

SAMENVATTING

ABSTRACT

Het doel van dit project is het analyseren en vergelijken van de meest gangbare technieken voor aanwending van biomassa als energiebron in België. De hoeveelheid beschikbare biomassa wordt eerst in kaart gebracht, vooral in termen van beschikbaar areaal voor akkerbouw en bosbouw, en in mindere mate beschikbare afvalstromen. De mogelijke technieken om deze bronnen (vooral areaal) in te zetten worden vervolgens vergeleken op basis van globaal energetisch rendement, vereist oppervlak en CO₂ emissies. Voor een drietal scenario's wordt daarnaast een volledige LCA analyse uitgevoerd. Een nieuwe methode genaamd System Perturbation Analysis (SPA) werd aan de VUB ontwikkeld om de impact op het Belgische systeem te onderzoeken. Tenslotte worden de verscheidene manieren om hout aan te wenden voor zowel transport als warmte en/of elektriciteit met elkaar vergeleken.

BESCHIKKEN WIJ OVER VOLDOENDE BIOMASSA ?

Het bepalen van de beschikbare hoeveelheid biomassa is een moeilijke oefening vanwege de grote variëteit en spreiding van de biomassabronnen in een vrij onzekere sociale, juridische en economische context.

Volgens de literatuur kunnen de volgende definities worden gehanteerd :

- Het theoretische potentieel is gedefinieerd als de totale jaarlijkse en ongehinderde groei van biomassa. Dit potentieel is een absolute bovenste limiet.
- Het technische potentieel is de theoretische groei waarbij men echter rekening houdt met een reeks beperkende randvoorwaarden.
- Het sociaal aanvaardbare potentieel houdt rekening met de waarde die de gemeenschap aan de biomassa toekent, en bepaalt op deze wijze een grens van sociale aanvaarding.
- Het realiseerbare potentieel houdt rekening met de maatregelen ter bevordering van biomassa voor energetische toepassing. Dit wordt uitgedrukt via sterkere groeicijfers.

Een groot deel van deze potentiëlen is afkomstig van het Belgische landbouwareaal (1400 kha) en bosareaal (700 kha). Bossen bevinden zich vooral in Wallonië. Landbouwgronden zijn beter verspreid maar zijn toch eerder in Wallonië te vinden. Het vereiste oppervlak om een beperkt deel van de jaarlijks verbruikte 400 PJ (Petajoules of 10^{15} Joules) aan vloeibare brandstof voor transport te dekken wordt samengevat in Tabel 1. Het specifieke oppervlak vereist voor de belangrijkste biobrandstoffen ligt tussen 10 en 40 kha per vervangen PJ. Tabel 1 geeft aan dat er tussen 5 en 10% van ons landbouwareaal nodig is om één percent van 400 PJ te vervangen, waarbij men moet beseffen dat 1 PJ vervangen in de wagen niet betekent dat men 1 PJ bespaart op het globale niveau. De mate waarin dit gebeurt wordt verder in het project uitvoerig onderzocht. Tabel 2 resumeert de aanvaardbare arealen voor energetische gewassen. Korte omloop hout (SRF of Short Rotation Forestry) zal nog

heel wat tijd vergen om de markt te penetreren, vanwege het grote risico (engagement over 20 jaar), gebrek aan ervaring, rechtsonzekerheid en financieel onaantrekkelijk voor de landbouwer.

Volgens Tabellen 1 en 2 zijn andere biomassabronnen nodig om de gewenste hoeveelheden biobrandstoffen te produceren. De vereiste specifieke arealen kunnen evenwel verminderen vanwege een continue verhoging van de opbrengst per hectare. Deze groei is te danken is aan de ontwikkelingen in de biotechnologie. Een verdubbeling van de opbrengsten wordt over de langere termijn mogelijk geacht. Korte omloop hout kan het potentieel aanzienlijk opdrijven, maar de toepassing van vloeibare brandstof komt hier in competitie met andere toepassingen zoals verwarming, warmtekrachtkoppeling en grootschalige elektriciteitsproductie.

Tabel 3 bevat de globale Belgische potentiëlen die binnen dit project zijn waargenomen. Deze hoeveelheden zijn onvoldoende om de ambities voor biobrandstoffen te dekken, zeker als men zowel transport als warmte en/of elektriciteit samen in beschouwing neemt. Een stijgende invoer vanuit Europa of zelfs overzee is dus te verwachten.

De toestand in Europa vertoont een betere balans tussen de doelstellingen en het beschikbare areaal. Europa zal dus minder afhankelijk zijn van invoer van biomassa.

kha/PJvloeibaar	2% doelst.	5.75% doelst.	10% doelst.
10	5.9%	16.5%	28.5%
40	23%	66%	114%

Tabel 1: Vereist landbouwareaal. Percentages van dit areaal om een percentage van 400 PJ/jaar fossiele vloeibare brandstof te vervangen.

jaar	koolzaad	graan	suikerbiet	korte omloop hout	totaal
2010	0.5%	2.1%	1.1%	-	2.7%
2015	1.1%	4.8%	2.6%	0.01%	8.5%

Tabel 2: Schatting van de sociaal aanvaardbare arealen voor aanwending als energiebron. Percentages van het totaal landbouwareaal.

PJ/jaar	2005	2010	2015
Technisch potentieel	36	39	58
Sociaal aanvaardbaar potentieel	11	21	43
Realiseerbaar potentieel	2.7	8.6	32

Tabel 3: Technisch, sociaal en realiseerbaar potentieel in België.

SELECTIE VAN CONVERSIETECHNIEKEN

Figuur 1 is een samenvatting van de belangrijkste routes voor de aanwending van biomassa voor energetische toepassing. Waterstof voor brandstofcellen en andere meer exotische routes zijn (nog) niet in beschouwing genomen. De routes aangeduid met vette lijnen zijn binnen dit project in beschouwing genomen. Enkele van deze routes

bevinden zich in een ontwikkelingsfase, meer bepaald het Fischer-Tropsch procédé voor biodiesel en de hydrolyse voor bioethanol, beide vanaf houtachtigen. Er is besloten om waterstof en dimethylester (DME) niet te beschouwen omdat deze niet voor tientallen jaren worden verwacht. Biogas (via fermentatie) lijkt weinig waarschijnlijk voor toepassing in transport in België, hoewel vergisting tot biogas voor een aantal toepassingen wel voordelen biedt. Anderzijds moet men vaststellen dat vloeibare brandstoffen meer en meer worden aangewend in productie van warmte en elektriciteit.

Bioethanol is een ethylalcohol uit fermentatie welke verder kan verwerkt worden tot ETBE (Ethyl-Tri-Butyl Ether) door reactie met fossiel isobutyleen. Ethanol kan een beperkt deel van de benzine vervangen terwijl ETBE als vervanger kan dienen van MTBE (op basis van fossiele methanol) om het octaangetal te verhogen. Zuivere ethanol kan sommige onderdelen van de motor aantasten (plastics, aluminium, magnesium). De fermentatie, distillatie en droging zijn grote energieverbruikers in het omzettingsproces waardoor het omzetrendement tot ethanol eerder beperkt is. Dit kan evenwel verholpen worden door de residu's (stro, pulp e.a.) aan te wenden als brandstof binnen het omzettingsproces. De productie van ethanol vanaf graan en suikerbiet leidt tot een aanzienlijke hoeveelheid residu die rijk is aan eiwitten voor toepassing als veevoeder. De hoeveelheid energie in deze stoffen bedraagt grosso modo de helft van de originele biomassa en het is dus noodzakelijk om bij elke opstelling van energetische en/of CO₂ balans met alle bekomen producten rekening te houden.

Zuivere plantaardige olie (PPO of Pure Plant Oil) is gemakkelijk te produceren maar de dieselmotor vergt aanpassing wanneer men meer dan 50% gaat bijmengen (5% menging brengt de brandstof reeds buiten de normen). De eigenschappen van biodiesel staan veel dichterbij fossiele diesel maar menging blijft best beperkt tot 30% vanwege mogelijke corrosieve effecten. De biodiesel wordt bekomen via de wel bekende transesterificatie. De bekomen biodiesel wordt FAME genoemd (Fatty Acid Methyl Ester). Indien hij afkomstig is van koolzaad spreekt men ook van RME (Rapeseed Methyl Ester), maar hij kan afkomstig zijn van elke verse of reeds gebruikte plantaardige olie. De omzetting verbruikt fossiele methanol en produceert glycerine die op de markt kan verkocht worden (cosmetica, verf, e.a...). De glycerine kan ook lokaal als brandstof worden gebruikt.

Biodiesel kan ook worden verkregen vanaf hout via vergassing, gasreiniging en Fischer-Tropsch synthese. Dit procédé is nog in de ontwikkelingsfase (ten minste voor biomassa). De uitdagingen liggen in de integratie van de vergassing en in de gasreiniging. De bekomen biodiesel is zeer compatibel met fossiele diesel al zijn enkele additieven nodig om aan alle normen te voldoen.

Hout kan tenslotte aangewend worden voor productie van warmte en/of elektriciteit. De geselecteerde routes zijn co-verbranding in een stoomcyclus (vb. Ruien), 100% verbranding in een stoomcyclus (vb. Les Awires), zuivere warmteproductie (vb. Vyncke ketels), en warmtekrachtkoppeling in kleine eenheden zoals de ORC (Organic Rankine Cycle, Turboden) of vast-bed vergassing met zuigermotor (Xylo Watt).

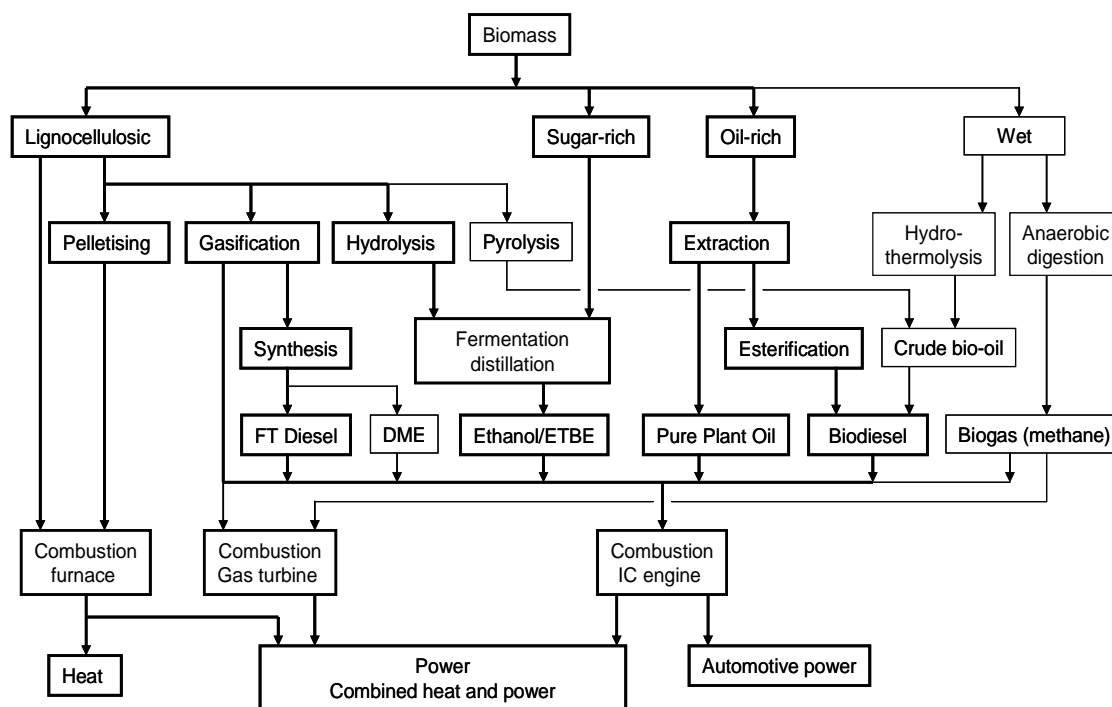


Fig 1 : Voornaamste routes voor aanwending van biomassa voor transport, warmte en elektriciteit. Vette lijnen duiden op de routes die in het project zijn onderzocht.

LEVENSCYCLUSANALYSE (LCA) EN BALANSEN VAN SERREGASSEN

Gedurende het volledige proces van grond tot tank worden goederen en energie verbruikt, en worden emissies veroorzaakt. LCA berekent al deze elementen in de verscheidene étappes van de cyclus, met name de biomassa productie, transport van grondstoffen en producten, conversie(s) en uiteindelijk gebruik.

Globale balansen van de serregassen (CO₂, CH₄ en N₂O) zijn opgemaakt voor de beschouwde routes, terwijl voor drie gevallen een volledige LCA (14 milieupacten) werd uitgevoerd (ethanol vanaf graan en suikerbiet, en biodiesel vanaf koolzaad).

LCA balansen van serregassen worden samengevat in Figuren 2 en 3. Alle analyses leiden tot een vermindering van serregassen wanneer men vergelijkt met de fossiele bronnen. Koolzaad (PPO en biodiesel, 1 en 2a-c) leidt tot ca 40% reductie, waarbij de resterende emissies vooral te wijten zijn aan de landbouw via meststoffen en rechtstreekse N₂O emissies. Bij frituurolie (2d) wordt geen CO₂ in rekening gebracht omdat deze olie een restproduct is. De ethanol routes vertonen gevarieerde resultaten : de CO₂ beperking is beperkt bij gebruik van graan (3a) vanwege een energie intensieve omzetting. Suikerbiet geeft een iets beter resultaat. Het beste resultaat voor ethanol komt van hout terwijl het Fischer-Tropsch procédé leidt tot 90% vermindering van serregassen.

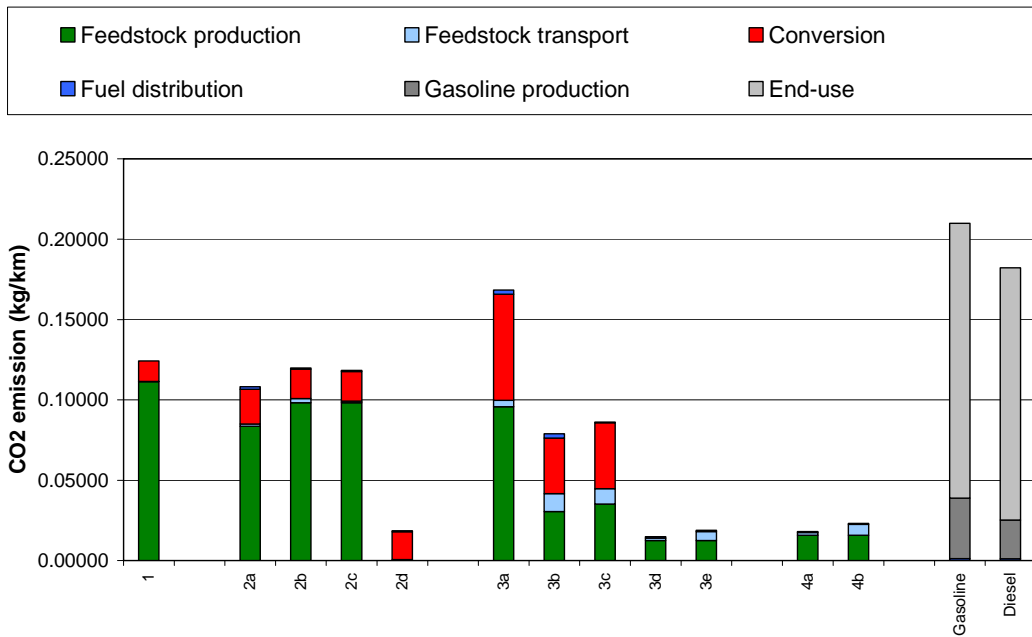


Fig 2 : Emissies van serregassen, vergeleken met fossiele emissies. 1: PPO, 2: Biodiesel vanaf koolzaad (a: lokaal, b: invoer, c: invoer van de olie, d: frituurolie), 3: Ethanol (a: graan, b: suikerbiet, c: invoer, d: SRF lokaal, e: invoer), 4=FT diesel (a: SRF lokaal, b: invoer).

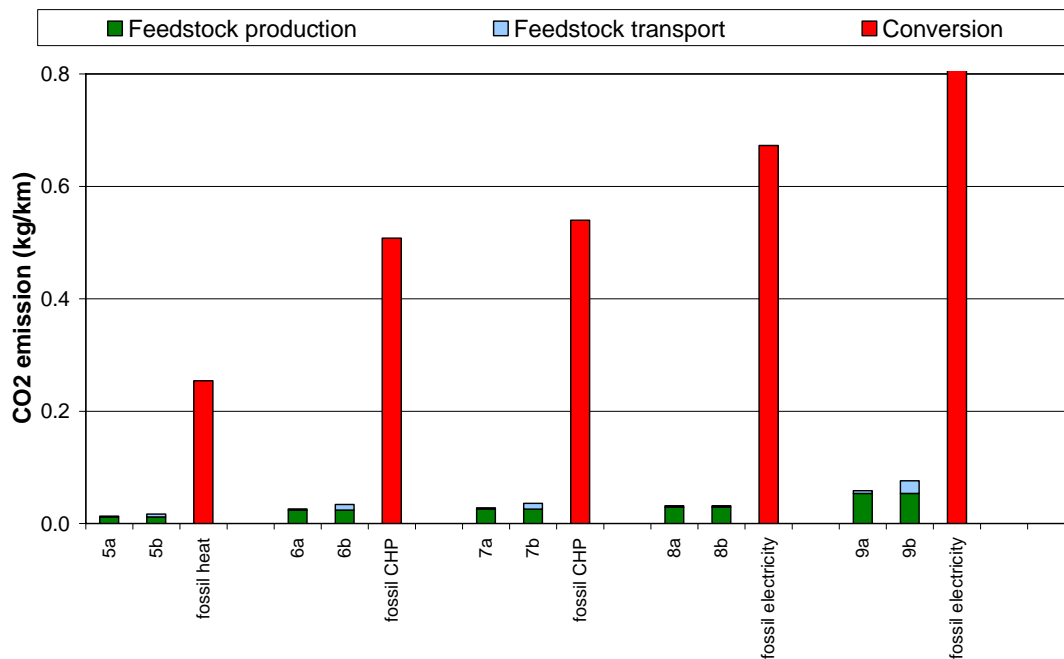


Fig 3 : Emissie van serregassen vergeleken met fossiele emissies. 5: verwarmingsketel, 6: ORC, 7: vast bed vergasser/zuigermotor, 8: co-verbranding, 9: stoomcyclus, a: SRF lokaal, b: invoer.

De conversie van hout tot diesel vergt zeer weinig energieverbruik omdat de residuele gassen tot warmte en elektriciteit worden gevaloriseerd. Warmte en warmtekrachtkoppeling (Figuur 3, 5 tot 7) worden vergeleken met aardgas als referentie voor verwarming, en met een mix van 30% steenkool en 70% aardgas voor elektriciteit. Alle beschouwde routes leiden tot zeer sterke reductie van de serregassen.

Figuur 4 toont een volledig LCA resultaat. Er wordt een relatieve vergelijking gemaakt voor 14 milieucriteria tussen het geval RME (linkerkolommen) en fossiele diesel (rechterkolommen). De hoogste emissie wordt telkens op 100% genormeerd. De twee linkse criteria zijn reeds besproken. Bij de overige is de toxiciteit de belangrijkste (in absolute waarden) en zijn de emissies vergelijkbaar. Bij de andere scoort de biodiesel minder goed maar deze hebben in absolute waarden weinig impact. Globaal gesproken is de LCA balans duidelijk in het voordeel van de biodiesel. De resultaten voor ethanol liggen in dezelfde lijn.

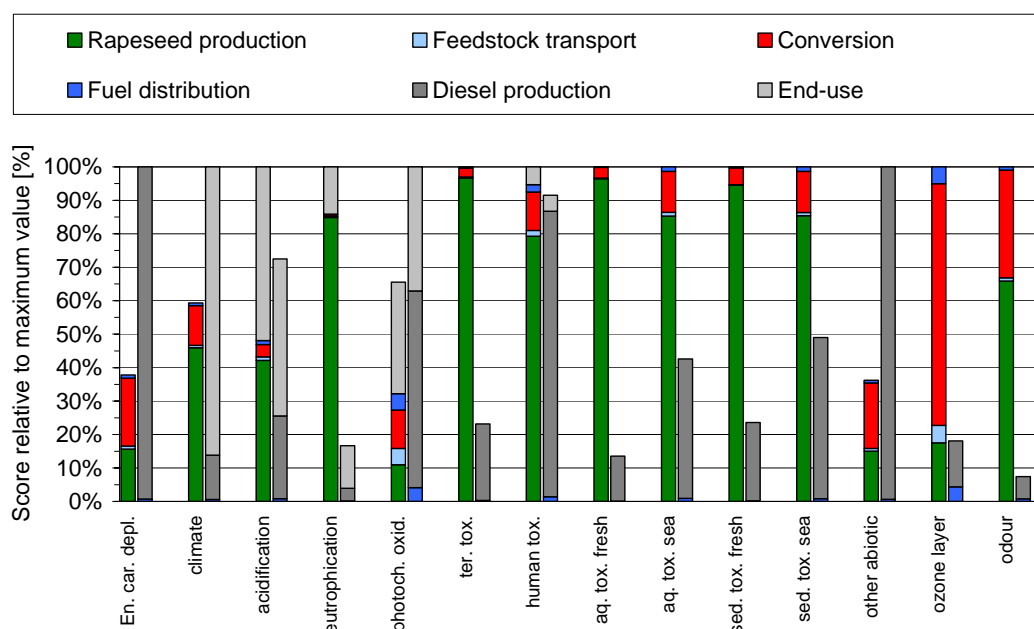


Fig 4 : LCA resultaten : vergelijking tussen biodiesel vanaf Belgische koolzaad (links) en fossiele diesel (rechts).

BALANSEN VAN ENERGIE EN SERREGASSEN VOOR BELGIË

LCA analyses beschouwen een volledige cyclus van bron tot een enkel hoofdproduct (in dit geval de biobrandstof of kilometers). Andere bijproducten worden in rekening gebracht via allocatie van 'credits' voor energie en CO₂. Dergelijke allocatie is steeds enigszins arbitrair (allocatie op basis van massa, energie, economische waarde,..) hetgeen een handicap is bij LCA. De resultaten zijn dan ook soms moeilijk te interpreteren. Bijgevolg werd een nieuw type analyse ingevoerd in het kader van dit project, namelijk System Perturbation Analysis (SPA). SPA berekent balansen over een welbepaald systeem (in casu België), waarbij alle elementen die het systeem beïnvloeden evenwaardig worden in rekening gebracht.

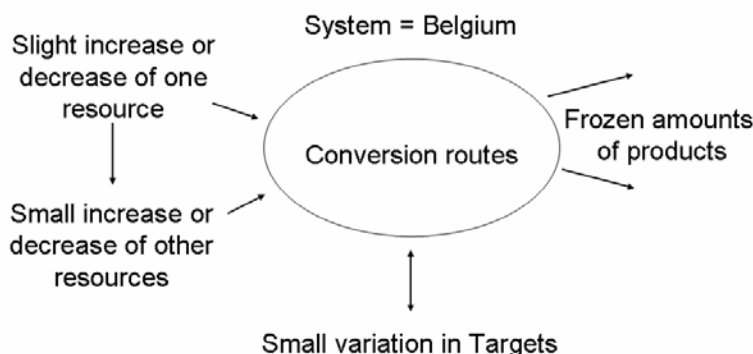


Fig 5 : System Perturbation Analysis.

Het principe van SPA is geïllustreerd in Figuur 5. Het beschouwde systeem gebruikt grondstoffen en zet ze om in een aantal producten via een aantal technologieën. Dit proces heeft een aantal gevolgen ('targets') zoals emissies van CO₂, kosten, tewerkstelling, etc.. Bij SPA wordt één van de grondstoffen verstoord (bijvoorbeeld een mindering van invoer van diesel). Dit leidt automatisch tot een verstoring van minstens één product (aantal km). SPA beschouwt dat de hoeveelheden producten ongewijzigd moeten blijven en deze verstoring moet gecompenseerd worden door een andere bron te verstoren (bijvoorbeeld meer koolzaad invoeren in de landbouw en biodiesel produceren). Dit leidt tot nieuwe verstoringen in de producten (raapkoek voor veevoeder), en nieuwe compensaties bij de grondstoffen (minder invoer van soja voor veevoeder), enz.. Wanneer alle verstoringen zijn gecompenseerd kan SPA de globale verstoring berekenen op de energiebalans, CO₂ emissies, kosten, tewerkstelling, enz.. SPA verschilt van LCA in die zin dat een systeem wordt geanalyseerd eerder dan een enkele route. Men kan in belangrijke mate het probleem van allocaties vermijden en de impact van een maatregel op het Belgische systeem exact berekenen. Conclusies kunnen verschillend zijn van LCA en verschillen van land tot land. Elke set van perturbaties vormt een 'scenario', waarvan er een zestigtal zijn gerealiseerd.

RESULTATEN EN DISCUSSIES

De resultaten van SPA zijn geïllustreerd in Figuren 6 tot 11. Een selectie van scenario's is gemaakt als volgt :

Biomassa rijk aan suiker :

- Graan voor ethanol, stro gebruikt voor bedding : het graan wordt in België geproduceerd op braakliggend land, het stro wordt aangewend voor bedding, minder stro wordt ingevoerd, de ethanol vervangt benzine, het residu (DDGS) wordt aangewend als veevoeder, minder veevoeder wordt ingevoerd.
- Graan voor ethanol, stro wordt gebruikt als brandstof : zoals het voorgaande, maar stro wordt gebruikt als energiebron binnen het proces ter vervanging van aardgas
- Graan voor ethanol, graan wordt ingevoerd : zoals het voorgaande, maar het graan wordt ingevoerd en er is geen stro (allocaties nodig voor het graan).
- Suikerbiet voor ethanol : de suikerbiet wordt in België geproduceerd op braakliggend land, de ethanol vervangt benzine, de pulp wordt gebruikt als veevoeder, minder veevoeder wordt ingevoerd.

- Ethanol ingevoerd : de ethanol wordt ingevoerd uit Brasilië en vervangt benzine (allocatie vereist).

Biomassa rijk aan olie :

- Koolzaad voor PPO : koolzaad wordt in België geproduceerd op braakliggend land en geperst voor productie van PPO om diesel te vervangen, de raapkoek wordt aangewend als veevoeder, minder veevoeder wordt ingevoerd.
- Koolzaad voor RME : koolzaad wordt in België geproduceerd op braakliggend land en omgezet in biodiesel om diesel te vervangen, de raapkoek wordt aangewend als veevoeder, minder veevoeder wordt ingevoerd, glycerine wordt op de markt gezet en minder glycerine wordt ingevoerd.
- Koolzaad voor RME, ingevoerd : zoals het voorgaande, maar de koolzaad wordt ingevoerd uit Frankrijk (allocatie vereist).
- Frituurolie voor FAME : afgewerkte frituurolie wordt omgezet in biodiesel om diesel te vervangen, glycerine wordt op de markt gezet en minder glycerine wordt ingevoerd.

Houtachtige biomassa :

- Hout voor co-verbranding, SRF : korte omloop hout wordt geproduceerd in België op braakliggend land, het hout wordt aangewend voor co-verbranding in een elektriciteitscentrale ter vervanging van steenkool.
- Hout voor warmtekrachtkoppeling, vergassing en zuigermotor, SRF : zelfde grondstof maar het hout wordt aangewend voor productie van warmte en elektriciteit in een vast bed vergasser en zuigermotor, ter vervanging van aardgas en elektriciteit (ingevoerd).
- Hout voor warmte, SRF : zelfde grondstof maar het hout wordt aangewend in een ketel voor productie van warmte ter vervanging van gasolie.
- Hout voor FT diesel, SRF : zelfde grondstof maar het hout wordt omgezet in biodiesel via Fisher-Tropsch synthese, ter vervanging van diesel. Er is een vermindering van invoer van gas en elektriciteit.
- Hout voor ethanol, SRF : zelfde grondstof maar het hout wordt omgezet in ethanol via hydrolyse, ter vervanging van benzine.

In Figuren 6 en 7 worden eerst resultaten getoond niet voor België, maar voor een systeem dat wereldwijd is uitgebreid. Deze resultaten moeten gelijkaardig zijn aan LCA resultaten en kunnen dienen ter validatie.

Figuur 6 toont de bekomen globale energetische rendementen. Dit rendement is gedefinieerd als de verhouding tussen alle vermeden fossiele energie tot de bruto hoeveelheid hernieuwbare energie die is gekweekt, rekening houdend met alle secundaire producten en effecten. Dit rendement toont in welke mate fossiele energie werkelijk wordt vervangen door hernieuwbare energie. Dit rendement dient dus minstens positief te zijn en liefst dicht bij 100% of zelfs meer. Volgens figuur 6 zijn alle rendementen positief en variëren tussen 45 tot 120%. Het hoogste cijfer wordt verkregen door combinatie van een laag energieverbruik bij korte omloop hout met de voordelen van warmtekrachtkoppeling. Koolzaad voor biodiesel en in grotere mate graan en suikerbiet voor ethanol verbruiken meer energie bij productie en omzet, leidend tot rendementen van 40 tot 60%. Indien men de restproducten aanwendt voor productie van warmte en kracht worden deze rendementen duidelijk beter.

Figuur 7 illustreert de overeenkomstige vermeden serregassen, uitgedrukt in kg CO₂eq per GJ reëel vermeden GJ fossiele energie. Voor referentie : fossiele energie emitteert tussen 56 kg/GJ voor aardgas en 96 kg/GJ voor steenkool. De vermeden CO₂ dient deze waarden te benaderen. De waargenomen waarden in Figuur 7 variëren tussen 42 en 102 kg/CO₂, hetgeen positief tot zeer positief is. Het beste resultaat wordt bekomen bij co-verbranding van hout in een steenkoolcentrale, door combinatie van een energiezuinige productie van de grondstof met rechtstreekse vervanging van de CO₂ intensieve steenkool.

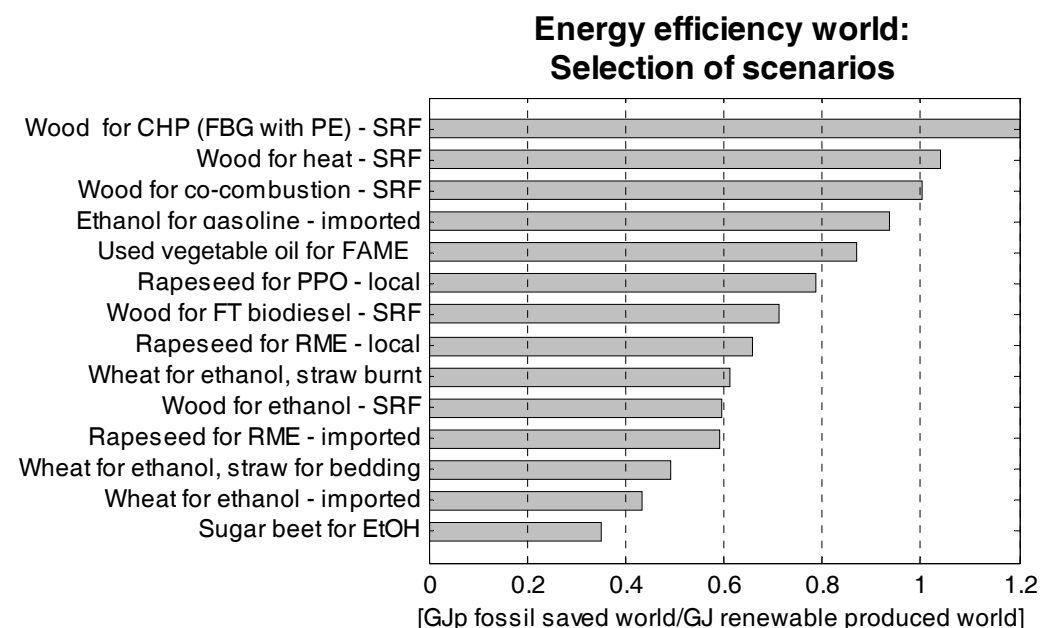


Fig 6 : SPA resultaten voor globale energetische rendementen.

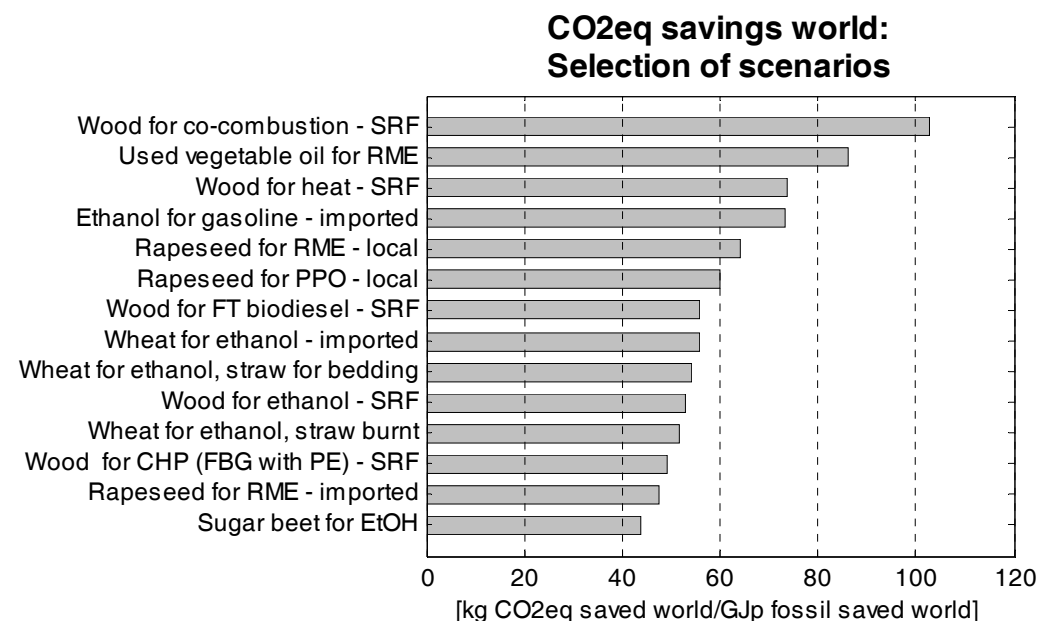


Fig 7 : SPA resultaten voor vermeden serregassen per GJ vermeden fossiele energie.

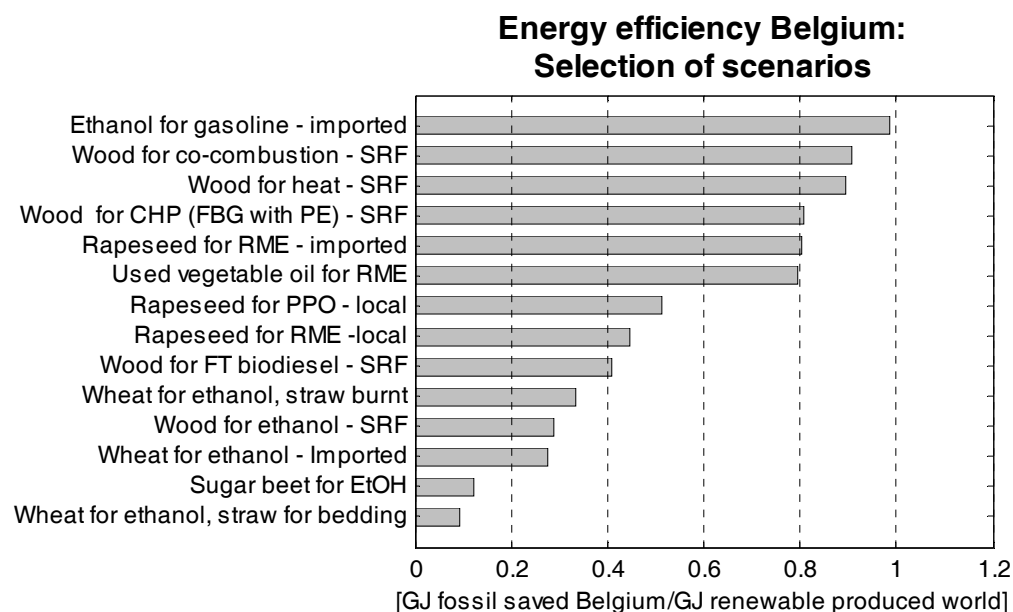


Fig 8 : SPA resultaten voor energetische rendementen in België.

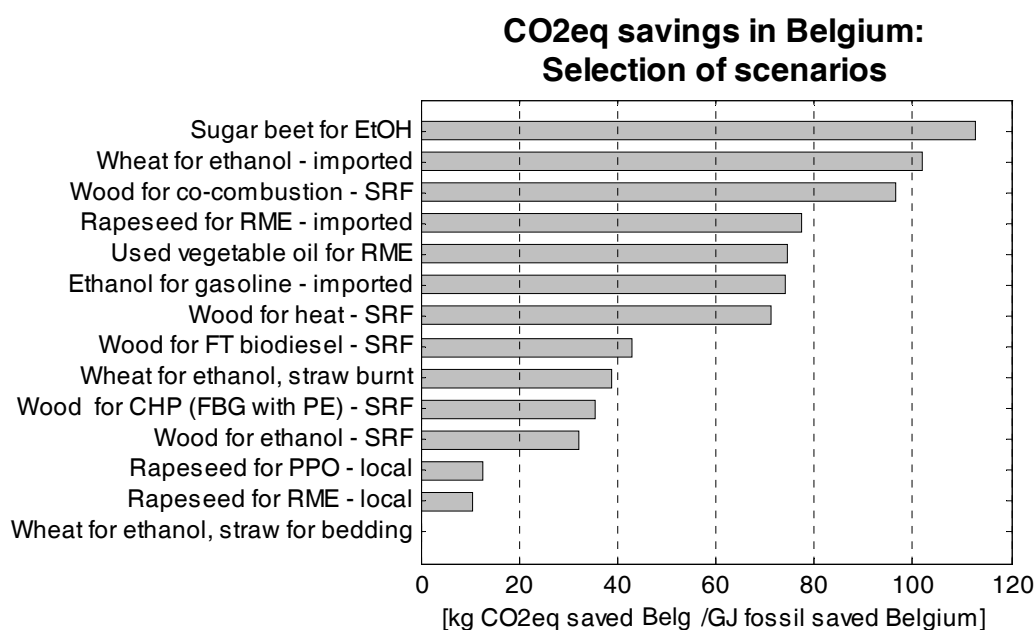


Fig 9 : SPA voor vermeden serregassen per vermeden GJ fossiele energie voor België.

Figuren 8 en 9 illustreren de overeenkomstige resultaten voor het Belgische systeem. Figuur 8 toont de verhouding tussen de totaal vermeden invoer van fossiele energie en de bruto gekweekte of ingevoerde hernieuwbare energie. De meeste rendementen zijn lager dan deze in Figuur 6 : zij variëren nu van 10 tot 90%. Deze verscheidenheid en verlaging zijn te wijten aan het feit dat België netto invoerder is van elektriciteit, graan, koolzaad en veevoeder. De overeenkomstige winsten bevinden zich buiten België waardoor rendementen dalen. Via dezelfde redenering scoren de scenario's met ingevoerde biomassa beter dan de andere : de lasten zitten ditmaal in het buitenland en de lusten in België.

Gelijkaardige conclusies worden gevonden in Figuur 9 voor de serregassen. Invoer scenario's zijn beduidend beter : dit is een pervers effect dat in principe moet gecompenseerd worden door CO2 trading. Omgekeerd leidt lokale productie tot slechts weinig CO2eq winst door een gecombineerd effect van hoge CO2 en N2O emissie bij landbouw en minder invoer van veevoeder. Suikerbiet toont een iets beter resultaat dat eerder te wijten is aan een lager rendement.

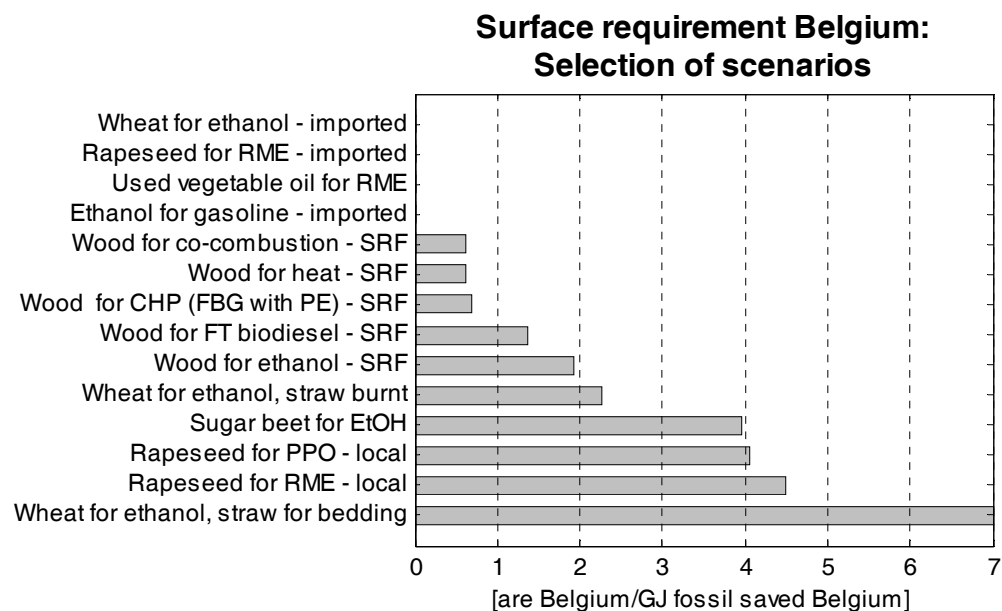


Fig 10 : Vereiste oppervlakte voor vermijden van een GJ fossiele energie in België.

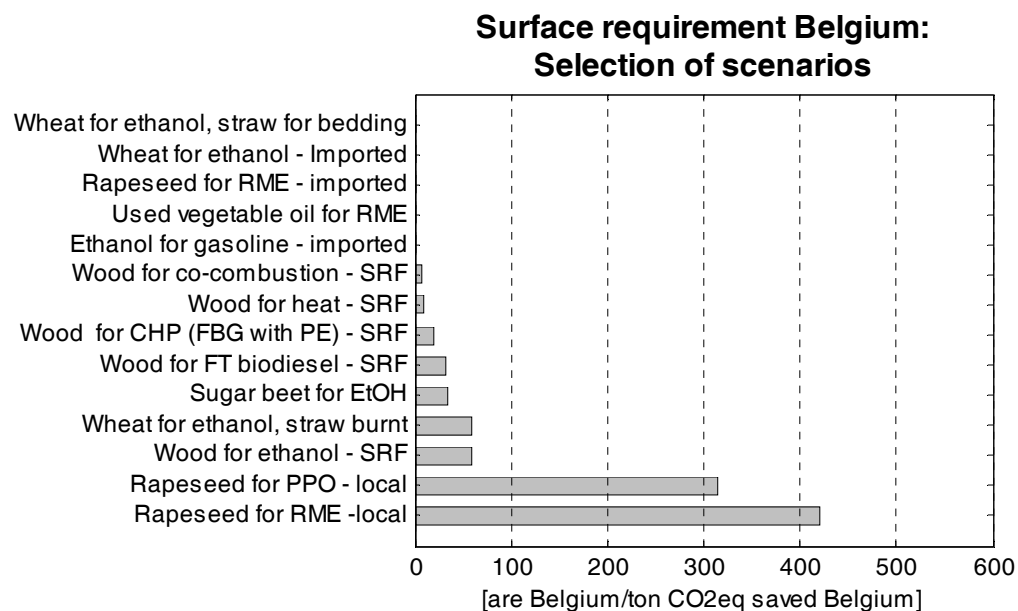


Fig 11 : Vereiste oppervlakte voor vermijden van een ton CO2eq in België.

Figuren 10 en 11 tonen de vereiste arealen nodig om 1 GJ fossiele energie te vervangen, en om 1 ton CO₂eq te vermijden, in België. Deze resultaten kunnen belangrijk zijn gelet op de beperkte beschikbare oppervlakte in het land. De resultaten liggen strekt uit elkaar, in het bijzonder voor CO₂eq. Dit is te wijten aan een gecombineerd effect van opbrengst per ha, omzetrement en vermeden CO₂. Hout voor co-verbranding scoort hoog voor de drie criteria en leidt tot een zeer lage vereiste in oppervlakte. Graan en koolzaad gaan geheel in de andere richting. Kweken van hout blijft evenwel een vrij onzekere optie.

CONCLUSIES

Er is aangetoond dat de beschikbare landbouw- en bosarealen in België slechts enkele procenten van onze energiebehoefte kunnen dekken. Dit is te wijten aan een hoge vraag per oppervlakte in België gekoppeld aan een eerder beperkte beschikbaarheid. De beschikbaarheid van biomassa in Europa en wereldwijd biedt ruimere mogelijkheden en omvangrijke invoer van biomassa is dan ook zeer waarschijnlijk.

De globale energiebalansen en emissies van serregassen zijn in het algemeen positief tot zeer positief, op voorwaarde dat men rekening houdt met alle secundaire producten en effecten. De balansen op het Belgische niveau zijn minder gunstig als gevolg van de structuur van in- en uitvoer. Op dit vlak is het aan te bevelen de verstoringen van de markten voor graan, veevoeder en elektriciteit verder te onderzoeken.

Het gebruik van hout blijkt een aantrekkelijke route te zijn in termen van opbrengst, rendement en vermeden CO₂. Korte omloop hout is evenwel nog ver van beschikbaar en tot nader order moeten de ambities voor vloeibare biobrandstoffen gerealiseerd worden met in hoofdzaak granen, koolzaad en suikerbiet.