	vermindering met 2/3 t.o.v. 1990 en nergens meer dan 5 800 (µg/m ³).u	0	
AOT40ppb-vegetatie	≤ 18 000 (µg/m ³).u (gemiddeld over 5 jaar)	6 000 (µg/m ³).u	
AOT40ppb-bossen			20 000 (µg/m ³).u

Een overschrijdingsindicator (zoals NET60ppb-max8u) geeft alleen het aantal keren (dagen) aan waarop een bepaalde drempel wordt overschreden. Deze indicator houdt geen rekening met de sterkte van de overschrijding. Daarom is die minder geschikt om de overlast uit te drukken. Die overlast wordt wel gegeven door de AOT-indicatoren die een integraal zijn van de totale hoeveelheid overschrijding (en daarom uitgedrukt worden in (concentratie x duur): in (µg/m³).uren of in ppb.uren).

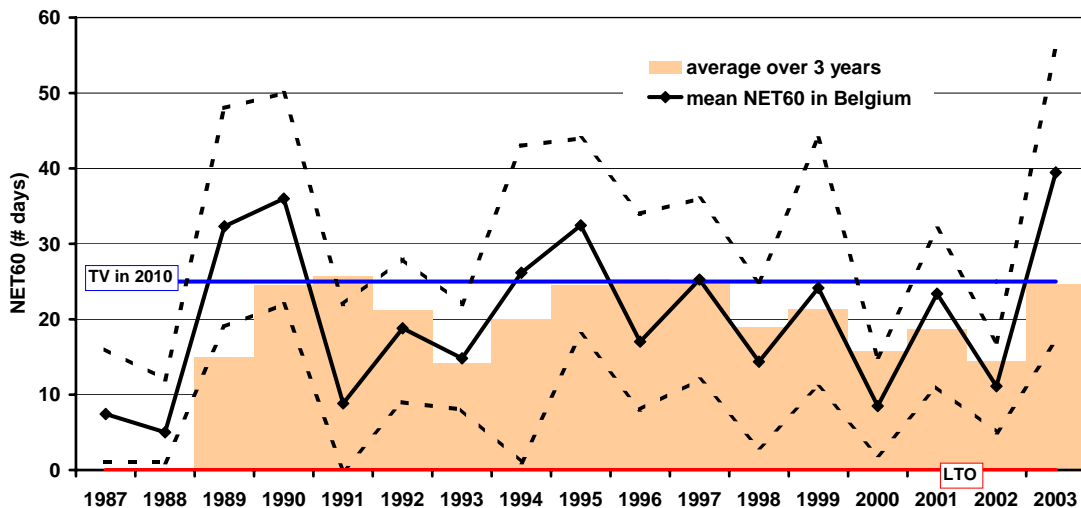
3. TRENDS VAN DE INDICATOREN IN BELGIË

In volgende 4 grafieken wordt voor elke indicator telkens voor elk jaar de ruimtelijk gemiddelde waarde over België weergegeven en (in stippellijn) de hoogste en de laagste waarde ervan in België. Die ruimtelijk gemiddelde waarde wordt verkregen door voor elk uur (AOT40ppb) of elke dag (AOT60ppb-max8u) van het jaar de meetwaarden vanuit de meetplaatsen ruimtelijk te interpoleren naar elke cel van een 5 x 5 km-vierkantenrooster. In elk roostervierkant worden de bekomen interpolatiewaarden geaccumuleerd over een jaar, waarna ze worden uitgemiddeld over het betrokken Gewest of over België. Voor de gezondheidsindicatoren doen alle roostervierkanten mee in de uitmiddeling. Voor de indicatoren voor gewassen en bossen wordt alleen maar uitgemiddeld over roostervierkanten waar hoofdzakelijk gewassen (en semi-natuurlijke begroeiing) staan, respectievelijk bossen.

3.1 Indicatoren voor de bescherming van de volksgezondheid

3.1.a NET60_{ppb}-max8u

De langetermijndoelstelling (LTO) voor de overschrijdingsindicator gelijk aan nul: de 8-uursgemiddelde ozonconcentratie in de omgevingslucht mag op geen enkele dag nog boven 120 µg/m³ uitstijgen. Als streefwaarde (TV) wordt vanaf het jaar 2010, gemiddeld over 3 jaar, nog slechts 25 dagen per kalenderjaar toegestaan waarop de LTO mag worden overschreden.

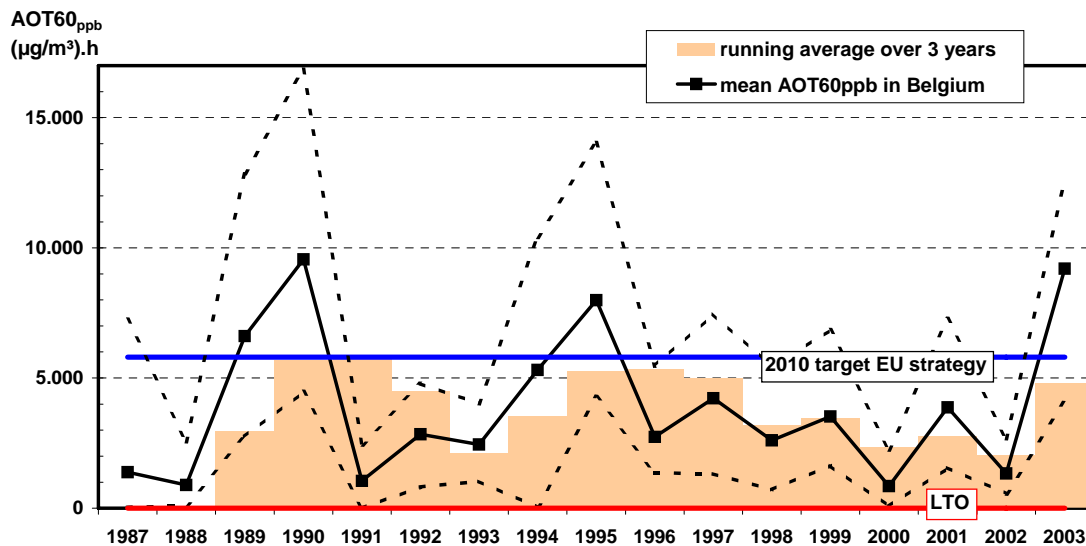


Figuur 4. Evolutie van de overschrijdingsindicator: het aantal dagen waarop het hoogste 8-uursgemiddelde groter is dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{NET60}_{\text{ppb-max8u}}$) (België, 1987-2003).

Met de nodige reserves (zie hoger) voor een overschrijdingsindicator, geeft dit verloop toch min of meer de jaarlijks variërende meteorologische omstandigheden weer. De uitmiddeling over 3 jaar is bedoeld om al te grote jaarlijkse schommelingen wat af te vlakken. In 2003 waren er gemiddeld over België 39 dagen waarop een hoogste 8-uursgemiddelde groter dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werd vastgesteld. 87% van de bevolking kende meer dan op 25 dagen een overschrijding van de toekomstige streefwaarde voor 2010.

3.1.b $\text{AOT60}_{\text{ppb-max8u}}$

Ook de overlastindicator die over een jaar de som maakt van de overschrijdingen van het hoogste 8-uursgemiddelde van elke dag boven $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ volgt de meteorologische variatie tussen de verschillende jaren. Uiteindelijk mogen zich geen dergelijke overschrijdingen meer voordoen en dus is de langetermijndoelstelling (LTO) = nul. De EG-bestrijdingsstrategie bepaalt een maximale waarde van $5800 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$, te halen in 2010. De overlast in 2003 bedroeg gemiddeld in België $9\ 200 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{u}$.

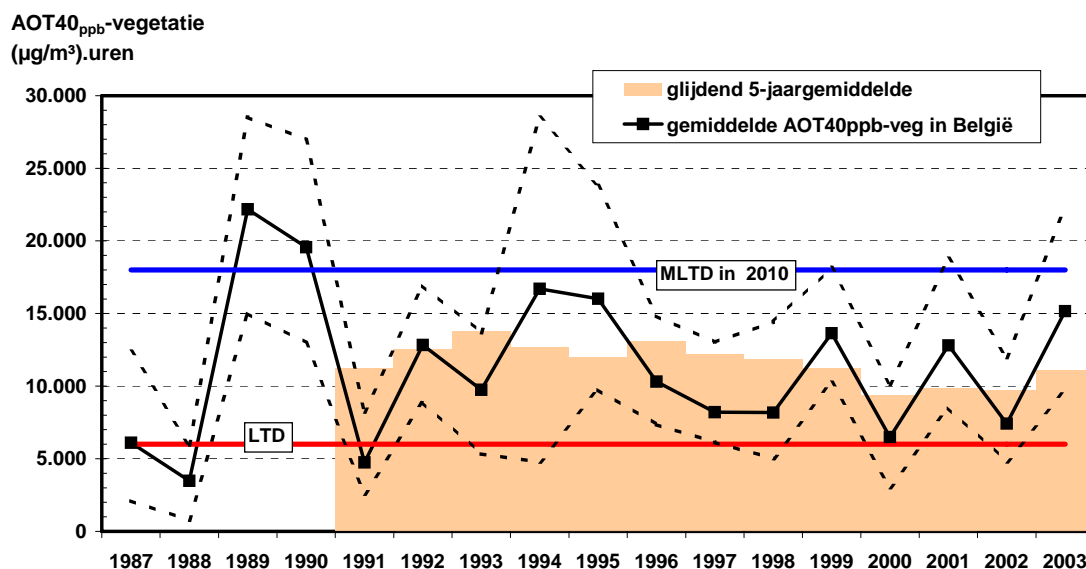


Figuur 5. Verloop van de jaarlijks gesommeerde overlast van het hoogste 8-uursgemiddelde per dag boven $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{AOT60}_{\text{ppb-max8u}}$) (België, 1987-2003).

3.2 Indicatoren voor de bescherming van ecosystemen

3.2.a AOT40_{ppb}-vegetatie

De indicator voor de belasting van gewassen (optelsom gedurende de maanden mei, juni en juli van de overlast boven 80 µg/m³, tijdens de daguren) bleef al bij al nog gematigd in 2003 omdat de hoofdepisode van ozon zich in de eerste helft van augustus situeerde, een maand die in principe buiten het groeiseizoen van de gewassen valt.

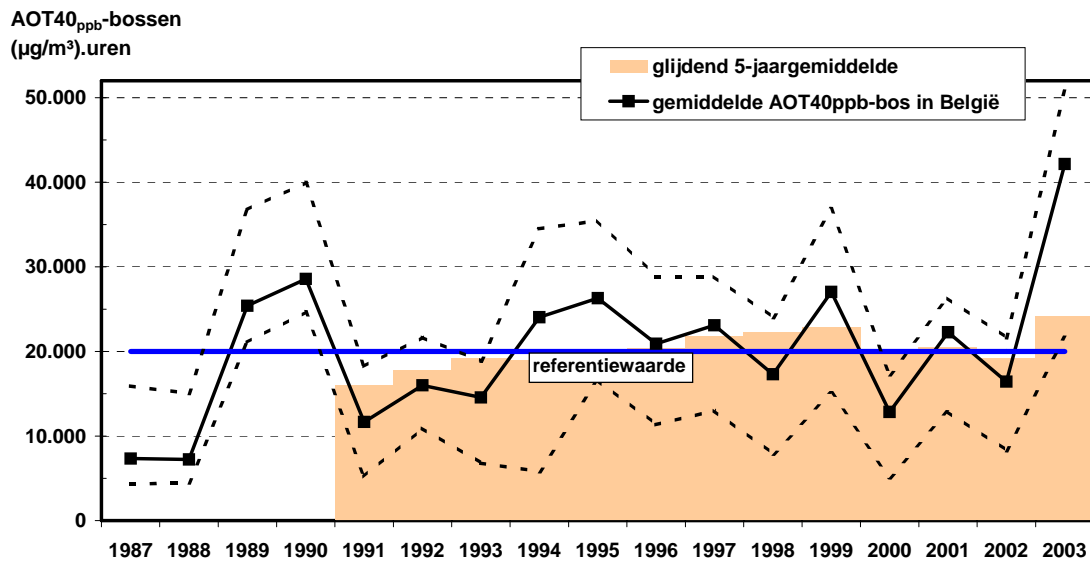


Figuur 6. Evolutie van de gemiddelde waarde van de seizoensoverlast voor akkergewassen en semi-natuurlijke vegetatie (AOT40_{ppb}-vegetatie), met aanduiding van het glijdend 5-jaargemiddelde (België, 1987-2003)

De indicator voor de bescherming van gewassen is in België het best gerespecteerd: al meer dan tien jaar blijft de gemiddelde waarde ervan onder de streefwaarde van 18 000 (µg/m³).u die door de EG-richtlijn wordt vooropgesteld voor 2010.

3.2.b AOT40_{ppb}-bossen

Voor de bossen was de zomer van 2003 erg belastend: vooral in Wallonië liep de overlast hoog op. Uit een vergelijking met de indicator voor gewassen blijkt dat de eis voor de bossen veel strenger is. In de laatste 10 jaar schommelde de gemiddelde overlast steevast rond de EG-referentiewaarde.

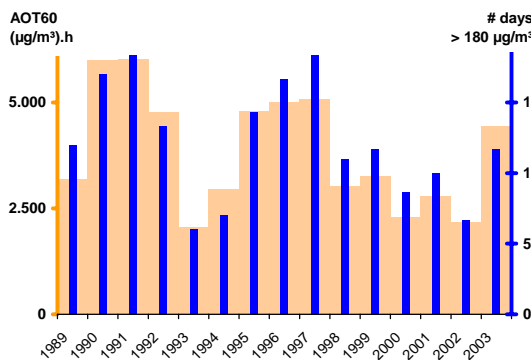


Figuur 7. Evolutie van de gemiddelde waarde van de overlast voor bossen ($AOT40_{ppb}$ -bossen), met aanduiding van het glijdend 5-jaargemiddelde (België, 1987-2003).

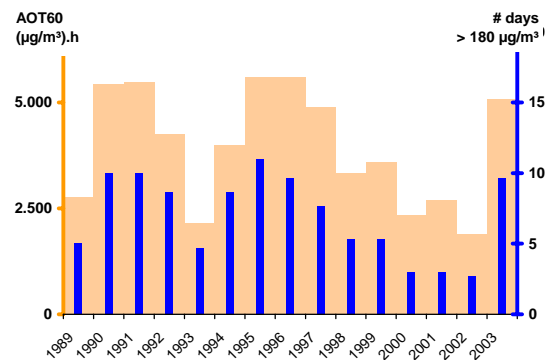
In 2003 werd die EG-referentiewaarde van 20 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u zelfs voor 100% van het bosbestand overschreden. De gemiddelde waarde voor Belgische bossen bedroeg 42 100 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u.

4. INLICHTEN VAN DE BEVOLKING

De ozonrichtlijn 2002/3/EG voorziet behalve streefwaarden en langetermijndoelstellingen ook een *informatiedrempel* waarbij de bevolking dient ingelicht te worden ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gedurende 1 uur) en een *alarmdrempel* ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Indien voorzien wordt dat de alarmdrempel gedurende 3 opeenvolgende uren zou kunnen worden overschreden kunnen er maatregelen genomen worden indien deze het schadelijke effect van ozon kunnen beperken. De informatiedrempel is de best gekende 'Europese drempelwaarde' bij de verantwoordelijke instanties, pers en bevolking. Het aantal dagen waarop die drempel wordt overschreden wordt vaak, ten onrechte, als maat genomen voor de ernst van de ozonvervuiling in een bepaald jaar. Dat aantal dagen -zoals elke overschrijdingsindicator- houdt geen rekening met de ernst noch met de duur van de overschrijding, wat een AOT-indicator wel doet.



Figuur 8. $AOT60_{ppb-max8u}$ en aantal dagen met overschrijding van de EG-informatiedrempel ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in **Vlaanderen** (glijdend 3 jaar gemiddelde)



Figuur 9. $AOT60_{ppb-max8u}$ en aantal dagen met overschrijding van de EG-informatiedrempel ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in **Wallonië** (glijdend 3 jaar gemiddelden)

Dit wordt geïllustreerd in grafieken 8 en 9: voor een *grotere ozonoverlast* (AOT60ppb-max8u) in Wallonië dan in Vlaanderen (zie de achtergrond in de figuren) worden er nochtans beduidend *minder dagen* met overschrijding van de EG-informatiedrempel geteld. Wie alleen let op het aantal dagen dat ozon ‘in de pers komt’, kan verkeerdelijk besluiten dat het ozonprobleem minder erg is in Wallonië dan in Vlaanderen.

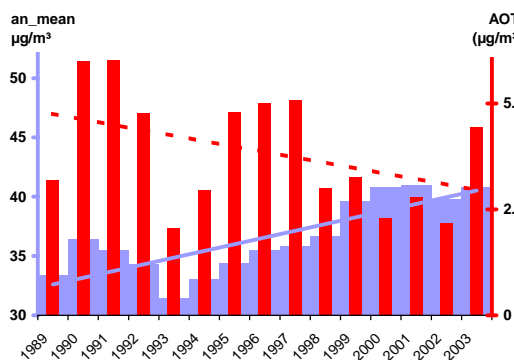
5. WORDT HET BETER OF SLECHTER?

Met de 'drempel'-begrippen AOT en NET beoogde de EG-strategie de piekoverlast binnen de EU te verminderen. Ook de Wereld Gezondheidsorganisatie (WGO) stelde als streefwaarde het niet meer overschrijden van een 'drempel' (120 µg/m³ gedurende 8 uur). Sindsdien zijn de opvattingen op het gebied van effecten voor de volksgezondheid geëvolueerd.

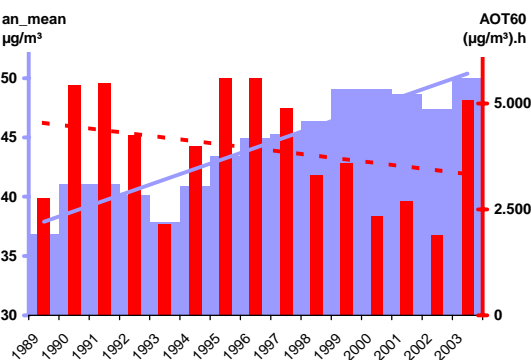
Een WGO-werkgroep (Health aspects of air pollution - answers to follow-up questions from CAFE (*Clean Air For Europe* (COM(2001)245), Bonn, januari 2004) bekijkt alle, ook recente toxicologische en epidemiologische gegevens. Hoewel er in toxicologische studies binnen uniforme selectieve populaties wel degelijk drempelwaarden voor effecten vastgesteld worden, varieert in de hele bevolking de blootstelling en de persoonlijke gevoeligheid zowel in de tijd als over verschillende individuen zodanig dat er voor de bescherming van de volksgezondheid in het algemeen geen drempelwaarden meer kunnen worden vastgesteld. Dit betekent dat het niet uit te sluiten is dat, behalve de pieken ook de lagere ‘doordeweekse’ concentraties van ozon (soms) schadelijk kunnen zijn voor (sommige groepen uit) de bevolking.

5.1 De pieken dalen maar de jaargemiddelde concentraties stijgen

Met de WGO-waarschuwing in gedachten is nagegaan hoe de pieken (AOT60ppb-max8u) maar ook de jaargemiddelde ozonconcentratie (an_mean) in Vlaanderen en Wallonië evolueren.



Figuur 10. Jaargemiddelde en AOT60_{ppb-max8u} in Vlaanderen (glijdend 3 jaar gemiddelden)



Figuur 11. Jaargemiddelde en AOT60_{ppb-max8u} in Wallonië (glijdend 3 jaar gemiddelden)

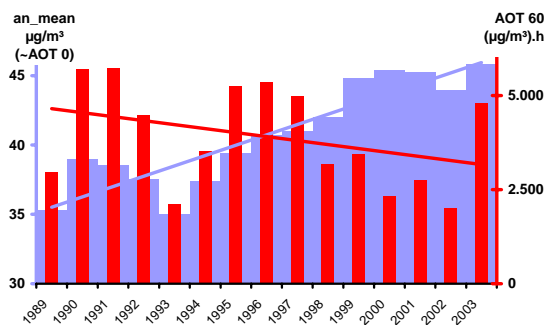
Over de laatste 15 jaar zijn zowel in Vlaanderen als in Wallonië de pieken (AOT60ppb-max8u) afgenomen en de jaargemiddelde concentraties (an_mean) toegenomen. De jaargemiddelden, die in Wallonië hoger zijn wegens o.m. minder uitstoot van NO door het verkeer (zie 1.2 *minder NO betekent meer O₃*), nemen per jaar met respectievelijk 0,6 en 0,9 µg/m³ toe en bereiken nu 40 en 50 µg/m³. Deze toename tekent zich af voor elk seizoen en zowel voor de dag- als voor de nachtwaarden. Ze wordt ook in andere omliggende landen (met hetzelfde VOS-gecontroleerde regime) opgemerkt. Doorgaans wordt de toename van deze ‘achtergrondconcentratie’ toegeschreven aan:

- de algemeen stijgende uitstoot van ozonvoorlopers NO_x en VOS (ook van methaan en CO) in het noordelijke halfrond: zowel in Noord-Amerika als in Azië (zie de exponentiële economische expansie in China). Dit reservoir aan ozonvormende vervuiling neemt toe ondanks de afname van de uitstoot in West-Europa. De ‘schone’ luchtmassa's die van over de Atlantische Oceaan Europa in het Westen van Ierland binnenkomen (Mace Head waarnemingsstation) vertonen een jaarlijkse aangroei van ozon met 0,48 ppb ($\cong 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gedurende de laatste 15 jaar tot een niveau van 39 ppb in 2001.
- De maatregelen die in Noordwest-Europa genomen zijn sinds het begin van de jaren '90 om de ozonpieken te verminderen. Die maatregelen in het verkeer (waaronder bv. de veralgemeende invoering van de katalysator) verminderen de uitstoot van VOS waardoor de pieken in een VOS-gecontroleerde regio inderdaad dalen. Maar de bijhorende daling van de NO-uitstoot verhoogt in eerste instantie de ozon-achtergrondniveaus. Alleen een nog verdergaande daling van de emissies kan de situatie in fino ten goede keren.

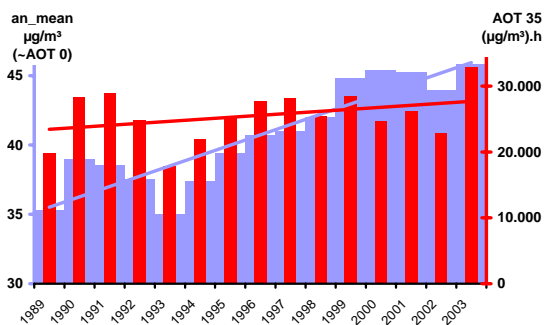
5.2 Nieuwe indicatoren in de nieuwe EG-strategie

5.2.a Strategie voor de bescherming van de volksgezondheid tegen ozon

Een gezamenlijke WGO/UNECE Task Force Gezondheid raadde ten behoeve van de nieuwe EG-strategie (tot 2020) tegen ozonvervuiling toch nog een drempelwaarde aan voor de hoogste 8-uurswaarde van een dag. Beleidsstrategieën en kosteneffectiviteitsberekeningen van de maatregelen hebben namelijk niet alleen een indicator nodig maar ook een waarde waarnaar moet gestreefd worden. Om toch rekening te houden met de recentste WGO-bevindingen over mogelijke gezondheidseffecten bij lage concentraties, wordt de streefwaarde vastgelegd op het huidige ‘achtergrondniveau’ in de EG, namelijk 35 ppb. De nieuwe gezondheidsindicator wordt dus waarschijnlijk AOT35ppb-max8u. Anticiperend op deze beslissing is hieronder voor België nagegaan hoe de AOT35ppb-max8u in de tijd evolueert.



Figuur 12. **AOT60_{ppb-max8u}** en jaargemiddelde in België (glijdend 3 jaar gemiddelden)



Figuur 13. **AOT35_{ppb-max8u}** en jaargemiddelde in België (glijdend 3 jaar gemiddelden)

In tegenstelling tot de AOT60ppb-max8u die daalt, stijgt de AOT35ppb-max8u over de laatste 15 jaar in België. Dit is niet verwonderlijk aangezien de AOT35ppb dichter aanleunt bij de jaargemiddelde concentratie (an_mean) die evenredig is met een AOT 0 (overschrijding van de drempelwaarde 0). Het gebruik van de AOT35ppb-max8u in de geïntegreerde beoordelingsstrategie van de EG (Integrated Assessment Strategy) zal dus beter de mogelijke schadelijke effecten voor de volksgezondheid van de lage ozonconcentraties verrekenen.

5.2.b Strategie voor de bescherming van ecosystemen tegen ozon

Voor de strategie ter bescherming van ecosystemen wordt voorgesteld om niet langer de AOT40ppb-vegetatie te gebruiken omdat die te weinig rekening houdt met de ontvankelijkheid van de plant voor ozon. Die gevoeligheid hangt af van het groeistadium

waarin de individuele plant zich bevindt en ook van de mate waarin de huidmondjes van de plant al dan niet geopend zijn en ozon kunnen opnemen. Die situatie wordt in grote mate bepaald door de vochtigheid van de grond en de lucht en van de temperatuur (zie presentatie '*Ozongrenswaarden ter bescherming van de vegetatie*').

Omdat gebleken is dat over het algemeen de referentiewaarde van 20 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u voor de AOT40ppb-bossen (dus gesommeerd over de periode van april tot en met september) strenger is dan de streefwaarde van 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u voor de AOT40ppb-vegetatie (enkel over de maanden mei, juni en juli) wordt gedacht om de strategie alleen nog te baseren op de AT40ppb-bossen indicator maar dan wel met een beoogde grenswaarde van 10 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).u. Getoetst aan deze streefwaarde zal de belasting van de bossen in België nog hoger uitvallen dan nu al het geval is. Dit zal resulteren in nog grotere inspanningen ter preventie van de schade aan bossen.

Troposferisch ozon: Een kwaad met veel vertakkingen

Hans Vankerckhoven en Chris Vinckier

Afdeling Fysische en Analytische Chemie, Departement Chemie, KULeuven, Celestijnenlaan 200 F, B-3001 Heverlee

SAMENVATTING

Zomerse piekepisodes van ozon zijn ons allen welbekend. Langs de media worden we gewaarschuwd dat mensen met ademhaling-, hart- en vaatproblemen het best wat rustiger aan doen en zelfs aangeraden worden binnen te blijven. Het goede nieuws is dat in de laatste 10 jaar een dalende trend in het aantal ozonpieken valt waar te nemen met gunstige gevolgen voor de menselijke gezondheid en de natuur. Inderdaad, als gevolg van diverse internationale milieuprotocolen is er een duidelijke daling vast te stellen in de emissies van de ozonprecursoren: de stikstofoxiden en de vluchtige organische stoffen. Gezien deze stoffen ook rechtstreeks bijdragen tot de eutrofiëring en de verzuring van het milieu en tot de vorming van aërosolen, zal de bestrijding van troposferisch ozon ook in deze domeinen resulteren in een gunstig effect. Het slechte nieuws is echter dat de achtergrondconcentratie van ozon geleidelijk aan blijft toenemen en dat zonder de nodige maatregelen deze trend in de 21^e eeuw zal blijven aanhouden. Op die wijze zal ozon één van de belangrijkste broeikasgassen worden en een permanent gevaar vormen voor de volksgezondheid. Gezien intercontinentaal transport van ozon en/of zijn precursoren bijdraagt tot deze ozonachtergrond, zal het probleem op wereldwijde schaal dienen aangepakt te worden.

1. TROPOSFERISCH OZON: EEN BELANGRIJK MILIEUPROBLEEM

1.1 Troposferisch ozon

Ozon speelt een zeer belangrijke rol in de chemie van onze atmosfeer. Zo draagt het in belangrijke mate bij tot het oxiderend (zelfreinigend) vermogen van de troposfeer, zowel rechtstreeks als onrechtstreeks als precursor van het reactieve hydroxyl radicaal. De aanwezigheid van hoge concentraties aan ozon in het lager gedeelte van de atmosfeer (troposfeer) vormt vandaag de dag echter een belangrijk milieu- en gezondheidsprobleem.

Ozon is gekend als een zeer sterk oxidans en heeft schadelijke gevolgen voor de menselijke gezondheid. Bij langdurige blootstelling aan hoge ozonconcentraties kunnen er problemen met het ademhalings- en hart- en vaatsysteem optreden, vooral bij kwetsbare bevolkingsgroepen (bejaarden, baby's, longpatiënten...). Daarnaast veroorzaakt ozon ook schade aan gewassen, en vegetatie in het algemeen, en aan constructiematerialen. Vooral polymeermaterialen zoals rubbers en kunststoffen worden door ozon aangetast.

Ozon wordt in de troposfeer gevormd als een secundaire pollutant onder invloed van zonlicht in een complex reactiemechanisme waarbij stikstofoxiden ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) en vluchtige organische stoffen (VOS) betrokken zijn. Daarnaast komt ozon ook in de troposfeer terecht door influx vanuit de hoger gelegen stratosfeer, doch dit blijkt veel minder belangrijk te zijn [1].

De emissies van de ozonprecursoren (primaire pollutanten) zijn zowel van biogene als van antropogene aard. Belangrijkste antropogene bronnen van NO_x zijn de verbranding van

fossiele brandstoffen en biomassa, belangrijkste antropogene bronnen van VOS zijn het wegverkeer en de verdamping van solventen [2].

1.2 Voorkomen

Troposferisch ozon wordt niet homogeen gevormd in de troposfeer, integendeel, ozonconcentraties kunnen lokaal zeer sterk verschillen. Het voorkomen van ozon is namelijk zeer sterk gebonden aan de emissie van de precursoren en de lichtintensiteit. Zo is er een duidelijk verschil in ozonvorming tussen verstedelijkte en landelijke gebieden, tussen continentale en intercontinentale (oceanen) gebieden en tussen de noordelijke en zuidelijke hemisfeer van de aarde. Vooral boven verstedelijkte gebieden, waar de uitstoot aan precursoren zeer hoog is, en in zomerperiodes (hoge lichtintensiteit, hoge temperatuur) wordt troposferisch ozon gevormd.

Naast een geografische spreiding (op horizontale schaal) kan ook een verticale spreiding van ozon waargenomen worden in de troposfeer. In de zone onder de zogenaamde 'Planetary Boundary Layer' (PBL), die zich op ongeveer 1 km boven het aardoppervlak bevindt, is ozon zeer kortlevend met een typische levensduur in de orde van enkele uren of dagen. Dit is enerzijds te wijten aan de aanwezigheid van relatief hoge concentraties aan zeer reactieve VOS (zoals alkenen, aldehyden, isopreen, terpenen...) en anderzijds aan de depositie van ozon op het aardoppervlak. In de zogenaamde 'Free Troposphere' (FT), tussen de PBL en de tropopause (op gemiddeld 10 km boven het aardoppervlak), daarentegen, kan de levensduur van ozon oplopen tot enkele maanden als gevolg van de lage concentraties aan NO_x en de lage temperaturen [2].

1.3 Ozonepisodes

Naast een ruimtelijke spreiding in de troposfeer vertoont de ozonconcentratie ook een zeer typisch gedrag in de tijd, gekenmerkt door periodes van hoge ozonconcentratie, de zogenaamde ozonepisodes, afgewisseld door concentratieminima. Dit fenomeen speelt zich af over een tijdsspanne van een dag en men spreekt aldus over een dag-nacht-cyclus. Dit gedrag wordt uiteraard veroorzaakt door de fluctuaties van de emissies van primaire pollutanten en door verschillen in lichtintensiteit. Zo zal 's nachts de ozonconcentratie dalen door de lagere emissie van NO_x en VOS door verminderd wegverkeer, de afwezigheid van zonlicht en lagere temperaturen.

Ook neemt men een seizoensvariatie waar, met duidelijke verschillen tussen zomer- en winterperiodes. Dit heeft vooral te maken met de lagere lichtintensiteit en lagere temperatuur.

1.4 Normen

Vandaag de dag zijn er verschillende Europese en Amerikaanse normen voor wat de blootstelling aan ozon betreft. Deze normen geven steeds een gemiddelde concentratie weer waaraan een individu maximaal mag blootgesteld worden over een bepaalde tijdsspanne. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen ozonconcentraties in werkomgeving en in natuurlijke omgeving. Ook voor de blootstelling van vegetatie werden normen vastgelegd.

De meest recente Europese richtlijn inzake ozon van 12 februari 2002 (2002/3/EC) geeft voor een natuurlijke omgeving een ozonconcentratie aan van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als een 8-uurs gemiddelde dat niet mag overschreden worden op meer dan 25 kalenderdagen per jaar, gemiddeld over een periode van 3 jaar.

Ook voor de ozon piekconcentraties werden in het verleden normen uitgevaardigd. De Europees vastgelegde ozondrempelconcentratie in natuurlijke omgeving bedraagt $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bij het overschrijden van deze concentratie dient de overheid de bevolking te informeren dat er gevaar bestaat voor de volksgezondheid.

2. EEN LOKAAL EN MONDIAAL PROBLEEM

In de loop der jaren is het meer en meer duidelijk geworden dat de vorming van troposferisch ozon een mondiaal milieu- en gezondheidsprobleem aan het worden is, meer dan een lokaal overschrijden van de ozondrempel. Hiervoor kunnen twee redenen naar voren geschoven worden: pollutentransport in de atmosfeer over lange afstanden en een globale stijging van de ozon achtergrondconcentratie in de atmosfeer.

2.1 Polluenttransport

Het is geweten dat pollutenten met relatief hoge levensduur zich in de atmosfeer over grote afstanden kunnen verplaatsen vanaf de plaats van emissie. Het meest gekende voorbeeld hiervan is de aantasting van de ozonlaag boven de zuidpool door pollutenten afkomstig van geïndustrialiseerde gebieden op de continenten.

Ook een aantal precursoren van troposferisch ozon zoals methaan (CH_4) en koolstofmonoxide (CO), met een levensduur van enkele jaren, kunnen over lange afstanden getransporteerd worden. Hierdoor is het mogelijk dat er in gebieden met lage precursoremissies toch problemen met troposferisch ozon kunnen optreden.

Recentelijk werd echter ook gedemonstreerd dat ozon zelf over lange afstanden in de 'free troposphere' kan getransporteerd worden [3,4]. Meer bepaald werd transatlantisch transport van ozon van de oostkust van de Verenigde Staten van Amerika naar Europa vastgesteld. Dat dit om een zeer belangrijk fenomeen gaat, wordt vertaald in het feit dat uit modellering studies blijkt dat ongeveer een 20 % van de overschrijding van de nieuwe Europese gezondheidsnorm te wijten zou zijn aan dit transport.

2.2 Achtergrondconcentratie

Sinds de start van de eerste metingen van de ozonconcentratie, heeft men vastgesteld dat de gemiddelde ozon achtergrondconcentratie in de troposfeer¹ aan het toenemen is [5]. Indien deze trend zich in de toekomst zou verderzetten kan er binnen afzienbare tijd een permanent gevaar voor de gezondheid bestaan.

Uit de voorspellingen van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) blijkt dat de stijging in ozon achtergrondconcentratie zich ook zal verderzetten in de nabije toekomst [6]. In de periode tot het jaar 2030 wordt een toename voorspeld met 4 tot $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in de periode tot 2100 zelfs tot $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zonder de nodige maatregelen zal er dus op lange termijn een permanent gevaar voor de volksgezondheid optreden.

¹ De gemiddelde ozon achtergrondconcentratie is gedefinieerd als het jaarlijks gemiddelde. Deze mag niet verward worden met de concentratie in 'Free Tropospheric Air' die gemeten wordt in remote areas waar 'O₃-vrije' lucht wordt aangevoerd van over de oceanen.

3. MAATREGELEN

3.1 Emissiereductie

Zoals al vermeld, wordt de vorming van troposferisch ozon beïnvloed door verschillende factoren. Een deel hiervan betreffen geografische en meteorologische factoren en deze hebben we als dusdanig niet onder controle. Zo is voor de vorming van ozon zonlicht vereist, en verder blijkt ook de temperatuur een belangrijke rol te spelen, omwille van het feit dat bij hogere temperaturen de optredende reacties in de ozonvorming sneller verlopen. Tenslotte kan op sommige plaatsen zelfs de topografie van het landschap een belangrijke rol spelen bij de ozonvorming. Verstedelijkte gebieden gelegen in valleien zijn in het algemeen meer afgeschermd van winden. Door minder verdunning kunnen de pollutentconcentraties hierdoor oplopen.

Om het probleem van troposferisch ozon aan te pakken dient men zich dus te focussen op de controleerbare factoren, met name de antropogene emissies van de primaire pollutenten NO_x en VOS. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat een belangrijk deel van de totale VOS-emissie echter van biogene oorsprong is, met isopreen en de terpenen als belangrijkste componenten. De procentuele bijdrage op wereldschaal van de biogene emissie van niet-methaan VOS (NMVOS) wordt zelfs geschat op 80% [2]. Voor NO_x bedraagt het aandeel van de biogene emissies op wereldschaal ongeveer 20 % van het totaal [2].

Uit onderzoek is gebleken dat, omwille van het complexe vormingsmechanisme van ozon, het niet volstaat om de emissies van een van beide categorieën terug te dringen, maar wel van beiden tegelijk (ozon isoplethen) [7]. Indien er in sommige gebieden een overmaat aan één van beide pollutenten aanwezig is, wordt een efficiënte reductie in ozonvorming bereikt door de emissies van de pollutent in ondermaat te reduceren. Met andere woorden in gebieden waar men een NO_x -gecontroleerd regime heeft (VOS in ondermaat aanwezig) wordt het probleem het meest efficiënt aangepakt door een reductie in VOS-emissies en omgekeerd. Zo is het dus aangewezen om in deze verschillende gebieden aangepaste maatregelen te treffen.

Wat betreft pollutenten van de VOS categorie blijkt niet alleen de concentratie maar ook de aard van de geëmitteerde componenten een belangrijke rol te spelen. Verschillende categorieën VOS bezitten een verschillende zogenaamde 'fotochemische ozonvormingspotential', met andere woorden een verschillende efficiëntie in ozonvorming [8]. Deze fotochemische ozonvormingspotential wordt relatief uitgedrukt ten opzichte van etheen (ethyleen). Sommige belangrijke VOS, zoals isopreen, blijken zelfs een hogere fotochemische ozonvormingspotential te bezitten, terwijl methaan en CO minstens een factor 100 minder efficiënt zijn in ozonvorming.

3.2 Beleid

Uit het voorgaande is duidelijk dat de te nemen maatregelen zich situeren op gebied van de gerichte controle van de emissies van VOS en NO_x . Zoals bovenvermeld dienen specifieke maatregelen getroffen te worden afhankelijk van het gebied. De algemeen uitgewerkte controlestrategie betreft een reductie in VOS-emissie in verstedelijkte gebieden, tegenover een reductie in NO_x emissie in landelijke gebieden [2].

Verschillende conventies ter reductie van NO_x en VOS waren in het verleden al van toepassing. De belangrijkste waren het protocol van Sofia (1988) voor de beheersing van de uitstoot van NO_x -verbindingen en het protocol van Geneve (1991) voor de beheersing van de

uitstoot van vluchtige stoffen. De meest recente Europese overeenkomst is het Gothenburg protocol, afgesloten in 1999. Op deze conventie werden voor de verschillende Europese lidstaten emissieplafonds voor onder andere NO_x en VOS vastgelegd tegen het jaar 2010 ten opzichte van het referentiejaar 1990.

De getroffen maatregelen in uitvoering van deze conventies blijken duidelijk hun vruchten af te werpen. De laatste jaren is er een daling waargenomen in het aantal overschrijdingen van de ozondrempel [5]. Dit is te wijten aan het feit dat er tussen 1990 en 2000 een daling is gerealiseerd in de emissies van de ozonprecursoren in Europa: ongeveer 27% voor NO_x en 29% voor NMVOS [5]. Belangrijke reden hiervoor was de introductie van katalysatoren in wagens. Voor België werd enkel voor NMVOS een voldoende reductie bereikt van ongeveer 24%, tegenover slechts ongeveer 14 % voor NO_x [9].

Naast acties om lokaal ozon overlast terug te dringen, is het duidelijk dat in de toekomst grensoverschrijdende en zelfs continentoverschrijdende maatregelen noodzakelijk zullen zijn om de ozon achtergrondconcentratie te reduceren. Inderdaad, door intercontinentaal transport van ozon en/of precursoren kan er ozon overlast veroorzaakt worden in verder afgelegen gebieden.

Tot slot dient ook het belang van onderzoek benadrukt te worden, aangezien sommige fenomenen nog helemaal niet uitgeklaard zijn en het ook meer en meer duidelijk wordt dat de verschillende milieuthema's in het compartiment lucht op een complexe manier met elkaar verweven zijn. Een specifiek voorbeeld betreft de rol van biogene VOS, die nader bestudeerd worden in het kader van een aantal onderzoeksprojecten geïnitieerd door het Federaal Wetenschapsbeleid [10].

4. RELATIES MET ANDERE MILIEUTHEMA'S

De schadelijkheid van troposferisch ozon beperkt zich niet enkel tot gezondheidsproblemen en aantasting van biologische en andere materialen, maar daarnaast speelt ozon ook een belangrijke rol in diverse andere milieuproblemen zowel op een directe als indirecte wijze. Deze indirecte effecten hebben betrekking op de ozonprecursoren of de reactieproducten van reacties van ozon.

In eerste instantie heeft men uiteraard de directe effecten van ozon. Aangezien ozon een efficiënt infrarood (IR) absorberend molecule is, draagt het aldus bij tot het versterkte broeikaseffect. Het totale aandeel van een bepaalde verbinding tot het versterkte broeikaseffect wordt enerzijds bepaald door zijn concentratie en anderzijds door zijn efficiëntie in IR absorptie. Het netto effect van beiden wordt uitgedrukt als de 'Radiative Forcing' (RF) uitgedrukt in W/m² [6]. Voor een aantal belangrijke broeikasgassen zijn de RF-waarden weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Bijdrage van verschillende verbindingen tot het versterkte broeikaseffect, uitgedrukt als Radiative Forcing in W/m² [6].

Verbinding	RF (W/m ²)
Koolstofdioxide (CO ₂)	1.46
Methaan (CH ₄)	0.48
Stikstofoxiden (NO _x)	0.15
Halogeenverbindingen	0.34
Ozon (O ₃)	0.34
Aërosolen	0 tot -2

Omwille van het hoog IR-absorberend vermogen van ozon en de toegenomen achtergrondconcentratie, is de bijdrage van ozon tot het versterkte broeikaseffect op dit moment al zeer belangrijk. Als de huidige trends in concentratieverloop aanhouden zal ozon binnen afzienbare termijn zelfs het tweede belangrijkste broeikasgas worden, na koolstofdioxide.

Een belangrijk indirect effect op het niveau van de gevormde reactieproducten slaat op het ontstaan van aerosolen zoals werd aangetoond in recent onderzoek [11]. In de reactie van ozon met een aantal organische verbindingen van biogene oorsprong, zoals isopreen en terpenen, worden precursoren gevormd van de zogenaamde ‘Secondary Organic Aerosols’ (SOA’s). Deze organische aerosoldeeltjes spelen ook een belangrijke rol in het broeikaseffect door het terugkaatsen van zonlicht uit de atmosfeer. Hierdoor werken aerosolen de opwarming van de aarde tegen doordat een kleinere fractie zonlicht de aarde bereikt. Dit vertaalt zich in een negatieve RF-waarde zoals weergegeven in Tabel 1. Dat het om een belangrijk effect gaat wordt weergegeven door de grootte van de RF-waarde. Het dient wel opgemerkt te worden dat de RF-waarde van aerosolen een grote onzekerheidsmarge insluit. Deze wordt geschat op een factor 2 tot 3, terwijl de onzekerheid op de RF-waarden voor de som van de verschillende broeikasgassen slechts 10% bedraagt en deze op de RF-waarde van troposferisch ozon 43%.

Naast hun rol in het broeikaseffect, hebben deze SOA’s – en aerosolen in het algemeen – ook een effect op de gezondheid. Ze blijken de voornaamste actoren te zijn in de relatie tussen de luchtverontreiniging en de verhoogde mortaliteit [12].

Op niveau van de ozonprecursoren zelf spelen NO_x en VOS een belangrijke rol in een aantal milieuproblemen. Door maatregelen te treffen om het troposferische ozonprobleem in te dijken zal men op het vlak van verzuring en eutrofiëring van de bodem en oppervlaktewaters (door NO_x) verbetering krijgen. Dit zal automatisch een gunstige weerslag hebben op de biodiversiteit.

Wat betreft verzuring heeft men in Vlaanderen een sterke afname van zure depositie vastgesteld sinds 1990, doch voor wat betreft NO_x stelt men nog een groot aantal overschrijdingen vast van de kritische concentraties voor vegetatie [13].

Door de reductie van de emissies van stikstofoxiden in Europa in de periode 1990-2000, is er wat betreft eutrofiëring ook duidelijk verbetering merkbaar. Toch blijft dit een zeer belangrijk probleem, met meer dan 50% van de oppervlakte in West-Europa die te kampen heeft met een teveel aan stikstofdepositie [14].

REFERENTIES

1. D.H. Ehhalt (2001) Tropospheric Ozone, Chemistry and Man-Induced Trends. *Ozone Science & Engineering*, 23(6): 445-453
2. P. Midgley, P. Builtjes, D. Fowler, R. Harrison, N. Hewitt, N. Moussiopoulos, K. Noone, K. Torseth and A. Volz-Thomas (2002) *Towards cleaner air for Europe: Science, tools and applications. Part 1: Results from the EUROTRAC-2 Synthesis and integration Project*, Margraf Publishers, Weikersheim, Germany
3. Q.B. Li, D.J. Jacob, I. Bey, P.I. Palmer, B.N. Duncan, D. Field, R.V. Martin, A.M. Fiore, R.M. Yantosca, D.D. Parrish, P.G. Simmonds and S.J. Oltmans (2002) Transatlantic

transport of pollution and its effect on surface ozone in Europe and North America. *Journal of Geophysical Research*: 107(D13), ACH 4-1 to 4-21

4. A. Stohl, C. Foster, S. Eckhardt, N. Spichtinger, H. Huntrieser, J. Heland, H. Schlager, S. Wilhelm, F. Arnold and O. Cooper (2003) A backward modeling study of intercontinental pollution transport using aircraft measurements. *Journal of Geophysical Research*: 108(D12), ACH 8-1 to 8-18
5. Air Pollution in Europe 1990-2000 (2004) European Environment Agency, Ed. S. Larssen, Topic report 4/2003
6. International Panel on Climate Change (IPCC) (2001) Climate change 2001: *The scientific basis*, Eds. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, Cambridge University Press, Cambridge, UK
7. B.J. Finlayson-Pitts and J.M. Pitts, Jr. (1986) *Atmospheric Chemistry*, Wiley and Sons, NY, USA
8. R.G. Derwent, M.E. Jenkin, S.M. Saunders, M.J. Pilling (1998) Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in northwest Europe calculated with a master chemical mechanism. *Atmospheric Environment*: 32 (14-15): 2429-2441
9. Grondgebied en milieu, Overzicht van de milieustatistieken (2003) Nationaal Instituut voor de Statistiek, Ed. H. D' Hondt
10. Tweede Plan voor wetenschappelijke ondersteuning van een beleid gericht op duurzame ontwikkeling (PODO II) 'Global change, ecosystemen en biodiversiteit'; 2001-2005
11. M. Claeys, B. Graham, G. Vas, W. Wang, R. Vermeylen, V. Pashynska, J. Cafmeyer, P. Guyon, M.O. Andreae, P. Artaxo and W. Maenhout (2004) Formation of secondary organic aerosols through photooxidation of isoprene. *Science*: 303: 1173-1176
12. L. Moreels (2001) Invloed van ozon en partikels op de mortaliteit, *Eindverhandeling GAS opleiding Milieuwetenschap en Technologie*, KULeuven
13. MIRA-T 2003 Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's (2003) Vlaamse Milieumaatschappij, Lannoo campus, Leuven, Belgium, 251-261
14. Environmental assessment report No 10 (2003) European Environmental Agency, OPOCE, Luxemburg, 117-132

Respiratoire effecten van ozon

Guy Joos

Dienst Longziekten, Vakgroep Inwendige Ziekten, Faculteit Geneeskunde en Gezondheids-
wetenschappen, Universiteit Gent, De Pintelaan 185, B-9000 Gent

Fotochemische luchtvervuiling of 'zomersmog' is tegenwoordig één van de belangrijkste vormen van luchtverontreiniging waaraan regelmatig een groot deel van de bevolking wordt blootgesteld. De omvang en grootschaligheid van deze luchtvervuiling, alsook de belangrijke effecten ervan op de volksgezondheid worden slechts sinds enkele decennia onderkend.

Het steeds uitbreidende autoverkeer en het stijgende energieverbruik hebben geleid tot toegenomen productie van stikstofdioxiden, vluchtige koolwaterstoffen, koolmonoxide en kleine inhaleerbare partikels. Deze primaire pollutanten geven op hun beurt aanleiding tot secundaire pollutanten door interactie met elkaar en met externe factoren zoals zonlicht en vochtigheid. Fotochemische luchtvervuiling is een secundaire vorm van luchtvervuiling die ontstaat doordat stikstofdioxiden en vluchtige koolwaterstoffen onder invloed van zonlicht (fotonen) met elkaar reageren. Hierdoor ontstaat een complex mengsel van oogprikkelende stoffen als peroxyacetylnitraat (PAN) en peroxybenzoëlnitraat (PBN), diverse zure aerosolen en vooral ozon, het belangrijkste en meest bestudeerde fotochemische pollutant.

Deze nieuwe vormen van luchtvervuiling verdenkt men ervan in belangrijke mate bij te dragen tot de toenemende prevalentie van astma die wereldwijd wordt vastgesteld. Zowel epidemiologische studies, dierexperimenteel onderzoek als gecontroleerde blootstelling van vrijwilligers hebben aangetoond dat ozon en stikstofdioxiden een belangrijke schadelijke weerslag hebben op de luchtwegen.

1. EFFECTEN VAN OZON OP MORBIDITEIT EN MORTALITEIT

Epidemiologische studies hebben de invloed nagegaan van de omgevingsconcentraties van ozon op het aantal hospitalisaties voor respiratoire pathologie. In Ontario bleek er tussen 1974 en 1983 een significante relatie te bestaan tussen het aantal hospitalisaties wegens acute respiratoire aandoeningen en het dagelijkse maximale uurgemiddelde van ozonconcentraties, de temperatuur en de concentratie van sulfaten. Ook het aantal ziekenhuisopnames voor acute astma-exacerbaties bleek significant beïnvloed te worden door ozon- en sulfaatconcentraties en omgevingstemperatuur. Recentere epidemiologische studies, o.a. uitgevoerd in Toronto, New York en New Jersey bevestigden deze associaties.

Epidemiologische dagboekstudies bij astmatici zoals uitgevoerd in Houston en Los Angeles, tonen een associatie tussen de dagen met hoge waarden van ozon en fijne partikels, en het optreden van astma-exacerbaties. In Arizona waren bij een 800 personen (astmatici en niet-astmatici) de dagelijkse variaties in expiratoire peakstroom geassocieerd met de waarden van ozon en fijne partikels in de omgevingslucht; een relatief sterkere daling van de expiratoire piekstroom werd vastgesteld bij astmatici.

In London bleken in de periode 1987 tot 1992 de dagelijkse ozonwaarden significant geassocieerd te zijn met de globale mortaliteit, de respiratoire en cardiovasculaire mortaliteit, en dit onafhankelijk van de effecten van zwaveldioxide, stikstofdioxiden en fijne partikels. Deze studies suggereren dat ozon bijdraagt tot het optreden van astma-exacerbaties en andere acute respiratoire aandoeningen. Het probleem bij een dergelijke epidemiologische

benadering is evenwel de invloed van tal van storende variabelen, zoals rookgewoonten, de aanwezigheid van andere pollutanten en allergenen, meteorologische omstandigheden en socio-economische factoren.

2. EFFECTEN VAN OZON OP DE LONGFUNCTIE

De eerste meldingen van door ozon veroorzaakte longfunctieafwijkingen verschenen in de jaren vijftig: bij arbeiders blootgesteld aan ozon in de werkplaats werden klachten genoteerd van pijnlijke inspiratie, samen met een tijdelijke vermindering van de éénsecondewaarde.

Sindsdien zijn een groot aantal studies verricht, waarbij gezonde vrijwilligers in gecontroleerde omstandigheden kortdurend (1 tot 2 uur) werden blootgesteld aan lage tot matige ozonconcentraties (van 0.12 tot 0.4 ppm). Steeds worden gelijkaardige effecten waargenomen op de longfunctie: een daling van de éénsecondewaarde (FEV_1), de geforceerde vitale capaciteit (FVC) en de totale longcapaciteit (TLC), samen met een beperkte toename van het residueel volume (RV), doch geen significante toename van de functionele residuele capaciteit (FRC). Er is een matige toename van de luchtwegweerstand (Raw). Bij ozonexpositie tijdens inspanning blijft het ademminuutvolume bewaard, evenwel met een verminderd teugvolume en een toegenomen ademhalingsfrequentie: de ademhaling wordt sneller maar oppervlakkiger. De afwijkingen op longfunctie blijven maximaal 24 uur aanhouden. Subjectief komen klachten van prikkelhoest en pijnlijke inspiratie voor. Daarnaast is er ook een tijdelijke (minder dan 24 uur durende) toename van de bronchiale hyperreactiviteit ten opzichte van histamine en methacholine, die aanhoudt ook nadat de longfunctie zich herstelt tot het pre-expositie niveau.

Opvallend is de grote interindividuele variatie in de longfunctie afwijkingen, zelfs bij zorgvuldig geselecteerde, homogene proefpopulaties: een klein gedeelte van de bestudeerde personen vertoont een grote afname in de longfunctieparameters. Deze variabiliteit in gevoeligheid voor ozon is waarschijnlijk voor een groot deel genetisch bepaald. Per individu komt daarentegen een grotere reproduceerbaarheid van de verandering in longfunctie voor, met sterkere afwijkingen bij hogere ozonconcentraties. Een meer uitgesproken effect wordt ook waargenomen bij een toegenomen ventilatie zoals die optreedt bij een zwaardere fysieke inspanning: dit heeft geleid tot de invoering van begrip totale effectieve dosis, die het product is van de concentratie van het pollutant, de tijdsduur van blootstelling en de intensiteit van de ventilatie.

Opvallend is dat allergische en astmatische proefpersonen geen toegenomen gevoeligheid blijken te vertonen t.o.v. een controle populatie. Deze uitgevoerde studies zijn evenwel gedaan bij personen met mild astma en bij een slechts matige inspanning, daar de longfunctie veranderingen uitgelokt door inspanning en door ozonexpositie, moeilijk van elkaar te onderscheiden zijn.

Rokers blijken minder gevoelig te zijn voor ozon dan niet-rokers.

3. OZON-GEÏNDUCEERDE BRONCHIALE ONTSTEKING

Kortstondige blootstelling aan ozon blijkt bij mens en dier een inflammatoire reactie uit te lokken, zowel in de hogere als diepere luchtwegen. Bronchoscopisch onderzoek van de luchtwegen onmiddellijk na ozonexpositie toont roodheid van de mucosae. Door het toepassen van bronchoalveolaire lavage (BAL) bij proefpersonen na ozonblootstelling kunnen stalen vanuit de diepere luchtwegen en alveolen worden onderzocht; dit laat toe de

inflammatie te bevestigen, het verloop ervan te volgen en ontstekingscellen en mediators op te sporen. Hierbij werd aangetoond dat zelfs bij expositie aan lage concentraties ozon (van 0,08 tot 0,10 ppm) het aantal neutrofielen in het BAL-vocht toeneemt. Bronchusbiopsie van de grote luchtwegen 18 uur na de blootstelling toont eveneens neutrofiele infiltratie.

Ozonexpositie leidt ook tot het verschijnen van tal van mediators in het menselijke BAL-vocht, waarvan vele een belangrijke rol spelen in het tot stand komen van een inflammatie: interleukine-6, interleukine-8, IgG, complementfactoren, fibronectine, plasminogeenactivator en prostaglandine PGE₂. Ook albumine en LDH, een rechtstreekse marker van celschade, worden aangetroffen in het BAL-vocht. BAL onmiddellijk verricht na ozonblootstelling, toont verder een toename van substantie P, en het prostaglandine 8-epi-PGF₂ α . Ook in het nasaal lavagevocht van proefpersonen werd een verhoogd aantal neutrofielen en inflammatoire mediators, aangetroffen na ozonblootstelling. Eén studie toonde zelfs een kwantitatieve correlatie tussen het aantal neutrofielen in het BAL-vocht en dat in het nasaal lavagevocht.

In het ontstaan van de ozon-geïnduceerde luchtwegenontsteking speelt de vorming van vrije radicalen een centrale rol. Door zijn hoge reactiviteit en zijn geringe wateroplosbaarheid reageert het ozon voornamelijk in de 'epithelial lining fluid' (ELF), een dunne waterige laag gesecreteerd door het respiratoir epitheel. Ozon oxideert het in ELF aanwezige glutathion, ascorbinezuur, vitamine E en urinezuur, die een beschermende functie uitoefenen door hun ozon 'scavenging' effect. Wanneer de capaciteit van deze reducerende componenten door de ozonexpositie overtroffen wordt, treden oxidatiereacties op met vorming van cytotoxische vrije radicalen en intermediaire reactieproducten als aldehyden en ozoniden, zoals reeds aangetoond in vivo en in vitro.

REFERENTIES

1. P. Depuydt, G. Joos, R. Pauwels. Respiratoire effecten van ozon. Tijdschrift voor Geneeskunde, 1997, 53,781-788
2. A. Frew, S. Holgate. Air pollution. In Clinical Medicine, Eds. Kummer and Clark, 5th Edition, 2003, Saunders

Ozon grenswaarden ter bescherming van de vegetatie: verleden, heden en toekomst

Karine Vandermeiren, Ludwig De Temmerman

Centrum voor Onderzoek in Diergeneeskunde en Agrochemie (CODA), Leuvensesteenweg 17, B-3080 Tervuren

Net zoals te hoge troposferische ozonconcentraties nadelig zijn voor de menselijke gezondheid, zo ook kunnen planten hiervan nadelige gevolgen ondervinden. Ter bescherming van de vegetatie werden op Europees niveau in het verleden reeds grenswaarden voorgesteld op basis van de atmosferische ozonconcentraties en blootstellingsduur. De laatste jaren werd echter op wetenschappelijk niveau een beduidende vooruitgang geboekt ter verbetering van deze normen. Naar de toekomst toe wordt dan ook een verdere modellering van de ozonopname voorgesteld om een meer realistische kwantificatie van de ozonschade mogelijk te maken.

1. VAN OZONCONCENTRATIE TOT PLANTRESPONS

De relatie tussen ozonconcentraties op EMEP (European Modelling and Evaluation Programme) referentiehoogte (50 m) en de uiteindelijke plantrespons is afhankelijk van allerlei omgevingsfactoren die niet enkel bepalend zijn voor de aërodynamische weerstand en de grenslaagweerstand, maar die ook een invloed hebben op de openingsgraad van de huidmondjes van de plant. Het is vooral deze stomataire weerstand die in belangrijke mate bepaalt hoeveel ozon door het blad wordt opgenomen. De plantrespons op een bepaalde opgenomen hoeveelheid ozon kan daarenboven sterk verschillen van soort tot soort en zelfs tussen verschillende cultuurvariëteiten binnen één soort. Dit laatste is o.a. afhankelijk van de antioxidantia in de apoplast (extracellulair) en de daaropvolgende biochemische reacties in de symplast (intracellulair).

1.1 Aërodynamische weerstand

Dit heeft betrekking op het transport van ozon uit de omgeving naar de nabijheid van de plant. Deze weerstand wordt bepaald door turbulentie, gedreven door mechanische (wind) en thermische krachten (convectie). Bij windstilte wordt atmosferisch transport vooral door moleculaire diffusie gedreven. Gedurende zonnige dagen worden de luchtlagen in belangrijke mate door opstijgende lucht gemengd. Menging van de luchtlagen door wind is ook afhankelijk van de wrijving met het aardoppervlak. Hoe ruwer het vegetatie-oppervlak, des te meer mechanische turbulentie geproduceerd wordt bij een bepaalde windsnelheid. Vandaar dat de aërodynamische weerstand voor ozontransport van de lucht naar de plant groter is voor akkerbouwgewassen dan voor naaldbomen. Het belang van de aerodynamische weerstand voor ozonopname en effecten is gebleken uit waarnemingen van Grünhage en Jäger (1994). Zij toonden aan dat bijvoorbeeld voor een plaats in Duitsland, de hoogste ozonconcentraties (> 90 ppb) meestal samenvielen met stabiele weersomstandigheden met lage aërodynamische conductiviteit (lage tot gematigde horizontale windsnelheid, weinig turbulentie).

1.2 Grenslaagweerstand

De grenslaag is een stabiele, quasi laminaire luchtlaag die het blad of het gewas als een enveloppe omgeeft. De grenslaagweerstand is in de eerste plaats afhankelijk van de

windsnelheid (grenslaag wordt dunner bij hogere windsnelheid) en van bladkarakteristieken zoals oriëntatie, grootte en vorm, epidermis en beharing.

1.3 Stomataire weerstand

Ozon dringt in de plant via de huidmondjes (= stomata). Naarmate deze meer geopend zijn zal er meer ozon in het blad kunnen binnendringen. De stomataire conductiviteit (= stomataire weerstand⁻¹) wordt bepaald door het aantal huidmondjes, hun grootte, anatomische karakteristieken van de sluitcellen en grootte van de stomataire opening. Deze kenmerken zijn eigen aan de plant en veranderen niet op korte termijn. De openingsgraad van de huidmondjes daarentegen is afhankelijk van velerlei omgevingsfactoren. Droge klimaatsomstandigheden met hoge temperaturen, weinig bodemvocht en lage luchtvochtigheid hebben een sluiting van de huidmondjes tot gevolg om transpiratie en overmatig vochtverlies van de plant tegen te gaan.

Het is dus duidelijk dat wat betreft aërodynamische en stomataire weerstand, periodes met hoge ozonconcentraties vaak gepaard gaan met omgevingsfactoren die de eigenlijke ozonopname beperken. Vandaar dat een duidelijk onderscheid dient gemaakt te worden tussen het begrip *ozonblootstelling*, die bepaald wordt door de concentratie en tijd, terwijl de *ozonopname* daarenboven afhankelijk is van de stomataire conductiviteit die beïnvloed wordt door plantspecifieke kenmerken en omgevingsfactoren.

1.4 Extracellulaire antioxidatieve beschermingsmechanismen

Na opname door de stomata wordt ozon in de waterige matrix van de celwand, de apoplast, grotendeels omgezet tot reactieve zuurstofspecies (ROS) bestaande uit hydroxylradicalen (OH[•]), superoxide-anionen (O₂^{•-}), waterstoperoxide (H₂O₂) en peroxyradicalen. Over het algemeen wordt aangenomen dat ozon zelf niet ver door de celwand kan dringen maar dat het de ROS zijn die de meeste schade aanrichten. Deze sterk oxidatieve moleculen zijn zeer schadelijk voor de celcomponenten. In de apoplast bevinden zich echter ook een aantal antioxidantia (ascorbaat, fenolen, polyamines) en anti-oxidatieve enzymen (peroxidasen, superoxide dismutase (SOD)) die bescherming kunnen bieden tegen ozon en ROS.

1.5 Intracellulaire respons

Celmembranen blijken zeer gevoelig te zijn voor ozonaantasting. Lipide peroxidatie en/of ozonolyse van de plasmamembraan veroorzaakt een toename van de permeabiliteit waardoor, in de meer extreme gevallen, de celinhoud verloren gaat en celdood optreedt. De ROS die de cel binnendringen kunnen wijzigingen in enzymactiviteit teweeg brengen en DNA schade veroorzaken. Maar ook hier zijn een aantal defensiemechanismen voorhanden (peroxidasen, catalasen, SOD, ascorbaat, glutathion, α -tocopherol...).

2. PLANTRESPONS

De fytotoxische effecten van ozon zijn in de eerste plaats te wijten aan zijn sterk oxiderende eigenschappen. Het negatieve effect wordt veroorzaakt doordat het antioxidatieve verdedigingssysteem van de plant niet langer in staat is de verspreiding van ozon en daarvan afgeleide reactieve zuurstofspecies (ROS zoals OH[•], superoxide) in de cel tegen te gaan, noch teweeggebrachte veranderingen te compenseren. De plantenschade die ontstaat, varieert naargelang de intensiteit en duur van de ozonblootstelling, de gevoeligheid en het ontwikkelingsstadium van de plant, maar wordt ook in belangrijke mate bepaald door omgevingsfactoren die de stomataire opname beïnvloeden.

Acute schade wordt veroorzaakt door hoge atmosferische concentraties (> 100 ppb) gedurende een korte blootstellingperiode (enkele opeenvolgende dagen). Door de toxische reacties van ozon of ROS met celbestanddelen gaat de membraanintegriteit verloren met als gevolg een verlies van celmetabolieten in de extracellulaire ruimte. Dit leidt tot celdood en vermindert het percentage bladweefsel dat nog kan bijdragen tot de fotosynthese. Het resultaat uit zich onder de vorm van fijne stippeling op de bovenzijde van het blad, grotere necrosen tussen de nerven (ook zichtbaar aan de onderzijde van het blad), bronzing en chlorose (verbleking).



Figuur 1. Voorbeelden van acute ozonschade: necrotische stippeling op aardappel (links) en bronzing op struikbonen (boven).

Een langdurige blootstelling aan lagere concentraties kan aanleiding geven tot minder zichtbare, maar toch belangrijke ‘chronische’ schade op fysiologisch en biochemisch niveau die uiteindelijk groei- en opbrengstreducties tot gevolg hebben. Dit betekent dat productieverlies kan optreden zonder zichtbare schade en omgekeerd. Productieverlies kan ontstaan doordat de biosynthese over langere periode geremd wordt door verminderde fotosynthesecapaciteit en/of een kortere vegetatieperiode ten gevolge van vervroegde afrijping (‘senescentie’). Bovendien kan er een verhoogde vraag optreden naar energie en assimilaten voor herstel van aangetaste celstructuren en –functies, ten koste van de uiteindelijke biomassa productie. De plant komt hierdoor in een constante stresssituatie terecht waardoor hij minder in staat is om afweer te bieden aan andere ongunstige omgevingsfactoren en stresscondities. Er kan ook een verschuiving optreden in de verdeling van de assimilaten over verschillende plantendelen. Meestal wordt de wortelgroei geremd ten voordele van bovengrondse biomassa. Uiteraard heeft dit gevolgen voor droogteresistentie en opname van voedingsstoffen. Bij aardappel werd o.a. vastgesteld dat het vooral de opbrengst van de hoogste klasse van knolgrootte (> 50 mm), bestemd voor industriële verwerking, geremd wordt (Craigon *et al*, 2002). Worden onze Belgische frietjes in de toekomst korter?

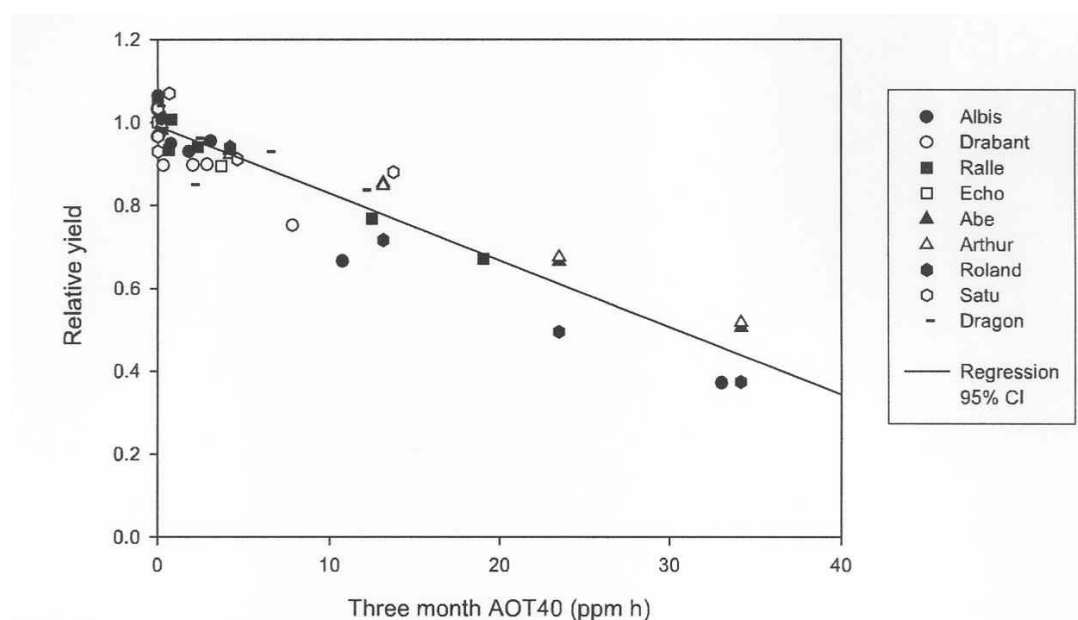
Wat betreft kwaliteitseffecten bestaat er momenteel minder informatie, maar dit aspect mag zeker niet onderschat worden. Bij sommige gewassen is een afname van de vorstresistentie vastgesteld. Dit heeft vooral belangrijke gevolgen voor grasland en andere overwinterende gewassen. Een continue verhoging van de achtergrondwaarden voor ozon leidt tevens tot een verhoogde selectiedruk ten gunste van meer tolerante genotypes wat veranderingen kan teweeg brengen in de biodiversiteit van natuurlijke vegetatie. Bij aardappelen kan ozon een reductie van het zetmeelgehalte teweeg brengen waardoor deze, door verhoogde vetadsorptie,

minder geschikt worden voor productie van frieten en chips. Anderzijds is er een toename van het vitamine C gehalte van de knollen (Vorne *et al.*, 2002).

3. KRITISCHE GRENSWAARDEN – VERLEDEN EN HEDEN

Het Göteborg protocol van 1999 is het eerste verdrag dat onder de Conventie voor Lange-Afstands- en Grensoverschrijdende Luchtverontreiniging (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)) specifieke aandacht besteedt aan de controle van ozonverontreiniging. Door de beperkte informatie in verband met dosis-respons relaties werden hierbij nog relatief eenvoudige grenswaarden voorgesteld (zogenaamde Critical Level I).

De level I grenswaarden voor ozon ter bescherming van de vegetatie werden oorspronkelijk gedefinieerd op basis van gegevens bekomen in open-top kamers (soort serres zonder dak) zonder rekening te houden met de invloed van omgevingsfactoren zoals o.a. bodemvochtigheid. De blootstellingindex die hierbij gehanteerd wordt, is de AOT40 (Accumulated Ozone exposure Over a Threshold of 40 ppb). Dit is de sommatie van uurgemiddelde ozonconcentraties boven 40 ppb (en verminderd met 40 ppb), gemeten ter hoogte van het gewas, maar enkel tijdens daglichturen en gedurende een bepaalde tijdsduur die afhankelijk is van het vegetatietype. Op basis van experimentele dosis-respons relaties tussen deze AOT40 en het optreden van zichtbare schade of opbrengstreductie (fig. 2), konden aldus grenswaarden gedefinieerd worden die bij overschrijding een risico betekenen voor de meest gevoelige gewassen en bomen (tabel 1).

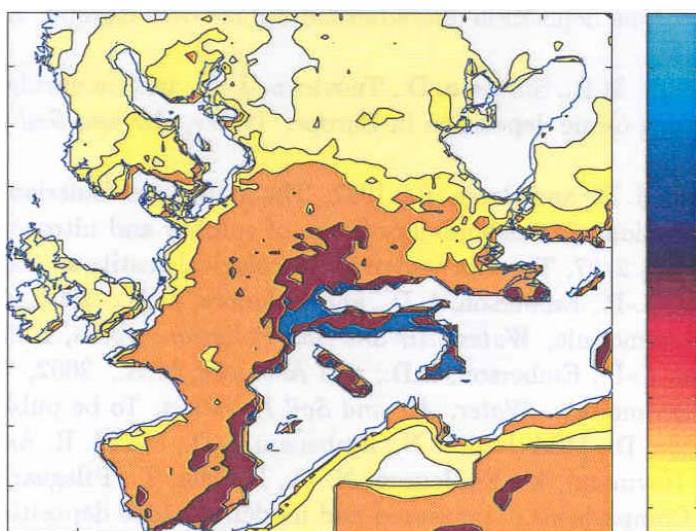


Figuur 2. Relatieve opbrengstreductie van tarwe ten gevolge van een toenemende AOT40. Deze relatie wordt gebruikt ter bepaling van de ozongrenswaarde voor landbouwgewassen ($r^2=0.89$). De verschillende symbolen staan voor verschillende cultivars (Fuhrer *et al.*, 1997, Gelang *et al.* 2000) (bron: Mapping Manual revision 2004).

Tabel 1. Level I grenswaarden die aanleiding kunnen geven tot nadelige effecten op verschillende vegetatietypes (Kärenlampi en Skarby, 1996). VPD = dampdrukdeficiet.

vegetatie type	schade	grenswaarde (AOT40)
landbouwgewassen en natuurlijke vegetatie	> 5% opbrengstreductie Zichtbare schade	3000 ppb h ged. 3 maanden (mei-juli) 500 ppb h ged. 5 dagen als VPD > 1.5 kPa 200 ppb h ged. 5 dagen als VPD < 1.5 kPa
bomen	> 10% reductie van de biomassa/jaar	10.000 ppb h ged. 6 maanden (april - september)

Op basis van de berekende AOT40 waarden voor de verschillende vegetatietypes konden de meest risicovolle gebieden in Europa geïdentificeerd worden. Hierbij kwam het Middellandse Zee gebied naar voor als de meest bedreigde regio. Dit hangt in de eerste plaats uiteraard samen met de specifieke klimatologische omstandigheden die de fotochemische ozonproductie in hoge mate bevorderen (hoge temperaturen, veel zon).



Figuur 3. Berekende AOT40 voor landbouwgewassen over 3 maanden (mei-juli 1999), volgens EMEP model (rv1.2 β) (bron: <http://www.emep.int>). In gele gebieden worden de laagste waarden bereikt (<4 ppm.h), blauw geeft de meest risicovolle regio's weer (>10 ppm.h).

4. KRITISCHE GRENSWAARDEN – DE TOEKOMST

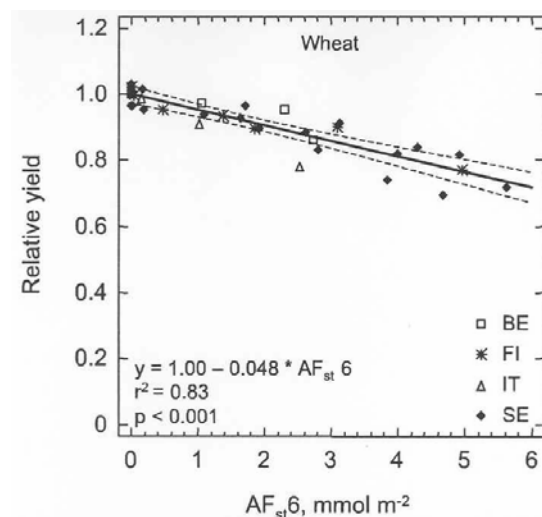
De level I grenswaarden, uitgedrukt door een welbepaalde AOT40 waarde, vormen een heel attractief concept omwille van hun eenvoud, maar hun toepasbaarheid is beperkt door het feit dat de impact van allerlei factoren die de plantrespons beïnvloeden grotendeels genegeerd wordt. Dit heeft tot gevolg dat er geen realistische kwantificatie kan gemaakt worden van de werkelijke opbrengstderving (of andere nadelige impact) ten gevolge van een bepaald ozonregime in een bepaalde regio en voor een welbepaald gewas. Voor een economische kosten-baten analyse van politieke maatregelen ter reductie van de atmosferische ozonconcentratie, is dit echter een absolute noodzaak.

De wetenschappelijke gemeenschap was zich dan ook van bij het begin bewust dat een verdere verbetering en verfijning van de methodologie voor de inschatting van ozonschade (de zogenaamde level II benadering) absoluut noodzakelijk was (Fuhrer, 2000). Dit kan op verschillende manieren gebeuren:

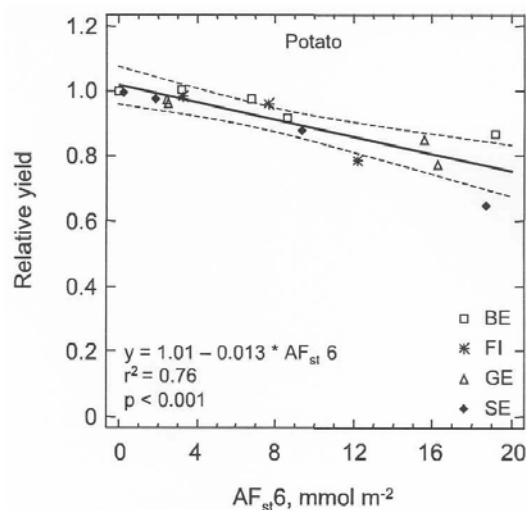
- modificatie van de berekening van AOT40 waarden door correctiefactoren toe te passen zoals bv. fenologische parameters die het verschil in ozon gevoeligheid tijdens verschillende ontwikkelingsstadia in rekening kunnen brengen (Soja *et al*, 2000).
- ontwikkeling van een ozonflux model waarbij de ozonopname kan gemodelleerd worden op basis van veranderingen in stomataire conductiviteit ten gevolge van omgevingsfactoren en plantspecifieke eigenschappen.

Tijdens de UN-ECE Expert Panel meeting in Harrogate (2002) en de Ozone Critical Level II meeting in Göteborg (2002) werd bevestigd dat een verdere uitbouw van de ozonflux-modellering het uiteindelijke doel van de level II benadering diende te worden. Deze methode zal tot een betere risico-evaluatie van ozonschade in Europa leiden, maar vereist anderzijds een grotere hoeveelheid inputdata (temperatuur, zonnestraling, lucht- en bodemvochtigheid...) in vergelijking tot de AOT40 berekeningen.

Momenteel is voldoende informatie beschikbaar is om voor een aantal belangrijke landbouwgewassen een betrouwbare flux-respons relatie voor te stellen (Ashmore *et al*, 2004). Dit is het geval voor tarwe (fig 4) en aardappelen (fig 5) (Pleijel *et al*, 2004).



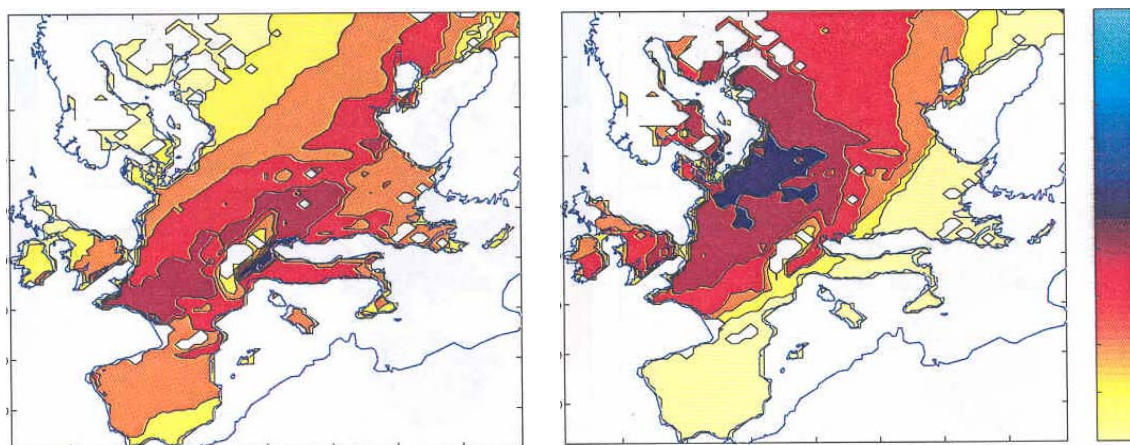
Figuur 4. Relatieve opbrengstreductie van tarwe ten gevolge van een toenemende ozonopname, uitgedrukt als AF_{st} (geaccumuleerde stomataire flux). Gegevens afkomstig uit België (BE), Finland (FI) Italië (IT) en Zweden (SE). (bron: Mapping Manual revision 2004).



Figuur 5. Relatieve opbrengstreductie van aardappel ten gevolge van een toenemende ozonopname, uitgedrukt als AF_{st} (geaccumuleerde stomataire flux). Gegevens afkomstig uit België (BE), Finland (FI), Duitsland (GE) en Zweden (SE). (bron: Mapping Manual revision 2004).

Van de boomsoorten is men vooral met beuk het verst gevorderd, maar daarnaast werden een aantal boomsoorten geïdentificeerd die naar de toekomst beloftevol lijken voor deze level II benadering, met name eik, spar, den en berk. Het probleem hierbij is vooral dat de meeste gegevens bekomen werden voor jonge bomen en een extrapolatie naar volwassen exemplaren en bosbestanden nog veel werk vereist. Voor natuurlijke vegetatie staat men op dit niveau momenteel eigenlijk nog nergens.

Momenteel beschikt EMEP reeds over een experimenteel model waarbij een berekening van de ozondepositie kan gemaakt worden met onderscheid tussen de stomataire en niet-stomataire ozonflux (Simpson *et al.*, 2002). Hierbij wordt de ozondepositie berekend als het product van de ozonconcentratie vermenigvuldigd met de depositiesnelheid, die op haar beurt bepaald wordt door de aërodynamische weerstand tussen de hoogte waarop de ozonconcentratie gemeten (of berekend) is en de top van het gewas; de laminaire weerstand voor ozon transfer en de oppervlakte weerstand voor ozon. De oppervlakte weerstand wordt ten dele bepaald door karakteristieken van de bodem en bladoppervlak, en door de stomataire conductiviteit van de bladeren. Het is de stomataire conductiviteit die de ozonopname door de plant bepaalt. Op die manier is het mogelijk de ozonopname te berekenen voor verschillende vegetatietypes, als een deel van de totale ozondepositie. De stomataire ozonflux (of ozonopname) wordt hierbij berekend rekening houdend met de plantspecifieke fenologie en fysiologische respons t.o.v. omgevingsfactoren (fig. 6).



Figuur 6. Gemiddelde maandelijkse stomataire ozonflux voor landbouwgewassen (links: mei, rechts: juni). Gele gebieden geven de laagste waarden weer ($< 2 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), de regio's met de hoogste ozonflux zijn in blauw weergegeven ($\approx 5 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Bron: <http://www.emep.int>.

Ondanks het feit dat het model nog verder geëvalueerd moet worden, levert een eenvoudige toepassing toch reeds een aantal zeer interessante conclusies:

- Er kan een groot verschil bestaan tussen de kaarten die ozonopname weergeven t.o.v. AOT40 (vergelijk fig. 3 en 6) met een verschuiving van de risicogebieden van Zuid- naar Centraal en Noord-Europa. Het verschil tussen AOT40 en opname is vooral te wijten aan het feit dat de meteorologische condities die in Centraal en Zuid Europa de vorming van ozon bevorderen (hoge temperatuur en droge weersomstandigheden) tevens de stomataire conductiviteit en dus ook ozonopname verminderen. In Noord Europa wordt de stomataire conductiviteit bevorderd door de koelere en vochtigere condities, waardoor de lagere ozonconcentraties toch nog in een significante ozonopname kunnen resulteren. Concentraties onder de 40 ppb die in deze regio's vaak voorkomen en in de berekening van AOT40 genegeerd worden, zullen op die manier toch bijdragen tot de uiteindelijke ozonopname door de plant (Simpson *et al.*, 2002).
- Door verschillen in klimaatsomstandigheden en ontwikkelingsstadium van de plant kan de ozonflux sterke verschillen vertonen binnen één groeiseizoen (cf. mei en juni in fig. 6). Dit kan de variatie in ozongevoeligheid van tarwe binnen éénzelfde groeiseizoen grotendeels verklaren (Pleijel *et al.*, 2000).
- Een verlaging van de grenswaarden ten gevolge van de ozonflux-benadering betekent een uitbreiding van de risicogebieden (Grennfelt, 2004).

5. CONCLUSIE

De huidige 'Level I' grenswaarden ter bescherming van de vegetatie zijn eenvoudig en eenduidig, en vormen aldus een gemakkelijk hanteerbaar werkmiddel in de wetgeving. Maar in hun eenvoud ligt ook de beperking. De nadelige *impact* van ozon wordt immers bepaald door de hoeveelheid ozon die effectief de plant binnendringt, een proces dat op zijn beurt beïnvloed wordt door allerlei omgevingsfactoren en het ontwikkelingsstadium van de plant. Momenteel worden dan ook modellen ontwikkeld waarmee deze *ozonopname* kan berekend worden (Level II). Hierdoor wordt een kwantitatieve inschatting van de ozonshade mogelijk, wat absoluut noodzakelijk is voor een realistische kosten-baten analyse van regeringsmaatregelen ter reductie van de troposferische ozonverontreiniging. Deze nieuwe benaderingswijze zal bijgevolg een belangrijke invloed hebben op toekomstige beleidsopties.

REFERENTIES

1. M. Ashmore, L. Emberson, P.E. Karlsson, H. Pleijel (2004) New directions: A new generation of ozone critical levels for the protection of vegetation in Europe. *Atmos. Environ.* 38, 2213-2214.
2. J. Craigon, A. Fangmeier, M. Jones, A. Donnelly, M. Bindi, L. De Temmerman, K. Persson, K. Ojanpera (2002) Growth and marketable-yield responses of potato to increased CO₂ and ozone. *Eur. J. Agron.* 17, 273-289.
3. J. Fuhrer (2000). Introduction to the special issue on ozone risk analysis for vegetation in Europe. *Environ. Pollut.* 109: 359-360.
4. J. Fuhrer, L. Skärby, M.R. Ashmore (1997) Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environ. Pollut.* 97, 91-106.
5. P. Grennfelt (2004) New directions: recent findings may change ozone control policies. *Atmos. Environ.* 38, 2215-2216.
6. L. Grünhage, H.-J. Jäger (1994) Influence of the atmospheric conductivity on the ozone exposure of plants under ambient conditions: considerations for establishing ozone standards to protect vegetation. *Environ. Pollut.* 85, 125-129.
7. L. Kärenlampi, L. Skarby (1996) Critical levels for ozone in Europe: Testing and finalizing the concepts. UN-ECE Workshop Report. University of Kuopio, Kuopio, Finland, pp 363.
8. Mapping manual revision 2004, chapter 3. website <http://www.icpmapping.org>
9. H. Pleijel, H. Danielsson, G.P. Karlsson, J. Gelang, P.E. Karlsson, G. Selldén (2000) An ozone flux-response relationship for wheat. *Environ. Pollut.* 109, 453-462.
10. H. Pleijel, H. Danielsson, K. Ojanpera, L. De Temmerman, P. Högy, M. Badiani, P.E. Karlsson (2004) Relationship between ozone exposure and yield loss in European wheat and potato – a comparison of concentration- and flux-based exposure indices. *Atmos. Environ.* 38, 2259-2270.

11. D. Simpson, M. Ashmore, L. Emberson, J.-P. Tuovinen, M. MacDougall, R.I. Smith (2002) Stomatal ozone uptake over Europe: preliminary results. In: UN-ECE Workshop Establishing Ozone Critical Levels II, background paper, Göteborg, Sweden.
12. G. Soja, J. Barnes, M. Posch, K. Vandermeiren, H. Pleijel, G. Mills (2000) Phenological weighting of ozone exposure in the calculation of critical levels for wheat, bean and plantain. *Environ. Pollut.* 109, 517-524.
13. V. Vorne, K. Ojanperä, L. De Temmerman, M. Bindi, P. Högy, M.B. Jones, T. Lawson, K. Persson (2002) Effects of elevated carbon dioxide and ozone on potato tuber quality in the European multiple-site experiment 'CHIP-project. *Eur. J. Agron.* 17, 369-381.

Voorzitter: Luc Int Panis (VITO)

**WETENSCHAPPELIJKE INSTRUMENTEN VOOR
BELEIDSONDERSTEUNING**

**OZON
OZONE**

**OZON
OZONE**

Président: Luc Int Panis (VITO)

**PRÉSENTATION DE LA PROBLÉMATIQUE DE
L'OZONE**

**OZON
OZONE**

**OZON
OZONE**

La modélisation inverse: un outil pour déterminer les émissions

Jean-François Müller et Trissevgeni Stavrakou

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB / BIRA), Avenue Circulaire 3, B-1180 Bruxelles

1. INTRODUCTION

La méthode généralement utilisée pour estimer les émissions de gaz ou de particules vers l'atmosphère est la méthode appelée 'bottom-up': elle consiste en l'utilisation de statistiques économiques ou des données géographiques pour extrapoler à l'échelle régionale ou globale des mesures locales de facteurs d'émission. On met au point un modèle d'émission basé sur les observations rapportées dans la littérature scientifique, et on applique ce modèle à l'échelle, par exemple, d'un pays, d'un continent ou du globe tout entier.

Le principal défaut de cette méthode est évident: l'extrapolation à une grande échelle de mesures locales induit des erreurs importantes, du fait de l'extrême variabilité (tant spatiale que temporelle) des flux d'émission, sans parler de l'effet des erreurs de mesures et d'éventuelles erreurs de formulation, chaque modèle étant une grossière simplification de la réalité. Dès lors, il peut être avantageux d'utiliser des observations atmosphériques des composés émis pour raffiner les estimations de flux d'émission. Ceci ne peut se faire qu'à la condition que la relation généralement complexe entre émission et concentration atmosphérique est raisonnablement bien connue, c.-à-d. que l'on dispose d'un modèle qui permette de calculer les concentrations aux points de mesure en fonction des valeurs des émissions à la surface. La procédure 'top-down' consistant à dériver des estimations d'émissions basées sur des observations atmosphériques est appelée *modélisation inverse des émissions*.

A l'échelle de la Belgique, ou de l'Europe, les émissions dominantes de polluants (mis à part le CO₂) sont les émissions technologiques (industrie, utilisation de combustibles fossiles, etc.) et sont relativement bien connues. La modélisation inverse ne peut donc contribuer à réduire leurs incertitudes que si l'on dispose de suffisamment de mesures. A l'échelle globale, par contre, les émissions naturelles (végétation, sols, océans, éclairs, etc.) et les feux de végétation sont souvent dominants et très incertains. La modélisation inverse a donc un fort potentiel pour l'amélioration de ces sources, pour autant que l'on dispose d'assez de mesures dans les régions tropicales et dans l'Hémisphère Austral, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas.

2. METHODES

La modélisation inverse revient à un problème de minimisation. L'écart entre le modèle atmosphérique et les observations est quantifié à l'aide d'une *fonction coût*, qui est un scalaire dépendant des valeurs des paramètres d'émission, et qui tient compte des estimations des erreurs sur les observations et sur les émissions. Le modèle atmosphérique fournit les concentrations aux points de mesure, et permet donc le calcul de cette fonction coût. La technique pour minimiser le coût dépend du but poursuivi et du type de composé considéré. Il convient avant tout de distinguer les gaz inertes (tels CO₂, N₂O, les CFCs, SF₆, etc.) ou à très longue durée de vie (tel le méthane CH₄) des composés réactifs comme les précurseurs d'ozone.

Les gaz (quasi-)inertes sont caractérisés par une faible variabilité et par la propriété que les concentrations atmosphériques répondent de façon (quasi-)linéaire aux changements d'émission à la surface. De par cette propriété, si on distingue n régions d'émission et m catégories d'émission pour un composé donné, alors la concentration atmosphérique de ce composé en n'importe quel point de l'atmosphère peut être décomposée comme une combinaison linéaire des $n \times m$ contributions correspondant à ces catégories et à ces régions. Ces différentes contributions peuvent être calculées à l'aide de $n \times m$ simulations du modèle atmosphérique. Cette tâche est aisée tant que les nombres n et m ne sont pas trop grands. Dans ce cas, la minimisation du coût (c.-à-d. l'obtention de paramètres d'émission qui permettent de réduire au minimum l'écart entre le modèle et les observations) peut se faire par la méthode dite des *fonctions de Green*, qui fournit les émissions optimales (ainsi que leurs erreurs a posteriori) de façon exacte, en une seule étape.

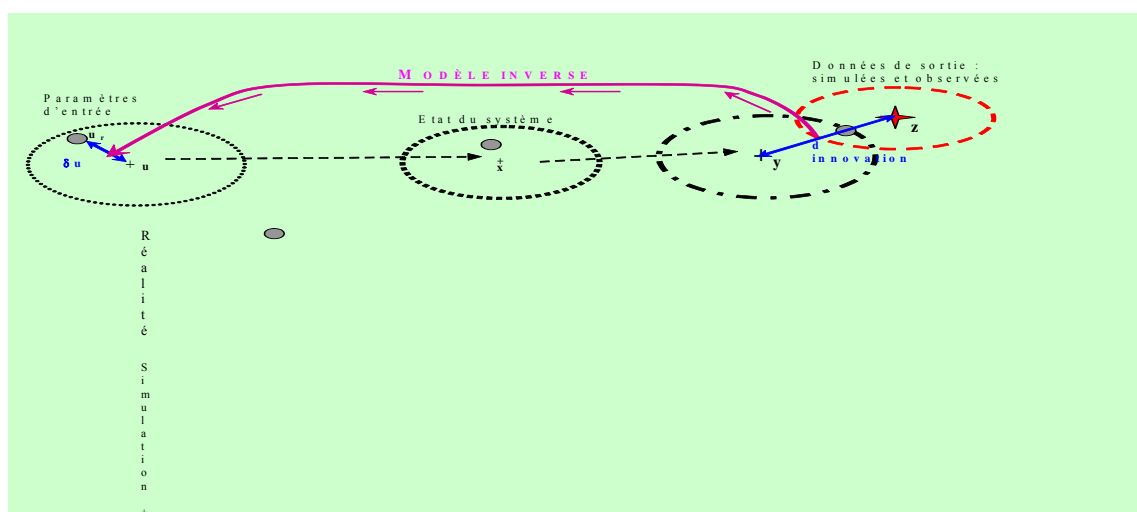


Figure 1. Schématisation du processus d'inversion. Adapté de Pétron (2003).

Le processus d'inversion est schématisé à la Figure 1. A gauche sur la Figure, dans l'espace des paramètres d'entrée (c.-à-d. des émissions), l'état a priori (u) correspond aux émissions données par les inventaires d'émission. Cet état diffère des émissions vraies (u_r). L'ellipse représente la barre d'erreur sur les paramètres d'entrée. Le modèle atmosphérique permet de calculer les concentrations atmosphériques (x) du composé considéré. Les concentrations calculées aux points de mesure (y , dans l'espace des observations à droite sur la Figure) diffèrent des concentrations mesurées, qui elles-mêmes diffèrent de la réalité en raison des erreurs de mesure. Le vecteur qui sépare les concentrations calculées des mesures est appelé vecteur innovation (d). Le modèle inverse, bâti sur les fonctions de Green, permet de déterminer la perturbation δu qu'il faut apporter aux émissions a priori pour minimiser l'écart entre le modèle et les observations.

Lorsque la linéarité entre émissions et concentrations atmosphériques n'est pas vérifiée, comme c'est le cas pour les gaz réactifs comme les précurseurs d'ozone, la méthode décrite plus haut n'est plus exacte. De plus, lorsque le nombre de paramètres d'émission que l'on souhaite inverser devient grand ($\gg 100$), cette méthode n'est plus praticable pour des raisons de coût informatique. Dans ces cas, il faut recourir à une méthode plus performante: celle du modèle adjoint. Ce modèle, construit à partir du modèle atmosphérique, permet de calculer les dérivées de la fonction coût par rapport aux paramètres d'émission. Grâce à cette information, il est possible de minimiser la fonction coût par une procédure itérative. Le schéma de la

Figure 1 reste d'application, mais la perturbation δu est obtenue en un nombre d'étapes généralement compris entre 10 et 100.

3. APPLICATIONS

La modélisation inverse a été appliquée avec succès et ce depuis plus d'une dizaine d'années au cas des émissions de CO_2 et de CH_4 à l'échelle globale (par exemple, Bousquet et al. 1999; Hein et al. 1997). La méthode linéaire décrite plus haut a pu être employée puisque ces gaz ont des durées de vie très longues (près de 10 ans pour le méthane, bien d'avantage pour le dioxyde de carbone). Les observations utilisées sont des mesures in situ, précises et routinières, effectuées en un grand nombre de sites répartis sur le globe, telles que les stations du réseau NOAA/CMDL (Figure 2). Les mesures de CO_2 et de CH_4 effectuées par satellite sont encore trop incertaines pour être d'une quelconque utilité en modélisation inverse, mais des progrès importants sont réalisés actuellement qui permettent d'espérer que la précision minimale jugée nécessaire (1% sur la colonne totale) sera bientôt atteinte.

La modélisation inverse basée sur les données de stations fournit des estimations jugées robustes à l'échelle d'un continent, comme l'Europe. Un défi majeur pour les années futures sera l'application de la modélisation inverse à l'échelle nationale, requise par exemple pour la vérification du Protocole international de Kyoto. Relever ce défi requerra une grande abondance d'observations de qualité, ainsi que l'utilisation de modèles à haute résolution, de préférence des modèles 'nested' à maille fine sur la région cible (comme l'Europe) et à maille large pour le reste du monde. Outre CO_2 et CH_4 , d'autres gaz à effet de serre paraissent appropriés pour la modélisation inverse: N_2O , les HFCs (produits de remplacement des CFCs), SF_6 , etc. Cependant, les stations de mesure de ces composés sont encore trop peu nombreuses.

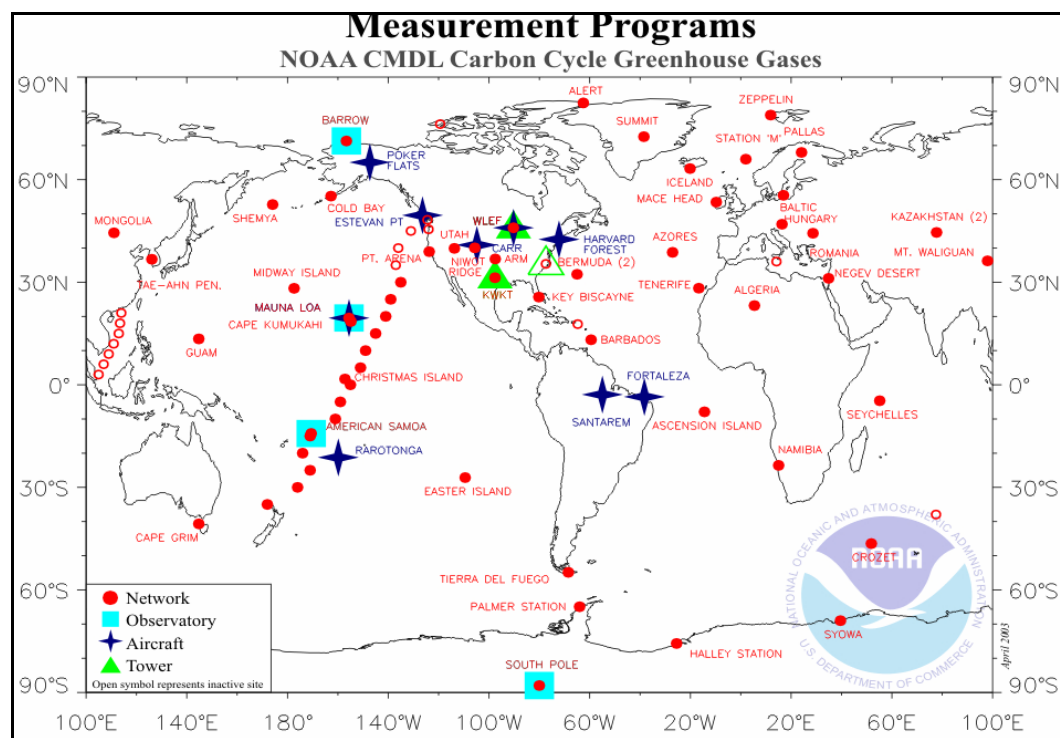


Figure 2. Répartition des stations de mesures du réseau NOAA/CMDL.

La méthode des fonctions de Green mentionnée plus haut a également été utilisée dans le cas de gaz réactifs, en particulier le monoxyde de carbone, CO, dont la durée de vie est d'environ deux mois (Bergamaschi et al., 2000; Pétron et al., 2002; Pétron, 2003). La Figure 3 montre quelques évaluations des sources principales de ce composé à l'échelle globale. Ces études de modélisation inverse font l'hypothèse que l'impact des changements de flux d'émission de CO a un impact faible sur le radical hydroxyle OH et par conséquent sur le temps de résidence du CO. Pétron et al. (2002) a pu vérifier la validité de cette hypothèse dans le cas d'une optimisation des émissions directes de CO à l'aide des mesures du réseau CMDL. Il faut souligner, cependant, que les flux d'hydrocarbures non-méthaniques (NMHC), dont l'oxydation dans l'atmosphère est pourtant une source importante de CO (voir Figure 3), ne sont pas optimisés dans cette étude. D'autre part, le réseau CMDL est très insuffisant pour détecter clairement les feux de forêts et de savane, qui représentent une source majeure de CO et d'autres gaz, et qui ont une influence considérable sur les concentrations de OH du fait des grandes intensités de flux qui leur sont souvent associées. Cependant, en dépit de ces quelques limitations, les études citées ci-dessus ont démontré la faisabilité de la modélisation inverse des observations CMDL et même, plus récemment, des données satellitaires MOPITT (Pétron, 2003). Ces études qui sont basées sur différents modèles semblent toutes indiquer que les émissions anthropiques de CO sont sous-estimées dans les inventaires, en particulier sur l'Asie. Il existe cependant des divergences importantes entre les différentes études quant à la répartition géographique de cette différence.

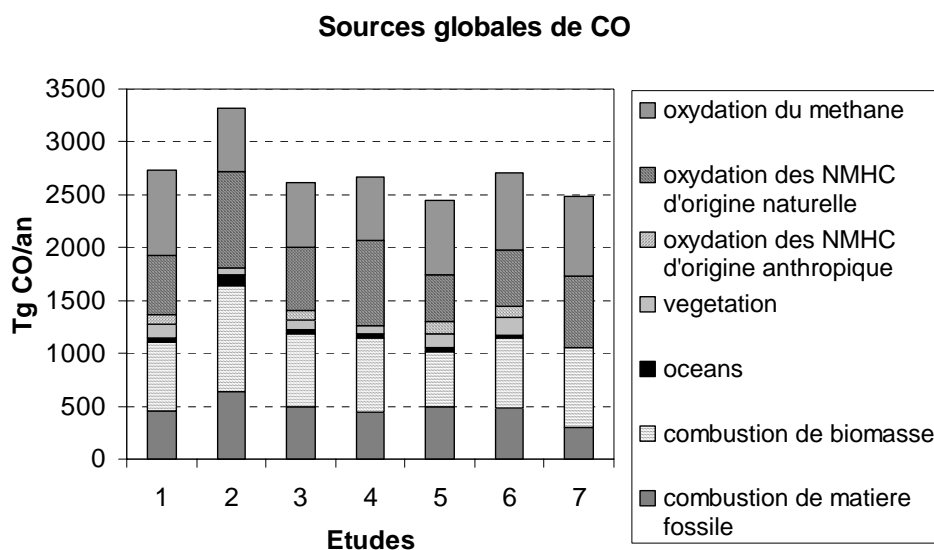


Figure 3. Evaluation des sources principales de CO dans l'atmosphère à l'échelle globale (en Tg/an). D'après Pétron (2003).

L'application de la méthode du modèle adjoint est relativement récente en modélisation de chimie atmosphérique. Signalons les études pionnières réalisées à l'Université de Cologne avec un modèle régional (Elbern et al., 2000) et à l'IASB par l'équipe de D. Fonteyn qui utilise cette méthode pour l'assimilation de données satellitaires dans un modèle stratosphérique (projet BASCOE, www.bascoe.oma.be) (Errera et al., 2001). Dans ce dernier cas, les paramètres qui sont optimisés sont les conditions initiales (les émissions ayant un impact négligeable sur la variabilité à court terme de la composition stratosphérique). L'assimilation variationnelle est couramment utilisée en météorologie pour les prévisions du temps.

Les satellites rendant maintenant possible d'observer depuis l'espace les distributions de différents gaz importants dans la chimie de l'ozone troposphérique (CO par les instruments IMG/ADEOS, MOPITT, et prochainement IASI et d'autres, NO₂ et CH₂O par les instruments GOME et SCIAMACHY, voir Figure 4), il devient envisageable d'améliorer substantiellement nos connaissances de la distribution des principaux précurseurs d'ozone: CO, NO_x et les hydrocarbures. Ces composés chimiques étant fortement interdépendants du fait qu'ils participent tous à la chimie de l'ozone et du radical hydroxyle, leur exploitation en modélisation inverse requiert qu'on tienne compte de leurs interactions. Une optimisation simultanée des émissions globales et régionales de CO, NO_x et de quelques NMHC a été réalisée à l'IASB à l'aide de la technique du modèle adjoint (Müller et Stavrou, 2004). Dans ce cas, ce sont les observations CMDL (pour CO) et GOME (pour NO₂) qui ont été utilisées. La Figure 5 montre une comparaison des observations de CO à quelques stations avec les prédictions du modèle avant et après optimisation des émissions. Comme dans les études précédentes mentionnées plus haut, les émissions optimisées de CO sont plus élevées que dans leurs estimations a priori fournies par les inventaires. L'étude montre que l'adjonction de NO_x au système d'inversion améliore l'optimisation des sources de CO, parce qu'elle permet d'optimiser le temps de vie de ce composé.

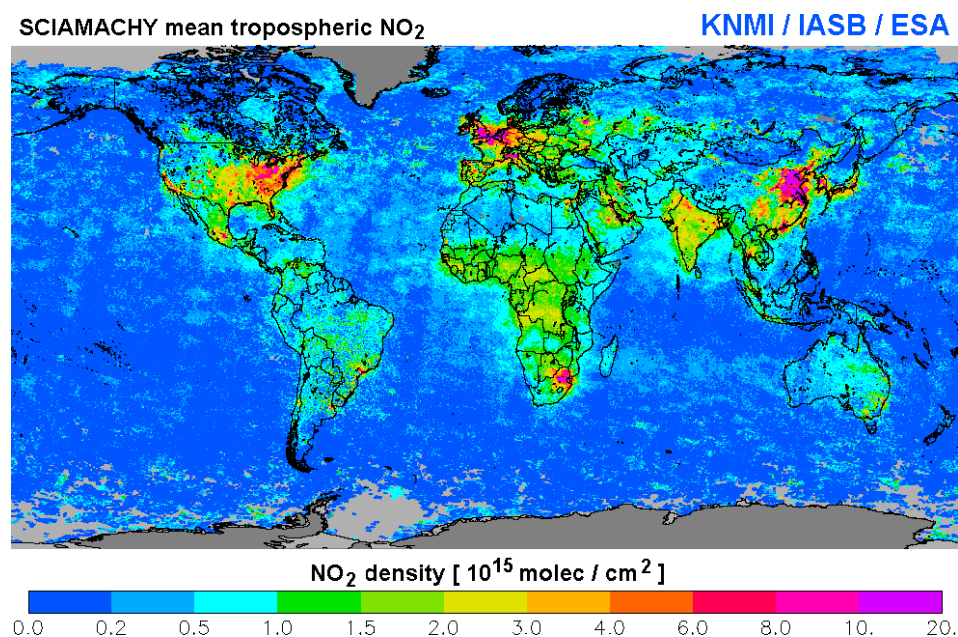


Figure 4. Distribution de la colonne troposphérique de NO₂ déduite des observations SCIAMACHY/ENVISAT dans le cadre du projet Européen TEMIS (moyenne annuelle).
M. Van Roozendael, communication personnelle.

4. CONCLUSIONS

En conclusion, nous avons vu que la modélisation inverse permet d'optimiser les émissions de gaz à effet de serre et de précurseurs d'ozone à différentes échelles. Les techniques diffèrent en fonction du type de composé considéré (peu réactif/fort réactif) ainsi que du nombre de paramètres d'émission qu'on souhaite optimiser. Ce nombre dépend bien sûr du nombre d'observations chimiques indépendantes dont on dispose. Il est relativement restreint (quelques dizaines) lorsque seules des données sol sont utilisées. Les satellites permettront par contre d'augmenter fortement le nombre de degrés de liberté de l'inversion, et donc d'optimiser les émissions à des échelles spatiales plus fines. La technique du modèle adjoint

est particulièrement appropriée, puisqu'elle autorise un nombre arbitrairement élevé de paramètres de contrôle, et qu'elle permet également l'optimisation simultanée de différents composés interagissant chimiquement.

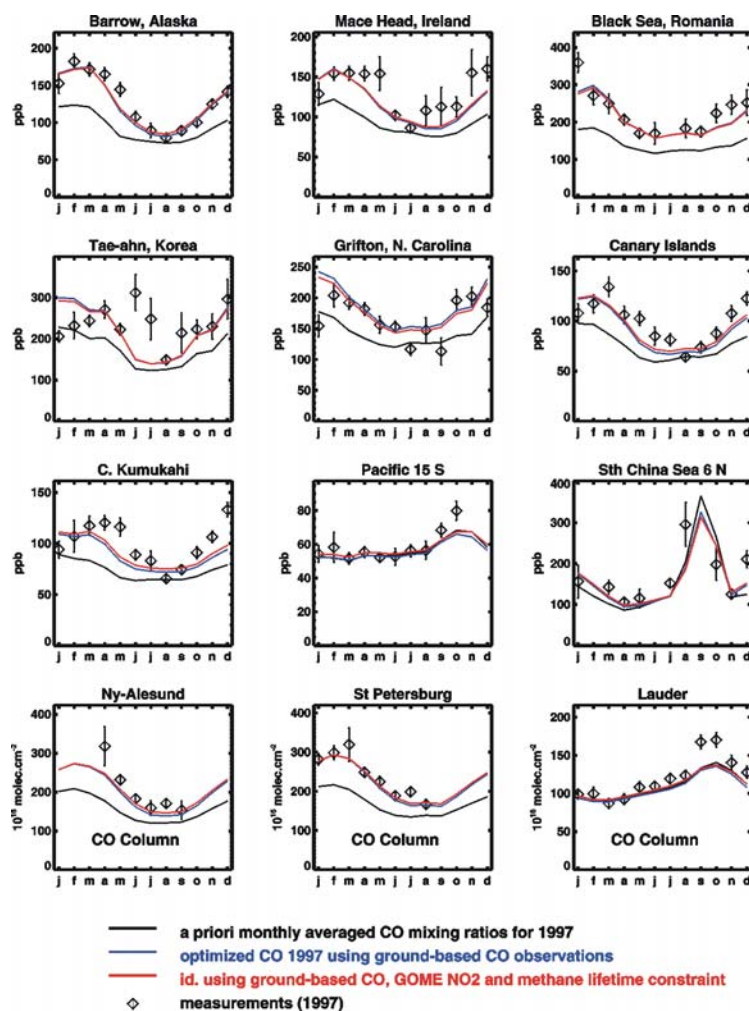


Figure 5. Rapports de mélange de CO observés en différents sites (moyennes mensuelles en 1997, figurées par des losanges sur la Figure) et comparaison avec les prédictions du modèle IMAGES (lignes continues) avant inversion (en noir) et après inversion (en bleu et en rouge).

REFERENCES

1. Bergamaschi, P., R. Hein, M. Heimann and P. J. Crutzen, Inverse modeling of the global CO cycle, 1: Inversion of CO mixing ratios, J. Geophys. Res., 105, 1909-1927, 2000.
2. Bousquet, P., P. Ciais, P. Peylin, M. Ramonet and P. Monfray, Inverse modeling of annual atmospheric CO₂ sources and sinks, 1 Methods and control inversion, J. Geophys. Res., 104, 26,161-26,178, 1999.
3. Elbern, H. H. Schmidt, O. Talagrand and A. Ebel, 4D-variational data assimilation with an adjoint air quality model for emission analysis, Environ. Modelling & Software, 15, 539-548, 2000.

4. Errera, Q. and D. Fonteyn, Four-dimensional variational chemical assimilation of CRISTA stratospheric measurements, *J. Geophys. Res.*, 106, 12,253-12,265, 2001.
5. Hein, R., P.J. Crutzen and M. Heimann, An inverse modelling approach to investigate the global atmospheric methane cycle, *Global Biogeochem. Cycles*, 11, 43-76, 1997.
6. Müller, J.-F. and T. Stavrou, Inverse modeling of emissions based on the adjoint of the IMAGES model, en préparation, 2004.
7. Palmer, P., D. Jacob, A. Fiore, R. Martin, K. Chance and T. Kurosu, Mapping isoprene emissions over North America using formaldehyde column observations from space, *J. Geophys. Res.*, 108, doi:10.1029/2002JD002153, 2003.
8. Pétron, G., Modélisation inverse des émissions du monoxyde de carbone, Dissertation de Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 2003.
9. Pétron, G., C. Granier, B. Khatatov, J.-F. Lamarque, V. Yudin, J.-F. Müller and J. Gille, Inverse modeling of carbon monoxide emissions using CMDL network observations, *J. Geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2001JD000305, 2002.

BeEUROS: een instrument voor ozonbeleid in België

Frans Fierens

Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu (IRCEL), Kunstlaan 10-11, B-1210 Brussel

Het EUROS model is een atmosferisch model dat de evolutie van troposferisch ozon op lange termijn simuleert. Het model werd oorspronkelijk ontwikkeld bij RIVM (Nederland). In het kader van het BeEUROS project werd een nieuwe versie van EUROS gekoppeld aan een 'state-of-the-art' user interface en geïnstalleerd bij IRCEL als instrument voor beleidsondersteuning m.b.t. troposferisch ozon. Dit instrument laat toe om de impact van mogelijke emissiereducties op ozonconcentraties te evalueren.

1. ALGEMENE CONTEXT

In België en de omliggende landen worden regelmatig hoge ozonconcentraties waargenomen tijdens de zomermaanden. Ozon wordt chemisch gevormd vanuit stikstofoxiden ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) en vluchtige organische stoffen (VOS). Deze ozonprecursoren worden voor zowat de helft door het wegverkeer geloosd. In tweede orde zijn ook de energievoorziening, de industrie en de huishoudens verantwoordelijk voor de uitstoot van deze precursoren. Ozonvorming wordt op gang gebracht door fotochemische reacties en is gecorreleerd aan de luchttemperatuur. Daarom doen hoge ozonconcentraties zich meestal voor in meteorologische situaties met open hemel en hoge temperaturen.

Ozon heeft significante nadelige effecten op volksgezondheid en vegetatie. Door zijn oxiderende capaciteit beïnvloedt ozon de longfuncties, in het bijzonder bij kinderen en astmapatiënten. Blootstelling aan ozon veroorzaakt ook schade aan landbouwgewassen, bossen en ecosystemen evenals aan materialen zoals rubber en verf. Voor de bescherming van de volksgezondheid is een waarschuwingsdrempel van $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ van kracht. In de uitzonderlijk warme zomer van 2003 werden er 22 dagen geregistreerd waarop de waarschuwingsdrempel overschreden werd in minstens één van de Belgische ozonmeetstations. In de eerste helft van augustus 2003 werd een record aantal opeenvolgende dagen (12) genoteerd met overschrijdingen van de waarschuwingsdrempel.

De vorming van ozon, als secundaire verontreiniging, kan optreden op plaatsen en in regio's die ver verwijderd zijn van de emissiebronnen. Ook omwille van aanvoer van ozon uit hogere luchtlagen heeft de fotochemische verontreiniging een sterk grensoverschrijdend karakter. Bijgevolg kan enkel een Europees gecoördineerde, grootschalige en duurzame vermindering van de uitstoot van NO_x en NMVOS de problematiek van de fotochemische verontreiniging efficiënt bestrijden. Een EU-bestrijdingsstrategie van de verzuring en de fotochemische luchtverontreiniging resulteerde in juli 2001 in een EU-richtlijn 2001/81/EG met 'National Emission Ceilings' (NEC) of Nationale Emissiemaxima (NEM) per lidstaat, gekoppeld aan een nieuwe EU-richtlijn voor ozon in de omgevingslucht 2002/3/EG waarvan de bepalingen vanaf 9 september 2003 van kracht zijn.

De bezorgdheid over de schadelijke effecten van ozon wordt door verschillende beleidsniveaus gedeeld. De doelstellingen in de NEC-richtlijn zouden tegen 2010 bereikt moeten worden door de lidstaten. Om die doelstellingen te bereiken zullen de meeste lidstaten hun emissies die verantwoordelijk zijn voor de vorming van ozon, i.e. NO_x en VOS, drastisch

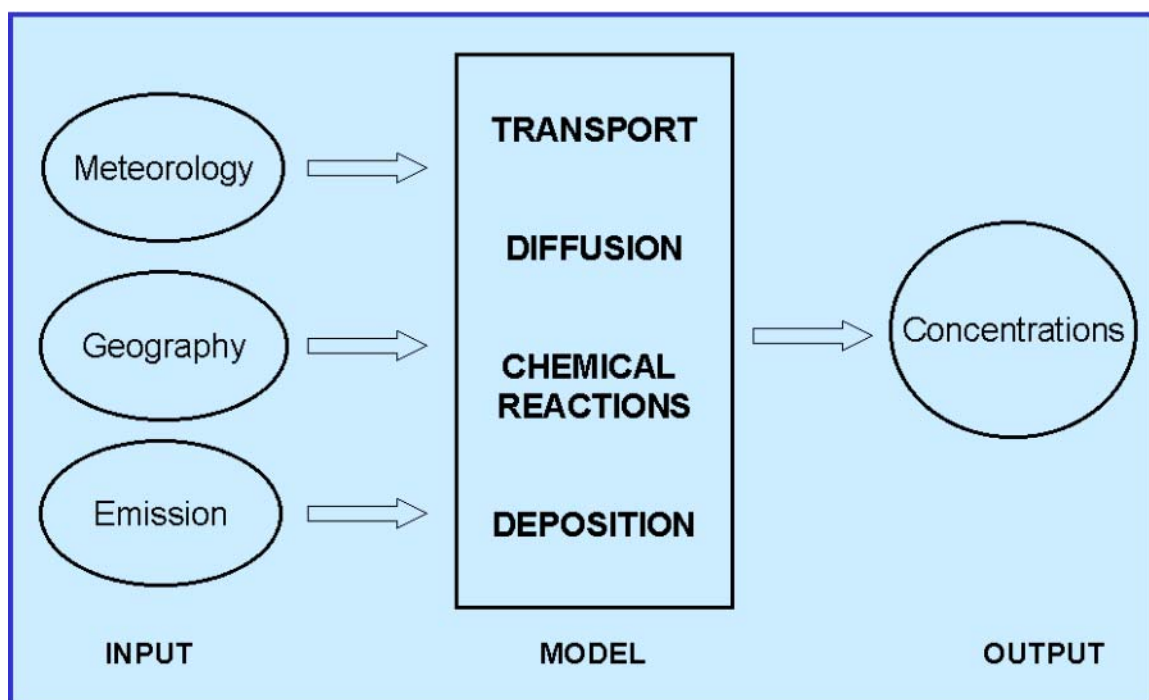
moeten reduceren. De emissiereducties worden voor elke lidstaat voorgeschreven in de vorm van nationale emissieplafonds.

In deze context is het noodzakelijk om de beleidsmakers te voorzien van geschikte instrumenten om de impact van mogelijke emissiereductiestrategieën op ozon te evalueren. Numerieke atmosferische modellen zijn uitermate geschikt voor deze taak. Deze modellen beschrijven de verschillende processen die verantwoordelijk zijn voor de vorming en de afbraak van ozon: emissie van polluenten, atmosferische dispersie en transport, chemische transformaties en depositie. Simulaties met modellen laat toe om een schatting te maken van het effect van een bepaalde emissiereductiemaatregel op ozon.

2. HET BelEUROS PROJECT

Het doel van dit project, gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid (voorheen DWTC), was de Belgische overheid te voorzien van een model voor beleidsondersteuning m.b.t. troposferisch ozon. Hiervoor werd het EUROS model (EUROpean Operational Smog model) geselecteerd (van Loon, 1996). Een overzicht van EUROS wordt gegeven in Figuur 1. Het is een regionaal atmosferisch model dat werd ontwikkeld aan het RIVM. (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Nederland). Het simuleert de uurlijkse variaties van ozon boven Europa over lange tijdschalen (typisch enkele maanden) met een standaard resolutie van 60 km. De gridverfijningsprocedure die werd uitgewerkt in het BelEUROS project laat toe om de ruimtelijke resolutie te verhogen in bepaalde gebieden van het modeldomein, bv. België. Een gedetailleerde emissiemodule berekent de emissies voor 3 categorieën van polluenten (NO_x , VOS, SO_2) en 6 verschillende emissie sectoren (verkeer, gebouwenverwarming, raffinaderijen, solventen, verbranding, industrie). De implementatie van EUROS in België vereiste de aanpassing van sommige invoergegevens (emissie en meteorologie) en van sommige intrinsieke eigenschappen van het model. Deze ontwikkelingen op het EUROS model werden gerealiseerd in nauwe samenwerking met het RIVM en betreffen hoofdzakelijk een betere beschrijving van het transport en de dispersie van polluenten in de onderste lagen van de atmosfeer.

De nieuwe versie van EUROS werd geïnstalleerd bij IRCEL (Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu) in Brussel en zal beschikbaar zijn voor gebruikers in de drie Belgische gewesten. Een complex model zoals EUROS kan niet efficiënt worden gebruikt als het niet wordt voorzien van een gebruiksvriendelijke interface die de gebruiker toelaat om de algemene eigenschappen van zijn simulatie te definiëren, om een emissiescenario te bepalen en om de modelresultaten te visualiseren en te analyseren. Daarom was de ontwikkeling van een efficiënte user interface een belangrijke taak van het project. Momenteel wordt op IRCEL gewerkt aan een verbeterde versie van deze userinterface. De kaartjes die verder getoond worden zijn hiervan het product.



Figuur 1. Een schematisch diagram van het EUROS model.

Binnen het project werd de taakverdeling tussen de verschillende partners als volgt georganiseerd. VITO (Mol) was verantwoordelijk voor de ontwikkeling van een nieuwe emissie inventaris. De nieuwe ontwikkelingen in het EUROS model zelf werden gerealiseerd door VITO in samenwerking met UCL (Louvain-la-Neuve) voor de meteorologische aspecten. FPMs (Mons) was verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de user interface en van de installatie bij IRCEL in samenwerking met IRCEL en VITO. De taak van het KMI (Brussel) bestond uit het leveren van meteorologische gegevens. VITO was ook verantwoordelijk voor een studie betreffende de impact van ozon op gezondheid en vegetatie. Als gebruiker en geassocieerde partner heeft IRCEL een belangrijke rol gespeeld als raadgever in de loop van het hele project. De coördinatie van al deze taken werd door VITO uitgevoerd. Na afloop van het BelEUROS project (gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid, voorheen DWTC) werden door het Vlaamse (VMM) en Waalse (DGRNE) gewest bijkomende projecten gefinancierd waarbij volgende zaken werden gerealiseerd:

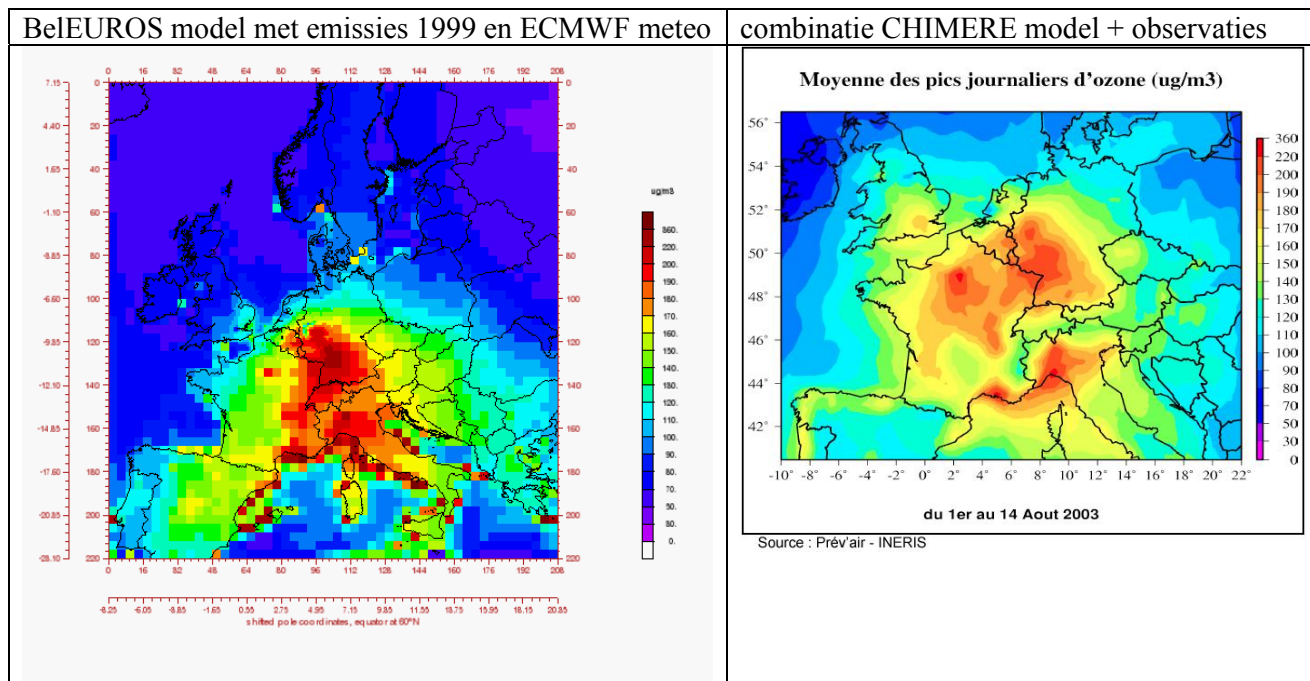
- uitbreiding van de emissie preprocessor voor gebruik van emissies in een verfijnd grid;
- implementatie van een aantal scenario's in de emissie preprocessor (BAU, NEC) voor het aanmaken van emissie bestanden na 1999 (momenteel laatste jaar met officiële emissie cijfers);
- aanpassing userinterface (ondertussen vervangen door nieuwe interface in ontwikkeling op IRCEL).

Door IRCEL zelf werd een meteopreprocessor ontwikkeld waarbij de initiële (beperkte) meteo dataset (5 maanden 1997) werd uitgebreid tot een set van 12 (volledige) jaren. Ondertussen heeft IRCEL (via het KMI) toegang tot de meteo databanken van het Europese weersvoorspellingsbureau te Reading (ECMWF).

3. RESULTATEN MODELSIMULATIE OZONSMOG EPISODE 1 TOT 14 AUGUSTUS 2003

3.1 Vergelijking modelsimulaties – metingen

Episodes van fotochemische verontreiniging doen zich op *subcontinentale* schaal voor. Ze zijn gebonden aan bepaalde weertypes en aan grootschalig transport van voorbeladen luchtmassa's. In de onderstaande figuur wordt het resultaat weergegeven van een BeLEUROS modelsimulatie. Ter illustratie wordt voor dezelfde periode het resultaat weergegeven van een combinatie van modelberekeningen (Franse Chimere model) en metingen.

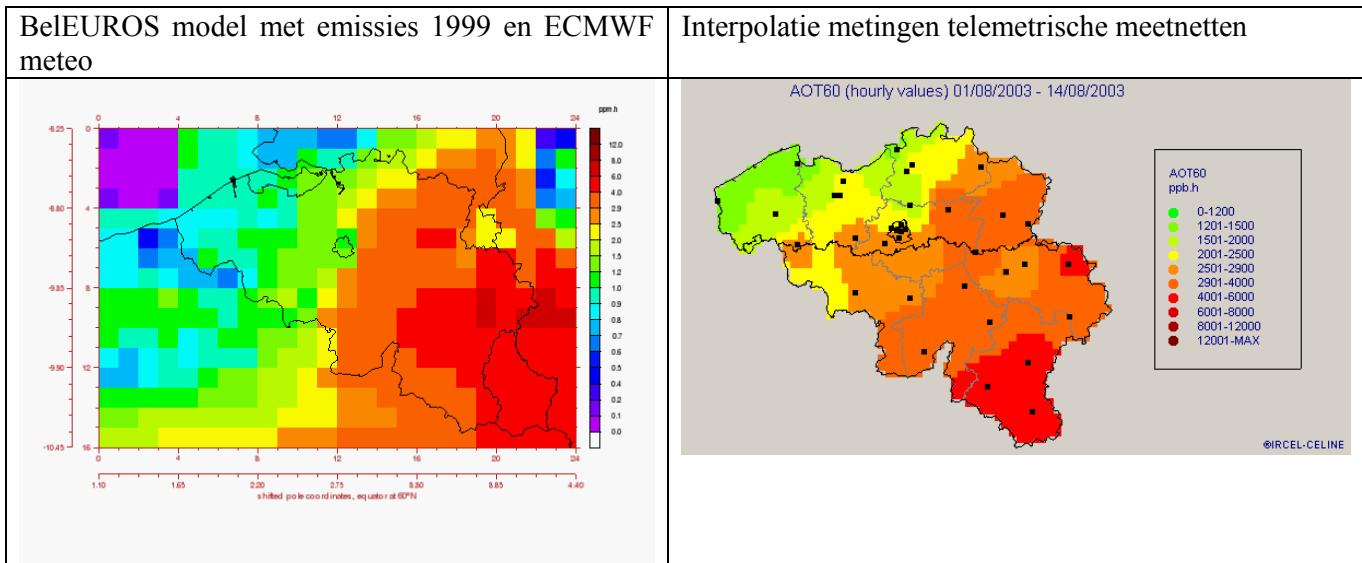


Figuur 2. De gemiddelde waarde van de dagmaxima van ozon tussen 1 en 14 augustus 2003, Europa

Beide modelsimulaties geven een vergelijkbaar resultaat. Het BeLEUROS simuleert lagere concentraties voor centraal Frankrijk en hogere concentraties in het Alpengebied. In België worden de hoogste ozonconcentraties berekend voor het oostelijke landsgedeelte (wat ook blijkt uit de metingen, zie verder).

De beschikbare gridverfijningsprocedure in het BeLEUROS model laat toe om in te zoomen op een gebied waarvoor de gridcellen verfijnd kunnen worden van de standaard 60x60km resolutie naar 30x30 km en verder naar 15x15km.

In onderstaande figuren wordt de AOT60 (som van het positieve verschil van alle uurwaarden groter dan 60 ppb ozon = 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in het meest verfijnde grid (15x15km) met verdere inzooming op België weergegeven.



Figuur 3. AOT60 (uurwaarden) van ozon tussen 1 en 14 augustus 2003, België

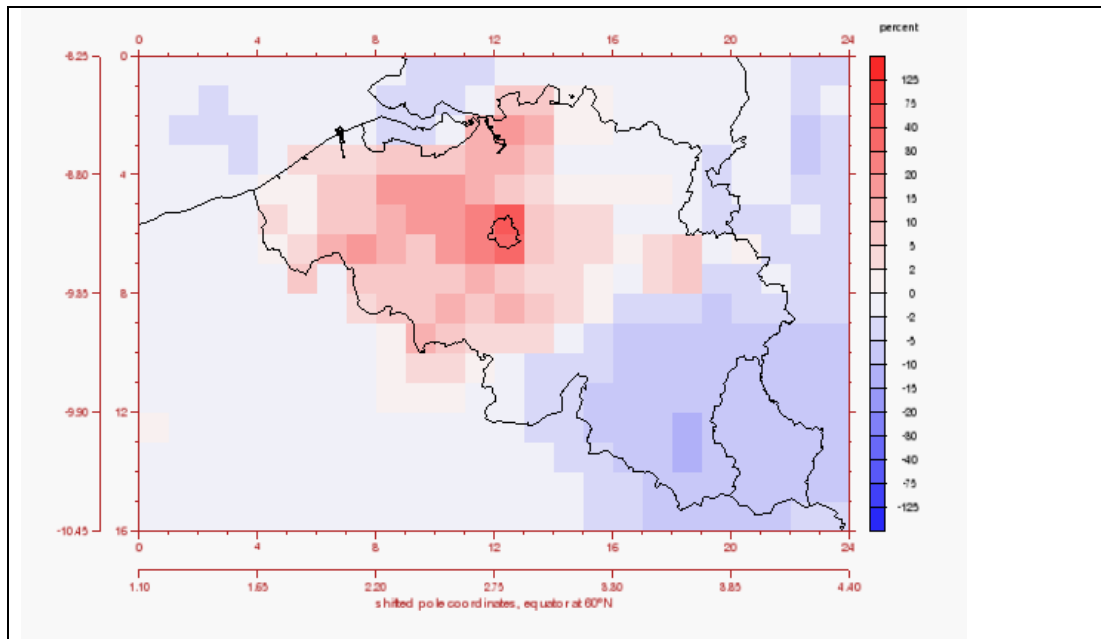
De modelsimulaties komen dicht in de buurt van de meetresultaten. In het westelijke landsgedeelte worden de door het BelEUROS model berekende concentraties lichtjes onderschat in vergelijking met de gemeten waarden. Er moet opgemerkt worden dat de berekende concentraties representatief zijn voor een gebied van 15x15 km waarbij lokale invloeden rond een meetstation (bijvoorbeeld nabijheid van verkeer) oorzaak kunnen zijn van verschillen tussen metingen en modelsimulaties. Ook de resolutie van de ECMWF meteo data die niet hoger is dan $\pm 50 \times 50$ km heeft invloed op de gesimuleerde resultaten. Hogere resolutie meteo data (voor het gebied met gridverfijning) zijn een optie om modelresultaten verder te verbeteren.

3.2 Scenario's

- verkeersemisies in België op 'weekend' regime

Tijdens de smogepisode de eerste helft van augustus 2003 werden in een aantal landen (Luxemburg, Frankrijk) verkeersmaatregelen genomen om het ozonprobleem aan te pakken. Zoals reeds meermaals door IRCEL-CELINE is gezegd en geschreven heeft het treffen van kortetermijnmaatregelen (zoals bijvoorbeeld snelheidsbeperkingen) tijdens een aan de gang zijnde ozon smogepisode buiten een *sensibiliserend* effect geen enkele zin. Omwille van de beperkte emissiereductie van ozonprecursoren door die maatregelen en omwille van de niet-lineariteit van het ozonvormingsproces hebben die maatregelen tijdens een episode een *averechts* effect: zulke maatregelen zullen de ozonconcentraties doen *stijgen*. Dit wordt ook geïllustreerd door het ozon 'weekend' effect: in het weekend is er ondanks verminderde verkeersemisies in Noordwest-Europese steden gemiddeld meer ozon dan op werkdagen. Een simulatie met het BelEUROS model bevestigt deze vaststelling.

In onderstaande figuur wordt het relatieve verschil in AOT60 getoond (periode 1/8 tot 14/8, 2003) tussen een simulatie zonder emissiereductiescenario en een scenario waarbij de verkeersemisies in België vanaf 25/7 (dus één week voor het begin van de augustus hittegolf) op 'weekendregime' worden gebracht. Hiervoor wordt een reductie van 30% NO_x en 20% VOS vooropgesteld (volgt uit analyse van metingen, RIVM studie). Deze emissiereductie is veel groter dan de emissiereducties die te halen zijn via bijvoorbeeld snelheidsbeperkingen van 120 naar 90 km/h (maximaal 4% NO_x en 2% VOS vermindering).



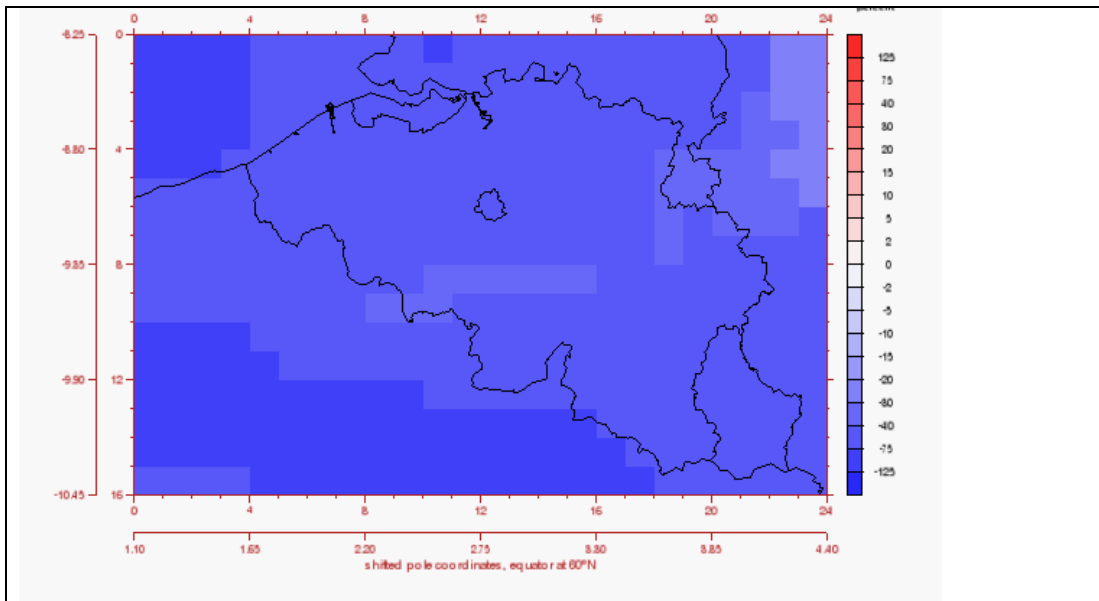
Figuur 4. Relatief verschil tussen gemodelleerde AOT60 zonder en met emissiereductie scenario (verkeeremissies in België -30% NO_x en -20% VOS).

In bijna het ganse gebied ten noorden van Samber en Maas, waar ± 90 % van de Belgische bevolking woont, **stijgt** na invoering van een verkeers ‘weekend’ regime (ingevoerd één week voor het begin van de august hittegolf) **de ozonoverlast** (AOT60). In Brussel stijgt de ozonoverlast met meer dan 40%. Enkel in uitgesproken landelijke gebieden is er een lichte daling van de ozonoverlast.

Plaatselijke, tijdelijke en weinig doortastende maatregelen (bv. lokale ingrepen in het verkeer alleen bij hoge ozonconcentraties) zijn in stedelijke gebieden niet ozonreducerend, wel integendeel. De ernst van de fotochemische verontreiniging is te groot voor mens en plant om de bestrijding ervan te herleiden tot losse, spectaculaire maar inefficiënte maatregelen, die de valse indruk wekken dat het probleem ten gronde wordt aangepakt.

- **emissies volgens NEC-richtlijn**

In de volgende figuur wordt opnieuw het relatieve verschil getoond (opnieuw dezelfde periode van 1/8 tot 14/8 2003) tussen een simulatie zonder scenario en een scenario waarbij wordt verondersteld dat de emissies zijn gedaald tot op het niveau zoals afgesproken in de NEC-richtlijn.



Figuur 5. Relatief verschil tussen gemodelleerde AOT60 zonder en met emissiereductiescenario (emissies volgens NEC-richtlijn).

Het resultaat is een drastische vermindering van de ozonoverlast (AOT60), op sommige plaatsen met meer dan 75%. Een duurzame, drastische en Europees-schalige aanpak is dus nodig om het ozon probleem op lange termijn te verhelpen.

4. BESLUIT

Bovenstaande voorbeelden tonen aan dat het BeLEUROS model een geschikte tool is voor beleidsmakers om de impact van emissiereductiemaatregelen m.b.t de ozonproblematiek te berekenen. Het gebruik van hogere resolutie meteo data (in het gebied waarop gridverfijning is toegepast) zou de modelresultaten verder kunnen verbeteren.

Ondertussen is de VITO in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij een studie aan het uitvoeren die als doel heeft het BeLEUROS model uit te breiden met een ‘fijn stof’ module. Dit zal in de nabije toekomst toelaten om ook de impact van beleidsmaatregelen op de fijn stof problematiek te evalueren. Naast concentraties van de verschillende fijn stof fracties zal het model ook toelaten de samenstelling van het fijn stof te modelleren.

REFERENTIES

1. Van Loon, M., 1996. Numerical methods in smog predictions, PhD thesis, University of Amsterdam.
2. Delobbe, L., Mensink, C., Schayes G., Brasseur, O., Passetecq, C., Passetecq, D., Dumont, G. and Demuth, C. BeLEUROS: Implementation and extension of the EUROS model for policy support in Belgium, Study for the Prime Minister’s Services, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, OSTC Contract Report AS/00/10, March 2001

3. Mensink, C., Janssen L. en Colles, A. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen (MIRA): Puntbronemissies en meteorologische pre-processor voor het BeEUROS model. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (MIRA team), VITO rapport 2003/TAP/030, april 2003.
4. Mensink, C., Colles, A., Janssen, L. en Delobbe, L. Verdere ontwikkeling en optimalisatie van het EUROS model. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, VITO rapport 2001/TAP/R/072, december 2001.
5. Mensink, C., Adriaensen, S., Deutch, F. en Lefebre, F. Evaluatie van het BeEUROS model voor een ozonepisode in de zomer van 2003. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, VITO rapport 2003/TAP/R/088, december 2003.
6. Dumont, G., Fierens, F. ozonverontreiniging in België tijdens de zomer van 2003, <http://www.irceline.be>
7. Dumont, G., Fierens, F., Vandermeiren K., De Geest, C. Fotochemische luchtverontreiniging (hoofdstuk 2.14), in: M. Van Steertegem (red.): MIRA-T 2002 Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's, blz 231-241, Vlaamse Milieumaatschappij en Garant, Leuven/Apeldoorn, december 2002.
8. Deutch, F. (2004) VITO, persoonlijke communicatie
9. Deutch, F., Lefebre, F., Vankerkom, J., Adriaensen, S. en Mensink, C. Modelleren van fijn stof. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, Tussentijds VITO rapport 2004/IMS/R/xxx, april 2004
10. <http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere/>
11. Smeets, CJPP., Beck, JP., Effects of shortterm abatement measures on peak ozone concentrations during summer smog episodes in the Netherlands, RIVM Report 725501004/2001, 2001

Effect van maatregelen in de transportsector op troposferische ozon en de precursoren

Ina De Vlieger en Luc Int Panis

Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek (VITO), Boeretang 200, B-2400 Mol

1. SITUERING

In het jaar 2000 werden in België 30% meer voertuigkilometers afgelegd dan in 1990 en zelfs 300% meer dan in 1970 [1]. Deze sterke toename in de vraag naar wegtransport verhoogde in de jaren '90 de bezorgdheid over de effecten op luchtvervuiling, klimaat, geluidshinder en congestie.

Beleidsmakers worden geconfronteerd met de moeilijke taak het transportsysteem duurzamer te maken. De lijst van mogelijke oplossingen is lang, maar het kiezen van de meest doeltreffende opties is moeilijk. Het komt vaak neer op het afwegen van erg verschillende pollutanten en verschillende effecten op het milieu. Bovendien moet het de bedoeling zijn een bijdrage te leveren aan verschillende beleidsdoelstellingen (bv. ozon en klimaat) of tenminste te kiezen voor zgn. no-regret maatregelen met betrekking tot andere pollutanten (zoals fijn stof).

In het Belgische nationale programma 'Duurzame Mobiliteit' van het Federaal Wetenschapsbeleid (voorheen DWTC) heeft VITO twee verschillende multidisciplinaire studies uitgevoerd: '*Measures in Transport to reduce CO₂ and Tropospheric Ozone*' [2] en '*External Costs of Transport*' [3]. In het eerste project werden 12 beleidsopties of maatregelen in de transportsector geselecteerd en geëvalueerd op hun effectiviteit om CO₂ emissies en concentraties van troposferisch ozon te verminderen. De techno-economische en sociale haalbaarheid van elke optie werd eveneens bestudeerd. In wat volgt worden de resultaten van deze studie vergeleken met de externe kostenbenadering. Deze benadering houdt rekening met de mogelijke schade (vnl. aan de volksgezondheid) die pollutanten kunnen veroorzaken.

Bij de bespreking zal speciale aandacht gaan naar de voornaamste ozonprecursoren, zijnde stikstofoxiden (NO_x) en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS). Het verkeer is immers verantwoordelijk voor 46 % van de totale NO_x-uitstoot in België. Verder is het verkeer, na de industrie, de tweede belangrijkste vervuilingbron (22 %) van NMVOS.

Tenslotte wordt getracht de resultaten van beide projecten in een ander daglicht te plaatsen door in de conclusies rekening te houden met nieuwe bevindingen en recente evoluties in de emissienormering van transportmiddelen.

2. TWEE VERSCHILLENDE BENADERINGEN

Uit een grote reeks mogelijke maatregelen in de transportsector werden er 12 geselecteerd waarvan werd verwacht dat ze een belangrijke bijdrage konden leveren aan de doelstellingen voor het terugdringen van CO₂-emissies en ozonsmog (Tabel 1). Het geheel van aannames en implementatieniveaus die het BAU-scenario (business as usual) en de 12 beleidsopties beschrijven worden gedetailleerd besproken in De Vlieger et al. [2,4]. We wijzen er hier op dat het gebruikte BAU-scenario uitgaat van de data die beschikbaar waren in januari 2000.

Tabel 1. Overzicht van de 12 beleidsopties.

Nr.	Omschrijving beleidsoptie
1	Versnelde introductie van milieuvriendelijke benzine- en dieselveertuigen;
2	Versnelde introductie van milieuvriendelijke alternatieven;
3	Versnelde vervanging van oude personenwagens;
4	Conversie van bestaande voertuigen naar milieuvriendelijke alternatieven: retrofit;
5	Introductie van elektrische personenwagens;
6	Verbeteren van inspectie en onderhoud;
7	Meer milieuvriendelijke rijstijl;
8	Terugdringen van het autogebruik voor woon-werk verkeer door meer carpooling en telewerk;
9	Terugdringen van het autogebruik door promoten van openbaar vervoer;
10	Terugdringen van het autogebruik door meer fietsgebruik en te voet gaan;
11	Terugdringen van het vrachtvervoer over de weg door spoortransport;
12	Terugdringen van het vrachtvervoer over de weg door binnenvaart.

2.1. Group decision support system (GDSS)

De beleidsopties werden geëvalueerd door twaalf besluitnemers op basis van 8 criteria die de drie pijlers van duurzame ontwikkeling (milieu, sociaal en economisch) reflecteren (Tabel 2). Daar er geen lineair verband is tussen NO_x en VOS emissiereductie enerzijds en daling in de ozonconcentratie anderzijds, werden naast AOT40 en AOT60 ook twee ozonprecursoren opgenomen als criteria. De besluitnemers konden bij de evaluatie voor de criteria hun mate van belangrijkheid uitdrukken.

Tabel 2. Overzicht van de criteria voor de MCA-oefening.

Nr.	Criterium
1	Cumulatieve CO ₂ emissiereductie*
2	Cumulatieve NO _x emissiereductie*
3	Cumulatieve VOS emissiereductie*
4	AOT40** – vegetatie
5	AOT60** – volksgezondheid
6	Maatschappelijke kosten
7	Maatschappelijke wenselijkheid
8	Politieke haalbaarheid

* Voor elke pollutie de totale emissiereductie tijdens de hele periode 2001-2012 ten opzichte van het BAU scenario

** AOT = Accumulated (ozon) exposure Over a Threshold of 40 or 60 ppb.

Deze evaluatie gebeurde door middel van Group Decision Making. Dit is een proces waarin de individuele rangschikking (Multicriteria analyse of MCA) van de beleidsopties door de verschillende besluitnemers wordt verwerkt tot één groepsrangschikking [5-7]. Dit proces wordt beschouwd als een multicriteria probleem, waarbij de verschillende besluitnemers staan voor de verschillende criteria.

De waarden voor de verschillende criteria voor de individuele MCA resulteerden uit verschillende deelonderzoeken elk met hun specifieke tools. De emissies werden bepaald met het TEMAT model (Transport Emission Model to Analyse (non-) Technological measures)

[8]. De emissiefuncties uit MEET [9] werden overgenomen. Ozonconcentraties werden geschat met het OZON94 model, wat een vereenvoudigd model is gebaseerd op de resultaten van het LOTOS model van de zomer 1994 [10] en multilineaire regressie toegepast door Aman [11]. De maatschappelijke kosten zijn hier de investerings- en operationele kosten verbonden met de beleidsoptie, externe kosten werden niet opgenomen. De sociale haalbaarheid gebeurde aan de hand van een bevraging. Voor meer informatie over de methodologie wordt verwezen naar [2, 8].

2.2. De Europese ExternE methodologie

De berekening van externe kosten voor de Belgische transportsector is gebaseerd op het rekenraamwerk dat werd ontwikkeld in de Europese ExternE projecten. Daarin werden op een erg gedetailleerde wijze de marginale impacts ten gevolge van energiegebonden polluenten gekwantificeerd. De methodologie voor uitlaatgassen van voertuigen wordt beschreven door Friedrich & Bickel [12]. De ExternE methodologie wordt al een decennium beschouwd als de meest complete en accurate methodologie om de externe kosten van energiegebonden impacts te meten. ExternE wordt bovendien op een bijna continue wijze geactualiseerd. Zo is inmiddels gebleken dat de gezondheids impacts van fijn stof afkomstig van verkeer destijds werden onderschat. Anderzijds blijft ook de monetaire waardering van de letale impacts erg onzeker.

Een samenvatting van de gebruikte methodologie staat in Int Panis et al. [3] en een gedetailleerde beschrijving verscheen in boekvorm [12]. Een nieuwe actualisatie van de methodologie gebeurt op dit ogenblik in de Europese NewExt en ExternE-POL projecten en ook in de schoot van het CAFE gebeuren.

Voor de evaluatie die hier wordt voorgesteld werd vertrokken van emissies berekend met VITO's TEMAT model. Externe kosten per ton pollutant werden berekend met de Ecosense Transport software voor drie type locaties (stedelijk, landelijk en snelweg). Zes polluenten werden beschouwd: SO₂, CO, CO₂, NO_x, PM en VOS. De bekomen kosten zijn identiek aan die van Int Panis en De Nocker [13] behalve voor de stedelijke type locatie waarvoor de waarden werden gecorrigeerd voor het verschil in blootstelling tussen de ExternE gevalstudie (het centrum van Brussel) en meer typische stedelijke kernen in België. Voor de externe milieukost van CO₂ werd 20 euro per ton aangenomen.

3. RESULTATEN EN BESPREKING

3.1. Resultaten van het Group decision support system

Tabel 3 geeft een samenvatting van de waarden van de verschillende opties voor elk criterium. De laatste kolom toont de uiteindelijke rangschikking die rekening houdt met zowel de waarden voor de 8 criteria als met de verschillende gewichten die de beleidsmakers aan de criteria toekenden. Alle beleidsmakers beschouwden de emissies van CO₂ en VOS als belangrijk criterium. Voor de criteria die betrekking hebben op de ozon niveaus en de economische en sociale haalbaarheid waren er meningsverschillen. Het gewicht dat aan het NO_x criterium werd toegekend was kleiner dan voor CO₂ en VOS maar groter dan voor de andere criteria.

Tabel 3. Waarden van de criteria voor de verschillende beleidsopties.

Optie	Criteria								Rang
	CO ₂ [kton]	NO _x [kton]	VOS [kton]	AOT40 [ppm h]	AOT60 [ppm h]	6 ⁽¹⁾	7 ⁽²⁾	8 ⁽³⁾	
1	1 200	47.4	18.6	7.22	0.982	[]	+	[]	1
2	1 060	36.2	13.9	7.23	0.985	--	+	[]	6
3	150	9.3	16.7	7.23	0.975	--	-	-	8
4	0	42.4	25.3	7.24	0.991	-	+	[]	5
5	800	~0	3.9	7.25	0.984	--	-	[]	9
6	0	39.6	39.3	7.19	0.962	--	+	[]	1
7	1 620	18.7	4.7	7.25	0.984	[]	+	[]	7
8	10 700	12.9	6.0	7.24	0.978	+	+	[]	2
9	9 190	0.2	3.9	7.25	0.984	+, -	++	+	4
10	3 680	9.9	5.3	7.25	0.984	+	+	+	5
11	9 470	16.9	7.5	7.24	0.982	[] , -	+	[]	3
12	8 220	10.8	8.2	7.24	0.978	[] , -	+	[]	4

(1) Nationale kost: ‘--’: erg duur (> 500 miljoen euro); ‘-’: duur (> 50 miljoen euro); ‘[]’: niet duur, kleine voordelen; ‘+’: belangrijke voordelen. Omwille van de grote onzekerheid op de kosten voor spoor en binnenvaart wordt de range aangegeven.

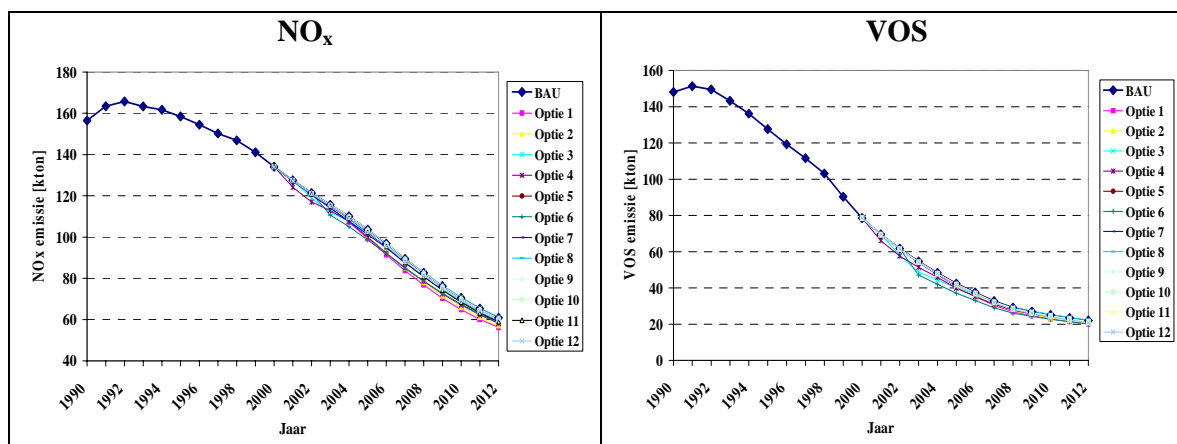
(2) Maatschappelijke wenselijkheid: ‘-’: laag; ‘+’: hoog; ‘++’: erg hoog.

(3) Politieke haalbaarheid: ‘-’: onwaarschijnlijk; ‘[]’: mogelijk; ‘+’: waarschijnlijk.

Een beter inzicht in de waarden voor criteria 1 tot 5 verkrijgt men bij een vergelijking met referentiewaarden. In 1998 bedroeg de CO₂ emissie van transport 24 090 kton, de schatting voor 2010 onder het BAU-scenario bedraagt 30 120 kton.

In 1998 bedroegen de NO_x en VOS emissies respectievelijk 147 kton en 103 kton. Schattingen voor 2010 resulteerden in waarden van respectievelijke 71 kton en 25 kton. Hiermee wordt de NEC¹-doelstelling voor 2010 voor NO_x niet gehaald, deze voor VOS wel.

Dat de trend in uitstoot wordt bepaald door het BAU-scenario en individuele maatregelen weinig effect hebben, wordt geïllustreerd voor NO_x en VOS in Figuur 1.



Figuur 1. Evolutie van de NO_x- en VOS-emissies van verkeer onder het BAU-scenario en de individuele beleidsscenario's.

¹ NEC = National Emission Ceiling 2010; vertaald naar specifieke doelstellingen voor verkeer in België gaf dat voor NO_x 68kton en VOS 35,5 kton.

De gemiddelde AOT40 en AOT60 waarden (2005 and 2010) onder het BAU-scenario werden geschat op 7,25 ppm h en 0,98 ppm h. Men kan besluiten dat individuele beleidsopties slechts een marginaal effect hebben op de ozonconcentratie.

Voor alle individuele beleidsopties bedraagt de verbetering t.o.v het BAU-scenario slechts 0 tot 10% [2,8]. Ook Brand et al. [14] kwamen tot gelijkaardige conclusies.

Opties 2, 3, 5 en 6 resulteren in een hoge nationale kost. Optie 3 (vervanging van oude wagens) heeft de slechtste score voor sociale en politieke haalbaarheid. Optie 9 (meer openbaar vervoer) haalde voor die criteria steeds de beste score.

Rekening houdend met alle 8 de criteria resulteerde de geïntegreerde evaluatie van de beleidsopties in de volgende rangschikking:

- *Beleidsopties die goed scoorden:*
 - Versnelde introductie van milieuvriendelijke conventionele voertuigen (O1);
 - Verbeterde inspectie en onderhoud (O6);
 - Terugdringen van autoverkeer (woon-werk) door meer carpooling en telewerk (O8).
- *Beleidsopties die matig tot goed scoorden:*
 - Terugdringen autogebruik door meer openbaar vervoer O9;
 - Terugdringen vrachtvervoer over de weg door spoortransport O11;
 - Terugdringen vrachtvervoer over de weg door binnenvaart O12.
- *Beleidsopties die heel matig tot matig scoorden:*
 - Conversie van bestaande voertuigen (retrofitting) O4;
 - Meer milieuvriendelijke rijstijl O7;
 - Terugdringen van autogebruik door meer fietsgebruik en te voet gaan O10;
 - Versnelde introductie van milieuvriendelijke alternatieven O2.
- *De twee slechts scorende beleidsopties, waren:*
 - Versnelde vervanging van oude personenwagens O3;
 - Introductie van elektrische auto's in stedelijke omgeving O5.

Een sensitiviteitsanalyse toonde aan dat de score van optie 6 (meer inspectie en beter onderhoud) erg gevoelig is aan het VOS-criterium. Optie 3 (vervanging van oude voertuigen) en optie 5 (invoering elektrische wagens) behaalden altijd een lage score. De slechte resultaten voor elektrische wagens hangen samen de lage substitutie van personenwagens in een realistisch scenario (1,75% in 2012).

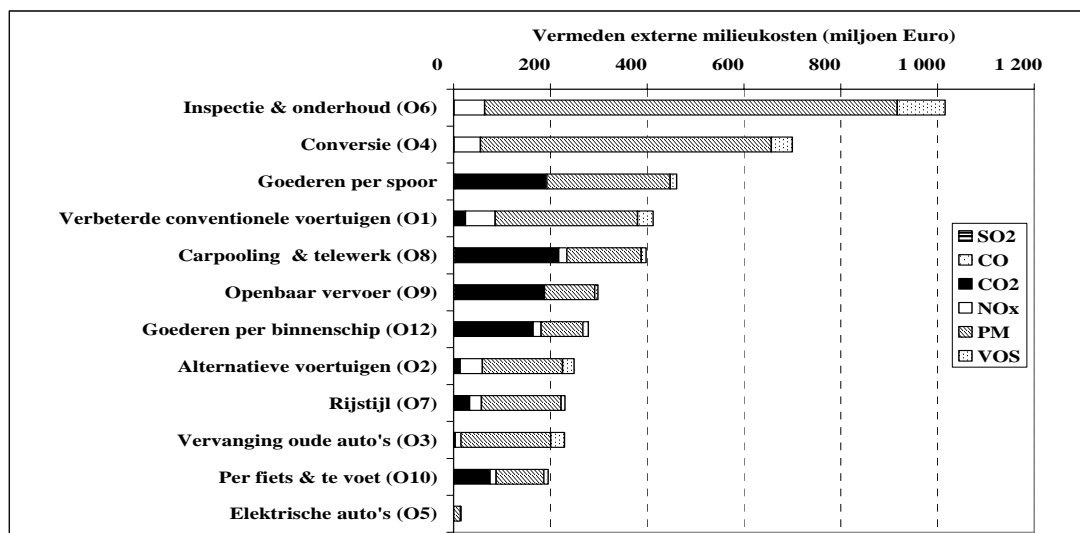
3.2. Externe milieukosten

Figuur 2 toont een overzicht van de vermeden externe milieukosten voor elk van de twaalf beleidskeuzes over de periode 2001 tot 2012. De opties werden gerangschikt van hoogste naar laagste milieuwinst. Het is onmiddellijk duidelijk dat het resultaat sterk afhangt van de wijziging in emissies van fijn stof (de pollutant met veruit de hoogste externe kosten per ton). CO₂, SO₂ en CO zijn veel minder belangrijk.

Enkel rekening houdend met de externe kosten van de vermeden emissies, zijn optie 6 (verbeterde inspectie en onderhoud) en optie 4 (conversie van oude voertuigen) de best mogelijke beleidsmaatregelen. Met een milieuwinst van ongeveer 400 miljoen euro scoort de tweede groep van maatregelen ook goed. Het gaat om optie 11 (meer vracht op het spoor), optie 1 (vervroegde invoering van milieuvriendelijke conventionele voertuigen) en optie 8 (meer carpoolen en telewerken). Behalve optie 5 (invoering van elektrische wagens), die resulteert in een erg lage milieuwinst, leiden de overige opties tot een milieuwinst tussen de

200 en 300 miljoen euro. Dat elektrische wagens niet bijdragen tot een verlaging van de externe milieukosten werd eerder ook al door Funk en Rabl [14] aangetoond.

De totale externe milieukosten van het BAU-scenario lopen op tot 2 626 miljoen euro in 2000 en 1 553 miljoen euro in 2010. Als we deze bedragen vergelijken met de mogelijke winst door vermeden externe kosten, cumulatief over de periode 2001-2012, kunnen we enkel besluiten dat ze relatief klein zijn.



Figuur 2. Vermeden externe milieukosten over de periode 2001-2012 per beleids optie.

3.3. Vergelijking van de beide benaderingen

Met uitzondering van de opties 3 en 4 (resp. de vervanging en conversie van conventionele voertuigen) zijn de resultaten van beide benaderingen verassend gelijkaardig. Dit ondanks het feit dat ze de nadruk leggen op verschillende pollutanten. De hoge rangschikking in vergelijking met de GDSS oefening voor de optie conversie kan objectief verklaard worden door de kleine impact op CO₂ emissies en het belangrijke effect op PM. De emissies van vooral primair fijn stof door verkeer worden steeds meer beschouwd als de belangrijkste drijver voor de gezondheidsimpacts van luchtvervuiling [3]. Het installeren van roetfilters op diesel voertuigen mag dus als beleidsmaatregel niet ontbreken, zeker nu vast komt te staan dat de deeltjesfilters die inmiddels op de markt zijn erg goede resultaten halen in verschillende omstandigheden en bij verschillende types deeltjes (grootteklassen, aantallen en massa) [15].

Tenslotte maken we nog een paar kanttekeningen bij de resultaten voor enkele andere beleids opties. ‘Verbeterde inspectie en onderhoud’, scoort goed in beide benaderingen. We moeten echter benadrukken dat de onzekerheid op het effect van deze maatregel op de emissies erg hoog is [16] en dat bovendien, bij onze aannames, de geschatte kostprijs (ongeveer 1 800 miljoen euro), 80% hoger ligt dan de externe kosten die kunnen vermeden worden.

Bij elke beleids optie die een modale verschuiving beoogt of de vraag beïnvloedt (bv. telewerken en carpoolen) moet erover gewaakt worden dat de op de weg vrijgekomen plaats niet onmiddellijk wordt ingenomen door andere transportstromen [17].

Alhoewel een aangepaste rijstijl een groot potentieel heeft voor brandstofbesparing en emissiereductie [2], scoort deze optie maar matig. Het is immers bijzonder moeilijk om het

gedrag (en zeker rijgedrag) van mensen te wijzigen. Als deze maatregel met succes zou kunnen uitgebreid worden naar andere voertuigcategorieën (bv. HDV) zou het effect op de emissies groter zijn. Het succesvol wijzigen van rijgedrag kan bijna uitsluitend bereikt worden door technologische maatregelen zoals snelheidsbeperkers, cruise-control, zwarte doos en ISA (Intelligent Speed Adaptation). De kostprijs van deze opties ligt echter een stuk hoger dan acties via rijlessen, cursussen of campagnes.

De matige score voor de opties ‘meer fietsen en wandelen’ kan verklaard worden door de relatief kleine fractie substitueerbare autokilometers (ongeveer 3% in 2010). Daar staat tegenover dat deze kilometers bijna uitsluitend worden afgelegd in woongebieden en vaak met een koude motor. Bovendien zijn de directe positieve gezondheidsimpacts (die hier niet worden beschouwd) mogelijk belangrijker dan de vermeden negatieve gezondheidsimpacts.

Beide analyses tonen aan dat de invoering van elektrische wagens op korte termijn (2010 of 2012) geen goede beleids optie is. Tot dezelfde conclusie kwamen Funk en Rabl [18].

4. CONCLUSIES

Het evalueren van beleids opties is een complexe zaak die op geheel verschillende manieren kan benaderd worden. Naast technische gegevens over concentraties en impacts spelen ook economische, sociale en politieke criteria een rol. Steeds meer wordt echter op een geïntegreerde manier gewerkt waarbij naast de effectiviteit van maatregelen voor één beleidsdoelstelling (bv. ozon) ook wordt gekeken naar de andere effecten in hetzelfde beleidsdomein (bv. klimaat, fijn stof) of daarbuiten (congesties, geluid, sociale aspecten). Er werd duidelijk aangetoond dat het effect van individuele maatregelen in de Belgische context een beperkte invloed heeft op het BAU-scenario dat wordt gedreven door beleidsbeslissingen op Europees niveau.

Meer specifiek naar zomerozon is de boodschap, dat het bestrijden ervan slechts kan met structurele en langdurige maatregelen op grote ruimtelijke schaal.

Sinds de afwerking van de VITO studies binnen PODO I, zijn er een aantal nieuwe elementen die we bij de herinterpretatie van de resultaten niet over het hoofd mogen zien.

De tot nog toe gebruikte emissiefactoren voor de NO_x uitstoot van Euro2 en Euro3 vrachtwagens zijn schattingen gebaseerd op lineaire schaling volgens normen. Recente metingen op de weg wijzen uit dat de werkelijke NO_x-emissies veel hoger zijn dan die voor de typegoedkeuring, omdat de motoren buiten het testgebied worden afgesteld voor lager verbruik [19]. Hetzelfde geldt mogelijk ook voor PM [20].

Effecten van beter onderhoud blijken relatief belangrijk voor de PM emissies van vrachtwagens. Het potentieel op vlootniveau is aanzienlijk (-8% Euro1, -7% Euro2, -3% max voor Euro3) volgens Riemersma [21].

Het verbruik en de emissies van binnenschepen liggen lager dan vroeger aangenomen [22]. Hetzelfde geldt voor de SO₂ emissies van goederentreinen. De opties 11 en 12 scoren daardoor eigenlijk nog beter dan blijkt uit de lezing van de hier gepresenteerde resultaten.

Een gehele actualisatie van de verschillende transportmodi gebeurt op dit moment in het PODO II project SUSATRANS (‘Sustainability assessment of technologies and modes for transport in Belgium’ (2002-2004)).

5. DANKWOORD

Beide multidisciplinaire studies werden uitgevoerd voor het Federaal Wetenschapsbeleid, (voorheen DWTC), in het programma 'Duurzame Mobiliteit' (1996-2001). Dhr W. De Keyser en Dhr P. Peeters van de VUB hielpen bij de multiple criteria analyse.

REFERENTIES

1. Labeeuw G., (2001) Traffic countings 2000, N° 17, pp. B6. Ministry of Transport and Infrastructure Brussels.
2. De Vlieger I., Berloznik R., Colles A., Cornu K., Duerinck J., Mensink C., Van Aerschot W., Van Poppel M. and Verbeiren S., (2001) Measures in transport to reduce CO₂ and tropospheric ozone. Final report 2001/IMS/R/139, under contract of OSTC.
3. Int Panis L, De Nocker L., Torfs R., De Vlieger I. and Wouters G. (2001) External environmental costs of transport in Belgium, A report for OSTC, VITO, Mol, Belgium.
4. De Vlieger I., Colles A., Duerinck J. and Verbeiren S., (2002) Urban Transport VIII, Urban Transport and the Environment in the 21st Century, pp. 511-522. WIT Press. Southampton.
5. Brans, J. P., Macharis, C. and Mareschal, B., (1997) The GDSS promethee procedure. Internal Report CSOOTW/277. Free University of Brussels. Belgium.
6. De Keyser W. and Peeters P., (1994) ARGUS: A new multiple criteria method based on the general idea of outranking, Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management, Paruccini, M. (ed.), Kluwer Academic Publishers, 263-278.
7. De Keyser W. and Peeters P., (2001) Group decision seen as a combinatorial optimisation problem, Conference Proceedings, ORBEL 15. 15th Belgian conference on quantitative methods and decision making. Antwerpen. 29-30 January.
8. De Vlieger I., Berloznik R., De Keyser W., Duerinck J. and Mensink C. (2001) Urban Transport VII, Urban Transport and the Environment in the 21st Century, pp. 429-440. WIT Press. Southampton.
9. MEET, (1999) Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, Transport research, Fourth Framework Programme, Strategic Research, DG VII.
10. Builtjes P.J.H. and Boersen G., (1996) Model calculations to determine the influence of European emission reductions on ozone concentrations over Belgium. TNO-report TNO-MEP-R 96/274, Apeldoorn.
11. Aman M., Bertok I., Cofala J., Gyarmas F., Heyes C., Klimont Z. and Schöpp W., (1999) Integrated Assessment Modelling for the Protocol to abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone in Europe. IIASA.

12. Friedrich R. and Bickel P., (2001) Environmental external costs of transport, 326 pp. Springer Verlag. Heidelberg.
13. Int Panis L. and De Nocker L., (2001) Marginal Costs: Belgium. In: Environmental External costs of transport, Friedrich & Bickel (eds), Springer Verlag, Heidelberg.
14. Brand C., Mattarelli M., Moon D. and Wolfer Calvo R., (2002) STEEDS: A strategic transport-energy-environment decision support. European Journal of Operational Research 139, 416-435.
15. Samaras Z. (2004) The particulates project, Conclusions and outlook. Presentation on the International conference, New developments in emission estimation from transport, Antwerpen 24 May 2004.
16. Int Panis L. and Torfs R. (2001) Urban Transport VII, Urban Transport and the Environment in the 21st Century, pp. 441-454. WIT Press. Southampton.
17. US DOE, (1996) Policies and measures of reducing energy related greenhouse gas emissions: lessons from recent literature. US Department of Energy, Office of policies and international affairs. Washington D.C.
18. Funk K. and Rabl A., (1999) Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France. Transportation Research Part D 4, 397-411.
19. Hausberger S. (2004) Emissions from heavy duty Vehicles (Cost + Artemis). Presentation on the International conference, New developments in emission estimation from transport, Antwerpen 24 May 2004.
20. Sturm P. (2004) COST 346 conclusions and outlook. Presentation on the International conference, New developments in emission estimation from transport, Antwerpen 24 May 2004.
21. Riemersma I. (2004) Detoriation effects. Presentation on the International conference, New developments in emission estimation from transport, Antwerpen 24 May 2004.
22. De Vlieger I., Cornelis E., Joul H., Int Panis L. (2004) Milieuprestaties van de binnenvaart in Vlaanderen, Studie in opdracht van Promotie Binnenvaart Vlaanderen, VITO rapport 2004/IMS/R/060.

Analyse coût-efficacité des mesures de réduction des émissions de gaz précurseurs

Georges Liébecq

ECONOTEC Consultants, Square Ambiorix, 45, B-1000 Bruxelles

1. INTRODUCTION

La formation d'ozone dans les basses couches de l'atmosphère étant due à la présence simultanée d'oxydes d'azote (NO, NO₂, désignés ici par 'NO_x') et de composés organiques volatils (COV), toute stratégie préventive passe nécessairement par la réduction des émissions de ces gaz précurseurs.

L'analyse coût-efficacité constitue un moyen d'identifier l'impact des mesures de réduction disponibles et de les classer par ordre de coût marginal croissant, donnant ainsi aux décideurs publics le moyen d'évaluer le coût de mise en œuvre de leurs choix politiques.

2. SOURCES D'EMISSION ET POSSIBILITES DE REDUCTION

2.1. Oxydes d'azote

Les oxydes d'azote se forment à la combustion de combustibles fossiles. Théoriquement, on identifie trois mécanismes différents mais deux d'entre eux sont particulièrement importants:

- la combinaison de l'azote contenu dans le combustible lui-même avec l'oxygène de l'air comburant. Ce phénomène est difficilement évitable. Son importance varie selon la teneur en azote du combustible utilisé, plus importante dans le charbon ou les produits pétroliers que dans le gaz naturel;
- à très haute température, la décomposition de l'azote moléculaire de l'air comburant et sa recombinaison avec l'oxygène présent dans la flamme. Le NO_x ainsi formé est parfois dénommé 'NO_x thermique'.

Dans nos pays, les principales sources d'émissions de NO_x en Belgique sont les transports routiers (pratiquement 50% des émissions totales) et la combustion industrielle à très haute température (fours à ciment et fours à verre par exemple).

Les moyens de réduire ces émissions sont de deux types.

1. des mesures primaires visant à prévenir la formation d'oxydes d'azote, principalement en limitant la température de flamme par divers procédés comme:
 - l'augmentation d'excès d'air;
 - la recirculation des fumées au niveau du brûleur;
 - l'étagement de l'alimentation en combustible et/ou en air comburant le long de la flamme.

Ces techniques sont employées dans les brûleurs dits 'low-NO_x' et permettent de réduire les émissions de 15% à 30%, voire 40% si elles peuvent se combiner de manière adéquate.

2. des mesures secondaires de capture et destruction des oxydes d'azote présents dans les fumées ou gaz d'échappement. Parmi ces mesures, souvent plus onéreuses que les mesures primaires, figurent:
 - les pots catalytiques réducteurs embarqués sur les véhicules routiers;
 - les techniques de dénitrification (catalytiques ou non catalytiques) des fumées d'installations industrielles. Ces équipements sont en général de très grande taille et ne sont concevables que sur de grandes installations industrielles comme des centrales électriques au charbon, des incinérateurs de déchets ménagers ou des fours à clinker, par exemple.

Il existe une troisième voie qui consiste à éviter la formation de NO_x thermique en utilisant comme comburant, non plus de l'air, mais de l'oxygène pur. Cette technique, appelée 'oxycombustion', s'est notamment développée dans la production de verre sur des installations de taille moyenne. Elle nécessite une très bonne étanchéité car la combustion en présence d'oxygène s'effectue à très haute température et toute introduction d'air crée immédiatement du NO_x thermique. Pour des raisons de sécurité, on évitera d'appliquer l'oxycombustion dans des situations où l'oxygène est susceptible de rencontrer de l'hydrogène. L'oxycombustion permet des économies d'énergie, dans la mesure où la combustion ne porte plus un ballast d'azote à haute température inutilement. Mais la préparation d'oxygène pur est grande consommatrice d'électricité et le bilan énergétique et financier peut ne pas être favorable dans tous les cas.

2.1. Composés organiques volatils

Les composés organiques volatils (COV) présents dans l'atmosphère proviennent de diverses sources et sont principalement constitués¹:

- d'hydrocarbures imbrûlés, provenant de combustions incomplètes (dans les gaz d'échappement des véhicules, dans les fumées de feux de bois par exemple);
- d'hydrocarbures volatils comme les vapeurs d'essence qui s'échappent des réservoirs de voitures lors de leur remplissage ou comme les gaz propulseurs des bombes aérosols;
- de solvants organiques contenus notamment dans les produits de dégraissage, les peintures, les encres, certaines colles...

Dans nos pays, les transports routiers sont responsables d'un bon tiers des émissions, l'usage de solvants et de gaz propulseurs dans différentes applications, qu'elles soient professionnelles ou privées en constituent un autre tiers.

La réduction des émissions de COV passe par des mesures primaires, des mesures secondaires, ou la combinaison des deux.

Parmi les *mesures primaires*, citons:

- les économies de produits comme par exemple la mise en œuvre de techniques performantes de pistelage de peinture qui en limitent les pertes;
- la substitution de produits: l'utilisation de produits contenant moins de solvants organiques, voire plus du tout (peintures ou encres en phase aqueuse, déodorants en

¹ Le méthane et les gaz fluorés ne sont généralement pas considérés parmi les COV, leurs émissions étant couvertes par des politiques de réduction spécifiques (Protocole de Kyoto et Protocole de Montréal).

- stick...). Il convient bien entendu que les services rendus par ces produits de substitution soient équivalents ou meilleurs que ceux de l'original;
- dans certains cas, la substitution de techniques, par exemple décaper d'anciennes peintures par sablage plutôt qu'en utilisant des solvants...
 - diverses mesures destinées à limiter les fuites de solvants durant leur stockage et leur manipulation.

Parmi les *mesures secondaires*, on identifie:

- la capture, la récupération et éventuellement le recyclage des composés: par exemple par adsorption/désorption sur des filtres à charbon actif ou par condensation à basse température;
- la destruction des composés par oxydation thermique (incinération qui peut parfois s'auto-entretenir sans apport de combustible) ou par des lits bactériens.

Les sources d'émission de COV présentent souvent la particularité de comporter une part diffuse et une part dirigée. Les émissions dirigées sont contenues dans un conduit de ventilation ou une cheminée, on pourra les capter et les traiter par une des mesures secondaires identifiées ci-avant. Les émissions diffuses par contre proviennent de manipulation, de défauts d'étanchéité et ne seront pas affectées par des mesures secondaires. Seules des mesures primaires peuvent agir sur cette fraction des émissions.

3. PERSPECTIVES D'EMISSIONS A L'HORIZON 2010

D'ici 2010, l'entrée en vigueur de différentes réglementations, pour la plupart européennes, devrait faire diminuer les émissions de NO_x et de COV. Ces règlements portent notamment sur:

- les émissions des véhicules routiers;
- le stockage et la distribution de carburants;
- les émissions atmosphériques des grandes installations de combustion;
- les normes d'émissions à l'incinération et la co-incinération de déchets;
- la mise en œuvre des meilleures technologies disponibles dans le cadre de la directive européenne IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control);
- la réglementation des émissions de COV en provenance d'un ensemble d'activités industrielles et de service (directive européenne 99/13/CE, dite 'Solvants').

Tenant compte de ces réglementations et de l'évolution la plus probable des activités économiques dans les prochaines années, il est possible d'évaluer des perspectives d'émissions à l'horizon 2010 dans le cadre de ce que nous convenons d'appeler un *scénario de référence*. Bien entendu, il faut considérer de telles perspectives simplement comme l'image la meilleure que nous pouvons aujourd'hui nous faire de l'avenir.

A titre d'exemple, les figures 1 et 2 ci-après présentent les niveaux d'émissions de NO_x et de COV au Grand-Duché de Luxembourg en 2000 et leurs perspectives d'évolution à l'horizon 2010 dans le cadre d'un tel scénario de référence [3]. On y constate une probable diminution des émissions tant de NO_x que de COV. En particulier, la contribution des transports aux émissions de COV diminue considérablement, du fait de l'introduction de mesures de réduction embarquées sur les véhicules mais aussi de la diminution relative des parts de marché des véhicules à essence au profit de motorisations diesel dans le parc de voitures individuelles.

Emissions d'oxydes d'azote (NOx)

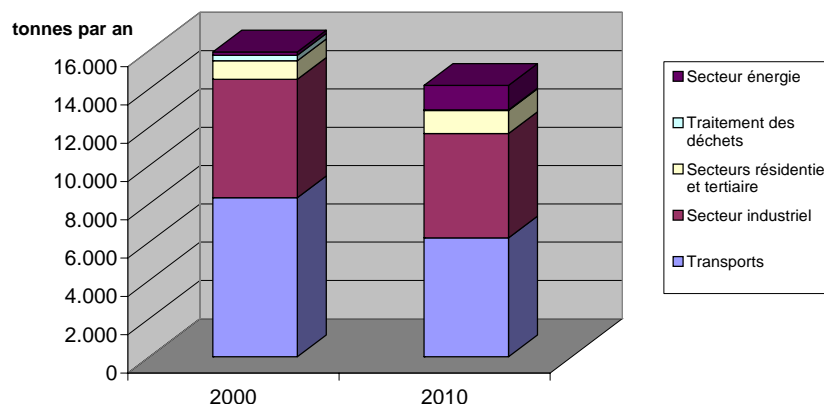


Figure 1: Emissions de NO_x en 2000 et à l'horizon 2010(Scénario de référence, Grand-Duché de Luxembourg)

Emissions de composés organiques volatiles (COV)

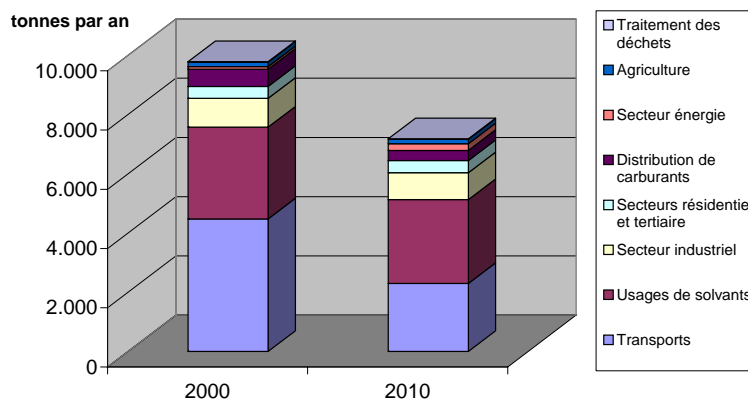


Figure 2: Emissions de COV en 2000 et à l'horizon 2010(Scénario de référence, Grand-Duché de Luxembourg)

4. CONSTRUCTION DE COURBES DE COÛT MARGINAL

Une courbe de coût marginal classe les mesures de réduction d'émissions par ordre croissant de coût/efficacité. On peut construire une courbe de coût par polluant tant que les mesures envisagées agissent exclusivement sur ce polluant ou, à tout le moins, tant que l'on peut identifier son efficacité et la fraction de son coût de mise en œuvre à affecter à ce polluant.

Dans la pratique, seules les mesures commercialement disponibles actuellement sont considérées, les seules pour lesquelles on dispose de suffisamment d'informations concernant leur efficacité technique et leurs coûts de mise en œuvre. Malgré ces précautions, il convient de souligner que la détermination de ces paramètres n'est réalisable qu'avec une marge d'incertitude importante, due à la dispersion des coûts et des caractéristiques techniques, variant très fort d'une application à l'autre.

Chaque mesure de réduction porte sur une catégorie bien définie de sources d'émissions (par exemple: les installations de combustion de secteur résidentiel, les cabines de peinture en carrosseries,...). Elle est caractérisée par:

- son efficacité technique (% de réduction d'émission)
- son applicabilité (%), qui est en fait une mesure de:
 - o sa faisabilité technique;
 - o sa pénétration actuelle;
 - o sa pénétration maximale envisageable en 2010.
- ses coûts unitaires de mise en œuvre (EUR/an/t polluant évité):
 - o coût d'investissement annualisé;
 - o coût d'exploitation et de maintenance;
 - o gain éventuel (coût négatif) s'il y a économie d'énergie ou de produit lors de la mise en œuvre de la mesure.

Le produit de l'efficacité par l'applicabilité détermine *l'efficacité réelle* de réduction des émissions de la catégorie de sources considérée.

Les mesures de réduction peuvent être prises isolément, elles peuvent s'exclure entre elles ou elles peuvent se combiner. Toute combinaison sera considérée comme une nouvelle mesure. Dans ce cas, de très nombreux cas de figure peuvent se rencontrer, par exemple:

- deux mesures affectant chacune l'ensemble des émissions de la source considérée;
- deux mesures affectant chacune une partie des émissions;
- l'une affectant la totalité des émissions (substitution de produit par exemple), l'autre uniquement une fraction des émissions (adsorption des émissions dirigées par exemple).

Une première opération consiste à comparer toutes les mesures et combinaisons réalisables entre elle. On ne retient alors que celles qui présentent le meilleur rapport coût/efficacité. Ainsi, pour une source d'émission bien déterminée, la figure 3 montre les différentes mesures et combinaisons envisageables: A, B, C, D, A+B, A+C et A+D. Les seules qui seront retenues sont celles qui constituent la courbe enveloppe, à savoir: A, C, A+C, D et A+D.

Cette opération étant réalisée pour chaque source, on construit ensuite une courbe marginale de coûts par polluant. Cette courbe présente en abscisse les réductions d'émissions cumulées et en ordonnée les coûts marginaux annualisés rapportés à l'unité de polluant non émis (figure 4). Il s'agit bien de coûts marginaux dans la mesure où les caractéristiques de chaque mesure y figurent comme un surcoût et une sur-efficacité par rapport à la mesure agissant sur la même source d'émission qui la précède sur la courbe. Ainsi une dénitrification des fumées par un procédé non catalytique (SNCR) et une dénitrification catalytique (SCR) peuvent apparaître sur la même courbe en se référant à la même source d'émissions. Simplement la technique SCR, plus coûteuse et plus efficace, sera caractérisée par son surcoût et par la réduction résiduelle d'émissions par rapport à la technique SNCR qui la précède sur la courbe.

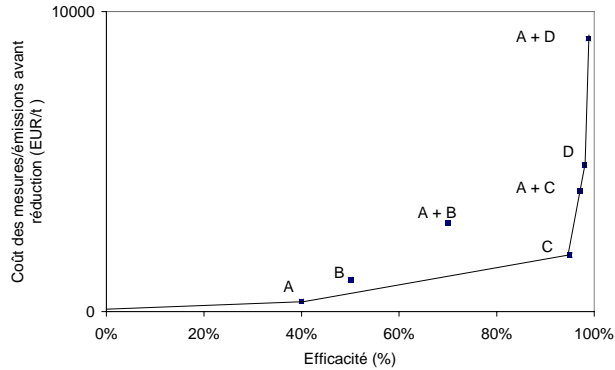


Figure 3: Classement des mesures et combinaisons de mesures pour une source d'émission

La figure 4 présente une courbe de coût marginal pour la réduction d'émissions de COV.

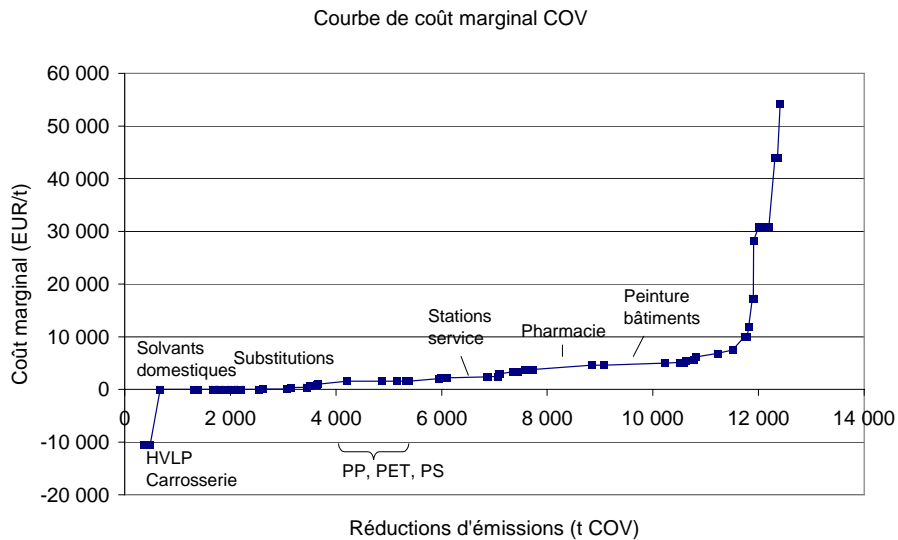


Figure 4: Courbe de coût marginal COV

Typiquement, de telles courbes présentent trois zones distinctes:

- à gauche, une zone à coûts peu élevés, voire négatifs (lorsque la mise en œuvre d'une mesure permet des économies financières);
- une zone intermédiaire où les coûts croissent relativement lentement;
- enfin, à droite, un point d'inflexion et une zone de très forte croissance des coûts, correspondant à la mise en œuvre de mesures qui se révèlent de plus en plus onéreuses pour obtenir les réductions d'émission de plus en plus résiduelles.

On constate en général que les mesures primaires se situent le plus souvent dans la partie gauche de la courbe, alors que les mesures secondaires apparaissent plutôt dans la partie droite.

5. CONCLUSIONS

Les courbes de coût marginal réalisent un classement des mesures de réduction par ordre croissant de coût/efficacité. Le potentiel de réduction qu'elles mettent en évidence est bien sûr un potentiel technique, la forme exponentielle de la partie droite des courbes montre bien que seule une partie de ce potentiel peut être mobilisable à coût raisonnable.

En pratique, les trois zones identifiées sur les courbes délimitent l'espace de liberté des décideurs publics:

- les mesures peu coûteuses, voire rentables, qu'il serait impensable de ne pas tenter de mettre en œuvre. Elles requièrent souvent des changements de comportement de la part de milieux professionnels ou du grand public, qui ne sont malheureusement guère aisés à obtenir;
- à l'opposé des mesures extrêmement onéreuses qu'il est impensable de requérir de la part des acteurs économiques;
- entre les deux, une zone de décision, dans laquelle les décideurs devront faire des choix pour atteindre leurs objectifs de réduction.

REFERENCES

1. ECONOTEC Consultants (1999), Analyse prévisionnelle des émissions de COV et de NO_x en Belgique à l'horizon 2010, *Etude réalisée pour les Services fédéraux des Affaires scientifiques techniques et culturelles (SSTC)*, Bruxelles.
2. ECONOTEC & VITO (2000), Preparation of a policy to reduce the emissions of VOS from products, Report for the Federal Services for Environmental Affairs, Brussels.
3. Grand-Duché de Luxembourg (2003), Programme national de réduction progressive des émissions de polluants atmosphériques (SO₂, NO_x, COV, NH₃) en application de la directive 2001/81/CE du 23 octobre 2001, Administration de l'environnement, Luxembourg.
4. EGTEI (2003 - 2004), LRTAP Expert Group on Techno-Economic Issues; Background Documents, www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm.
5. IFARE (1997-1998), Task force on the assessment of abatement options/techniques for volatile organic compounds from stationary sources, UN-ECE LRTAP background documents, Karlsruhe.
6. IFARE (1998), Task force on the assessment of abatement options/techniques for nitrogen oxides from stationary sources, UN-ECE LRTAP background documents, Karlsruhe.

Externe kosten van ozonconcentraties en reducties

Rudi Torfs, Luc Int Panis, Leo De Nocker en Stijn Vermoote

Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek (VITO), Boeretang 200, B-2400 Mol

1. INLEIDING

Het milieubeleid is erop gericht om ozonconcentraties en ozonpieken te verminderen. Ozon is immers schadelijk voor gewassen en voor mensen. Vermindering van de uitstoot van vervuilende stoffen die ozon veroorzaken, door huishoudens, industrie en de transportsector kan veel kosten, maar levert tegelijk een gezondheidswinst of een verbeterde gewassenoogst op. Het is daarom nodig om de beleidsmaatregelen te evalueren in termen van kosten en baten.

Externe kosten zijn een geschikte benadering om de baten van ozonreductie te beoordelen. Het effect van beleidsmaatregelen kan hierdoor in monetaire termen uitgedrukt worden, en vergeleken met de kost van deze maatregelen. Dit kan soms verrassende inzichten leveren. Niet alle maatregelen of emissiereductiescenario's leveren baten op die groter zijn dan de kosten voor het scenario. Anderzijds levert de vermindering van uitstoot van ozonprecursoren ook bijkomende voordelen op. Vermindering van stikstofdioxide bijvoorbeeld heeft een gunstig effect op de aanwezigheid van verzurende stoffen in de lucht.

2. WAT ZIJN EXTERNE KOSTEN?

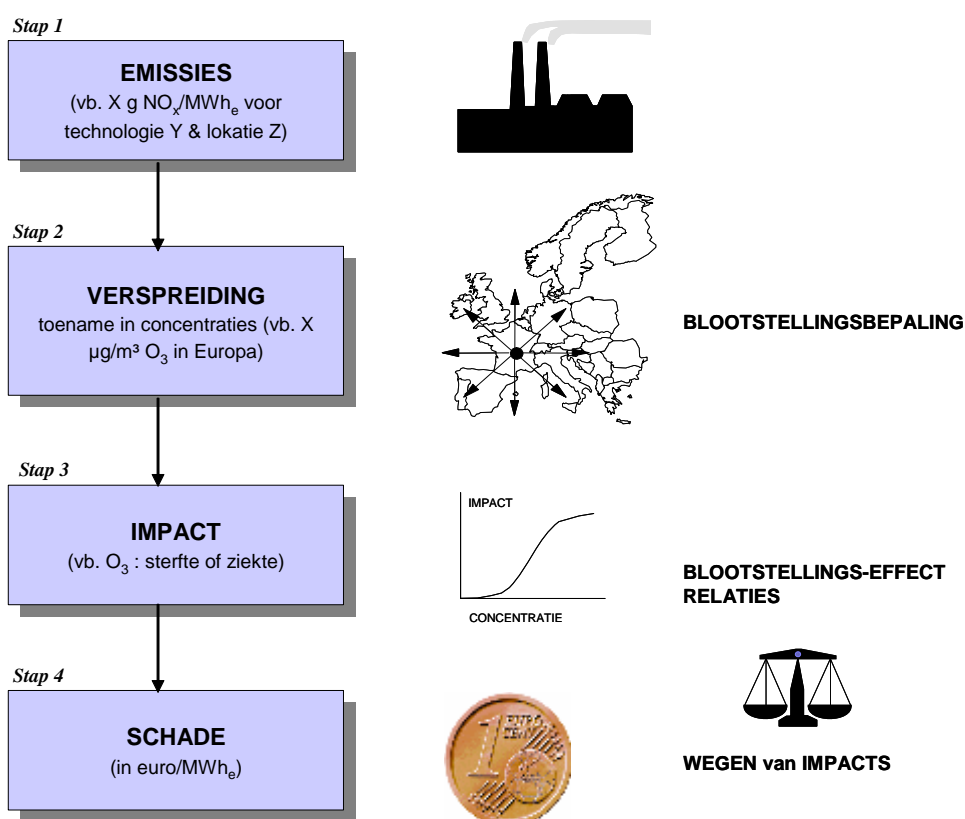
Wanneer we consumptiegoederen kopen, betalen we voor de grondstoffen, brandstoffen, investeringen, arbeidskosten en onderhoudskosten, accijnzen en winst, die de prijs bepalen van het product. Nochtans brengt de productie en het gebruik van deze goederen ook lasten met zich mee, bv. door de uitstoot van verontreinigende stoffen naar de lucht die de gezondheid van mensen kan beïnvloeden. Deze schade, die ook een maatschappelijke prijs heeft, wordt niet verrekend in de aankoopprijs van het product. Ze is niet geïnternaliseerd of 'extern'. Voor transport is het duidelijk dat de aankoopprijs van een wagen, de prijs van benzine of diesel, verzekeringen en taksen geïnternaliseerd zijn. De gebruiker betaalt hiervoor zelf. Maar door het gebruik van de wagen komen toxische stoffen vrij, die effecten veroorzaken op mensen, gebouwen, bossen en landbouwgewassen, ontstaan er files, en lopen andere mensen een risico op ongelukken. Ook hinder door lawaai is een gevolg van het gebruik van transport. Deze factoren bepalen de externe kosten van transport. Milieuschadeprijzen of externe milieukosten beschouwen enkel de externe kosten veroorzaakt door emissies naar het milieu. Externe gezondheidskosten zijn hiervan een onderdeel.

De analyse van de milieuschadeprijzen is dus een nieuwe invalshoek om luchtverontreiniging ten gevolge van economische activiteiten te benaderen. De milieuschadeprijs definiëren we als het welvaartsverlies dat de maatschappij als geheel lijdt ten gevolge van de verontreiniging. In de economische theorie is het concept vooral ontwikkeld om te kunnen streven naar een optimalisering van de welvaart. Indien de externe kosten geïnternaliseerd zijn, wordt de juiste prijs voor een product betaald, en kan bij de keuze van productiemiddelen, of consumptiegoederen rekening gehouden worden met de graad van schade aan mens en milieu. Bovendien zijn de externe kosten geschikt om op te nemen in kosten-baten analyses. In de Europese Gemeenschap is de idee sinds het begin van de jaren negentig opgenomen in de verschillende milieueactieprogramma's, en vindt men de weerslag hiervan terug in de

witboeken van de Europese Commissie over energie en transport. In het luchtkwaliteitsbeleid wordt het principe van de (internalisering van) externe kosten nu regelmatig gehanteerd.

2.1 ExternE

De schattingen van de externe kosten zijn gebaseerd op de rekenmethode van het Europese ExternE-project (EC, 1995; EC, 1999; Friedrich en Bickel, 2001). Marginale impacts van energiegebonden emissies worden in een gedetailleerde ketenbenadering gekwantificeerd. Deze werkwijze wordt samengevat in figuur 1. Impacts op gezondheid en het leefmilieu worden gekwantificeerd door vervuilende stoffen te volgen vanaf de bron tot aan de impact. Deze ‘route-effect’ methode integreert de meest actuele kennis in verschillende wetenschappelijke disciplines in één consistent rekenschema. De emissiefactoren (stap 1), dispersiemodellen (stap 2), blootstellingeffect relaties (stap 3) en economische waarderingen (stap 4) werden, speciaal voor het ExternE project, geselecteerd uit de recente wetenschappelijke literatuur door een grote groep experts. De ExternE-methodologie wordt daarom tegenwoordig beschouwd als de meest volledige methodologie voor de berekening van energiegebonden impacts.



Figuur 1. Schematische voorstelling van de route-effect benadering die wordt gehanteerd bij de berekening van externe kosten van luchtvervuilende emissies.

De laatste jaren werd op Europees niveau de methodologie hoofdzakelijk nog verfijnd voor toepassingen in de transportsector (Friedrich en Bickel, 2001), en werden beleidsvoorbereidende kosten-baten analyses van milieumaatregelen uitgevoerd met de cijfers uit ExternE als basis (Holland, 1998a&b). Vooral voor dit laatste is de ExternE methode zeer succesvol gebleken. In het kader van CAFE wordt de methodologie nu opnieuw gebruikt om de kosten-baten analyse van een toekomstig luchtkwaliteitsbeleid te maken

(<http://europa.eu.int/comm/environment/air/cape/activities/cba.htm>). In het CAFE programma wordt de methode geactualiseerd en wordt er rekening gehouden met de meest recente ontwikkelingen vooraleer ze weer wordt toegepast op de kosten-baten analyse van emissiereductie.

2.2 Impacts van ozon

In het ExternE project zijn volgende impacts van ozon berekend in monetaire termen (tabel 1). De impact van ozon op materialen zoals rubber is onvoldoende kwantificeerbaar en dus niet opgenomen in de externe kosten. Ook de niet-commerciële waarde van bossen is niet uitgedrukt in commerciële termen, terwijl dit wel een belangrijke drijfveer is voor het Europese ozonreductiebeleid.

Tabel 1. Impacts van ozon in de ExternE methodologie.

Gezondheid		
Acute mortaliteit	✓	APHEA: sterfte, hospitalisaties
Acute morbiditeit	✓	FEV, symptomen, dagen met beperkte activiteit
Chronische morbiditeit	X	Voorlopig beperkte data
Gewassen		
Directe opbrengst	✓	Op basis van overschrijdingen van een drempel Nieuwe methode (via ozonflux)
Bossen	✓ x	Enkel via productieverliezen
Materialen	X	Effecten op rubber

3. IMPACTS OP GEWASSEN

Ozon (O₃) is schadelijk, zowel voor bossen, natuurlijke planten als voor commerciële gewassen. Zowel de Wereld Gezondheidsorganisatie (WGO) als de Economische Commissie Europa van de Verenigde Naties (UN ECE) beschouwden de AOT40 als een goede drempelwaarde voor schade aan gewassen, die toeliet de procentuele theoretische opbrengstvermindering van graangewassen te bepalen. In eerste instantie (in *level I* studies, waar geen onderscheid is tussen verschillende species) zijn deze waarden enkel te gebruiken als een indicator voor het potentiële risico op vermindering van groei of opbrengst (Kärenlampi L. en Skärby L.L., 1996). Nochtans worden binnen ExternE deze risico's vertaald in functies die het verlies aan opbrengst kwantificeren. Tegelijk wordt de methode nu aangepast om de impact op basis van de ozonflux te bepalen en wordt afgestapt van de AOT40. De impact in termen van verminderde oogstopbrengst wordt vervolgens gekwantificeerd aan de hand van marktprijzen.

4. OVERZICHT VAN DE GEZONDHEIDSEFFECTEN

4.1 Epidemiologische evidentie

Zowel door de WGO als door de verschillende overheden in Europa en de US wordt troposferisch ozon erkend als een potentieel risico voor de volksgezondheid. Epidemiologische studies wijzen op effecten, en pogen deze te kwantificeren. Met het oog op risico-evaluaties en kosten-baten analyse voor het beleid, worden deze kwantitatieve gegevens over de effecten van ozon toegepast op populaties, die blootgesteld worden aan ozon. De

verkregen risicogroep en de potentiële effecten worden vertaald in monetaire termen, zodat de baten van een ozonbeleid kunnen afgewogen worden ten opzichte van de kosten.

Het APHEA project, *Air Pollution and Health: a European Approach*, is een grootschalige epidemiologische studie in 15 Europese steden met in totaal 25 miljoen inwoners. De studie in opdracht van de Europese Unie had onder andere tot doel verbanden te zoeken tussen luchtverontreiniging door zwevend stof, ozon, SO₂ en NO_x en gezondheidseffecten. De belangrijkste bevindingen met betrekking tot ozon worden hier samengevat. De resultaten van het APHEA project vormen een belangrijke database. Voor verschillende steden in West-Europa zijn de resultaten met betrekking tot ozon niet altijd hetzelfde, maar globaal, in een gecombineerde analyse van de steden, lijken wel effecten op te treden bij verhoogde ozonconcentraties. De belangrijkste en meest consistente zijn: mortaliteit (Touloumi, 1997), ziekenhuisopnames voor luchtwegklachten (Spix, 1998) en voor COPD¹ (Anderson, 1997) in het bijzonder. Andere effecten, zoals astmatische klachten en spoedopname (Sunyer, 1997) worden niet eenduidig aangetoond. De effecten op volwassenen waren min of meer hetzelfde in koude en warme seizoenen. Voor 65 plussers is het effect meer uitgesproken in het warme seizoen. Al bij al noemen de onderzoekers de associaties met ozon groot, significant, homogeen en onmiddellijk. Het 8-uurs gemiddelde geeft sterkere verbanden dan het uurlijkse maximum (Spix, 1998). Dit 8-uurs gemiddelde is niet hetzelfde als het hoogste 8-uursgemiddelde van een dag, dat in de ozon richtlijn 2002/3/EC wordt gehanteerd.

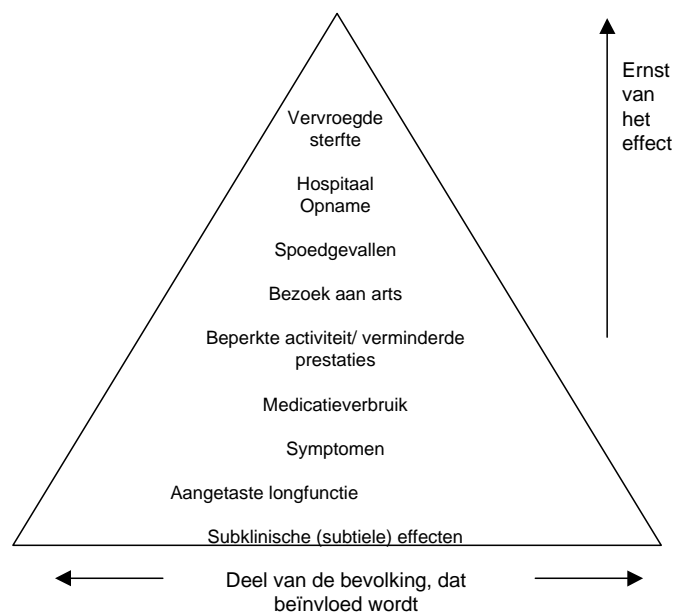
Amerikaanse studies bevestigen deze relaties in grote lijnen (Thurtson en Ito, 1999). De US-EPA heeft in 1996 een volledige review gemaakt van de wetenschappelijke en technische informatie betreffende ozon (EPA, 1996). EPA besluit dat de epidemiologische literatuur een direct verband tussen ozon/fotochemische oxidanten en acute respiratoire effecten bij astmatici ondersteunt, maar niet uniform is. Whittemore en Korn (1980) onderzochten het verband tussen astma aanvallen en ozon bij astmatische kinderen en volwassenen in Californië. De resultaten tonen een positieve associatie aan, zelfs wanneer voor totaal zwevend stof (TSP) gecorrigeerd wordt. In de studie wordt als indicator 1-hr max. oxidantconcentratie (in ppb) gebruikt, en aangenomen wordt dat 100% van die gemeten concentraties uit ozon bestaat. Daarnaast bestaan nog enkele studies die mindere morbiditeitimpacts in kaart brengen. Ostro en Rothschild (1989) vinden een statistisch verband tussen dagen met een beperkte activiteit (bij volwassenen 18-65 jaar) en ozon. Een 'minor restricted activity day' (MRAD) wordt gedefinieerd als een dag waarop een persoon zijn dagelijkse werk moest aanpassen als gevolg van zowel respiratoire als niet-respiratoire condities, zonder werkverzuim of bedlegerigheid. Krupnick et al. (1990) onderzochten het effect van o.m. ozon, deeltjes en SO₂ op 19 verschillende respiratoire symptomen of condities bij volwassenen (18-65 jaar).

4.2 Toepassing in ExternE

In het ExternE project zijn de verschillende epidemiologische studies uitgebreid bestudeerd om de best beschikbare risicoschattingen te selecteren voor een kwantitatieve doorrekening van effecten (EC, 1999). De keuze van eindpunten in ExternE gaat verder dan APHEA. De geselecteerde gezondheidsfuncties vormen slechts een deel van de mogelijke effecten (Spix, 1997). Ten eerste handelen de meeste studies enkel over een volwassen populatie. Effecten op kinderen (astma, irritaties, ...) zijn beschreven, maar niet voldoende gekwantificeerd om hier op te nemen. Mogelijk zijn deze effecten belangrijk in een kosten-baten analyse van maatregelen. Chronische effecten, ten gevolge een langdurige blootstelling aan (lage) concentraties ozon, zijn aangetoond in dierproeven, en worden beschreven in de

¹ Chronic Obstructive Pulmonary Disease of CARA: Chronische Aspecifieke Respiratoire Aandoeningen.

wetenschappelijke literatuur (zij het zeer weinig) (Nishino, 1996; Künzli, 1997). Men gaat ervan uit dat ernstige gezondheidseffecten a fortiori ook het voorkomen van beperkte gezondheidseffecten insluiten (WHO, 2001). De invulling van de relatieve risico's voor de minder ernstige eindpunten is meer onzeker, want steunt op een kleiner aantal oudere studies. Nochtans vormen deze 'mindere' eindpunten een belangrijke groep van impacts, die - opgeteld- een veel grotere beleidsrelevantie kunnen hebben dan bv. sterfte of ziekenhuisopnames. Dit wordt schematisch weergegeven aan de hand van figuur 2.



Figuur 2. Effecten van luchtverontreiniging en hun omvang (uit WHO, 2001).

4.3 Toepassing in België

Op basis van bovenstaande wetenschappelijke informatie kan een set van gezondheidsfuncties samengesteld worden, om de potentiële impact van ozon in België te begroten. Om rekening te houden met de onzekerheid enerzijds, wat betreft de effecten van ozon op gezondheid, en met de mogelijkheid anderzijds dat verscheidene kleinere impacts een grote weerslag hebben op de globale impact (en dus beleidsrelevant zijn), worden dus ook blootstellingeffect relaties meegenomen die vanuit de wetenschappelijke literatuur aannemelijk zijn, maar niet eenduidig aangetoond. Verder kan een sensitiviteitsanalyse toegepast worden die de vork aangeeft wanneer met en zonder drempel van bijvoorbeeld $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gerekend wordt. Bij het begroten van effecten op gezondheid kan dus zowel een hoge (zonder drempel) als een lage (met drempel van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) inschatting gemaakt worden. Deze vork geeft duidelijk de onzekerheid aan voor het beleid. In het eerste geval blijft ozon een belangrijk milieuprobleem, zelfs in de toekomst. In het tweede geval, wanneer de ozonpieken zullen afnemen tegen 2010, zijn de verwachte gezondheidseffecten veel kleiner. In een kosten-baten analyse kan door een sensitiviteitsanalyse dus het effect van drempels afgetast worden.

Tabel 2. Geselecteerde blootstellingeffect relaties voor ozon.

Eindpunt	RR (per 50 µg/m ³)	95% CI	Ozon indicator	Bron
Totale bevolking				
Vervroegde sterfte	2,9%	1-4,9%	1-hr max.	Touloumi, 1997
Volwassenen (15+)				
Verminderde activiteit	5%	2,3-8,8%	1-hr max.	Ostro and Rothschild, 1989
15-64 jarigen				
HRA 15-64 of	1,9% 3,1%	0,5-3,3% 1,3-4,9%	1-hr max. 8-hr avg.	Spix, 1998
65+				
HRA 65+ of	3,1% 3,8%	1,5-4,7% 1,8-5,8%	1-hr max. 8-hr avg.	Spix, 1998
Astmatici				
Astma aanvallen	4,2%	0,6-7%	1-hr max.	Whittemore and Korn, 1980

RR: Relatief Risico; het risico op een effect door een toename aan verontreiniging bv. ten opzichte van het basisrisico in afwezigheid van de verontreiniging.

HRA: Hospitaalopnames voor Respiratoire Aandoeningen

Verminderde activiteit: 'Minor Restricted Activity Days, MRAD'

5. WAARDERING VAN GEZONDHEIDSIMPACTS

5.1 Monetaire waardering van het risico op overlijden

De waardering van mortaliteit is moeilijk, en er zijn geen bruikbare data die dit direct inschatten. Daarom is in de Europese Externe benadering deze waardering gebaseerd op een literatuuronderzoek m.b.t. de 'statistische waarde van een leven' (EC, 1995, 1999a; Friedrich en Bickel, 2001). Dit concept zegt niets over de waarde van een leven op zich (en is daarom misschien een ongelukkige formulering, en aanleiding tot felle kritiek), maar is afgeleid uit inschattingen van de bereidheid tot betalen (willingness-to-pay of WTP) om risico's op vroegtijdig overlijden te veranderen. Indien bijvoorbeeld de bereidheid tot betalen of WTP 100 € bedraagt om een sterfterisico met 1 kans op 10 000 te verminderen, dan is de waarde voor een statistisch leven die hieruit afgeleid wordt $100 \times 10\,000 = 1\,000\,000$ €. Of anders gezegd, indien 10 000 mensen bereid zijn 100 € te betalen om een risico met 1/10 000 te verminderen, dan spaart men –statistisch gezien– 1 mensenleven uit, gespreid over 10 000 mensen, ter waarde van 1 000 000 €. De waarde van een statistisch leven (VSL, *value of a statistical life*) is dus 1 miljoen €. Het is echter belangrijk te benadrukken dat niemand gevraagd wordt dit bedrag effectief te betalen, het is niet meer dan de som van de WTP's over een groep mensen die het risico wensen te verminderen. In dit opzicht is de term 'waarde van een leven' eerder slecht gekozen. Het is slechts de waardering van kleine veranderingen in het risico, geaggregeerd over een grote groep mensen. De WTP voor een risicoverandering kan worden afgeleid met *hedonic pricing methods*, op basis van een vergelijking van lonen in

risicovolle beroepen met gemiddelde lonen, of op basis van enquêtes (*contingent valuation method*). Het gemiddelde uit een reeks van Amerikaanse en Europese studies leidt tot een 'statistische waarde van het leven' van 3,4 miljoen €, met een spreiding van 2,9 tot 3,9 miljoen € (het totale bereik van de verschillende studies gaat van 1 tot 8,8 miljoen €). In ExternE wordt rekening gehouden met het feit dat impacts van luchtverontreiniging vooral ingrijpen op het einde van het leven en een verkorting van de levensverwachting veroorzaken. Hiervoor is het concept van de waarde van een verloren levensjaar (VLYL of 'value of a life year lost') ingevoerd. Rekening houdend met leeftijd en verdiscontering resulteert dit in een VLYL van 104 760 € bij 0% en 165 700 € bij 3% verdiscontering.

5.2 Waardering van morbiditeitsimpacts

Voor morbiditeitseffecten zijn volgende prijzen afgeleid uit studies en bevestigingen (tabel 3, op basis van EC, 1999).

Tabel 3. Waardering van de mortaliteit- en morbiditeitimpacts.

impact categorie	Schade kost (€)
<i>Ongemakken</i>	
Symptoomdagen	45
MRAD, Minor restricted activity days	45
<i>Ernstige acute effecten</i>	
Astma aanvallen	75
HRA	4 320
Vervroegde sterfte (waarde van een levensjaar, 3%)	165 700

6. VOORBEELD: IMPACTS EN BATEN VAN SCENARIO'S VOOR REDUCTIES VAN OZONPRECURSOREN.

Met behulp van het BeEUROS model is nagegaan welke concentratieveranderingen aan ozon verschillende reductiescenario's teweegbrengen. Deze concentratieveranderingen zijn dan vervolgens via de ExternE methode omgerekend naar impacts en kosten. Op deze manier is een inschatting gemaakt van zowel de kosten als de baten van reductie-inspanningen. Ten opzichte van een referentiejaar (1997) werd een BAU ('business as usual') scenario gedefinieerd voor 2010, gebaseerd op emissieprojecties vanuit 1997, rekening houdend met de wetgeving tot 2010 en de evolutie van de sectoren. Daarboven werd het BAUmax scenario gedefinieerd, waarin gezocht werd naar maatregelen om bijkomende (NO_x) reducties te verwezenlijken (zij het dan tegen een hoge kost). De kosten voor de emissiereductiescenario's zijn weergegeven in tabel 4. De baten die volgen uit de verandering van scenario's (BAU ten opzichte van 1997, of BAUmax ten opzichte van BAU), worden bepaald aan de hand van de ExternE methode. Stijgen de impacts, dan betekent het nieuwe scenario een verergering van de situatie. Dalen ze, dan levert een nieuw scenario baten op ten opzichte van het oude. Zowel directe impacts van ozon op gezondheid als de indirecte impacts van NO_x emissiereducties via de afname van PM10 concentraties, waartoe NO_x door de vorming van nitraten een bijdrage levert zijn berekend. Impacts op landbouw zijn ook opgenomen.

De baten voor de berekende gezondheidseffecten zijn vrij beperkt bij overgang van de situatie 1997 naar 2010 onder het BAU scenario: 7,5 miljoen €. Het interval waarbinnen de baten zich bevinden, rekening houdend met de variatie in ozonconcentraties en de onzekerheid op de

impactinschatting, is ongeveer 3 tot 13 miljoen €. De absolute milieuschadetekosten voor 1997 en voor BAU dalen bij het beschouwen van een drempel van 120 µg/m³, maar hoewel de impacts in beide scenario's dus drastisch afnemen, blijft het verschil van dezelfde orde. De baten bedragen dan ongeveer 7,8 miljoen €. Een analoge redenering geldt voor de overgang van het BAU scenario naar het BAUmax scenario. Hier zijn echter de milieuschadetekosten in het maximale reductie scenario *hoger* voor België dan in het BAU scenario. Met andere woorden een verdere reductie van NO_x en VOS emissies in België geeft over het ganse seizoen gemiddeld aanleiding tot een *verhoging* van de effecten op gezondheid in België. Het effect van een verdere reductie van buitenlandse emissies is niet onderzocht. De (negatieve) baten bedragen -5,1 miljoen €.

Twee regio's (Ardennen en de streek rond Virton) kennen in dit geval nog positieve baten, zij het klein en van de orde van 0,09 miljoen € (0,04 miljoen € met een drempel van 120 µg/m³). De dichtst bevolkte regio's (hoofdzakelijk in Vlaanderen) vertonen een duidelijke negatieve baat. Een meer verfijnde analyse van het BAU maximale reductie scenario ten opzichte van het BAU scenario zal hieraan weinig veranderen. Een berekening van de ozonconcentraties in het buitenland door veranderende emissies in België is niet gebeurd, en het effect daarvan is onbekend, maar waarschijnlijk van doorslaggevend belang. Extra reductie-inspanningen in België zonder extra reducties in het buitenland zijn nadelig, indien uitsluitend naar de directe gezondheidsimpacts van ozon gekeken wordt. Via de vorming van (ammonium-)nitraten draagt NO_x bij tot de PM₁₀ concentraties in de lucht. PM₁₀ gezondheidseffecten zijn aangetoond in epidemiologische studies (Torfs et al., 2004), hoewel men er nog niet in geslaagd is de veroorzakende componenten en mechanismen eenduidig te bewijzen. De baten in België zijn nu -vergeleken met deze van de directe ozoneffecten- vrij groot: 237 miljoen € bij overgang van 1997 naar BAU, bijna uitsluitend verwezenlijkt in de transportsector; en bijkomende reducties leveren nog eens 334 miljoen aan baten op. De bijkomende regionale baten buiten België zijn hier nog niet meegerekend. Impacts van ozon op landbouwgewassen wordt aan de hand van AOT40 waarden voor de verschillende scenario's bepaald. De afname in AOT40 in 2010 levert een baat op van ongeveer 12 miljoen €. Een verdere afname onder het BAU+ scenario (vergelijkbaar met het BAU maximale reductie) levert hier wel een nog een extra baat van ongeveer 5 miljoen €.

De baten voor de verschillende scenario's zijn nog eens samengevat in tabel 4. Dit voorbeeld toont aan hoe een inschatting van gezondheidseffecten van ozon kan gebruikt worden in een geïntegreerde analyse van de kosten en baten van een emissiereductiebeleid (in casu van ozonprecursoren NO_x en VOS). Het is ook een demonstratie dat de problematiek van ozon niet los kan gezien worden van de problematiek van bv. PM₁₀, omdat beide NO_x als precursor hebben. Een ozonbeleid dat ingrijpt op de emissies van NO_x genereert secundaire baten via PM₁₀, maar ook via de verminderde depositie van invloed van stikstof op ecosystemen.

Tabel 4. NO_x en VOS reductie, en gerelateerde kosten en baten.

	kton		Kosten in M€		Baten in M€			
	NO _x	VOS	NO _x	VOS	Gezondheid	Landbouw	Indirecte baten	Totale baten
2010 BAU-1997	78	96	nb.	nb.	7,5	12	236,9	256,4
2010 BAU MAX-	68	22	392	372	-5,1	5	334,1	334,0

nb.: niet beschikbaar

REFERENTIES

1. WHO (2001) Quantification of the health effects of exposure to air pollution.
2. Touloumi G, Katsouyanni K., Zmirou D. et al. (1997) Short-term effects of ambient oxidants exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. *Am. J. Epidemiol.*, 104(2), pp. 177-185.
3. Krupnick AJ, Harrington W, Ostro B. (1990). Ambient ozone and acute health effects: Evidence from daily data. *J. Environ Econ Manage* 18, 1-18.
4. Kunzli N., Lurmann F., Segal M., et al. (1997) Association between lifetime ambient ozone exposure and pulmonary function in college freshman - results of a pilot study. *Environ Res*, 72(1), pp. 8-23.
5. MIRA-S (2000) Milieu-en Natuurrapport Vlaanderen: scenario's, VMM.
6. Nishino N., Abbey DE., McDonnell WF (1996) Long term ambient concentrations of ozone and development of asthma: the AHSMOG study. *Epidemiology*, 7, S31.
7. Ostro BD, Rothschild S. (1989). Air pollution and acute respiratory morbidity: An observational study of multiple pollutants. *Environ Res* 50, 238-247.
8. Sunyer J., Spix C., et al. (1997) Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA project. *Thorax*, 52, pp. 760-765.
9. Thurston G.D., Ito K. (1999) Epidemiological studies of ozone exposures. In *Air pollution and health*. Holgate S.T., Samet J.M., Koren H.S and Maynard R.L. (Eds). Academic press.
10. Whittemore AS, Korn EL. (1980). Asthma and air pollution in the Los Angeles area. *Am J Public Health* 70, pp. 687-696.
11. Friedrich and Bickel (ed.) (2001) Environmental External Costs of Transport, Heidelberg, Springer Verlag.
12. European Commission, (1995). DGXII, Science Research and Development, JOULE, *Externalities of Fuel Cycles*. Report numbers EUR 16520 EN to 16525 EN.
13. European Commission, DGXII (1999) ExternE, Externalities of Energy Vol 7 Methodology update, Research and Development, JOULE, EC, EC.
14. Holland M, Forster D, King K. (1998a) Economic evaluation of proposals for emission ceilings for atmospheric pollutants, AEA Technology, UK. Report for IIASA.
15. Holland M. (1998b) Economic Evaluation of Air Quality Targets for Tropospheric Ozone, EC DGXI, AEA Technology, UK.

16. Fuhrer 1996. *The critical level for effects of ozone on crops and the transfer to mapping*. In: *Critical levels for ozone: testing and finalising the concepts*. UN-ECE Workshop Report. Editors: Kärenlampi, L. and Skärby L. Department of Ecology and Environmental Science: University of Kuopio. pp. 27-43.
17. Anderson R., Spix C., et al. (1997) Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *Eur Respir J.*, 10, pp. 1064-1071.
18. Spix C. (1997) Ozone is bad for health – but only for some? *Thorax*, 52, pp. 938-939.
19. Spix C. et al. (1998) Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *Arch Environ Health*; 53(1), pp. 54-64.
20. Torfs R., Schoeters G., Hoet P. (in press) Risico's van inhaleerbaar stof. *Tijdschrift voor geneeskunde*.



Voorzitter: Luc Int Panis (VITO)

BELEIDSSTRATEGIEËN IN EUROPA EN BELGIË

**OZON
OZONE**

**OZON
OZONE**



Président: Luc Int Panis (VITO)

**STRATEGIES POLITIQUES EN EUROPE
ET EN BELGIQUE**

**OZON
OZONE**



**OZON
OZONE**

Het Vlaamse NEC-reductieprogramma (NO_x en NMVOS)

David Knight

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL - AMINABEL - Sectie lucht,
Koningsstraat 93, B-1000 Brussel

1. INLEIDING

Richtlijn 2001/81/EG (ook wel NEC-richtlijn genoemd – National Emission Ceilings) heeft als doel de grensoverschrijdende milieuproblemen inzake troposferische ozonvorming aan te pakken. Er werd immers vastgesteld dat de door de WGO vastgestelde richtwaarden ter bescherming van de menselijke gezondheid en vegetatie tegen fotochemische verontreiniging (ozon) in alle lidstaten van de Europese Gemeenschap overschreden worden.

De huidige in de richtlijn opgenomen nationale emissieplafonds hebben 2010 als eindjaar en hebben als doel dat de gemeenschap als geheel in 2010 volgende doelstellingen haalt t.o.v. het jaar 1990:

- vermindering van de ozonovermaat boven de drempelwaarde voor de bescherming van de volksgezondheid (60 ppb) met twee derde;
- vermindering van de ozonovermaat boven de drempelwaarde voor de bescherming van vegetatie (40 ppb) met één derde.

België moet bijdragen tot de bovenvermelde tussentijdse doelstellingen door aan specifiek Belgische plafonds te voldoen.

De in de richtlijn opgenomen Belgische plafonds voor 2010 zijn de NEC-plafonds in Tabel 1.

De uiteindelijke emissieplafonds (NEC) liggen voor de meeste landen hoger – dus soepeler – dan het oorspronkelijke commissievoorstel (NEC⁺). Deze NEC⁺-plafonds dienden gehaald te worden om de milieudoelstellingen volledig te bereiken. De uiteindelijke plafonds zijn het resultaat van een Europees onderhandelingsproces dat wordt beschreven in het NEC-reductieprogramma (zie www.vlaanderen.be/lucht).

Tabel 1. Belgische emissieplafonds in 2010 van de richtlijn 2001/81/EG.

	NO _x kiloton	NMVOS kiloton
België (NEC)	176	139
België (NEC ⁺) ⁵	127	102

⁵ Oorspronkelijk Commissievoorstel voor België

1.1 Rol en verplichtingen van de federale overheid en de gewesten

Op 24 maart 2003 besliste de Interministeriële Conferentie Leefmilieu (ICL):

- a) 'dat het nationale emissiereductieprogramma dat zal worden overgemaakt aan de Europese Commissie, zal bestaan uit de gemeenschappelijke inleiding en de programma's van elk van de overheden.'
- b) 'tot oprichting van een groep ad hoc van de Stuurgroep Atmosfeer die de afstemming zal onderzoeken van de onderdelen van het nationale programma nadat dit bij de EU is ingediend.'

De gemeenschappelijke inleiding legt de rol van elk van de overheden vast en herneemt volgende eerdere beslissingen van de ICL:

1. De Belgische emissieplafonds worden opgesplitst in 4 subplafonds: één Belgisch cijfer voor de emissies van de transportsector en drie plafonds voor de overige bronnen van elk van de gewesten. Deze subplafonds worden gegeven in tabel 2. Tussen haakjes is telkens de reductie gegeven t.o.v. 1990 die hiermee overeenstemt. Het zijn echter de absolute cijfers die de reductie uitmaken en niet de procentuele reducties. De gewesten zijn elk verantwoordelijk voor hun eigen plafonds. Het cijfer voor transport dient in de eerste plaats te worden gerealiseerd door federale productmaatregelen; de gewesten kunnen ondersteunende maatregelen nemen op het vlak van het mobiliteitsbeleid.

Tabel 2. De emissieplafonds voor de drie gewesten en de transportsector (in kton) en de procentuele reductie t.o.v. 1990.

	Transport	Vlaanderen	Wallonië	Brussel	Totaal
NO_x	68 (-57,8%)	58,3 (-41,1%)	46 (-38,4%)	3 (-35,4%)	(175,3) 176 (-48,1%)
VOS	35,6 (-71,9%)	70,9 (-50,0%)	28 (-43,3%)	4 (-34,8%)	(138,5) 139 (-58,1%)

2. Maatregelen inzake productbeleid met betrekking tot brandstoffen, solventhoudende producten, verwarmingsinstallaties (lage NO_x-branders) zullen nodig zijn om hoger vermelde emissieplafonds te bereiken. De federale overheid verbindt zich er enerzijds toe in overleg met de gewestelijke overheden de nodige maatregelen hieromtrent te realiseren en anderzijds bijkomende maatregelen in het kader van het productbeleid, de fiscaliteit en de gedragswijziging te onderzoeken en voor te stellen.
3. De ICL roept de Interministeriële Conferentie Verkeer en Infrastructuur (ICVI) op zo vlug mogelijk concrete maatregelen voor te stellen die zij wenst goed te keuren om de emissies van het verkeer te verminderen. Een beleid van duurzame mobiliteit moet worden gerealiseerd, hetgeen maatregelen impliceert die moeten worden genomen op zowel het federale als het gewestelijke niveau.

1.2 Reductieprogramma en rapporteringsverplichtingen onder de richtlijn

Omdat het noodzakelijk is de voortgang ten aanzien van het bereiken van de plafonds te evalueren, moeten er programma's ter vermindering van de emissies worden opgezet met

vastgestelde en geplande maatregelen. Over deze programma's wordt aan de Europese Commissie gerapporteerd (Artikel 6).

Om de voortgang in het bereiken van de emissieplafonds te volgen is het noodzakelijk om emissie-inventarissen en emissieprognoses op te stellen. Deze worden eveneens aan de Europese Commissie bezorgd (Artikel 7).

De programma's, emissie-inventarissen en -prognoses moeten tevens ter beschikking van het publiek gesteld worden. In eerste instantie worden de gegevens verspreid naar de doelgroepen via de Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen en de Sociaal-Economische Raad van Vlaanderen. Naar het grote publiek toe zullen de gegevens worden bekend gemaakt via de websites van AMINAL en VMM.

Er moet jaarlijks (uiterlijk 31 december) aan de Europese Commissie verslag uitgebracht worden over de emissie-inventarissen enerzijds en emissieprognoses voor 2010 anderzijds. Voor de emissie-inventaris gebeurt de rapportering in eerste fase op voorlopige basis en het jaar erop op definitieve basis. Voor de eerste maal moet dit (op voorlopige basis) gebeuren op 31 december 2002. Dit is reeds een eerste maal gebeurd.

Tevens moet er gerapporteerd worden over de saneringsprogramma's en dit voor de eerste maal op 31 december 2002 en voor de tweede maal op 31 december 2006. Dit programma is de eerste Vlaamse rapportering over de saneringsprogramma's.

2. VOORBEREIDING EN AANPAK VAN DIT REDUCTIEPROGRAMMA

2.1 Historiek

In het kader van de onderhandelingen over de NEC-Richtlijn werd een doelgroepenoverleg georganiseerd. Ter voorbereiding van deze onderhandelingen werden voor de industrie als geheel en voor bijna elke industriële sector afzonderlijke documenten opgesteld waarin de implicaties voor de sector en de voorgestelde maatregelen en reducties op gedetailleerde manier beschreven werden. Op basis van deze documenten vond het overleg met de verschillende doelgroepen plaats.

In augustus 1999 legde AMINAL een uitgebreid dossier voor ter advies aan de Sociaal-Economische Raad van Vlaanderen en de Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen. Dit dossier bevatte:

- een uitgebreide analyse van de milieuproblematiek;
- een voorstel tot Vlaamse emissieplafonds;
- een indicatieve verdeling van deze plafonds over de sectoren.

De adviezen van SERV en MiNa-Raad werden meegenomen tijdens het daarop volgende onderhandelingsproces over de richtlijn.

2.2 Ambitieniveau van de plafonds uit de richtlijn

De emissieplafonds die door de Europese Commissie voor België werden voorgesteld (NEC+) bleken zeer ambitieus te zijn. Zo zou België als enige land voor NO_x en VOS alle reductieopties moeten implementeren om aan de oorspronkelijke voorgestelde plafonds te kunnen voldoen. Dit is onder meer te wijten aan de centrale ligging van België en de grote concentratie van activiteiten en emissies. Deze plafonds werden niet aanvaard omwille van de volgende redenen:

- Het opleggen van het maximaal haalbare scenario enkel aan België en Luxemburg, zou voor de industrie en landbouw een onaanvaardbare verstoring van de concurrentiepositie teweeg brengen. Aangezien de doelstelling voor 2010 een intermediaire doelstelling is, zou het niet logisch zijn dat één of twee landen gedwongen worden tot het uitvoeren van de duurste maatregelen, terwijl diezelfde maatregelen worden uitgesteld voor de buurlanden. Vooral in de sterk concurrentiële sectoren die bovendien vaak te kampen hebben met een overproductie, zou dit problemen kunnen opleveren.
- Het vaststellen van emissieplafonds per lidstaat met gebruik van het in het model toegepaste compensatiemechanisme geeft meer flexibiliteit aan grote dan aan kleine lidstaten. Dit mechanisme houdt immers in dat een kleinere reductie in een bepaalde zone in een lidstaat kan worden gecompenseerd door een grotere reductie in andere zones.
- Bovendien zijn er een aantal onzekerheden, onvolkomenheden en vereenvoudigingen in de basisgegevens (zoals de gegevens van de emissie-inventaris van 1990, de energieprojecties voor 2010, het emissiereductiepotentieel, de kosten en implementatiemogelijkheden) waardoor het onzeker is of de reducties zelfs technisch gezien wel haalbaar zijn met de voorgestelde maatregelen. Hoewel de lidstaten in principe de mogelijkheid hadden om commentaar te leveren op de gebruikte gegevens en wijzigingen voor te stellen, heeft België dit slechts in beperkte mate kunnen doen, o.a. omwille van het ontbreken van de nodige basisinformatie. De concrete situatie in Vlaanderen (emissies en installaties en vooral reductietechnieken met hun respectievelijke kosten en rendementen) was immers op het moment van de technische voorbereiding van de richtlijn onvoldoende in kaart gebracht. Dit blijkt ook uit de gegevensverzameling, die ondertussen gebeurd is en beschreven wordt in dit programma.
- Een aantal van de in het RAINS model aangehaalde technieken gaan bovendien verder dan wat op EU-niveau beschouwd wordt als Beste Beschikbare Technieken (BBT). Andere maatregelen zijn volgens de sectoren niet mogelijk in zeer specifieke situaties waarbij het model geen rekening houdt. In weer andere sectoren zijn sommige maatregelen niet haalbaar omdat de veronderstellingen van het rendement of de toepasbaarheid onrealistisch zijn.

Uiteindelijk werden op basis van de beschikbare informatie Vlaamse plafonds vastgesteld die op dat moment haalbaar werden geacht (NEC-plafonds). In dit programma worden deze opnieuw per sector op hun haalbaarheid beoordeeld. Nieuwe inzichten in verband met de basisgegevens kunnen bij de herziening van de richtlijn ook leiden tot een aanpassing van de plafonds.

2.3 Technische en wetenschappelijke onderbouwing van het reductieprogramma

Om de in punt 2.2. opgesomde knelpunten inzake onzekerheden en onvolkomenheden inzake basisinformatie weg te werken diende een uitgebreid studieprogramma te worden opgezet. Per industriële sector werd een sectorstudie opgestart om het reductiepotentieel, de kosten en de socio-economische effecten van de mogelijke maatregelen in kaart te brengen. Ook voor de andere sectoren (transport, landbouw, huishoudens) werden studies gestart. Op dit moment zijn echter nog niet voor alle sectoren alle studieresultaten beschikbaar. Op basis van deze studieresultaten worden maatregelen in verschillende sectoren ten opzichte van elkaar afgewogen (rekening houdend met reductiepotentieel, marginale en totale kost en beschikbare informatie over socio-economische effecten). Alle afgeronde sectorstudies kunnen op de website www.vlaanderen.be/lucht ingekeken worden.

Parallel loopt momenteel (2003 – 2004) een studieproject om deze intersectorale afweging in de toekomst methodologisch beter uit te bouwen.

2.4 Gediversifieerd maatregelenpakket in de verschillende sectoren

Het reduceren van de emissies van de vier pollutanten tot de vooropgestelde doelstellingen vergt een uitgebreid maatregelenpakket in vele sectoren. In de Belgische situatie zijn de bevoegdheden verdeeld tussen de federale overheid en de gewestelijke overheden. Bovendien zijn de betrokken sectoren onderling erg verschillend van aard. De te nemen maatregelen en de in te zetten mix van beleidsinstrumenten (op federaal en gewestelijk niveau) verschillen dan ook van sector tot sector. Voor de industriële sector, die aan bod komt in de hoofdstukken 4, 5 en 6 van deze nota, is het voor de Vlaamse overheid in te zetten maatregelenpakket het meest uitgebreid en zijn ook in het verleden al de meeste maatregelen genomen.

Het belangrijkste instrument dat tot op heden is ingezet is de Vlaamse milieuwetgeving VLAREM II, het Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale voorwaarden inzake milieuhygiëne. Dit besluit legt op een algemene manier o.m. emissiegrenswaarden op aan bestaande en nieuwe installaties, terwijl dit tevoren enkel op individuele basis gebeurde in de milieuvergunningsprocedure. Sinds 1995 keurde de Vlaamse regering nog een groot aantal wijzigingen van VLAREM II goed met scherpere emissiegrenswaarden, o.m. ter omzetting van Europese richtlijnen en in functie van de milieudoelstellingen.

Ook in dit programma en in de toekomst blijft VLAREM II een belangrijk instrument gezien het toelaat uniforme grenswaarden op te leggen aan alle installaties van een bepaald type in Vlaanderen.

Sommige installaties zijn echter technisch zo specifiek dat een algemene aanpak niet geschikt is en dat maatwerk per bedrijf of installatie noodzakelijk is. Daarbij is de milieuvergunning dan het meest aangewezen instrument. Voor deze installaties zullen de nodige reducties en/of maatregelen dan ook worden opgelegd door een herziening van de milieuvergunning. Deze herziening zal worden gekoppeld aan de implementatie van de richtlijn 96/61/EG inzake de geïntegreerde preventie en bestrijding van de verontreiniging (IPPC) (zie 2.5). Deze koppeling laat toe zowel de Beste Beschikbare Technieken als de milieukwaliteitsdoelstelling op lokaal en op grensoverschrijdend vlak in één herziening in rekening te brengen.

Meer en meer zullen ook nieuwe instrumenten worden ingezet die meer flexibiliteit bieden. Een voorbeeld daarvan zijn de milieubeleidsovereenkomsten, bijvoorbeeld met industriële sectoren. Deze benadering laat toe reductieafspraken te maken met sectoren in hun geheel en maakt binnen deze afspraak ruimte voor een flexibele aanpak binnen de sector. De sector kan daarbij de meest kosteffectieve oplossingen in functie van de doelstelling kiezen.

Een andere veel belovende piste is het inzetten van economische instrumenten. Deze economische instrumenten kunnen naarmate het ambitieniveau en de economische inspanningen van de industriële sectoren hoger worden, een grote bijdrage leveren tot een kostenefficiënt reductieprogramma. Om de inzetbaarheid van economische instrumenten voor het emissiereductiebeleid in Vlaanderen te bestuderen is in 2003 door AMINAL een studie opgestart. In deze studie wordt vooreerst een overzicht gegeven van alle relevante documentatie over economische instrumenten en toepassingen in andere landen. Een tweede deel van de studie zal zich focussen op volgende economische instrumenten: emissieheffingen en verhandelbare emissierechten. De toepasbaarheid van verschillende internationale systemen in Vlaanderen wordt nagegaan. Tevens worden de verschillende economische instrumenten tegenover elkaar afgewogen. Er wordt naar gestreefd om zo snel mogelijk na te gaan welke instrumenten voor welke pollutant (NO_x, SO_x en VOS) kunnen ingeschakeld worden. De eerste resultaten van deze screening worden verwacht in het najaar

van 2004. Dan zal een rapport betreffende inzetbaarheid van economische instrumenten voor de pollutanten NO_x en SO₂ klaar zijn.

In de studie wordt eveneens de toepassing van economische instrumenten vanuit verschillende invalshoeken bestudeerd. Deze invalshoeken zijn onder meer milieu, economie, juridisch, sociaal, controle, institutioneel en organisatorisch. Dit moet nog in het najaar van 2004 leiden tot een maatschappelijk debat omtrent de inzetbaarheid van economische instrumenten voor het emissiereductiebeleid voor SO₂ en NO_x in Vlaanderen. Na dit debat wordt nagegaan welke instrumenten kunnen geïmplementeerd worden. In een volgende fase wordt de invoering van economische instrumenten in het luchtbeleid verder uitgewerkt en geconcretiseerd.

Sensibilisering is in vele gevallen een belangrijk ondersteunend instrument. Ook productnormering is in een aantal gevallen een belangrijk instrument en is in België een bevoegdheid van de federale overheid. In dit Vlaamse programma wordt daarom aangegeven welke maatregelen de federale overheid genomen heeft, welke maatregelen het Vlaamse gewest van de federale overheid nog verwacht en welke emissiereducties dit zal opleveren. De Vlaamse overheid zal erop toezien dat de federale overheid deze afspraken nakomt. Productnormering en sensibilisering zijn vooral naar de huishoudelijke sector toe de belangrijkste instrumenten.

2.5 Implementatie van de IPPC-Richtlijn

De Europese richtlijn 96/61/EG, beter gekend als de IPPC-richtlijn (IPPC: Integrated Prevention and Pollution Control), vormt de juridische grondslag voor het voeren van een geïntegreerd beleid ter preventie en bestrijding van verontreiniging door industriële activiteiten met een groot verontreinigingspotentieel. In bijlage 1 van de richtlijn worden de activiteiten opgesomd waarop de richtlijn van toepassing is. In de indelingslijst van hinderlijke inrichtingen (bijlage 1 van VLAREM I) zijn deze activiteiten aangeduid als GPBV-inrichtingen (GPBV: Geïntegreerde Preventie en Bestrijding van Verontreiniging).

Geïntegreerde vergunningen zijn vergunningen waarbij maatregelen voorzien zijn voor een globale bescherming van de verschillende milieucompartimenten zoals lucht, water en bodem. De vergunningverlenende overheid dient deze maatregelen te baseren op de BBT enerzijds en de milieukwaliteitsnormen anderzijds. Een dergelijke geïntegreerde aanpak is in Vlaanderen reeds van toepassing als gevolg van de VLAREM-reglementering, en dit voor meer activiteiten dan opgesomd in bijlage 1 van de IPPC-richtlijn.

Voor nieuwe installaties dient het afleveren van de milieuvergunning sinds 30 oktober 1999 te gebeuren conform de vereisten van de IPPC-richtlijn. Bestaande installaties dienen uiterlijk tegen 30 oktober 2007 geëxploiteerd te worden in overeenstemming met de vereisten van de IPPC-richtlijn. Dit kan gebeuren door middel van een vergunningsaanvraag en -verlening conform de richtlijn of op passende wijze door toetsing en, zo nodig, aanpassing van de voorwaarden. Het opleggen van nieuwe voorwaarden in het kader van deze kan ook algemeen geschieden via de aanpassing van de sectorale (of algemene) voorwaarden van VLAREM II 'mits een geïntegreerde aanpak en een even hoog niveau van bescherming van het milieu in zijn geheel gewaarborgd zijn'.

Ook bij een belangrijke wijziging in de installatie hoort een milieuvergunning conform de richtlijn.

Het spreekt voor zich dat de acties die worden ondernomen in het kader van de implementatie van de IPPC-richtlijn zullen worden afgestemd op de maatregelen die nodig zijn om te

voldoen aan de verplichtingen uit de NEC-Richtlijn. Hiertoe is een werkgroep opgericht waaraan vertegenwoordigers van zowel de provinciale afdelingen van de Afdeling Milieuvergunningen als van de Sectie Lucht van AMINAL deelnemen. De maatregelen die nodig zijn om de NEC-doelstellingen te realiseren worden dan opgelegd via het instrument dat geselecteerd is in het kader van de IPPC-implementatie (de milieuvergunning of een herziening van de sectorale voorwaarden).

2.6 Programma in ontwikkeling

Om de vooropgestelde doelstellingen te bereiken zijn een groot aantal maatregelen nodig. Een belangrijk gedeelte van de basisinformatie die nodig is om de maatregelen te onderbouwen en uit te werken wordt momenteel nog gegenereerd aan de hand van studieprojecten. Het is dan ook nog niet mogelijk op dit moment een volledig afgewerkt NEC-reductieprogramma te ontwikkelen. Voor een aantal sectoren ontbreken immers nog één of meer van de volgende gegevenssets:

- een voldoende nauwkeurige en gedetailleerde inschatting van de emissies voor de ganse sector;
- prognoses over toekomstige activiteitsniveaus;
- identificatie van mogelijke maatregelen met bepaling van implementatie-mogelijkheden, reductiepotentieel en kosten.

Voor andere sectoren zijn deze gegevens al wel geheel of gedeeltelijk beschikbaar. De mate waarin het reductiebeleid al is uitgewerkt varieert dan ook van sector tot sector. Voor sommige sectoren is het maatregelenpakket al volledig bepaald en politiek goedgekeurd. Voor andere sectoren zijn de mogelijke maatregelen al opgelijst maar moet de discussie over de te nemen maatregelen en de verwachte effecten nog worden gevoerd. Voor andere sectoren zijn de mogelijke maatregelen nog niet gekend en/of de emissies nog niet voldoende nauwkeurig gekend. Voor een aantal polluenten kan dan ook nog geen uitspraak worden gedaan over de te nemen maatregelen en over de haalbaarheid van de vooropgestelde doelstelling. Het plan dient dan ook regelmatig te worden geactualiseerd.

2.7 Ambitieniveau van het beoogde maatregelenpakket

Voor Vlaanderen worden analoog aan de NEC-richtlijn, bindende emissiereductie-doelstellingen en streefwaarden gehanteerd.

Voor de stationaire bronnen zijn deze waarden gegeven in Tabel 3. De plafonds voor de transportsector voor België zijn gegeven in Tabel 4.

Tabel 3. Emissiereductiedoelstellingen voor Vlaanderen (stationaire bronnen).

	Bindende waarde (kton)	Streefwaarde (kton)
NO_x	58,3	52,5
VOS	70,9	53,15

Tabel 4. Nationale emissiereductiedoelstellingen voor de transportsector.

NO_x	VOS
68 kton	35,6 kton

Bij de concrete uitwerking van het emissiereductiebeleid wordt zoveel mogelijk in de richting van deze streefwaarden gewerkt. Hoe ver kan gegaan worden in de richting van de streefwaarden varieert vaak van sector tot sector en hangt af van een aantal factoren zoals nieuwe inzichten in de gebruikte gegevens en technische en economische haalbaarheid. In elke sector wordt gestreefd naar een zo ambitieus mogelijk maatregelenpakket.

Bij de uitwerking van het programma is gebleken dat:

- Voor NO_x een ambitieus maatregelenpakket zal moeten worden ingezet om de bindende waarde te bereiken;
- Voor VOS de beschikbare gegevens nog te onvolledig zijn om te kunnen uitmaken of de bindende waarde zal kunnen worden gehaald.

Globaal dient dan ook gesteld dat op basis van de beschikbare gegevens de doelstellingen per sector kunnen gehaald worden. Dit is echter afhankelijk van een aantal factoren waarvan een gedeelte nog onzeker is. In die zin geeft het programma aan met welke maatregelen Vlaanderen de doelstellingen zal nastreven.

Les autorités publiques face à la problématique de l'ozone: mesures et stratégies

Estelle Ceulemans, Directrice adjointe au Cabinet de la Ministre de l'Environnement

Lors de l'été 2003, la Belgique a, comme ses pays voisins, été confrontée à des périodes de fortes concentrations d'ozone. L'exposé montre la réaction des autorités face à ce phénomène et à ses conséquences en termes de santé publique.

Les dispositifs mis en place sont de deux ordres. D'une part, un Plan National Ozone (2003-2007) a été élaboré en coordination avec les entités régionales. Ce Plan reprend des mesures structurelles de lutte contre le phénomène de l'ozone (en matière d'environnement, de fiscalité, de transport, d'énergie, de politique scientifique, d'aménagement du territoire,...). Ces mesures ont été renforcées par de nouvelles décisions prises lors des Conseils des Ministres spéciaux de Gembloux et d'Ostende. D'autre part, une politique d'information et de prévention visant à prévenir les conséquences néfastes de l'ozone sur la santé publique a également été définie en collaboration avec les autorités fédérées.

Les slides présentés à la journée d'étude: <http://www.vito.be/ozon/programma.htm>

Le Programme de lutte contre l’ozone en Région wallonne.

Annick Fourmeaux

Ministère de la Région wallonne - DGRNE - Division de la Prévention et des Autorisations -
Cellule Air, Avenue Prince de Liège 15, B-5100 Namur

1. DE L’ORGANISATION DE L’ACTION POUR LA QUALITE DE L’AIR

Dès les premières réflexions relatives à l’élaboration du plan de l’air, nous avons fait le choix d’aborder, dans le même outil de planification l’ensemble des phénomènes de pollution, des polluants et des secteurs responsables des émissions. Nous avons donc fait le choix de la transversalité tant sur les pressions que sur l’état de la pollution.

En matière de pollution atmosphérique, les législations changent constamment, néanmoins, nous avons estimé qu’il était nécessaire d’inscrire les principes de notre action dans le moyen terme. La durée du plan est de dix ans.

Nous avons également fait le choix de la cohérence, le plan s’appuie sur les politiques fonctionnelles (énergie, agriculture..), il tire parti des décisions prises dans le cadre de ces politiques et tend à intégrer le concept de la protection de la qualité de l’air dans ces politiques.

Pour parvenir à ce résultat, il a été nécessaire de créer un organe de consultation et de concertation dans lequel tous les Ministres et toutes les administrations sont représentés. Cet organe est nommé: Structure Permanente de Concertation pour la Qualité de l’Air (SPCQA).

Tout au long de notre démarche, nous nous sommes efforcés de prendre en compte les aspects micro et macro économiques des mesures envisagées. Nous avons pour ce faire eu recours aux services de consultants.

Le plan de l’air se trouvera très prochainement, dans sa version actuelle sur le site:
<http://air.wallonie.be>

2. LE PROGRAMME RELATIF À L’OZONE

2.1. La structure du programme relatif à l’ozone troposphérique

Les mesures de ce programme s’articulent à la fois sur le court et le long terme.

2.2. Les mesures à court terme

Actuellement, il s’avère que les mesures locales et temporaires visant à réduire les émissions des oxydes d’azote et les composés organiques volatils ne produisent pas d’effet positif sur la durée ou l’intensité des épisodes de pollution. Néanmoins, le plan prévoit que cet état de fait soit vérifié régulièrement afin de déterminer si cela est toujours exact.

En effet, les concentrations en précurseurs vont évoluer dans le temps, et il est donc nécessaire de suivre cette évolution afin de déterminer si les mesures ‘court terme’ sont toujours inopérantes.

L'action de la Région se focalise sur l'amélioration de la détection des épisodes de pollution. Nous avons programmé une étude pour l'exercice 2005 visant à appliquer un modèle prédictif complémentaire au modèle SMOGTOP afin de parfaire la prédiction des épisodes de pollution. Pour ce faire, il a d'abord été nécessaire de travailler à une meilleure connaissance tant des émissions que des niveaux de pollution.

Nous développons également un serveur vocal sur lequel seront disponibles les informations relatives à la qualité de l'air.

2.2. Les mesures à long terme

Les mesures à long terme sont englobées dans le plan de lutte contre l'acidification, l'eutrophisation et l'ozone. Ces mesures sont une contribution de la Région wallonne à l'effort belge. Elles s'appuient tant sur les mesures adoptées par le Gouvernement fédéral que sur la législation européenne.

Le programme de réduction a été adopté par le Gouvernement (Arrêté du Gouvernement wallon du 25 mars 2004 portant programme de réduction progressive des émissions de SO₂, de NO_x, de composés organiques volatils). Le programme liste les mesures 'acquises' c'est à dire, celles ne nécessitant plus l'adoption de textes légaux, et les mesures envisagées, c'est à dire, les mesures devant encore faire l'objet de concertation avec les destinataires avant leur adoption par le Gouvernement.

D'après les dernières prévisions, les mesures acquises permettent d'ores et déjà de réduire les émissions de façon significative. Le scénario Business as usual réduit de cinquante pourcents l'écart entre les émissions de l'année de référence et celles de l'année cible, il comporte déjà des mesures adoptées. Les mesures acquises spécifiquement permettent encore de réduire l'écart restant de deux tiers. Ce n'est bien sur pas suffisant.

Actuellement, les émissions sont en légère diminution pour les sources fixes.

Tableau 1

Hors Transports (émissions en tonnes)	NO _x	COV _{anthrop.}
Emissions de 1990	77.715	50.394
Emissions de 2000	73.499	36.893
Emissions de 2010 BAU	58.622	36.612
Plafonds NEC	46.000	28.000
Ecart entre BAU et NEC (<i>effort à réaliser en plus du BAU</i>)	12.622	8.612

Les diminutions sont imputables aux secteurs industriels et à celui de la production d'énergie. Les secteurs résidentiels et tertiaire étant eux en forte augmentation.

Au sein du gisement de mesures techniquement réalisables, nous avons identifié un potentiel permettant d'atteindre notre objectif. Les mesures envisagées sont listées dans le programme de réduction. Elles visent principalement les secteurs industriels, et en particulier ceux mettant en œuvre des procédés requérant de hautes températures. En effet, c'est à ce niveau que le gisement des mesures les moins coûteuses a été identifié. Ce sont également ces secteurs qui contribuent le plus aux émissions.

En 2000, les émissions wallonnes étaient estimées à **133.4kT** et se répartissent approximativement comme suit:

Tableau 2. Répartition par secteur des émissions de NO_x en Région wallonne en 2000

PRODUCTION D'ELECTRICITE	8 %
INDUSTRIE	39 %
RESIDENTIEL	4 %
TERTIAIRE	1 %
TRANSPORTS	45 %
AGRICULTURE	3 %
DECHETS	0 %

Les **émissions anthropiques** de COV sont majoritaires et s'élevaient à **61.6 kT** en 2000, mais les **émissions naturelles** ne sont pas pour autant négligeables puisqu'elles s'élevaient à **36.7 kT** dont la quasi totalité est émise par les forêts.

Tableau 3. Répartition par secteur des émissions anthropiques de COV en Région wallonne en 2000

ENERGIE	2 %
INDUSTRIE	22 %
RESIDENTIEL	17 %
TERTIAIRE	18 %
TRANSPORTS	40 %
AGRICULTURE	1 %

Pour le résidentiel et le tertiaire, la législation 'produit' relative aux peintures et vernis décoratifs ainsi que celle relative aux installations de chauffage auront un impact positif que nous n'avons pas chiffré actuellement. Pour le surplus, les mesures envisagées concernent principalement l'usage raisonné de l'énergie.

3. CONCLUSIONS

En conclusion, l'étape de la planification a été franchie. La concrétisation des actions préconisées dans le plan, par des arrêtés notamment est en partie réalisée. Les résultats ne sont pas toujours tangibles actuellement car certaines mesures, déjà adoptées, ne porteront leurs effets que dans quelques années.

Néanmoins, il est encore nécessaire de produire un effort important pour réduire de façon significative les épisodes d'ozone et les niveaux de concentration en ozone dans notre Région. Les mesures nécessaires sont 'envisagées', pour respecter notre planning, elles devront être concrétisées dans les douze mois.

REFERENCES

1. Plan de l'air (2003). Disponible sur le site <http://air.wallonie.be>
2. Inventaires d'émission de la DGRNE

Maatregelen op korte termijn in de stad, zinnig?

Peter Vanderstraeten

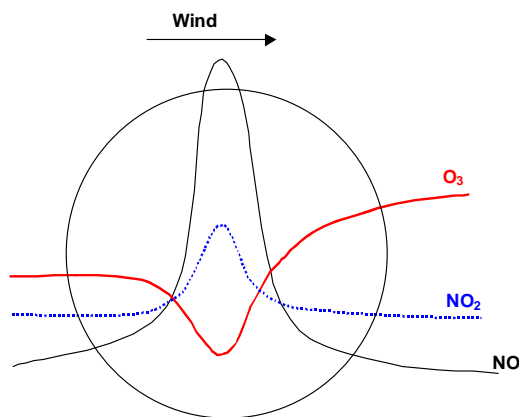
Brussels Instituut voor Milieubeheer (BIM), Laboratorium voor Milieu-Onderzoek,
Gulledelle 100, B-1200 Brussel

1. ALGEMENE SITUATIE

In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is de luchtkwaliteit over de voorbije 20 à 30 jaar voor heel wat parameters opmerkelijk verbeterd. De EG-doelstellingen voor het jaar 2005 of 2010 worden nu reeds nageleefd voor SO₂, Pb, CO en benzeen. Voor NO₂, O₃ en PM10-deeltjes bestaat thans nog geen garantie dat alle geformuleerde doelstellingen tijdig worden behaald. Dit is een algemeen probleem voor verstedelijkte gebieden in West-Europa.

Als instrument ter verbetering van de luchtkwaliteit vermeldt de EG-richtlijn voor ozon (2002/3/EG) kortetermijnactieplannen: *'De lidstaten stellen op een passend bestuurlijk niveau actieplannen op, waarin wordt vermeld welke specifieke maatregelen op korte termijn genomen moeten worden in zones waar een risico van overschrijding van de alarmdrempel bestaat, indien er significante mogelijkheden zijn dat risico te verminderen of de duur of de ernst van de overschrijding van de alarmdrempel te beperken.'*

De ozonproblematiek is zeer complex van aard en wegens ogenschijnlijke tegenstrijdigheden is een goed inzicht in de problematiek niet zo evident. De heersende ozonconcentratie is het resultaat van minstens twee tegen elkaar inwerkende processen: ozonvorming en ozonafbraak. Beide processen hebben een eigen dynamiek. De ozonvorming verloopt over meerdere uren, de ozonafbraak (met NO) vergt slechts enkele minuten. Stedelijke gebieden zijn belangrijke brongebieden voor de primaire uitstoot van NO_x en vluchtige organische stoffen. In het brongebied is de ozonafbraak, wegens de overmaat NO, belangrijker dan de vorming. Daarbuiten en windafwaarts haalt de ozonvorming het op de afbraak (figuur 1).



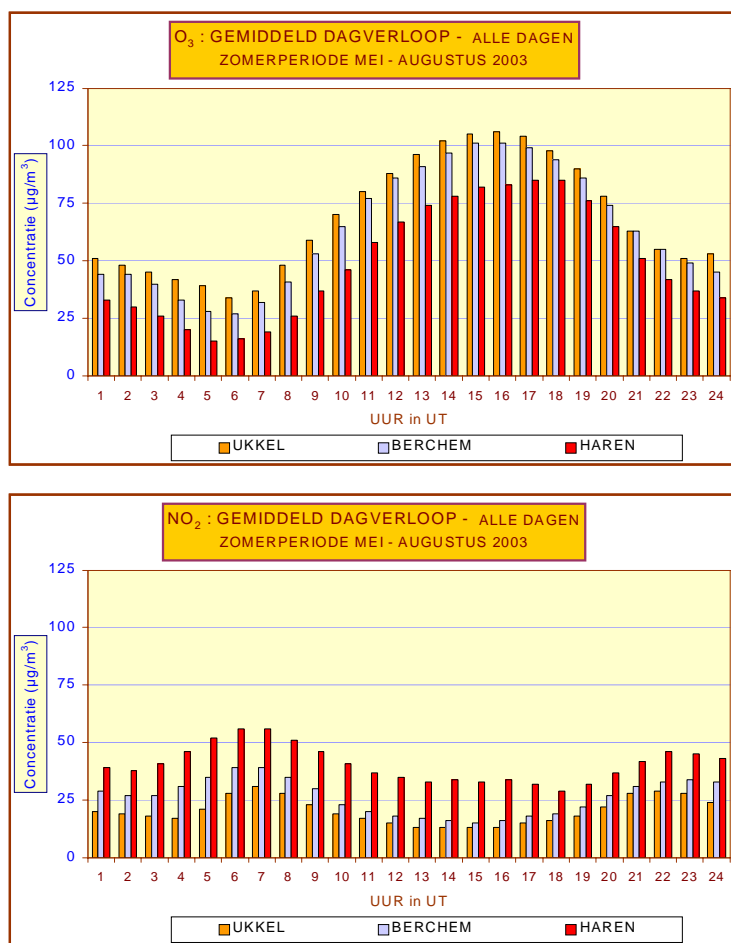
Figuur 1. Ozonafbraak in het brongebied door overmaat NO afkomstig van het verkeer. Ozonvorming overtreft ozonafbraak in de rand en windafwaarts van het brongebied.

De stoffen die aanleiding geven tot ozonvorming en ozonafbraak behoren tot dezelfde groep van pollutanten en zijn in ruime mate vertegenwoordigd in de uitstoot van het wegverkeer. Het opleggen van maatregelen ter vermindering van de emissies heeft zowel gevolgen voor de ozonvorming als voor de ozonafbraak. De snellere vermindering van de ozonafbraak leidt tot een toename van de ozonconcentratie in het brongebied. Tijdelijke en in de omvang beperkte

maatregelen voor de vermindering van de uitstoot hebben daardoor tot gevolg dat het bereikte effect tegengesteld is aan het beoogde.

2. GEMIDDELD DAGVERLOOP

Het gemiddelde dagverloop voor ozon in drie verschillende meetpunten wordt weergegeven in figuur 2. De ozonconcentratie tijdens de zomerperiode 2003 is gemiddeld hoger in de residentiële meetposten (Ukkel, St.-Ag.-Berchem) dan in de meetpost te Haren, gelegen in de nabijheid van belangrijke verkeersassen. Dit fenomeen werd reeds in 1995 gesignaleerd [1,2] en wordt jaarlijks geobserveerd [3]. Het dagverloop voor NO_2 vertoont een complementair beeld. In de nabijheid van verkeersassen is er meer NO_2 door de oxidatie van NO met O_3 .

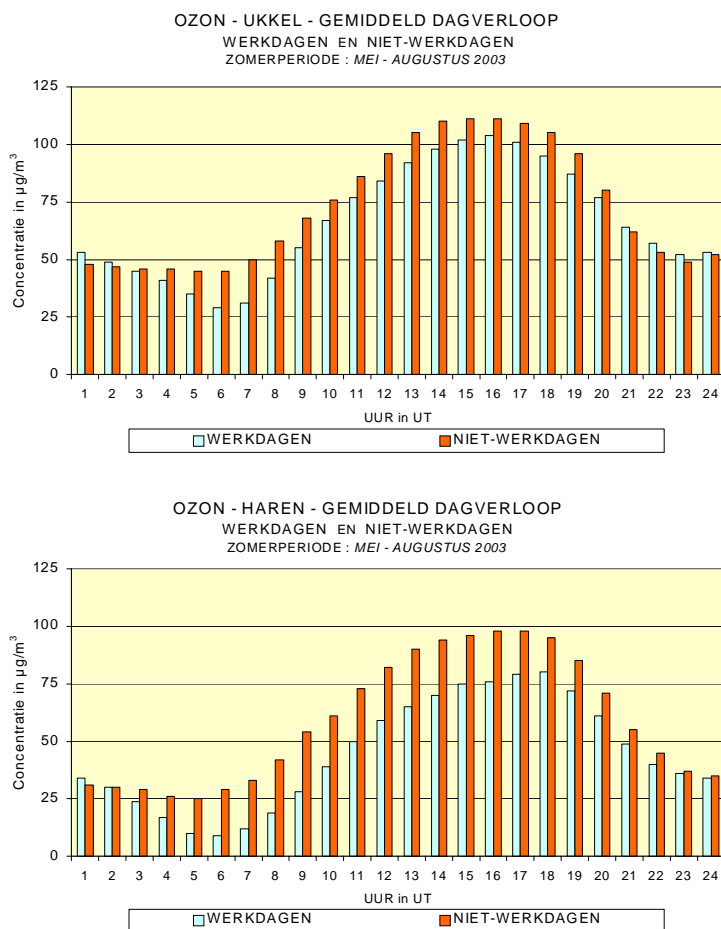


Figuur 2. Gemiddeld hogere O_3 -concentratie in residentiële meetpunten. Gemiddeld lagere O_3 -concentratie in nabijheid van verkeersassen. NO_2 -dagverloop en O_3 -dagverloop complementair.

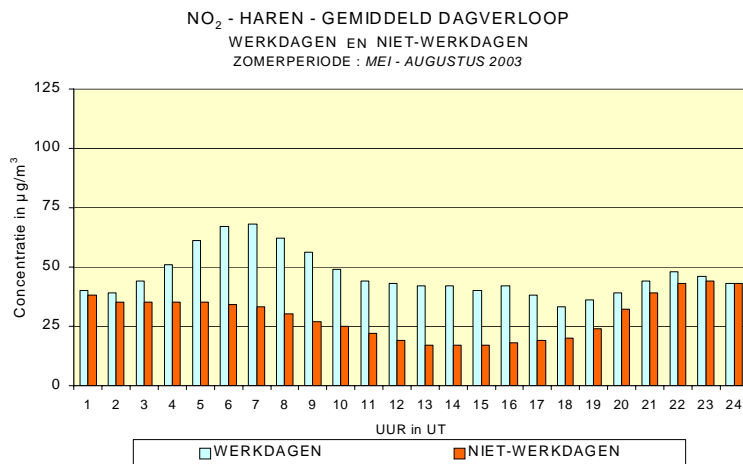
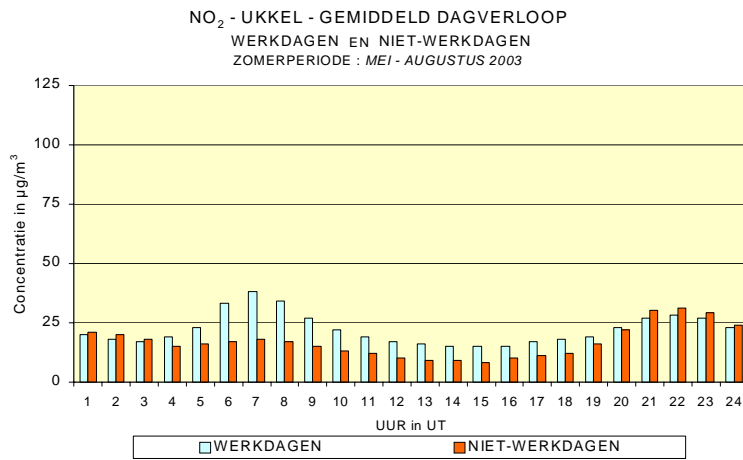
3. OZON OP WERKDAGEN EN NIET-WERKDAGEN

Bij vergelijking van de situatie in verschillende meetpunten blijkt dat de ozonconcentratie gemiddeld hoger is op plaatsen met minder verkeer en gemiddeld lager op plaatsen met meer verkeer. Analooq aan dit plaatsgebonden fenomeen wordt, voor om het even welke meetplaats, een gelijkaardig zij het tijdsgebonden fenomeen vastgesteld. Bij vergelijking van het gemiddelde dagverloop voor werkdagen en niet-werkdagen, nl. weekenddagen en feestdagen, blijkt dat de ozonconcentratie gemiddeld hoger is op niet-werkdagen en gemiddeld lager op werkdagen. Voor NO₂ bekomt men opnieuw een complementair beeld met een hogere gemiddelde NO₂-concentratie op werkdagen.

Uit de grafieken in figuur 3 en 4 blijkt dat het verschil in gemiddelde concentratie tussen werkdagen en niet-werkdagen groter is op de meetpunten gelegen in de nabijheid van het verkeer (Haren). Het verschil in verkeersdichtheid tussen werkdagen en niet-werkdagen is er het grootst.

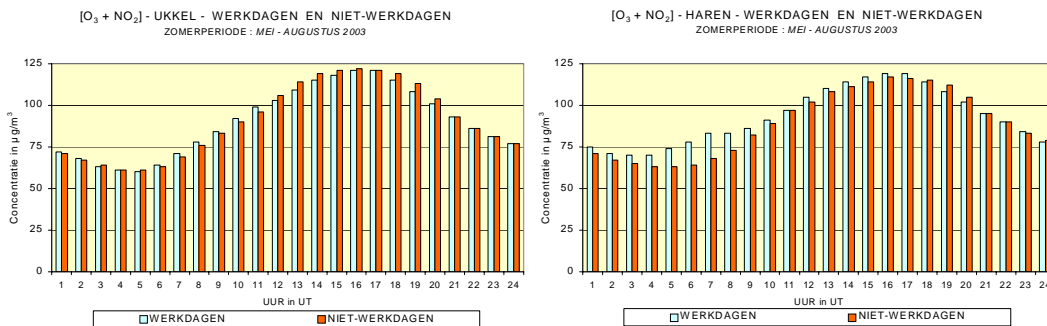


Figuur 3. Gemiddeld O₃-dagverloop op werkdagen en niet-werkdagen in een residentiële meetpost (Ukkel) en een meetpost in de nabijheid van het verkeer (Haren).



Figuur 4. Gemiddeld NO₂-dagverloop op werkdagen en niet-werkdagen in een residentiële meetpost (Ukkel) en een meetpost in de nabijheid van het verkeer (Haren).

Het complementaire beeld voor O₃ en NO₂ in het brongebied blijkt uit de resultaten van de het gemiddelde dagverloop van de somconcentratie [O₃ + NO₂], zowel voor werkdagen en niet-werkdagen als voor de verschillende meetpunten (figuur 5).

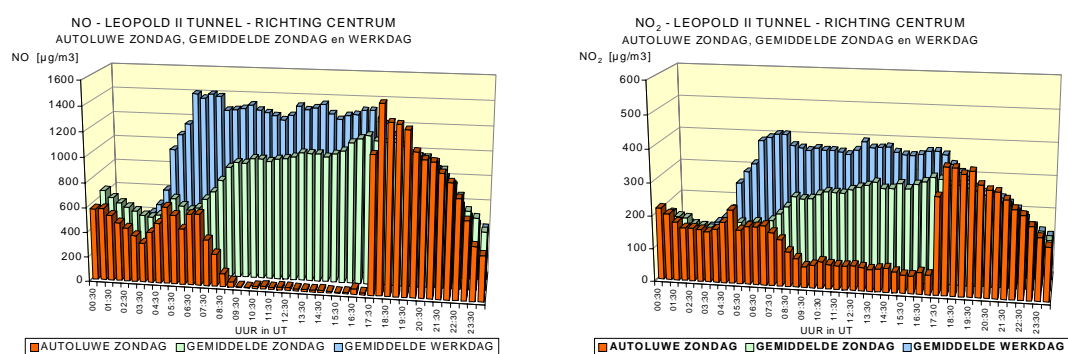


Figuur 5. Gemiddeld dagverloop [O₃ + NO₂] te Ukkel en Haren. Concentratie [O₃ + NO₂] uitgedrukt in equivalente O₃-concentratie.

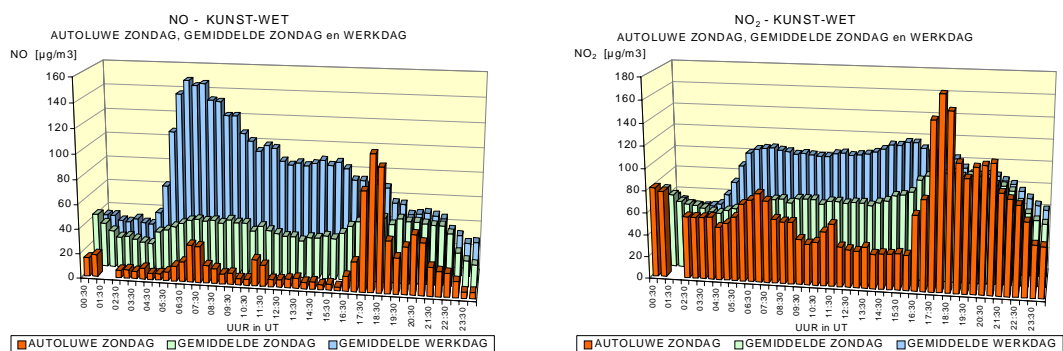
4. AUTOLUWE ZONDAG

Het effect van tijdelijke emissiebeperkingen kan afgeleid worden uit de analyse van de beschikbare gegevens. Elk weekend immers wordt de facto een experiment uitgevoerd. Op basis van de concentraties voor NO_x , opgetekend door het telemetrisch meetnet ter controle van de luchtkwaliteit, kan opgemaakt worden dat er, in vergelijking tot de werkdagen en afhankelijk van de specifieke plaats, ca. 30 à 35% minder verkeer is op zaterdag en 40 à 50% minder op zondag [4]. In de huidige situatie resulteert dit niet in een lagere ozonconcentratie.

Op zondag 21 september 2003 werd, in het kader van een Europese actie, door het Brussels Hoofdstedelijk Gewest een autoluwe zondag georganiseerd. Tussen 9 en 19 h lokale tijd (7 tot 17 h UT) was het gemotoriseerde privé vervoer nagenoeg integraal verboden over het totale grondgebied van het Gewest. Hoewel niet georganiseerd in het kader van de ozonproblematiek laat dit unieke experiment toe na te gaan wat de invloed is van tijdelijke emissiebeperkende maatregelen op de O_3 -concentratie.



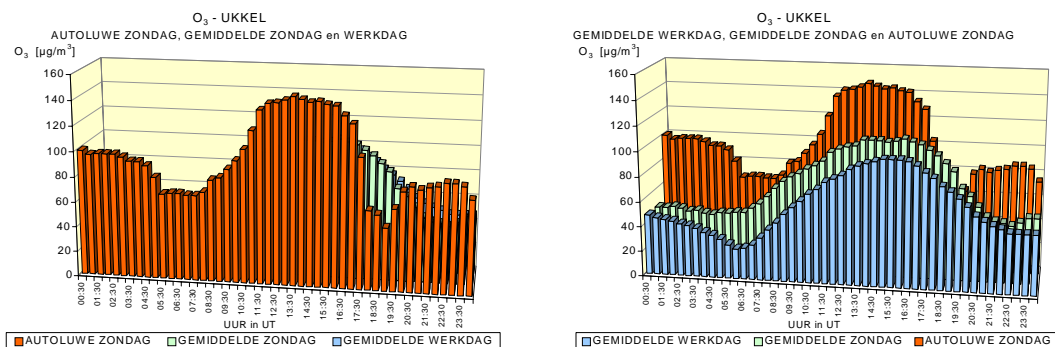
Figuur 6. Dagverloop voor NO en NO_2 in de Leopold II tunnel voor de autoluwe zondag, een gemiddelde zondag en een gemiddelde werkdag.



Figuur 7. Dagverloop voor NO en NO_2 op het meetpunt Kunst-Wet. Autoluwe zondag, een gemiddelde zondag en een gemiddelde werkdag.

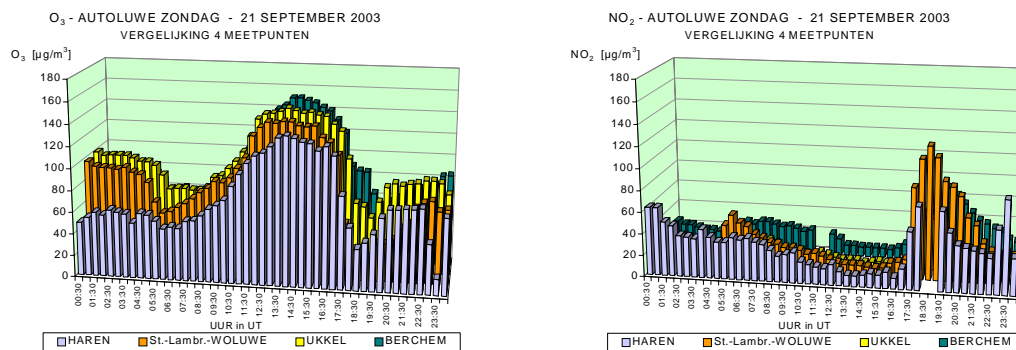
Voor de autoluwe zondag is er, tijdens de sperperiode voor het verkeer, een opmerkelijke daling van de concentraties voor NO , NO_2 en CO in de Leopold II tunnel en in de meetpost op het kruispunt Kunst-Wet. De figuren 6 en 7 geven voor beide meetpunten het dagverloop weer van NO en NO_2 voor de autoluwe zondag, een gemiddelde zondag en een gemiddelde werkdag. De ozonconcentratie op de autoluwe zondag was duidelijk hoger dan op een gemiddelde zondag of een gemiddelde werkdag (figuur 8). Sedert het begin van de metingen is er, zo laat op het jaar (eind september), geen enkele zondag met hogere ozonconcentratie.

Na het einde van de sperperiode wordt er een plotse daling van de ozonconcentratie vastgesteld. Tijdens de sperperiode voor het verkeer is er minder NO aanwezig in de lucht. Hierdoor is de ozonafbraak beperkt en neemt de concentratie toe. Na het einde van de sperperiode komt het verkeer vrij snel op gang, waardoor de NO_x-uitstoot en de ozonafbraak plots toenemen.

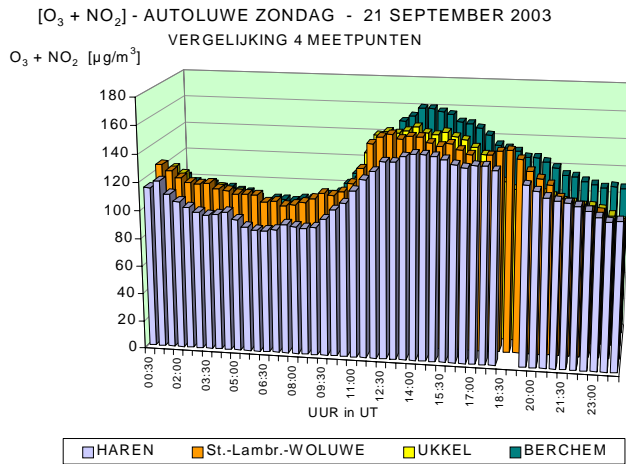


Figuur 8. Dagverloop voor O₃ te Ukkel voor de autoluwe zondag, een gemiddelde zondag en een gemiddelde werkdag.

De verhoging van de O₃-concentratie tijdens de sperperiode voor het verkeer werd vastgesteld op alle meetpunten van het Gewest. Bij het einde van de sperperiode (17 h UT) wordt onmiddellijk een daling van de O₃-concentratie en een even plotse stijging van de NO₂-concentratie waargenomen (figuur 9). Ook op deze autoluwe zondag vertoont het dagverloop van O₃ en NO₂ een complementair beeld (figuur 10).



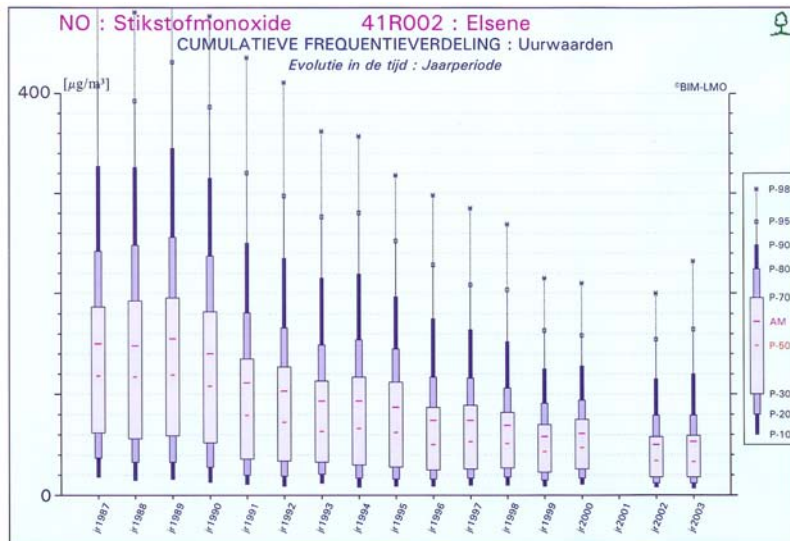
Figuur 9. Autoluwe zondag - dagverloop O₃ en NO₂ op 4 verschillende meetpunten.



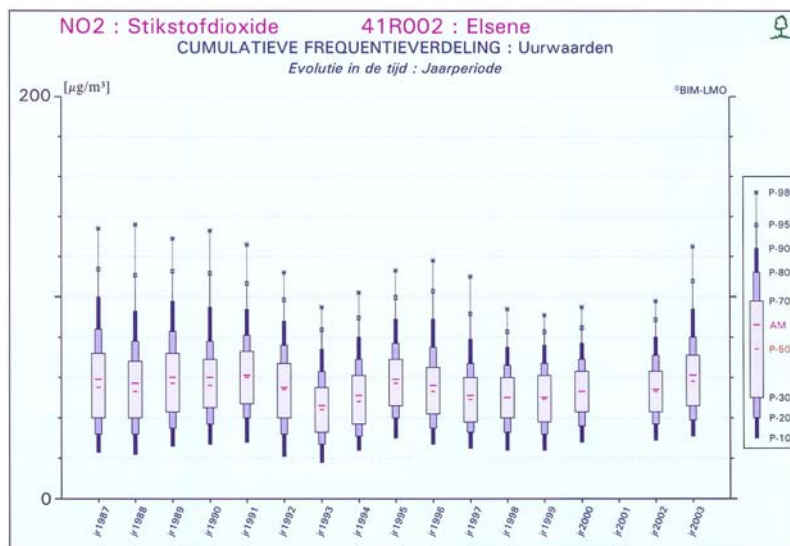
Figuur 10. Autoluwe zondag - dagverloop [O₃ + NO₂] op 4 verschillende meetpunten.

5. EVOLUTIE OVER MIDDELLANGE TERMIJN

De jaarstatistieken, opgemaakt voor de verkeersspecifieke meetposten, geven aan dat er over de voorbije 10 à 15 jaar een gevoelige daling (ca. 50%) van de NO-concentratie is gerealiseerd. Deze vermindering, vastgesteld op de meetpunten in de Kroonlaan te Elsene (figuur 11) en Kunst-Wet, is belangrijker dan kan verwacht worden op basis van de emissie-inventarisatie voor NO_x. De jaarstatistieken geven echter ook aan dat er tot heden nog geen evenredige daling van de NO₂-concentratie is opgetreden (figuur 12).

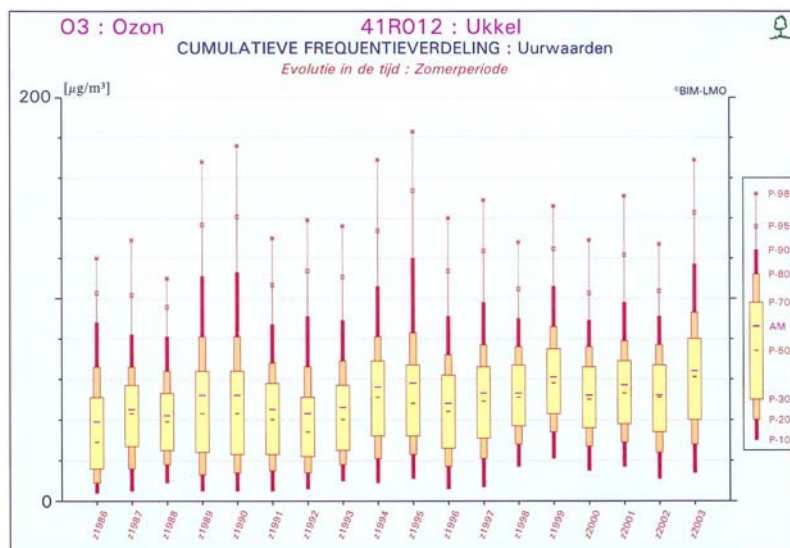


Figuur 11. Evolutie NO-concentratie in een verkeersspecifieke omgeving.



Figuur 12. Evolutie NO_2 -concentratie in een verkeersspecifieke omgeving.

De jaarstatistieken wijzen op een status-quo voor de jaargemiddelde NO_2 -concentratie. In verkeersspecifieke meetposten neemt de gemiddelde concentratie met enkele eenheden toe voor de jaartallen met ozonrijke zomerperiodes.



Figuur 13. Evolutie O_3 -concentratie in een residentiële omgeving.

De hogere niveaus van de hogere percentielwaarden voor O_3 in figuur 13 wijzen op ozonrijke zomerperiodes. De licht stijgende tendens van de gemiddelde ozonconcentratie is één der voornaamste vaststellingen en bevestigt een algemeen waargenomen tendens.

De verminderde uitstoot van precursoren, NO_x en VOS, over de jaren heen heeft wellicht reeds geleid tot een verminderde ozonafbraak en ozonvorming. De verminderde ozonafbraak (minder NO aanwezig) laat zich permanent voelen en heeft geleid tot een hogere gemiddelde O₃-concentratie. De verminderde ozonvorming, die vooral tot uiting komt bij omstandigheden die bijzonder gunstig zijn voor het vormen van ozon, heeft wellicht geleid tot minder hoge piekwaarden. Tijdens de zomerperiode van 2003 werden er minder overschrijdingen van de informatiedrempel vastgesteld dan tijdens de zeer goede doch minder excellente zomerperiodes van 1994 en 1995.

Deze beide vaststellingen wijzen op een gunstige evolutie. De situatie in de brongebieden beweegt geleidelijk aan in de richting van deze in de meer afgelegen gebieden: een hogere gemiddelde ozonconcentratie en lagere of minder frequent voorkomende piekwaarden.

Uiteindelijk zal er op termijn nog een bijkomende drastische, grootschalige en blijvende vermindering van de uitstoot gerealiseerd dienen te worden om de ozonproblematiek ver genoeg in gunstige zin te laten evolueren zodat er, naast een afzwakking van de piekwaarden, ook een vermindering van de gemiddelde ozonconcentratie kan bewerkstelligd worden.

REFERENTIES

1. P. Vanderstraeten, F. Willette and G. Dumont. Working day versus non-working-day ambient ozone concentrations in Brussels and in Belgium. Proceedings of EUROTRAC Symposium 1996, Vol 1, pp. 899-903. P. Borrel, editor. Computational Mechanics Publication, Southampton (1997).
2. A. Meurrens, Y. Lénelle, D. Rasse and P. Vanderstraeten. La Pollution Atmosphérique due au Trafic à Bruxelles. Air Quality in European Cities. Congress Proceedings. Brussels 23-25 October 1995. European Commission DG XI-DG XII-JRC.
3. De Luchtverontreiniging in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest tijdens de Zomerperiode. *BIM-jaarrapporten* (1994 t/m 2003).
4. De Luchtkwaliteit in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Immissiemetingen. *Driejaarlijkse BIM-rapporten*: Periode 1994-1996 (1997), 1997-1999 (2000), 2000-2002 (2003).



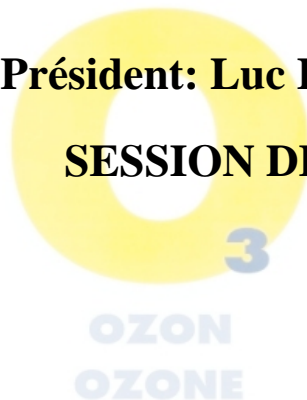
Voorzitter: Luc Int Panis (VITO)

SLOTSESSIE



Président: Luc Int Panis (VITO)

SESSION DE CLÔTURE



Slot- en dankwoord

Martine Vanderstraeten

Federaal Wetenschapsbeleid, Wetenschapsstraat 8, B-1000 Brussel

Ik heb het genoeg deze boeiende studiedag af te ronden.

Ik stel een niet onbelangrijke vooruitgang vast ten opzichte van de studiedag in 1998. De eerste resultaten van het gevoerde beleid in Europa zijn zichtbaar:

- de episoden met piekconcentraties nemen af;
- de toename van de achtergrondconcentratie boven Europa is minder sterk dan voorheen.

Maar de achtergrondconcentratie in NW Europa neemt nog steeds toe met 0,5 tot 1 % per jaar. De stijging van de uitstoot in landen met een opkomende industrialisering en toenemend transport zal de positieve effecten van de maatregelen bij ons teniet doen. Hoe hoger de achtergrondconcentratie, hoe sneller de overschrijding en hoe groter de risico's. Het probleem is dus niet opgelost!

De ozonproblematiek hangt bovendien samen met andere milieuproblemen zoals eutrofiëring, klimaatverandering, verzuring, biodiversiteit, en vooral de gezondheid. Ook beïnvloedt troposferisch ozon de opbrengst en kwaliteit van de landbouwgewassen,

We beschikken over een brede wetenschappelijke basis via de internationale programma's IGAC (International Global Atmospheric Chemistry) van IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme), EUROTRAC (The EUREKA project on the transport and chemical transformation of trace constituents in the troposphere over Europe), het 6e Kaderprogramma van de EC en op federaal niveau via de meerjarige onderzoekprogramma's (PODO I en II), de ruimteactiviteiten, en de expertise van de Federale Wetenschappelijke Instellingen BIRA en KMI.

Het is jammer dat de dhr. Röemer niet aanwezig kon zijn om de instrumenten en de kennis die binnen het kader van EUROTRAC werden ontwikkeld toe te lichten. Heel wat Belgische onderzoekers hebben in dit EUROTRAC kader gewerkt, hun expertise ter beschikking gesteld maar ook expertise ontwikkeld en verzameld. Het is belangrijk dat België gebruik maakt van bv de instrumenten die in het kader van EUROTRAC werden ontwikkeld.

Sinds het vorige symposium stellen we op wetenschappelijk vlak vast dat de problematiek geëvolueerd is van een regionaal naar een globaal probleem en dat er een transatlantisch transport is van ozon en ozonprecursoren, wat ook beleidsmatig een andere aanpak vergt.

Er werden nieuwe indicatoren ontwikkeld zoals de ozonflux als alternatief voor de AOT 40. Deze nieuwe indicator laat toe om beter de risicogebieden en de kosten te schatten en werd al gebruikt in het kader van de toepassing van de ExternE methode voor de evaluatie van externe kosten op de ozonproblematiek. We beschikken ook over diverse technico-economische modellen en methodes om de maatregelen te evalueren.

Voor een doeltreffende beleidsondersteuning hebben we een waaier aan uiteenlopende wetenschappelijke expertises nodig:

- instrumentenontwikkelaars ten behoeve van de waarnemingen;
- experimentalisten in het laboratorium om de ozonchemie onder de knie te krijgen;
- wiskundigen en economen voor ontwikkeling van modellen om simulaties te maken, inpakten te evalueren etc.
- artsen om de inpakten op de gezondheid te evalueren.

De troposferische ozonproblematiek is complex en vergt een geïntegreerde structurele en lange termijn aanpak in een internationale context, zowel wat het onderzoek, als wat het beleid betreft.

Wat het onderzoek betreft is het niet mogelijk om in België over alle expertises te beschikken. Daarom is de inschakeling van onze wetenschappers in internationale programma's en integratie- en assessesmenttoefeningen erg belangrijk daar zij op deze manier een ruimere deskundigheid opbouwen die ter beschikking kan gesteld worden van de beleidsmensen.

Eigen aan complexe problemen is wat ik zou te durven noemen 'the bottleneck' in de interactie tussen onderzoek en beleid. We moeten er verder over nadenken hoe we deze interactie kunnen optimaliseren.

De studiedag was een bijdrage tot de dialoog tussen onderzoek en beleid. De proceedings van deze dag alsook het 'Assessment and Integration report' over 12 jaar Global Change onderzoek, de brochure met de door het Federaal Wetenschapsbeleid gefinancierde onderzoeksprojecten en – activiteiten en de hieruit resulterende beleidsrelevante informatie moeten eveneens bijdragen tot deze dialoog.

Tot slot wens ik iedereen te bedanken die heeft meegewerkt aan deze studiedag: in het bijzonder de sprekers en voorzitters, de organisatoren van VITO (Hendrik Van Rompaey en Ina De Vlieger en Mieke Engelen), mijn collega's Georges Jamart en Hilde Van Dongen, Alexandra Vildaer, de tolken en vooral u, het publiek.

Ik wens U nog een prettige avond en een ozonarm weekend.

Samenvatting van de studiedag

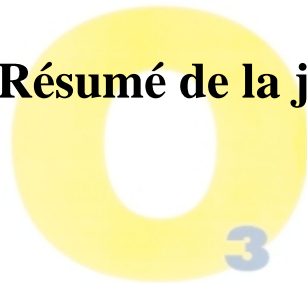


OZON
OZONE



OZON
OZONE

Résumé de la journée d'étude



OZON
OZONE



OZON
OZONE

Samenvatting van de Studiedag ‘Ozon op leefniveau en ozonprecursoren: wetenschappelijke instrumenten en beleid’

Felix Deutsch en Jean Vankerkom

Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek (VITO), Boeretang 200, B-2400 Mol

1. INLEIDING

In naam van *Philippe Mettens*, Voorzitter van het Federaal Wetenschapsbeleid, leidde *Xavier Lepoivre* de studiedag in. In deze inleiding werd teruggekeken naar de zomer van vorig jaar met zijn talrijke en hoge ozonoverschrijdingen en de nadelige gevolgen ervan.

De bedoeling van deze studiedag was drievoudig:

1. een stand van zaken geven over de wetenschappelijke kennis van de ozonproblematiek (de chemische processen, het transport van ozon op leefniveau, de impact ervan op mens en milieu en de samenhang met andere milieuproblemen);
2. de wetenschappelijke instrumenten ter ondersteuning van het ozonbeleid beschrijven;
3. het presenteren van de actuele Europese, regionale en federale ozonstrategieën en nagaan hoe de rol van België op het gebied van ozonbeleid op nationaal, Europees en internationaal niveau kan versterkt worden.

De recente initiatieven op de verschillende beleidsniveaus tonen aan dat wetenschappelijke bevindingen steeds meer hun weg naar het beleid vinden. Deze weg moet voortgezet worden. Hierbij speelt het Federaal Wetenschapsbeleid een ondersteunende rol, door het financieren van onderzoeksactiviteiten, het verspreiden van de resultaten en de ontwikkeling van een expertisenetwerk. De overheden worden vandaag met zeer complexe problemen geconfronteerd, waardoor het noodzakelijk geworden is dat zij op een permanente wetenschappelijke expertise kunnen steunen. Het is van groot belang dat het wetenschappelijk onderzoek pro-actief ageert.

Het Federaal Wetenschapsbeleid financiert al een 10 tal jaren onderzoek op het gebied van duurzame ontwikkeling, van 1996 t.e.m. 2001 onder de vorm van het eerste ‘Plan voor wetenschappelijke ondersteuning van een beleid gericht op duurzame ontwikkeling’, het PODO I, en vanaf 2001 tot eind 2005 met het huidige PODO II. Momenteel is ook een assessmentrapport in voorbereiding waarin de resultaten en (potentiële) beleidstoepassingen van 12 jaar onderzoek betreffende ‘Global Change’ worden geanalyseerd. Eén van de hoofdstukken behandelt specifiek de problematiek van troposferisch ozon.

Om tegemoet te komen aan de vereisten van het Nationaal Ozonplan en met het oog op de valorisatie van de tot stand gekomen wetenschappelijke kennis publiceerde het Federaal Wetenschapsbeleid een syntheserapport over al het onderzoek over ozon dat door het Federaal Wetenschapsbeleid gesteund en/of door de Federale Wetenschappelijke Instellingen uitgevoerd werd..

2. SESSIE 1: SITUERING VAN HET OZONPROBLEEM

Sessie 1 van de studiedag begon met een toelichting over de achtergrond van het ozonprobleem in België door *Gerwin Dumont* van IRCEL (Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu). De complexiteit van het ozonprobleem hangt nauw samen met zijn complexe vormings- en afbraakmechanismen in de atmosfeer. In de atmosferische menglaag bestaat een (natuurlijk) fotostationair evenwicht tussen NO₂ (stikstofdioxide) en O₂ (zuurstof) aan de ene kant en NO (stikstofmonoxide) en O₃ (ozon) aan de andere kant. Via dit evenwicht zouden we

in 'propere' lucht slechts met enkele ppb (parts per billion) ozon geconfronteerd worden. In de realiteit (van onze vervuilde atmosfeer) is er echter een nettoproductie van ozon die te wijten is aan de aanwezigheid van VOS (vluchtige organische stoffen). Uit de VOS ontstaan peroxidicalen die met het NO reageren wat het evenwicht van de fotochemische reactie beïnvloedt. Van uiterst groot belang hierbij is de NO/VOS-verhouding in de omgevingslucht. Naargelang deze verhouding kan de limiterende factor voor de ozonvorming ofwel NO ofwel VOS zijn. In de landen rond de Middellandse Zee zijn de concentraties van VOS vaak hoog en daarom is het eerder de voorraad aan NO die er de ozonproductie limiteert (NO-gelimiteerde ozonvorming). Bij ons in Noord- en West-Europa (NW-Europa) is de ozonvorming op de meeste plaatsen echter VOS-gelimiteerd. De NO-emissies zijn zeer hoog t.o.v. de VOS-emissies. Een deel van de geproduceerde ozon wordt rechtstreeks door het NO verwijderd zodat er een anticorrelatie tot stand komt: op de plaatsen met de hoogste NO-concentraties (bv. dicht bij drukke verkeerswegen of in binnensteden) worden de laagste ozonconcentraties vastgesteld en op plaatsen ver verwijderd van drukke straten (bv. meetstation Dessel en meerdere meetstations in Wallonië) worden stelselmatig de hoogste ozonconcentraties waargenomen. Ook tijdens het weekend wordt dit effect zichtbaar: door het verminderde autoverkeer tijdens het weekend wordt op de verkeersstations beduidend minder NO waargenomen wat resulteert in een toename van de ozonwaarden tot 50 %. Een vermindering van de NO-emissies heeft dus bij ons (momenteel en tenminste op korte termijn) een verhoging van de ozonconcentraties tot gevolg. Dit kan in gebieden met veel autoverkeer (alle steden) tijdens het weekend en in het algemeen in de landelijke gebieden waargenomen worden. In NW-Europa (VOS-gelimiteerde ozonvorming) leidt de lagere NO-emissie tijdens het weekend niet tot een kleinere ozonproductie maar enkel tot een vermindering van de verwijdering van ozon door NO. Om te bereiken dat een verlaging van de NO_x-emissies (NO + NO₂) ook een verlaging van de ozonconcentraties tot gevolg zou hebben, moeten we 'aan de andere kant van de ozonheuvel' komen. Hiervoor zijn echter veel grotere NO_x-emissiereducties nodig dan deze die nu tijdens het weekend optreden.

Door de EG (Europese Gemeenschap) werden in de ozonrichtlijn 2002/3/EG twee nieuwe parameters voor de beoordeling van de ozonconcentraties ingevoerd: de eerste heeft betrekking op het ecosysteem (AOT40_{ppb}) en de tweede op volksgezondheid (hoogste 8-uursgemiddelde ozonconcentratie van een dag).

Bij de AOT40_{ppb} (Accumulated exposure Over Threshold, geaccumuleerde blootstelling boven een grenswaarde van 40 ppb of 80 µg/m³) voor de invloed van ozon op de vegetatie, bestaat een aparte doelstelling voor de gewassen en semi-natuurlijke begroeiing enerzijds en voor de bossen anderzijds. De indicator voor de landbouwgewassen (AOT40-vegetatie, geaccumuleerde waarde over de periode van mei tot juli) overschreed zelfs in de zomer van 2003 in België niet het vooropgestelde doel, terwijl de indicator voor de bossen (AOT40-bossen, geaccumuleerde waarde over de periode van april tot september) in 2003 duidelijk (en overal) in België boven de doelstellingen lag.

Voor de hoogste 8-uursgemiddelde ozonconcentratie van een dag (voor de bepaling van de invloed op de gezondheid van de mens) bestaat bij overschrijding van een concentratie van 180 µg/m³ de verplichting van de overheden om de bevolking hieromtrent te informeren. Een alarmdrempel is vastgelegd op 240 µg/m³. Belangrijk hierbij is de hiervan afgeleide indicator NET60_{ppb} (Number of Exceedances of the Threshold): het aantal dagen waarop het hoogste 8-uursgemiddelde groter is dan 60 ppb (120 µg/m³). Dit aantal moet vanaf het jaar 2010 tot 25 dagen per kalenderjaar (gemiddelde van 3 jaar) beperkt worden. De langetermijndoelstelling van de EG is echter het aantal overschrijdingen tot op nul terug te dringen. Het grote nadeel van deze indicator is dat hij geen verschil maakt tussen grote en kleine overschrijdingen van de drempel van 120 µg/m³. Beter geschikt is een integrale waarde zoals deze voor de ecosystemen: de AOT60_{ppb-max8u} waarde (geaccumuleerde blootstelling aan het hoogste 8-uursgemiddelde van elke dag boven de drempel van 60 ppb). De EG-strategie is erop gericht

om die AOT60_{ppb} in 2010 te doen dalen met tweederde t.o.v. zijn waarde in 1990 met een absolute bovengrens van 5800 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*uren. Deze doelstelling werd in 2003 in België enkel maar in West-Vlaanderen gehaald. Zowel de gemiddelde NET60_{ppb}- alsook de gemiddelde AOT60_{ppb}-waarde voor België overschreed in 2003 de EG-doelstelling voor 2010, terwijl beide indicatoren gedurende een aantal jaren vóór 2003 wel beneden de doelstellingen bleven. De voorbije jaren werd in de EG-strategie vooral aandacht besteed aan een verlaging van de ozon-piekwaarden. Deze strategie was blijkbaar ook succesvol, omdat de ozon-piekwaarden een dalende trend kennen in NW-Europa. Kijkt men echter naar de over één jaar uitgemiddelde ozonconcentraties, dan blijkt dat deze achtergrondonzoonconcentraties in België gedurende de laatste 15 jaar constant stijgen. Dit is zowel voor Vlaanderen als voor Wallonië het geval en geldt voor alle seizoenen afzonderlijk. Vanuit gezondheidsperspectief is het wel positief dat de piekwaarden dalen, maar er moet rekening gehouden worden met het feit dat ook een (permanente) blootstelling aan concentraties beneden de drempelwaarden soms nadelige effecten kan hebben, tenminste voor bepaalde groepen van de bevolking tijdens bepaalde periodes.

Vervolgens ging *Chris Vinckier* van de KULeuven in op o.a. de relaties tussen ozon en andere milieuthema's. Ozon is niet enkel een Europees probleem, maar is een probleem op wereldschaal. Ozon en zijn precursoren (NO_x , het geheel van NO en NO_2 , en VOS) kunnen, vooral in de vrije troposfeer, over grote afstanden getransporteerd worden. Daar de ozonvorming (en afbraak) van vele parameters afhankelijk is (reactiviteit van de geëmitteerde VOS, NO_x /VOS-verhouding, lichtintensiteit, temperatuur, soort van aardoppervlak ...) vindt men een zeer verschillend gedrag van ozon in functie van plaats en tijdstip. Onder de geëmitteerde VOS is ook het door de vegetatie geëmitteerde isopreen niet te onderschatten in zijn ozonvormingspotentiaal. De protocollen van Sofia (1988) en Genève (1991), waarin tot reducties van de NO_x -, SO_2 - (zwaveldioxide) en VOS-emissies besloten werd, hebben een positieve invloed op de ozon-piekwaarden gehad, maar niet op de achtergrondconcentraties. Volgens het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) moet ook in de toekomst met een toename van de ozonachtergrondconcentratie rekening gehouden worden. Als deze trend aanhoudt, zal ozon een permanent gevaar voor de volksgezondheid vormen en bovendien een belangrijke rol in het broeikaseffect spelen.

In het protocol van Göteborg (1999) werden reducties van de NO_x - en VOS-emissies tegen 2010 vastgelegd. De verdeling van de te bereiken emissies onder de verschillende landen blijft echter bedenkelijk. Landen zoals Griekenland (met zeer vele ozonoverschrijdingen maar met een achterstand in economische ontwikkeling) mogen in 2010 zelfs nog meer NO_x en VOS emitteren dan in het referentiejaar 1990. De emissiereducties van NO_x en VOS zullen uiteraard ook voor de eutrofiëring en de verzuring van het milieu alsook voor de concentraties (secundaire) aërosolen positieve gevolgen hebben. Van de voor de ozonvorming belangrijke parameters kunnen we echter enkel de uitstoot van antropogene VOS (en NO_x) beïnvloeden. De biogene VOS-emissies leveren echter ook een belangrijke bijdrage tot de ozonvorming. Daarenboven is de ozonvorming sterk gecorreleerd met het aantal zonne-uren en de temperatuur. Hierdoor zou het effect van een reductie van de precursor-emissies in een aantal gebieden lager liggen dan geanticipeerd.

Recent wetenschappelijk onderzoek toont aan dat ook het intercontinentale transport van ozon een belangrijke rol speelt met een gemiddelde bijdrage op de Europese ozonachtergrond van rond 4 tot 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ die tijdens bepaalde episodes kan oplopen tot 10 à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ongeveer 20 % van alle overschrijdingen in Europa zouden te wijten zijn aan transatlantisch transport. De ozonachtergrondconcentratie is dus niet enkel een Europees maar een probleem op wereldschaal.

Daarna ging *Guy Joos* van het Universitair Ziekenhuis Gent in op de effecten van ozon op de gezondheid. Terwijl in de jaren 1950 de wintersmog (met hoge concentraties stof en SO₂) het hoofdprobleem was, zijn het vandaag vooral de hoge ozon en fijn stof concentraties, vooral afkomstig van het verkeer, die de grootste problemen veroorzaken. PM10 (particulate matter of stofdeeltjes met een aërodynamische diameter kleiner dan 10 µm) veroorzaakt bij ouderen meer sterfte vooral door respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen. SO₂, NO₂, O₃ en PM10 zijn de oorzaak bij jongeren van respiratoire symptomen en een verminderde longfunctie. Deze daling van de longfunctie treedt vaak pas 1 à 2 dagen na de pollutiepiek op. Door PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) neemt het risico op longkanker toe.

Principieel kan door de blootstelling aan ozon bij alle personen een vermindering van de longcapaciteit en ontsteking in de luchtwegen vastgesteld worden. Ook neemt de gevoeligheid tegenover allergenen toe. Door NO₂ worden eerder allergische personen getroffen en door PM10 worden zowel ouderen als allergische personen getroffen. Door epidemiologisch onderzoek en met behulp van proefpersonen kon vastgesteld worden dat ozon respiratoire effecten veroorzaakt zoals een lagere longfunctie, een vernauwing van de luchtwegen met als gevolg een toename van het aantal ziekenhuisopnames. Bij de acute effecten van ozon na een eenmalige blootstelling behoren vooral hoest, kortademigheid en een acute daling van het longvolume. De herhaalde blootstelling aan ozon leidt tot een tolerantie t.o.v. de nadelige effecten, maar over de exacte gevolgen hiervan is er nog zeer weinig bekend. Duidelijk is dat het optreden van de symptomen afhangt van de ozonconcentratie, de individuele gevoeligheid en de geleverde inspanning. Beneden een gemiddelde 8-uursconcentratie van ongeveer 100 µg/m³ lijken de gezondheidseffecten kleiner te zijn. Voor de individuele gevoeligheid zijn waarschijnlijk genetische factoren verantwoordelijk. Bij sommige mensen ontbreken bepaalde enzymen die een belangrijke rol spelen bij de bescherming van de cellen tegen reactieve zuurstofspecies. Tijdens een ozonepisode zouden, zeker door gevoelige personen, hogere lichamelijke inspanningen vermeden moeten worden omdat door de snellere ademhaling meer ozon in het lichaam geraakt.

Op wereldschaal valt vast te stellen dat het aantal astmagevallen stijgt. Dit zou met de toenemende luchtverontreiniging o.a. door ozon te maken kunnen hebben. In België hebben vandaag al 10 % van de kinderen astma. De hoogste prevalentie van astma bij kinderen treedt op in het Verenigd Koninkrijk (ongeveer 30 %), Nieuw Zeeland, Australië en Ierland. Op de totale bevolking berekend heeft het Verenigd Koninkrijk met 10-13 % astmagevallen in Europa de hoogste prevalentie; in Georgië bedraagt dit cijfer slechts 0,28 %. Bij de door astma bevorderde sterfte ligt dan weer Portugal aan de kop in Europa en in Nederland worden de laagste cijfers gehaald. Maar de effecten van ozon op sterfte zijn nog niet zeer duidelijk. Voor fijn stof is het verband tussen blootstelling en verhoogde sterftcijfers duidelijk. Een reden hiervoor kan zijn dat de fijne stofdeeltjes in de bloedbaan terechtkomen. Wereldwijd moet echter vastgesteld worden dat gedurende de laatste 10 tot 15 jaar het voorkomen van astma enorm toegenomen is. In een aantal landen is het percentage kinderen met astma in deze tijd zelfs meer dan verdubbeld. Voor het bevorderen van allergieën zijn een aantal factoren belangrijk, waaronder zeker de luchtvervuiling in het algemeen, de blootstelling aan het wegverkeer, ozon en het (mee)roken van tabak. In verband met astma kon aangetoond worden dat bestaand astma door de blootstelling aan ozon erger wordt, maar het is niet bewezen dat ozon astma kan veroorzaken.

In de laatste presentatie tijdens sessie 1 stelde *Karine Vandermeiren* van CODA (Centrum voor Onderzoek in Diergeneeskunde en Agrochemie) de effecten van troposferisch ozon op bosecosystemen en gewassen, en grenswaarden ter bescherming van de vegetatie voor. Voor een goed begrip van de relatie tussen atmosferische ozonconcentraties en impact op planten, is het essentieel dat er rekening gehouden wordt met de verschillende weerstanden die ozon

moet overwinnen vooraleer het de plant kan binnendringen en een effect teweeg brengen. Windsnelheid, turbulentie en de ruwheid van het aardoppervlak (adsorberende eigenschap van de oppervlakte) spelen hierbij een grote rol. Een bos heeft bijvoorbeeld een veel hogere ruwheid dan een akker. De belangrijkste weerstand is echter de stomataire weerstand. Ozon gaat de plant binnen via kleine openingen in het blad waarlangs de gasuitwisselingen plaatsgrijpen, de huidmondjes of stomata. Pas binnen de plant komt het dan tot een intracellulaire vergiftiging door reactieve zuurstofspecies, die tot de celdood kan leiden, en uiteindelijk tot een respons door de plant. Zoals bij de mens speelt vitamine C in de planten ook een belangrijk beschermende rol hierbij door haar sterk antioxidatieve eigenschappen. Omdat de openingsgraad van de stomata (en daardoor de ozonopname van de plant) zeer afhankelijk is van atmosferische omstandigheden zoals temperatuur, lichtintensiteit, vochtigheid... verandert deze in functie van de tijd. Er moet dan ook een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen de ozon-‘blootstelling’ (concentratie x tijd) en de eigenlijke opname door de plant (ozon-‘flux’).

De acute schade na een korte blootstelling aan hoge concentraties ozon ligt vooral op bladniveau en wordt vaak zichtbaar onder de vorm van necrosen of een kleurverandering. De chronische schade na een langdurige blootstelling aan lagere concentraties ozon heeft meestal betrekking op het afremmen van de fotosynthese en een versnelde senescentie (afrijping) van de planten met als gevolg opbrengstverlies en kwaliteitsveranderingen. De langdurige blootstelling komt overeen met een verhoogde stress voor de plant en heeft ook een wijziging van de biodiversiteit tot gevolg, omdat de gevoelige species verdwijnen ten voordele van de resistente. Het opbrengstverlies is voor elke species verschillend naargelang de gevoeligheid voor ozon.

De blootstelling aan ozon wordt volgens de EU-richtlijnen uitgedrukt onder vorm van de AOT40-waarde. Dit is de geaccumuleerde blootstelling boven een drempelwaarde van 40 ppb (uurgemiddelde concentraties) gedurende de uren met daglicht. Omdat de stomata tijdens de nacht gesloten zijn wordt dan ook geen ozon door de plant opgenomen. Bovendien zijn de ozonconcentraties 's nachts meestal lager dan 40 ppb. Zowel voor landbouwgewassen alsook voor bossen werden AOT40-grenswaarden opgesteld (3000 ppb*h tussen mei en juli voor de landbouwgewassen en 10000 ppb*h tussen april en september voor bomen). Zowel voor de landbouwgewassen alsook voor bossen kennen de Middellandse Zee-gebieden (Zuid-Spanje, Zuid-Frankrijk, Italië, Kroatië en Griekenland) de meeste overschrijdingen van de AOT40-grenswaarden.

Het nadeel van deze benadering is dat zij enkel rekening houdt met de blootstelling aan ozon maar niet met de ozonopname, die o.a. door omgevingsfactoren beïnvloed wordt. Om deze reden werd recent een andere benadering voorgesteld. Deze neemt naast de ozonconcentratie ook de openingsgraad van de stomata via klimaats- en ontwikkelingsfactoren in rekening. De nieuwe index is de AF_{st}-waarde, de geaccumuleerde stomataire ozonflux. Door berekeningen van de AF_{st} door EMEP (Co-operative programme for monitoring and evaluation of the Long-Range Transmissions of Air Pollutants in Europe) werd duidelijk aangetoond dat het probleem van ozonoverlast voor planten zich vanaf de maand juni verschuift van het Middellandse Zee-gebied naar Centraal- en Noord-Europa. De hoogste AF_{st}-waarden worden voor het noorden van Frankrijk, de Benelux, Duitsland, Denemarken, Polen en de Baltische staten gemodelleerd. Omdat het in het Zuiden tijdens de zomer meestal warm en droog is, zijn de stomata veel meer gesloten dan bij de planten in Centraal- en Noord-Europa. Een kwantitatieve inschatting van de economische schade die teweeg gebracht wordt door ozonschade aan de vegetatie zal dan ook meer en meer op de ozonflux i.p.v. op de ozonconcentratie gebaseerd zijn, omdat de fluxbenadering een meer realistische inschatting van de ozonimpact geeft dan de AOT40. Door de koppeling aan het EMEP-model zijn er al voorlopige berekeningen voor heel Europa beschikbaar, die nog volop verder verfijnd

worden. De nieuwe rekenwijze heeft niet alleen een verschuiving maar ook een uitbreiding van de risicogebieden tot gevolg.

3. SESSIE 2: WETENSCHAPPELIJKE INSTRUMENTEN VOOR BELEIDS- ONDERSTEUNING

In het begin van sessie 2 stelde *Jean-François Müller* van het BIRA (Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie) de ‘inverse modellering’ als een instrument voor de inschatting van emissies voor. Volgens de traditionele ‘bottom-up’ methode vertrekt men van economische en geografische statistieken alsook van emissiefactoren om een emissie-inventaris op te stellen. De inverse modellering in tegenstelling is een ‘top-down’ methode, waar men omgekeerd te werk gaat. Hierbij vertrekt men van geobserveerde atmosferische gegevens die men aan een atmosferisch model koppelt. Als eerste schatting kan men de emissie-inventarissen gebruiken, die vervolgens aangepast worden tot de gemeten en gemodelleerde concentraties overeenkomen. Deze laatste methode kan helpen om de onzekerheden in de emissies te beperken en na te gaan of de lijst van bronnen volledig is. In West-Europa worden de concentraties van vele pollutanten gedomineerd door de antropogene emissies. De onzekerheid op deze bronnen ligt gemiddeld rond 30 à 50 %. Op wereldniveau domineren meestal echter de biogene emissies, maar hun onzekerheid loopt gemakkelijk op tot een factor 3.

In tegenstelling tot de broeikasgassen, o.a. koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄) die meestal in vrij grote hoeveelheden aanwezig zijn en waarvoor men een lineaire relatie heeft tussen uitstoot en concentratie (geen snelle reacties in de atmosfeer), zijn de ozonprecursoren vaak aanwezig in vrij lage maar uiterst variabele concentraties. Tussen hun emissies en de ozonconcentratie bestaat geen lineair verband, wat de inverse modellering beduidend moeilijker maakt. Voor de broeikasgassen CO₂ en CH₄, waarvoor de methode van de inverse modellering al gedurende meer dan 20 jaar toegepast wordt, heeft men hiermee goede resultaten bereikt. Zeer recentelijk konden de resultaten door het gebruik van ‘geneste modellen’ met zeer hoge resolutie nog eens aanzienlijk verbeterd worden.

De ‘top-down’ methodologie vereist nauwkeurige informatie over de concentraties van de verschillende gassen aanwezig in de lucht op de verschillende plaatsen. Het aantal meetstations zou hiervoor verhoogd moeten worden, maar ook metingen uitgevoerd vanuit de ruimte (‘remote sensing’ vanuit vliegtuigen en satellieten) wordt steeds belangrijker. Sinds kort wordt remote sensing toegepast voor de meting van CO (koolstofmonoxide), NO₂ en CH₂O (formaldehyde). Ook het niveau van detail van de satellietmetingen verbetert momenteel continu.

In de tweede presentatie van sessie 2 stelde *Frans Fierens* van IRCEL het BeEUROS-model (Belgische versie van het EUROpean Operational Smog model) voor. Dit model werd bij RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) in Nederland ontwikkeld en in het kader van een PODO I-project aan de situatie in België aangepast en bij IRCEL geïnstalleerd. In tegenstelling tot SMOGSTOP (Statistical Model Of Groundlevel Short Term Ozone Pollution), een statistisch model dat bij IRCEL voor de voorspelling van ozonpieken gebruikt wordt, is BeEUROS een deterministisch model. BeEUROS is in staat om de impact van beleidsmaatregelen op de luchtkwaliteit te beoordelen. Het is een complex computermodel dat met meteogegevens (zoals temperatuur en windvelden), emissiegegevens (NO_x, NMVOS (niet-methaan VOS) en SO₂) en gegevens betreffende landgebruik (nodig voor o.a. de bepaling van de biogene emissies) als input werkt en de belangrijke fysische en chemische processen modelleert die bij de ozonvorming en zijn afbraak betrokken zijn. De emissies zijn geografisch en per economische sector (bv. verkeer, raffinaderijen) opgesplitst. Het

modeldomein omvat Europa met een resolutie van 60x60 km. Het gebied rond België kan via gridverfijning tot een resolutie van 15x15 km gemodelleerd worden.

De met BelEUROS gemodelleerde ozonconcentraties voor de ozonepisode van augustus 2003 komen vrij goed overeen met de gemeten waarden. De gemiddelde maximumconcentraties lagen het laagst in het noordwesten van België en namen in richting zuidoosten toe. Om de vraag naar het effect van kortetermijnmaatregelen tijdens ozonepisodes te evalueren, werd in het model het hele autoverkeer in België al één week voor het begin van de episode van augustus 2003 en voor de hele duur van de episode, in totaal meer dan 4 weken, op ‘weekend-regime’ gezet. Dit komt overeen met een emissiereductie van 30 % voor NO_x en 20 % voor de NMVOS. Zelfs bij deze (theoretische) middellangetermijnmaatregel stijgen de ozonconcentraties behalve ten zuiden van Samber en Maas, dus in een gebied waar ongeveer 80 % van de Belgische bevolking woont. Dit toont aan dat kortetermijnmaatregelen (bv. in het verkeer) tijdens een ozonepisode die gelimiteerd zijn in ruimte en tijd de ozonconcentraties in stedelijke gebieden kunnen doen stijgen (zie ook ozon-‘weekendeffect’ hoger). Door een tweede berekening kon aangetoond worden dat de sinds 1990 doorgevoerde emissiereducties wel een positief effect op de ozonpieken hebben. Bij emissies zoals in 1990 zou de ozonoverlast tijdens de ozonepisode van augustus 2003 in heel België veel hoger geweest zijn. Worden echter de emissiescenario’s voor 2010 gebruikt volgens de door de NEC-richtlijn (National Emission Ceilings of Nationale Emissieplafonds) gedefinieerde doelstellingen, dan zouden we tijdens dezelfde ozonepisode op alle plaatsen in België beduidend minder ozonoverlast gehad hebben. Dit toont aan dat enkel duurzame, drastische, en maatregelen op Europese schaal een positief effect op de ozonconcentraties hebben. Het feit dat er tijdens de ozonperiode van 2003 op aanraden van wetenschappers geen ad-hocmaatregelen in het verkeer genomen werden, maar wel maatregelen om ervoor te zorgen dat de bevolking minder werd blootgesteld (bv. de raad om binnen te blijven, geen zware inspanningen te leveren...) toont ook aan dat er wel degelijk een goede samenwerking en communicatie bestaat tussen wetenschappers en beleidsmensen op dit vlak.

De grootste uitdaging voor de toekomst is om de ozonachtergrondconcentratie te doen dalen. Uit de discussie bleek echter dat het op dit moment nog onduidelijk is, wat eigenlijk de oorzaken van de steeds stijgende achtergrondconcentraties zijn. Zijn deze vooral te wijten aan de (nog) onvoldoende reducties van de NO_x-emissies bij ons (zoals bij het weekend-effect) of ligt het eerder aan de wereldwijd stijgende NMVOS-emissies, zodat de ozonachtergrond op wereldniveau stijgt? Gerwin Dumont van IRCEL legde er in de discussie de nadruk op dat de reductie van de NO_x- en NMVOS-emissies ook na 2010 moet doorgaan om dit probleem aan te pakken. Het lijkt echter onmogelijk te zijn om de emissies op wereldniveau te doen dalen, omdat in vele landen die nu of in de toekomst een sterke ontwikkeling kennen de emissies onvermijdelijk zullen toenemen. Er moet dus getracht worden om door het gebruik van de meest duurzame technologieën ervoor te zorgen dat deze landen een minder sterke toename van de emissies doormaken dan West-Europa 50 jaar geleden gekend heeft.

Door *Ina De Vlieger en Luc Int Panis* van VITO werd vervolgens op het effect van maatregelen in de transportsector ingegaan. Dit is van groot belang omdat het verkeer en het wegverkeer in het bijzonder, een zeer belangrijke bron van ozonprecursoren in België is. 46 % van de NO_x-emissies en 22 % van de NMVOS-emissies zijn afkomstig van het verkeer. De Europese NEC-richtlijn geeft als doelstelling voor België een uitstoot van 68 kton NO_x en 35,6 kton NMVOS voor het jaar 2010. Verschillende nationale reductiemogelijkheden werden door twee VITO-studies binnen het PODO I geëvalueerd: door middel van de Multicriteria Analyse (MCA) en door het opstellen van een methodologie voor de externe kosten van transport. Met behulp van beide benaderingen werden 12 mogelijke beleidsopties geëvalueerd, zoals bv. een versnelde introductie van milieuvriendelijke voertuigen, een versnelde vervanging van oude personenwagens of een vermindering van het autogebruik

door meer carpooling en telewerk. Voor de MCA-benadering werden de opties door een groep van experts gerangschikt volgens emissiereductiepotentieel, kosten alsook maatschappelijke wenselijkheid en politieke haalbaarheid. Het emissiereductiepotentieel voor VOS en NO_x werd bekeken voor alle 12 opties ten opzichte van het BAU-scenario (Business-As-Usual-scenario) dat de door de Europese wetgeving al besloten maatregelen bevat.

Het wordt duidelijk dat zowel voor NO_x alsook voor NMVOS de trend vooral door het BAU-scenario gezet wordt. Deze daling is dus vooral te danken aan de Europese maatregelen voor voertuigen; de 12 mogelijke onderzochte nationale maatregelen zouden enkel maar een marginaal effect hebben. Het wordt ook duidelijk dat de NO_x-emissies tegen 2012 minder zullen dalen dan de NMVOS-emissies. Houdt men ook rekening met de kosten verbonden aan de verschillende maatregelen en hun maatschappelijke wenselijkheid en politieke haalbaarheid, dan scoort het vervangen van oude auto's slecht (hoge kosten, niet wenselijk en niet haalbaar), terwijl het gebruik van het openbaar vervoer goed scoort (relatief lage kosten, wenselijk en haalbaar).

Bij een berekening volgens de Europese ExternE methodologie (Externalities of Energy) worden de opties volgens hun externe milieukosten gerangschikt. Dit werd voor een zestal pollutanten doorgevoerd. Omdat het fijn stof een zeer grote impact op de gezondheid heeft, worden de totale externe milieukosten voor de 12 opties telkens door de externe milieukosten verbonden aan fijn stof gedomineerd.

Bij een vergelijking van beide methodologieën kan vastgesteld worden dat beide benaderingen als 'beste' optie de verhoogde inspectie en onderhoud van de voertuigen identificeren. De minst geschikte methode zou volgens beide methodologieën de invoering van elektrische voertuigen zijn, omdat binnen de bestudeerde tijdshorizon (2012) de penetratiegraad verwaarloosbaar is. Beide methodes leveren dus vergelijkbare resultaten op. Uit zeer recent onderzoek blijkt nu ook dat de reële NO_x-emissies van vrachtwagens die voldoen aan de Europese normen euro 2 en euro 3, hoger zijn dan tot nu toe werd aangenomen. Dit is een van de thema's in het project SUSATRANS (SUSustainability Assessment of technologies and modes for TRANSPORT in Belgium) binnen het PODO II. De NEC-doelstellingen voor België voor het verkeer lijken voor VOS haalbaar te zijn, terwijl dit voor NO_x nog niet duidelijk is.

Georges Liebecq van Econotec Consultants stelde vervolgens kosten-batenanalyses voor het bepalen van de effectiviteit van maatregelen voor de emissiereductie van ozonprecursoren voor. Het grootste deel van de NO_x-emissies is afkomstig van verbrandingsprocessen. De vorming van NO_x komt van de reactie tussen de zuurstof in de lucht met de stikstof in de brandstof maar ook en zeker op hoge temperaturen met de stikstof uit de lucht. Emissiereductiemaatregelen kunnen op verschillende niveaus toegepast worden: op de verbranding zelf door een betere controle ervan (temperatuur van de vlam) of door gebruik van een andere bron van zuurstof (oxy-verbranding door gebruik van zuiver zuurstof i.p.v. lucht). Nog een andere mogelijkheid is de uitlaatgassen te denitrifiëren, wat echter meestal zware en dure installaties vereist. De tegen 2010 te verwachten NO_x-vermindering is zichtbaar, hoofdzakelijk in de sector verkeer, maar niet drastisch.

De belangrijkste bronnen van VOS zijn de vluchtige brandstoffen (bv. tijdens het vullen van de benzinetank van een voertuig), de gassen uit onvolledige verbrandingen (uitlaatgassen en rook uit openhaarden), de organische solventen gebruikt in verf, inkt, cosmetica, reinigingsproducten (droogkuis) en tenslotte methaan. Verschillende maatregelen kunnen hiervoor genomen worden zoals de vermindering in gebruik van sommige producten, de substitutie door minder gevaarlijke producten en het opvangen van emissies. De

verminderingen die tegen 2010 kunnen verwacht worden zijn hoofdzakelijk terug te vinden in de sector verkeer en de verdeling van brandstof.

Het toepassen van maatregelen moet rekening houden met hun doeltreffendheid, hun toepasbaarheid en hun kosten (niet enkel voor investering en implementatie maar ook voor onderhoud en mogelijke indirecte winst of verlies). Een langetermijnvisie is wenselijk gezien sommige maatregelen niet verenigbaar zijn of juist synergetisch kunnen zijn. De constructie van de marginale kostencurven ter beoordeling van de doeltreffendheid kan een zeer nuttig beleidsinstrument zijn om de juiste maatregelen te kiezen. Bijvoorbeeld, het gebruik van 'low-NO_x-branders' is een maatregel die met vrij lage marginale kosten verbonden is maar tegelijkertijd een vrij hoge reductie van de NO_x-emissies tot gevolg heeft. Dit is dus een sterk aan te bevelen maatregel. Andere maatregelen zijn duidelijk te duur om ze te laten uitvoeren. Tussen deze twee uitersten, ligt de beslissingszone waar verschillende maatregelen genomen kunnen worden maar waar de keuze minder vanzelfsprekend is.

Door *Rudi Torfs* van VITO werd vervolgens een toelichting gegeven over de externe kosten methodologie en haar toepassing op reductiestrategieën voor ozon. Algemeen gezien kan de externe kost gedefinieerd worden als de 'maatschappelijke kost die niet weerspiegeld is in de prijs'. Voor het voorbeeld 'verkeer' zijn dit alle kosten die het individu niet betaalt, zoals de schade aan de volksgezondheid en aan het milieu, kosten door files en accidenten alsook geluidshinder. In de Europese context wordt getracht om 'de echte prijzen' te kennen door middel van een internalisering van de externe kosten alsook door kosten-batenanalyses. Hierin spelen het 5^{de} en 6^{de} Milieu-actieprogramma en, voor het luchtkwaliteitsbeleid, het CAFE (Clean Air for Europe) programma een belangrijke rol. De ExternE-methodologie werd binnen het 6^{de} Europese kaderprogramma ontwikkeld en wordt vandaag op heel wat gebieden toegepast, o.a. bij kosten-baten overwegingen betreffende verzuring en bij het opstellen van de nationale emissieplafonds. Deze methodologie baseert zich op de milieuverstoringketen (Driving forces, Pressure, State, Impact – Response; DPSI-R), waarbij een bepaalde (hogere) emissie hogere concentraties, een hogere blootstelling en dus bijkomende schade veroorzaakt. Bij de berekening komen verspreidingsmodellen (zoals BelEUROS), blootstellingbepaling en blootstelling/effect-relaties (epidemiologie en toxicologie) aan bod.

De in rekening gebrachte impacts van troposferisch ozon bevatten op dit moment de acute gezondheidseffecten (ziekte en vervroegde sterfte) en het opbrengstverlies bij gewassen en bossen. De effecten van ozon op materialen kunnen momenteel nog niet gekwantificeerd worden. Ook de (mogelijke) chronische gezondheidseffecten van ozon zijn momenteel niet in ExternE opgenomen, omdat er geen betrouwbare gegevens hieromtrent bestaan. Dit maakt een belangrijk verschil uit tussen de externe kosten van ozon en van fijn stof: voor fijn stof zijn de chronische effecten wel kwantificeerbaar en zijn voor het overgrote deel van de externe kosten van fijn stof verantwoordelijk.

Binnen het CAFE-netwerk worden dan ook gezondheidsgerelateerde vragen onderzocht, zoals de chronische effecten van ozon en de effecten van ozon beneden de drempelwaarden. Voor wat de effecten op gewassen betreft, wordt in ExternE al rekening gehouden met de nieuwe ozonflux-methode; de modellen worden hiervoor in de toekomst aangepast. De bepaling van de externe kosten van ziekte gebeurt via een inschatting van de kosten door ziekte voor het individu, voor de maatschappij en de 'kosten' verbonden met het lijden aan een ziekte. Voor de 'kosten' van vervroegde sterfte wordt (bv. via enquêtes) getracht na te gaan welke prijs mensen bereid zijn te betalen voor een lager risico op sterfte en hoe de waarde van een verloren (gezond) levensjaar wordt geschat.

Voor BeLEUROS werd ook een kosten-baten module ontwikkeld. Hiermee werd een kosten-batenanalyse van het BAU-scenario voor 2010 ten opzichte van het basisjaar 1997 en een analyse van bijkomende nationale maatregelen boven het BAU-scenario 2010 doorgevoerd. Ook hierbij werd duidelijk dat de emissiereducties verbonden aan het BAU-scenario 2010 een positieve kosten-baten verhouding hebben. Interessant is dat de grootste baten hierbij verbonden zijn aan het indirecte effect van een reductie van de nitraatconcentraties. Dit heeft ermee te maken dat een reductie van de NO_x-emissies binnen NEC 2010 niet enkel positieve gevolgen voor de ozonconcentraties zal hebben maar bovenop een vermindering van de verzuring en vermesting alsook lagere concentraties nitraataërosol ten gevolg zal hebben. Vooral het laatste levert een hoge baat in de externe kosten op.

Bijkomende nationale maatregelen zouden 'enkel' maar bijkomende NO_x-reducties van enkele 10-tallen kton opleveren, dit echter tegen een enorm hoge kostprijs (392 Meuro). Deze maatregelen zouden wel ook een (indirecte) baat via de lagere nitraatconcentraties hebben; de ozonconcentraties zouden waarschijnlijk wegens de niet-lineariteit van de ozonvorming zelfs stijgen. Omdat er dus positieve alsook negatieve effecten te verwachten zijn, is het invoeren van extra en uitsluitend Belgische maatregelen niet voordelig. Extra internationale inspanningen om dit grensoverschrijdende probleem aan te pakken zullen dit vermoedelijk wel zijn. Bij de bepaling van de externe kosten moet ook in rekening genomen worden dat vele kleine effecten samen een hoge kost kunnen veroorzaken. Blijven veel mensen tijdens een ozonepisode wegens misselijkheid een dag thuis dan betekent dit hoge kosten voor de maatschappij, ook al gaat het hier eigenlijk om een klein effect.

Als besluit kan gezegd worden dat de ExternE-methodologie transparant is en bijdraagt tot de besluitvormingsprocessen door antwoorden te bieden op de vraag hoe ver het beleid kan/moet gaan.

4. SESSIE 3: BELEIDSSTRATEGIEËN IN EUROPA EN BELGIË

In de eerste presentatie van sessie 3 stelde *David Knight* van AMINAL (Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer) het Europese beleid inzake grensoverschrijdende luchtverontreiniging en het CAFE-programma voor. Verschillende

Europese richtlijnen met betrekking tot luchtkwaliteit behandelen de ozonproblematiek (o.a. de NEC-richtlijn met de emissieplafonds voor NO_x en VOS, de Euro-normen voor voertuigen en brandstof en de richtlijnen voor stationaire bronnen zoals de grote stookinstallaties).

Toch is er nood aan een geïntegreerde aanpak van de luchtverontreiniging in Europa want vooral de problemen met fijn stof en ozon blijven bestaan. Dit is de doelstelling van het CAFE-programma. Het probleem van de luchtkwaliteit zal aangepakt worden door een evaluatie van de implementatie van de richtlijnen voor luchtkwaliteit in de lidstaten, een verbetering van de monitoring, een evaluatie en een herziening van de nationale emissieplafonds en een verbetering van de modellen en de toekomstprojecties om prioriteiten voor verdere acties te bepalen. In dit kader is het RAINS-model (Regional Air pollution INformation and Simulation) een belangrijk onderdeel, zowel voor de scenario-analyse alsook voor de optimalisatie-analyse.

In het kader van CAFE heeft tot nu toe de WHO (Wereldgezondheidsorganisatie) de met luchtverontreiniging gerelateerde gezondheidseffecten systematisch gereviewd, IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) voert de geïntegreerde assessment-modellering met RAINS uit en het Joint Research Center (JRC) van Ispra realiseert binnen 'CITY-DELTA' (European model-intercomparison study in support of the CAFE programme) een vergelijkende studie van modellen.

De NEC-richtlijn met de emissieplafonds voor NO_x en VOS verplicht talrijke landen maatregelen te nemen om hun emissies te beperken. O.a. België moet de uitstoot van zowel NO_x als VOS verminderen. Andere landen, zoals Finland, Griekenland, Italië en het Verenigd Koninkrijk mogen hun emissies nog laten stijgen.

Vervolgens lichte *Estelle Ceulemans* van het Kabinet van de Minister van Leefmilieu de maatregelen en strategieën van de overheid met betrekking tot het ozonprobleem toe. Ten gevolge van de overschrijdingen van de ozondrempels van 180 en zelfs van 240 µg/m³ respectievelijk 22 en 7 malen in 2003, het aflopen van het vorige ozonplan en de afwezigheid van gecoördineerde maatregelen tussen de federale en regionale overheden, werd een nieuw nationaal ozonplan voor de periode 2004-2007 opgesteld. Dit is grotendeels gebaseerd op de Europese richtlijnen.

Zwavelarme en biobrandstoffen zullen progressief op de markt komen, vaak met een fiscale ondersteuning. Op het gebied van de emissies komen strengere normen voor bv. verwarmingsketels, kachels en haarden en de uitlaatgassen van 2- en 3-wielers. De promotie van het openbaar vervoer wordt verder gezet door bv. gratis verplaatsingen aan te bieden aan ambtenaren. Er komen ook financiële aanmoedelingen voor het gebruik van de fiets en van carpooling om naar het werk te gaan.

Bewustmakingscampagnes over de kwaliteit van brandstoffen, voor het gebruik van verven en producten met een ecologische label en voor een milieuvriendelijker rijstijl zijn voorzien. Er komen ook financiële aanmoedelingen voor de aankoop van milieuvriendelijker voertuigen, voor de renovatie van woningen en ook voor het vervoer van goederen via het spoor. Een groter deel van de geproduceerde elektriciteit zal 'groene' energie zijn.

Een speciale inlichtingscampagne over ozon voor het grote publiek zal plaatsvinden en informatiekkanalen worden voorzien om doelgroepen snel te kunnen informeren in geval van ozonpieken. Deze kanalen zullen later i.f.v. de noden aangepast worden zodat ze ook voor andere problemen gebruikt kunnen worden.

Het ozonbestrijdingsplan van het Waalse Gewest werd vervolgens door *Annick Fourmeaux* van de DGRNE (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement) toegelicht. De bedoeling van het Waalse Gewest is om een geïntegreerd plan voor alle pollutanten en alle sectoren voor een periode van 10 jaar op punt te stellen als een uitbreiding van het federale plan. Informatie hieromtrent kan teruggevonden worden op de website <http://air.wallonie.be>.

Op korte termijn moet de opsporing van pollutieperioden via modellering verbeterd worden. Hiervoor is het gebruik van bestaande modellen zoals CHIMERE voorzien. Het effect van maatregelen op korte termijn zal regelmatig bekeken worden om een aanpassing van deze maatregelen mogelijk te maken. Momenteel, zoals op nationaal en Vlaams niveau, wordt een vermindering van het verkeer of een snelheidsbeperking als nutteloos beschouwd om een vermindering van de ozonconcentraties tijdens ozonpieken te bekomen. Op lange termijn zal het Waalse Gewest zijn bijdrage tot de vermindering van de Belgische NO_x- en VOS-emissies leveren. Verschillende besluiten die een invloed op de vermindering van de NO_x-, VOS-, SO₂- en NH₃ (ammoniak)-emissies hebben, zijn al door het Waalse Gewest goedgekeurd. Deze besluiten hebben o.a. betrekking op de emissies van elektriciteitscentrales en verbrandingsinstallaties en het gebruik van solventen.

Sinds 1990 is er een vermindering van de uitstoot van zowel NO_x als VOS vastgesteld maar deze moet nog worden verder gezet. Een BAU-projectie voor 2010 toont aan dat de NEC-

plafonds voor NO_x en VOS niet zonder bijkomende maatregelen in Wallonië zullen gehaald worden. De projectie voorspelt NO_x-emissies van 59 kton (t.o.v. 46 kton emissieplafond voor het Waalse Gewest) en VOS-emissies van 36 kton (t.o.v. 28 kton emissieplafond). Momenteel wordt het emissiereductiepotentieel in Wallonië in kaart gebracht, rekening houdend met de kosten en baten van maatregelen alsook met hun uitvoerbaarheid.

Peter Vanderstraeten van BIM (Brussels Instituut voor Milieubeheer) evalueerde de zin van kortetermijnmaatregelen in de stad aan de hand van het weekendeffect en de autoluwe zondag van 21 september 2003. Binnen de steden leidt een overmaat aan NO tot de afbraak van ozon, maar downwind van de steden liggen de ozonconcentraties hoger dan upwind. Uit metingen blijkt duidelijk dat op meetstations met veel autoverkeer in de buurt steeds relatief lage ozonconcentraties gedetecteerd worden ten opzichte van stations die niet in de buurt van verkeerswegen liggen. Tijdens het weekend worden op alle meetstations hogere ozonconcentraties gedetecteerd, maar deze stijging is het hoogst voor de 'verkeersstations' (bv. Haren). Op de autoluwe zondag werden ook ten opzichte van de 'normale weekends' nog eens significant verhoogde ozonconcentraties vastgesteld.

Het valt op dat de voormalige verschillen in ozonconcentraties tussen de 'verkeersstations' en de 'niet-verkeersstations' tijdens de autoluwe zondag niet meer terug te vinden waren; alle onderzochte meetstations vertoonden ongeveer dezelfde ozonconcentratie. Deze bevindingen komen zeer goed overeen met de resultaten van het BeEUROS-model, waarbij zelfs bij een verlaging van de emissies gedurende meerdere weken de ozonconcentraties stegen. De gemeten concentraties van een aantal pollutanten in door gebouwen ingesloten straten (street canyons) tonen aan dat gedurende de laatste 15 jaar de concentraties NO en CO wel degelijk gedaald zijn, terwijl de waargenomen concentraties NO₂ ongeveer constant zijn gebleven en de concentraties ozon zelfs zijn toegenomen.

Tenslotte werd door *David Knight* van AMINAL het Vlaamse NEC-reductieprogramma toegelicht, die op de Europese richtlijn 2001/81/EG (nationale emissieplafonds) gebaseerd is. De emissieplafonds voor België in 2010 zijn vastgelegd op 139 kton VOS, 176 kton NO_x, 99 kton SO₂ en 74 kton NH₃. Vervolgens werden deze plafonds (en de te bereiken reducties) tussen de drie gewesten verdeeld. Men stelt vast dat de door de WHO voorgestelde richtwaarden ter bescherming van de menselijke gezondheid en de vegetatie, tegen fotochemische luchtverontreiniging, in alle lidstaten in aanzienlijke mate overschreden worden. Het is technisch onmogelijk om langetermijndoelstellingen te realiseren, zodat er tussentijdse doelstellingen opgesteld worden. Hierbij wordt met de haalbaarheid en kosteneffectiviteit van de maatregelen rekening gehouden. Hiervoor wordt het RAINS-model toegepast. De berekeningen tonen aan dat zelfs bij een daling van de emissies op de NEC-waarden, België nog steeds in een gebied in Europa met vrij hoge ozonconcentraties zit. Het is dus eigenlijk niet te verwachten dat de NEC-waarden bij de herziening in 2006 voor België zullen versoepeld worden.

Alle lidstaten moesten ondertussen programma's voor een reductie van de NO_x-, VOS-, NH₃- en SO₂-emissies opstellen, om uiterlijk in 2010 aan de emissieplafonds te kunnen voldoen. Deze plafonds kunnen in 2006 worden herzien. De lidstaten moeten ook emissie-inventarissen opstellen en deze jaarlijks actualiseren. De meest efficiënte maatregelen om de emissieplafonds te bereiken worden met behulp van kostencurves geïdentificeerd via de marginale kost per ton emissiereductie verbonden met een bepaalde maatregel. Op deze manier kunnen de 'goedkope' maatregelen (die zeker moeten genomen worden) van de 'dure' maatregelen (die eventueel niet noodzakelijk zijn) gescheiden worden.

In een eerste fase werden in de jaren 2002 t.e.m. 2004 studies uitgevoerd die het reductiepotentieel voor de verschillende industriële sectoren in kaart brengen. In de tweede

fase worden VLAREM-aanpassingen (VLAams REglement betreffende de Milieuvergunning) voor verschillende pollutanten voor bepaalde sectoren doorgevoerd. Een mogelijk alternatief is het afsluiten van een convenant, zoals de milieubeleidovereenkomst tussen de Vlaamse Overheid en de elektriciteitsproducenten, die vanaf dit jaar geldig is. Deze overeenkomst bevat de te bereiken emissies voor de jaren 2008, 2010 en 2013 voor SO₂ en NO_x.

Voor het halen van de doelstellingen voor de sector verkeer en vervoer is vooral de Europese wetgeving bepalend. Bijkomend werden binnen het Vlaamse milieubeleid twee actieprogramma's opgestart: Het 'Actieprogramma milieuvriendelijke voertuigen' en het 'Actieprogramma milieuvriendelijk rijgedrag'. Informatie hieromtrent kan teruggevonden worden op de website www.vlaanderen.be/lucht. Samengevat zullen de tot nog toe geplande maatregelen over de VOS-emissies niet volstaan om het emissieplafond te halen. Voor de NO_x-emissies lijken de maatregelen net niet te volstaan. Er moet dus een bijkomend maatregelenpakket uitgewerkt worden, vooral ook in het licht van een mogelijke verlaging van de emissieplafonds in 2006.

Tijdens de discussieronde van deze sessie werd de vraag gesteld naar de definitie en vergelijkbaarheid van de verschillende BAU-scenario's die in de voorgestelde modellen worden gebruikt en welke de impact is van deze scenario's op de resultaten van de modellen. Met welke foutenmarges moet men bij gebruik van deze scenario's rekening houden? Ook aan het opstellen van deze scenario's zijn talrijke veronderstellingen verbonden, zoals de evolutie van het wagenpark, het daarmee verbonden brandstofverbruik en de evolutie van de algemene mobiliteit. Over deze ontwikkelingen bestaat geen zekerheid. Ook is het niet altijd duidelijk of de NEC-plafonds al dan niet in de BAU-scenario's geïntegreerd zijn.

5. SLOTSESSIE

Als algemene conclusie van deze studiedag kan besloten worden dat de ozonvervuiling van de omgevingslucht in feite een intercontinentaal probleem is in het noordelijke halfrond. Het intercontinentale transport van ozon heeft gevolgen voor de achtergrondconcentraties in België, die in tegenstelling tot de ozonpieken de laatste 15 jaar een stijgende trend kennen.

Het halen van de NEC-doelstellingen vergt nog veel gezamenlijk werk van wetenschappers en beleids mensen. Nieuwe methodes en resultaten op het gebied van de meettechnieken, de emissie- en verspreidingsmodellen en het toxicologisch onderzoek binnen heel Europa zijn hiervoor belangrijk. Heel wat Belgische onderzoekers hebben gewerkt in het kader van internationale programma's zoals EUROTRAC. Ze hebben er hun expertise gevaloriseerd en nieuwe expertise verworven. Het is belangrijk dat beleids makers ook gebruik maken van de resultaten en de instrumenten die werden ontwikkeld op internationaal niveau temeer daar het ozon in de troposfeer geëvolueerd is van een regionaal naar een globaal probleem.

Voor de inschatting van reductiescenario's zou het nuttig zijn de Belgische beleidsmodellen op het RAINS/CAFE gebeuren af te stemmen.

Bijkomend lijkt het aangeraden, ozon nog meer in het geheel van pollutanten op te nemen en, in plaats van per pollutant te werk te gaan, de baten van een collectief multi-pollutant beleid te vergelijken met de kosten. In dit geval zou het beleid ook gemakkelijker kunnen omgaan met de 'paradox' van stijgende ozonconcentraties bij dalende pollutantemissies. De emissiereductie heeft ook steeds positieve effecten op andere milieuproblemen, zoals verzuring, vermisting en hoge fijn stof concentraties.

In het algemeen kan vastgesteld worden dat er een vrij goede afstemming van de ‘state of the art’ kennis in België is. Er moet verder nagedacht worden over de manier waarop wetenschappelijke resultaten kunnen meegenomen worden in de beleidsontwikkeling. De communicatie tussen wetenschap en beleid kan voortdurend worden verbeterd.

Résumé de la journée d'étude « Ozone troposphérique et précurseurs d'ozone : instruments scientifiques et gestion »

Felix Deutsch et Jean Vankerkom

Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek (VITO), Boeretang 200, B-2400 Mol

1. INTRODUCTION

Xavier Lepoivre introduit la journée d'étude au nom de *Philippe Mettens*, Président de la Politique scientifique fédérale. Lors de cette introduction, est évoqué l'été 2004 avec ses nombreux et élevés dépassements des concentrations d'ozone et leurs conséquences néfastes.

L'objectif de cette journée d'étude était triple:

1. Donner un aperçu de l'état des connaissances scientifiques concernant la problématique de l'ozone (les processus chimiques, le transport de l'ozone troposphérique, son impact sur l'homme et l'environnement et le lien avec d'autres problèmes environnementaux) ;
2. Décrire les instruments scientifiques développés en appui de la décision en ce qui concerne la problématique ozone.
3. Présenter les stratégies actuelles élaborées au niveau européen, régional et fédéral et envisager le rôle de la Belgique dans le domaine de la politique de l'ozone à ces différents niveaux.

Les récentes initiatives prises aux différents niveaux politiques montrent que les résultats scientifiques servent d'appui à la politique. Cette voie doit être poursuivie. La Politique Scientifique Fédérale joue un rôle de soutien en finançant des activités de recherche, diffusant les résultats et en développant un réseau d'expertise. En effet, les autorités sont confrontées aujourd'hui à des problèmes très complexes et doivent pouvoir s'appuyer sur une expertise scientifique permanente. La recherche scientifique doit absolument agir de manière proactive.

Depuis une dizaine d'années, la Politique Scientifique Fédérale finance la recherche dans le domaine du développement durable : de 1996 à 2001 sous la forme du premier « Plan d'appui scientifique à une politique de développement durable », le PADD I et de 2001 à la fin 2005, le PADD II. Un rapport d'évaluation analysant les résultats et les applications politiques (potentielles) résultant des 12 années de recherche sur le « Global Change » a été élaboré, dont un des chapitres principaux traite spécifiquement de la problématique de l'ozone troposphérique. En réponse aux exigences du Plan national Ozone et visant également la valorisation de la connaissance scientifique obtenue, la Politique Scientifique Fédérale a publié un rapport de synthèse sur l'ensemble des recherches relatives à l'ozone financés par le SPP Politique scientifique et celles menées par les établissements scientifiques fédéraux.

2. SESSION 1 : POSITIONNEMENT DU PROBLEME DE L'OZONE

En introduction de la journée session 1, Gerwin Dumont (CELINE, Cellule interrégionale de l'Environnement) a décrit le contexte de la problématique de l'ozone en Belgique. La complexité globale du problème de l'ozone est étroitement liée aux mécanismes complexes de formation et de destruction de l'ozone au sein de l'atmosphère. Dans la couche de mélange atmosphérique, l'équilibre entre NO₂ (dioxyde d'azote) et O₂ (oxygène) d'une part et NO

(monoxyde d'azote) et O₃ (ozone) d'autre part est (naturellement) photostationnaire. De par cet équilibre, au niveau de l'air « propre », nous devrions être confrontés à quelques ppb (parts par billion) d'ozone seulement. En réalité (celle de notre atmosphère polluée), nous sommes en outre confrontés à une production nette d'ozone due à la présence des COV (composés organiques volatiles). Les COV engendrent des radicaux peroxyde réagissant avec le NO, ce qui influence l'équilibre de la réaction photochimique. Le rapport NO/COV dans l'air ambiant est vraiment très important à ce niveau. Selon ce rapport, le facteur limitant de la formation d'ozone peut être le NO ou les COV. Dans les pays méditerranéens, les concentrations de COV sont souvent élevées, la production d'ozone est donc généralement limitée par la réserve de NO (formation d'ozone limitée par NO). Par contre chez nous, en Europe de l'ouest ou du Nord (Europe NO), la formation d'ozone est limitée par les COV dans la plupart des endroits. Les émissions de NO sont très élevées par rapport aux émissions de COV. Une partie de l'ozone produit est immédiatement éliminée par le NO, ce qui entraîne une anti-corrélation : aux endroits présentant les concentrations de NO les plus élevées (ex. près de routes à forte circulation ou dans les villes), l'on constate les concentrations d'ozone les plus faibles et aux endroits loin des routes encombrées (ex. station de mesure Dessel et plusieurs stations en Wallonie) l'on constate systématiquement les concentrations d'ozone les plus élevées. Cet effet est également visible pendant le week-end : en raison de la diminution du trafic automobile au cours du week-end, l'on constate nettement moins de NO dans les 'stations avec circulation', ce qui entraîne une augmentation de 50% des valeurs d'ozone. Une diminution des émissions NO entraîne donc chez nous (actuellement et certainement à court terme) une augmentation des concentrations d'ozone. Ceci peut être constaté au cours du week-end dans les régions à forte circulation (toutes les villes) et, d'une manière générale, dans les régions rurales. Au niveau de l'Europe du NO (formation d'ozone limitée par COV), l'émission inférieure de NO pendant les week-ends n'entraîne pas une production d'ozone inférieure, uniquement une diminution de l'élimination de l'ozone par NO. Afin de parvenir à ce qu'une diminution des émissions NO_x (NO + NO₂) entraîne également une diminution des concentrations d'ozone, nous devons parvenir « de l'autre côté de la crête d'ozone ». Pour ce faire, les réductions des émissions NO_x doivent toutefois être nettement supérieures à celles obtenues au cours des week-ends.

L'UE (Union européenne) a introduit deux nouveaux paramètres pour l'évaluation des concentrations d'ozone dans la directive Ozone 2003/3/CE : le premier a un rapport avec l'écosystème (AOT40_{ppb}) et le deuxième avec la santé publique (maximum journalier de la moyenne sur 8 heures).

Concernant l'AOT40_{ppb} (Accumulated exposure Over Threshold, exposition accumulée au-dessus d'une valeur seuil de 40 ppb ou 80 µg/m³), relatif à l'influence de l'ozone sur la végétation, un objectif séparé a été établi pour les cultures et la végétation semi-naturelle d'une part, et les forêts d'autre part. Même au cours de l'été 2003, l'indicateur pour les cultures (AOT40-végétation, valeur accumulée pour la période de mai à juillet) n'a pas dépassé l'objectif prévu, alors que l'indicateur pour les forêts (AOT40-forêts, valeur accumulée pour la période d'avril à septembre) a en 2003 largement (et partout) dépassé l'objectif pour la Belgique.

Lorsque le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (pour la détermination de l'influence sur la santé humaine) dépasse 180 µg/m³, les autorités sont obligées d'en informer la population. Le seuil d'alerte est fixé à 240 µg/m³. L'indicateur qui en est déduit, le NET60_{ppb} (Number of Exceedances of the Threshold) est important : le nombre de jours durant lesquels le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures dépasse les 60 ppb (120 µg/m³). A partir de 2010, ce nombre doit être limité à 25 jours par année calendrier (sur une moyenne de 3 ans). L'objectif à long terme de l'UE est toutefois de ramener le nombre de dépassements à zéro. Le grand inconvénient de cet indicateur est qu'il ne fait pas de différence entre les petits et les grands dépassements du seuil de 120 µg/m³. Une valeur

intégrée, comme pour les écosystèmes (la valeur AOT60_{ppb}-max8h - maximum journalier de la moyenne sur 8 heures pour chaque jour avec dépassement du seuil de 60 ppb) serait plus appropriée. La stratégie de l'UE est axée sur une diminution de deux tiers de l'AOT60_{ppb} en 2010 par rapport à sa valeur en 1990, avec une limite supérieure absolue de 5800 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*heures. En 2003, cet objectif n'a été atteint qu'en Flandre occidentale. Tant la moyenne des valeurs NET60_{ppb} que la moyenne des valeurs AOT60_{ppb} pour la Belgique a dépassé en 2003 les objectifs de l'UE pour 2010, alors que, avant 2003, les deux indicateurs sont effectivement restés en dessous des objectifs pendant plusieurs années.

Au cours des années précédentes, l'UE s'est principalement attachée à diminuer les valeurs des pics d'ozone. La stratégie a apparemment été couronnée de succès, puisque les valeurs des pics d'ozone affichent une tendance à la baisse pour toute l'Europe du Nord Ouest. Si l'on examine toutefois les concentrations moyennes d'ozone sur un an, l'on constate que ces concentrations de fond ont augmenté de manière constante en Belgique ces derniers 15 années, ceci vaut les deux régions, Flandre et Wallonie ainsi que pour toutes les saisons prises séparément. D'une perspective sanitaire, il faut tenir compte du fait qu'une exposition (permanente) à des concentrations en dessous des valeurs seuil peut parfois avoir des effets néfastes notamment pour certains groupes de la population pendant certaines périodes

Chris Vinckier de la KULeuven a ensuite abordé entre autres les relations entre l'ozone et les autres problèmes environnementaux. L'ozone n'est pas seulement un problème en Europe, mais également au niveau du monde entier. L'ozone et ses précurseurs (NO_x, l'ensemble des NO et NO₂, et les COV) peuvent être transportés sur de grandes distances, principalement dans la troposphère libre. Etant donné que la formation (et la destruction) de l'ozone dépend de nombreux paramètres (réactivité du rapport des émissions COV, NO_x/COV, intensité lumineuse, température, type de surface terrestre ...), l'ozone se comporte de manière très différente en fonction de l'endroit et du moment. Parmi les COV émis, l'on trouve également l'isoprène émis par la végétation, dont il ne faut pas sous-estimer le potentiel de formation d'ozone. Les protocoles de Sofia (1988) et de Genève (1991), fixant les réductions des émissions de NO_x, SO₂ (dioxyde de soufre) et des COV, ont eu une influence positive sur les valeurs des pics d'ozone, mais pas sur les concentrations de fond. Selon l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), il faut à l'avenir également tenir compte d'une augmentation de la concentration de fond de l'ozone. Si cette tendance se maintient, l'ozone représentera une menace permanente pour la santé publique et jouera de plus un rôle important dans l'effet de serre.

Le protocole de Göteborg (1999) fixe des réductions des émissions de NO_x et de COV pour 2010. La répartition des émissions pouvant être atteinte parmi les différents pays reste toutefois inquiétante. Des pays comme la Grèce (avec de nombreux dépassements des valeurs d'ozone, mais un retard dans le développement économique) pourront ainsi émettre plus de NO_x et de COV en 2010 que pour l'année de référence 1990. Les réductions des émissions de NO_x et de COV auront sans aucun doute des effets positifs sur l'eutrophisation et l'acidification de l'environnement, de même que sur les concentrations (secondaires) des aérosols. Parmi les paramètres importants pour la formation d'ozone, nous ne pouvons toutefois influencer que le rejet de COV (et NO_x) anthropogènes. Néanmoins, la contribution des émissions de COV biogènes est également importante. De plus, la formation d'ozone corrèle fortement avec le nombre d'heures d'ensoleillement et la température. C'est pourquoi l'effet de réduction des émissions de précurseurs pourrait être inférieur au niveau anticipé pour toute une série de régions.

Des recherches scientifiques récentes montrent que le transport intercontinental de l'ozone joue également un rôle important, avec une contribution moyenne pour l'ozone de fond en Europe de 4 à 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ environ, qui peut même s'élever à 10 - 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au cours de certains épisodes. Environ 20 % de tous les dépassements en Europa seraient dus au transport

transatlantique. La concentration de fond n'est donc pas seulement un problème européen, mais bel et bien un problème mondial.

Guy Joos de l'Hôpital universitaire de Gand poursuit en traitant ensuite des effets de l'ozone sur la santé. Alors que le smog d'hiver (avec des concentrations élevées de poussière et de SO₂) représentait le problème principal en 1950, ce sont aujourd'hui les concentrations élevées d'ozone et de poussières fines, provenant principalement de la circulation, qui causent les plus graves problèmes. PM10 (particulate matter ou poussières fines avec un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm) entraîne chez les personnes âgées une augmentation des décès dus aux maladies respiratoires et cardiovasculaires. Chez les jeunes, SO₂, NO₂, O₃ et PM10 entraînent divers symptômes respiratoires et une fonction pulmonaire réduite. Cette réduction de la fonction respiratoire intervient souvent 1 à 2 jours après le pic de pollution. Le risque de cancer du poumon augmente à cause des HAP (hydrocarbures polycycliques aromatiques).

D'une manière générale, l'on peut constater une diminution de la capacité pulmonaire et une inflammation des voies pulmonaires chez toute personne exposée à l'ozone. La sensibilité aux allergènes augmente également. NO₂ touche plutôt les personnes allergiques et PM10 touche à la fois les personnes âgées et les personnes allergiques. Les recherches épidémiologiques sur des volontaires ont permis de constater que l'ozone a des effets sur le système respiratoire, comme par exemple une fonction pulmonaire réduite ou un rétrécissement des voies respiratoires avec comme conséquence une augmentation du nombre d'hospitalisations. Parmi les effets aigus d'une exposition à l'ozone, l'on trouve principalement la toux, l'essoufflement et une réduction aiguë du volume pulmonaire. Une exposition répétée à l'ozone induit une tolérance par rapport aux effets nocifs, mais l'on sait encore trop peu sur les suites exactes. Il ressort clairement que l'apparition de symptômes dépend de la concentration d'ozone, de la sensibilité individuelle et de l'effort fourni. Les effets sur la santé semblent être plus faibles en dessous d'une concentration moyenne sur 8 heures de 100 µg/m³ environ. Des facteurs génétiques sont probablement responsables de la sensibilité individuelle. Certaines personnes ne présentent pas certains enzymes, qui jouent un rôle important dans la protection des cellules contre les espèces réactives de l'oxygène. Au cours d'un épisode d'ozone, et certainement pour les personnes sensibles, il faut éviter les efforts physiques étant donné qu'une respiration plus rapide entraîne une absorption plus élevée de l'ozone dans le sang.

Le nombre de cas d'asthme augmente à l'échelle mondiale, ce qui pourrait être lié à la pollution croissante de l'air, entre autres par l'ozone. Actuellement, en Belgique, 10% des enfants sont asthmatiques. La prévalence la plus élevée en ce qui concerne l'asthme chez les enfants se retrouve au Royaume Uni (environ 30%), en Nouvelle-Zélande, Australie et Irlande. Par rapport à la population totale, le Royaume Uni présente la prévalence la plus élevée de cas d'asthmes en Europe (10-13%), en Georgie elle n'atteint que 0,28%. Au niveau de la mortalité liée à l'asthme, le Portugal se retrouve en tête et les Pays-Bas ferment la marche. Mais les effets de l'ozone sur la mortalité ne sont pas encore très clairs. Par contre, le lien entre l'exposition à la poussière fine et les chiffres de mortalité supérieurs est clair. Une des raisons pourrait être le fait que ces poussières se retrouvent dans la circulation sanguine. Au niveau mondial, l'on doit cependant constater que l'apparition d'asthme a énormément augmenté ces dernières 10-15 années. Dans certains pays, le pourcentage des enfants asthmatiques a même plus que doublé ! Une série de facteurs jouent un rôle important dans le développement des allergies, dont certainement la pollution de l'air d'une manière générale, l'exposition à la circulation, l'ozone et le tabagisme passif ou actif. L'on peut montrer qu'un asthme existant s'aggrave lors d'une exposition à l'ozone, mais il n'est pas prouvé que l'ozone puisse entraîner de l'asthme.

Au cours de la dernière présentation de la session 1, *Karine Vandermeiren* du CODA – CERVA (Centre d'Etude et de Recherches vétérinaires et agrochimiques) a présenté les effets

de l'ozone troposphérique sur les systèmes forestiers et agricoles, ainsi que les valeurs seuils pour la protection de la végétation. Pour bien comprendre la relation entre les concentrations atmosphériques d'ozone et l'impact sur les plantes, il est essentiel de tenir compte des différentes résistances que l'ozone doit vaincre avant de pouvoir pénétrer la plante et entraîner un effet. La vitesse du vent, les turbulences et la rugosité de la surface terrestre (caractéristique adsorbante de la surface) jouent un grand rôle. Une forêt présente par exemple une rugosité nettement plus élevée qu'un champ. La résistance la plus importante est toutefois la résistance stomataire. L'ozone pénètre la plante via des petites ouvertures dans la feuille par lesquelles s'opèrent les échanges gazeux, les stomates. Une fois dans la plante, l'ozone provoque un empoisonnement intracellulaire par des espèces réactives de l'oxygène, qui peut entraîner la mort cellulaire, et finalement une réponse de la plante. Tout comme chez l'homme, la vitamine C joue également un rôle protecteur important pour les plantes grâce à ses caractéristiques fortement anti-oxydatives.

Etant donné que le degré d'ouverture des stomates (et donc le degré d'absorption d'ozone de la plante) dépend fortement des conditions atmosphériques comme la température, l'intensité lumineuse, l'humidité etc., ce degré varie donc en fonction du temps. C'est pourquoi il faut faire une distinction claire entre « l'exposition » à l'ozone (concentration x temps) et l'absorption réelle de la plante (« flux » d'ozone).

Après une courte exposition à des concentrations élevées d'ozone, le dommage aigu se situe principalement au niveau de la feuille et est souvent visible sous forme de nécrose ou de modification de la couleur. Un dommage chronique après une exposition de longue durée à de plus faibles concentrations d'ozone concerne souvent un ralentissement de la photosynthèse et une sénescence (mûrissement) accélérée des plantes avec comme conséquence des pertes de rendement et des modifications de la qualité. L'exposition de longue durée correspond à un stress plus élevé pour la plante et entraîne également une modification de la biodiversité, étant donné que les espèces sensibles disparaissent au profit des espèces résistantes. Pour chaque espèce, la perte de rendement diffère en fonction de la sensibilité à l'ozone.

L'exposition à l'ozone est exprimée selon les directives CE sous forme de valeur AOT40, qui représente l'exposition accumulée au-dessus d'une valeur seuil de 40 ppb (concentrations moyennes par heure) pendant les heures avec lumière du jour. Etant donné que les stomates sont fermés pendant la nuit, la plante n'absorbe donc pas d'ozone. De plus, les concentrations d'ozone sont généralement inférieures à 40 ppb pendant la nuit. Des valeurs seuils AOT40 ont été établies pour les cultures agricoles et pour les forêts (3000 ppb*h entre mai et juillet pour les cultures agricoles et 10000 ppb*h entre avril et septembre pour les arbres). Les régions méditerranéennes (Sud de l'Espagne, Sud de la France, Italie, Croatie et Grèce) connaissent la plupart des dépassements des valeurs seuils AOT40 tant pour les cultures agricoles que pour les forêts.

L'inconvénient de cette approche est qu'elle tient uniquement compte de l'exposition à l'ozone et non de l'absorption d'ozone, qui est influencée entre autres par les conditions environnementales. C'est pourquoi une autre approche a été présentée récemment. A côté de la concentration d'ozone, celle-ci tient également compte du degré d'ouverture des stomates via les facteurs du climat et du développement. Le nouvel index est la valeur AF_{st} , le flux d'ozone stomataire accumulé. Grâce aux calculs de l' AF_{st} par l'EMEP (Co-operative programme for monitoring and evaluation of the Long-Range Transmissions of Air Pollutants in Europe), l'on a pu clairement montrer que le problème de la surcharge en ozone des plantes se déplace des régions méditerranéennes vers l'Europe Centrale et l'Europe du Nord à partir du mois de juin. Les valeurs AF_{st} les plus élevées ont été modélisées pour le Nord de la France, le Benelux, l'Allemagne, le Danemark, la Pologne et les Etats baltes. Etant donné que, dans le Sud, les étés sont généralement secs et chauds, les stomates sont beaucoup plus fermés que ceux des plantes de l'Europe du Nord ou Centrale. Une évaluation quantitative du

dommage économique entraîné par l'endommagement de la végétation par l'ozone sera donc de plus en plus souvent basé sur le flux d'ozone au lieu de la concentration d'ozone, étant donné que l'approche flux donne une évaluation plus réaliste de l'impact de l'ozone que l'AOT40. Grâce au couplage au modèle EMEP, il existe déjà des calculs provisoires pour l'Europe, encore en cours d'affinement. Cette nouvelle méthode de calcul n'a pas seulement entraîné un déplacement, mais aussi une extension des régions à risques.

3. SESSION 2 : INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES POUR L'APPUI DES POLITIQUES

Au début de la session 2, *Jean-François Müller* du BIRA – IASB (Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique) a présenté la « modélisation inverse » comme instrument d'estimation pour les émissions. Selon la méthode traditionnelle du « bottom-up », l'on part de statistiques économiques et géographiques et des facteurs d'émission pour élaborer un inventaire des émissions. Par contre, la modélisation inverse est une méthode « top-down », où l'on travaille en sens inverse. L'on part donc des données chimico-atmosphériques observées, couplées à un modèle atmosphérique. Les inventaires des émissions peuvent être utilisés pour une première évaluation, et sont ensuite adaptés jusqu'à ce que les concentrations mesurées correspondent aux concentrations modélisées. Cette dernière méthode permet de limiter les incertitudes au niveau des émissions ainsi que de vérifier si la liste des sources est complète. En Europe de l'ouest, les concentrations de nombreux polluants sont dominées par des émissions anthropogènes. L'incertitude pour ces sources est de l'ordre de 30 – 50 % environ. Au niveau mondial, ce sont toutefois les émissions biogènes qui dominent, mais le taux d'incertitude peut facilement atteindre un facteur 3.

Contrairement aux gaz à effet de serre, entre autres le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), qui sont généralement présents en relativement grandes quantités et pour lesquels il existe une relation linéaire entre l'expulsion et la concentration (pas de réactions rapides dans l'atmosphère), les précurseurs de l'ozone sont souvent présents en concentrations plutôt faibles, mais extrêmement variables. Il n'y a pas de relation linéaire entre leurs émissions et la concentration d'ozone, ce qui complique l'application de la modélisation inverse. De bons résultats ont été atteints pour les gaz à effet de serre comme le CO₂ et le CH₄, avec lesquels cette méthode a été appliquée pendant plus de 20 ans. Il y a peu, ces résultats ont encore pu être sérieusement améliorés par l'utilisation de « modèles hiérarchiques » à haute résolution.

La méthode « top-down » exige des informations exactes sur les concentrations des différents gaz présents dans l'air aux différents endroits. Le nombre de stations de mesure devrait être augmenté pour ce faire, mais l'importance des mesures effectuées depuis l'espace (« remote sensing », à partir d'avions et de satellites) augmente également de plus en plus. Depuis peu, la télédétection est utilisée pour la mesure du CO (monoxyde de carbone), du NO₂ et du CH₂O (formaldéhyde). Actuellement, le niveau de détails des mesures satellitaires augmente également de manière continue.

Dans la deuxième présentation de la session 2, *Frans Fierens* de l'IRCEL-CELINE a présenté le modèle BeEUROS (la version belge de l'European Operational Smog model). Ce modèle a été développé par RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) aux Pays-Bas et a été adapté à la situation en Belgique dans le cadre d'un projet PADD I. Il est installé dans les locaux d'IRCEL-CELINE. Contrairement à SMOGSTOP (Statistical Model Of Groundlevel Short Term Ozone Pollution), un modèle statistique utilisé par IRCEL-CELINE pour la prévision des pics d'ozone, BeEUROS est un modèle déterministe. BeEUROS est capable d'évaluer l'impact de mesures politiques sur la qualité de l'air. Il s'agit d'un modèle informatique complexe, utilisant comme input des données météorologiques (température et champ des vitesses du vent), les données concernant les émissions (NO_x, NMCOV (COV

non-méthaniques) et SO₂) et les données sur l'utilisation des sols (nécessaires entre autres pour la détermination des émissions biogènes) et modélisant les processus physiques et chimiques importants impliqués dans la formation et la destruction de l'ozone. Les émissions sont scindées géographiquement et par secteur économique (ex. circulation, raffineries). Le domaine du modèle comprend l'Europe avec une résolution de 60x60 km. A l'aide d'un affinement des paramètres de maille, la zone autour de la Belgique peut être modélisée jusqu'à atteindre une résolution de 15x15 km.

Les concentrations d'ozone modélisées avec BelEUROS pour la période d'ozone en août 2003 correspondent bien aux valeurs mesurées. La moyenne des concentrations maximum était la plus faible au Nord-ouest de la Belgique et augmentait en direction du Sud-Est. Afin de pouvoir évaluer l'effet des mesures à court terme pendant les épisodes d'ozone, l'ensemble de la circulation en Belgique a été mis au « régime week-end » une semaine avant le début de l'épisode d'août 2003 et pour toute la durée de l'épisode, soit plus de 4 semaines au total. Ceci correspond à une réduction des émissions de 30 % pour NO_x et de 20 % pour les NMCOV. Même avec cette mesure (théorique) à court terme, les concentrations d'ozone ont augmenté, sauf au sud du sillon Sambre et Meuse, soit dans une zone habitée par environ 80% de la population. Ceci indique que des mesures à court terme (par ex. au niveau de la circulation) au cours d'un épisode d'ozone qui sont limitées en espace et en temps peuvent contribuer à une augmentation des concentrations d'ozone dans les zones urbaines (voir également « l'effet week-end » de l'ozone plus haut). Un deuxième calcul a pu indiquer que les réductions des émissions effectuées depuis 1990 ont effectivement un effet positif sur les pics d'ozone. En cas d'un taux d'émission comparable à celui de 1990, la surcharge en ozone au cours de l'épisode d'ozone 2003 aurait été nettement plus élevée pour toute la Belgique. Si l'on prend toutefois les scénarios d'émission tels que définis par les objectifs de la directive NEC (National Emission Ceilings ou Plafonds nationaux d'émissions), nous aurions au cours du même épisode d'ozone assisté partout en Belgique à une surcharge en ozone nettement inférieure. Ceci indique que seules des mesures durables, drastiques et prises à l'échelle européenne pourront avoir un effet positif sur les concentrations d'ozone. Le fait qu'au cours de la période d'ozone 2003, sur la recommandation des scientifiques, aucune mesure ad-hoc n'ait été prise au niveau de la circulation, mais bien des mesures assurant une moindre exposition de la population (ex. le conseil de rester à l'intérieur, de ne pas fournir de gros efforts physiques...) indique aussi que la coopération et la communication entre les scientifiques et les décideurs fonctionne bien dans ce domaine.

Le plus grand défi pour l'avenir est de réduire les concentrations de l'ozone de fond. Il ressort de la discussion que les causes effectives de la croissance constante des concentrations d'ozone de fond ne sont pas encore claires actuellement. Sont-elles principalement dues aux réductions (encore) insuffisantes chez nous des émissions NO_x (comme pour l'effet week-end) ou sont-elles plutôt liées aux émissions NMCOV, qui croissent continuellement au niveau mondial, et qui donc entraîneraient la croissance mondiale de l'ozone de fond ? Dans la discussion, Gerwin Dumont de l'IRCEL-CELINE a insisté sur le fait que la réduction des émissions NO_x et NMCOV doit également se poursuivre après 2010 pour pouvoir s'attaquer à ce problème. Il semble toutefois impossible d'arriver à une diminution des émissions au niveau mondial, étant donné que les émissions augmenteront inexorablement dans de nombreux pays se développant fortement maintenant ou dans un futur proche. En utilisant les technologies les plus durables, il faut donc essayer de faire en sorte que l'augmentation des émissions dans ces pays soit moins forte que celle qu'a connue l'Europe de l'ouest il y a 50 ans.

Ina De Vlieger et *Luc Int Panis* du VITO ont ensuite abordé l'effet des mesures dans le secteur des transports. Un thème important, étant donné que le trafic et la circulation routière en particulier représente une source très importante de précurseurs d'ozone en Belgique. 46 % des émissions NO_x et 22 % des émissions NMCOV proviennent du trafic routier. La directive

européenne NEC donne comme objectif pour l'année 2010 un rejet de 68 kt NO_x et 35,6 kt NMCOV pour la Belgique. Différentes possibilités de réduction au niveau national ont été évaluées dans deux études du VITO dans le cadre du PADD I à l'aide d'une analyse multicritères (MCA) et l'élaboration d'une méthode de calcul des coûts externes du transport. Douze options politiques possibles ont été évaluées à l'aide de ces deux approches, par exemple l'introduction accélérée de véhicules 'propres', un remplacement accéléré des anciens véhicules privés ou une diminution de l'utilisation de la voiture par le covoiturage et le télétravail. Un groupe d'experts a procédé à un classement du potentiel de réduction des COV et NO_x offert par l'approche MCA en fonction du potentiel de réduction, des frais, de la souhaitabilité sociale ainsi que de la faisabilité politique. Pour toutes les 12 options, le potentiel de réduction des COV et NO_x a été examiné par rapport au scénario BAU (Business-As-Usual-scenario) qui reprend les mesures déjà décidées par la législation européenne.

Il appert clairement que la tendance est principalement indiquée par le scénario BAU, que ce soit pour les NO_x ou pour les NMCOV. Cette réduction est principalement due aux mesures européennes au niveau des voitures, les 12 options nationales possibles n'auraient qu'un effet marginal. Il est clair aussi que pour 2012, la réduction des émissions NO_x sera moins importante que celle des émissions de NMCOV. Si l'on tient compte des coûts liés aux différentes mesures, de leur souhaitabilité sociale et de la faisabilité politique, remplacer les voitures obtient un mauvais résultat (coût élevé, non souhaitable et non faisable), alors que le recours aux transports publics obtient un bon score (coût relativement faible, souhaitable et faisable).

Dans un calcul selon la méthode européenne ExternE (Externalities of Energy), ces options ont été classées en fonction de leur coût environnemental externe. Ce classement a concerné six polluants. Etant donné que la poussière fine a un impact très important sur la santé, les coûts environnementaux externes totaux des 12 options ont chaque fois été dominés par les coûts environnementaux externes liés à la poussière fine.

Une comparaison des deux méthodes a permis de constater que les deux approches identifient comme « meilleure » option une inspection et un entretien plus poussé des véhicules. Selon les deux méthodologies, l'introduction de véhicules électriques serait la méthode la moins adaptée, étant donné que le degré de pénétration pour l'horizon de temps étudié (2012) est négligeable. Les deux méthodes ont donc fourni des résultats comparables. Dans une étude très récente, il semble maintenant que les émissions NO_x réelles des voitures répondant aux normes Euro 2 et Euro 3 seraient plus élevées que ce qui avait été considéré jusqu'à présent. Cette découverte est un des thèmes du projet SUSATRANS (SUSTainability Assessment of technologies and modes for TRANSport in Belgium) au sein du PADD II. Les objectifs NEC pour la Belgique pourront apparemment être atteints pour les COV, mais pas nécessairement pour les NO_x.

Georges Liebecq d'Econotec Consultants a ensuite présenté des analyses coût-bénéfice pour la détermination de l'efficacité des mesures de réduction des émissions des précurseurs d'ozone. La plus grande partie des émissions de NO_x provient des processus de combustion. La formation de NO_x provient de la réaction entre l'oxygène de l'air et l'azote du combustible, mais également et certainement, lorsque les températures sont plus élevées, avec l'azote contenu dans l'air ambiant.

Les mesures de réduction des émissions peuvent être appliquées à différents niveaux : sur la combustion en elle-même par un meilleur contrôle de celle-ci (température de la flamme) ou par l'utilisation d'une autre source de combustible (oxy-combustion par l'utilisation d'oxygène pur au lieu de l'oxygène de l'air). Une autre possibilité est de dénitrifier les gaz d'échappement, ce qui exige toutefois des installations lourdes et coûteuses. La réduction des NO_x pour 2010 est visible, principalement dans le secteur routier, mais pas drastique.

Les sources les plus importantes de COV sont les combustibles volatiles (par exemple lorsque l'on remplit le réservoir d'essence d'une voiture), les gaz provenant de combustions incomplètes (gaz d'échappement et fumée des feux ouverts), les solvants organiques utilisés dans les couleurs, l'encre, les cosmétiques, les produits de nettoyage (nettoyage à sec) et enfin le méthane. Plusieurs mesures pourraient être prises, comme la diminution de l'utilisation de certains produits, la substitution par de produits moins dangereux et la capture des émissions. Les réductions auxquelles l'on peut s'attendre pour 2010 concernent principalement le secteur routier et la distribution du combustible.

L'application des mesures doit tenir compte de leur efficacité, de leur applicabilité et de leur coût (non seulement au niveau de l'investissement et de l'implémentation, mais aussi de l'entretien et de la perte ou du bénéfice indirect possible). Une vision à long terme est souhaitable étant donné que certaines mesures ne sont pas compatibles ou peuvent justement être synergiques. La construction des courbes des coûts marginaux pour l'évaluation de l'efficacité peut être un instrument de gestion très utile pour le choix de la bonne mesure. Par exemple, l'utilisation de « brûleurs à faible émission de NO_x » est une mesure liée à des coûts marginaux plutôt faibles, mais qui en même temps entraîne une réduction plutôt importante des émissions de NO_x. Cette mesure est donc une mesure fortement recommandée. D'autres mesures sont nettement trop chères pour être réalisées. Entre ces deux extrêmes se situe la zone de décision au sein de laquelle plusieurs décisions pourraient être prises, mais où le choix est moins évident.

Rudi Torfs du VITO a ensuite expliqué la méthodologie des coûts externes et son application pour les stratégies de réduction de l'ozone. D'une manière générale, le coût externe peut être défini comme « un coût social qui ne se reflète pas dans le prix ». En ce qui concerne l'exemple de la « circulation routière », ce sont tous les coûts non payés par l'individu, comme le dommage pour la santé publique et l'environnement, les coûts entraînés par les bouchons, les accidents et la nuisance acoustique. Dans le contexte européen, l'on essaye de connaître « le prix réel » à l'aide d'une internalisation des coûts externes et d'analyses coût-bénéfice. Les 5^{ème} et 6^{ème} programmes d'action Environnement ont joué un rôle important à ce niveau ainsi que, le programme CAFE (Clean Air for Europe) en ce qui concerne la politique de la qualité de l'air. La méthodologie ExternE a été développée au sein du 6^{ème} programme-cadre et est aujourd'hui appliquée à de nombreux domaines, entre autres les réflexions coût-bénéfice concernant l'acidification et l'élaboration des plafonds d'émission nationaux. Cette méthodologie est basée sur la chaîne des perturbations environnementales (Driving forces, Pressure, State, Impact – Response; DPSI-R), selon laquelle une émission déterminée (plus élevée) entraîne une concentration plus élevée, une exposition plus élevée et donc un dommage supplémentaire. Pour le calcul, l'on utilise des modèles de distribution (comme BeEUROS), la détermination de l'exposition et les relations exposition/effet (épidémiologie et toxicologie).

Les impacts de l'ozone troposphérique considérés reprennent actuellement les effets aigus sur la santé (maladie et décès précoce) et la perte de rendement au niveau des cultures et des forêts. Les effets de l'ozone sur les matériaux ne peuvent pas encore être quantifiés actuellement. De même, les effets chroniques (possibles) sur la santé ne sont pas encore repris dans ExternE à l'heure actuelle, étant donné qu'il n'existe pas de données fiables à ce sujet. Il y a là une différence importante au niveau des coûts de l'ozone et de la poussière fine : les effets chroniques peuvent en effet être quantifiés et sont responsables de la plus grande partie des coûts externes pour la poussière fine.

Au sein du réseau CAFE, les questions relatives à la santé sont donc analysées, par exemple les effets chroniques de l'ozone et les effets de l'ozone en dessous des valeurs seuil. En ce qui concerne l'effet sur les cultures, ExternE tient déjà compte de la nouvelle méthode du flux d'ozone, les modèles sont dorénavant adaptés. La détermination des coûts externes des

maladies est effectuée par le biais d'une évaluation des coûts de maladie pour l'individu, la société et les « coûts » liés au fait de souffrir d'une maladie. Pour les « coûts » d'un décès précoce, l'on essaye (par ex. via des enquêtes) de déterminer quel est le prix que les citoyens sont disposés à payer pour un risque de décès plus faible et comment est évaluée la valeur d'une année de vie (saine) perdue.

Un module coût-bénéfice a également été développé pour BeIEUROS. Pour ce faire, l'on a effectué une analyse coût-bénéfice du scénario BAU pour 2010 par rapport à l'année de référence 1997 et une analyse des mesures nationales dépassant le scénario BAU 2010. Ici aussi, il appert clairement que les réductions d'émissions liées au scénario BAU 2010 présentent un rapport coût-bénéfice positif. Il est intéressant ici de voir que les bénéfices les plus importants sont liés à l'effet indirect d'une réduction des concentrations de nitrate, ce qui est fortement lié au fait qu'une réduction des émissions de NO_x au sein de NEC 2010 n'a pas seulement des conséquences sur la concentration d'ozone, mais entraînera de plus une diminution de l'acidification et de l'eutrophisation ainsi que des concentrations inférieures des aérosols de nitrate. C'est principalement le dernier point qui entraîne un gros bénéfice au niveau des coûts externes.

Des mesures nationales supplémentaires n'apporteraient « que » des réductions de NO_x de quelques dizaines de kilotonnes, toutefois à un prix coûtant vraiment très élevé (392 Meuro). Ces mesures auraient également un bénéfice (indirect) via les concentrations moins élevées de nitrate ; en raison de la non-linéarité de la formation de l'ozone, les concentrations d'ozone pourraient même augmenter. Etant donné qu'il faut s'attendre à des effets négatifs et positifs, introduire des mesures supplémentaires purement belges n'est pas avantageux. Par contre, des efforts internationaux supplémentaires pour attaquer ce problème transfrontière le seront probablement. Lors de la détermination des coûts externes, il faut également tenir compte du fait que de nombreux petits effets peuvent entraîner de coûts importants. Si de nombreuses personnes restent à la maison pendant un jour parce qu'indisposées par l'ozone, cela représente des coûts importants pour la société, même s'il s'agit ici en fait d'un petit effet.

En guise de fin, l'on peut dire que la méthodologie ExternE est transparente et contribue aux processus décisionnels en offrant des réponses à la question : jusqu'où peut/doit aller la politique ?

4. SESSION 3: STRATEGIES POLITIQUES EN EUROPE ET EN BELGIQUE

Lors de la première partie de la session 3, *David Knight* d'Aminal (Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer i.e. Administration pour la gestion de l'environnement, de la nature, des sols et de l'eau) a présenté la politique européenne en matière de pollution de l'air transfrontières et le programme CAFE. Plusieurs directives européennes concernant la qualité de l'air traitent de la problématique de l'ozone (e. a. la directive NEC avec les plafonds d'émission pour les NO_x et COV, les normes Euro pour véhicules et les directives sur les sources stationnaires, comme les grandes installations de combustion).

Une approche intégrée de la pollution de l'air en Europe est malgré tout encore nécessaire, car les problèmes en matière de poussière fine et d'ozone principalement sont toujours présents. Cette approche est le but du programme CAFE. Le problème de la qualité de l'air sera abordé par une évaluation de l'implémentation des directives sur la qualité de l'air dans les Etats membres, une amélioration du monitoring, une évaluation et une révision des plafonds d'émission nationaux ainsi qu'une amélioration des modèles et des projections d'avenir afin de déterminer les priorités pour d'autres actions. Dans ce cadre, le modèle RAINS (Regional Air pollution INformation and Simulation) est un élément important, tant au niveau de l'analyse de scénarios que de l'analyse d'optimisation.

Dans le cadre de CAFE, l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) a revu systématiquement les effets sur la santé liés à la pollution de l'air, l'IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) réalise la modélisation des résultats intégrée avec RAINS et le Joint Research Center (JRC) d'Ispra réalise une étude comparative de modèles 'CITY-DELTA' (tiers model-intercomparison study in support of the CAFE programme).

La directive NEC avec les plafonds d'émission pour les NO_x et les COV oblige de nombreux pays à prendre des mesures de réduction de leurs émissions. La Belgique, entre autres, doit réduire ses émissions de NO_x et COV. D'autres pays comme la Finlande, la Grèce, l'Italie et le Royaume-Uni peuvent même augmenter encore leurs émissions.

Estelle Ceulemans du Cabinet du Ministère de l'Environnement a ensuite expliqué les mesures et stratégies du Gouvernement en ce qui concerne la problématique de l'ozone. A la suite des dépassements des seuils d'ozone de 180 et même de 240 µg/m³, respectivement 22 et 7 fois en 2003, de l'expiration de l'ancien Plan Ozone et de l'absence de mesures coordonnées entre les gouvernements fédéraux et régionaux, un nouveau Plan national Ozone a été élaboré pour la période 2004-2007, qui est principalement basé sur les directives européennes.

Les combustibles pauvres en soufre et les biocombustibles viendront progressivement sur le marché, souvent avec un appui fiscal. Des normes plus sévères seront décrétées pour les chaudières, les poêles et cheminées et les gaz d'échappement de 2 et 3 roues. La promotion des transports publics sera renforcée en offrant par exemple des déplacements gratuits aux fonctionnaires. Des encouragements financiers sont également prévus pour l'utilisation du vélo et du covoiturage pour aller au travail.

Des campagnes de conscientisation concernant la qualité des combustibles, l'utilisation de couleurs et de produits avec un label écologique et un style de conduite plus respectueux de l'environnement sont également prévus. Il y aura des encouragements financiers pour l'achat de voitures 'propres', la rénovation des habitations et le transport de marchandises par rail. Une proportion plus élevée de l'électricité produite sera de l'énergie 'verte'.

Une campagne spéciale d'information sur l'ozone destinée au grand public aura lieu et des canaux d'information seront prévus afin de pouvoir informer rapidement les groupes-cibles en cas de pics d'ozone. Ces canaux seront adaptés aux besoins par après et pourront donc être utilisés également pour d'autres problèmes.

Annick Fourmeaux de la DGRNE (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement) a ensuite présenté le plan de lutte contre l'ozone de la Région wallonne. La Région wallonne veut mettre au point un plan intégré pour tous les polluants et tous les secteurs pour une période de 10 ans en tant qu'extension du plan fédéral. Les informations à ce sujet peuvent être retrouvées sur le site web <http://air.wallonie.be>.

La détection des périodes de pollution via la modélisation doit être améliorée à court terme. Pour ce faire, il est prévu d'utiliser les modèles existants comme CHIMERE. L'effet des mesures à court terme sera régulièrement examiné, afin de pouvoir adapter ces mesures le cas échéant. Actuellement, au niveau national et au niveau flamand, une diminution de la circulation routière ou une limitation de vitesse est considérées comme inutiles pour diminuer les concentrations d'ozone au cours des pics d'ozone. A long terme, la Région wallonne fournira sa contribution à la diminution des émissions belges de NO_x et de COV. Différents décrets qui ont une influence sur la réduction des émissions de NO_x, COV, SO₂ et NH₃ (ammoniaque) ont déjà été approuvés par la Région wallonne. Ces décrets concernent entre

autres les émissions des centrales électriques et des installations de combustion et l'utilisation de solvants.

Une réduction des émissions des NO_x et des COV a été constatée depuis 1990, mais elle doit aller encore plus loin. Une projection BAU pour 2010 montre que pour les NO_x et les COV les plafonds NEC ne seront pas respectés en Wallonie sans mesures supplémentaires. La projection prévoit des émissions de NO_x équivalant à 59 kt (par rapport au plafond d'émission de 46 kt pour la Région wallonne) et des émissions de COV équivalant à 36 kt (par rapport au plafond d'émission de 28 kt). Le potentiel de réduction des émissions est actuellement cartographié en Wallonie, compte tenu des coûts et des bénéfices des différentes mesures ainsi que de leur faisabilité.

Peter Vanderstraeten du BIM-IBGE (Institut bruxellois pour la Gestion de l'Environnement) a évalué la pertinence des mesures à court terme dans la ville à l'aide de l'effet week-end et du dimanche sans voiture du 21 septembre 2003. Un excédent de NO entraîne la destruction de l'ozone au sein des villes, mais sous le vent des villes, les concentrations d'ozone sont supérieures à celles face au vent. Les mesures indiquent clairement que, par rapport aux stations ne se trouvant pas à proximité des voies de circulation, les concentrations d'ozone détectées par les stations de mesure avec circulation importante dans les environs sont relativement faibles. Au cours du week-end, des concentrations d'ozone plus élevées sont détectées par toutes les stations de mesure, mais cette augmentation est la plus forte pour les 'stations avec circulation' (ex. Haren). Par rapport aux 'week-ends normaux', des concentrations d'ozone significativement supérieures ont également été constatées au cours du dimanche sans voiture.

L'on remarque que les différences préalables au niveau de la concentration d'ozone entre les 'stations avec circulation' et les 'stations sans circulation' n'ont plus pu être retrouvées au cours du dimanche sans voiture : toutes les stations de mesure évaluées ont détecté approximativement la même concentration d'ozone. Ces constatations correspondent fort bien aux résultats du modèle BelEUROS, où l'on assiste à une augmentation des concentrations d'ozone même si les émissions sont réduites pendant plusieurs semaines. Les concentrations mesurées pour une série de polluants dans des rues enfermées par des constructions (street canyons) indiquent que les concentrations de NO et de CO ont effectivement diminué au cours des dernières quinze années, mais que les concentrations de NO₂ observées sont restées relativement constantes et que la concentration d'ozone a même augmenté.

David Knight d'Aminal a ensuite expliqué le programme de réduction NEC flamand, qui est basé sur la directive européenne 2001/81/CE (plafonds d'émission nationaux). Pour la Belgique, les plafonds d'émission ont été fixés à 139 kt COV, 176 kt NO_x, 99 kt SO₂ et 74 kt NH₃ en 2010. Ces plafonds (et les réductions à atteindre) ont ensuite été répartis sur les trois régions. L'on constate que les valeurs de référence proposées par l'OMS pour la protection de la santé humaine et de la végétation contre la pollution photochimique de l'air sont largement dépassées dans tous les Etats membres. Il est techniquement impossible de réaliser des objectifs à long terme, c'est pourquoi l'on a fixé des objectifs intermédiaires, en tenant compte de la faisabilité et de l'efficacité financière des mesures en appliquant le modèle RAINS. Les calculs montrent que même en cas de réduction des émissions jusqu'au niveau des valeurs NEC, la Belgique reste une zone d'Europe où la concentration d'ozone est plutôt élevée. Il ne faut donc pas s'attendre à ce que les valeurs NEC soient assouplies pour la Belgique lors de leur révision en 2006.

Entre-temps, tous les Etats membres doivent élaborer des programmes pour une réduction des émissions de NO_x, COV, NH₃ et SO₂, afin de pouvoir satisfaire finalement aux plafonds d'émission en 2010. Ces plafonds peuvent être revus en 2006. Les Etats membres doivent également élaborer des inventaires des émissions et actualiser ceux-ci annuellement. Les

mesures les plus efficaces pour atteindre les plafonds d'émission sont identifiées à l'aide de courbes de coûts via le coût marginal par tonne de réduction d'émission liée à une mesure définie. De cette manière, les mesures 'bon marché' (qui doivent certainement être prises) peuvent être séparées des mesures 'chères' (qui ne sont pas nécessaires éventuellement).

Entre 2002 et 2004, des études ont été effectuées au cours d'une première phase, afin de cartographier le potentiel de réduction pour les différents secteurs industriels. Dans une deuxième phase, des adaptations Vlarem (VLAams REglement betreffende de Milieuvergunning – Règlement flamand des autorisations environnementales) ont été effectuées pour différents polluants dans des secteurs déterminés. Conclure un accord est une alternative possible, comme l'accord sur la politique environnementale entre le Gouvernement flamand et les producteurs d'électricité valable à partir de cette année. Cet accord reprend les émissions à atteindre pour les années 2008, 2010 et 2013 en ce qui concerne SO₂ et NO_x.

La législation européenne est déterminante, principalement pour l'atteinte des objectifs au niveau des secteurs circulation et transport. Deux programmes d'action complémentaires ont été lancés dans le cadre de la politique de l'environnement flamande : 'Actieprogramma milieuvriendelijke voertuigen' (véhicules propres) et 'Actieprogramma milieuvriendelijk rijgedrag' (conduite respectueuse de l'environnement). Les informations à ce sujet peuvent être retrouvées sur le site web www.vlaanderen.be/lucht. Mises ensembles, les mesures planifiées jusqu'à présent concernant les émissions COV ne suffiront pas pour satisfaire les plafonds d'émission. En ce qui concerne les émissions de NO_x les mesures semblent suffire tout juste. Il faut donc élaborer un paquet de mesures complémentaires, et ce surtout à la lumière d'une possible réduction des plafonds d'émission en 2006.

Au cours de cette session, la question de la définition et de la comparabilité des différents scénarios BAU utilisés dans les modèles présentés a été posée, de même que la question de l'impact de ces scénarios sur les résultats des modèles. Quelle est la marge d'erreur dont il faut tenir compte en utilisant ces scénarios ? De plus, l'élaboration de ces scénarios est liée à de nombreuses suppositions, comme l'évolution du parc automobile, la consommation de carburant qui y est liée et l'évolution de la mobilité générale. Aucune certitude n'existe quant à ces développements. De même, il n'est pas toujours clair si les plafonds NEC sont intégrés ou non dans les scénarios BAU.

5. SESSION FINALE

En guise de conclusion générale de cette journée d'étude, l'on peut dire que, au niveau de l'hémisphère Nord, la pollution de l'air ambiant par l'ozone est en fait un problème intercontinental. Le transport intercontinental de l'ozone a des conséquences pour la concentration de fond en Belgique, qui contrairement aux pics d'ozone, connaît une tendance à la hausse ces dernières quinze années.

Parvenir à satisfaire les objectifs NEC exigera encore un sérieux travail en commun des scientifiques et des décideurs. Les nouvelles méthodes et les résultats obtenus dans le domaine des techniques de mesure, des modèles d'émissions et de distribution et de la recherche toxicologique au sein de toute l'Europe sont importants pour ce faire. De nombreux chercheurs belges ont travaillé dans le cadre de programmes internationaux comme EUROTRAC. Ils ont pu valoriser leur expertise et en acquérir une nouvelle. Il faut que les décideurs se servent également des résultats et des instruments qui ont été développés au niveau international, d'autant plus que le problème de l'ozone dans la troposphère a évolué d'un problème régional vers un problème global.

Il serait utile d'harmoniser les modèles de gestion belges sur RAINS/CAFE pour l'évaluation des scénarios de réduction.

Il semble également indiqué d'inclure encore plus l'ozone dans l'ensemble des polluants et, au lieu de fonctionner polluant par polluant, de comparer aux coûts les bénéfices d'une politique collective multi-polluants. Dans ce cas, la politique pourrait également traiter plus facilement le 'paradoxe' des concentrations d'ozone en augmentation alors que les émissions de polluants diminuent. Les réductions d'émissions ont également toujours un effet positif sur d'autres problèmes environnementaux, comme l'acidification, l'eutrophisation et les concentrations de poussière fine.

D'une manière générale, l'on peut constater qu'il y a une plutôt bonne harmonisation de la connaissance 'state of the art' en Belgique. Il faut continuer à réfléchir sur la manière dont les résultats scientifiques peuvent être repris dans le développement des politiques. Il faut perpétuellement améliorer la communication entre la science et la politique.

BIJLAGE 1 : ORGANISATIE STUDIEDAG**ANNEXE 1 : ORGANISATION JOURNEE D'ETUDE**

Federaal Wetenschapsbeleid Wetenschapsstraat 8 1000 BRUSSEL Tel. 02 238 34 92 Fax 02 230 59 12 hilde.vandongen@belspo.be martine.vanderstraeten@belspo.be http://www.belspo.be	Politique scientifique fédérale Rue de la Science 8 1000 Bruxelles Tél. 02 238 34 92 Fax 02 230 59 12 hilde.vandongen@belspo.be martine.vanderstraeten@belspo.be http://www.belspo.be
Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek Boeretang 200 2400 MOL Tel. 014 33 59 33 Fax 014 32 11 85 ina.devlieger@vito.be hendrik.vanrompaey@vito.be http://www.vito.be	
Programmacomité Francis Altdorfer (Econotec) Estelle Ceulemans (Kabinet van de Minister van Leefmilieu, Consumentenzaken en Duurzame Ontwikkeling) Hugo De Backer (KMI) Gerwin Dumont (IRCEL) Chris Vinckier (KULeuven) Hilde Van Dongen (Federaal Wetenschapsbeleid) Martine Vanderstraeten (Federaal Wetenschapsbeleid) Ina De Vlieger (VITO) Clemens Mensink (VITO) Hendrik Van Rompaey (VITO).	Comité de programme Francis Altdorfer (Econotec) Estelle Ceulemans (Cabinet du Ministre de l'Environnement, de la Protection de la consommation et du Développement durable) Hugo De Backer (IRM) Gerwin Dumont (CELINE) Chris Vinckier (KULeuven) Hilde Van Dongen (Politique scientifique fédérale) Martine Vanderstraeten (Politique scientifique fédérale) Ina De Vlieger (VITO) Clemens Mensink (VITO) Hendrik Van Rompaey (VITO).

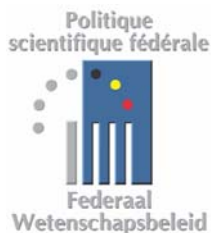
BIJLAGE 2: DEELNEMERSLIJST

ANNEXE 2: LISTE DE PARTICIPANTS

Aldorfer	Francis	ECONOTEC Consultants
Amelynck	Crist	BIRA / IASB
Blommaert	Frea	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
Bounkhay	Mina	ICEDD (Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable)
Bourgeois	Emmanuèle	Politique scientifique fédérale
Brahy	Vincent	Cellule Etat de l'Environnement Wallon, DGRNE-MRW
Ceulemans	Estelle	Cabinet de la Ministre de l'Environnement
Coeckelberghs	Hans	KULeuven
Cosaert	Donaat	Vlaams parlement / viWTA
Da Silva	Nancy	Cabinet de la Ministre de l'Environnement
De Backer	Hugo	Koninklijk Meteorologisch Instituut
De Geest	Caroline	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
De Mazière	Martine	BIRA / IASB
De Temmerman	Ludwig	CODA
De Vlieger	Ina	VITO, Integrale Milieustudies
Delcloo	Andy	Koninklijk Meteorologisch Instituut van Belgie
Demoitie	Pierre	Politique scientifique fédérale
Deutsch	Felix	VITO, Integrale Milieustudies
Dumont	Gerwin	IRCEL / CELINE
Fierens	Anne	Politique scientifique fédérale
Fierens	Frans	IRCEL / CELINE
Fourmeaux	Annick	Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Energie
Govaert	Michael	BIM / IGBE
Henry	Nicole	Politique scientifique fédérale
Int Panis	Luc	VITO, Integrale Milieustudies
Jamart	Georges	Politique scientifique fédérale
Joos	Guy	Universitair Ziekenhuis Gent
Knight	David	AMINAL - sectie lucht
Lees	Jeanine	SPF Mobilité et Transports
Lepoivre	Xavier	Politique scientifique fédérale
Liebecq	Georges	ECONOTEC Consultants
Matheeuwssen	Christine	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
Matheys	Julien	Vrije Universiteit Brussel - Dienst ETEC
Mettens	Philippe	Politique scientifique fédérale
Meurrens	Annick	IBGE / BIM
Misonne	Delphine	CEDRE, FUSL
Muller	Christian	B.USOC
Muller	Jean-Francois	BIRA / IASB
Neiryneck	Johan	Instituut Voor Bosbouw en Wildbeheer
Nemry	Françoise	Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable (ICEDD)
Overmeer	Inge	AMINAL - sectie lucht
Petit	Carine	Politique scientifique fédérale
Roekens	Edward	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
Roemer	Michiel	TNO Nederland
Sleutel	Steven	Vakgroep Bodembeheer en Bodemhygiëne UGent
Stélandre	Martine	Politique scientifique fédérale
Timmermans	Jean-Marc	Vrije Universiteit Brussel - Dienst ETEC
Torfs	Rudi	VITO, Integrale Milieustudies
Toté	Koen	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
Van den Berghe	Katleen	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
Van den Hende	Marie-Rose	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

Vandermeiren	Karine	CODA
Vandersmissen	Katleen	KULeuven
Vanderstraeten	Martine	Federaal Wetenschapsbeleid
Vanderstraeten	Peter	BIM / IGBE
Van Dongen	Hilde	Federaal Wetenschapsbeleid
Van Haver	Philippe	AMINAL - Directoraat-generaal
Vankerckhoven	Hans	KULeuven
Vankerkom	Jean	VITO, Integrale Milieustudies
van Ypersele	Jean-Pascal	UCL - Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître
Vereecken	Luc	KULeuven
Verlinden	Leen	Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
Versieren	Johan	Milieubureau JOVECO bvba
Vinckier	Christian	KULeuven
Zander	Rodolphe	Université de Liège

BIJLAGE 3: Programma



Studiedag

Ozon op leefniveau en ozonprecursoren: wetenschappelijke instrumenten en beleid

10 juni 2004

Paleis der Academiën, Brussel

Opzet

België kende de laatste twee decennia behoorlijk wat episodes van fotochemische luchtverontreiniging, met name ozonepisodes. In augustus 2003 werden we andermaal geconfronteerd met belangrijke ozonoverschrijdingen. Er zijn voldoende redenen om daarover bezorgd te zijn: gezondheidsproblemen, nadelige effecten op gewassen, aantasting van materialen...

De studiedag bespreekt de processen van ozon op leefniveau en de impact ervan op mens en milieu. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de wetenschappelijke instrumenten ter ondersteuning van het ozonbeleid. Dankzij de resultaten van jaren van wetenschappelijk onderzoek heeft men een beter inzicht gekregen in de problematiek en in de mogelijkheden en beperkingen van beleidsopties. Wetenschappelijke bevindingen vinden steeds meer hun weg naar het beleid, hiervan getuigen de recente initiatieven op verschillende beleidsniveaus (Europees, nationaal en regionaal).

Met de zomer voor de deur, beoogt deze studiedag de nodige wetenschappelijke achtergrond te geven voor het verder uitwerken en onderbouwen van het ozonbeleid in België, alsook informatie te geven over de stand van zaken van het implementeren van maatregelen en de opvolging ervan.

Het doelpubliek van deze studiedag bestaat uit beleidsmensen betrokken bij de ontwikkeling, de uitvoering en de opvolging van het ozonbeleid, het mobiliteitsbeleid, het energiebeleid, het leefmilieubeleid..., mensen uit de wetenschappelijke wereld, niet-gouvernementele organisaties, de pers en alle andere geïnteresseerden.

Programma

09:00 Ontvangst en koffie/thee

Voorzitter voormiddag: Martine De Mazière (BIRA)

09:30 Verwelkoming en inleiding
Philippe Mettens

Sessie 1: Situering van het ozonprobleem

10:00 Beoordeling van de ozonvervuiling in de omgevingslucht: EU-indicatoren en hun verloop in België
Gerwin Dumont (IRCEL)

10:20 Troposferische ozon: een kwaad met vele vertakkingen
Chris Vinckier (KULeuven)

10:40 Effecten van ozon op de gezondheid
Guy Joos (Universitair Ziekenhuis Gent)

10:55 Pauze

11:15 Effecten van troposferische ozon op bosecosystemen en gewassen
Karine Vandermeiren (Coda)

Sessie 2: Wetenschappelijke instrumenten voor beleidsondersteuning

11:30 Troposferische ozon: ontwikkelingen van het verleden naar de toekomst
Michiel Roemer (TNO, Nederland)

11:50 RAINS for policy support in Belgium
Markus Amann of vervanger (IIASA) (te bevestigen)

12:10 Inverse modellering, een instrument voor emissiebeheersing
Jean-Francois Muller (BIRA)

12:30 BelEuros, een instrument voor ozonbeleid in België
Frans Fierens (IRCEL)

12:50 Lunch

Voorzitter namiddag: Walter Hecq (ULB) (te bevestigen)

Sessie 2: Wetenschappelijke instrumenten voor beleidsondersteuning (vervolg)

14:00 Effect van maatregelen in de transportsector op troposferische ozon en de uitstoot van precursoren
Ina De Vlieger (Vito)

14:20 Kosten/effectiviteit van maatregelen voor de emissiereductie van ozonprecursoren
Georges Liébecq (Econotec)

14:40 Externe kosten: monetaire waardering van ozonreductie
Rudi Torfs (Vito)

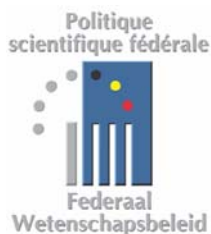
Sessie 3: Beleidsstrategieën in Europa en België

- 15:00 Europees beleid inzake grensoverschrijdende luchtverontreiniging: CAFE
David Knight (Aminal)
- 15:15 Pauze
- 15:30 De overheid en het ozonprobleem: maatregelen en strategieën
Estelle Ceulemans (Kabinet van de Minister van Leefmilieu, Consumentenzaken en Duurzame Ontwikkeling)
- 15:45 Het ozonbestrijdingsplan van het Waalse Gewest
Annick Fourmeaux (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement)
- 16:00 Maatregelen op korte termijn in de stad, zinnig?
Peter Vanderstraeten (BIM)
- 16:15 Het Vlaamse NEC reductieprogramma
David Knight (Aminal)

Slotsessie

- 16:30 Vraagstelling
Moderator Walter Hecq, ULB (te bevestigen)
- 17:00 Slot- en dankwoord
Federaal Wetenschapsbeleid

ANNEXE 3 : PROGRAMME



Journée d'étude

L'ozone dans l'air ambiant et les précurseurs d'ozone : Les instruments scientifiques et la politique

10 juin 2004

Palais des Académies, Bruxelles

Objectif

La Belgique a connu au cours des deux dernières décennies plusieurs épisodes de pollution atmosphérique d'origine photochimique, à savoir les pics d'ozone. En août 2003, nous avons été confrontés une fois de plus à d'importants dépassements d'ozone. Il y a suffisamment de raisons de s'en inquiéter : problèmes de santé, effets néfastes sur la végétation, corrosion de matériaux ...

Cette journée d'étude traitera d'abord des processus de l'ozone dans la couche inférieure de l'atmosphère et leurs impacts sur l'homme et son environnement, et ensuite, de manière plus approfondie, des instruments scientifiques en appui à une politique de l'ozone. Grâce aux résultats des recherches scientifiques menées ces dernières années, on a à présent une meilleure connaissance de la problématique ainsi que des possibilités et des limites des options politiques. Les constats scientifiques trouvent davantage leur voie vers la prise de décision comme en témoignent les récentes initiatives à différents niveaux politiques (européen, national et régional).

Au seuil de l'été, cette journée d'étude a pour objectif d'apporter les bases scientifiques nécessaires à la poursuite de l'élaboration et du renforcement de la politique de l'ozone en Belgique, et de fournir des informations sur l'état d'avancement de l'implémentation des mesures et leur suivi.

Le public cible de cette journée d'étude est constitué de décideurs politiques concernés par l'élaboration, l'exécution et le suivi de la politique de l'ozone, la politique de mobilité, la politique énergétique, la politique de l'environnement..., des acteurs du monde scientifique, des organisations non gouvernementales, de la presse et de toutes autres personnes intéressées.

Programme

09:00 Accueil et café/thé

Présidente pour la matinée: *Martine De Mazière (IASB)*

09:30 Propos de bienvenue et introduction
Philippe Mettens

Session 1: Présentation de la problématique de l'ozone

10:00 Evaluation de la pollution de l'air ambiant par l'ozone: indicateurs en UE et leurs évolutions en Belgique
Gerwin Dumont (CELINE)

10:20 Ozone troposphérique : un mal avec de nombreuses ramifications
Chris Vinckier (KULeuven)

10:40 Effets de l'ozone sur la santé
Guy Joos (Universitair Ziekenhuis Gent)

10:55 Pause

11:15 Effets de l'ozone troposphérique sur les écosystèmes forestiers et les cultures
Karine Vandermeiren (CERVA)

Session 2: Instruments scientifiques en appui à la politique

11:30 Ozone troposphérique : développement du passé vers le futur
Michiel Roemer (TNO, Nederland)

11:50 RAINS for policy support in Belgium
Markus Amann of vervanger (IIASA) (à confirmer)

12:10 La modélisation inverse, un outil pour contraindre les émissions
Jean-Francois Muller (IASB)

12:30 BelEuros, un instrument pour une politique de l'ozone en Belgique
Frans Fierens (CELINE)

12:50 Lunch

Président pour l'après-midi: *Walter Hecq (ULB) (à confirmer)*

Session 2: Instruments scientifiques en appui à la politique (suite)

- 14:00 Effets des mesures prises dans le secteur des transports sur l'ozone troposphérique et les émissions de précurseurs
Ina De Vlieger (Vito)
- 14:20 Analyse coût-efficacité des mesures de réduction des émissions de gaz précurseurs
Georges Liébecq (Econotec)
- 14:40 Coûts externes : valorisation monétaire de la réduction d'ozone
Rudi Torfs (Vito)

Session 3: Stratégies politiques en Europe et en Belgique

- 15:00 Politique européenne en matière de pollution atmosphérique transfrontalière: CAFE
David Knight (Aminal)
- 15:15 Pause
- 15:30 Les autorités publiques face à la problématique de l'ozone : mesures et stratégies
Estelle Ceulemans (Cabinet du Ministre de l'Environnement, de la Protection de la consommation et du Développement durable)
- 15:45 Programme de lutte contre l'ozone en Région wallonne
Annick Fourmeaux (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement)
- 16:00 Mesures à court terme en milieu urbain, cela a-t'il du sens?
Peter Vanderstraeten (IBGE)
- 16:15 Programme flamand de réduction NEC
David Knight (Aminal)

Session de clôture

- 16:30 Questions - réponses
Modérateur Walter Hecq, ULB (à confirmer)
- 17:00 Clôture et remerciements
Politique scientifique fédérale

**Ozon op leefniveau en
ozonprecursoren:
wetenschappelijke instrumenten
en beleid**

**Ozone dans l'air ambiant et les
precursurs d'ozone: les
instruments scientifiques et la
politique**

Depot nr D/2005/1191/32 n° de dépôt

Voor meer informatie / Pour d'autres informations

Mevrouw/Madame Martine Vanderstraeten, vdst@belspo.be, tel: +32 2 23 83 610 (atmosferische processen / processus atmosphériques)

Mevrouw/Madame Anne Fierens, fier@belspo.be, tel: +32 2 23 83 660 (sociaal-economische aspecten / aspects socio-économiques)

Mevrouw/Madame Hilde Van Dongen, vdgn@belspo.be, tel: +32 2 23 83 492 (transport en mobiliteit / transport et mobilité)

Federaal Wetenschapsbeleid / Politique scientifique fédérale
Wetenschapsstraat 8 Rue de la Science
Brussel 1000 Bruxelles
België / Belgique
Fax: +32 2 33 05 912
Internet: <http://www.belspo.be/>

**Een uitgave van het Federaal
Wetenschapsbeleid, 2005**

De missie van het Federaal Wetenschapsbeleid is de maximalisatie van het Belgische wetenschappelijk en cultureel potentieel ten dienste van de politieke beleidsmakers, wetenschappers, de industriële sector en de burgers: 'een beleid voor en door de wetenschap'. Stukken uit deze publicatie mogen worden gereproduceerd voor zover het doel van de reproductie van niet-commerciële aard is, en aansluit bij de bovenvermelde missie van het Federaal Wetenschapsbeleid. De Belgische Staat kan niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die voortvloeit uit het gebruik van gegevens die in deze publicatie voorkomen

**Une édition de la Politique scientifique
fédérale, 2005**

La maximisation du potentiel scientifique et culturel belge au profit des décideurs politiques, des scientifiques, des industriels et des citoyens: 'une politique pour et par la science' constitue la mission de la Politique scientifique fédérale. Tout extrait de la présente publication peut être reproduit pour autant que le but de la reproduction est de nature non commerciale et s'inscrit dans le cadre de la mission susvisée de la Politique scientifique fédérale. L'Etat belge ne peut être tenu pour responsable de tout dommage éventuel qui résulterait de l'usage d'informations qui figurent dans cette publication.