



**WORKING PAPER SERIES**  
n° 2003-13

**IS ER EEN TOEKOMST VOOR KERNENERGIE IN  
BELGIË?**

**J. Eyckmans (EHSAL Brussel; K.U.Leuven)**  
**G. Pepermans (K.U.Leuven)**

**Samenleving en politiek, jg.10, november 2003 en [www.sampol.be](http://www.sampol.be)**

November 2003



**secretariat:**

Isabelle Benoit  
KULeuven-CES

Naamsestraat 69, B-3000 Leuven (Belgium)

tel: +32 (0) 16 32.66.33

fax: +32 (0) 16 32.69.10

e-mail: [Isabelle.Benoit@econ.kuleuven.ac.be](mailto:Isabelle.Benoit@econ.kuleuven.ac.be)

<http://www.kuleuven.be/ete>

# Is er een toekomst voor kernenergie in België?

Johan Eyckmans en Guido Pepermans\*

**Recent heeft de federale overheid beslist om op termijn alle kerncentrales te sluiten. De kans is groot dat de discussie hierover de komende maanden weer opblaait. Wij pleiten er voor om deze discussie niet uit te weg te gaan en om alle productietechnologieën voor elektriciteit met hun “juiste prijs” te confronteren. Een dergelijk - meer intelligent - beleid stelt de producenten voor hun verantwoordelijkheid zonder hen te betuttelen en laat zelfs toe om meer ambitieuze milieudoelstellingen na te streven.**

## 1. INLEIDING

De vraag of kernenergie een plaats moet krijgen in het Belgische productiepark voor elektriciteit is tijdens de paarsgroene regeerperiode meermaals aan de orde gekomen. Meer zelfs, ze heeft een duidelijk antwoord gekregen in het besluit van de Federale overheid om alle Belgische kerncentrales uiterlijk tegen 2025 te sluiten. De kans is echter groot dat de discussie over de kernuitstap in de komende maanden of jaren opnieuw de kop zal opsteken. Ten eerste omdat we de vraag niet kunnen ontlopen of en hoe de af te bouwen nucleaire capaciteit zal worden vervangen. Momenteel staat kernenergie immers in voor ongeveer 60 procent van de Belgische elektriciteitsproductie. De nucleaire centrales die hiervoor instaan vervang je niet in een paar jaar door een combinatie van offshore windmolens en het verbeteren van de energie-efficiëntie van onze bedrijven, verwarmingsinstallaties en auto's. Ten tweede omdat de sluiting van de nucleaire centrales het nakomen van de Belgische verplichtingen in toekomstige klimaatakkoorden een stuk moeilijker, lees duurder, zal maken. Gewezen Staatssecretaris voor Energie en Duurzame Ontwikkeling Olivier Deleuze heeft in principe gelijk als hij zegt dat de uitstap uit de kernenergie de Belgische beloftes in het kader van het Kyoto Protocol niet in de weg staat. De eerste kerncentrales gaan immers pas dicht nadat de eerste verbintenisperiode (2008-2012) van het Kyoto Protocol afgelopen is. Maar iedereen is het er over eens dat Kyoto slechts een allereerste stap is in een lang proces om de emissies van broeikasgassen aan banden te leggen. Meer en grotere stappen zijn nodig in het post-Kyoto tijdperk als men het klimaatprobleem op Wereldschaal daadwerkelijk wil aanpakken. En op die langere termijn zal de sluiting de Belgische kerncentrales wél een impact hebben op de mogelijkheden van België om zijn uitstoot van broeikasgassen terug te dringen.

In deze bijdrage pleiten wij er voor om de discussie over de uitstap uit kernenergie niet uit te weg te gaan. De eerste vraag die we stellen is of de overheid überhaupt wel moet voorschrijven aan de producenten van elektriciteit in België welke technologie ze wél of niet

---

\* Johan Eyckmans is deeltijds docent aan de EHSAL (Europese Hogeschool Brussel) en deeltijds postdoctoraal FWO onderzoeker aan het departement Economie van de K.U.Leuven. Guido Pepermans is als onderzoeker verbonden aan het departement Economie van de K.U.Leuven. Beide auteurs maken binnen het departement Economie deel uit van de onderzoeksgroep Energie, Milieu en Transport.

mogen gebruiken. We gaan eerst dieper in op een praktisch bezwaar dat verband houdt met het verschil in informatie waarover de overheid en de producenten beschikken en behandelen daarna de meer fundamentele vraag of overheidssturing wenselijk is op het vlak van technologiekeuze voor elektriciteitsproductie. We zullen argumenteren dat milieueffecten inderdaad voldoende redenen geven aan de overheid om tussen te komen op de elektriciteitsmarkt.

Daarna stelt zich de vraag op welke manier de overheid dan moet tussenkomen. We zullen argumenteren dat de overheid best op een marktconforme manier optreedt, bijvoorbeeld door het heffen van milieubelastingen die alle productietechnieken confronteren met de externe kosten die ze veroorzaken. Eens elke techniek met de “juiste prijs” geconfronteerd wordt, is er echter geen reden meer waarom de overheid bepaalde technieken zou moeten verbieden of aanmoedigen. De producenten zelf zijn beter geplaatst dan de overheid om de voor hen beste combinatie van technieken te kiezen in functie van de private kosten (investerings-, personeels- en brandstofkosten) én de externe kosten (milieueffecten, ongevalrisico, afvalverwerking, broeikas effect enz.). We gaan ook in op de externe kosten en hun waardering in het geval van kernenergie. Vragen als het kernafvalprobleem, het risico op ongevallen of terroristische aanslagen komen daarbij aan bod.

## **2. IS OVERHEIDSOPTREDEN IN DE ELEKTRICITEITSMARKT WENSELIJK?**

In deze paragraaf bekijken we of het wenselijk is dat de overheid tussenkomt op de elektriciteitsmarkt *om bepaalde milieudoelstellingen na te streven*. We beperken ons dus tot redenen die met milieuvervuiling te maken hebben maar het moet voorafgaandelijk gezegd worden dat er heel wat andere, misschien zelfs nog belangrijkere, redenen zijn voor de overheid om zich met de elektriciteitsmarkt bezig te houden. Het transport en de distributie van elektriciteit vereisen zeer grote investeringen die slechts door grote bedrijven kunnen gedragen worden, waardoor een natuurlijke tendens tot monopolievorming ontstaat. Monopolies zijn de grote vijanden van economen omdat ze gemakkelijk leiden tot inefficiënties. Monopolisten proberen vaak de prijs van hun producten te verhogen door opzettelijk hun productie in te houden en kunstmatig schaarste te creëren. Dit leidt ertoe dat er vanuit maatschappelijk oogpunt te weinig geproduceerd wordt, dat het product te duur verkocht wordt en dat er ongeoorloofde winsten gemaakt worden. De vrees voor monopolievorming heeft ertoe geleid dat de overheid in sterke mate de elektriciteitsmarkt “reguleert”. Vroeger gebeurde dat door de bewegingsruimte van de monopolist aan banden te leggen (bvb door maximumprijzen op te leggen), recent proberen overheden het over een andere boeg te gooien door, waar mogelijk, extra concurrentie te organiseren op energiemarkten, door ze te liberaliseren. Deze liberalisering is echter niet het onderwerp van onze bijdrage<sup>1</sup>.

### **Een praktisch bezwaar tegen technologievoorschriften: informatie is ongelijk verdeeld**

Vóór de liberalisering van de energiemarkten had de overheid in de meeste landen een sterke invloed op de elektriciteitsproducenten. In België was er de facto maar één grote producent (Electrabel) en deze werd vrij strikt “gereguleerd”. Dat wil zeggen dat Electrabel niet vrij was om de verkoopprijs van zijn elektriciteit zelf vast te leggen, dat de winstmarges door de overheid bijgestuurd werden enz. In een dergelijke situatie, waarbij er een sterke band bestaat tussen de overheid en de producent, is het niet verwonderlijk dat de overheid zich ook inlaat met het

voorschrijven van welke productietechnologieën moeten en mogen gebruikt worden. De Belgische traditie van “uitrustingsplannen” voor de elektriciteitssector zijn daarvan een goed voorbeeld.

Sinds de liberalisering van de energiemarkten ziet het landschap van de elektriciteitsproductie in België er echter anders uit en is de greep van de overheid op de producenten verzwakt. De producenten zelf bevinden zich ook in een totaal nieuwe situatie. Zij zijn niet meer alleen in hun thuismarkt maar moeten concurreren met buitenlandse producenten die rechtstreeks stroom kunnen slijten aan bedrijven en consumenten. Het komt er voor de binnenlandse producenten op aan om competitief te blijven, wat vooral wil zeggen dat ze de verkoopprijzen zo laag mogelijk moeten houden om te vermijden dat hun marktaandeel door buitenlandse producenten ingepikt wordt.

Eén van de belangrijkste argumenten tegen technologievoorschriften door de overheid is dat informatie vaak ongelijk verdeeld is tussen marktpartijen. Elektriciteitsproducenten die dagelijks beslissingen moeten nemen over investeringen in hun productiepark zijn meestal veel beter geïnformeerd dan de overheid over de precieze kosten van het gebruik van bepaalde productietechnologieën. De overheid kampt hier met een structureel informatienadeel, met als mogelijk gevolg dat ze een dure productietechnologie voorschrijft (of goedkope technologieën verbiedt) waardoor binnenlandse producenten niet meer competitief zijn in de geliberaliseerde Europese elektriciteitsmarkt.

#### **De fundamentele vraag: is overheidsoptreden om de technologiekeuze van elektriciteitsproducenten te sturen wenselijk?**

De meer fundamentele vraag is of de situatie die zou ontstaan zonder overheidsoptreden, zou leiden tot een vanuit maatschappelijk oogpunt ongewenste uitkomst. Het antwoord hierop is zonder twijfel ja. Elektriciteitsproducenten zouden immers kiezen voor de goedkoopste productietechnologieën zonder zich zorgen te maken over de externe kosten die ze veroorzaken. Met externe kosten bedoelen we in de economische wetenschappen dat een productieproces negatieve gevolgen heeft voor de productie en consumptiemogelijkheden van anderen zonder dat er daarvoor compensaties betaald worden. Concreet, als elektriciteitsproducenten goedkope steenkoolcentrales zouden gebruiken zonder maatregelen om de uitstoot van fijn stof en andere vervuilende stoffen te beperken, dan zouden de omwonenden daarvan heel wat hinder (stofhinder, negatieve gezondheidseffecten, ...) ondervinden zonder dat ze daarvoor gecompenseerd worden. Niet alleen de directe omwonenden maar ook mensen die verderaf wonen ondergaan negatieve effecten (bvb zure regen) en ook toekomstige generaties (bvb toekomstige klimaatverandering als gevolg de uitstoot van broeikasgassen) worden bedreigd.

Externe effecten, en in het bijzonder milieuvervuiling, is één van de klassieke argumenten in de economische wetenschap om overheidsoptreden te verdedigen in een markteconomie. Want zonder dit overheidsoptreden zou het niveau van vervuiling te hoog zijn en wordt er teveel van de vervuilende activiteiten en producten geproduceerd. Nog anders gesteld, de aanwezigheid van externe effecten verstoort de goede werking van een markteconomie. Het klassieke resultaat dat een markteconomie leidt tot een Pareto efficiënte<sup>ii</sup>, dit betekent voor de meeste economen een maatschappelijk wenselijke uitkomst, gaat niet langer op in deze omstandigheden. Bijsturing door de overheid is in dat geval gewenst.

Rond de inschatting en waardering van externe effecten van de productie van elektriciteit is er de afgelopen jaren uitvoerig studiewerk verricht. De belangrijkste referentie op dit vlak is ongetwijfeld de omvangrijke ExternE studie<sup>iii</sup> die door de Europese Commissie werd besteld. In deze studie werden de externe effecten van verschillende energieproductietechnologieën systematisch onderzocht en gewaardeerd in geldtermen. Een belangrijke conclusie van deze studie is ongetwijfeld dat de externe milieueffecten van elektriciteitsproductie absoluut niet verwaarloosbaar zijn en sterk verschillen tussen productietechnologieën. We kunnen met andere woorden met zekerheid stellen dat overheidsoptreden wenselijk is.

### **Optreden is wenselijk, maar hoe?**

Maar dan stelt zich direct de vraag hoe dit overheidsoptreden er moet uitzien. Moet de overheid bepaalde technologieën verbieden en andere verplichten? De milieueconomische literatuur is erg sceptisch over het gebruik van technologievoorschriften. Een eerste belangrijkste argument werd hierboven reeds vermeld: de overheid is vaak minder goed geïnformeerd dan de betrokken producenten over de private kosten van productietechnologieën. Een tweede argument heeft te maken met het feit dat technologievoorschriften de bewegingsruimte van producenten sterk inperken. Dit kan leiden tot onnodig hoge productiekosten, of tot een situatie waarbij de uitstootbeperkende maatregelen niet getroffen worden daar waar ze het goedkoopste zijn.

Economen zijn veel meer gewonnen voor wat ze noemen een “marktconform” overheidsoptreden. Dit wil zeggen een optreden dat bestaat uit het corrigeren van de marktprijzen van vervuilende activiteiten voor de externe kosten die ze veroorzaken. Deze correctie kan bestaan uit het instellen van een belasting ter waarde van de externe kosten die door de technologie worden veroorzaakt. Deze oplossing wordt ook wel “internaliseren van externe kosten” genoemd en werd reeds in 1920 voorgesteld door de Franse econoom Pigou<sup>iv</sup>. Een andere mogelijkheid is om een artificiële markt te maken waarop producenten rechten om te vervuilen kunnen kopen of verkopen. Deze oplossing is recenter en wordt momenteel vooral in de Verenigde Staten toegepast voor het terugdringen van de zwaveluitstoot door elektriciteitscentrales. Een grote toepassing van verhandelbare emissierechten voor broeikasgassen staat op stapel in Europa en zal vanaf 2005 in werking treden<sup>v</sup>.

Beide vormen van overheidsinterventie zijn marktconform. Het grote voordeel hiervan is dat het de vrije prijsvorming niet fundamenteel verstoort (maar enkel bijstuurt in de gewenste richting) en dat daarbij een maximale keuzevrijheid aan de producenten gegarandeerd wordt. Dit heeft dan weer als gevolg dat winstmaximerende producenten hun productietechnologieën en milieumaatregelen zodanig zullen kiezen dat de totale kosten om een gegeven milieudoelstelling te halen, minimaal zijn. Bovendien zullen marktconforme maatregelen er ook toe leiden dat activiteiten en producten die relatief veel vervuiling veroorzaken ontmoedigd worden ten voordele van schonere producten en technologieën.

## **3. TOEPASSING OP KERNCENTRALES**

In de vorige paragraaf hebben wij een pleidooi gehouden voor het toerekenen van alle, d.w.z. private én externe kosten aan de verschillende productietechnologieën voor elektriciteit. Maar wat zijn die kosten en wat zijn ze waard in geldtermen? En hoe scoren de alternatieven van kernenergie (klassieke centrales op fossiele brandstoffen, maar ook “groene” alternatieven

zoals wind of zonne-energie)? Deze sectie belicht de belangrijkste elementen die de kosten van kernenergie relatief tegenover deze bestaande alternatieven positief of negatief beïnvloeden. Hierbij ligt het niet in onze bedoeling om een volledig overzicht te geven van alle mogelijke effecten en de van moeilijkheden om ze te waarderen in geldtermen. Voor de geïnteresseerde lezer kunnen de toegevoegde literatuurverwijzingen hier een hulp zijn.

## **Nadelen van kernenergie**

### *Hoge Investeringskost*

In vergelijking met een klassieke centrale op steenkool of gas is een nucleaire centrale duur om te bouwen. Per geïnstalleerde kW aan productievermogen kost een nucleaire centrale (type Pressurized Water Reactor (PWR), zoals er in Doel en Tihange operationeel zijn) ongeveer €1.700. Een kW productievermogen in een steenkool of gascentrale kost respectievelijk ongeveer €1.300 en €500. Dit kostennadeel op het niveau van de investering wordt echter grotendeels goedge maakt door de relatief lage brandstofkosten van nucleaire centrales. Men kan stellen dat, onder normale omstandigheden in termen van levensduur en beschikbaarheid, de kostprijs van één nucleaire kWh voor 60% uit investeringskosten bestaat, voor 20% uit brandstofkosten en voor 20% uit onderhoud en werkingskosten. Voor een steenkool of gascentrale kan het aandeel van de brandstofkosten in de kWh kost oplopen tot respectievelijk 50% en 70%.

Noteer dat de kosten van nucleaire centrales ook al voorzieningen voor de ontmanteling van de centrale en de verwerking van het nucleaire afval bevatten. Of deze voorzieningen voldoende hoog zijn om de kosten te dekken zal de toekomst moeten uitwijzen. In elk geval worden deze kosten, die extern zijn voor klassieke centrales en intern voor nucleaire centrales, minstens voor een deel al in de nucleaire productiekost verrekend.

### *Basislast*

De hoge investeringskost voor nucleaire centrales maakt dat deze centrales voldoende lang moeten draaien, zodat de investeringskost over voldoende geproduceerde kilowatturen kan gespreid worden. Dit betekent dat nucleaire centrales voornamelijk geschikt zijn voor de productie van zogenaamde basislast, zodat ze, met uitzondering van perioden van onderhoud, vrijwel het hele jaar door continu kunnen draaien.

Tijdens piekperioden kan men best beroep doen op centrales met een lagere investeringskost en hogere brandstofkost, zoals steenkool of gascentrales. De productie van basislast is echter geen exclusief kenmerk van nucleaire centrales. Vanuit technisch standpunt is er geen enkel probleem om de nucleaire capaciteit te vervangen door bijvoorbeeld gascentrales. Onze broeikasgasemissies zullen echter wel onvermijdelijk toenemen.

Tegenstanders van nucleaire energie stellen dikwijls het gebruik van hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling (WKK) als alternatief voor de nucleaire centrales voor. Deze technologieën zijn momenteel echter niet in staat om de rol van kerncentrales over te nemen in de productie van onze elektriciteitsbehoeften in basislast. Hiervoor zijn de in België beschikbare hernieuwbare energiebronnen (voornamelijk wind, hydro-elektriciteit, biomassa en (voorlopig in mindere mate) fotovoltaïsche toepassingen) te onzeker. Zelfs al zou de volledige productiecapaciteit van de Belgische nucleaire centrales vervangen worden door een immens

windmolenpark, dan nog zou tegelijkertijd moeten voorzien worden in de bouw van klassieke centrales die op steenkool of gas draaien. Deze laatste centrales moeten er dan moeten voor zorgen dat de elektriciteitsproductie op peil blijft in de periodes waar er te weinig wind of zon is.

### *Extreme schade bij ongevallen*

Zeker na het ongeval in Tchernobyl is de publieke opinie heel gevoelig voor ongevallen met kerncentrales. In theorie zijn er goede technieken voorhanden om de externe kosten van ongevallen met productietechnieken in te schatten. Zolang er voldoende observaties zijn uit het verleden (dat wil zeggen, voorbeelden van ongevallen en inschattingen van de schade die ze veroorzaakt hebben en de kosten die nodig waren om die schade op te ruimen) kan men op statistisch betrouwbare wijze kansen op ongevallen en verwachte schade berekenen. Bij kernenergie is dat echter wat moeilijker. Behalve Tchernobyl (1986) en Three Mile Island (1979) zijn er geen goed gedocumenteerde grote ongevallen met kerncentrales bekend. Dit maakt het inschatten van het risico op een groot ongeval moeilijk. In de praktijk gaat men dan over tot risk-assessment waarbij experts hun oordeel geven over het risico op ongevallen in elke stap van het productieproces. Dit soort analyse in het kader van het ExternE project<sup>vi</sup> komt uit op een ongevalrisico voor ongevallen van het ergste soort (zoals Tchernobyl) van ongeveer 0.104€/kWh tot minder dan 0.0023€/kWh voor ongevallen met minder ernstige radioactieve besmetting. We moeten erop wijzen dat niet alle verwachte ongevalkosten als externe kosten te beschouwen zijn. Elektriciteitsproducenten zijn immers minstens gedeeltelijk onderworpen aan een aansprakelijkheidsregeling voor de schade die door een ongeval veroorzaakt wordt<sup>vii</sup>. Die aansprakelijkheid zorgt er voor dat een gedeelte van de ongevalkosten al in de private productiekosten doorgerekend worden. Enkel de ongevalkosten die hoger zijn dan wat onder de aansprakelijkheidsregeling valt, moeten nog als externe kosten beschouwd worden en aan de nucleaire centrales toegerekend worden.

Kenners van de literatuur van kosten-baten analyse zullen erop wijzen dat de klassieke methodologie van het inschatten van verwachte kosten (de verwachte schade is gelijk aan de kans op een ongeval maal de totale schade) problematisch is voor situaties die een heel kleine kans op ongeval combineren met heel grote schade. Dit probleem staat in de beslissingskunde bekend als de Sint-Petersburgparadox en werd reeds in 1738 door de Zwitserse wiskundige Bernoulli beschreven. We kunnen in het bestek van deze tekst hier niet in detail op ingaan maar de paradox wordt vaak aangehaald om het gebruik van verwachte waarde voor het inschatten van het risico van situaties die slechts zeer zelden voorkomen maar enorm grote schade zouden veroorzaken, ter discussie te stellen<sup>viii</sup>.

### *Afvalverwerking*

Naast het risico op een ernstig ongeval in een nucleaire centrale is de verwerking van het nucleaire afval ongetwijfeld het meest gehoorde bezwaar tegen het gebruik van kernenergie. Het is ongetwijfeld terecht dat deze problematiek zoveel aandacht krijgt.

Diverse categorieën van nucleair afval worden onderscheiden, gaande van laag, over middel, tot hoogradioactief afval. Elke categorie vraagt om een andere behandeling en de grootste wetenschappelijke en technische uitdaging zit in de veilige verwerking van het hoogradioactieve gedeelte.

Belangrijk hierbij is te weten dat het risico op vervuiling (de radioactiviteit) afneemt met de tijd. Afhankelijk van het soort afval varieert de lengte van deze periodes van een paar honderd tot

meer dan 10.000 jaar. Dit is een bijzonder kenmerk dat bijvoorbeeld niet teruggevonden wordt bij vervuiling met zware metalen, afkomstig van verbrandingsprocessen in klassieke centrales. Deze emissies blijven hun schadelijke kenmerken tot in het oneindige behouden.

In volume bestaat het grootste deel van de afvalstroom uit laag tot middelradioactief afval. De volumes hoogradioactief afval zijn relatief klein, al bevatten ze wel méér dan 95% van de totaal geproduceerde hoeveelheid radioactiviteit. Voorstanders van kernenergie zullen het ongetwijfeld als een voordeel zien dat de volumes geografisch geconcentreerd kunnen worden, waardoor ze zeer gemakkelijk en permanent onder toezicht kunnen bewaard worden.

De grootste wetenschappelijke en technische uitdaging ligt ongetwijfeld in het vinden van een methode voor de conditionering van het afval die voldoende garanties biedt voor het leefmilieu en de volksgezondheid, niet alleen vandaag maar ook voor de toekomstige generaties.

In essentie zijn er twee pistes die kunnen gevolgd worden met betrekking tot de hoogradioactieve afvalstromen. Een eerste piste tracht een gedeelte van het nucleaire afval te recyclen zodat het opnieuw als brandstof gebruikt kan worden. Voordeel van deze techniek is dat men er in slaagt om de uiteindelijke afvalstroom met een factor 5 te reduceren. Nadeel is dat de opwerking van het nucleaire afval een extra aantal handelingen vergt (onder meer het transport naar de opwerkingsfabriek) met daaraan verbonden een extra risico op ongelukken en bijgevolg een extra kost om dit risico tot een minimum te beperken. Bij de tweede piste wordt het nucleaire afval zonder recyclage en na een afkoelperiode (bovengrondse opslag voor minstens 50 jaar) in diepe geologische formaties opgeslagen.

Tot voor een paar decennia werd vooral geijverd voor de eerste piste, waarbij het nucleaire afval zoveel als mogelijk gerecycleerd werd. De bijkomende risico's (transport naar opwerkingsfabriek, proliferatie van plutonium) en de extra kosten die hierdoor ontstaan hebben er echter toe geleid dat de tweede piste momenteel de voorkeur geniet<sup>ix</sup>, mede ook omdat (de risico's van) afvalopslag in het publieke debat meer en meer als belangrijker worden aanzien dan de risico's van nucleaire elektriciteitsproductie op zich. Op het belang van de perceptie van de bevolking komen we later nog terug.

Bij het nucleaire afvalvraagstuk doet zich een probleem voor met het waarderen van kosten die zich uitstrekken over een heel lange tijdsperiode. Het bergen van kernafval voor een periode van tienduizenden jaren, of de toekomstige klimaatverandering als gevolg van de uitstoot van broeikasgassen zijn voorbeelden van zulke extreem lange termijneffecten. De klassieke methodologie in kosten-baten analyse om een stroom kosten doorheen de tijd te waarderen, is het gebruik van de zogenaamde verdisconteringstechniek. Deze techniek vertrekt van de veronderstelling dat mensen liever één euro vandaag krijgen dan één euro volgend jaar. Bij de berekening van de totale som van alle kosten en baten over alle periodes heen worden er daarom gewichten kleiner dan 1 toegekend aan bedragen in de toekomst. Het gewicht neemt exponentieel afneemt naarmate de kost of baat verder in de toekomst ligt. Bijvoorbeeld, voor een discontovoet van 3% (dit is één van de discontovoeten die in ExternE gebruikt worden) bedraagt het gewicht van een kost van 1 miljoen euro die zich pas binnen 1000 jaar voordoet, slechts 0,000.000.015 euro. Met andere woorden, belangrijke kosten gelegen in de verre toekomst worden volledig weggevaagd door de klassieke verdisconteringstechniek. Daarom is het van belang om bij een kosten-batenanalyse steeds na te gaan wat de impact is van een verandering van de cruciale parameter die de discontovoet is. In de ExternE studies bijvoorbeeld worden cijfers weergegeven voor een discontovoet van 3% en van 0%. Maar zelfs



bij een discontovoet gelijk aan nul, blijven er nog vragen over de techniek van het verdisconteren. In Kneese en Schulze (1985)<sup>x</sup> wordt bijvoorbeeld geargumenteed dat het gebruik van verdisconterings technieken voor problemen als kernafval niet neutraal is voor het normatieve kader waarbinnen de analyse gebeurt. In het bijzonder wordt gesteld dat verdiscontering slechts gerechtvaardigd kan worden onder heel beperkende hypothesen, onder meer de mogelijkheid om toekomstige generaties te compenseren voor de eventuele schade die zij zouden lijden als een nucleaire site zou beginnen lekken.

De problemen met verdisconteren zijn echter niet uniek voor kernenergie maar doen zich ook voor bij alle andere elektriciteitsproductietechnologieën die broeikasgassen voortbrengen. Kernenergie veroorzaakt langetermijn problemen omdat het hoogradioactief afval tienduizenden jaren nodig heeft voordat het stralingsniveau terugvalt tot op een aanvaardbaar niveau. Bij de uitstoot van broeikasgassen leidt de toekomstige klimaatverandering tot milieuschade voor toekomstige generaties in de volgende eeuwen. Met andere woorden, het argument dat het onmogelijk zou zijn de lange termijn gevolgen van nucleair afval te waarderen en bijgevolg kernenergie verboden zou moeten worden, geldt evengoed voor technologieën die gebaseerd zijn op het verbranden van fossiele brandstoffen. Het laat bijgevolg niet toe kernenergie te discrimineren ten opzichte van “klassieke” elektriciteitsproductiewijzen.

Ten slotte moet er nog op gewezen worden dat de Belgische elektriciteitsproducenten momenteel bijdragen aan een fonds voor de financiering van de ontmanteling van de nucleaire centrales en van de opslag van kernafval<sup>xi</sup>. Deze bijdragen zijn verrekend in de elektriciteitsprijzen en zijn bijgevolg niet te beschouwen als externe kosten. Enkel indien dit fonds onvoldoende zou blijken in de toekomst om de berging van radioactief afval te financieren, moeten de extra kosten nog als externe kosten toegerekend worden aan de nucleaire sector.

#### *Doelwit van terrorisme*

Sinds de aanslagen van 11 september 2001, is de dreiging van terrorisme tegen nucleaire installaties sterk op de voorgrond getreden. Enerzijds bestaat het gevaar dat terroristen een bestaande kerncentrale als doelwit zouden kiezen om op die manier een grote catastrofe te veroorzaken. Anderzijds bestaat de vrees dat radioactief materiaal in de handen van terroristen zou kunnen komen die er dan een zogenaamde “dirty bomb” mee zouden aanmaken. In *The Economist* van 16 oktober 2003<sup>xii</sup> uit ook Mohamed El Baradei, hoofd van het Internationaal Agentschap voor Atoom Energie (IAEA) en samen met Hans Blix aanvoerder van de VN waarnemers in Irak, zijn bezorgdheid over de grote verspreiding van nucleaire wapens en radioactief materiaal.

Tegen het eerste argument, de mogelijkheid dat een bestaande kerncentrale door terroristen als doelwit zou uitgekozen worden, wordt door voorstanders van kernenergie ingebracht dat de Belgische kerncentrales voldoen aan zeer strenge constructienormen en dat ze in principe de inslag van een groot vliegtuig zouden moeten doorstaan zonder dat er radioactiviteit naar buiten lekt. Anderen trekken het niveau van strengheid van deze constructienormen dan weer in twijfel.

Het tweede argument, de mogelijkheid dat terroristen radioactief materiaal in handen krijgen en verspreiden, is actueler dan ooit. Mohamed El Baradei pleit in zijn artikel in *The Economist* dan ook voor een nog verdergaande internationale controle op burgerlijke kerncentrales, het

ontwikkelen van technologieën die het moeilijk maken om er radioactief materiaal aan te onttrekken voor oneigenlijk gebruik, en voor intensere internationale samenwerking om kernafval gecentraliseerd op te slaan en te bewaken.

Wij zijn van oordeel dat de beslissing van een land als België weinig of niets bijdraagt aan een oplossing voor dit veiligheidsrisico. In de plaats daarvan kan België net zo goed kernenergie op een verantwoorde manier blijven gebruiken voor de elektriciteitsproductie, en zich daarbij nauwgezet houden aan internationale afspraken hieromtrent in het kader van het Internationaal Agentschap voor Atoom Energie en Euratom. Bovendien kan België binnen deze organisaties actief bijdragen tot het ontwikkelen van oplossingen zoals ze door El Baradei werden voorgesteld.

### *Publieke perceptie*

De houding van de bevolking tegenover kernenergie vormt voor de beleidsmakers een gegeven dat moeilijk kan genegeerd worden. Deze houding zal onder meer gevormd worden door wat de bevolking weet of denkt te weten over al de facetten van nucleaire energie die hierboven al aan bod kwamen (veiligheid, nucleair afval, kost, milieueffecten, beschikbare alternatieven...).

Men moet zich echter de vraag durven stellen of die informatie wel correct en voldoende is. Opinieonderzoek wijst immers uit dat respondenten niet altijd goed op de hoogte zijn van het energiegebeuren en dat het verstrekken van bijkomende informatie aan de respondenten dikwijls leidt tot het bijsturen van de mening.

In de VS wordt het oordeel van het publiek over kernenergie in hoofdzaak bepaald door de perceptie die bij het publiek leeft m.b.t. de afvalproblematiek, de veiligheid en de kost van de technologie. Voorts blijkt dat de publieke opinie de band niet legt tussen kernenergie en de broeikasgasproblematiek. Hieruit wordt besloten dat een verschuiving van de publieke opinie pro kernenergie slechts kan gerealiseerd worden in de mate dat men er in slaagt de nucleaire technologie zodanig te verbeteren dat het afvalprobleem, het veiligheidsprobleem en het kostennadeel gereduceerd wordt<sup>xiii</sup>.

## **Voordelen van kernenergie**

### *Leveringszekerheid van de brandstof (uranium)*

Leveringszekerheid was een belangrijk motief om het Belgische park kerncentrales uit te breiden. De oliecrisis van de jaren zeventig hadden namelijk op pijnlijke wijze aangetoond dat de Belgische economie zeer kwetsbaar was omdat het voor zijn energievoorziening volledig afhankelijk was van fossiele brandstoffen. Kernenergie was een manier om de afhankelijkheid van onze economie van de wispelturige internationale politieke ontwikkelingen in het Midden-Oosten te verminderen.

Het aspect leveringszekerheid kan vanuit twee standpunten bekeken worden. Ten eerste vanuit het standpunt van de omvang van de beschikbare uraniumresources. Aan het huidige consumptieniveau, volstaan de huidige economische (d.w.z. op rendabele wijze exploitierbare) reserves voor een periode van minstens 50 jaar. Dit komt in orde van grootte overeen met de omvang van de economische reserves voor olie en gas. Kenners vermoeden dat de economisch uraniumreserves vrij laag geschat zijn. Daarenboven kan door opwerking (recyclage) en door het gebruik van thorium als brandstof de uitputting van de voorraden met

meerdere honderden jaren uitgesteld worden. Kortom, in termen van omvang stelt de uraniumbevoorrading géén grote problemen.

Ten tweede kan men leveringszekerheid bekijken vanuit het standpunt van de politieke stabiliteit in de landen die uranium produceren. Een grotere politieke instabiliteit vergroot het risico op conflictsituaties met mogelijke onderbrekingen in de levering van grondstoffen tot gevolg. De twee oliecrisisen in de jaren 70 vormen hier duidelijke voorbeelden van. Het gebruik van kernenergie draagt op twee manieren bij tot een grotere leveringszekerheid. Enerzijds zijn de uraniumresources geografisch vrij goed gespreid. Dit in tegenstelling tot de oliereserves en in mindere mate de gasreserves. Hierdoor kan de impact van een regionaal conflict op de uraniumleveringen sterk gereduceerd worden. Anderzijds wordt onze afhankelijkheid van fossiele primaire brandstoffen eveneens gereduceerd. Dit laatste is vanzelfsprekend géén exclusief kenmerk van kernenergie. Hoe ruimer de portfolio van energiebronnen die aangesproken wordt, hoe minder afhankelijk men wordt van één bepaalde energiebron.

Noteer ten slotte ook dat er, in vergelijking met de klassieke centrales, slechts relatief kleine hoeveelheden brandstof nodig zijn. Hierdoor kan het transport en de opslag vrij eenvoudig georganiseerd worden. Zo kan met 1kg steenkool ongeveer 3kWh geproduceerd worden, met 1kg olie produceert men ongeveer 4kWh en met 1kg uranium 50.000kWh elektriciteit. Net omdat er slechts kleine hoeveelheden nodig zijn hebben de meeste kerncentrales een strategische uraniumvoorraad in bezit, die in de meeste gevallen voldoende groot is om gedurende één jaar elektriciteit te produceren.

#### *Lage externe kosten als gevolg van klassieke vervuilende stoffen*

Het belangrijkste voordeel van kernenergie is ongetwijfeld de zeer lage, zelfs bijna verwaarloosbare, uitstoot van klassiek luchtvervuilende stoffen zoals zwavel, stikstofoxides stofdeeltjes, broeikasgassen etc. Vooral wat het laatste betreft, het broeikaseffect, zijn er verschillende wetenschappers die pleiten voor een groter gebruik van kernenergie om de groeiende energiebehoefte in de toekomst te voldoen in plaats van te vertrouwen op fossiele brandstoffen. Onder meer de gerenommeerde Belgische klimatoloog André Berger van de Université Catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve) behoort tot deze groep en heeft hieromtrent een scherpe open brief geschreven aan Eerste Minister Guy Verhofstadt naar aanleiding van het besluit van de Federale regering om de kerncentrales op termijn te sluiten<sup>xiv</sup>.

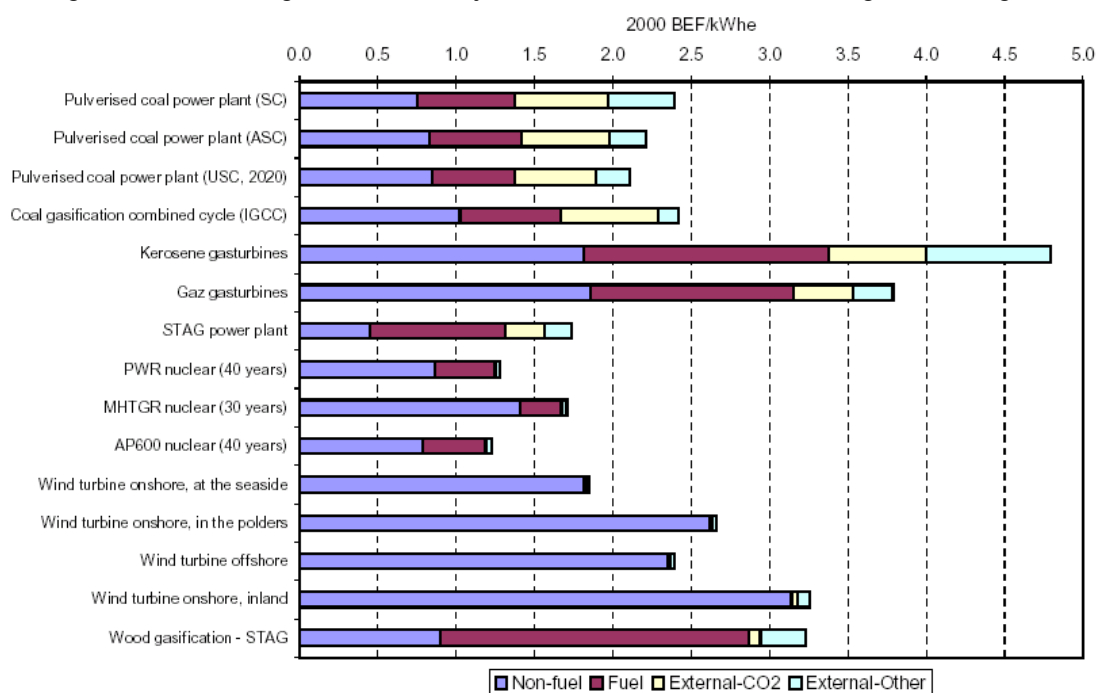
In het Belgisch luik van de ExternE studie worden centrales op fossiele brandstoffen vergeleken met kerncentrales en worden externe kostenschattingen gerapporteerd voor verschillende hypothesen over de discontovoet, de tijdshorizon, de inschatting van toekomstige klimaatschade enz. Zelfs voor het scenario waarbij de laagste inschatting van klimaatschade gebruikt wordt, heeft kernenergie de laagste externe kost: ongeveer 0.0402€/kWh voor kernenergie, tegen 0.0758€/kWh voor een gasgestookte STEG centrale, en tot meer dan 0.88€/kWh voor klassieke steenkoolcentrales<sup>xv</sup>. Ook de recente MIT studie (zie voetnoot ix) geeft een vergelijkbaar resultaat. Volgens deze laatste studie zijn de investeringskosten en operationele kosten (dus zonder rekening te houden met externe kosten) van kerncentrales hoger dan die van een gasgestookte STEG centrale, zelfs bij hoge aardgasprijzen. Maar, wanneer de externe kosten van broeikasgassen worden doorgerekend aan de energiedragers, dan wordt kernenergie wel competitief.

## Een globale evaluatie

Een poging tot een globale evaluatie wordt voorgesteld in het rapport van de Amperecommissie<sup>xvi</sup>. Hieruit blijkt dat, voor de specifiek Belgische context en rekening houdende met de private en externe kosten, kerncentrales één van de goedkoopste technieken is voor de productie van elektriciteit. De commissie houdt voornamelijk rekening met de milieugerelateerde externe kosten en met ongevalrisico's. Andere elementen pro of contra, zoals de bijdrage tot de leveringszekerheid en de productie in basislast, doelwit van terrorisme en de publieke perceptie worden in deze oefening niet verrekend.

In de volgende figuur vergelijken we de verschillende technologieën op basis van het cijfermateriaal van de Amperecommissie. Het betreft hier een inschatting van de kosten in het jaar 2010 (uitgedrukt in BEF/kWhe van het jaar 2000). Men houdt dus rekening met de verwachte prijsevoluties, bvb dat de prijsdaling van windturbines nog verder door gaat enz. Voor de externe kosten heeft de Commissie Ampere de Europese ExternE inschattingen overgenomen.

Figuur 1: Toekomstige kosten in het jaar 2010 van verschillende energietechnologieën



bron: Rapport van de Commissie Ampere (2000),  
Section I: Evaluation of the current and future production cost of electricity and the external costs, p. I-8

Uit deze grafiek blijkt duidelijk dat de huidige kerncentrales (PWR nuclear) veruit de goedkoopste technologie is en dat gasegestookte STEG centrales (STAG power plant) een beetje duurder uitvallen per kWhe omwille van de hogere CO<sub>2</sub> uitstoot en de daaraan verbonden externe kosten. Noteer ook dat windturbines duurder maar zeker wel competitief zijn in vergelijking met klassieke steenkoolcentrales als alle externe kosten in rekening gebracht worden (in bijzonder de 'wind turbine onshore, at the seaside' technologie).

Zoals reeds eerder werd gesteld, is er vanuit technisch standpunt geen enkel probleem om de nucleaire productiecapaciteit te vervangen door klassieke centrales. Simulatieoefeningen met

het MARKAL/TIMES model wijzen uit dat, zonder Kyotoverplichtingen, dit zelfs kan gerealiseerd worden aan een bijna verwaarloosbare kost voor onze economie<sup>xvii</sup>. Vanuit het standpunt van kostenefficiëntie zouden in dat geval in hoofdzaak steenkoolcentrales gebouwd worden.

We worden echter wél geconfronteerd met emissieplafonds voor broeikasgassen en andere pollutanten, en dit maakt het minder evident om over te stappen naar andere, klassiek gestookte centrales. Tegenstanders van nucleaire energie wijzen op de mogelijkheden die er zowel aan de aanbod- als aan de vraagzijde van de elektriciteitsmarkt te vinden zijn. Aan de aanbodzijde worden hernieuwbare energie, warmtekrachtkoppeling (WKK) en kleinschalige productietoepassingen als mogelijk alternatief genoemd. Aan de vraagzijde vermeldt men rationeel energiegebruik (REG) als de voornaamste optie.

Over het gebruik van hernieuwbare energiebronnen als alternatief voor de kerncentrales hebben we het al eerder gehad. Het gebruik van WKK kan ongetwijfeld nog opgedreven worden in België. Om redenen van kostenefficiëntie en van emissies is het echter aangewezen het gebruik van WKK toepassingen af te stemmen op de warmtebehoeften. Immers, zonder warmtevraag is het gebruik van een WKK installatie zinloos.

Het nemen van vraagbeperkende maatregelen kan de groei van de vraag naar elektriciteit afremmen. Het is echter zeer de vraag of het realistisch is aan te nemen dat men met REG maatregelen in staat is het elektriciteitsverbruik fundamenteel om te buigen. Bovendien moeten de kosten (investeringskosten, maar ook bvb het verlies aan comfort) van REG maatregelen ook meegenomen worden in de analyse.

## **Conclusie**

Ten eerste pleiten wij er voor om de nucleaire optie niet a priori uit te sluiten. Het gebruik van kernenergie moet één van de vele opties zijn die kunnen gebruikt worden om het globale Belgische energiebeleid in te vullen. De discussie hierover mag niet op dogmatische argumenten gestoeld zijn, maar moet gevoerd worden met rationele en cijfermatige argumenten.

Ten tweede pleiten wij ervoor om alle productietechnologieën te confronteren met hun externe kosten. Dit kan door middel van milieuheffingen. Deze heffingen moeten voor elke energietechnologie de externe kosten omvatten die anders in een niet-gereguleerde markt zouden afgewenteld worden op de samenleving. Voor de inschatting en berekening van deze externe kosten kan beroep gedaan worden op objectieve buitenlandse studiewerk zoals bijvoorbeeld het Europese ExternE project.

Eens alle productietechnologieën met hun “juiste prijs” geconfronteerd worden door middel van gedifferentieerde milieuheffingen is er volgens ons geen enkele reden meer voor de overheid om bepaalde technologieën te verbieden. Het is dan aan de elektriciteitsproducenten zelf om de juiste combinatie van technieken te zoeken. Zij zijn veel beter geplaatst dan de overheid om die keuze te maken omdat zij over de nodige ervaring beschikken en bovendien een belangrijk informatievoordeel hebben.

Wij pleiten in deze bijdrage met andere woorden niet voor minder overheidsinmenging, maar wel voor een meer intelligente aanpak die de elektriciteitsproducenten voor hun verantwoordelijkheden stelt zonder hen te betuttelen. In tijden waarin de overheid op het vlak van milieupolitiek verweten wordt van regelneverij, zou deze aanpak waarschijnlijk

gemakkelijker aanvaard worden door de betrokken partijen en zelfs toelaten om meer ambitieuze milieudoelstellingen na te streven.

---

<sup>i</sup> Zie HUNT, S. en SHUTTLEWORTH, G., (1996), *Competition and Choice in Electricity*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester, p. 237 voor meer informatie over het waarom en het hoe van liberalisering en regulering.

<sup>ii</sup> Een situatie wordt als *Pareto efficiënt* bestempeld als het niet mogelijk is de welvaart van één (of meerdere) individuen te verbeteren zonder de welvaart van tenminste één ander individu te verminderen. Voor een precieze definitie en enkele kritische kanttekeningen bij het gebruik van Pareto efficiëntie als normatief criterium voor overheidsoptreden, zie bvb Berlage en Decoster (2000), *Inleiding tot de economie* (Universitaire Pers Leuven).

<sup>iii</sup> De meest recente resultaten van het ExternE studiewerk zijn terug te vinden op de website <http://externe.jrc.es/>

<sup>iv</sup> Zie Pigou, A.C. (1920), *The Economics of Welfare*.

<sup>v</sup> Vanaf 2005 zullen de grote energieverbruikers in de EU voldoende uitstootrechten moeten kunnen voorleggen om hun emissies van koolstofdioxide te rechtvaardigen. Deze rechten worden jaarlijks (in hoofdzaak) gratis toegewezen door de lidstaten en kunnen onderling verhandeld worden. Meer details over de op stapel staande Europese koolstofmarkt zijn te vinden op de website van de directoraat-generaal milieu van de Europese Commissie: [europa.eu.int/comm/environment/climat/emission.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/climat/emission.htm).

<sup>vi</sup> Zie European Commission (1995), ExternE, *Externalities of Energy*, vol. 5: Nuclear (EC, Luxemburg), page 205, Table 9.8.

<sup>vii</sup> PERCEBOIS, J., (2003), The peaceful uses of nuclear energy: technologies of the front and back-ends of the fuel cycle, *Energy Policy*, vol. 31, nr. 2, p. 101-108.

<sup>viii</sup> De oplossing die Bernoulli werd voorgesteld is om niet de verwachte waarde maar een concave transformatie daarvan te gebruiken. Met andere woorden het uitdrukken van de schade in nutstermen. Ook deze procedure is echter niet zonder problemen. We verwijzen de geïnteresseerde lezen graag door bvb [plato.stanford.edu/entries/paradox-stpetersburg](http://plato.stanford.edu/entries/paradox-stpetersburg)

<sup>ix</sup> Zie bijvoorbeeld MIT, (2003), *The Future of Nuclear Power: An interdisciplinary MIT study*, Massachusetts, p. 180. Franse experts lijken echter eerder de voorkeur te geven aan de eerste piste.

<sup>x</sup> Kneese, and Schulze (1985), *Ethics and Environmental Economics*, chapter 5 in: Kneese en Sweeney (eds), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, vol I (North-Holland, Amsterdam).

<sup>xi</sup> Zie CREG (24 april 2001), *Studie over de provisies en fondsen in de nucleaire sector*, pp. 84. Deze studie kan afgeladen worden op de website van de CREG: [www.creg.be](http://www.creg.be).

<sup>xii</sup> El Baradei, M. (2003), *Towards a safer world*, *The Economist*, 16 oktober 2003.

<sup>xiii</sup> Zie MIT, (2003), *The Future of Nuclear Power: An interdisciplinary MIT study*, Massachusetts, p. 180.

---

<sup>xiv</sup> Berger, A. (2003) Sortir du nucléaire, une erreur historique, *La Libre Belgique*, Donderdag 16 januari 2003, p. 16.

<sup>xv</sup> Zie De Nocker, Torfs, Wouters (1998). Externe Implementation in Belgium (VITO). Een samenvatting van de resultaten kan men terugvinden om de website [externe.jrc.es](http://externe.jrc.es).

<sup>xvi</sup> Zie het Rapport van de Commissie voor de Analyse van de Productiemiddelen van Elektriciteit en de Reoriëntatie van de Energievectoren (AMPERE) aan de Staatssecretaris voor Energie en duurzame Ontwikkeling, BESLUITEN EN AANBEVELINGEN - EXECUTIVE SUMMARY (2000) pagina 105, Tabel 16. Het rapport kan afdgeladen worden van de website van het Ministerie van Economische Zaken: [www.mineco.fgov.be/energy/index\\_nl.htm](http://www.mineco.fgov.be/energy/index_nl.htm).

<sup>xvii</sup> Zie PROOST, S. en VAN REGEMORTER, D., (2001), What do the AMPERE results imply for future electricity production in Belgium - An analysis with MARKAL model, *Revue E tijdschrift*, nr. 3, p. 41-48. Deze onderzoekers ramen de kost van het realiseren in 2030 van een post-Kyoto reductiedoelstelling van 15% t.o.v. de emissies in 1990 op 0.5% tot 1% van het BBP indien het gebruik van nucleaire centrales tot de mogelijkheden blijft behoren. De kost van het realiseren van dezelfde reductiedoelstelling, waarbij het gebruik van nucleaire centrales wordt uitgesloten, wordt geraamd op 3% van het BBP.



The Center for Economic Studies (CES) is the research division of the Department of Economics of the Katholieke Universiteit Leuven. The CES research department employs some 100 people. The division Energy, Transport & Environment (ETE) currently consists of about 15 full time researchers. The general aim of ETE is to apply state of the art economic theory to current policy issues at the Flemish, Belgian and European level. An important asset of ETE is its extensive portfolio of numerical partial and general equilibrium models for the assessment of transport, energy and environmental policies.

## **ETE WORKING PAPER SERIES 2003**

- n°2003-13 Eyckmans J., Pepermans G. (2003), Is er toekomst voor kernenergie in België?
- n°2003-12 Franckx L. and D'Amato A. (2003), Environmental policy as a multi-task principal-agent problem
- n° 2003-11 Proost S. And Van Dender K. (2003), Marginal Social Cost Pricing For All Transport Modes And The Effects Of Modal Budget Constraints
- n° 2003-10 Mayeres I., Van Regemorter D. (2003), Modelling the health related benefits of environmental policies - a CGE ANALYSIS for the EU countries with GEM-E3
- n° 2003-09 De Borger B., Proost S., Van Dender K. (2003), Congestion And Tax Competition In A Parallel Network
- n° 2003-08 Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., D'haeseleer W. and Belmans R. (2003), Distributed generation: definition, benefits and issues
- n° 2003-07 Moons E., The development and application of economic valuation techniques and their use in environmental policy – A survey
- n° 2003-06 Muys B., Deckmyn G., Moons E., Quijano J.G., Proost S. and Ceulemans R. (2003), An integrated decision support tool for the prediction and evaluation of efficiency, environmental impact and total social cost of forestry projects in the framework of the Kyoto protocol
- n° 2003-05 Proost, S. and Van Regemorter, D. (2003), Climate change policy in European countries and its effects on industry
- n° 2003-04 Willems, B. (2003), Should an incumbent generator be allowed to buy import transmission capacity?
- n° 2003-03 Rousseau, S. and Billiet, C.M. (2003), Using emission standards under incomplete compliance
- n° 2003-02 Calthrop, E., De Borger, B. and Proost S. (2003), Tax reform for dirty intermediate goods: theory and an application to the taxation of freight transport
- n° 2003-01 Pepermans, G. (2003), Simulating the restructuring of the Flemish electricity distribution sector