

## RESUME EXECUTIF

---

### ABSTRACT

L'objectif de ce projet est d'analyser et de comparer les utilisations les plus prometteuses des ressources limitées de biomasse en Belgique. La quantité de biomasse domestique est présentée en termes de surfaces disponibles pour l'agriculture et l'exploitation forestière, et en termes de flux de résidus. Les utilisations potentielles des ressources (surfaces en particulier) sont ensuite comparées en termes de rendement énergétique global, surfaces requises, balances de gaz à effet de serre et dans une certaine mesure des analyses de cycles (LCA). Une nouvelle méthode dénommée « System Perturbation Analysis » (SPA) a été développée à la VUB afin de déterminer l'impact sur le système belge. Les différentes possibilités d'utiliser le bois soit dans le transport, soit dans la production de chaleur et/ou électricité sont finalement comparées.

### DISPOSONS-NOUS DE SUFFISAMMENT DE BIOMASSE ?

Déterminer la quantité de biomasse disponible est une tâche hasardeuse étant donné la variété et la disparité des ressources en biomasse, dans un contexte social, juridique et économique très incertain.

D'après la littérature, les définitions suivantes des potentiels peuvent être données :

- Le potentiel théorique est défini comme la production annuelle totale et non limitée de toutes les ressources. Il représente la quantité totale de biomasse qui croît dans une région et peut être considéré comme la limite supérieure.
- Le potentiel technique est la production totale possible en tenant compte de toute sorte de contraintes techniques.
- Le potentiel social tient compte de la valeur donnée par la société à la biomasse et définit les limites sociales acceptables.
- Le potentiel réalisable représente le potentiel qui tient compte de programmes de promotion. Il est exprimé en termes de croissance possible.

Une partie de ces potentiels provient des surfaces agricoles (1400 kha) et forestières (700 kha) disponibles en Belgique. Les forêts se situent principalement en Wallonie. La surface agricole est mieux répartie mais également plus importante en Wallonie. D'après cette étude, la surface requise pour remplacer une partie limitée des quelques 400 PJ de carburant fossile liquide annuels en Belgique peut se résumer dans la Table 1. La surface requise pour les principaux carburants (éthanol, biodiesel) se situe entre 10 et 40 kha par PJ remplacé. La Table 1 indique que 5 à 10% de la surface agricole est nécessaire pour chaque pourcent de remplacement au niveau de la voiture. Il faut insister sur le fait que remplacer 1 PJ à ce niveau ne signifie pas l'économie de 1 PJ au niveau global, comme il sera clarifié au cours de ce projet. La Table 2 résume les estimations 'acceptables' des surfaces disponibles pour la culture énergétique. Les taillis à courte rotation nécessiteront encore beaucoup de temps pour pénétrer le marché étant donné les risques (engagement sur 20 ans), le manque d'expérience et l'incertitude juridique et économique pour le fermier.

Les Tables 1 et 2 indiquent que d'autres ressources sont nécessaires pour atteindre des taux de biocarburant plus élevés. Les surfaces requises peuvent néanmoins diminuer dû à une amélioration continue des taux de production par hectare grâce aux développements en biotechnologie. Un doublement des taux est envisageable à long terme. Le développement des tailles à courte rotation (Short Rotation Forestry ou SRF) peut augmenter le potentiel de façon significative mais l'utilisation du bois pour des carburants liquides entre en compétition avec d'autres filières comme la production de chaleur et/ou d'électricité, les matériaux de construction et autres bio-matériaux comme le bio-plastique.

La Table 3 résume les potentiels globaux observés dans ce projet. Ces montants sont insuffisants pour couvrir les ambitions d'utilisation de biomasse dans le transport, la chaleur et l'électricité. Une importation accrue de biomasse venant d'Europe voire d'outre-mer est donc plus que probable.

La situation en Europe présente une meilleure balance entre les quantités disponibles et requises, ce qui signifie que l'Europe dépendra moins des importations.

kha/PJ liquide	but 2%	but 5.75%	but 10%
10	5.9%	16.5%	28.5%
40	23%	66%	114%

Table 1: Surfaces requises en utilisant seulement la surface agricole. Pourcentages de la surface pour couvrir un pourcentage de 400 PJ/an de demande en carburant liquide.

année	Colza	Céréales	Betterave	Taillis à courte rotation	Total
2010	0.5%	2.1%	1.1%	-	2.7%
2015	1.1%	4.8%	2.6%	0.01%	8.5%

Table 2: Estimation des surfaces acceptables pour la culture énergétique, pourcentages de surface totale agricole.

PJ/an	2005	2010	2015
Potentiel biomasse technique	36	39	58
Potentiel biomasse social acceptable	11	21	43
Potentiel réalisable	2.7	8.6	32

Table 3: Potentiels technique, social et réalisable en Belgique.

## SELECTION DE FILIERES BIOMASSE

La Figure 1 résume la plupart des filières possibles pour remplacer des carburants fossiles par de la biomasse dans les secteurs transport et énergie. L'hydrogène pour les piles à combustible et d'autres filières plus exotiques ne sont pas (encore) pris en considération. A ce jour, les analyses ont été faites pour les filières considérées comme les plus importantes à court et moyen termes (lignes en gras).

Parmi ces filières certaines sont encore en phase de démonstration (Fisher-Tropsch et hydrolyse du bois) mais elles sont considérées comme prometteuses à moyen terme. Il a été décidé de ne pas considérer le biogaz, l'hydrogène et le diméthylester (DME), L'hydrogène et le DME sont des filières improbables avant 2040. Le biogaz semble peu probable pour des applications motrices en Belgique mais cette filière offre des avantages pour certains flux de biomasse et applications en production d'énergie. Force est également de constater que les carburants liquides s'utilisent de façon croissante pour la production de chaleur et en cogénération.

Le bioéthanol est un alcool éthylique de fermentation qui peut se transformer en ETBE (Ethyl-Tri-Butyl Ether) par réaction avec de l'iso-butylène fossile. L'éthanol peut remplacer une quantité limitée d'essence tandis que l'ETBE peut remplacer le MTBE (à base de méthanol fossile) pour augmenter le nombre d'octane. L'éthanol à l'état pur peut endommager certaines parties du moteur (plastiques, aluminium, magnésium). La fermentation, la distillation et le séchage sont des consommateurs d'énergie qui réduisent le rendement de la filière, sauf si on utilise au maximum tous les produits secondaires comme ressource d'énergie (paille, tourteaux,...). La production d'éthanol à partir de céréales et de betteraves produit une quantité considérable de résidus riches en protéines utilisables comme aliments pour animaux. La quantité d'énergie dans ces résidus représente près de la moitié de l'énergie contenue dans la biomasse utilisée. Il est donc impératif de considérer cette énergie résiduelle dans tout exercice de rendement ou de balance énergétique en biocarburants.

L'huile végétale pure (PPO ou Pure Plant Oil) est facile à produire mais des adaptations du moteur sont requises dès qu'on en ajoute plus de 50% au diesel (ajouter plus que 5% met déjà le carburant hors normes). Le biodiesel a des propriétés beaucoup plus proches du diesel conventionnel mais dépasser un taux de 30% peut entraîner un endommagement par corrosion. La fabrication du biodiesel se fait par transestérification qui est un procédé bien maîtrisé et utilisé à large échelle. En général, le biodiesel est dénommé FAME (Fatty Acid Methyl Ester). S'il provient du colza, il est également dénommé RME (Rapeseed Methyl Ester); il peut toutefois provenir de n'importe quelle huile végétale fraîche ou même utilisée. La transformation utilise du méthanol et produit de la glycérine qui peut soit être mise sur le marché (cosmétique, peinture,...), soit être utilisée localement comme carburant.

Le biodiesel peut également être produit à partir du bois par gazéification, nettoyage des gaz et synthèse Fischer-Tropsch. Ce procédé est encore en phase de démonstration (du moins pour la biomasse). Les étapes critiques sont l'intégration de la gazéification et le nettoyage des gaz de synthèse. Le biodiesel résultant peut être utilisé indistinctement. Des additifs peuvent néanmoins être requis pour satisfaire à toutes les normes.

Le bois peut finalement être utilisé pour la production de chaleur et d'électricité dans des filières sélectionnées qui sont la co-combustion dans des centrales à vapeur (Ruien), la combustion à 100% dans des cycles à vapeur (Les Awires), la production pure de chaleur (chaudières à bois) et la cogénération dans des petites unités comme le cycle ORC (Organic Rankine Cycle, Turboden) et la gazéification sur lit fixe et moteur à piston (Xylowatt).

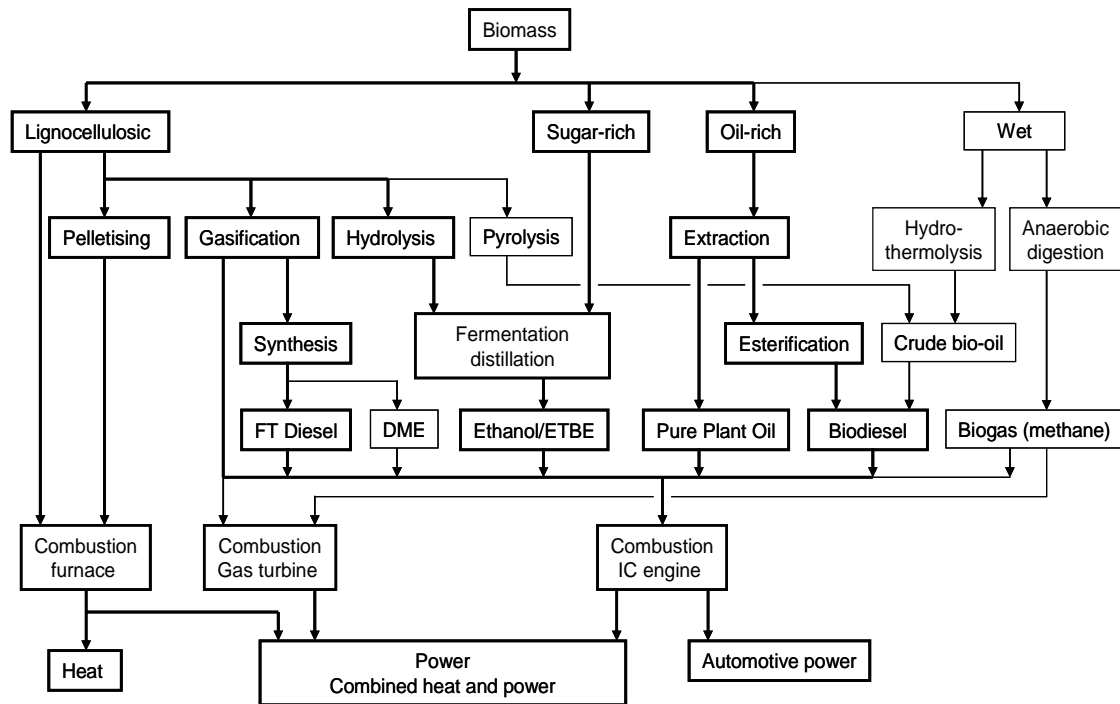


Fig 1 : Filières principales d'utilisation de la biomasse pour le transport, la production de chaleur et d'électricité. Les lignes en gras sont considérées dans le projet.

## CYCLE DE VIE (LCA) ET BALANCES DES GAZ A EFFET DE SERRE

Des consommables sont utilisés et des polluants sont émis durant tout le cycle de vie de tout carburant utilisé à des fins énergétiques. Le LCA calcule tous ces éléments dans les différentes parties du cycle, qui sont la production de la biomasse, le transport des matériaux et produits, la conversions et l'utilisation finale.

Les balances globales des différentes filières ont été faites et dans trois des cas (éthanol à partir de céréales et de betterave, biodiesel à partir de colza), une analyse LCA complète a été réalisée en incluant les autres impacts environnementaux comme l'acidification, l'eutrophisation, la toxicité, l'impact sur l'ozone et le smog photochimique.

Les balances des gaz à effet de serre (GES) sont résumées dans les Figures 2 et 3. Toutes les analyses conduisent à une réduction des GES. Le colza (PPO et biodiesel, 1 et 2a-c) réduit les GES de 40% environ, les émissions étant principalement dues à la production agricole (fertilisants et N2O en particulier). L'huile utilisée (2d) étant un résidu, le CO2 n'est pas pris en compte. Le bioéthanol présente des résultats variés : à partir de céréales (3a) la réduction en CO2 est limitée suite à la conversion énergivore, la betterave donne un résultat légèrement meilleur. Le meilleur résultat pour l'éthanol est observé en utilisant le bois comme ressource, tandis que le procédé Fisher-Tropsch (4) réduirait les GES de 90%.

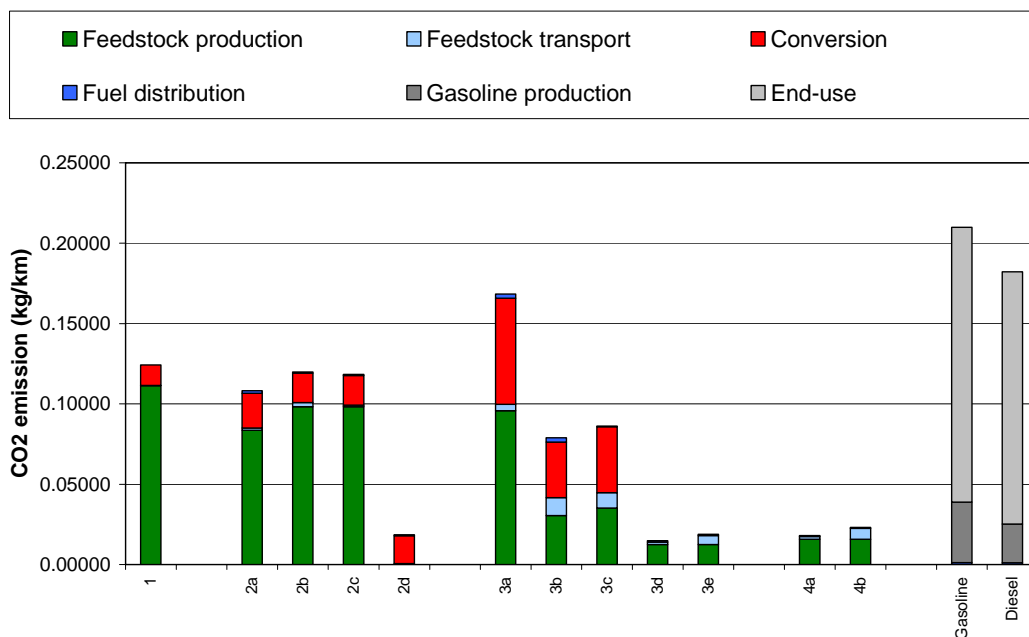


Fig 2 : Emission de GES, en comparaison aux carburants fossiles. 1: PPO, 2: Biodiesel de colza (a: local, b: colza importé, c: huile importée, d: huile usagée), 3: Ethanol (a: céréales, b: betterave, c: éthanol importé, d: SRF local, e: bois importé), 4=FT diesel (a: SRF local, b: bois importé).

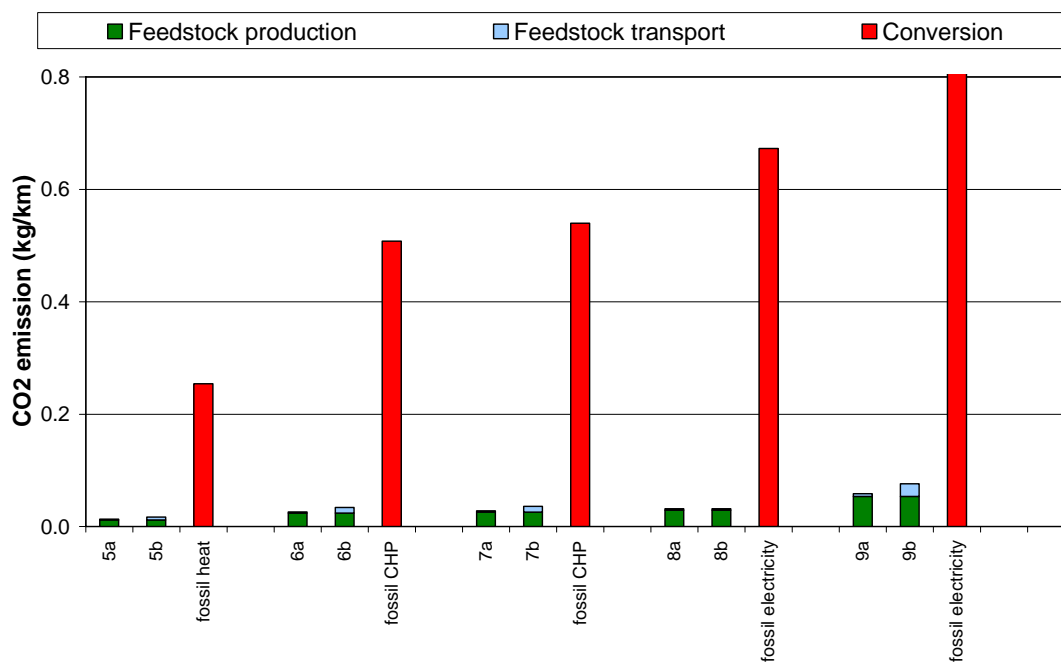


Fig 3 : Emission de GES, en comparaison aux carburants fossiles. 5: chaudière, 6: ORC, 7: gazéification/piston, 8: co-combustion, 9: centrale vapeur, a: SRF local, b: bois importé

La conversion du bois en diesel ne consomme pratiquement pas d'énergie du fait que tous les gaz résiduels sont transformés en chaleur et en électricité et récupérés. Les filières chaleur et cogénération (Figure 3, cas 5 à 7) sont comparées à des filières gaz naturel comme référence, les filières électricité sont comparées à des filières 30% charbon et 70% gaz naturel. Toutes les filières biomasse donnent lieu à des réductions de GES très élevées.

La Figure 4 illustre un des résultats LCA. Une comparaison relative entre le cas du RME (colonnes de gauche) et le diesel fossile (colonnes de droite) est faite pour chacun des 14 critères environnementaux, l'émission la plus forte étant normalisée à 100%. Les deux critères de gauche ont déjà été discutés. Parmi les autres critères, la toxicité est le plus important (en termes absolus) et les deux filières sont comparables. Le biodiesel montre des résultats négatifs pour la plupart des autres critères mais en termes absolus ceci a un impact très limité. Globalement, la balance LCA est nettement en faveur du biodiesel. Les résultats pour l'éthanol sont similaires.

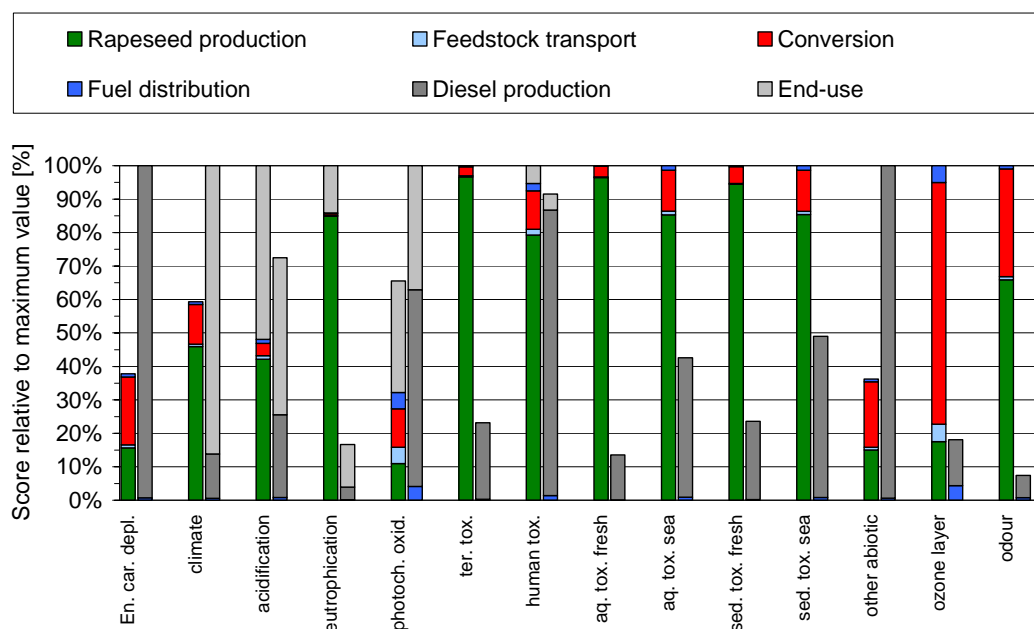


Fig 4 : Résultats LCA comparant le biodiesel à partir de colza cultivé en Belgique (gauche) au diesel fossile (droite).

## BALANCES ENERGETIQUES ET GES AU NIVEAU BELGE

Les analyses LCA considèrent une filière dans sa totalité et visent un produit principal (en l'occurrence le biocarburant). Les produits secondaires sont tenus en compte par allocation de 'crédits' d'énergie et de CO<sub>2</sub>. Cette allocation est toujours assez arbitraire (allocation par masse, énergie, valeur économique...) et représente un désavantage qui rend l'interprétation des résultats parfois difficile. En conséquence, un nouveau type d'analyse a été introduit dans le cadre du projet Libiofuels. Cette analyse baptisée « System Perturbation Analysis » (SPA) consiste à réaliser des balances globales sur un système bien défini (par exemple la Belgique), en considérant tous les éléments qui interviennent quand on perturbe un des rouages du système.

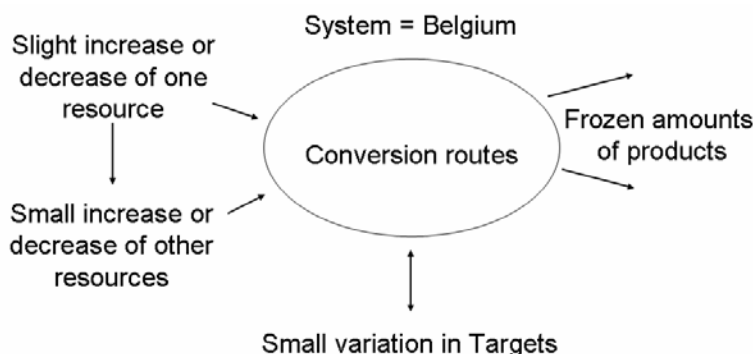


Fig 5 : System Perturbation Analysis.

La Figure 5 illustre le principe. Le système utilise un certain nombre de ressources qui conduisent à des produits au moyen de filières diverses. Ceci induit des impacts (appelés 'targets') comme les émissions de GES, des coûts, de l'emploi, etc. En SPA, une des ressources est perturbée (par exemple, une réduction d'importation de diesel). Ceci induit automatiquement une perturbation d'au moins un produit (des km) et probablement de plusieurs autres produits. Le SPA considère que les consommations des produits ne doivent pas varier et il faut donc compenser en perturbant une autre ressource (par exemple perturber l'agriculture en utilisant du colza pour faire du biodiesel et compenser le diesel). Cette perturbation va à son tour perturber d'autres produits (tourteaux), ce qui appelle une autre perturbation des ressources (réduire l'importation de soja), etc. Quand toutes les perturbations sont compensées, le SPA calcule facilement la perturbation engendrée sur l'utilisation globale d'énergie, les émissions de GES, les coûts, l'emploi, etc. Le SPA diffère du LCA en ce sens que l'on analyse un système complet plutôt que de comparer deux filières simples. On peut éviter dans une large mesure le problème des 'allocations' et quantifier l'impact des mesures pour le biocarburant sur le système belge et ses obligations Kyoto. Les conclusions peuvent donc être différentes du LCA et différer d'un pays à l'autre. Chaque set de perturbations devient un 'scénario', dont une soixantaine ont été réalisés.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Des résultats du SPA sont présentés aux Figures 6 à 11. Une sélection de scénarios a été faite comme suit :

Filières de biomasse riches en sucre :

- Froment pour éthanol, paille utilisée comme litières : le froment est produit en Belgique sur des terres en jachère, la paille est utilisée pour des litières et compense une importation de paille. L'éthanol remplace de l'essence dans des voitures. Le résidu (DDGS) est utilisé comme aliment pour bétail, réduisant son importation.
- Froment pour éthanol, paille utilisée comme combustible : comme précédemment mais la paille est utilisée dans une chaudière pour produire de la chaleur, réduisant l'importation de gaz naturel.
- Froment pour éthanol, froment importé : comme précédemment mais le froment est importé (allocation nécessaire).

- Betterave pour éthanol : la betterave est produite en Belgique sur des terres en jachère, l'éthanol remplace de l'essence dans des voitures. Le résidu (pulpe) est utilisé comme aliment pour bétail, réduisant son importation.
- Ethanol importé : l'éthanol est importé du Brésil et remplace de l'essence dans des voitures (allocation nécessaire).

#### Biomasse riche en huiles :

- Colza pour PPO : le colza est produit en Belgique sur des terres en jachère et pressé pour fabriquer du PPO qui remplace du diesel. Le résidu (tourteaux) est utilisé comme aliment pour bétail, réduisant son importation.
- Colza pour RME : le colza est produit en Belgique sur des terres en jachère et converti en biodiesel par estérification. Les tourteaux sont utilisés comme aliment pour bétail, réduisant son importation. La glycérine est vendue sur le marché, réduisant son importation.
- Colza pour RME - importé : comme précédemment mais le colza est importé de France.
- Huiles usagées pour FAME : l'huile de friture usagée est convertie en biodiesel par estérification pour remplacer du diesel. La glycérine est vendue sur le marché, réduisant son importation.

#### Biomasse lignocellulosique

- Bois pour co-combustion - SRF : du taillis à courte rotation (SRF) est produit en Belgique sur des terres en jachère, pour utilisation en centrale de co-combustion en remplacement de charbon importé.
- Bois pour cogénération (CHP), gazéification et moteur - SRF : même ressource mais le bois est utilisé pour de la cogénération de chaleur et d'électricité par gazéification en lit fixe et moteur à piston, en remplacement d'importations de gaz et d'électricité (La Belgique est un importateur net d'électricité).
- Bois pour chaleur - SRF : même ressource mais le bois est simplement brûlé dans une chaudière à bois moderne, en remplacement de gazole.
- Bois pour FT biodiesel - SRF : même ressource mais le bois est transformé en biodiesel par le procédé Fisher-Tropsch pour remplacer du diesel fossile.
- Bois pour éthanol - SRF : même ressource mais le bois est transformé en éthanol par le procédé d'hydrolyse pour remplacer de l'essence.

Les Figures 6 et 7 commencent par montrer des résultats obtenus non pas en Belgique, mais sur un système étendu pratiquement au niveau mondial. Ces résultats doivent être assez similaires aux analyses LCA et peuvent donc servir à des fins de validation.

La Figure 6 montre le rendement énergétique des cas sélectionnés. Ce rendement est défini comme le rapport entre toute l'énergie fossile évitée de par le monde et la quantité d'énergie renouvelable produite sur le champ, en tenant compte de tous les produits et effets secondaires. Ces résultats montrent dans quelle mesure l'énergie fossile est réellement remplacée par du renouvelable : ce rendement doit être positif et de préférence proche de 100%, voire même supérieur. Apparemment, tous ces rendements sont positifs et varient de 45 à 120%. Un tel rendement est possible en combinant des taillis à courte rotation, peu énergivores, aux avantages de la cogénération. Le colza et en particulier le froment et la betterave pour l'éthanol sont plus énergivores, donnant des rendements de 40 à 60%. En utilisant tous les résidus comme combustible, ces rendements deviennent nettement meilleurs.



La Figure 7 montre les économies de CO2 correspondantes, exprimées en kg de CO2 évités par GJ primaire d'énergie fossile évitée. Pour référence : les émissions fossiles varient de 56 kg/GJ pour le gaz naturel à 96 kg/GJ pour le charbon. Les résultats doivent donc être au moins positifs et proches des valeurs fossiles si possible. Les valeurs observées varient de 42 kg/GJ à 102 kg/CO2, ce qui est globalement un résultat très positif. Le meilleur résultat est obtenu en co-combustion ce qui s'explique par le remplacement de charbon combiné à un très bon rendement de remplacement.

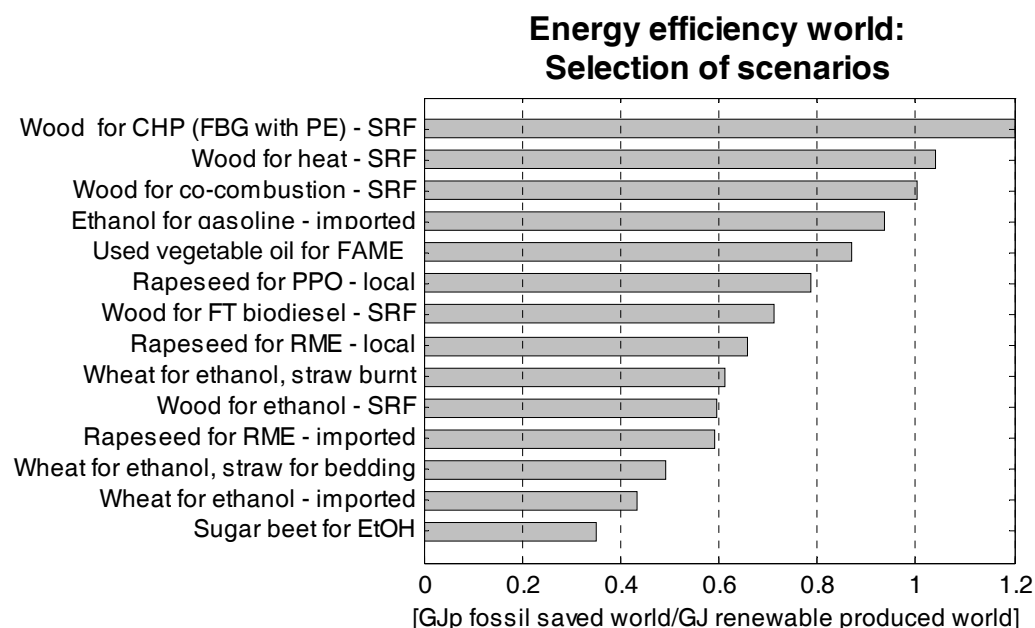


Fig 6 : Résultats SPA pour le rendement énergétique global.

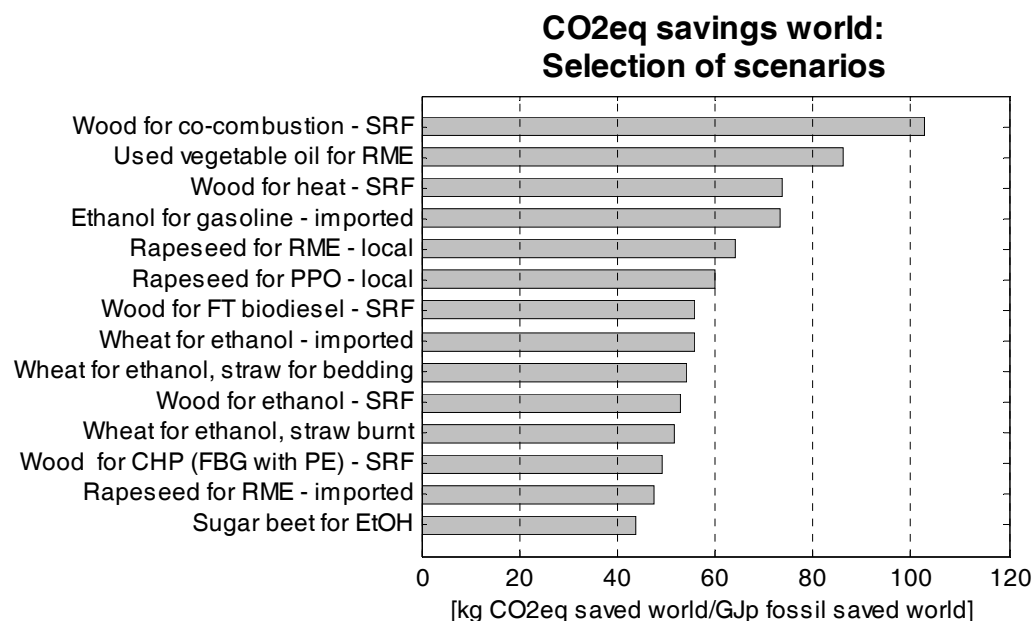


Fig 7 : Résultats SPA pour les économies de GES par GJ fossile évité.

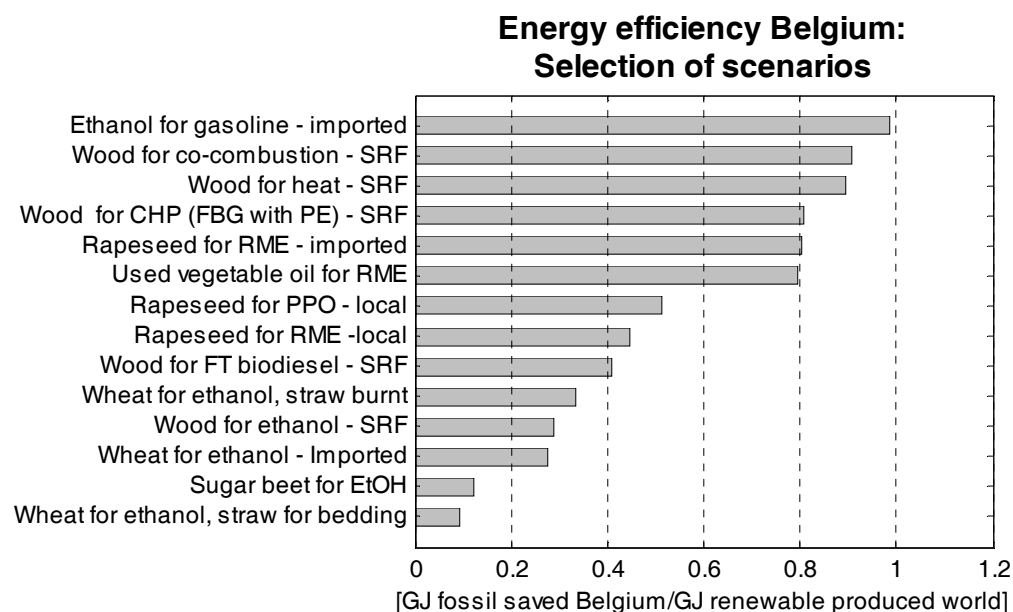


Fig 8 : Résultats SPA pour le rendement énergétique pour le système belge.

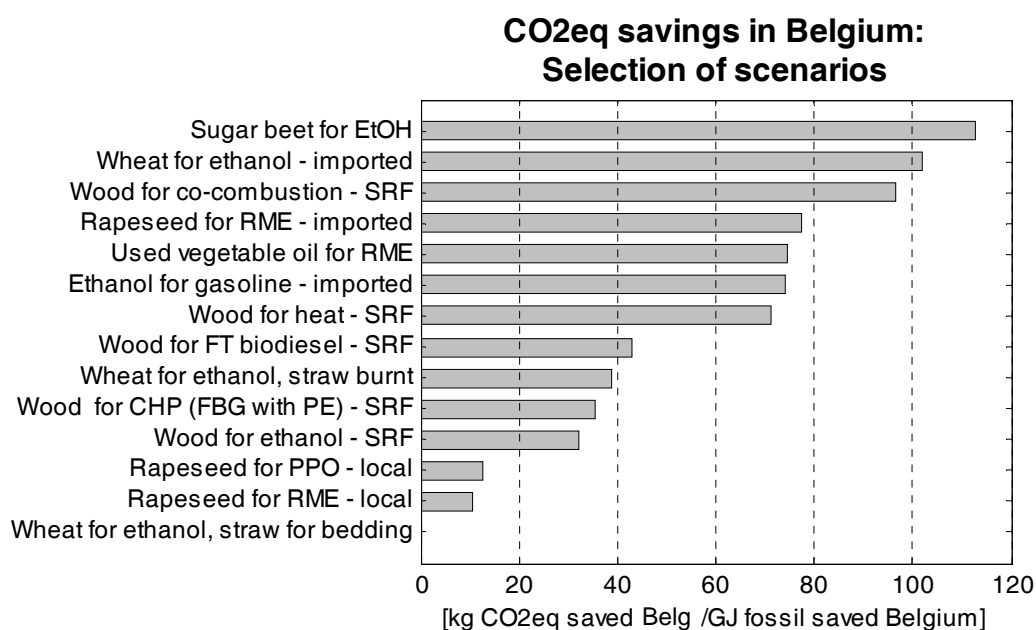


Fig 9 : Résultat SPA pour GES évités en CO2eq par GJ d'énergie fossile évité en Belgique.

Les Figures 8 et 9 montrent les résultats correspondants pour le système belge. La Figure 8 représente le rapport entre l'énergie fossile économisée au niveau des importations et l'énergie renouvelable brute cultivée ou importée. La plupart des rendements sont réduits par rapport à la Figure 6 : ils varient de 10% à un peu plus de 90%. Ces disparité et réduction sont dues au fait que la Belgique est un importateur net d'électricité, de froment, colza et d'aliments pour animaux. Les gains correspondants se situent hors de la Belgique ce qui explique le rendement réduit. Suivant le même raisonnement, les scénarios 'importation' ont un meilleur score parce que les efforts se situent hors du pays, avec un bénéfice à l'intérieur.

Des conclusions similaires apparaissent dans la Figure 9 pour les GES où les scénarios d'importation sont nettement meilleurs. Ceci est un effet pervers qui en principe devrait se compenser par le commerce de crédits CO2 au niveau international. La production locale combinée à une réduction d'importation d'aliments pour animaux conduit au contraire à des économies de CO2 très faibles, dû aux effets d'importation combinés à une forte émission de N2O durant la culture. La betterave montre un meilleur résultat mais ceci est plutôt dû au rendement peu élevé.

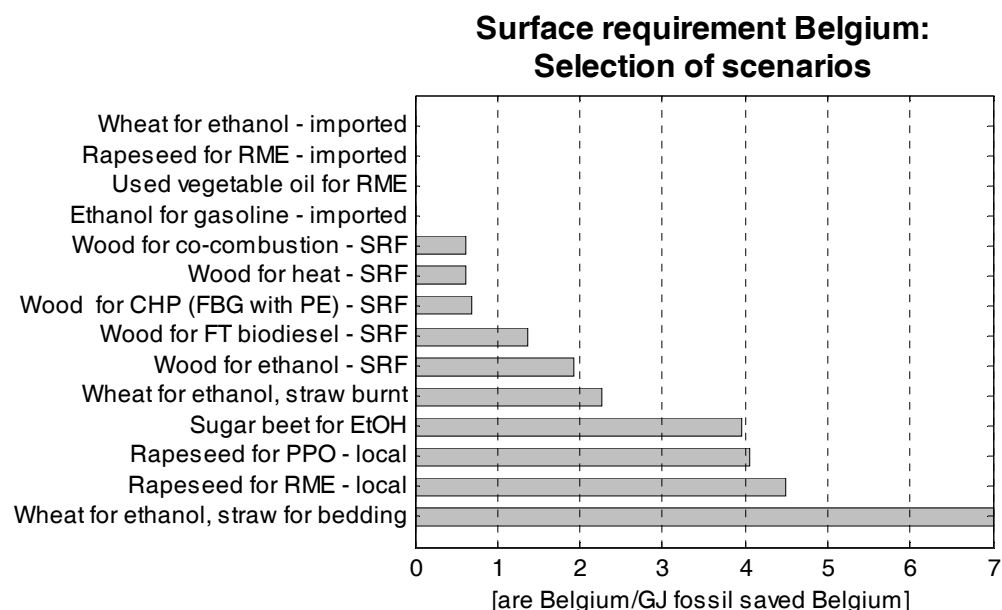


Fig 10 : Surface requise par GJ évité en Belgique.

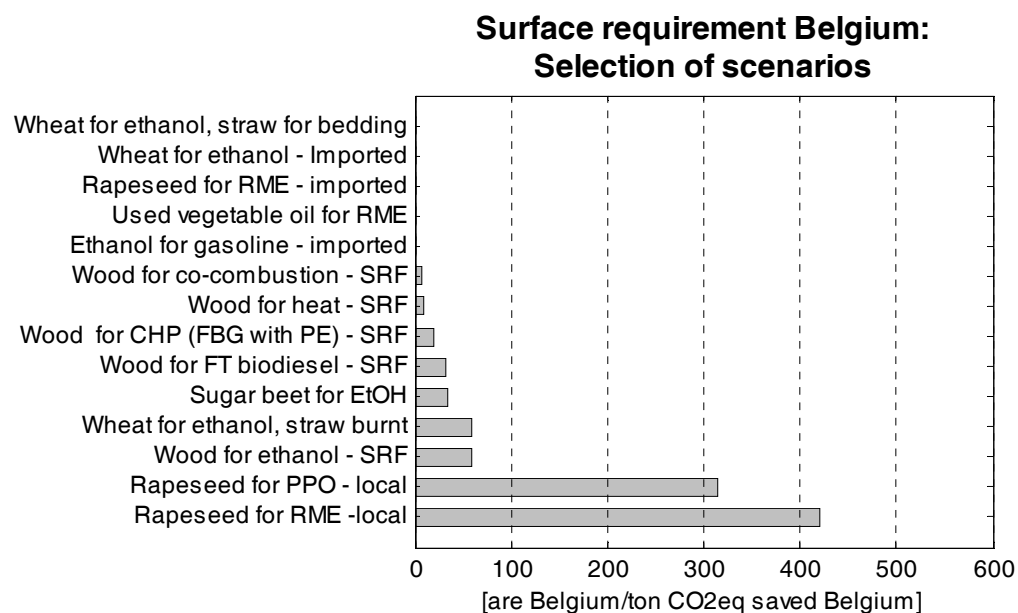


Fig 11 : Surface requise par tonne de CO2eq évitée en Belgique.

Les Figures 10 et 11 montrent les surfaces requises par GJ fossile et tonne de CO<sub>2</sub> évités en Belgique, ce qui a son importance du fait que la surface est très limitée. La disparité des résultats est très importante suite à la combinaison de taux de production par surface, rendements et d'émissions de GES évités. Le bois pour l'énergie combine des valeurs élevées pour les trois critères ce qui explique des surfaces requises limitées, le froment et le colza font tout le contraire. Malheureusement, les tailles à courte rotation sont loin d'une application poussée.

## **CONCLUSIONS**

Il est démontré que les surfaces agricoles et forestières disponibles en Belgique ne peuvent couvrir que quelques pourcents de notre consommation énergétique. Ceci est dû à une forte demande énergétique par surface combinée à une disponibilité de surface limitée. La disponibilité de biomasse aux niveaux européen et mondial est plus prometteuse et de fortes importations de biomasse sont donc très probables.

Les balances énergétiques et les GES globales sont en général positives, voire très positives, à condition de tenir compte de tous les produits et effets secondaires. Les balances au niveau belge sont en général moins positives dû à des effets d'importation et d'exportation. Dans ce sens, il serait utile d'approfondir le cas des perturbations des marchés d'aliments pour animaux et d'électricité.

L'utilisation du bois apparaît comme une bonne filière en termes de taux de production, rendement, GES et surfaces requises. Le taillis à courte rotation est cependant loin d'être une application courante et, jusqu'à nouvel ordre, les ambitions pour le biocarburant doivent être réalisés sur base de céréales, colza et betteraves.