



Wallonie



Mise en œuvre de projets domestiques en Région wallonne dans le cadre de la politique climatique à l'horizon 2020

Partie opérationnelle de CO2logic avec CDC Climat et PwC

18 février 2013

CO2logic est neutre en CO₂



Table des matières

I.	Production d'énergie thermique à partir de cultures énergétiques non alimentaires	5
I.1	Le miscanthus	5
I.1.1.	Présentation de la culture	5
I.1.2.	Potentiel de réduction d'ici 2020	6
I.1.3.	Evaluation de l'offre	7
I.1.4.	Evaluation financière et compétitivité de l'offre	8
I.1.5.	Analyse de la demande	9
I.1.6.	Exemples de projets	11
I.2	Le Taillis à très Courte Rotation (TtCR)	13
I.2.1.	Présentation de la culture	13
I.2.2.	Potentiel de réduction d'ici 2020	14
I.2.3.	Evaluation de l'offre	15
I.2.4.	Evaluation financière et compétitivité de l'offre	16
I.2.5.	Analyse de la demande	17
I.2.6.	Exemples de projets	18
I.3	Méthodologie de comptabilisation des réductions d'émissions de GES	20
I.3.1.	Applicabilité	20
I.3.2.	Périmètre du projet	20
I.3.3.	Sélection du scénario de référence	20
I.3.4.	Additionnalité	21
I.3.5.	Réductions d'émissions	21
I.3.6.	Suivi	23
I.4	Actions préconisées pour la Wallonie	23
II.	Production d'énergie thermique à partir du procédé de bio-méthanisation	24
II.1	Présentation du procédé de la bio-méthanisation associée à un moteur de cogénération	24
II.2	Potentiel de réduction d'ici 2020	27
II.3	Evaluation de l'offre	28
II.4	Evaluation financière	32
II.5	Actions préconisées pour la Wallonie	35
III.	Pommeaux de douche économiques	38
III.1	Présentation des pommeaux de douche économique	38
III.2	Potentiel de réduction d'ici 2020	40
III.3	Evaluation de la demande	40
III.4	Evaluation financière	41
III.5	Actions préconisées pour la Wallonie	43

IV.	Cours d'éco-conduite.....	44
IV.1	Présentation de l'éco-conduite	44
IV.2	Potentiel de réduction d'ici 2020.....	45
IV.3	Evaluation de l'offre	46
IV.4	Evaluation de la demande	49
IV.5	Evaluation financière	50
IV.6	Actions préconisées pour la Wallonie.....	51
V.	Covoiturage.....	52
V.1	Présentation du covoiturage	52
V.2	Potentiel de réduction d'ici 2020.....	53
V.3	Evaluation de l'offre	55
V.4	Evaluation de la demande	56
V.5	Evaluation financière	59
V.6	Projets de covoiturage en entreprise.....	60
V.7	Actions préconisées pour la Wallonie.....	61
VI.	Les gaz fluorés	62
VI.1	Introduction : gaz fluorés, le constat.....	62
VI.2	La chaîne de valeur des gaz fluorés.....	65
VI.3	Evaluation des alternatives visant à réduire les émissions de gaz fluorés	68
VI.4	Analyse de l'offre alternative.....	75
VI.5	Conclusion sur les gaz fluorés.....	79
VII.	Conclusion et synthèse.....	80
VIII.	Bibliographie	82
VIII.1	Miscanthus.....	82
VIII.2	TtCR.....	83
VIII.3	Bio-méthanisation	85
VIII.4	Pommeaux de douche économique	86
VIII.5	Eco-conduite.....	87
VIII.6	Covoiturage.....	88
VIII.7	Gaz fluorés.....	89

Liste des tableaux

Tableau 1 - Fiche technique du miscanthus.....	5
Tableau 2 - Potentiel théorique de réduction par unité de surface de miscanthus (teqCO ₂ /ha).....	6
Tableau 3 - Potentiel de réduction du miscanthus d'ici 2020 (teqCO ₂ /an).....	6
Tableau 4 - Evaluation financière de l'offre de miscanthus.....	8
Tableau 5 - Compétitivité du prix du miscanthus et des biomasses traditionnelles.....	9
Tableau 6 - Evaluation financière de chaudières poly-combustible.....	10
Tableau 7 - Fiche technique du TtCR.....	13
Tableau 8 - Potentiel de réduction du TtCR d'ici 2020 (teqCO ₂ /an).....	14
Tableau 9 - Evaluation financière de l'offre de TtCR.....	16
Tableau 10 - Compétitivité du prix du TtCR et des biomasses traditionnelles.....	17
Tableau 11 - Evaluation financière de chaudières à plaquettes.....	18
Tableau 12 - Options possibles pour la sélection du scénario de référence (SR).....	21
Tableau 13 - La composition chimique moyenne du biogaz.....	25
Tableau 14 - Quantités de biogaz produit en m ³ par tonne de matière fraîche entrante.....	26
Tableau 15 - Fiche technique des unités de bio-méthanisation en Wallonie.....	26
Tableau 16 - Potentiel de réduction de la bio-méthanisation des effluents d'élevage d'ici 2020 (teqCO ₂ /an).....	27
Tableau 17 -Résumé des fourchettes de pourcentages des aides à l'investissement « classique ».....	30
Tableau 18 - Résumé des pourcentages des aides ENV et UDE.....	31
Tableau 19 - Types d'intrants, production de CH ₄ et coûts associés.....	32
Tableau 20 - Analyse financière d'une unité de bio-méthanisation de taille moyenne.....	33
Tableau 21 - Analyse financière d'une unité de bio-méthanisation de petite taille.....	34
Tableau 22 - Liste des unités de bio-méthanisation en Wallonie.....	35
Tableau 23 - Caractéristiques des 4 unités de bio-méthanisation agricole en Wallonie.....	36
Tableau 24 - Fiche technique du pommeau de douche économique.....	39
Tableau 25 - Potentiel de réduction du pommeau de douche économique d'ici 2020 (teqCO ₂ /an).....	40
Tableau 26 - Evaluation financière d'un pommeau de douche économique performant.....	41
Tableau 27 - Comparaison des approches pour la promotion des pommeaux de douche économique.....	42
Tableau 28 - Retour sur expérience de programmes d'éco-conduite dans des pays européens.....	45
Tableau 29 - Economies de carburant grâce à l'éco-conduite.....	45
Tableau 30 - Potentiel de réduction des cours d'éco-conduite dans le secteur du transport professionnel d'ici 2020 (teqCO ₂ /an).....	46
Tableau 31 - Centres wallons de formation agréés avec un module éco-conduite.....	46
Tableau 32 - Résumé des différentes formations d'éco-conduite en Wallonie.....	47
Tableau 32 - Evaluation financière de l'investissement dans des cours d'éco-conduite.....	50
Tableau 34 - Hypothèses de calcul pour le potentiel de réduction des émissions par le covoiturage.....	54
Tableau 35 - Potentiel de réduction du covoiturage en entreprises d'ici 2020 (teqCO ₂ /an).....	54
Tableau 36 - Liste des principaux sites de covoiturage pour les déplacements domicile-travail en Wallonie.....	55
Tableau 37 - Répartition des modes de transport pour les déplacements domicile-travail en Wallonie et en Flandre en 2008.....	57
Tableau 38 - Evaluation financière et environnementale d'un renforcement du covoiturage en entreprise.....	59
Tableau 39 - Evolution du covoiturage pour British Gas entre 2000 et 2003.....	61
Tableau 40 - GWP des principaux Hydrocarbures fluorés (HFC).....	63
Tableau 41- Exemples de secteurs possédants des alternatives aux HFC disponibles sur le marché.....	71
Tableau 42 - Restrictions d'utilisation des GES fluorés applicables aux équipements de réfrigération.....	73
Tableau 43 - Taux d'utilisation des mousses isolantes à base d'alternatives aux HFC dans différentes applications.....	74
Tableau 5 - Coûts pour l'utilisateur final des équipements à base de HFC et des principales technologies alternatives.....	77
Tableau 46 - Résumé des mesures analysées.....	80

I. Production d'énergie thermique à partir de cultures énergétiques non alimentaires

I.1 Le miscanthus

I.1.1. Présentation de la culture

Le miscanthus giganteus est une graminée rhizomateuse de la famille des poacées de l'espèce miscanthus. Il existe 20 espèces de miscanthus. Le miscanthus giganteus est également appelée à tort « roseau de Chine » (nom réservé au miscanthus sinensis) ou encore « herbe à éléphant » (nom réservé au napier). Cette plante est originaire d'Asie du sud et a été introduite en Europe, au Danemark, dans les années 1930.

Le miscanthus mesure de 2 à 3 mètres de hauteur, avec un diamètre de tige d'environ 1 centimètre et des racines profondes de 50 centimètres à 2 mètres de profondeur. Le miscanthus giganteus est une plante pérenne avec une durée de vie supérieure à 15 ans.

La plante, avec une forte teneur en lignocellulose, possède deux atouts majeurs. Elle nécessite peu d'intrants et produit une biomasse importante (plante avec un métabolisme photosynthétique de type C4). Le rendement est de l'ordre de 4 à 10 tMS/ha¹ les deux premières années (pas de récolte la première année). A partir de la troisième année, les rendements augmentent progressivement jusqu'à atteindre un plafond de 15 à 18 tMS/ha.an et même jusqu'à 20 tMS/ha.an sur les parcelles de qualité (entretien avec M. Fabri). A moins de 20% d'humidité à la récolte, le miscanthus ne nécessite pas d'étape de séchage et peut être directement valorisé dans une chaudière poly-combustible.

La récolte est annuelle et effectuée généralement en hiver (à sec). La plantation se fait de mars à mai, il faut environ de 1,5 à 2 rhizomes par m², donc de 15.000 à 20.000 pieds/ha (Robinet D., mars 2009). La qualité de la plantation est très importante car elle va conditionner la réussite de la culture. La multiplication se fait par les rhizomes, il y a reprise de végétation au printemps chaque année après la coupe des tiges.

En fin de saison, les feuilles du miscanthus tombent et forment un mulch naturel riche en éléments minéraux. On estime de 0,5% à 0,8% l'augmentation de la matière organique du sol en 6 à 8 ans (ITADA, 2011).

La plante n'a pas besoin de fertilisation, elle ne nécessite pas de désherbage (sauf la première année) et pas de traitement phytosanitaires (pas de maladies et peu de ravageurs). C'est une plante hybride triploïde, donc stérile, ce qui signifie qu'il n'y aura pas de dissémination par les graines, la propagation par rhizome restant ponctuelle ou accidentelle. Le miscanthus n'est donc pas une plante invasive (Novabiom, 2012).

Toute propagation, entretien et récolte peut se faire avec des machines agricoles conventionnelles.

L'ensemble de ces atouts, font rencontrer à la plante un intérêt croissant de la part des filières énergétiques. Néanmoins, le miscanthus peut également avoir des débouchés en tant que matériaux écologiques tels que les panneaux agglomérés, les litières et les blocs de construction.

Tableau 1 - Fiche technique du miscanthus

Caractéristiques de la culture du miscanthus

¹ MS = matière sèche

Durée de vie	>15 ans
Hauteur de la culture	2 à 3 m
Rendement initial (1-2 ans)	4 - 10 tMS/ha
Rendement optimal (>3 ans)	15 - 20 tMS/ha
Valeur PCI	17,8 GJ/tMS
Equivalent à	7.600 litres de mazout/ha
Superficie actuelle en Wallonie	100 ha
Evolution de la superficie en Wallonie	Augmentation de 5 à 10 ha/an
Rendement moyen des cultures en Wallonie	12,8 tMS/ha
Débouchés actuels en Wallonie	Paillage et litière animale (>50%) Biomasse énergétique (<10%) Plaque d'isolation Fonction écologique (nappes phréatiques)
Nombre de chaudière poly-combustible alimentée en miscanthus en Wallonie	3

Source : CO2logic

I.1.2. Potentiel de réduction d'ici 2020

Actuellement faiblement développée en Wallonie (100 ha), la culture est néanmoins adaptée aux conditions pédoclimatiques de la région et présente des caractéristiques énergétiques théoriques très intéressantes : l'équivalent énergétique de 7.600 litres de mazout par hectare de miscanthus. En substituant la combustion de mazout, la culture a un potentiel de réduction des émissions de CO₂ non négligeable : 20 tCO₂/ha de miscanthus.

Tableau 2 - Potentiel théorique de réduction par unité de surface de miscanthus (teqCO₂/ha)

	Rendement (tMS/(ha*an))	Emission provenant de la culture (teqCO ₂ /ha.an)	Gain par substitution au mazout (teqCO ₂ /ha.an)	Bilan CO ₂ (teqCO ₂ /ha.an)
Miscanthus	15,0	0,3	20,3	20,0

Source : Robinet D. (mars 2009) et CO2logic

Dans le cadre du Plan d'Action Wallon des Energies renouvelables (Pieret N., 2010), ValBiom a estimé l'évolution d'ici 2020 des surfaces dédiées à la culture de miscanthus à 10.000 ha soit environ 760 GWh à valoriser en chaudière.

En prenant l'hypothèse que 10.000 ha seront consacrés d'ici 2020 à la culture de miscanthus², la réduction annuelle des émissions de CO₂ par la substitution au mazout est évaluée à 200.000 tonnes équivalent de CO₂.

Tableau 3 - Potentiel de réduction du miscanthus d'ici 2020 (teqCO₂/an)

Projet	Production d'énergie thermique à partir de miscanthus
--------	---

² La surface de 10.000 ha correspond à environ 2,6% de la superficie des terres arables de la Wallonie.

Réduction d'émission unitaire	20,0 teqCO ₂ /ha.an
Réduction maximale annuelle d'ici 2020	200.000 teqCO ₂ /an
Hypothèses retenues	10.000 ha d'ici 2020 ; Rendement : 15 tMS/ha.an ; Valeur PCI : 17,8 GJ/tMS ; Substitution mazout.

Source : CO2logic

I.1.3. Evaluation de l'offre

Dans cette partie, nous allons décrire les opportunités de développement de la culture du miscanthus en Wallonie et également les points faibles de l'offre. Sachant que depuis 2009 il existe environ 100 ha de cultures de miscanthus en Wallonie, les débouchés sont majoritairement la valorisation en tant que litière animale et combustible.

Les opportunités de développement sont tout d'abord relatives à la nature même du miscanthus et à sa culture :

- C'est une ressource énergétique locale et neutre en CO₂ ;
- C'est une culture pérenne qui n'a pas besoin d'engrais et de traitements phytosanitaire (à l'exception d'un désherbage la première année) ;
- Le mulch formé à la fin de saison par le miscanthus régénère et reminéralise les sols ;
- Les cultures peuvent être situées dans des zones boueuses, le miscanthus avec ses racines profondes permet de stabiliser les sols et ralentir les écoulements des eaux et de retenir les sédiments ;
- Le miscanthus peut également être utilisé pour effectuer un phytoremédiation des sols pollués. Le miscanthus peut se développer sans fertilisation dans des sols fortement pollués. La concentration en éléments reste cependant très élevée dans les tiges. Le miscanthus est un très bon phytostabilisant des polluants qui restent bloqués dans la partie souterraine. Il n'y a pas de dispersion de la contamination dans l'environnement ;
- La culture du miscanthus représente un couvert particulièrement favorable à la qualité de l'eau. Elle satisfait aux exigences de minimisation du lessivage en nitrates dans les zones d'assainissement.

D'un point de vue économique,

- La culture du miscanthus a un rendement énergétique très élevé en substitution par le mazout. 1 ha = 7.600 litres de mazout ;
- Le réseau de vendeurs de rhizomes en Wallonie est bien développé, notamment avec la présence du leader en la matière Bical présent en Belgique via Promis Bical Belux ;
- La culture commence à être maîtrisée, les premières plantations en Wallonie datant de 1995. Le partage d'expérience et les documentations existent ;
- La culture du miscanthus est éligible au régime des Droits à Paiement Unique (DPU) de la Politique Agricole Commune de l'Union Européenne. Elle donne droit à une aide de 45 €/ha totalement déconnectée de la production ;
- Le miscanthus peut se valoriser de deux manières : soit pour la filière énergétique en tant que combustible ou biocarburant, soit en tant matériel écologique pour de la litière, des panneaux de construction, du paillage.

Pour accélérer le développement de la culture du miscanthus, il faut pallier quelques points faibles du produit, à savoir :

- Un coût élevé de la mise en place de la culture (rhizomes) : environ 4.000 € par ha. Il faut en effet de 15.000 à 20.000 rhizomes /ha. La plante étant pérenne, la qualité de cette première plantation, donc de la qualité des rhizomes et de la manière dont ils sont plantés dépend la réussite de la plantation ;

- Le miscanthus possède une faible densité (entre 110 et 140 kg/m³), soit un volume 16 fois plus élevé que le mazout pour une quantité d'énergie équivalente (Gauthier G., février 2012). Toutefois, il existe des techniques de densification telles que la récolte en balles avec un « compact roller » qui permet d'atteindre 300 kg/m³ (Robinet D., mars 2009) ou la densification en agro-pellets qui permettrait d'augmenter la densité de la récolte jusqu'à 450 kg/m³ soit 40 m³/ha (Baudouin J.-G., 2004). La faible densité engendre des coûts importants de stockage et de transport.

Au niveau économique et humain, il faut également travailler sur quelques points :

- Il n'y a pas de mécanisme de soutien financier pour le démarrage de la culture, ni au niveau local ni au niveau européen. Ce manque d'incitation financière surtout en cette période difficile freine considérablement la prise de risque ;
- La filière est jeune, et manque encore de maturité. Les débouchés sont encore peu développés en Wallonie, et le temps de mise en place peut être encore long ;
- La perception des agriculteurs est encore négative. La culture est une culture de longue durée (20 ans) et les revenus associés à la terre ne sont pas garantis.

I.1.4. Evaluation financière et compétitivité de l'offre

Nous avons également réalisé une analyse financière de l'offre de miscanthus sur le marché des bioénergies. A partir de deux séries d'hypothèses (pessimiste et optimiste), nous estimons un intervalle du prix de revient et de vente de la tonne de miscanthus. Actuellement, en Wallonie, le prix de vente de la tonne de miscanthus se situe aux alentours de 80 à 100 € (entretiens avec M. Fabri et M. Gauthier).

Tableau 4 - Evaluation financière de l'offre de miscanthus

MISCANTHUS	Hypothèse optimiste	Hypothèse pessimiste	Hypothèse moyenne
Plantation de rhizomes de miscanthus (€/ha)	€ 3.500	€ 4.500	€ 4.000
Amortissement sur 10 ans	€ 350	€ 450	€ 400
Récolte du miscanthus (€/ha)	€ 250	€ 350	€ 300
Coûts annuels de la plantation (€/ha.an)	€ 600	€ 800	€ 700
Transport du miscanthus (€/t) ³	€ 15	€ 20	€ 17,5
Rendement prévisionnel (tMS/ha.an)	18	12	15
Prix de revient du miscanthus (€/t)	€ 48	€ 87	€ 68
Revenu moyen net attendu par hectare (€/ha) ⁴	€ 900	€ 1.100	€ 1.000
Revenu moyen net attendu par tonne (€/tonne)	€ 50	€ 92	€ 71
Prix de vente du miscanthus (€/t)	€ 98	€ 178	€ 138

³ Sur une distance de 5 km (Gauthier G., juillet 2012)

⁴ Basé sur les revenus nets attendus pour 1 ha de pomme de terre ou de froment (hors frais de fermage et frais fixe d'exploitation)

Prix éq. MWh	€	20	€	36	€	28
Prix éq. litre de mazout	€	0,19	€	0,35	€	0,27
Réduction des coûts énergétiques par rapport au mazout (92c€/litre)		-79%	-62%	-70%		

Source : CO2logic

Nous pouvons observer que l'utilisation de miscanthus en tant que combustible permettrait de réduire de plus de 70% les coûts énergétiques des utilisateurs de mazout.

La vente de miscanthus comme combustible apparaît donc comme très compétitive et se classe au niveau des plaquettes de bois par rapport autres bioénergies, comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 5 - Compétitivité du prix du miscanthus et des biomasses traditionnelles

Prix des pellets en vrac	52	€/MWh
Prix des bûches (séchées 1 an)	37	€/MWh
Prix des plaquettes	29	€/MWh
Prix du miscanthus	28	€/MWh

Source : Renouveau (2012) et CO2logic

Selon les données empiriques des cultures actuelles de miscanthus en Wallonie, transmises par ValBiom et le Centre Indépendant de Promotion Fourragère (CIPF), le rendement des parcelles arrivées à l'optimum de croissance atteint 12,8 tonnes de matières sèches ce qui équivaudrait à 30 €/MWh.

I.1.5. Analyse de la demande

Le miscanthus peut être valorisé pour répondre à deux demandes. La demande énergétique et la demande non-énergétique.

Au niveau de la demande énergétique, le miscanthus peut être valorisé sous différentes formes :

- Combustion : Le miscanthus peut être utilisé en tant que combustible en vrac ou sous forme densifiée (pellets, bûchettes) dans des chaudières polycombustibles. Le pouvoir calorifique du miscanthus est plus élevé que celui de la plaquette de bois humide. Il peut donc être utilisé dans les chaudières ou poêles et remplacer jusqu'à 50% du charbon. Il forme cependant beaucoup plus de cendres que le bois, provoque de la corrosion du fait de la libération d'éléments acides absorbés dans les tiges et donne plus de mâchefers dans les chaudières.
- Biocarburant : Le miscanthus peut également être utilisé en tant que biocarburant de deuxième génération ou intrant en biométhanisation, par le biais du procédé de Fischer-Tropsch. Il est également envisagé de l'utiliser comme matière première pour synthétiser le biogaz ou du dihydrogène pour les piles à combustibles.

Au niveau de la valorisation non-énergétique, il existe de nombreuses utilisations possibles pour le miscanthus (Robinet D., octobre 2009) :

- La litière : Le miscanthus peut être utilisé comme litière en vrac ou sous forme de granulés. Il s'agit de la valorisation principale en Wallonie. La litière de miscanthus est reconnue pour avoir un pouvoir absorbant trois fois plus important que la paille de blé, ce qui réduit considérablement le niveau de pathogènes. La litière est utilisée pour les volailles, bovins, porcs en intérieur ou en extérieur. Son faible taux de poussière en fait une litière idéale pour les chevaux ou animaux de compagnie allergiques.

- Paillage horticole : Le miscanthus peut être utilisé comme paillage dans les parterres en vrac ou sous forme de granulés. Sa très bonne capacité de rétention d'eau permet de limiter les arrosages et sa décomposition lente assure un enrichissement en minéraux aux plantes.
- Le remplacement du PVC et du propylène : Les qualités d'élasticité et de solidité du miscanthus viennent de sa tige ligneuse. Ils ont de nombreuses applications dans le domaine des bioplastiques.
- Les pots de fleurs : Ils constituent un débouché important. Le miscanthus et des liants d'origine naturelle conviennent parfaitement à la fabrication de pots de fleur très utilisés aux Pays-Bas.
- Les matériaux de construction : Le miscanthus est utilisé pour la production de béton léger, de plaque d'isolant, de ciment, etc. L'ajout de miscanthus dans les matériaux empêche la condensation dans les murs. Il permet également une bonne isolation dans les deux sens, fraîcheur et chaleur. Il sert également dans la fabrication de panneaux anti-bruits et également dans les toits de chaume car il résiste bien à la putréfaction.
- Emballages et papiers : Le miscanthus est utilisé dans la composition de papiers, cartons d'emballage.
- Emulsifiant pour huile : En poudre, il permet d'agglomérer les huiles et de les solidifier. 1 kg de poudre permet de solidifier 4 litres d'huiles. Les applications peuvent donc être reliées aux huiles usagées et autres pollutions pétrolières.

Dans le cadre du projet domestique, nous allons uniquement nous intéresser à la demande de miscanthus en tant que combustible énergétique dans les chaudières appropriées.

Les avantages liés à l'approvisionnement énergétique en miscanthus sont les suivants :

- Des coûts énergétiques réduits : environ -70% par rapport au mazout ;
- Une réduction des émissions des gaz à effet de serre : 20 teqCO₂/ha ;
- Une indépendance énergétique et un soutien à une filière locale.

Les désavantages actuels liés à l'approvisionnement énergétique en miscanthus sont les suivants :

- L'investissement de départ dans une chaudière poly-combustible, de gaines en inox, et un silo de stockage est important. Les coûts oscillent entre 25 et 45 k€ pour une chaudière de 20 à 80 kW (entretiens avec M. Gauthier et M. Ghesquière) ;
- La faible densité du miscanthus requiert un espace de stockage important (16X plus que le mazout pour une quantité d'énergie équivalente) ;
- La faible sécurité d'approvisionnement (la production de miscanthus a seulement atteint 1.280 tMS en 2009). Il n'y a également pas d'importations de miscanthus ;
- Plus de désagréments par rapport au bois : taux de cendre relativement important, risque de formation de mâchefer, émissions corrosives et respect des normes d'émission relatives au SO₂ et HCl (Gauthier G., 2010) ;
- La fluctuation du prix du mazout ralentit les investissements moyen/long terme de chaudières à énergie alternative.

Dans le tableau ci-dessous, nous avons réalisé une évaluation financière de l'achat d'une chaudière poly-combustible de petite et grande capacité thermique.

Tableau 6 - Evaluation financière de chaudières poly-combustible

Scénario de référence		Petite installation	Grande installation
Consommation annuelle	litres de mazout	2.500	20.000
Coûts de mazout (92c€/litre)	€/an	2.300	18.400

Scénario chaudière poly-combustible			
Puissance chaudière poly-combustible	kW	30	80
Chaudière poly-combustible + gaines en inox + silo de stockage	€	25.000	45.000
Coûts miscanthus (27c€/litre équivalent mazout)	€	679	5.434
Emissions de CO ₂ évitées	tonnes/an	7	53
Prime région wallonne	€	1.750	2.800
Réduction des coûts énergétiques	€/an	1.621	12.966
Revenu crédits carbone (20€/tonne)	€/an	133	1.065
Retour sur investissement	Années	13,3	3,0

Source : CO2logic

Au vu de l'évaluation financière, il ressort que le développement de la culture de miscanthus à des fins énergétiques pour de petites installations n'est pas assuré d'une rentabilité intéressante. En revanche, le développement de projets de plus grande envergure assure un retour sur investissement nettement plus intéressant.

I.1.6. Exemples de projets

De nombreux projets se multiplient en Wallonie et dans les pays limitrophes. A la fois des projets individuels sur de petites surfaces, des projets scientifiques mais aussi des projets à plus grande échelle. L'ensemble de ces initiatives illustrent la volonté d'aller vers des moyens alternatifs et propres.

Les petites installations : les fermes agricoles.

L'agriculteur de Boussu, Olivier Ghesquière, utilise annuellement 8,5 tonnes de miscanthus (1/2 ha) pour satisfaire les besoins en chaleur de son logement. Il produit lui-même son miscanthus à des fins d'utilisation personnelle. Il possède une chaudière de 40 kW, un silo de 18 m³. Il économise par ce procédé 3.500 litres de mazout par an. Il subvient à l'ensemble de ces besoins énergétiques de chauffage, eau chaude sanitaire et air chaud pour le sèche-linge. Le prix de revient d'un litre équivalent mazout est pour lui de 8,9 c€ (entretien avec M. Ghesquière et Gauthier G., février 2012).

Les grandes installations : les séchoirs à grains (froment, escourgeon, maïs, etc.).

WalAgri dispose de 15 séchoirs à grains majoritairement à base de mazout. Ils seraient intéressés d'étudier la possibilité de remplacer le combustible par de la biomasse. Pour le séchage du « maïs récolté humide pour le grain » de la production wallonne, la consommation annuelle de mazout est estimée à près de 670.000 litres. Concernant le séchage de la production wallonne des autres céréales (froment et orge), la consommation annuelle de mazout est supérieure à 10.000.000 litres de mazout. Le taux d'humidité du froment et de l'orge varie fortement d'une année à l'autre (entretien avec M. Roiseux).

Il est également possible de développer ce type de projet domestique dans d'autres secteurs :

- les industries hors ETS qui ont un besoin en chaleur important (puissance inférieure à 20 MW) ;

- les services publics : piscine, hôpitaux, école, maison de retraite, etc.

Hors de nos frontières, en France, plusieurs projets sont menés dans les différentes régions :

- Projet de la chambre d'agriculture d'Alsace : en 2011, 67 ha sur 32 communes et 48 producteurs (ITADA, 2011) ;
- La culture de miscanthus autour du projet de captage d'eau au barrage d'Ammertzwiler présentait un double objectif. Il s'agissait d'une part de planter du miscanthus pour améliorer la qualité de l'eau et d'autre part d'alimenter un réseau de chauffage par le miscanthus. Les résultats sont au rendez-vous tant au niveau de la qualité de l'eau que du réseau de chauffage. Le projet comporte une chaufferie de 400 kW et 43 abonnés sont alimentés par le réseau. Le projet est établi sur base d'un contrat entre les agriculteurs, la commune et le SIAEP, syndicat d'eau potable. Un contrat est signé pour 15 ans avec des prix plafonds et planchers. Il y a 85 ha de plantation (Ditner M., 2012).
- Le projet Biomasse pour le futur (BFF), porté par l'Institut Jean-Pierre Bourgin en France veut promouvoir le développement des cultures de miscanthus. Ce projet a reçu, début 2012, 10 millions d'euros par le ministère de l'agriculture dans le cadre d'un appel à projets sur les bioénergies (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire, 2012).
- La culture de miscanthus sur le site d'Estrées-Mons (Picardie) par l'INRA à des fins de recherche.

Depuis 1990, au Royaume-Uni, la culture de miscanthus a été développée à grande échelle où elle occupe aujourd'hui plus de 20.000 ha dont 5.500 ha dans les East Midlands (Solagro et Agence Paysages, 2009).

Au Royaume-Uni, une centrale électrique d'Ely de 38 MW_{él} fonctionne principalement à la paille, utilise également du miscanthus (2% soit 11 tonnes par jour). Cette centrale appartient à Energy Power Resources Ltd (EPR). EPR va chercher la biomasse chez les agriculteurs dans un rayon de 70 km.

Le projet soEccleshall Biomass consiste en une centrale électrique de 2 MW (2.000 ménages) qui est alimentée par 22.000 tonnes de combustibles par an (miscanthus et chips de bois). L'approvisionnement en miscanthus est assuré par des contrats avec 60 fermes. Les cendres résiduelles sont redistribuées aux agriculteurs pour être utilisées comme fertilisant (Nijskens P., 2007).

I.2 Le Taillis à très Courte Rotation (TtCR)

I.2.1. Présentation de la culture

Le Taillis à très Courte Rotation est une plantation d'espèces ligneuses sur des terres agricoles, en jachère ou voire même sur des terrains en réhabilitation (friches industrielles, sols pollués). L'objectif premier de la culture TtCR est la production de biomasse. La durée de vie de ce type de plantation est de 20 à 30 ans en fonction de l'état des sols, des espèces plantées et des aléas naturels (IBIS, 2012).

Le terme « très courte rotation » correspond à la première date de récolte. Le taillis à très courte rotation voit sa première récolte intervenir dans les 2 à 3 ans après la plantation. Il existe aussi les cultures de Taillis à Courte Rotation (TCR) qui sont récoltées après 7 à 8 ans.

Les espèces doivent être choisies pour leur aptitude à supporter des coupes fréquentes et leur capacité à produire de la biomasse très rapidement. Les essences généralement retenues pour les TtCR sont principalement les saules et les peupliers. Les TCR peuvent être des châtaigniers, du bouleau, de l'aulne ou encore du robinier. De fait de l'implantation d'un ensouchement (ensemble des souches), la qualité du sol est un facteur déterminant pour les rendements futurs. L'adéquation espèce/sol est très importante. Ainsi les plantations de saules et de peupliers sont productives mais exigeantes car elles nécessitent un sol profond, de bonne qualité, riche et bien alimenté en eau (Cassagnes J., 2007).

La plantation qui a lieu généralement au printemps se fait par la mise en place de boutures de 20 cm, ou tiges mère mesurant jusqu'à 2 mètres pour le saule par exemple. Le sol doit être bien préparé et propre, un désherbage est fondamental la première année. La densité de plantation est de l'ordre de 10.000 à 20.000 tiges par hectare. L'espacement entre les lignes de plantation sera suffisant pour assurer le passage d'engins mécaniques.

Durant l'hiver qui va suivre la plantation, il peut être effectué un recépage, pour les saules notamment. Il s'agit de couper la tige à 10 ou 15 cm du sol. Ainsi plusieurs tiges vont se développer au pied de l'arbre, augmentant de ce fait la biomasse produite. D'où la définition agronomique du taillis : peuplement d'arbres issus de rejets de souches.

La récolte se fait aussi durant l'hiver lorsque les feuilles sont tombées mais avant la reprise de végétation. Les tiges sont coupées et potentiellement broyées directement. Il est à noter que les matériels doivent être adaptés pour effectuer l'ensemble des opérations de la culture.

Les saules et peupliers sont peu sensibles aux nuisances (maladies et ravageurs). Cependant, la chrysome (insecte) et la rouille (champignon) peuvent affecter durement et durablement une exploitation. Ces cultures nécessitent donc peu d'intrants, et normalement pas d'insecticides ni de fongicides (Nijskens P., 2005). Les rendements mesurés du TtCR de saule sont de l'ordre de 6 à 12tMS/ha/an.

La plantation de TtCR du fait de la taille importante des arbres peut modifier la perception paysagère (modification des points de vue et aussi ombrages sur des cultures voisines). Il convient donc de bien penser l'endroit où elle sera effectuée.

Tableau 7 - Fiche technique du TtCR

Caractéristiques de la culture du taillis à très courte rotation	
Durée de vie	20 - 30 ans
Hauteur de la culture	4 à 8 m

Cycle de récolte	2 - 4 ans
Rendement annuel	6 - 12 tMS/ha
Humidité du bois à la récolte	55% humidité
Valeur PCI	18 GJ/tMS
Equivalent à	5.000 litres de mazout/ha
Superficie actuelle en Wallonie	30-60 ha
Evolution de la superficie en Wallonie	Pas d'information disponible
Rendement moyen des cultures en Wallonie (2 ^{ème} cycle)	7,4 tMS/ha
Débouchés actuels en Wallonie	Valorisation énergétique (chaleur et/ou électricité) Protection nappe phréatique (réduction du risque de lessivage d'azote)

Source : CO2logic

I.2.2. Potentiel de réduction d'ici 2020

Actuellement, les surfaces dédiées à la culture de TtCR de saule en Wallonie sont évaluées entre 20 et 60 ha (entretiens avec M. Gauthier). La culture de TtCR présente des caractéristiques énergétiques théoriques très intéressantes : l'équivalent énergétique de 5.100 litres de mazout par hectare. En substituant la combustion de mazout, la culture de TtCR a un potentiel de réduction d'émissions de CO₂ non négligeable : 13,1 tCO₂/ha.

Tableau 5 - Potentiel théorique de réduction par unité de surface de TtCR (teqCO₂/ha)

	Rendement (tMS/(ha*an))	Emission provenant de la culture (teqCO ₂ /ha.an)	Gain par substitution au mazout (teqCO ₂ /ha.an)	Bilan CO ₂ (teqCO ₂ /ha.an)
TtCR	10,0	0,3 ⁵	13,4	13,1

Source : CO2logic

Dans le cadre du Plan d'Action Wallon des Energies renouvelables (Pieret N., 2010), ValBiom a estimé l'évolution d'ici 2020 des surfaces dédiées à la culture de TtCR à 5.000 ha (50 ktMS) correspondant à environ 250 GWh à valoriser en chaudière.

En prenant l'hypothèse que 5.000 ha⁶ seront consacrés d'ici 2020 à la culture de TtCR, la réduction annuelle des émissions de CO₂ par la substitution au mazout est évaluée à 65.000 tonnes équivalent de CO₂.

Tableau 8 - Potentiel de réduction du TtCR d'ici 2020 (teqCO₂/an)

Projet	Production d'énergie thermique à partir de TtCR
Réduction d'émission unitaire	13,1 teqCO ₂ /ha.an

⁵ A partir des estimations réalisées dans le cadre de la culture de miscanthus.

⁶ La surface de 5.000 ha correspond à environ 1,3% de la superficie des terres arables de la Wallonie.

Réduction maximale annuelle d'ici 2020 (teqCO ₂ /an)	65.000 teqCO ₂ /an
Hypothèses retenues	5.000 ha d'ici 2020 ; Rendement : 10 tMS/ha.an ; Valeur PCI : 18 GJ/tMS ; Substitution mazout.

Source : CO2logic

I.2.3. Evaluation de l'offre

Il s'agit dans ce chapitre de dégager les atouts de la culture de TtCR, en sachant qu'en Wallonie, à l'heure actuelle, la surface de culture est faible (entre 30 et 60 ha) et que la valorisation première de la biomasse générée est le combustible.

Les premiers arguments en faveur de la culture de TtCR sont inhérents aux propriétés des essences de bois utilisés et à leurs services rendus à l'environnement. On peut dégager les points suivants :

- La culture de TtCR est une ressource énergétique locale et neutre en CO₂ ;
- Le rendement énergétique, calculé en substitution de mazout, est élevé : 1 ha = 5.000 litres de mazout ;
- La culture nécessite peu d'intrants et de traitements phytosanitaires ;
- La culture de TtCR améliore la qualité de l'eau :
 - Tout d'abord la culture TtCR s'érige comme une protection des captages d'eau souterraine et des nappes phréatiques. Elle permet que les éléments nutritifs en excès ne pénètrent pas les couches en profondeur, c'est le cas pour l'azote minéral qui diminue avec le TtCR. Le risque de lessivage d'azote est quasiment nul ;
 - Ensuite le TtCR peut servir à l'épuration des eaux usées. Par exemple le système sol/saule est un excellent filtre biologique. Le saule a la particularité de bien capter le cadmium (Nijskens P., 2005) ;
- La culture de TtCR peut également être un frein à l'érosion des sols et permettre selon le cas leur réhabilitation. Le système racine structure le sol et joue le rôle de stabilisateur sur des berges. La végétation permet de limiter les ruissellements d'eaux. Le TtCR peut s'inscrire dans un rôle de phyto-stabilisation voire phyto-extraction;
- La culture de TtCR permet d'augmenter la richesse de biodiversité dans les parcelles et surtout en bord de celle-ci, surtout si elle est plantée en bande. Elle peut former une zone tampon en séparant des zones agricoles et des zones boisées par exemple. Il est également constaté que le nombre d'espèces dans les zones de TtCR augmente surtout dans les zones non boisées. Le TtCR étant une culture pérenne, il constitue un refuge pour de nombreuses espèces et un espace de nidification (Solagro et Agence Paysages, 2009).

Un autre élément plus économique peut aussi être mis en avant :

- La culture de TtCR est éligible au régime des Droits à Paiement Unique (DPU) de la Politique Agricole Commune de l'Union Européenne. Elle donne droit à une aide de 45 €/ha totalement déconnectée de la production. Cette aide est aussi applicable pour des jachères déclarées en gel industriel.

Malgré ces atouts, le TtCR possède aussi quelques barrières à l'entrée, qui sont plutôt d'ordre économique. Nous pouvons citer les points suivants :

- Les investissements de départ sont importants :
 - La mise en place de la culture (boutures) représente environ un coût de 3.000 €/ha ;
 - La mise à niveau du matériel pour cette culture spécifique ou la location de machines pour les récoltes a également un coût important (Nijskens P., 2005) ;
- Coût d'opportunité élevé également comme les TtCR nécessitent des bonnes terres ;

- Le coût de transport est à prendre en compte. Cette filière doit être locale donc un rayon de 20 à 30 km est préférable. Les circuits courts doivent être privilégiés ;
- D'où également la nécessité d'effectuer une étude préalable sur la demande locale et sur les débouchés ou encore d'avoir un contrat d'engagement ;
- Aucun mécanisme de soutien financier n'existe pour le démarrage de la culture ;
- Le revenu financier est associé à la récolte et donc sera perçu tous les 2 à 3 ans. Cela étant d'autant plus risqué que les cultures peuvent être sensibles à la rouille (champignon) ou à la chrysome (insecte) qui peuvent entraîner des pertes de rendement de 30 à 40% (Nijskens P. et Leplus A., 2005) ;
- Le besoin en trésorerie en début de cycle est donc important ce qui renforce l'a priori négatif des agriculteurs qui ne sont pas toujours en phase avec les cultures de longue durée sur 20 ou 30 ans.

I.2.4. Evaluation financière et compétitivité de l'offre

La réduction du coût énergétique en moyenne de 48% par rapport au mazout est un résultat très intéressant. Il est vrai que les coûts d'installation de la plantation, de la récolte font de la culture TtCR une opération délicate d'autant plus que la filière est naissante. Cependant le développement de ce type de plantation amènera obligatoirement des économies d'échelle et d'organisation lorsque les chaînes d'approvisionnement se mettront en place.

Tableau 9 - Evaluation financière de l'offre de TtCR

TtCR	Hypothèse optimiste		Hypothèse pessimiste		Hypothèse moyenne	
Plantation TtCR (€/ha)	€	2.500	€	3.000	€	2.750
Amortissement sur 10 ans	€	250	€	300	€	275
Récolte des saules tous les 3 ans (€/ha)	€	800	€	1.000	€	900
Récolte annualisée (€/ha.an)	€	267	€	333	€	300
Coûts annuels de la plantation (€/ha.an)	€	517	€	633	€	575
Stockage du bois (€/t 25% humidité)	€	10	€	15	€	13
Transport du bois (€/t 25% humidité)	€	10	€	15	€	13
Rendement prévisionnel (t/ha.an 25% humidité)		13,3		9,3		11,3
Prix de revient du bois (€/t 25% humidité)	€	59	€	98	€	78
Bénéfice moyen brut attendu par hectare (€/ha) ⁷	€	900	€	1.100	€	1.000
Bénéfice moyen brut attendu par tonne (€/tonne)	€	68	€	118	€	93
Prix de vente du bois (€/t)	€	127	€	216	€	171
Prix équivalent MWh	€	35	€	60	€	48
Prix équivalent litre de mazout	€	0,35	€	0,60	€	0,48
Réduction des coûts énergétiques par rapport au mazout (92c€/litre)		-62%		-35%		-48%

Source : AILE Wilwater (2012) et CO2logic

La culture de TtCR se situe en bonne position par rapport aux autres biomasses notamment par rapport au bois, dont les fluctuations à la hausse peuvent jouer en faveur de la culture de TtCR.

⁷ Basé sur les revenus nets attendus pour 1 ha de pomme de terre ou de froment (hors frais de fermage et frais fixe d'exploitation)

Tableau 10 - Compétitivité du prix du TtCR et des biomasses traditionnelles

Prix des pellets en vrac	52	€/MWh
Prix du TtCR	48	€/MWh
Prix des buches (séchées 1 an)	37	€/MWh
Prix des plaquettes	29	€/MWh

Source : *Renouveau (2012) et CO2logic*

I.2.5. Analyse de la demande

On peut distinguer deux types de demandes de cultures de TtCR. Selon ces demandes le TtCR sera valorisé différemment.

La première demande est la demande non énergétique de l'utilisation de TtCR. Le taillis sera valorisé sous différentes formes. Tout d'abord, il entrera dans la fabrication de matériaux de construction comme les plaquages de bois, ou encore pour les copeaux de litière, et aussi interviendra dans l'industrie du papier.

Une autre demande non énergétique est l'utilisation des cultures de TtCR à des fins plus environnementales, à savoir la phytoremédiation des sols pollués sur des terres en friche industrielle et la filtration des eaux sales en plantant le TtCR près de stations d'épuration.

Les biotechnologies peuvent devenir aussi clientes des cultures de TtCR, les cellules ligneuses des espèces de TtCR sont des éléments de base de biopolymères (Nijskens P., 2009). Egalement, la valorisation des feuilles peut avoir des applications chimiques phytosanitaires ou pharmaceutiques.

La seconde demande en TtCR, et de loin la plus importante, est la demande énergétique. Le TtCR sera alors valorisé sous forme de combustible pour les chaudières à bois, les centrales électriques à biomasse et sera utilisé dans la production de granulés de bois.

Le TtCR sera également utilisé comme combustible pour l'alimentation directe de chaufferies collectives ou pour alimenter les installations de cogénération. Elle est généralement faite au niveau local. De nombreuses communes sont de plus en plus intéressées par cette alternative au mazout et les entreprises fabriquant et installant les systèmes de cogénération sont également clientes de ce type de biomasse.

L'approvisionnement de combustible venant de la valorisation en bois-énergie des cultures de TtCR présente, entre autres, trois grands avantages sur le plan économique et environnemental :

- Les coûts énergétiques sont considérablement réduits : -48% par rapport au mazout ;
- Il participe à la réduction des émissions des gaz à effet de serre ;
- Il assure une indépendance énergétique et se porte en soutien à une filière locale.

En revanche quelques freins d'ordre économique sont à prévoir pour l'approvisionnement en biomasse venant des cultures TtCR.

- L'investissement de départ dans une chaudière à plaquettes et un silo de stockage est relativement important : coûts entre 15 et 25 k€ pour une chaudière de 30 à 80 kW;
- L'adaptation des machines à la matière première aura un coût car le pourcentage élevé de copeaux de bois dont le diamètre est inférieur aux normes des chaudières à bois classiques est important (entretien avec M. Flahaux) ;
- Le cycle d'approvisionnement doit être bien réfléchi et montrer des garanties, car il existe une très faible sécurité d'approvisionnement tant en quantité qu'en disponibilité puisque les ressources doivent être locales. Pour exemple, la production de TtCR a atteint 240 tMS en 2009 ;

- Les données économiques et la fluctuation du prix du mazout ralentissent les investissements moyen/long terme de chaudières à énergie alternative.

Tableau 11 - Evaluation financière de chaudières à plaquettes

Scénario de référence		Petite installation	Grande installation
Consommation annuelle	litres de mazout	2.500	20.000
Coûts de mazout (92c€/litre)	€/an	2.300	18.400
Scénario chaudière à plaquettes			
Puissance chaudière	kW	30	80
Chaudière à plaquettes + silo de stockage	€	15.000	25.000
Coûts TtCR (48c€/litre équivalent mazout)	€	1.188	9.506
Emissions évitées	teqCO ₂ /an	7	53
Prime Région wallonne	€	1.750	2.800
Réduction des coûts énergétiques	€/an	1.112	8.894
Revenu crédits carbone (20€/tonne)	€/an	133	1.065
Retour sur investissement	Années	10,6	2,2

Source : CO2logic

La rentabilité d'un projet de chauffage avec un approvisionnement en combustible venant de la culture de TtCR est très intéressante au plus la taille du projet est conséquente. Ainsi, pour les collectivités locales qui veulent s'assurer de substantielles économies d'énergie, en se créant une indépendance énergétique et en développant l'activité locale, le projet de chaudière à plaquettes de bois (TtCR et autres) peut être tout à fait intéressant.

I.2.6. Exemples de projets

A travers le développement de ce projet domestique, nous souhaitons apporter une source de revenus supplémentaires pour les agriculteurs et dynamiser la filière des cultures énergétiques de biomasse ligneuse en Wallonie. Il serait intéressant de développer une demande de ce type de combustible au sein du secteur agricole.

De nombreux projets autour de la culture de TtCR ont vu le jour. Quelques exemples sont présentés ci-dessous.

En Belgique, la recherche sur les TCR et TtCR est portée par l'UCL depuis 1993. En 1995, le projet GAZEL a utilisé la culture de TtCR de saules sur 9 ha pour alimenter en biomasse une centrale de production d'électricité décentralisée par gazéification de bois. L'objectif de ce projet était d'évaluer la filière complète de ce type de production d'électricité.

Un autre projet mené par l'UCL, appelé Biomepur, a été réalisé à Sart-Bernard entre 1999 et 2002. Il s'agissait d'un projet d'épuration tertiaire de l'eau. Un hectare de TtCR de saules a été implanté près d'une station à boue

activée. Le résultat fut très concluant. La plantation de TtCR a parfaitement joué son rôle de filtre (Laboratoire d'Ecologie des Grandes Cultures, 2002).

Depuis 2007, la ville de Tournai s'est dotée d'un système de chaufferie de type cogénération à partir de la gazéification du bois (technologie XyloWatt) afin de chauffer la piscine communale. Les machines sont alimentées par la valorisation de la biomasse issue des déchets verts de la commune mais surtout par la culture de TtCR de saules, réalisée par les agriculteurs locaux (ValBiom, 2007).

En Suède, la culture de TCR est très répandue depuis les années 1970. Environ 20.000 ha ont été plantés sur le territoire. L'utilisation principale de la biomasse est l'alimentation de chaufferies collectives, mais la phyto-remédiation est également très pratiquée (Solagro et Agence Paysages, 2009).

En France, plusieurs projets dans différentes régions contribuent au développement de la maturité de la culture de TtCR. On peut citer le programme Wilwater géré par l'association AILE. C'est un projet de plantation de saules en TtCR. Le projet s'est basé sur les expériences suédoises et a développé des partenariats avec l'INRA et l'UCL.

Ainsi aux 13 ha de plantation de TtCR répartis sur 10 sites bretons (d'un premier programme expérimental 1998-2001), et aux 5 ha de plantation (2002-2006) sur la commune de Pleyber-Christ, se sont ajoutés les 100 ha du projet en lui-même sur 18 sites. Il s'agissait de démontrer l'effet dépuratoire de la culture de saule en TtCR. Les 18 sites choisis pour ces cultures ont tous des problématiques différentes de valorisation de boues de station d'épuration, de traitement tertiaire des eaux usées et de protection du captage d'eau potable. Pour chaque site, est couplé un projet pour la valorisation énergétique de TtCR partie intégrante du programme Bois énergie 2007-2013 qui vise à augmenter la consommation de bois déchiqueté de 100.000 tonnes pour une puissance installée de 100MW. En Bretagne, sont présentes 3 plates-formes d'approvisionnement de bois déchiqueté, 157 chaudières individuelles à plaquettes et 96 chaudières installées dans les collectivités.

I.3 Méthodologie de comptabilisation des réductions d'émissions de GES

En France, une méthodologie visant à l'octroi de crédits carbone pour la production d'énergie thermique référencée par les pouvoirs publics, a été développée par EcoSecurities, CITEPA et ATEE. Cette méthodologie s'intitule : « Méthodologie spécifique pour les projets de production d'énergie thermique réduisant la consommation de combustibles fossiles dans une installation nouvelle ou existante ».⁸

Deux projets domestiques français, enregistrés auprès de l'UNFCCC, ont utilisé cette méthodologie :

- Projets regroupés de production d'énergie thermique (FR1000136);
- Activité de déshydratation de luzerne et de pulpe de betterave (FR1000215).

I.3.1. Applicabilité

Cette méthodologie s'applique aux projets qui réduisent l'utilisation de combustibles fossiles dans une installation de production d'énergie thermique (ex : chaleur pour chauffage, séchage) non couverte par le système ETS.

Ceci inclut les types de projets suivants :

- Nouvelle installation de production d'énergie thermique générée totalement ou partiellement à partir d'une source renouvelable (ex : combustion totale ou partielle de biomasse ou de biogaz, pompe à chaleur, panneaux solaires), ou d'un combustible fossile peu émetteur de CO₂ (ex : gaz naturel) s'il peut être prouvé qu'un combustible plus émetteur aurait été utilisé.
- Substitution totale ou partielle de combustible (ex : charbon ou gaz naturel par biomasse) dans une installation existante.
- Amélioration de l'efficacité énergétique dans une installation existante.

Au niveau du double-compte avec le système ETS, si l'utilisateur est une installation sous le système ETS ou bien un réseau de chaleur sur lequel au moins une installation est sous le système ETS, le porteur de projet doit prouver que l'activité de projet n'entraîne pas de substitution de la production de chaleur dans l' (les) installation(s) sous ETS en question.

I.3.2. Périmètre du projet

Les émissions de CO₂ provenant de la combustion de combustibles fossiles dans le scénario de référence et dans le projet sont prises en compte. Plusieurs combustibles différents (fossiles ou non) peuvent être utilisés dans le scénario de référence et dans le projet. Toute émission déjà couverte par le système ETS (ex : pour la production d'électricité en cogénération) doit être exclue du périmètre du projet.

I.3.3. Sélection du scénario de référence

La détermination du scénario de référence dépend du caractère nouveau ou non :

- de l'installation de production d'énergie thermique (ex : chaudière, four) ;

⁸ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/5-PDOM_REF_METH_005-EconomiesEnergie-ATEE_EcoSec.pdf

- de l'utilisateur de l'énergie (ex : industrie, piscine...).

Un réseau de chaleur est considéré comme un seul utilisateur

Tableau 12 - Options possibles pour la sélection du scénario de référence (SR)

	Utilisateur(s) existant(s)	Nouvel utilisateur(s)
Nouvelle installation	<p>Une nouvelle installation est construite et reliée à un réseau de chaleur ou à un ou quelques utilisateurs existants identifiés.</p> <p>1. Poursuite de la pratique historique de ces utilisateurs.</p>	<p>Un nouvel utilisateur de chaleur décide de prendre son énergie thermique d'une nouvelle installation renouvelable ou peu émettrice.</p> <p>2a. Construction d'une installation au gaz naturel.</p> <p>2b. Ou prouver qu'un autre combustible plus émetteur que le gaz naturel aurait été utilisé.</p>
Installation existante	<p>Substitution de combustible et/ou amélioration de l'efficacité énergétique dans une installation existante.</p> <p>3. Poursuite de la pratique historique de ces utilisateurs.</p>	

Source : EcoSecurities, CITEPA et ATEE (2008)

I.3.4. Additionnalité

Scénario 1, 2a. et 3 :

Les porteurs de projets doivent démontrer que le scénario du projet est différent du scénario de référence (principe d'additionnalité) en utilisant les articles 6 et 12 du protocole de Kyoto.

Scénario 2b :

La démonstration de l'additionnalité doit être effectuée en utilisant le processus de sélection du scénario de référence :

- Lister les différentes alternatives possibles au projet ;
- Eliminer les alternatives qui sont confrontées à des barrières prohibitives (ex. charbon) ;
- Comparer l'intérêt économique des alternatives restantes.

Si le SR sélectionné est la mise en œuvre du projet (c'est-à-dire construction de l'installation du projet) en l'absence de composante URE, alors le projet n'est pas additionnel. Dans les autres cas, le projet est additionnel.

I.3.5. Réductions d'émissions

Les réductions d'émissions dues au projet pendant une année sont la différence entre les émissions du scénario de référence et les émissions du projet et des effets de fuites :

$$RE_a = ESR_a - EP_a - F_a$$

Où :

RE_a	Réduction d'émissions du projet en l'an a (tCO ₂ e)
ESR_a	Emissions dans le scénario de référence en l'an a (tCO ₂ e)
EP_a	Emissions dans le projet en l'an a (tCO ₂ e)
F_a	Emissions dues aux fuites en l'an a (tCO ₂ e)

Emissions du projet

Les émissions du projet comprennent les émissions de CO₂ de chaque procédé dans le projet. Elles sont calculées comme le produit de la quantité mesurée de combustible fossile utilisée dans chaque procédé par leur pouvoir calorifique inférieur et leur facteur d'émission de CO₂ :

Où :

EP_a	Emissions du projet en l'an a (tCO ₂) ;
$CF_{\text{projet},i,a}$	Quantité de combustible fossile utilisée dans le procédé i en l'an a dans le projet (tonnes ou m ³) ;
$PCI_{CF,\text{projet},i,a}$	Pouvoir calorifique inférieur moyen du combustible fossile utilisé dans le procédé i en l'an a dans le projet (GJ/tonne ou m ³) ;
$FE_{CF,\text{projet},i,a}$	Facteur d'émission CO ₂ moyen du combustible fossile utilisé dans le procédé i en l'an a dans le projet (tCO ₂ /GJ) ;
i	Procédé inclus dans le périmètre du projet.

Si il n'y a qu'un seul procédé par installation, alors les indices i réfèrent directement aux installations elles-mêmes et « procédé » peut être remplacé par « installation » dans le reste de la méthodologie. S'il n'y a qu'un seul procédé et qu'une seule installation, alors il est possible de supprimer tous les indices i.

Emissions du scénario de référence

Les émissions du scénario de référence comprennent les émissions de CO₂ qui auraient eu lieu dans chaque procédé dans le scénario de référence. Elles sont calculées comme le produit de l'énergie thermique produite dans le projet par le facteur d'émission de la production de cette énergie dans le scénario de référence (à déterminer *ex ante*):

Où :

ESR_a	Emissions dans le scénario de référence en l'an a (tCO ₂) ;
$Q_{\text{projet},i,a}$	Production nette d'énergie thermique dans le procédé i en l'an a dans le projet (GJ) ;
$FE_{Q,SR,i}$	Facteur d'émission de l'énergie thermique produite dans le procédé i dans le scénario de référence, à déterminer <i>ex ante</i> (tCO ₂ /GJ).

Fuites

Fuites liées au transport de biomasse :

Les fuites liées au transport de biomasse dans le projet ($F_{\text{transport},a}$) doivent être prises en compte et déduites des réductions d'émissions du projet.

$$F_{transport,a} = B_a * (D_{moy,biomasse,a} * 2) * \left(\frac{FE_{transport_biomasse}}{1000} \right)$$

Où :

$F_{transport,a}$	Fuites dues au transport additionnel de biomasse dans le projet en l'an a (tCO ₂) ;
B_a	Quantité de biomasse utilisée en l'an a (tonnes) ;
$D_{moy,biomasse,a}$	Distance aller moyenne du trajet parcouru par les camions entre la source de la biomasse et l'installation du projet en l'an a (km) ;
$FE_{transport_biomasse}$	Facteur d'émission du transport de biomasse (kgCO ₂ /t.km).

Fuites liées aux conflits d'usage de biomasse :

Afin de prévenir des fuites liées aux éventuels conflits d'usage, les porteurs de projet utilisant de la biomasse doivent soumettre un plan d'approvisionnement.

I.3.6. Suivi

Le porteur du projet conservera toutes les pièces justifiant les approvisionnements réalisés.

La quantité de chaque combustible utilisée doit être déterminée avec des instruments appropriés (ex : débitmètre, balance, etc.) permettant d'atteindre une incertitude maximale de 5 % pour les combustibles liquides et gazeux, 7.5 % pour les combustibles solides.

Il devra être en mesure de prouver durant toute la période d'attribution des URE qu'il respecte les engagements qu'il a pris dans le cadre du plan d'approvisionnement.

I.4 Actions préconisées pour la Wallonie

A défaut de pouvoir compter sur un financement carbone externe, la Wallonie pourrait augmenter la sensibilisation à cette mesure en prenant en charge un complément de 10% des investissements nécessaires pour l'achat d'une chaudière polycombustible (myscanthus) ou bois (ttr). En supposant que 200 petites chaudières polycombustible (30kW), 200 petites chaudières bois (30kW), 100 grandes chaudières polycombustibles (80kW) et 100 grandes chaudières bois (80kW), un subside 10% coûterait 1,5 million d'euro. Ce soutien à une filière encore émergente permettrait de réaliser 10% des réductions du potentiel théorique maximal, soit un peu plus de 13.000 tonnes de CO₂ évité par an.

II. Production d'énergie thermique à partir du procédé de bio-méthanisation

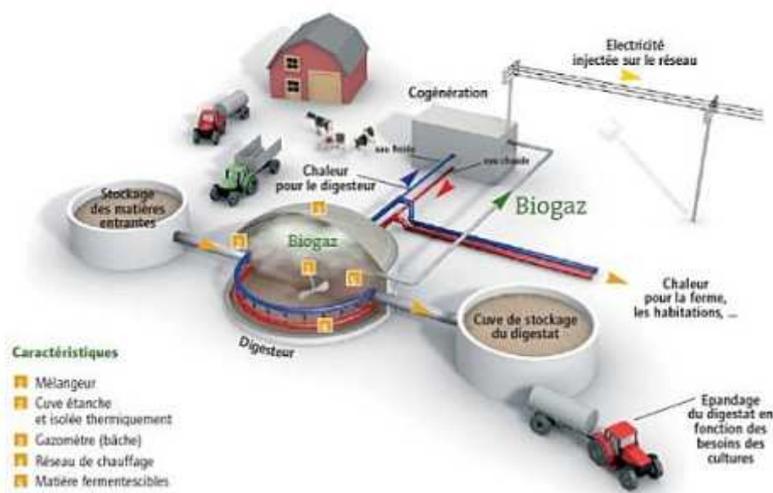
II.1 Présentation du procédé de la bio-méthanisation associée à un moteur de cogénération

La bio-méthanisation est un procédé naturel de dégradation de matières organiques par des micro-organismes (bactéries) en l'absence d'oxygène et à l'abri de la lumière. Ce phénomène se produit naturellement dans les marais, les lacs, les sols, les intestins des animaux et de l'homme et de manière générale dans tous les écosystèmes où la matière organique se trouve en condition anaérobie (Edora et ValBiom, 2012). Mais, ce procédé est également utilisé à des fins industrielles, agricoles ou domestiques afin de gérer des déchets et/ou libérer de l'énergie.

La bio-méthanisation produit un biogaz, principalement composé de méthane et dioxyde de carbone. Ce biogaz peut être utilisé directement comme combustible dans un moteur à cogénération (production combinée d'électricité et de chaleur) ou amélioré en gaz bio-méthane de qualité naturelle afin de l'injecter dans le réseau de gaz naturel. Les résidus végétaux résultant de la méthanisation, appelés le digestat, peuvent être aussi utilisés comme engrais organique. Il se présente sous forme solide et liquide.

Le processus de bio-méthanisation dans une exploitation agricole se déroule en plusieurs étapes et permet d'aboutir à deux produits finaux : le biogaz et le digestat. Premièrement, la matière organique biodégradable est stockée dans une préfosse alimentant au fur et à mesure le digesteur dans lequel va se réaliser la dégradation des matières organiques.

Figure 1 - Procédé de bio-méthanisation dans une exploitation agricole



Source : Agrivalor.eu

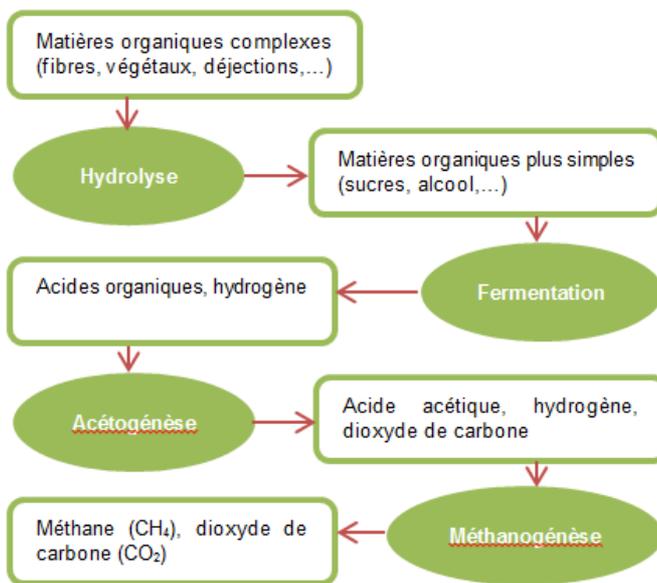
Le digesteur est une cuve étanche et isolée thermiquement équipée d'un mélangeur (système d'agitation) utile à la diffusion homogène de chaleur, qui évite la formation de mousse ou de croûtes à la surface et maintient les particules solides en suspension. Ces conditions permettent d'optimiser le dégagement gazeux de la matière en dégradation.

De densité plus faible, les gaz issus de la digestion anaérobie (dégradation organique) s'élèvent et s'accumulent en haut du dôme pour ensuite être aspirés afin d'alimenter un moteur de cogénération pour la production d'électricité et de chaleur. Il est également prévu un circuit de retour de chaleur pour conserver le

digesteur à température élevée car les bactéries, pour être actives, ont besoin d'évoluer au sein d'un environnement thermique de plus de 35°C. Le digestat est récupéré et stocké dans un réservoir afin d'être épandu ultérieurement sur les champs ou prairies en tant qu'amendement.

Au sein de la cuve du digesteur, le procédé de digestion anaérobie se réalise en 4 étapes. Il commence par l'hydrolyse bactérienne des intrants dans le but de briser les polymères organiques insolubles tels que les glucides et les rendre disponibles pour d'autres bactéries. Les bactéries acidogènes convertissent les sucres et les acides aminés en dioxyde carbone, en hydrogène, en ammoniac et en acides organiques. Les bactéries acétogènes convertissent ensuite ces acides organiques résultants en acide acétique, avec en supplément de l'ammoniac, de l'hydrogène et du dioxyde de carbone. Enfin, les méthanogènes convertissent ces produits en méthane et en dioxyde de carbone (Greenwatt, 2012).

Figure 2 - Evolution de la matière dans le digesteur



Source : Angélique L. (2002)

La digestion anaérobie est un processus délicat qui peut facilement être perturbé. Les conditions optimales pour ce processus impliquent un niveau de pH de +7 et une température constante de 35°C - 37°C (processus mésophile) ou 50°C - 55°C (processus thermophile). Le processus de bio-méthanisation est très sensible aux changements de température, à l'alcalinité et au taux de rétention hydraulique (Greenwatt, 2012).

Le biogaz produit est un mélange de différents gaz dont le méthane (CH₄), le dioxyde de carbone (CO₂) et la vapeur d'eau (H₂O). La composition moyenne du biogaz est donnée dans le tableau ci-dessous.

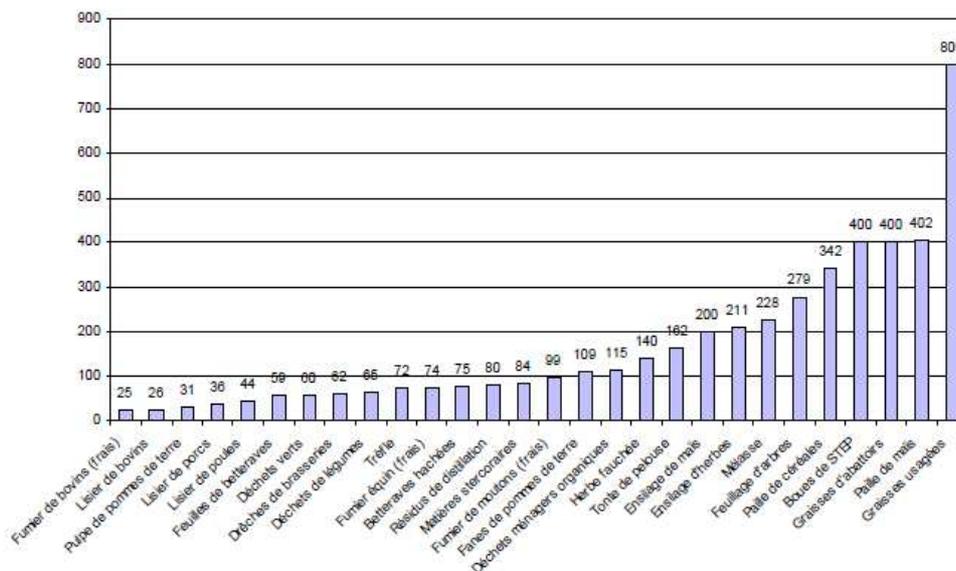
Tableau 13 - La composition chimique moyenne du biogaz

Gaz	Concentration en %
CH ₄	50 - 90
CO ₂	10 - 40
H ₂	1 - 3
N ₂	0,5 - 2
H ₂ S	0,1 - 0,5
CO	0,0 - 0,1

Source : Biogas Regions (2009)

La composition du biogaz varie en fonction des intrants organiques biodégradables appelés également substrats dans le digesteur. De manière générale, tous les substrats sont méthanisables mais ils n'ont pas le même potentiel méthanogène. Les matières les plus utilisées sont les déchets et effluents de l'industrie agro-alimentaire, les ordures ménagères, les boues de station d'épuration des eaux urbaines et les déchets et effluents agricoles. Le graphique ci-dessous donne une estimation de la quantité de gaz produit en mètres-cube par tonne de matière fraîche entrante.

Tableau 14 - Quantités de biogaz produit en m³ par tonne de matière fraîche entrante



Source : Hermand P. (2010)

Cependant, l'approvisionnement en substrats doit être un équilibre entre le fonctionnement efficace du digesteur et le rendement en méthane. Par exemple, les effluents d'élevage sont peu méthanogènes mais possèdent un pouvoir tampon et contiennent les bactéries nécessaires à la fermentation. Les déchets de l'industrie agro-alimentaire ou les boues sont très méthanogènes mais doivent respecter une réglementation pour pouvoir être valorisées dans l'agriculture.

La qualité des substrats est importante pour maîtriser le processus biologique de la digestion. Les substrats, en fonction de leur nature et de la quantité introduite, interagissent sur le processus. Ainsi, une mauvaise gestion des intrants peut provoquer l'inhibition du digesteur et entraîner l'arrêt de la production. En outre, le digestat est également étroitement lié à la qualité des substrats entrants. Or, que celui-ci soit valorisé directement en agriculture ou transformé en amendement à d'autres usages, il doit respecter certaines caractéristiques. Par conséquent, l'introduction d'un substrat « pollué » même en quantité infime, affectera l'ensemble du digestat (Edora et ValBiom, 2012).

Nous présentons ci-dessous les principales caractéristiques des unités de bio-méthanisation actuellement mises en œuvre en Wallonie.

Tableau 15 - Fiche technique des unités de bio-méthanisation en Wallonie

Caractéristiques des unités de bio-méthanisation en Wallonie		
La puissance électrique nette totale installée	18 MW _{él}	
Nombre d'unités et puissance électrique installée dans le secteur industriel	4	9 MW _{él}
Nombre d'unités et puissance électrique	1	1 MW _{él}

installée dans le secteur public (FFOM ⁹)		
Nombre d'unités et puissance électrique installée dans le secteur agricole	13	8 MW _{él}
Perspective d'évolution	20 à 40 projets à l'étude	
Tendances de la taille des unités ¹⁰	< 10 kW _{él} 500 à 700 kW _{él} 1 à 2 MW _{él}	
Autoconsommation d'électricité	80 à 220 €/MW _{él}	
Vente électricité - remise sur le réseau	30 – 55 €/MW _{él}	
Vente chaleur	Entre 50 % et 100 % du prix équivalent mazout ou gaz	

Source : CO2logic

II.2 Potentiel de réduction d'ici 2020

Les effluents d'origine agricole et industrielle seraient en mesure de produire un total annuel de 2.031 GWh d'énergie primaire via bio-méthanisation. Toutefois, les effluents ne peuvent être utilisés que dans un périmètre restreint autour du site de production car les effluents riches en eau sont difficilement transportables (Pieret N., 2010). ValBiom pose l'hypothèse d'une mobilisation du potentiel théorique à hauteur de 50 %, soit 1.015 GWh, le solde restant disponible pour la fertilisation directe. De son côté, la fédération des énergies renouvelables Edora estime le potentiel exploitable de l'ensemble des effluents d'élevage à environ 8,5 millions de tonnes, soit de l'ordre de 800 GWh d'énergie primaire théorique (Edora, 2011).

La méthanisation des déjections telles que le lisier de porcs et les déjections bovines permet de réduire les émissions à deux niveaux (Leseur A. et al., 2006) :

- la phase de stockage des déjections : 80 % des émissions de CH₄ sont évitées, mais cela n'a pas d'impact sur les émissions de N₂O ;
- et lors de la substitution à l'énergie fossile utilisée sur l'exploitation, via la valorisation énergétique du biogaz produit (chaleur).

La mise en place de la bio-méthanisation des déjections, qui pourrait s'appliquer à 50 % des élevages porcins et bovins en Wallonie, permettrait de réduire les émissions de l'inventaire régional de la Wallonie de 53.000 teqCO₂. En substituant le biogaz récupéré (valeur médiane 900 GWh) à l'énergie fossile (mazout), le biogaz permet une réduction de GES supplémentaire qui peut être estimée à 239.600 teqCO₂. Ce type de projet qui présente l'avantage d'un suivi simple, notamment lié à la concentration des émissions sur un site, est l'un des rares à avoir fait la preuve de son succès en matière de compensation carbone (Foucherot et Bellassen, 2011).

Tableau 16 - Potentiel de réduction de la bio-méthanisation des effluents d'élevage d'ici 2020 (teqCO₂/an)

Projet	Bio-méthanisation des effluents d'élevages porcins et bovins
--------	--

⁹ Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères

¹⁰ Source : Hermand P., septembre 2011

Réduction moyenne d'émission unitaire concernant la phase de stockage des déjections ¹¹	58 kgCO ₂ /bovin et 80 kgCO ₂ /porc (80% de récupération du CH ₄)
Réduction unitaire pour une unité de bio-méthanisation de taille moyenne (500 kW _{éi}) concernant la substitution du mazout à la production de chaleur	1.063 tCO ₂ /an
Réduction unitaire pour une unité de bio-méthanisation de petite taille (10 kW _{éi}) concernant la substitution du mazout à la production de chaleur	15 tCO ₂ /an
Réduction maximale annuelle d'ici 2020 (teqCO ₂ /an)	Récupération du CH ₄ lors de la phase de stockage des déjections : 53.000 tCO ₂ /an Substitution énergétique au mazout : 239.600 tCO ₂ /an
Hypothèses retenues	80% des émissions de méthane provenant de la gestion des effluents d'élevage sont évitées via le processus de bio-méthanisation (Leseur A. et al., 2006) ; Les effluents d'origine agricole et industrielle exploitables seraient en mesure de produire un total annuel de 900 GWh (valeur médiane entre Edora et ValBiom)

Source : CO2logic

II.3 Evaluation de l'offre

Dans cette partie, nous nous attacherons à relever les avantages du développement de la bio-méthanisation dans une exploitation agricole et les opportunités qu'elle propose.

L'atout majeur de la bio-méthanisation est la valorisation possible des deux produits résultant de la dégradation organique. Tout d'abord, la première valorisation est la production d'énergie. Le biogaz peut être valorisé en tant que combustible pour la production d'électricité seule ou pour la production combinée d'électricité et de chaleur avec un système de cogénération. La production d'électricité peut être autoconsommée ou revendue au réseau. La production de chaleur est également un débouché. Récupérée, elle peut chauffer un réseau d'eau qui peut servir localement, tant au niveau du site de production, qu'au niveau local. Un agriculteur peut utiliser ce circuit d'eau chaude pour son habitation privée, pour ses équipements industriels (système de pasteurisation, production de froid), ou pour ses besoins horticoles ou agricoles (chauffage de serre, porcherie, poulailler, ...). Une commune peut récupérer cette chaleur pour alimenter des bâtiments collectifs ou certaines infrastructures publiques (ex. piscines). Le biogaz selon sa pureté peut également être revendu et réinjecté dans le circuit de distribution. Enfin, le biogaz peut servir de carburant en étant transformé en gaz naturel pour véhicules.

¹¹ Les réductions unitaires concernant la phase de stockage des déjections sont fournies à titre indicatifs. En effet, calculables en théorie, elles ne peuvent pas être actuellement comptabilisées dans l'inventaire des émissions de GES de la Région wallonne car l'inventaire utilise des facteurs d'émission moyens par tête de bétail qui ne tiennent pas compte la manière dont les déjections sont gérées.

Le digestat aussi peut également être valorisé. Il sert de fertilisant pour les terres agricoles. Il se présente sous forme solide, liquide ou composté. Un digestat sec pourra être conditionné et commercialisable voire même exporté. Un digestat liquide possède une viscosité moindre et sera facilement épandable sur les prairies. Le digestat possède intrinsèquement des propriétés qui en font un produit de qualité pour les sols. Comme sa nature est connue (car on connaît la nature des substrats utilisés), et qu'une analyse de sa composition est recommandée, on connaît mieux son pouvoir fertilisant et on maîtrise alors l'enrichissement du sol (Edora et ValBiom, 2011). De plus, l'azote présent dans le digestat est partiellement minéralisé, donc plus vite disponible par les plantes. Le risque de lessivage des sols est donc moindre, surtout que les quantités de digestat épandues sont aussi réglementées.

La bio-méthanisation est une technique qui contribue à la diminution des gaz à effet de serre. L'utilisation du biogaz permet de brûler le méthane produit par la fermentation des déchets et évite donc son relâchement dans l'atmosphère. Il faut aussi souligner que la production de CO₂ dans le mécanisme chimique de bio-méthanisation est moindre. Par exemple, la méthanisation produit 3 fois moins de CO₂ qu'une fermentation aérobie qui a lieu après un épandage de lisier (Angélique L., 2002).

D'un point de vue environnemental, la bio-méthanisation est en premier lieu une solution économique et durable de valorisation des déchets organiques. Ensuite, elle diminue les nuisances olfactives ; le méthane est un gaz odorant de mauvaise réputation. Les mesures de contrôle et d'hygiène au niveau du digesteur permettent de surveiller la présence d'éléments pathogènes (donc une meilleure hygiénisation globale) et permet aussi la traçabilité des substrats entrants et sortants.

D'un point de vue agronomique, la bio-méthanisation apporte un maintien des éléments nutritifs. Les digestats sont plus riches en azote minéral et contrôlés au niveau de leur composition et aussi de leur épandage. Cela a donc un impact sur le sol, la végétation et l'environnement. Le digestat est moins agressif vis-à-vis de la végétation, influe sur la composition de la flore en diminuant le nombre de mauvaises graminées et en augmentant les bonnes, il limite aussi la disparition de légumineuses, indispensables pour une fertilisation azotée. Il a enfin un effet positif lors de l'appétence du pâturage et du processus d'ensilage (Ministère de la Région wallonne, 2006).

Au niveau économique, il apporte une diversification des revenus pour les agriculteurs. L'exploitant doit prendre en considération l'ensemble des incitations financières pour lancer un projet de bio-méthanisation. Ces incitations financières sont principalement les certificats verts mais également les aides à l'investissement.

Les Certificats Verts

L'octroi est garanti sur une période de 15 ans. S'il y a un remplacement de l'unité de cogénération, la période d'octroi des certificats verts est reconduite pour une période de 15 ans. L'octroi du certificat vert est fonction :

- o de la production d'électricité valorisable (autoconsommée ou remise sur le réseau) ;
- o de la production de chaleur valorisable utilisée en « bon père de famille » ;
- o du CO₂ émis par l'installation de bio-méthanisation ;
- o des émissions de CO₂ des installations modernes de référence de production d'électricité et de chaleur.

$$t = (E_{\text{réf}} + Q_{\text{réf}} - F) / E_{\text{réf}} = \text{max } 200\% \text{ ce qui correspond à } 2 \text{ CV/MWh}_{\text{él}}$$

Où :

$E_{\text{réf}}$	La quantité d'émission de CO ₂ d'une centrale électrique TGV pour la production d' 1 MWh _{él} . Cette valeur de référence est égale à 456 kgCO ₂ /MWh _{él} ;
$Q_{\text{réf}}$	La quantité d'émission de CO ₂ d'une chaudière mazout pour la production équivalente de chaleur du moteur à cogénération. Le facteur d'émission utilisé est de 306 kgCO ₂ /MWh ;

- F La quantité d'émission de CO₂ issue du combustible utilisé dans le moteur à cogénération pour la production d'1 MWh_{el} et des étapes de transformation du combustible (ex. transport).

Au niveau fiscal, les certificats verts respectent les règles suivantes :

- o ils sont soumis à la TVA (21%) ;
- o les revenus liés à la vente des CV sont imposables ;
- o les frais d'achat de CV sont fiscalement déductibles.

Les aides à l'investissement

Nous avons repris trois principaux types d'aide à l'investissement d'une unité de bio-méthanisation.

- A) Les aides à l'investissement « classique » pour les PME et les grandes entreprises

Les aides à l'investissement « classiques » ne peuvent pas être cumulées avec d'autres aides régionales. Par contre, elles peuvent être cumulées avec les aides provenant de fonds structurels européens.

Au niveau des PME, la prime à l'investissement du programme se calcule par la cumulation de pourcentages sur base de critères tels que les zones franches, la création d'emploi, la qualité de l'emploi, l'intérêt de l'activité, le lien avec un pôle de compétitivité, etc. Ces pourcentages varient également selon la localisation de l'investissement : zone de développement ou hors zone de développement.¹²

Tableau 17 –Résumé des fourchettes de pourcentages des aides à l'investissement « classique »

Entreprise	Zone de développement	Hors zone de développement
Micro	13-18%	10-13%
Petite	6-18%	4-13%
Moyenne	6-18%	3,5-6,5%
Grande	A déterminer selon le cas	0%

Source : Mignon C. (février 2012)

Au niveau des grandes entreprises, afin de respecter le montant maximal autorisé pour la réduction du taux d'intérêt, la prime à l'investissement ne peut excéder 20 %. La prime est limitée à 75.000 € par emploi créé, sauf si le programme d'investissement présente un intérêt majeur pour le développement durable de la Région wallonne. Dans ce cas, cette limite est portée à 100.000 €.

Les documents officiels sont disponibles sur internet dans le catalogue Midas – Recherche des aides économique en Région wallonne sous le titre « Prime à l'investissement et aide fiscale complémentaire aux PME » (aide n°169) et « Prime à l'investissement et aide fiscale complémentaire aux grandes entreprises » (aide n°1).

- B) Aides destinées à la protection de l'environnement (ENV) et l'utilisation durable de l'énergie (UDE)

¹² Les zones de développement sont définies dans l'annexe 3 du document suivant :

<http://www.valbiom.be/files/gallery/biomethanisationlesaidsetdemarchesenregionwallonne1329917367.pdf>

Le programme d'investissement ENV soutient toute action visant à réparer ou à prévenir une atteinte au milieu physique ou aux ressources naturelles ou à encourager une utilisation rationnelle de ces ressources telles que le dépassement des normes communautaires existantes ou anticipation des futures normes communautaires. Dans le domaine de l'utilisation durable de l'énergie, les investissements admis sont limités à la réduction de la consommation d'énergie utilisée au cours du processus de production, au développement d'énergies issues de sources d'énergie renouvelables et au développement d'installations de cogénération à haut rendement.

L'entreprise ne peut cumuler le bénéfice de ces aides avec des aides obtenues en vertu d'autres législations ou réglementations régionales en vigueur. Ces aides peuvent être cumulées avec les aides provenant des fonds structurels européens.

Tableau 18 - Résumé des pourcentages des aides ENV et UDE

Puissance électrique installée	Pourcentage de subside
$P > 1 \text{ MW}_{\text{él}}$	22,5%
$100 \text{ kW}_{\text{él}} < P \leq 1 \text{ MW}_{\text{él}}$	27,5%
$P \leq 100 \text{ kW}_{\text{él}}$	32,5%

Source : Hermand P. (décembre 2011)

Le document officiel est disponible sur internet dans le catalogue Midas – Recherche des aides économique en région wallonne sous les titres « Prime pour la protection de l'environnement » et « Primes pour l'utilisation durable de l'énergie » (aide n°323 et 324).

C) Aides européennes du FEDER ou FEADER (cumulable avec l'aide UDE)

Il existe pour les micro-entreprises soit moins de 10 personnes et un chiffre d'affaire inférieur à 2.000.000 € une aide à l'investissement supplémentaire cumulable avec le programme de l'utilisation durable de l'énergie (UDE). Ce programme intervient à hauteur de 8,25 à 9,75% du montant de l'investissement.

Afin de mener à bien les projets de développement des unités de bio-méthanisation, les porteurs de projet peuvent s'appuyer sur un réseau important d'acteurs de la filière. Il existe en Wallonie (Mignon C., janvier 2012) :

- Plus de 30 consultants, bureaux d'étude ou centres de recherche spécialisés dans la filière bio-méthanisation et cogénération tels que les bureaux IRCO (facilitateur en biométhanisation), Agra-ost, Centre des Technologies Agronomiques (CTA), Certech, Deecc Consulting, Delta plus, FWA, Lee, Synergrid, ValBiom, etc.
- Douze producteurs et installateurs d'équipements : ABCD solutions, Agrofutur, C&A consultants, Ciat, Ecothane, Greenwatt, Lehmann Maschinenbau, MT-Energie, Planet Biogastechnik, Verdesis, WELtec BioPower et WPS Luxembourg (Cinergie).
- Deux tiers-investisseurs : NPG energy et NRJ-Invest.

Toutefois, quelques inconvénients sont à prendre en compte pour appréhender un projet d'unité de production de biogaz. Le premier, et un des plus importants, est l'investissement financier conséquent, de 1,5 à 10 millions d'euros¹³. Malgré les différentes aides à l'investissement et autres soutiens financiers, le retour sur investissement d'une unité de bio-méthanisation couplé à une cogénération est généralement évalué à 10

¹³ Entretien avec le facilitateur en bio-méthanisation Philippe Hermand

ans.¹⁴ Le besoin en trésorerie est pénalisé par une réticence des banques à prêter de l'argent à des projets dont le retour sur investissement est jugé trop long.

La lourdeur et la complexité des procédures administratives (étude d'incidence, permis d'environnement, permis pour l'installation de canalisations, licence de fourniture d'électricité, certificat d'utilisation du digestat,...) peuvent éprouver la motivation des futurs entrepreneurs. Il faut en effet entre 24 et 42 mois pour démarrer une unité (Mignon C., novembre 2010).

Le projet doit également prendre en compte les composantes au niveau local. L'approvisionnement en intrant doit provenir d'une source locale (10 - 15 km) pour limiter les coûts de transport qui pèsent beaucoup sur la rentabilité du projet (particulièrement pour les intrants liquides). De plus, l'approvisionnement doit être constant et équilibré toute l'année, car la teneur en méthane du biogaz doit être constante pour un moteur de cogénération. L'étude de marché est un point crucial également car les difficultés pour trouver une utilisation constante et permanente de la chaleur sont nombreuses (particulièrement pour les projets de grande ampleur).

Il y a également deux autres éléments à prendre en compte. Le premier est la perte de carbone de la matière épandable (digestat). En effet, du fait de la production de méthane (CH₄), une diminution de carbone (C) dans le digestat, par rapport au substrat est observée (5-10%)¹⁵, ce qui pourrait être source d'une carence de carbone dans les sols. Cependant, le carbone « perdu » ne constitue pas la charge structurante du sol puisqu'il s'agit de carbone le plus facilement dégradé. Il n'y a donc pas d'effet négatif vis-à-vis de la formation de l'humus après épandage sur les terres agricoles (Mignon C., novembre 2010).

Deuxièmement, il faut prêter attention à l'environnement humain et convaincre de l'utilité d'une installation de bio-méthanisation. Le syndrome NIMBY (Not In My BackYard) est très présent. La population ne veut pas au premier abord voir l'installation de sites industriels près de chez eux. L'information joue un rôle primordial.

II.4 Evaluation financière

Dans cette section, nous allons réaliser l'évaluation de deux unités de bio-méthanisation : une installation de taille moyenne et une micro-cogénération.

Dans le premier exemple, nous prenons en compte les caractéristiques techniques de l'installation suivante:

- L'unité de bio-méthanisation produit annuellement 10.500 MWh énergie primaire ;
- Le moteur de cogénération est de 500 kW_{él} ;
- La chaleur valorisée sur site grâce à un séchoir. La construction d'un réseau de chaleur n'est pas prise en compte.

Le gisement des intrants ainsi que la production de méthane et les coûts associés sont repris dans le tableau suivant.

Tableau 19 - Types d'intrants, production de CH₄ et coûts associés

Type d'intrants	Quantité	Coût annuel	Production totale CH ₄
	Tonnes	€	m ³
Lisier de porc	2.600	3.900	39.000
Lisier et purin bovin	3.000	6.000	45.000
Herbes	500	1.000	50.000

¹⁴ Entretien avec la spécialiste Christelle Mignon de ValBiom

¹⁵ Contrairement à l'azote et au potassium que l'on retrouve intégralement après méthanisation.

Seigle	500	1.000	50.000
Mais ensilé	4.500	157.500	540.000
Fientes volaille	2.200	6.600	330.000
Total	13.300	176.000	1.054.000

Source : Hermand P. (décembre 2011)

A partir de données communiquées par certaines unités de bio-méthanisation existantes et d'informations collectées auprès du facilitateur en bio-méthanisation et de ValBiom, nous avons construit l'évaluation financière suivante.

Tableau 20 - Analyse financière d'une unité de bio-méthanisation de taille moyenne

ANALYSE FINANCIÈRE D'UNE UNITÉ DE BIOMÉTHANISATION ASSOCIÉE À UNE COGÉNÉRATION DE 500 kW		
Bio-méthanisation	1.910.000	€
Cogénération	417.000	€
Frais d'étude et architecte	173.000	€
Aide UDE (27,5%)	- 640.000	€
Coûts de l'investissement	1.860.000	€
Frais de maintenance	70.000	€/an
Main d'œuvre	25.000	€/an
Achat des matières entrantes	176.000	€/an
Coûts opérationnels	271.000	€/an
Puissance cogénération	500	kW
Production électrique annuelle	4.000	MWh _{él} /an
Vente sur le réseau (85% de l'électricité produite et 30€/MWh _{él})	102.000	€/an
Certificats Verts (1,4CV/MWh et 65€/CV)	364.000	€/an
Revenu annuel de la production électrique	466.000	€/an
Production annuelle de chaleur valorisée sur place (séchoir)	4.700	MWh _{th} /an
Réduction annuelle des émissions de CO ₂ par la substitution du mazout (chaleur)	1.063	tCO ₂
Revenu des crédits carbone (85% de la chaleur produite et 20€/crédits carbone)	21.269 (20x1.063)	€/an
Temps de retour (sans crédits carbone)	9,5	années
Temps de retour (avec crédits carbone)	8,6	années

Source : CO2logic

D'un coût équivalent à 2.500.000 € pour une unité de 500 kW_{él},¹⁶ le projet est financé à hauteur de 27,5% grâce à l'aide à l'investissement pour utilisation durable de l'énergie. En tenant compte des coûts opérationnels et des revenus annuels de la production électrique (CV et vente de l'électricité sur le réseau), le projet a un temps de retour d'environ 9,5 années. Les potentiels revenus des crédits carbone (20€/tonne) permettrait de réduire le retour sur investissement d'environ 1 an.

¹⁶ ValBiom estime les coûts d'investissement compris entre 5.000 et 10.000 €/kW_{él} (source : entretien avec la spécialiste Christelle Mignon de ValBiom)

Dans le deuxième exemple, nous prenons en compte les caractéristiques techniques de l'installation suivante :

- la mise en œuvre d'une micro unité de bio-méthanisation permettant d'alimenter une unité de cogénération de 10 kW_{él} installés ;
- l'ensemble de la chaleur est valorisé au niveau de l'exploitation agricole via un réseau de chaleur de 200 mètres ;
- l'ensemble de l'électricité produite et valorisable sera utilisée au niveau de l'exploitation.

Les intrants annuels nécessaires au fonctionnement de la micro unité est de 2.000 m³ de lisier (soit 200 tonnes). Sur base d'un potentiel de production de méthane de 15 m³ par tonne, le lisier permettra la production annuelle de 30.000 kWh primaire. La quantité de lisier nécessaire peut être directement disponible sur l'exploitation ce qui rend nuls les frais d'approvisionnement.

A partir de données communiquées auprès du facilitateur en bio-méthanisation, nous avons construit l'évaluation financière suivante.

Tableau 21 - Analyse financière d'une unité de bio-méthanisation de très petite taille

ANALYSE FINANCIÈRE BIOMÉTHANISATION ASSOCIÉE À UNE MICRO-COGÉNÉRATION 10 kW		
Bio-méthanisation + micro-cogénération (10 kW)	95.000	€
Réseau de chaleur (200 mètres)	50.000	€
Frais d'étude	10.005	€
Aide UDE (32,5%)	-47.125	€
Coûts de l'investissement	107.880	€
Frais de maintenance	3.000	€/an
Main d'œuvre	500	€/an
Achat des matières entrantes	0	€/an
Coûts opérationnels	3.500	€/an
Production électrique annuelle autoconsommée	80	MWh _{él} /an
Production de chaleur annuelle valorisée par le réseau de chaleur	66	MWh _{tr} /an
Certificats Verts (1,8CV/MWh et 65€/CV)	9.360	€/an
Economies annuelles d'électricité	14.400	€/an
Economies annuelles de mazout	6.072	€/an
Revenus annuels	29.832	€/an
Réduction annuelle des émissions de CO ₂ par la substitution du mazout (chaleur)	15	tCO ₂ /an
Crédits carbone (85% de la chaleur produite et 20 €/CC)	299	€/an
Temps de retour (sans crédits carbone)	4,10	Années
Temps de retour (avec crédits carbone)	4,05	Années

Source : CO2logic

D'un coût équivalent à 155.000 € pour une unité de 10 kW_{él}, le projet est financé à hauteur de 32,5% grâce à l'aide à l'investissement pour utilisation durable de l'énergie. En tenant compte des coûts opérationnels, des revenus annuels de la production électrique (CV) et des économies annuelles engendrées, le projet a un temps de retour d'environ 4,1 années. Les potentiels revenus de crédits carbone (20€/tonne) permettrait de réduire le retour sur investissement d'environ 18 jours.

De manière générale, la méthodologie de comptabilisation des réductions d'émissions de CO₂ pour la chaleur produite est identique à celle présentée à la section I.3.

II.5 Actions préconisées pour la Wallonie

La réussite d'un projet de bio-méthanisation dépend fortement de l'implication de trois types d'acteurs : une commune, des agriculteurs et des industriels. La commune peut être intéressée en raison de besoins en chaleur important (piscine, hall omnisport, etc.). Elle peut également être à la source d'un meilleur subventionnement du projet. De leur côté, les exploitants agricoles sont les principaux fournisseurs d'effluents d'élevage et de plantes énergétiques. Ce type de projet permet de diversifier les activités et les sources de revenus de certains d'entre eux. De plus, ce sont eux qui réalisent la valorisation agricole du digestat. Enfin, les industries agro-alimentaires peuvent être la source de déchets à valeur positive et à haut pouvoir méthanogène et peuvent également être un client potentiel de chaleur. Les industriels sont parfois également des investisseurs.

La Région wallonne devrait dès lors conditionner son soutien additionnel, estimé dans cette présente étude à 20€/tonne de CO2 évité, à l'implication des différents acteurs. Il faut en effet que l'aide soit dirigée en priorité vers des projets présentant des besoins réels de chaleur et où l'approvisionnement en digestat local de qualité peut être assuré sur la durée de vie du projet. Actuellement, les projets de bio-méthanisation sont au nombre de 18 en Wallonie. Une description des installations électriques et de l'année de mise en service des unités de bio-méthanisation situées en Wallonie est présentée ci-dessous.

Tableau 22 - Liste des unités de bio-méthanisation en Wallonie

Secteur	Société	Lieu	Mise en service	Puissance électrique nette en kW _{él}
Industriel	Lutosa	Leuze-en-Hainaut	2002	2.190
Industriel	Mydibel	Mouscron	2006	1.382
Industriel	Sodecom	Quevy	2007	2.300
Industriel	Bionergie (L'Oréal)	Libramont	2008	3.200
Public	Idelux	Tenneville	2009	1.000
Agricole	Ferme Heck	Nidrum	2001	110
Agricole	Ferme Lenges	Rechts (Vielsam)	2002	360 → 1.000
Agricole	Ferme Faascht	Attert	2003	935 → 2.000
Agricole	Ferme du Pré du Préal La Surizée	Surice	2006	104
Agricole	Ferme de l'Hosté	Wavre	2006	22
Agricole	Biomasse Bioenergie	Nidrum	2007	173
Agricole	Dries	Amel	En attente - permis octroyé en 2008	520
Agricole	Biogaz du Haut Geer	Geer	2009	1.074
Agricole	Forcerie de chicons Joluwa-Depaepe	Nivelles	2009	70
Agricole	B unité de Ruyff	Welkenraedt	En attente - permis octroyé en 2008	700
Agricole	Cinergie	Fleurus	2011	1.145
Agricole	Aiseau-Presles	Aiseau-Presles	2010	200
Agricole	Biospace	Gesves	2011	1.300

Source : Hermand P. (septembre 2011) et CO2logic

Ci-dessous, nous présentons les caractéristiques de 4 unités de bio-méthanisation agricole situées en Wallonie. Nous pouvons observer que les effluents d'élevage représentent environ de 40% à plus de 75% des quantités d'intrants utilisés dans le processus de bio-méthanisation.

Tableau 23 - Caractéristiques des 4 unités de bio-méthanisation agricole en Wallonie

Unité agricole de biogaz	Année	Intrants tonnes/an	%	Volume du	Production	Capacité	Production	Production
				digesteur m ³	de biogaz m ³ /an	électrique kW _{él}	électrique kWh _{él} /an	de chaleur kWh _{th} /an
Ferme Lenges (Rechts)	1999	Effluents d'élevage : solide : 650 et liquide : 4.700	76%	600 + 1800	950.000	360	1.700.000	8.500.000
		Produits énergétiques : gazon : 350	5%					
		Déchets de l'industrie alimentaire : chocolat : 250, légumes : 120 et boues : 1.000	19%					
Ferme Heck (Nidrum)	2001	Effluents d'élevage solide : 1.400 et liquide : 2.000	70%	1.800	360.000	110	605.000	1.200.000
		Produits énergétiques : gazon : 750	15%					
		Déchets de l'industrie alimentaire : 700	14%					
Ferme du Faasch (Attert)	2003	Effluents d'élevage : solide : 2.650 et liquide : 2.250	38%	2 X 750	1.330.000	935	2.260.000	3.100.000
		Produits énergétiques : maïs et gazon : 1.150	9%					
		Déchets de l'industrie alimentaire : fruit, chocolat et pomme de terre : 7.000	54%					
Suzénergie (Surice)	2006	Effluents d'élevage : solide : 2.400 et liquide : 500	78%	1.500	300.000	104 - 240	530.000	750.000
		Produits énergétiques : maïs et gazon : 800	22%					
Cinergie (Fleurus) ¹⁷	2011	Effluents d'élevage : solide et liquide : 40.000	80%	NA	4.000.000	1.145	9.160.000	16.000.000
		Déchets agricoles : Maïs non exploités, etc. : 10.000	20%					

Source : ValBiom (2007) et CO2logic

¹⁷ Caractéristiques techniques du potentiel théorique de l'installation basé sur l'entretien avec Thierry Smets le directeur technique de Cinergie. Actuellement, l'installation de Fleurus fonctionne à environ 25% de son potentiel. La mise en route de l'installation a été réalisée en novembre 2011.

A défaut de pouvoir compter sur un financement carbone externe, la Wallonie pourrait augmenter la sensibilisation à cette mesure en prenant en charge un complément de 10% des investissements. En supposant que 20 projets de 500kW fassent appel à cette aide, le coût pour le budget de la Wallonie s'élèverait à 5 millions d'euro. Ce soutien à une filière encore émergente permettrait de réaliser 10% des réductions du potentiel théorique maximal, soit un peu plus de 20.000 tonnes de CO₂ évité par an.

Bien que la filière soit encore moins développée, nous avons montré dans notre étude qu'une installation de très petite taille peut être rentable pour des agriculteurs. Afin de promouvoir cette filière naissante nous proposons de subsidier une centaine de micro-installations. Le coût global pour cette aide s'élèverait à 1 million d'euro et permettrait d'éviter 1.500 tonnes de CO₂ par an.

III. Pommeaux de douche économiques

III.1 Présentation des pommeaux de douche économique

D'après le tableau de bord de l'environnement wallon 2010 (SPW DGO3, 2010), la consommation d'eau de distribution à usage domestique et à usage non domestique est de 128,3 litres par jour et par personne en 2008.¹⁸ Cette consommation est l'une des plus faibles d'Europe. Elle peut s'expliquer par la faible taille moyenne des ménages et la présence de citernes de récupération d'eau de pluie. La démarche citoyenne d'économie d'énergie et de comportement durable peut avoir une influence mais n'est pas quantifiée.

Sur ces 128,3 litres d'eau consommés, 89 litres sont utilisés pour les usages domestiques. Sur ces 89 litres d'eau à usage domestique, environ 70% de cette utilisation est reliée à l'usage des toilettes et eaux de salles de bain (Aquawal, 2012).

Pour réduire cette consommation domestique au niveau de l'utilisation, des gestes simples et des techniques efficaces existent. La diminution des débits des robinets et des pommeaux de douche est sans doute la technique la plus simple à mettre en œuvre et celle que nous allons analyser dans cette étude.

Chaque douche en moyenne dure quelques minutes, environ 3,7 minutes (estimation¹⁹ basée sur la consommation journalière d'eau pour la douche selon VMM). Selon le débit généré par la douche, celle-ci amène une consommation d'eau de plus de 50 litres en moyenne. Pour comparaison un bain consomme de 150 à 200 litres d'eau. Une douche d'une dizaine de minutes correspond à la prise d'un bain.

Outre le fait de réduire la durée de la douche et d'avoir un comportement responsable encore plus développé, le changement d'un pommeau de douche classique par un pommeau de douche économique permet de réduire considérablement la consommation d'eau. Un pommeau de douche classique a un débit d'environ 12 à 17 litres d'eau par minute. Et sur les 50 litres d'eau utilisés en moyenne par douche, 30 litres sont de l'eau froide et 20 litres sont de l'eau chaude (IBGE, fiche ECS01, 2008).

Pour comparaison, un pommeau de douche économique possède un débit d'environ 5,8 à 8 litres par minute, sans que le confort de la douche ne s'en ressente. L'utilisation de ce pommeau réduit de ce fait de 33% à 66% la consommation d'eau par douche et par conséquent également l'énergie pour chauffer la part d'eau chaude d'une douche.

Les pommeaux de douche sont des matériels dits hydroéconomiques, qui utilisent différentes techniques de réduction de débit. Ces techniques sont les suivantes (Talpaert L., 2005) :

- La technique de Compression-Injection-Eclatement qui comprime l'eau puis l'injecte dans une buse conique calibrée avant de passer par une grille fortement trouée qui

¹⁸ En 2003, la consommation d'eau de distribution en Région wallonne était de 133,2 litres/habitant (Prevedello C., 2006)

¹⁹ La consommation d'eau par douche d'une personne est estimée à 44 litres (VVM/waterloket). La durée moyenne d'une douche est de 3,7 minutes avec un débit de 12 litres/minute (pommeau de douche moyen).

augmente le nombre de gouttelettes ce qui renforce la sensation de « mouillant » de l'eau ;

- La technique de la « turbulence » qui réduit la section de l'écoulement donc qui augmente la vitesse de sortie de l'eau ;
- L'effet « venturi » qui permet une injection d'air à l'eau. Il n'y a pas de perte de débit car l'air prend la place de l'eau ;
- La technique dite de pulsation fait traverser à l'eau une buse pulsante qui l'éjecte avec une fréquence de 40 pulsions par seconde. Le jet est si rapide qu'on le croit constant. Un autre jet alternatif est envoyé pour diviser le débit initial ;

Cependant, il faut porter une attention particulière à plusieurs points pour la mise en place d'un pommeau de douche économique. Il faut connaître les débits des matériels. Ensuite, les chauffe-eaux à gaz ne sont pas tous compatibles avec un pommeau de douche économique. Dès lors il est nécessaire de vérifier les limites de pression, notamment la pression de déclenchement. Le flexible de douche devra également supporter la pression de 3 bars environ (IBGE, fiche EAU02, 2008).

Enfin, le prix d'achat d'un pommeau de douche économique est selon nos estimations de l'ordre de 35 à 70 euros.

Ci-dessous l'ensemble des caractéristiques techniques d'un pommeau de douche économique est donné sous forme de tableau.

Tableau 24 - Fiche technique du pommeau de douche économique

Caractéristiques d'un pommeau de douche économique	
Durée de vie	15 ans
Débit d'eau d'un pommeau standard	17 litres/minute
Débit d'eau d'un pommeau moyen	12 litres/minute
Débit d'eau d'un pommeau économique Performant	5,8 litres/minute
Prix	Environ 35 à 70 €
Température de l'eau dans les canalisations	11,7°C
Température de la douche	38°C
Durée moyenne d'une douche pour 1 personne	3,7 min
Composition moyen d'un ménage	2,4 personnes
Energie nécessaire pour chauffer l'eau	0,0012 kWh/l°C
Rendement de la chaudière	85%
Réduction des émissions de CO ₂ d'un ménage par an avec un pommeau de douche économique performant	52 à 66%

Source : CO2logic

III.2 Potentiel de réduction d'ici 2020

Les pommeaux de douche économiques ont un CMR très négatif et auraient encore un potentiel de réduction 250 kteqCO₂ en 2020. Etant donné le coût très faible de l'investissement (entre 35€ et 70€) et la possibilité d'utiliser une méthode de calcul standardisée basée sur les performances moyennes des pommeaux de douche économiques (réduction entre 33 et 66%), cette mesure pourrait peut-être s'intégrer dans le cadre d'un PoA, à l'instar des PoA déjà réalisés dans des pays en développement et visant à distribuer des ampoules économiques²⁰. Il est néanmoins important d'être conscient que les résultats réels de réduction sont également dépendants du comportement de l'utilisateur. En effet, il existe un risque d'effet rebond qui consiste à un prolongement de la durée de la douche car celle-ci consomme moins d'eau.

Tableau 25 - Potentiel de réduction du pommeau de douche économique d'ici 2020 (teqCO₂/an)

Projet	Installation de pommeaux de douche économique
Réduction moyenne d'émission unitaire	0,25 teqCO ₂ /pommeau.an
Réduction maximale annuelle d'ici 2020 (teqCO ₂ /an)	25.000 teqCO ₂ /an
Hypothèses retenues	1.000 kWh ou 250 kg CO ₂ évité par pommeau / an. Distribution de 100.000 pommeaux via un programme.

Source : CO2logic

En 8 ans, l'installation d'un pommeau de douche économique peut éviter plus de 2 tonnes de carbone. Le prix du carbone pourrait permettre de financer le surcoût à l'achat.

III.3 Evaluation de la demande

Afin de rencontrer les objectifs de réduction des GES à l'horizon 2020, le secteur du bâtiment mise sur la construction de bâtiments passifs qui intègrent l'ensemble des solutions énergétiques telles que la mise en place de matériel réducteur de consommation énergétique. Cependant, la réduction de la consommation énergétique des bâtiments existants reste également primordiale. De plus, plus le bâtiment tend vers le standard passif, plus les besoins en eau chaude sanitaire seront relativement importants par rapport aux besoins en chauffage.

La responsabilisation des occupants des bâtiments à un usage limité de l'eau devrait être systématiquement accompagnée par des matériels de limitation de débit et de pression d'eau en équipant les points de consommation tels que les douches.

Quelques étapes restent à franchir pour lever les freins à l'investissement d'un pommeau de douche économique. Ils viennent essentiellement de comportements d'achat, mais surtout d'un manque d'information sur le sujet.

²⁰ Pour rappel, l'utilisation d'ampoules économiques ne peut pas être à la base d'un projet domestique car le secteur de production d'électricité est soumis au SCEQE.

De manière générale, les informations sur les économies d'énergie et le retour sur investissement du pommeau de douche économique ne sont pas suffisamment communiquées et ne sont pas directement ciblées sur le public non averti.

III.4 Evaluation financière

L'investissement dans le remplacement d'un pommeau de douche classique ou l'installation initiale de pommeaux de douches économiques devrait être avant tout motivé par la réduction importante des coûts. Un pommeau de douche économique performant représente une réduction de plus de 52 à 66% des coûts énergétiques initiaux. Par conséquent, il permet également de réduire les émissions à effet de serre de 52 à 66%.

Tableau 26 - Evaluation financière d'un pommeau de douche économique performant

Pommeau de douche			Standard 17 litres/min	Moyen 12 litres/min	Economique 5,8 litres/min
EAU	Durée moyenne d'une douche quotidienne	minutes	3,7	3,7	3,7
	Consommation d'un ménage moyen belge (2,4 personnes)	litres/an	55.100	38.894	18.799
	Coût annuel de l'eau pour un ménage moyen (0,36 c€/litre)	€/an	198	140	68
	Economies sur la facture d'eau grâce au pommeau de douche éco	€/an	131	72	
GAZ	Coûts énergétique (7,6 c€/kWh GN)	€/an	149	105	51
	Emissions CO ₂ évitées	tCO ₂ /an	0,3	0,17	0
	Revenu crédits carbone (20€/tCO ₂)	€/an	6	3,4	0
	Economies sur la facture énergétique gaz grâce au pommeau de douche éco	€/an	104	57	
MAZOUT	Coûts énergétique (9,2 c€/kWh mazout)	€/an	181	128	62
	Emissions CO ₂ évitées	tCO ₂ /an	0,38	0,21	0
	Revenu crédits carbone (20€/tCO ₂)	€/an	7,6	4,2	0
	Economies sur la facture énergétique mazout grâce au pommeau de douche éco	€/an	127	70	
Economies réalisées (en moyenne, gaz et mazout)		€/an	246	136	
Retour sur investissement en 1 an (en moyenne, gaz et mazout)		%	entre 351% et 703%	entre 194% et 389%	

Source : CO2logic

Dans le cas où la performance du pommeau de douche économique est limitée à 8 litres/minute, les économies réalisées (en moyenne, gaz et mazout) sont évaluées entre 110 et 220 €/an. Le retour sur investissement en 1 an serait compris entre 316% et 629% si l'achat du pommeau est de 35 € et entre 158% et 315% si l'achat du pommeau est de 70 €.

En termes de mise en place de projets ou de programmes liés à la mise en place de pommeaux de douche économiques, différentes options sont possibles. D'une part il est possible d'inciter à l'achat par une prime d'achat ou un achat groupé. Des primes à l'achat existent déjà au niveau régional ainsi qu'au niveau communal. Le total de ces primes est généralement plafonné à 75% du prix d'achat. Pour les logements sociaux dont les pouvoirs publics sont propriétaires, la Région pourrait subventionner 100% du prix d'achat.

L'incitation pourrait également passer par l'élaboration de normes d'installation de matériels plus restrictives rendant obligatoires l'installation de pommeaux de douche économiques dans les immeubles d'habitation.

Actuellement, les Sociétés de Logements de Service Public (SLSP) en Wallonie ne semblent pas suivre une politique d'installation de pommeaux de douche économiques et la mesure semble donc additionnelle par rapport aux pratiques observées sur le terrain dans les logements sociaux. D'après une enquête téléphonique, l'IPB de Court-Saint-Etienne, les habitations sociales du Roman Païs de Nivelles et Notre Maison de Charleroi n'installent pas de pommeaux de douche économiques dans les logements sociaux déjà construits.

Tableau 27 – Comparaison des approches pour la promotion des pommeaux de douche économique

Approche	Avantages	Désavantages
Subvention à l'achat pour tous (max 75%)	- Encourage l'achat de pommeaux de douche économique (cf. détecteur incendie)	- Impact budgétaire important
Achat groupé pour les logements sociaux (publics)	- Permet d'obtenir des prix intéressants - Réduction immédiate qui bénéficie à un public précarisé	- Bénéfice limité au logement public
Norme réglementaire	- Peu de coûts pour la Région (mais suivi nécessaire pour assurer le respect de la norme)	- Difficile à mettre en œuvre juridiquement - Uniquement pour logement neuf dans un premier temps
Campagne de communication / sensibilisation	- Couvre l'ensemble des ménages - La mesure est déjà rentable et n'a pas nécessairement besoin de soutien - Mesure la moins coûteuse/plus facile à mettre en œuvre	- L'information n'est pas suffisante. - Investissement (même faible) difficilement réalisable pour les ménages les plus précaires

III.5 Actions préconisées pour la Wallonie

A défaut de pouvoir compter sur un financement carbone externe, la Wallonie pourrait donner une impulsion à cette mesure en prévoyant un remplacement progressif et généralisé des pommeaux de douche dans les quelques 90.000 logements sociaux que compte la région. Le coût total de l'intervention de la région s'élèverait à 3,1 million d'euros €. Les émissions de GES évitées atteindraient environ 22.500 tonnes de CO₂, soit environ 15% du potentiel théorique maximal.

IV. Cours d'éco-conduite

IV.1 Présentation de l'éco-conduite

Les principes de l'éco-conduite se basent sur l'éducation et l'accompagnement des conducteurs ainsi que sur la bonne gestion technique des véhicules (ex. bonne pression des pneus) afin d'optimiser l'utilisation du véhicule de la manière la plus efficace et économique qu'il soit. L'éco-conduite est principalement basée sur un changement de comportement mais des aides technologiques peuvent accompagner ce changement pour en assurer et en améliorer l'efficacité (ex. indicateur de changement de vitesse et pédale d'accélérateur « écologique »). L'éco-conduite permet non seulement de réduire l'impact environnemental du véhicule, en diminuant sa consommation, mais permet également d'améliorer la convivialité, la sécurité et la fluidité du trafic.

L'éco-conduite permet également la réduction du bruit (grâce au nombre réduite de tours/minute), du stress du conducteur ainsi que l'augmentation de sa confiance dans la gestion de son véhicule, ce qui permet un meilleur confort et une diminution des accidents. Il y a également des avantages à long terme : moins de frais de réparation, moins de coûts d'entretien et diminution de l'usure des pneus.

Ainsi, les principes de base de l'éco-conduite sont (Fédération IEW, 2010):

- 1) Bien entretenir le véhicule, surveiller la pression des pneus ;
- 2) Alléger au maximum le véhicule, retirer le porte-bagages non-utilisé ;
- 3) Eviter le haut-régime moteur ;
- 4) Eviter les variations brusques de vitesse ;
- 5) Utiliser le frein moteur ;
- 6) Anticiper les changements de rythme de la circulation ;
- 7) Rouler moins vite ;
- 8) Eteindre le moteur lors d'un arrêt prolongé ;
- 9) Utiliser la climatisation avec parcimonie ;
- 10) Planifier son itinéraire et partir bien à temps.

Ces dernières années, plusieurs pays européens ont multiplié les initiatives en termes d'éco-conduite des véhicules privées et professionnels. Les Pays-Bas, l'Espagne et l'Autriche ont par ailleurs intégré leur programme d'éco-conduite au sein de leur stratégie nationale de réduction des émissions de GES (National Climate Change Action Plan) afin de contribuer à l'atteinte des objectifs Kyoto.²¹

Selon une enquête réalisée par International Transport Forum sur les résultats de programmes d'éco-conduite, les réductions de carburant réalisées sont de l'ordre de 6 à 20%. Les résultats divergent selon la période d'analyse. A court terme, après la formation d'éco-conduite, les économies de carburant s'élèvent en moyenne entre 5 et 15% pour les voitures, les bus et les camions.

²¹ Exemple de projet: *Ecowill, ECOdriving – Widespread Implementation for Learner Drivers and Licensed Drivers*. Ce projet qui a été lancé en mai 2010, a pour objectif de réduire les émissions de CO2 par 8 Mt d'ici 2015 (Ecowill eco-drive.org, 2010).

Tableau 28 - Retour sur expérience de programmes d'éco-conduite dans des pays européens

Pays	Méthode	Réduction court-terme	Réduction moyen-terme
Pays-Bas	Programme national	10-20%	5-10%
Autriche	Programme national	10-15%	5-10%
Allemagne	Professional fleet drivers <7,5t	6-10%	6-8%
Allemagne	National novice drivers programme	/	6-10%

Source : *International Transport Forum, 2007*

A moyen terme, 3 mois après la formation, la réduction de consommation se situe à environ 5% si un système de suivi des performances n'est pas mis en place. Dans le cas d'un programme de suivi, les économies de carburant de 10% sont réalisables. Il est également possible d'installer sur le véhicule un module de suivi dynamique qui indique en temps réel des conseils en fonction du style de conduite du conducteur, du trafic, de la météo, etc. Ce type d'équipement permettrait d'obtenir des réductions de consommation jusqu'à 20%.

En fonction du niveau des investissements consenti, des économies de carburant de 5 à 20% peuvent être réalisées par l'adoption des principes de l'éco-conduite.

Tableau 29 - Economies de carburant grâce à l'éco-conduite

Sans suivi	Programme de suivi	Installation d'un module de suivi dynamique
5%	Jusqu'à 10%	De 10 à 20%

Source : *CO2logic*

Depuis le 10 septembre 2009, le certificat d'aptitude professionnelle (CAP) est obligatoire dans toute l'UE, aussi bien pour le transport professionnel de marchandises (permis C) que pour le transport professionnel de personnes (permis D). Le CAP comprend la réussite d'un examen de qualification initiale (épreuve théorique initiale) ainsi que la réalisation tous les 5 ans d'une formation de 35 heures réparties en 5 modules qui permet la prolongation de CAP. Les cours d'éco-conduite sont une option proposée dans le cadre du choix des 5 modules à réaliser tous les 5 ans.

En effet, dans le cadre de la formation continue du CAP, certains centres wallons de formation agréés²² proposent des formations en éco-conduite déclinées sous différentes dénominations telles que « conduite rationnelle » et « conduite économique ».

Toutefois, il existe également de nombreuses formations en éco-conduite en Wallonie qui ne sont pas homologuées par le SPF Mobilité et Transport dans le cadre du CAP.

IV.2 Potentiel de réduction d'ici 2020

Les cours d'éco-conduite permettent d'améliorer l'efficacité énergétique du transport et engendrent un potentiel de réduction des émissions de GES estimé à 10%²³ (Akkermans, et.

²² Liste des centres de formations agréés en Belgique et des modules proposés : <http://www.mobilit.fgov.be/data/route/pdcrbw/OCF.pdf>

al., 2010). En théorie, on pourrait appliquer ce potentiel de réduction à l'ensemble du transport routier en Wallonie.

Sur base des possibilités et opportunités de formations, il semble cependant plus adéquat de l'appliquer uniquement au transport routier collectif et au transport de marchandises.

Si l'ensemble des chauffeurs de ces modes de transport étaient soumis à une formation à l'éco-conduite de manière efficace, cela représenterait pour la Wallonie un potentiel de réduction d'environ 400.000 teqCO₂.

Tableau 30 – Potentiel de réduction des cours d'éco-conduite dans le secteur du transport professionnel d'ici 2020 (teqCO₂/an)

Cours d'éco-conduite dans le transport de marchandises et les transports collectifs	
Réduction maximale annuelle d'ici 2020 (teqCO ₂ /an)	120.000 tCO ₂ /an
Hypothèses retenues	Cours d'éco-conduite permettent une réduction de 10% soit un potentiel total de 400.000 teqCO ₂ pour le transport de personnes et de marchandises. 30% des conducteurs professionnels sont formés à l'éco-conduite

Source : CO2logic

IV.3 Evaluation de l'offre

Dans le cadre de la formation continue du CAP, les chauffeurs professionnels ont la possibilité de réaliser un module de formation en éco-conduite dans un des 14 centres de formations agréés situés en Wallonie.

Tableau 31 - Centres wallons de formation agréés avec un module éco-conduite

Date agrément	Nom du centre	Intitulé de la formation	Permis	Localité
25/02/2009	Bara S.A.	Perfectionnement à la conduite rationnelle axée sur les règles de sécurité	C & D	Fontaine l'Evêque
12/03/2009	Formadriver-SecuTrans	Conduite rationnelle - Ecoconduite	C & D	Grâce-Hollogne
18/03/2009	Centre de formation Continue Peiffer	Eco-conduite : conduite rationnelle	C & D	Liège
5/01/2009	S.A. Safe Driving N.V.	Conduite économique sur route et conduite défensive sur piste	C & D	Andenne
10/04/2009	Forem Formation	Conduite défensive et économique	C & D	Charleroi
19/06/2009	Huy Motor Formation Continue CAP	Conduite rationnelle, principes phys. de sécurité	C	Huy
18/06/2010	ConsulTrans Solutions SPRL	Eco-conduite	C & D	Barchon
2/04/2010	Centre de Formation	Perfectionnement à la conduite Eco	C & D	Braine-le-

²³ Dans la littérature, ces estimations varient de 4% à 20%.

	continue Escam JC	Driving		Château
6/01/2011	Formax	Eco-conduite - Bien connaître son véhicule	C	Werbomont
4/04/2011	International Road School	Conduite rationnelle	C	Marquain
14/06/2011	Workers Service Training ASBL	La conduite économique et la chaîne cinétique	C & D	Binche
24/05/2012	Centre de formation continue Tecnoform	Eco-conduite, conduite rationnelle	C & D	Wandre
9/12/2008	Centre de Formation du Groupe TEC	La conduite rationnelle et responsable	D	Namur
29/10/2010	Ability	Conduite rationnelle d'un poids lourd (C / CE)	C	Leuze-en-Hainaut

Source : SPF Mobilité et Transports (2012)

D'après le centre Formax, seule une minorité des chauffeurs (environ 5%) réalise une formation d'éco-conduite dans le cadre du CAP. Ce type de formation étant relativement onéreux, les entreprises préfèrent généralement financer des modules moins coûteux tels que « prévention et risque des accidents » ou « sécurité de chargement » qui sont également essentiels à la sécurité et la responsabilisation des chauffeurs.

Les conducteurs qui suivent une formation en éco-conduite le font généralement en dehors du cadre du CAP, ce qui permet à l'entreprise de sélectionner des formations de plus courte durée ou par groupe et ainsi de réduire les coûts de l'apprentissage à l'éco-conduite.

La formation « train the trainer » permet une réduction des coûts puisqu'une seule personne est formée à l'éco-conduite, laquelle va par la suite former ses collègues en interne. A titre d'exemple, l'entreprise Shanks a mis en pratique cette approche « train the trainer » pour le centre de collecte de déchets situés à Seraing et a déjà enregistré des résultats positifs grâce à cette initiative.

Tableau 32 - Résumé des différentes formations d'éco-conduite en Wallonie

Type de formation	Formation continue CAP	Formation « sur mesure »
Centre	Les 14 centres wallons agréés par le SPF Mobilité et Transport qui proposent un module éco-conduite	Formax Jacques Löffgen Services Etc.
Contenu	Lié au canevas transmis par le SPF mobilité et transport	À la carte, avec ou sans suivi
Flexibilité	Faible Mais apporte 7 points au CAP (équivalent à 1 module)	Forte Ex : Formation « train the trainer »
Prix	Elevé - 435 €/ personne hors véhicule et carburant ²⁴ - 200 € sur simulateur	Faible à moyen 135 € la journée pour 1 personne (groupe de 7 à 8 personnes) Possibilité de ½ journée
Modalité	Individuelle (à l'exception de Forem Formation max 4 pers)	Individuelle / groupe
Durée	1 journée de 7h	Ponctuel ou continu

²⁴ Entretien avec le formateur Jacques Lofgen de Formax

Source : CO2logic

Les opportunités de développement de l'offre des cours d'éco-conduite pour les chauffeurs professionnels :

- Coûts élevés des carburants ;
- Présence de modules éco-conduite dans le cycle de formation continue du Certificat d'Aptitude Professionnel (CAP) ;
- Flexibilité des programmes de formation : module CAP ou sur mesure, individuelle ou en groupe, simulateur ou sur route, 1 demi-jour ou 1 journée ;
- Participation aux objectifs de réduction des émissions de GES de la Wallonie : les réductions de consommation de carburant sont reprises dans l'inventaire régional ;
- Anticipation de nouvelles mesures environnementales ;
- Amélioration du comportement du conducteur, diminution des accidents...

Les freins au développement de l'offre des cours d'éco-conduite pour le secteur professionnel des transports sont :

- Faible demande actuelle : en cause le prix élevé et le manque de motivation des conducteurs (demande en 2012 plus faible qu'en 2011²⁵) ;
- Coûts élevés du matériel de formation : absence de standardisation du matériel et difficultés d'investir dans une gamme complète²⁶ ;
- Efficacité et résultats variables : les réductions de consommation dépendront fortement du comportement du chauffeur pendant et après la formation ;
- Formation en groupe moins efficace : la formation et le suivi est plus performant de manière individuelle mais engendre un coût de formation plus élevé ;
- Difficulté du suivi des performances : la formation est plus efficace avec des suivis réguliers dans le temps ; les changements de comportements sont difficiles à intégrer sur le long terme.

L'analyse de l'efficacité de la formation d'éco-conduite par la comparaison de la consommation avant et après la formation n'est pas aisée car la consommation de carburant peut être également influencée par des facteurs extérieurs tels que le trafic, les accidents, la typologie du parcours différent, etc.

L'une des clefs de l'éco-conduite repose sur la capacité à maintenir des résultats de baisse de carburant. En effet, les formations comportementales consistent à développer de nouvelles postures de conduite qui s'acquièrent au fil du temps et que ces automatismes se concrétisent dans la durée. Il est donc nécessaire d'intégrer des rappels (ADEME, 2010) :

- pour valider les acquis des techniques ;
- pour personnaliser les exercices en fonction des points faibles du conducteur ;
- pour optimiser les scores de consommation en plaçant sur un plan équivalent les questions environnementales et sécuritaires.

Il est conseillé de réaliser un suivi 4 à 6 mois après la formation d'apprentissage sur route.

²⁵ Entretien avec un responsable de centre d'éco-conduite

²⁶ Entretien avec un responsable de centre d'éco-conduite

IV.4 Evaluation de la demande

Dans cette partie, nous allons identifier la demande potentielle. Le secteur du transport professionnel en Wallonie se compose principalement des conducteurs de bus (TEC) et des chauffeurs de poids-lourds :

- Environ 4.000 conducteurs de bus TEC ;
- Environ 28.000 chauffeurs de poids-lourds²⁷.

Au total, nous dénombrons environ 32.000 chauffeurs professionnels en Wallonie susceptibles de suivre un cours d'éco-conduite.

Les opportunités de la demande :

- Réduction des consommations de carburant de l'ordre de 5 à 15% qui se traduit en un gain financier ;
- Utilisation optimisée des véhicules et réduction des frais d'entretien du parc de véhicules (pneus, freins, etc.) ;
- Réduction des émissions de GES et amélioration de l'image des entreprises du secteur du transport routier ;
- Réduction du stress chez les conducteurs et des accidents de la route ;
- Compatible à la formation continue obligatoire du CAP.

Les freins de la demande :

- Prix élevé des formations (surtout dans le cadre du CAP) ;
- Nombre limité de centres de formation qui proposent un module éco-conduite ;
- Résultats non garantis (très variables) : cela dépend fortement de la motivation du chauffeur ;
- Perception négative de certains conducteurs : inertie au changement ;
- Difficulté de maintenir les comportements de conduite économique sur le long terme : nécessité d'investir dans un équipement de monitoring afin de motiver les conducteurs à maintenir leurs nouvelles habitudes de conduite.

Afin de mesurer précisément les réductions de consommation grâce aux formations d'éco-conduite et de s'assurer que les bonnes pratiques ne disparaissent pas après la formation, l'entreprise peut équiper ses véhicules d'outils de mesure de consommation :

- L'ensemble des actions effectuées par les conducteurs sont enregistrées et peuvent être par la suite analysées ;
- Il apporte des informations sur la consommation, comme la distance parcourue, les temps d'utilisation et le type de conduite. Les améliorations sont enregistrables pour tous les styles de conduite.

Les systèmes télématiques permettent de mesurer régulièrement l'efficacité de conduite, ce qui permet au conducteur d'adapter son comportement et d'améliorer sa consommation en temps réel. Les « data loggers » permettent également à l'entreprise d'identifier les conducteurs qui n'ont pas réussi à intégrer les techniques d'éco-conduite et ainsi prévoir des formations de « rattrapage ».

²⁷ Résultats des enquêtes Force de Travail (EFT) concernant les « autres conducteurs de véhicules à moteur (sauf autobus) » en Wallonie (SPF, 2009).

Le principe d'éco-conduite dynamique permet de donner des conseils en temps réel aux conducteurs en fonction du trafic sur les routes ainsi qu'en fonction de la météo. En donnant des conseils dynamiques (et non statiques comme la plupart des appareils de suivi), l'éco-conduite permet engendrer une diminution allant de 10 à 20%.

Il existe également des logiciels de suivi pour le chauffeur

- Le programme TX-ECO (Transics international, 2012), disponible dans plusieurs pays européens, permet un suivi via l'ordinateur de bord RX-MAX. L'ordinateur de bord enregistre et analyse les paramètres du style de conduite (nombre de freinages ou de changements de vitesse, les distances parcourues sans que le chauffeur appuie sur l'accélérateur ou le temps durant lequel il enfonce la pédale de frein, etc.)
- Le logiciel GPS track-and-trace (RAM Mobile Data Belgium, 2012) permet un suivi des déplacements de la flotte de véhicules par l'enregistrement du type d'informations suivants : le temps de déplacement, la vitesse du véhicule, le contrôle de la température des camions frigorifiques et le comportement du chauffeur sur la route.

IV.5 Evaluation financière

L'éco-conduite permet des économies de carburant qui sont à la fois un avantage économique et écologique. Ci-dessous, nous présentons les deux avantages sous la forme d'une analyse financière de l'investissement dans des cours d'éco-conduite.

Tableau 33 - Evaluation financière de l'investissement dans des cours d'éco-conduite

Caractéristiques d'une entreprise de transport routier		
Flotte de l'entreprise	20	camions
Nombre de chauffeurs	20	chauffeurs
Distance annuelle par camion (selon entretiens avec des transporteurs wallons)	120.000	km
Consommation moyenne	35	litres/100km
Prix du diesel	1,44	€/litre
Montant récupérable (diesel professionnel)	0,0763	€/litre
Scénario de base		
Consommation annuelle	840.000	litres
Coût annuel en carburant	1.145.508	€
Scénario de l'éco-conduite (10% de réduction)		
Réduction des consommations	84.000	litres
Coût annuel en carburant	1.030.957	€
Réduction annuelle des émissions ²⁸	224	tCO ₂
Revenu des crédits carbone (20€/tonne)	4.472	€
Coût de la formation par chauffeur	435	€
Coût total de la formation	8.700	€
Gain net du scénario de l'éco-conduite	110.323	€

Source : CO2logic

²⁸ Notons que certaines de ces réductions pourraient être comptabilisées en dehors du territoire wallon (pour les sociétés de transport internationales dont le siège est en Wallonie mais qui effectuent des achats de carburants à l'étranger). Afin d'éviter de subventionner des réductions qui ne bénéficieraient pas à la Wallonie, il est possible d'associer l'octroi de crédits à des factures d'achats de carburants sur le territoire wallon.

Nous pouvons observer que la formation des chauffeurs à l'éco-conduite est particulièrement rentable. Dans notre scénario, nous constatons également que le revenu carbone permettrait de financer environ 50% des coûts de formation des chauffeurs à l'éco-conduite.

IV.6 Actions préconisées pour la Wallonie

A défaut de pouvoir compter sur un financement carbone externe, la Wallonie pourrait augmenter la sensibilisation à cette mesure en prenant en charge 25% des frais des cours d'éco-conduite. En supposant que 100 sociétés de transport fassent appel à cette aide et que les frais de formation de 20 chauffeurs (moyenne par société) s'élèvent à 8700€, le coût total de l'intervention de la région s'élèverait à 217.500€. Les émissions de GES évitées atteindraient environ 22.400 tonnes de CO₂, soit environ 20% du potentiel théorique maximal.

V. Covoiturage

V.1 Présentation du covoiturage

Le covoiturage existe principalement sous deux formes : l'utilisation à tour de rôle du véhicule de chacun des covoiturés qui est ainsi alternativement conducteur et passager ou alors l'utilisation d'un seul véhicule avec la participation systématique des passagers aux frais de déplacement (essence, péage, etc.).

Le covoiturage combine de nombreux avantages tels que l'augmentation du taux d'occupation des voitures qui permet la réduction du nombre de véhicules circulant sur les voies publiques (réduction du trafic) et la contribution à une réduction des émissions de GES et des émissions polluantes. Le covoiturage permet également de partager les frais de transport et est un complément convivial aux transports en commun.

A l'échelle européenne, de nombreuses initiatives et projets ont été lancés à partir des années 1990 afin d'encourager la pratique du covoiturage. Dans le cadre du programme de recherche ICARO²⁹ de l'Union européenne, de nombreuses expériences promouvant l'augmentation du taux d'occupation des véhicules se sont développées telles que l'aménagement de parcs de stationnement aux nœuds autoroutiers en Autriche, le programme de stationnement réservé pour les véhicules à taux d'occupation élevé en Suisse ou encore les voies réservées aux bus, vélo et covoitureurs introduites en Grande-Bretagne. D'autres expériences ont également été lancées en Allemagne, en République Tchèque, aux Pays-Bas, ou encore en Espagne. Ces différentes initiatives de rationalisation de l'utilisation de la voiture ont eu plus ou moins de succès mais ont néanmoins permis de faire découvrir au public les opportunités de partager son véhicule.

Ces dix dernières années ont vu l'arrivée d'une multitude de plateformes internet proposant des services d'organisation de covoiturage telles que Covoiturage.fr, Karzoo.eu, Roadsharing.com, Eurokm.com, Ridefinder.eu, etc. Actuellement, le site de covoiturage le plus fréquenté en Europe est Carpooling qui permet l'organisation de trajets dans plus de 40 pays européens. D'après leur communication, Carpooling a plus de 4 millions d'inscrits à leur actif et serait à la source d'une réduction de plus de 630.000 tonnes de CO₂ depuis 10 ans³⁰.

En 2002, l'administration wallonne a mis en place avec la collaboration de Taxistop une banque de données sur le covoiturage. En 2008, cette banque de données a été rebaptisée Carpoolplaza. La plateforme Carpoolplaza est active dans les trois régions du pays et comptabilise actuellement plus de 65.000 membres. Un outil de calcul des avantages économique et écologique des trajets en covoiturage est disponible sur le site.

De manière générale, on distingue trois types de trajets en covoiturage (CERTU, 2007) :

- 1) Les trajets réguliers qui reprennent les trajets quotidiens tels les déplacements entre le lieu de résidence et le lieu de travail mais également les trajets scolaires, et les trajets hebdomadaires (au moins une fois par semaine).
- 2) Les trajets occasionnels : ils n'ont pas (ou peu souvent) vocation à se répéter dans le temps. Ce sont des trajets principalement longue distance utilisés pour les

²⁹ Increase of CAR Occupancy

³⁰

départs en vacances et les événements à travers l'Europe (soirées, concert, festival...). Dans ce cas, on parle de covoiturage événementiel.

- 3) Le covoiturage de crise est nettement moins répandu et beaucoup plus informel. Il s'agit en fait de covoiturer lorsque vous ne pouvez pas utiliser votre moyen de locomotion habituel (panne, grèves des transports collectifs, accident corporel...).

Dans cette section, nous allons uniquement nous intéresser au covoiturage des déplacements domicile-travail qui représentent un potentiel important en Wallonie. L'avantage du covoiturage en entreprise par rapport au covoiturage grand public est la facilité d'organisation. En effet, contrairement au service de covoiturage grand public où l'origine et la destination doivent concorder ou être sur le même itinéraire que celui du conducteur pour trouver un trajet correspondant, le service de covoiturage en entreprise a l'avantage de présenter une destination (ou origine) fixe, à savoir le site de l'entreprise (entretien avec M. Minet, conseiller mobilité à l'UWE).

De plus, le covoiturage dans le cadre des entreprises offre certains avantages fiscaux à condition qu'il soit organisé par l'employeur et qu'il y ait une modification sur la fiche de salaire (Taxistop, 2012) :

- Déduction forfaitaire des frais professionnels pour le covoiturage avec un véhicule privé : il est possible de déduire l'entièreté de l'intervention domicile-travail pour autant que celle-ci ne dépasse pas le prix de l'abonnement de train hebdomadaire en 1^{ère} classe, pour le trajet domicile-travail (aller simple), à multiplier par le nombre de semaines de covoiturage ;
- Déduction forfaitaire des frais professionnels pour les covoitureurs avec une voiture d'entreprise : il est possible de déduire l'entièreté de l'intervention domicile-travail pour autant que la voiture mise à disposition du travailleur soit uniquement utilisée pour le covoiturage (ex. navettes d'entreprise).
- Déduction des preuves des frais professionnels : la déduction fiscale se calcule de la manière suivante, distance domicile-travail x 2 x jours de travail x 15 c€.

Le covoiturage en entreprise est souvent mis en évidence comme étant une des solutions les plus adéquates dans les Plans de Mobilité des Zones d'Activité économique (PMZA) en Wallonie.

V.2 Potentiel de réduction d'ici 2020

Afin de calculer le potentiel de réduction annuelle d'ici 2020, nous allons comparer deux situations. La première situation concerne l'utilisation actuelle du covoiturage pour les déplacements domicile-travail de la population active de la Wallonie (baseline = situation actuelle³¹). Afin de calculer la réduction de CO₂ attribuable au covoiturage, nous avons utilisé les données suivantes :

- Le nombre de personnes actives en Wallonie (IWEPS, 2012) ;
- La distance moyenne des déplacements domicile-travail en Wallonie (SPF Mobilité et Transports, 2010) ;
- La proportion de la population active wallonne qui utilise le covoiturage pour leurs déplacements domicile-travail (SPF Mobilité et Transports, 2010) ;
- La moyenne des émissions de CO₂ du parc automobile belge qui est basée sur la vente des voitures neuves ces 10 dernières années (Febiac, 2012).

³¹ Nous prenons la situation actuelle comme la situation de référence car, malgré les politiques en place, la part du co-voiturage n'a pas augmenté entre 2005 et 2008 (dernières données disponibles).

Le scénario 2020 se base sur l'évolution des données prises en compte dans la situation actuelle. En prenant l'hypothèse que le covoiturage a un potentiel d'utilisation pour les déplacements domicile-travail à hauteur de 15% (Cornelis E. et Gaillet J-F., 2011), le potentiel de réduction additionnelle des émissions CO₂ s'élève à environ 74.800 teqCO₂. Nous définissons le caractère additionnel du potentiel par la différence des réductions d'émissions entre les deux scénarii.

Tableau 34 - Hypothèses de calcul pour le potentiel de réduction des émissions par le covoiturage en entreprise

Scénario actuel	
Population active occupée en Wallonie (2010)	1.312.994
Taux de covoiturage pour les déplacements domicile-travail en Wallonie (2008)	4,8%
Distance moyenne domicile-travail en Wallonie en km (2008)	17,2
Emissions moyennes du parc automobile belge en kgCO ₂ /km (2010)	0,152
Nombre de jours de travail par an	220
Réduction des émissions de CO ₂ du covoiturage en tCO ₂ /an	36.321
Scénario 2020	
Population active occupée en Wallonie (+0,88%/an) ³²	1.428.120
Taux de covoiturage pour les déplacements domicile-travail en Wallonie (+0,85%/an)	15%
Distance moyenne domicile-travail en Wallonie en km (+0,79%/an) ³³	18,9
Emissions moyennes du parc automobile belge en kgCO ₂ /km (-1,93%/an) ³⁴	0,125
Nombre de jours de travail par an	220
Réduction des émissions de CO ₂ du covoiturage en tCO ₂ /an	111.162
Potentiel de réduction additionnelle annuelle en tCO₂	74.841

Source : CO2logic

Il est important de préciser que nous considérons le partage d'une voiture par deux covoitureurs³⁵ et que ceux-ci étaient auparavant deux conducteurs individuels. En 2008, 76,1% de la population active de Wallonie utilise leur propre véhicule pour se rendre à leur travail (voir tableau 35). Le covoiturage en entreprise vise principalement cette catégorie d'individus. Nous avons ainsi estimé la réduction moyenne unitaire par covoitureur supplémentaire comprise entre 519 (valeur pour l'année 2020) et 576 (valeur pour l'année 2010) kgCO₂/an.

Tableau 35 - Potentiel de réduction du covoiturage en entreprises d'ici 2020 (teqCO₂/an)

Projet	Développement du covoiturage pour les déplacements domicile-travail
Réduction moyenne d'émission unitaire par covoitureur supplémentaire	0,52 – 0,58 teqCO ₂ /nouveau covoitureur

³² Basé sur l'évolution de la population active de l'année 2000 à l'année 2010 (IWEPS, 2012)

³³ Basé sur l'évolution de la distance domicile-travail des travailleurs en Wallonie entre 2005 et 2008 (SPF Mobilité et Transports, 2010)

³⁴ Basé sur l'évolution des émissions moyennes du parc automobile belge ces 8 dernières années (Febiac 2012)

³⁵ Lorsque deux personnes décident de partager leur voiture pour les déplacements domicile-travail, nous obtenons deux covoitureurs supplémentaires.

Réduction maximale annuelle d'ici 2020 (teqCO ₂ /an)	74.800 teqCO ₂ /an
Hypothèses retenues	15% de covoitureurs pour les déplacements domicile-travail d'ici 2020

Source : CO2logic

V.3 Evaluation de l'offre

Le nombre de sites internet qui proposent des services de covoiturage s'est très fortement multiplié ces dernières dix années. L'augmentation de l'offre a l'avantage de susciter une plus grande attention des utilisateurs potentiels mais peut également devenir un frein étant donné que les offres et demandes de trajets sont de plus en plus dispersées parmi le nombre grandissant de sites web, ce qui réduit les chances aux covoitureurs qui se correspondent de se rencontrer (entretien avec M. Minet B.).

Ci-dessous, nous avons repris les principaux sites de covoiturage qui ont service adapté aux déplacements domicile-travail.

Tableau 36 - Liste des principaux sites de covoiturage pour les déplacements domicile-travail en Wallonie

Site internet	Type de trajet	Service adapté aux entreprises
Carpoolplaza.be	Occasionnel et régulier	Oui
Carpooling.fr	Occasionnel et régulier	Non
Karzoob.be	Occasionnel et régulier	Oui
Covoiturage-belgique.be	Régulier	Non
Djengo.be	Régulier	Oui

Source : CO2logic

Chaque site a son propre mode de fonctionnement. Certains sont gratuits et requièrent uniquement la signature d'une charte. D'autres sites font payer une cotisation annuelle ou une commission par trajet réalisé. Finalement, certains sites ne demandent pas de participation financière de la part des utilisateurs mais se rémunèrent grâce à la diffusion de publicités.

Ci-dessous, nous avons regroupé les opportunités de développement de l'offre de covoiturage pour les déplacements domicile-travail :

- Service économique : le covoiturage permet une réduction des coûts de carburant et d'entretien et de bénéficier d'un avantage fiscal ;
- Impact positif pour l'environnement : réduction des émissions polluantes, des émissions GES et du bruit ;
- Contribue à la fluidité du trafic : réduction du nombre de voitures présentes sur les routes ;

- Sécurité routière : plusieurs études ont prouvé que les automobilistes avaient des comportements moins dangereux lorsqu'ils avaient des passagers à bord de leur véhicule (Cornellis E. et Gaillet J-F., 2011) ;
- Convivialité : réaliser des trajets réguliers entre collègues permet de développer des nouveaux échanges et d'améliorer les relations au travail ;
- Gain de temps : la durée d'un parcours en covoiturage peut être dans certains cas plus court par rapport à l'utilisation de transports en commun. Le covoiturage est un moyen de déplacement complémentaire à l'offre des transports en commun qui permet une optimisation des espaces mobiles.

Les freins au développement de l'offre sont repris ci-dessous :

- Les types d'utilisateurs actuels sont limités : le public intéressé est principalement les personnes de moins de 35 ans et sensibles à l'environnement ;
- La communication sur les possibilités de covoiturage en entreprise est trop faible ;
- Les possibilités d'arrangements sur certains trajets ne sont pas suffisantes pour permettre la réalisation d'un covoiturage (ex. localité reculée où la densité de population est plus faible) ;
- La multiplicité et la diversité des sites (concurrence) est un frein au développement d'un service de covoiturage efficace ;
- Les infrastructures pour covoitureurs sont peu développées : places de parking et de bandes de circulation réservées au covoiturage (ex. possibilité d'utiliser les bandes réservées aux transports en commun) ;
- Détours (perte de temps) : le conducteur doit envisager un détour dans son itinéraire afin d'aller chercher le covoitureur chez lui ou à un endroit de rendez-vous.

Le regroupement des bases de données des différents sites de covoiturage pourrait permettre d'étendre les possibilités d'arrangements entre les utilisateurs. Lors de notre entretien avec M. Minet (UWE), celui-ci proposait de réguler le marché par la sélection d'acteurs agréés sélectionnés selon des critères de qualité (analogie au secteur des télécommunications).

Afin de lever les contraintes de ponctualité et d'organisation du covoiturage planifié, il existe une alternative appelée le covoiturage dynamique. Dans ce cas, le covoiturage devient plus flexible grâce à la mise en relation des demandes et des offres compatibles en temps réel grâce aux technologies de la communication (GPS, SMS...).

D'autres avantages du covoiturage dynamique sont le guidage des usagers vers leur destination, vers les points de rencontre, avec indication des temps d'attente, etc. Un système de surveillance, d'alerte et de prise en charge en cas de problème ainsi que la possibilité de souscrire à une demande de service complémentaire de «garantie de retour » peuvent également être mis en place (Cornellis E. et Gaillet J-F., 2011).

A ce jour, il n'existe pas encore de système de covoiturage dynamique opérationnel en Wallonie.

V.4 Evaluation de la demande

Dans le tableau suivant, nous avons un aperçu de la répartition en 2008 des modes de transports utilisés lors des déplacements domicile-travail en Wallonie et en Flandre (à titre comparatif). Nous remarquons que la voiture sans passager est de loin le premier moyen de

transport utilisé. Le covoiturage qui atteint une proportion de 4,8% a une marge de croissance potentiellement très intéressante.

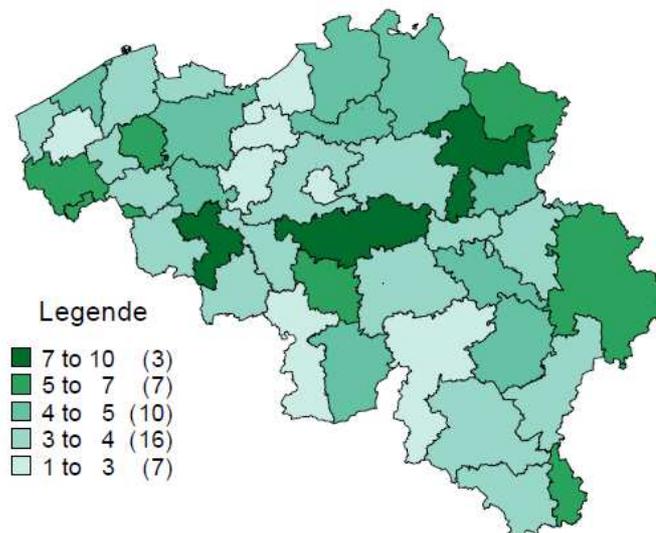
Tableau 37 - Répartition des modes de transport pour les déplacements domicile-travail en Wallonie et en Flandre en 2008

	Wallonie	Flandre
Voiture solo	76,1%	67,1%
Voiture collègues	4,8%	5,1%
Train	4,6%	4,7%
Bus/Tram/Métro	3,8%	4,2%
Vélo	1,5%	12,8%
Moto/vélocycle	1,4%	1,7%
Marche	3,2%	1,7%
Transport collectif employeur	0,4%	1,4%
Autre	4,2%	1,7%

Source : Taxistop (2010)

Il est également intéressant de connaître la répartition de l'utilisation du covoiturage au sein de la Wallonie. Cette répartition du covoiturage n'est pas uniforme sur le territoire. Nous pouvons ainsi remarquer que les arrondissements de Nivelles (Brabant wallon), d'Ath, de Verviers, de Charleroi et d'Arlon enregistrent une proportion élevée de covoitureurs pour les déplacements domicile-travail (compris entre 5 et 10%).

Figure 3 – Proportion du covoiturage dans les déplacements domicile-travail par arrondissement en %



Source : SPF Mobilité et Transports (2010)

De manière générale, les utilisateurs actuels du covoiturage sont majoritairement des jeunes personnes âgées de 18 à 39 ans qui ont un bon niveau d'éducation et qui sont sensibilisées aux problématiques de l'environnement. Il en ressort que 50% de ces personnes prennent également le train ou le vélo au moins une fois par semaine (Carpooling, 2011).

De plus en plus, les entreprises sont également à la recherche de solutions pour la mobilité de leurs employés qui demeure une problématique difficile à gérer. Les plateformes de covoiturage interne aux entreprises sont une des solutions réalisables à moindre coût. D'autres solutions sont l'utilisation d'un réseau de voitures partagées (ex. Cambio et

Zencar), la mise à disposition de voitures et de vélos (électriques ou non) partagés au sein de l'entreprise.

Ci-dessous, nous avons regroupé les opportunités de développement de la demande de covoiturage pour les déplacements domicile-travail :

- Économies financières pour l'entreprise (véhicules de société) et ses employés (propre véhicule) : réduction des dépenses de carburant et d'entretien et permet de bénéficier d'un avantage fiscal ;
- Le covoiturage réduit le nombre de place de parking nécessaires : gain d'espace et d'investissement (Carpooling, 2012) ;
- Amélioration de l'image de l'entreprise grâce à l'implication dans leur responsabilité sociétale ;
- Gain de temps par rapport à certains trajets en transport en commun ;
- Impact positif pour l'environnement : réduction des émissions polluantes, des émissions GES et du bruit ;
- Convivialité : les employés se rencontrent dans un contexte plus détendu.
- Ponctualité et moins d'absentéisme : les covoitureurs étant conscients de leur responsabilité les uns vis-à-vis des autres, sont ponctuels pour venir au travail et sont moins absents pour cause de maladie (Carpoolplaza, 2012).

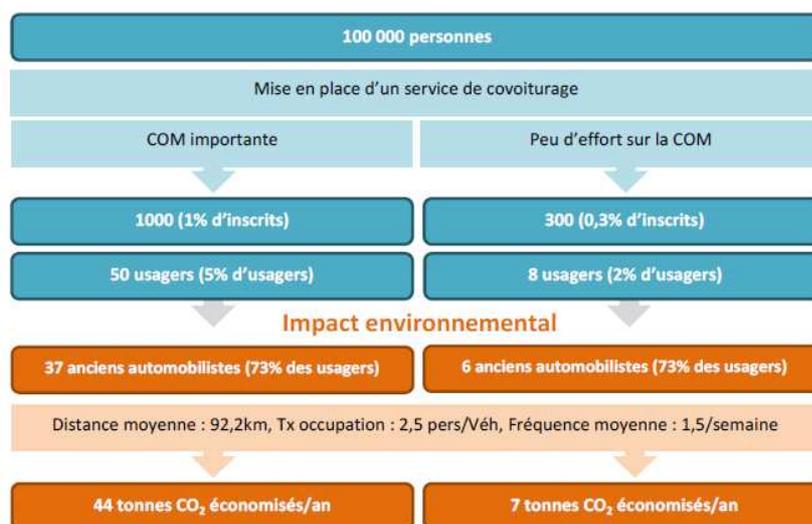
Les freins au développement de la demande sont repris ci-dessous :

- Réticence : Certaines personnes sont réticentes à l'idée de ne pas utiliser leur propre voiture, de ne pas pouvoir écouter leur musique, etc. ou ont peur de ne pas se sentir « chez soi » ;
- Non-garantie du retour : il arrive que le retour ne soit pas assuré suite à un imprévu (ex : changement de destination ou d'heure, réunion prolongée pour un des collègues) ;
- Nécessité d'une très bonne organisation : le covoiturage demande une certaine organisation ainsi qu'une bonne ponctualité ;
- Flexibilité limitée : difficilement applicable si des trajets sont prévus après la journée de travail, sur la route du retour vers le domicile (par ex : faire les courses, aller chercher les enfants) ;
- Les personnes bénéficiant des voitures de société bénéficient également d'une carte essence/diesel et ne voient pas l'intérêt de faire du covoiturage ;
- Application difficile pour les personnes avec des postes à horaires variables ;
- Détours (perte de temps) : le conducteur doit envisager un détour dans son itinéraire afin d'aller chercher le covoitureur chez lui ou à un endroit de rendez-vous.

Afin d'atteindre un taux élevé de participation, il est fortement conseillé aux entreprises de désigner un coordinateur de la mobilité au sein de leur organisation. En effet, les établissements ayant un coordinateur de mobilité ou de transports présentent une répartition plus égale des différents modes de transport. Les établissements qui ont instauré un coordinateur de mobilité entre 2005 et 2008 ont pu constater une augmentation du covoiturage de 3,2 à 4,1% (SPF Mobilité et Transports, 2010)

Les entreprises peuvent également mettre en œuvre des incitants pour encourager leur personnel à faire du covoiturage, notamment via un système de gratification financière ou via des avantages comptabilisés sous forme de points. De même, la communication et les mesures de sensibilisation influencent également les taux de participation.

Figure 4 - Influence de la communication sur les résultats du covoiturage en entreprise



Source : ADEME (2010)

La figure ci-dessus reprend un exemple d'entreprise française concernant l'effet de la communication sur le taux d'inscrits et d'utilisateurs du covoiturage en entreprise. D'après ces données, il est possible de multiplier par six le nombre d'utilisateurs et par conséquent d'améliorer nettement l'ampleur des réductions des émissions de CO₂.

V.5 Evaluation financière

Le covoiturage en entreprise permet des économies de carburant qui sont la source d'avantages économiques et écologiques. Le tableau ci-dessous reprend l'évaluation d'un renforcement du covoiturage en entreprise.

Tableau 38 - Evaluation financière et environnementale d'un renforcement du covoiturage en entreprise

Caractéristiques d'une entreprise	
Nombre de travailleurs	150
Distance moyenne domicile-travail en Wallonie en km	17,2
Emissions moyennes du parc automobile belge en kgCO ₂ /km (2010)	0,152
Consommation moyenne du parc automobile belge en litres/100km (2010)	5,72
Nombre de jours de travail par an	220
Scénario actuel (4,8% de covoiturage soit 7,2 travailleurs)	
Economies en carburant en litres	1.559
Réduction du coût annuel en carburant (1,5 €/litre)	€ 2.338
Réduction annuelle des émissions de GES en tCO ₂	4,1
Scénario avec le renforcement du covoiturage (15% de covoiturage soit 22,5 travailleurs)	
Economies en carburant en litres	4.871
Réduction du coût annuel en carburant (1,5 €/litre)	€ 7.307
Réduction annuelle des émissions de GES en tCO ₂	13,0
Réduction et économies additionnelles (pour les 15,3 covoitureurs additionnels)	
Réduction additionnelle du coût annuel en carburant (1,5 €/litre)	€ 4.969
Réduction additionnelle annuelle des émissions de GES en tCO ₂	8,8
Financement carbone pour les réductions additionnelles (20 €/tCO ₂)	€ 176

Source : CO2logic

Ci-dessous, nous pouvons observer l'évolution de la réduction des émissions de GES en fonction du nombre croissant de covoitureurs. Nous obtenons une réduction d'environ 576 kgCO₂/covoitureur additionnel.

Figure 5 - Impact CO₂ d'un nombre croissant de covoitureurs additionnels



Source : CO2logic

V.6 Projets de covoiturage en entreprise

Nous présentons ci-dessous deux projets de renforcement du covoiturage en entreprise qui ont été un véritable succès (CERTU, 2007) :

- 1) La société énergétique E.ON UK, basé dans la banlieue de Coventry, emploie 1.000 personnes sur son site principal. De par sa situation géographique, l'utilisation de la voiture est indispensable, malgré le peu de places de parking disponibles (seulement 450 places).

En 2000, l'entreprise a donc lancé son plan de mobilité pour rationaliser les déplacements. Suite au diagnostic réalisé, le développement du covoiturage semblait être la stratégie la plus efficace pour lutter contre le sur-engorgement du parking. Un logiciel en intranet de mise en relation simple (échange des coordonnées) a été mis à la disposition des employés pour déposer et consulter les offres de trajets. Un système de contrôle des covoitureurs vient compléter le dispositif avec la création d'un parking réservé aux covoitureurs et sécurisé par une barrière automatique. Pour rentrer dans le parking, l'usager valide une *smart-card* sur une borne électronique.

E.ON UK a beaucoup misé la réussite du projet sur les gratifications aux covoitureurs : ainsi, à chaque validation de sa *smart-card*, le covoitureur est crédité de 10 points de bonus. À partir de 50 points, l'usager bénéficie de divers avantages tels que des tickets restaurant, des bons loisirs ou encore un lavage de voiture. Ce système a porté ses fruits puisque la part modale du covoiturage est passée de 6 % en 1994 à 15 % en 2000.

- 2) Suite à un déménagement des locaux en 2000, la société British Gas qui emploie plus de 1.900 personnes a décidé de mener un plan d'actions pour limiter l'impact de la voiture. La conception d'une base de données en interne a permis aux usagers de pouvoir s'enregistrer et de déposer leurs annonces. La mise en relation se fait de manière manuelle et simple, lorsqu'une requête est faite, l'administrateur regarde sur sa base de données les concordances possibles avec d'autres trajets. Ensuite, une place de parking réservée est attribuée à chacune des équipes de covoiturage. En effet, dès le début du plan, le nombre de places a été limité selon les attributions suivantes : 19 places handicapées, 11 pour les visiteurs, 16 pour les personnes à horaire flexible, 30 places pour les voitures de fonction, 16 places pour les personnes qui n'ont pas

d'autres alternatives et 294 places pour les covoitureurs. Ce système a eu un énorme succès :

Tableau 39 - Evolution du covoiturage pour British Gas entre 2000 et 2003

Mode	2000	2003
Voiture personnelle	68%	10%
Covoiturage	2%	70%
Bus	25%	15%
Train, vélo, marche	5%	5%

Source : CERTU (2007)

Le succès d'une telle mesure réside dans le fait que le covoiturage a été imposé par une limitation du nombre de places de parking. Des services sont venus compléter le dispositif comme la garantie de retour en cas d'empêchement du conducteur. Le coût annuel pour la maintenance et le fonctionnement du service est de l'ordre de £646, soit environ 1.000 €.

V.7 Actions préconisées pour la Wallonie

Etant donné les exemples d'expériences réussies et le besoin de développement de cas pilote pour encourager la diffusion de cette bonne pratique nous préconisons à la Wallonie de soutenir à hauteur de 50% les frais inhérents à l'inscription à une plateforme de covoiturage et les frais liés à la communication de cette mesure aux employés et aux aménagements divers associés (ex. marquage pour des parkings prioritaires, remboursement de frais de taxis pour la garantie de retour, etc.). Le taux de subside pourrait être revu vers le bas au fur et à mesure que cette bonne pratique se déploie. En effet, plus un nombre important d'entreprises encourageront cette action plus les coûts seront faibles et la qualité du service élevée.

Pour éviter 4400 tonnes de CO₂ (soit 8,8 tonnes dans environ 500 sociétés ayant en moyenne 150 employés), nous estimons que la Wallonie devrait soutenir les frais à hauteur de 250.000€ (500€ par entreprise). Le prix à la tonne de CO₂ est difficilement estimable car il est peu aisé d'obtenir des chiffres sur la durée de vie de cette action. En effet, les employés peuvent changer d'employeur ou déménager ce qui provoque des désistements devant être compensés par l'attrait de nouveaux membres. Nous estimons néanmoins qu'en moyenne les réductions annoncées peuvent être maintenues durant trois années après l'investissement initial. Avec cette hypothèse le coût à la tonne de CO₂ évitée est de 19€ pour les autorités (250.000€/(4400*3)). Cette mesure présente un temps de retour quasi immédiat pour les employés (voitures personnelles) ou l'employeur (voitures de société). Ce type de mesure ne permettrait cependant de capter que 5 à 10% du potentiel théorique additionnel en raison de son coût relativement élevé et du caractère très diffus des émissions liées au transport de personnes (contrairement à la mesure précédente visant à former les chauffeurs professionnels dont le nombre est beaucoup plus limité).

VI. Les gaz fluorés

VI.1 Introduction : gaz fluorés, le constat

Les gaz fluorés, issus de la famille des fluorocarbures, sont des gaz très connus pour leur utilisation dans des systèmes de réfrigération (Service fédéral Changements climatiques, 2012) tels que les réfrigérateurs ou les systèmes d'air conditionné. Ils sont aujourd'hui très controversés à cause de leur impact environnemental important qui fait l'objet de ce chapitre. Ce chapitre vise essentiellement 3 types de sous familles de fluorocarbures : les hydrofluorocarbures (HFC), les chlorofluorocarbures (CFC) et les hydrochlorofluorocarbures (HCFC). Les gaz PFC ou le SF₆ sont d'autres gaz fluorés qui ne sont pas traités dans cette note.

Les gaz fluorés (CFC, HCFC et HFC) ont de nombreuses applications :

- dans la réfrigération (domestique, commerciale, industrielle ou dans le transport) ;
- dans le conditionnement d'air (les systèmes mobiles, fixes ou les pompes à chaleur) ;
- comme solvants (entre autres pour le nettoyage des composants électroniques) ;
- dans les systèmes de lutte contre les incendies ;
- dans la production d'aluminium et de mousses synthétiques ;
- comme sous-produits de la production d'autres gaz.

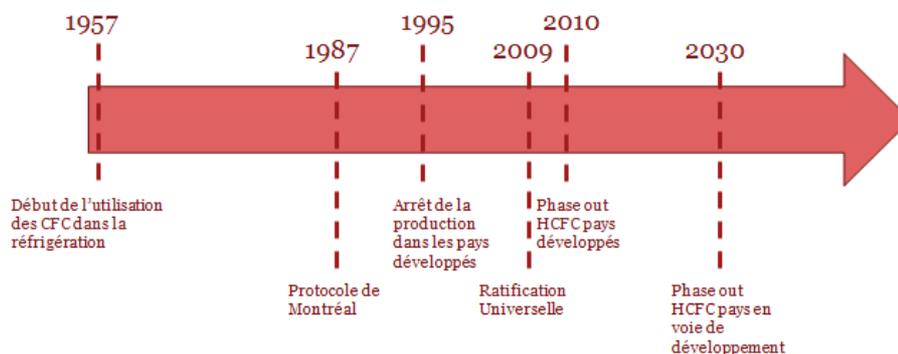
Commercialisés pour leurs qualités chimiques (très stables et non toxiques pour la plupart), les gaz fluorés ont un impact environnemental significatif sur le climat et pour certains sur la couche d'ozone.

Les CFC sont des gaz très stables, et qui par conséquent ne se décomposent que très lentement dans l'atmosphère. Cette stabilité leur donne un avantage considérable dans les machines à froid où les fluides restent sans dégradation pendant des décennies. Les gaz CFC provoquent la décomposition de l'ozone stratosphérique (aux hautes altitudes). Ils sont interdits au niveau international (ou sont en passe de le devenir) par le Protocole de Montréal de 1987 (UNEP, 2000) qui visait à réduire, et, à terme éliminer complètement, les substances qui portent atteinte à la couche d'ozone. Mis en œuvre au niveau européen par le Règlement 2037/2000³⁶, le Protocole de Montréal a été le premier protocole environnemental à atteindre, en 2009, la ratification universelle, ce qui a permis d'imposer (à terme) la suppression totale de l'utilisation des CFC et autres substances appauvrissant la couche d'ozone (essentiellement les HCFC qui sont moins stables et se décomposent donc plus rapidement dans l'atmosphère).

La figure suivante présente les principaux jalons concernant l'utilisation des CFC et HCFC.

³⁶ RÈGLEMENT (CE) No 2037/2000 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 29 juin 2000 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Ce Règlement a été abrogé et remplacé par le Règlement 1005/2009 du même nom.

Figure 6- Principaux jalons et étapes dans l'utilisation des CFC et HCFC



Source : PwC

S'il faut se réjouir de la mise en œuvre du Protocole de Montréal pour la couche d'ozone, celle-ci a poussé au développement de substituts de type HFC qui sont aujourd'hui visés par les associations environnementales et la Commission européenne pour leur contribution importante à l'effet de serre et donc aux changements climatiques. Les principaux substituts ne contiennent pas de chlore et sont donc inoffensifs pour la couche d'ozone. Par contre, ils présentent un potentiel de réchauffement planétaire³⁷ (*Global Warming Potential, GWP*), pour certains d'entre eux tout aussi élevé que les CFC, jusqu' à 14.000 fois plus élevé que celui du CO₂. Cette contribution au réchauffement climatique a fait qu'ils sont aujourd'hui inclus dans le protocole de Kyoto.

Le tableau ci-dessous donne les potentiels de réchauffement global des principaux Hydrocarbures fluorés (HFC).

Tableau 40 - GWP des principaux Hydrocarbures fluorés (HFC)

Désignation industrielle de la Substance	Potentiel de réchauffement planétaire (GWP) ³⁸
HFC-23	14800
HFC-32	675
HFC-41	92
HFC-125	3500
HFC-134	1 100
HFC-134a	1 430
HFC-143	353
HFC-143a	4 470
HFC-152	53
HFC-152a	124
HFC-161	12
HFC-227ea	3 220
HFC-236cb	1 340
HFC-236ea	1 370

³⁷ GWP est le potentiel de réchauffement du climat d'un gaz à effet de serre par rapport à celui du dioxyde de carbone (CO₂), calculé comme le potentiel de réchauffement sur un siècle d'un kilogramme du gaz par rapport à un kilogramme de CO₂ (Commission européenne, 2012)

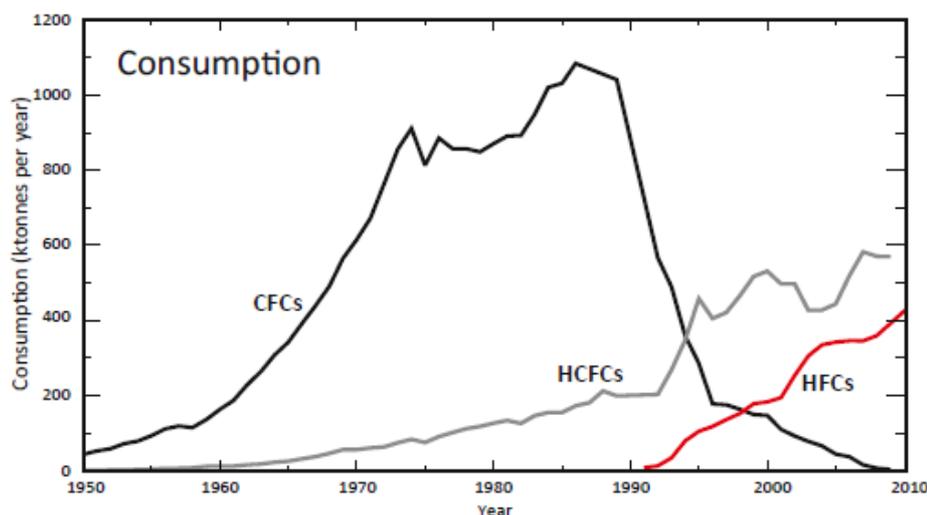
³⁸ Tel que défini par l'IPPC (IPPC, 2007)

HFC-236fa	9810
HFC-245ca	693
HFC-245fa	1030
HFC-365 mfc	794
HFC-43-10 mee	1640

Source : Commission Européenne (2010)

La figure suivante nous montre l'évolution de la consommation des 3 principaux gaz fluorés et plus particulièrement l'impact de l'interdiction des CFC sur la consommation (et donc, par conséquent de la production) de ses substituts.

Figure 7 - La transition de la consommation globale (en kilotonnes par année) des CFC aux HCFC et HFC (ses substituts sans impact significatif sur la couche d'ozone)



Source : UNEP (2011)

La *World Meteorological Organisation* estime que l'ensemble des gaz fluorés ont eu un impact dévastateur sur le climat. Ils contribuent ainsi pour quelque 12 % au forçage radiatif³⁹ induit par les gaz à effet de serre persistants (WMO, 2011). Si aujourd'hui les gaz CFC et HCFC sont en passe d'être interdits de façon globale, des mesures sont actuellement à l'étude (notamment au niveau européen) afin de tenter de remplacer les gaz HFC à haut GWP par des alternatives à faible GWP.

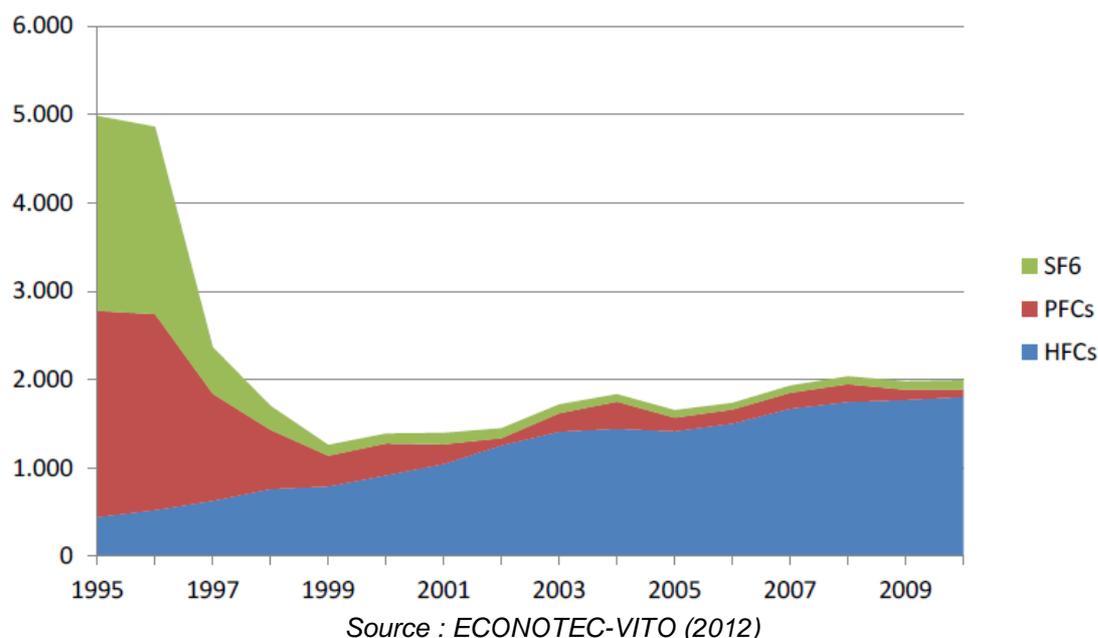
Les gaz HFC ne contribuent aujourd'hui qu'à environ 1% des émissions de gaz à effet de serre au niveau global (en tonnes équivalent CO₂). Mais alors que le monde se concentre sur la lutte contre les émissions de CO₂, l'utilisation de gaz fluorés connaît actuellement un taux de croissance annuel de l'ordre de 8-9% et un potentiel de développement encore plus important à cause du développement des systèmes de réfrigération et d'air conditionné dans les économies émergentes (Kauffeld, 2012). Une étude montre ainsi que les émissions de HFC (en équivalent CO₂) pourraient représenter en 2050 quelques 9 à 19% des émissions globales de CO₂-eq telles que prévues dans un scénario de '*business as usual*' pour l'ensemble des gaz à effet de serre (Velders, 2009). Avec les hypothèses du scénario de stabilisation des émissions globales de CO₂ à 450 ppm sur le long terme, les émissions

³⁹ Le forçage radiatif est le terme utilisé par le GIEC pour mesurer l'impact de certains facteurs affectant le climat sur l'équilibre énergétique de notre planète. Il désigne le réchauffement du système couplé terre/atmosphère.

de HFC pourraient représenter en 2050 quelques 28 à 45 % (en équivalent CO₂) des émissions globales de gaz à effet de serre.

Au niveau belge, si le total des émissions de gaz fluorés inclus dans le Protocol de Kyoto (car ayant un haut niveau de GWP) a diminué de façon drastique entre 1995 et 1999, on constate depuis une évolution constante de ceux-ci, dû principalement à la part croissante des gaz HFC.

Figure 8 – Evolution des émissions de gaz fluorés inclus dans le Protocol de Kyoto en Belgique (kt CO₂-eq)



Malgré un volume relativement insignifiant, ces gaz constituent dès lors une cible réelle pour une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre (GES). Ainsi, en Wallonie les émissions de gaz HFC représentent **546kt d'équivalent CO₂** émis dans les secteurs de la réfrigération (climatisation, réfrigération et pompes à chaleurs), des mousses (principalement d'isolation), des aérosols et des systèmes anti-incendie (ECONOTEC-VITO, 2012).

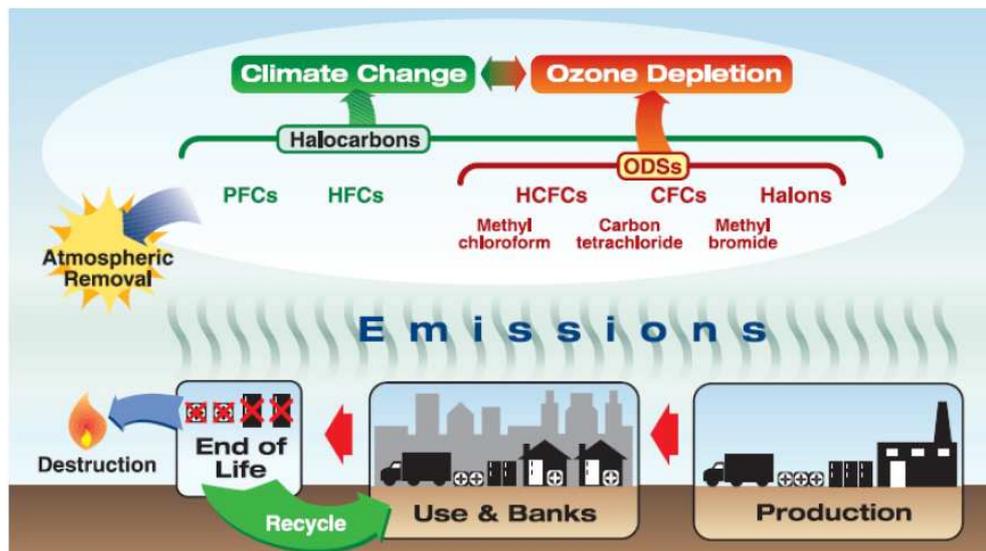
La section suivante présente la chaîne de valeur des gaz fluorés afin d'identifier les principales sources d'émissions dans l'atmosphère. La section 3 présente ensuite les alternatives existantes aux gaz fluorés afin d'identifier les pistes de réduction de ces gaz à effet de serre pour la Wallonie. Enfin, la dernière section présente nos recommandations d'action sur base d'une analyse coût / bénéfice des mesures étudiées, envisagées et sélectionnées.

VI.2 La chaîne de valeur des gaz fluorés

Les gaz fluorés sont présents dans de nombreuses applications utilisées au jour le jour par le grand public, telles que comme nous l'avons cité plus haut, les systèmes de réfrigération et d'air conditionné, les mousses isolantes et les systèmes de protection au feu. S'ils sont très communs dans les pays développés, leur utilisation connaît une expansion importante dans les pays en voie de développement.

La figure suivante montre une vue d'ensemble de la chaîne de valeur des principaux gaz fluorés. De manière traditionnelle, les émissions de gaz se produisent lors des phases de production des gaz, d'utilisation et stockage de ceux-ci, et finalement de fin de vie des applications et équipements qui les utilisent.

Figure 9 - Emissions au cours du cycle de vie des gaz fluorés



Nous passons ci-après en revue les stades de production, d'utilisation et de fin de vie.

1. Production

La production de gaz fluorés est historiquement assurée par de grandes entreprises internationales présentes aux Etats-Unis, au Japon et en Europe. La plateforme d'étude sur les gaz fluorés, l'AFEAS⁴⁰, a ainsi réuni les plus grands producteurs du secteur (Arkema, Asahi Glass, Daikin, DuPont, Honeywell, INEOS et Solvay).

Les gaz HFC purs n'ayant pas pu atteindre des niveaux de performance frigorifique comparables à ceux des gaz HCFC, ce sont aujourd'hui des mixtes de gaz de type HFC, qui ont été développés comme substituts (Öko-Institut, 2011). Les ventes de mixtes réfrigérants et donc également la production de ces mêmes gaz ont fortement augmenté depuis les années 2000, d'abord en Europe puis au Japon et finalement dans le reste du monde. Les « mélanges réfrigérants » les plus vendus en Belgique sont : R410a, R404a, R410a, R507, R134a (un composé pur).

Aujourd'hui, la majeure partie de la production des gaz fluorés se concentre dans les pays émergents, avec de nouveaux acteurs importants chinois et indiens tels que Sinochem, Gujarat Fluorochemical et SRF. En effet, si le Protocole de Montréal a permis d'interdire à terme les gaz qui portent atteinte à la couche d'ozone, les HCFC bénéficient d'une période de transition encore d'application dans les pays en développement (période prenant fin en 2030) et la Chine est ainsi devenue le principal pays producteur de ce type de gaz F. Mais la Chine est en passe de devenir également le plus grand producteur de gaz HFC pour satisfaire une forte demande intérieure pour les gaz HFC-134a et les mixtes de gaz réfrigérants. Ainsi, en 2009, les entreprises membres de l'AFEAS estimaient qu'elles

⁴⁰ Plus de détail sur www.afeas.org

produisaient moins de la moitié du niveau de vente de ces gaz au niveau global (Öko-Institut, 2011).

Au niveau de la production des gaz fluorés, certaines mesures politiques visent à obliger les entreprises à incinérer les gaz fluorés émis lors de processus. Mais une telle obligation n'est pas d'application au niveau mondial et les mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre sont l'objet d'intenses tractations lors des conférences internationales.

Un exemple marquant des difficultés à trouver un équilibre dans ces négociations internationales nous est fourni par l'actualité concernant les crédits carbone alloués pour la destruction volontaire du HFC23 (Reuters Point Carbon, 2012). Le HFC23 est un sous-produit de la fabrication d'un réfrigérant (le HCFC22) et il a un effet de serre très puissant. La législation en place en Inde ou en Chine n'oblige pas les entreprises à brûler le gaz HFC23. Les projets de destruction volontaire du HFC23 sont donc reconnus par le Mécanisme de Développement Propre (MDP) afin de tenter de limiter les rejets dans l'atmosphère. Ainsi par exemple, 3 projets de HFC-23 indiens validés par les MDP et détenus par les multinationales Gujarat Fluorochemical (GFL), Navin Fluorine et SRF ont permis d'éviter le rejet de 10 millions de tonnes d'équivalent CO₂ dans l'atmosphère en détruisant les gaz.

Or vu que les technologies permettant de brûler ces gaz ne sont pas chères et permettent de réduire considérablement les émissions, elles peuvent dans une certaines mesures, entraîner des effets pervers comme la surproduction du HCFC22 par les industriels afin de bénéficier des subsides (Noé21, 2012) prévus dans les accords internationaux. Les revenus de ces entreprises découlant des subsides sont estimés à plusieurs centaines de millions de dollars, allant jusqu'à permettre de générer plus de 50% des revenus des entreprises concernées. Cette incitation est donc en contradiction avec la révision du Protocole de Montréal qui cherche à accélérer la fin de l'utilisation dudit réfrigérant et justifie le fait que l'Union européenne cherche aujourd'hui à interdire l'utilisation de ces crédits carbones dans son système d'échange de quotas et à forcer les pays émergents à introduire l'obligation de destruction dans leur législation.

2. Utilisation

Les gaz fluorés sont utilisés soit en circuit fermé, soit en circuit ouvert.

Utilisation en circuit fermé

La réfrigération est l'exemple le plus important d'utilisation de gaz fluorés en circuit fermé. La réfrigération peut être domestique (frigo et réfrigérateurs domestiques), commerciale (systèmes individuels, groupes de condensation ou encore systèmes centralisés) ou industrielle (avec des applications dans la production chimique ou plastique et dans la production alimentaire). Le transport réfrigéré (par camion ou par bateau par exemple) constitue également une utilisation à grande échelle de gaz fluorés. Les systèmes d'air conditionné constituent le deuxième exemple le plus important avec les systèmes portables, à palles, sur les toits, les pompes à chaleur, etc.

Dans les systèmes fermés, la principale source d'émissions de gaz se produit en cas de fuite due à un mauvais entretien ou lors du démantèlement des installations. Vu les coûts importants de collecte et de destruction, il est souvent tentant de laisser le gaz s'échapper dans l'atmosphère.

Utilisation en circuit ouvert

Dans les circuits ouverts, le problème est tout autre car les gaz sont, par définition, utilisés à 'l'air libre' (comme solvant par exemple) et donc directement émis dans l'atmosphère. Il est alors souvent difficile voire impossible de les récupérer. Le HFC-125 est un exemple typique de gaz fluoré utilisé en circuit ouvert. Il constitue une alternative aux HCFC car il n'a pas d'impact sur la couche d'ozone (ODP⁴¹ = 0), mais il est caractérisé par un pouvoir de réchauffement global 3400 fois supérieur au dioxyde de carbone. Il entre donc dans les listes des gaz couverts par le Protocole de Kyoto. Le HFC-125 est notamment utilisé comme agent d'extinction dans les systèmes anti-incendie. Il présente des propriétés intéressantes dans des endroits confinés avec des biens de grande valeur car il est en effet inodore, incolore, non-conducteur, non corrosif et ne laisse aucun résidu. Il absorbe l'énergie thermique du feu plus rapidement qu'elle n'est produite, la combustion ne peut alors plus s'auto-entretenir. Il forme par ailleurs des radicaux libres qui interfèrent chimiquement dans la réaction en chaîne de la combustion. Ces propriétés font de lui un agent efficace de lutte anti-incendie, qui en outre est sans danger pour les personnes et ne cause pas de dommages aux biens.

3. Fin de vie

La fin du cycle de vie des gaz fluorés correspond essentiellement à la fin de la chaîne de valeur des biens et équipements pour lesquels ils sont utilisés. Les équipements frigorifiques ou les mousses isolantes sont un bon exemple pour illustrer la phase de fin de vie. Ces biens et équipements font en principe l'objet de mesures strictes dans les pays occidentaux, visant à obliger leur recyclage ou leur valorisation. Les gaz fluorés peuvent alors être brûlés pour diminuer leur GWP ou encore recyclés. Mais dans la pratique, il est très difficile de savoir ce qu'il advient réellement des équipements utilisant les gaz fluorés. Et ce en particulier pour les mixtes de différents gaz HFC introduits comme substituts aux HCFC dans la réfrigération. Ces mélanges de gaz sont difficilement récupérables et difficiles à recycler.

VI.3 Evaluation des alternatives visant à réduire les émissions de gaz fluorés

Sur base de l'analyse de la chaîne de valeur des gaz fluorés, nous avons choisi d'examiner uniquement les émissions produites lors de l'utilisation des HFC et de leur fin de vie. Étant donné que la Wallonie ne compte aucune entreprise produisant des HFC, ou disposant de procédés chimiques pouvant conduire à la formation et à une éventuelle émission de HFC, le problème des émissions de HFC lors de la phase de production ou en tant que sous-produit de procédés de production ne se pose pas.

Le rapport de la Commission Nationale Climat (2007) souligne que, au niveau national, le facteur principal qui a contribué à réduire les émissions du secteur des procédés industriels est la diminution spectaculaire des émissions associées à la production de gaz fluorés. La diminution enregistrée entre 1996 et 1999 résulte de l'installation en Belgique d'un

⁴¹ *Ozone Depletion Potential*: le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone d'un composé chimique est la dégradation relative théorique que ce composé inflige à la couche d'ozone

incinérateur à gaz avec récupération des HF (unité de récupération du fluorure) dans une unité de synthèse électrochimique. Ces émissions ont ainsi pu être réduites pratiquement à néant. L'AwAC confirme qu'aujourd'hui il n'y a plus de production de gaz fluoré sur le territoire wallon.

Les opportunités pour réduire les émissions de gaz à effet de serre à base de HFC peuvent donc être divisées en deux groupes :

- i. Le confinement et la récupération des gaz pour limiter les émissions directes lors de leur utilisation ou lors de la destruction/valorisation des biens et équipements pour lesquels ils sont utilisés ;
- ii. Le développement de solutions qui utilisent des gaz à faible GWP, voire à GWP nul.

Confinement et récupération

L'étude du Öko-Institut montre que la première mesure fait déjà l'objet de différentes règles internationales visant à encourager ou même imposer ces pratiques⁴². Cette première mesure est par ailleurs une mesure phare du Règlement européen CE 842/2006⁴³, en application depuis 2006 et qui a notamment pour objectif de réduire les émissions de HFC. Ce Règlement vise à généraliser les contrôles d'étanchéité des circuits frigorifiques utilisant comme fluide frigorigène des gaz fluorés sur base de 3 concepts :

- i. le confinement (prévenir les fuites de gaz à effet de serre et les réparer dans les meilleurs délais),
- ii. la récupération (permettre une récupération correcte des agents réfrigérants) et,
- iii. la certification (certification du personnel et des entreprises concernées par l'installation, la maintenance, l'entretien des équipements, la récupération des agents réfrigérants et les contrôles d'étanchéité).

La Commission européenne a lancé fin 2011 une consultation publique sur le renforcement des mesures de l'Union Européenne (UE) visant à réduire les émissions de gaz fluorés. Début novembre 2012, elle a présenté ses propositions avec l'objectif ambitieux de réduire de deux tiers les émissions de gaz fluorés par rapport à leur niveau actuel d'ici à 2030⁴⁴.

Le Règlement actuel est jugé inadéquat vis-à-vis des objectifs que l'UE s'est fixés dans la lutte contre les gaz à effet de serre (EIA, 2011). La législation se concentre en effet principalement sur des mesures curatives visant à limiter les émissions de gaz fluorés après leur introduction sur le marché. L'étude de Öko-Institut préconise donc les mesures visant à interdire l'utilisation des gaz HFC et les technologies qui y sont liées car ces mesures d'interdiction se sont avérées jusqu'à présent plus efficaces que les mesures curatives en termes d'implémentation pour une réduction des émissions à moindre coût.

Sur base de ses consultations et de l'étude de Öko-Institute, la Commission a formulé une série de propositions qui visent d'abord à maintenir et/ou renforcer les mesures de confinement et de récupération. Les textes actuels prévoient par exemple une obligation de contrôle des équipements à base de HFC qui dépend de la charge en réfrigérant. Les unités

⁴² Pour plus de détails sur les différentes législations existantes en la matière, se référer à l'étude du Öko-Institut: Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases (2011)

⁴³ RÈGLEMENT (CE) No 842/2006 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 17 mai 2006 relatif à certains gaz à effet de serre fluorés (plus connu sous le nom de 'F-gas Regulation')

⁴⁴ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-1180_fr.htm

de moins de 3 kg de gaz fluorés étant exemptées, les équipements ayant une charge de plus de 3 kg, 30 kg ou 300 kg doivent respectivement être contrôlés de façon annuelle, bi-annuelle ou trimestrielle. Les propositions actuelles de la Commission prévoient d'ajouter dans les critères de contrôle un lien avec le GWP des réfrigérants utilisés, afin de prendre en compte l'impact sur le climat.

Ces mesures sont évidemment très importantes et doivent faire l'objet d'un suivi particulier au niveau local afin d'être implémentées de manière adéquate et de garantir une réduction maximale des émissions de gaz à effet de serre. L'AWAC souligne que la principale source d'émissions dans la réfrigération commerciale, et aussi dans la réfrigération industrielle, mais vraisemblablement dans une moindre mesure, en Région wallonne est le taux de fuite parfois très important sur les équipements utilisés. La législation actuelle impose donc une série de mesures afin de limiter ces fuites. Ainsi, l'Arrêté du Gouvernement wallon du 12 juillet 2007⁴⁵ impose des règles strictes pour prévenir la pollution qui est susceptible de se produire lors ou à la suite des opérations d'installation, de maintenance et de gestion des déchets d'un équipement frigorifique.

D'un côté, ce sont les conditions mêmes d'utilisation de ces installations de réfrigération qui les rendent particulièrement vulnérables aux fuites. Dans les applications commerciales, les unités de réfrigération sont généralement éparpillées à travers les magasins, obligeant l'installation d'un large réseau de conduites et de connexions, souvent difficilement accessible pour effectuer un entretien ou un contrôle efficace. D'un autre côté, il apparaît que les acteurs du secteur ne sont pas toujours conscients de leurs obligations et que les contrôles ne sont pas suffisants pour assurer la mise en œuvre effective des mesures prises par les autorités.

Substitution par des gaz à faible potentiel de réchauffement (GWP)

En raison notamment des limites évoquées ci-avant, la Commission a également établi une proposition pour une réduction progressive limitant, à partir de 2015, la quantité totale d'HFC pouvant être vendue dans l'UE, pour la ramener graduellement, d'ici à 2030, à un cinquième des ventes actuelles. Ces mesures doivent permettre à terme de remplacer les HFC les plus polluants par des solutions alternatives (à faible GWP, voire à GWP nul) économiquement viables.

Certaines règles européennes interdisaient déjà l'utilisation de gaz à haut potentiel de réchauffement pour les systèmes ouverts dans des secteurs très particuliers ou dans des systèmes fermés ayant des taux de fuites importants. Mais de nombreuses voix s'élèvent aujourd'hui afin d'aller plus loin en interdisant de façon plus générale l'utilisation des gaz à haut GWP ainsi que la commercialisation des technologies basées sur ceux-ci. Les propositions de la Commission vont dans ce sens (comme pour ce qui concerne le HFC-23 dans les systèmes de protection contre l'incendie et les extincteurs d'ici 2015) et il est donc nécessaire de prendre les devants en encourageant le développement de solutions alternatives.

⁴⁵ 12 juillet 2007 - Arrêté du Gouvernement wallon tendant à prévenir la pollution lors de l'installation et la mise en service des équipements frigorifiques fixes contenant de l'agent réfrigérant fluoré, ainsi qu'en cas d'intervention sur ces équipements, et à assurer la performance énergétique des systèmes de climatisation (M.B. 28.09.2007)

Il existe deux options techniques de long terme pour s'attaquer à l'utilisation même des HFCs afin de réduire leur impact sur les changements climatiques.

- i. La première option est de développer de nouvelles solutions techniques fonctionnant sans HFC. Il existe des exemples concrets de méthodes et procédés existants déjà au niveau commercial tels que le développement de matériel d'isolation à base de fibre et non de mousse, la commercialisation d'inhalateurs pour asthmatiques à base de produits secs (par opposition aux inhalateur -plus communs- à base d'aérosol), et l'essor de la construction passive pour éviter le recours à l'air conditionné.
- ii. La seconde option est de substituer les HFC dont l'impact sur le climat est le plus important par des substances avec un GWP limité ou nul et ce dans les solutions techniques existantes. Des technologies adéquates représentent des alternatives crédibles déjà disponibles sur le marché en se basant sur des substituts aux gaz fluorés tels que l'ammoniac, les hydrocarbures comme le propane ou l'isobutane, le CO₂ ou même l'eau. Ces alternatives ont des GWP extrêmement faible, de zéro pour l'ammoniac à 3,3 pour l'isobutane (en comparaison au GWP de 1.430 du HFC-134a par exemple) (Kauffeld, 2012).

Le tableau suivant présente les alternatives au HFC déjà développées et disponibles sur le marché pour une série de secteurs utilisant des HFC.

Tableau 41- Exemples de secteurs possédants des alternatives aux HFC disponibles sur le marché

Secteurs utilisant des HCF	Exemple d'alternatives
Systèmes industriels de réfrigération	Ammoniac, CO ₂ , HC
Systèmes de conditionnement d'air	Ammoniac, CO ₂ , HC
Réfrigérateur domestique	HC
Mousse isolante	HC, CO ₂
Système de protection au feu	H ₂ O, produits secs, gaz inertes
Application médicale pour l'asthme	Produits secs
Solvants	Alcools, solutions aqueuses

Source : PwC

Toutes ces alternatives doivent être considérées sur le plan de leur faisabilité technique, de leur efficacité énergétique et environnementale et de leur impact économique afin de pouvoir identifier les mesures les plus rentables pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Il faut par ailleurs également tenir compte de contraintes externes. Ainsi, dans certains secteurs, les alternatives ne sont pas directement disponibles ou effectives. Ou encore, certaines solutions présentent des risques plus importants en termes d'inflammabilité ou de toxicité (UNEP, 2011). Cette note exploratoire n'examine pas dans les détails chacun de ces critères mais se concentre sur les aspects d'efficacité et de coût.

Dans chaque secteur utilisant des gaz HFC, des alternatives spécifiques ont été développées. Ces alternatives sont souvent déjà techniquement fiables et économiquement viables :

I. Réfrigération domestique

La réfrigération domestique couvre les biens et équipements qui sont utilisés de manière étendue par les ménages, comme les réfrigérateurs et les congélateurs domestiques. Quelques 104 millions de réfrigérateurs et congélateurs sont produits chaque année dans le monde. Chaque unité contient entre 50 et 250g de réfrigérants HFC, et jusque 1kg d'agent HFC insufflé dans la mousse isolante de l'équipement (EIA 1, 2012).

Le secteur émet un niveau relativement faible d'émissions de GES car des alternatives de type hydrocarbures ont été développées dès l'interdiction de agents réfrigérants de type CFC. L'utilisation des hydrocarbures dans le secteur a augmenté d'environ 36% depuis 1992 sur le marché global et devrait atteindre 75% de la production globale pour 2020. L'UNEP⁴⁶ souligne également que les émissions de gaz à effet de serre des derniers équipements disponibles sur le marché sont destinées à diminuer drastiquement vu les avancées en termes d'efficacité énergétique des technologies les plus avancées.

Au niveau belge, depuis l'interdiction en 2005 d'utiliser des CFCs dans des frigos domestiques, le marché de la réfrigération domestique s'est réorienté vers une utilisation massive de gaz non fluorés. Comme agent réfrigérant, le CFC 12 a majoritairement été remplacé par l'isobutane. Une faible proportion de frigos (moins de 10%, essentiellement importés des USA) utilise encore le HFC134a comme agent réfrigérant. Le CFC11 présent dans les mousses d'isolation a été principalement remplacé par le cyclopentane. Une faible proportion (quelques %, provenant des USA principalement) étaient pourvus de mousses contenant du HFC245fa (jusqu'en 2004) (Entretien M. P. Théate, 2013).

II. Réfrigération commerciale

La réfrigération commerciale comprend différentes applications de refroidissement divisées en trois groupes : les systèmes indépendants, les unités de condensation et les systèmes centralisés. Sous la réglementation européenne existante qui n'interdit pas la commercialisation de technologie à base de solution à haut GWP, ce secteur risque de voir ses émissions augmenter de façon importante dans les prochaines années (EIA 2, 2012). Sachant que l'espérance de vie des équipements commerciaux est de 10 à 15 ans, l'EIA⁴⁷ recommande d'agir au plus vite afin de maintenir les objectifs de réduction fixés pour 2030 et au-delà.

Les alternatives varient en fonction des applications mais sont généralement basées sur des réfrigérants non fluorés tels que l'isobutane, le propane et le dioxyde de carbone. Ces solutions sont au moins aussi efficaces du point de vue énergétique mais souvent meilleures, allant jusqu'à une réduction de 7,5% de la consommation d'énergie comparé avec les équipements à base de HFC (Öko-Institut, 2011).

La proposition de révision du Règlement sur les gaz fluorés prévoit des interdictions supplémentaires pour renforcer le mécanisme de réduction progressive (voir tableau ci-dessous pour les interdictions dans le secteur commercial). La Commission a sélectionné ces mesures sur base du niveau le plus faible du rapport coût-efficacité compte tenu du niveau global de réduction des émissions requis.

⁴⁶ UNEP: United Nation Environment Programme

⁴⁷ EIA : Environmental Investigation Agency. L'EIA est une ONG spécialisée dans la dénonciation des crimes et abus environnementaux.

Tableau 42 - Restrictions d'utilisation des GES fluorés applicables aux équipements de réfrigération

Produits et équipements	Date d'interdiction et type de gaz
Réfrigérateurs et congélateurs (équipements neufs) à usage commercial (systèmes hermétiquement clos)	1 ^{er} janvier 2017 pour les HFC dont le GWP est égal ou supérieur à 2500 1 ^{er} janvier 2020 pour les HFC dont le GWP est égal ou supérieur à 150
Entretien ou maintenance des équipements de réfrigération (à raison d'une charge équivalant à 5 tonnes de CO ₂ ou davantage)	1 ^{er} janvier 2020 pour les GES fluorés (ou mélange) dont le GWP est égal ou supérieur à 2.500

Source : Commission Européenne (2012)

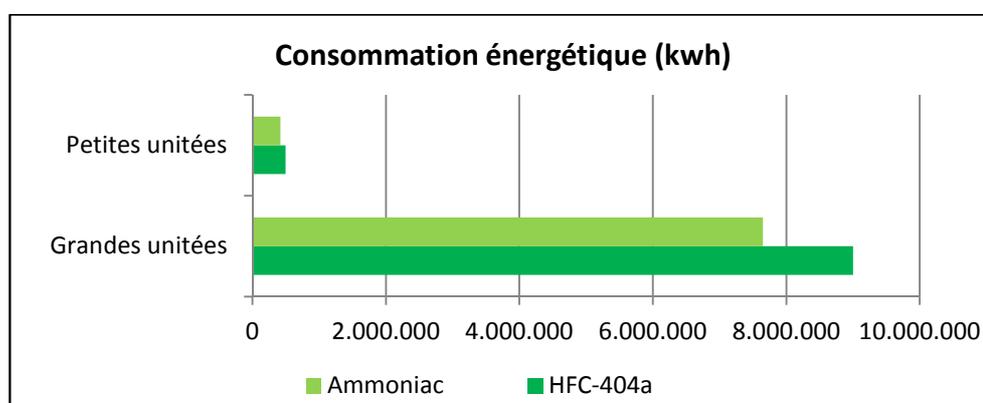
L'UNEP a ainsi établi plusieurs partenariats avec des entreprises internationales actives dans les secteurs de l'alimentaire et des boissons afin de remplacer les HFC à haut GWP par des solutions plus efficaces énergétiquement et à base de réfrigérants et d'isolants à faible GWP. Ces partenariats ont permis d'installer de nombreux exemples économiquement viables, tels que par exemple des distributeurs automatiques de boissons ou des réfrigérateurs à usage commercial.

III. Réfrigération industrielle

La réfrigération industrielle couvre plusieurs types d'applications telles que la production chimique, plastique ou de pétrole, la production et la transformation alimentaire ainsi que les entrepôts frigorifiques (EIA 3, 2012).

Les technologies basées sur l'ammoniac (ou les systèmes combinés ammoniac/CO₂) sont déjà largement utilisées dans l'industrie. Ils sont plus efficaces, tant du point de vue énergétique que du point de vue économique.

Figure 10 - Consommation d'énergie des solutions de réfrigération industrielle à base de HFC et de la principale technologie alternative, à base d'ammoniac



Source : Öko-Institut (Öko-Institut 2, 2011 ; p248-249)

IV. Mousse isolante

Le terme « mousse isolante » fait généralement référence aux mousses à base de polystyrène et de polyuréthane. On constate aujourd'hui que les alternatives à base d'hydrocarbures (isobutane, isopentane, cyclopentane, CO₂, mixtes, etc.) sont déjà largement disponibles et utilisées dans les pays industrialisés. Le tableau suivant indique les taux d'utilisation des alternatives dans les différentes applications des mousses isolantes.

Tableau 43 - Taux d'utilisation des mousses isolantes à base d'alternatives aux HFC dans différentes applications

Application des mousses isolantes	Taux d'utilisation des alternatives (pays industrialisés)
Dans les réfrigérateurs domestiques	66%
Dans d'autres équipements	38%
Panneaux à base de polyuréthane	82%

Source : Commission Européenne (2012)

Même si elles représentent une faible part de l'utilisation actuelle, il serait tout de même important d'interdire complètement l'utilisation des mousses isolantes à base de HFC à haut GWP dans des secteurs tel que la construction et la réfrigération à cause de leur cycle de vie particulièrement long. Cette durée importante du cycle de vie entraîne une accumulation plus importante des mousses à base de gaz fluorés présentes dans l'environnement et des coûts supplémentaires en fin de vie pour traiter celles-ci.

L'étude de l'Öko-Institut (2011) démontre que les solutions existent et sont commercialement viables pour l'ensemble du marché européen. Une interdiction des mousses (et aérosols) à base de HFC pourrait prévenir l'émission de quelques 271 Mt d'équivalent CO₂ d'ici 2050.

V. Réfrigération dans le transport

Tout comme dans le secteur commercial, les solutions de réfrigération dans les transports ont un cycle de vie très long, entre 10 et 30 ans. Ceci augmente l'importance de prendre des mesures au plus vite pour éviter la mise sur le marché de véhicules frigorifiques utilisant des HFC à GWP élevé.

Les technologies alternatives se basent à nouveau sur les réfrigérants non fluorés tels que le propane, l'ammoniac et le dioxyde de carbone. L'étude du Öko-Institut montre que les équipements à base de HFC pourraient être totalement interdits d'ici 2020 pour les camionnettes et les bateaux réfrigérés, et d'ici 2030 pour les camions réfrigérés. Selon cette étude, une telle interdiction permettrait d'éviter au niveau européen l'émission de 135 Mt d'équivalent CO₂ d'ici 2050.

VI. Conditionnement d'air

Sous la terminologie « air conditionné », se cache toute une série d'équipements tels que les systèmes portatifs, les climatiseurs de type *split-system*, les systèmes installés sur les toits, les pompes à chaleur ou les systèmes de production d'eau glacée (chillers). Plus de 100 millions d'unités de conditionnement d'air sont produites chaque année dans le monde, majoritairement en Chine. Chaque unité contient entre 300 et 3.000g de réfrigérants HFC.

Récemment, la technologie à base d'hydrocarbures utilisée dans les frigidaire domestiques a été adaptée pour les petits équipements d'air conditionné. Ces équipements sont largement exportés vers l'Europe et démontrent de bonnes performances en termes d'efficacité énergétique et de sécurité.

VI.4 Analyse de l'offre alternative

En Wallonie, la consommation de HFC a entraîné en 2010 l'émission de 546 kt eqCO_2 . La majeure partie de ces émissions est due au secteur de la réfrigération qui a émis 511 kt eqCO_2 . Les secteurs des aérosols et des produits à base de mousse émettent respectivement 20 et 11 kt eqCO_2 .

La réfrigération a été sélectionnée comme présentant clairement le secteur avec le plus grand potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Sur base de ces chiffres ainsi que sur base de nos propres analyses et des discussions avec les experts en gaz fluorés consultés, les mesures principales que nous décrivons ci-après portent sur les secteurs de la réfrigération commerciale (principalement) mais également industrielle.

Par ailleurs, il ressort de nos entretiens avec l'AWAC et de nos analyses que le secteur des mousses isolantes présente des caractéristiques particulières qui méritent également d'être examinées. D'une part, les applications qui utilisent des mousses isolantes ont des cycles de vie souvent particulièrement longs, et d'autre part, il n'existe pas d'évaluation des émissions liées à la destruction des mousses en fin de vie de leurs applications. Le secteur des mousses, et plus particulièrement de celles utilisées dans l'isolation des bâtiments, constitue dès lors le deuxième sujet de l'analyse qui suit.

1. La réfrigération commerciale et industrielle

En écho aux recommandations faites par le Öko-Institut et aux propositions de la Commission européenne qui en découlent, les premières mesures envisagées dans le cadre de cette étude pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre liées aux gaz fluorés étaient de nature réglementaire. Celles-ci visaient à anticiper et à aller plus loin que la législation européenne à venir afin de limiter drastiquement en Wallonie l'utilisation de gaz fluorés à haut potentiel de réchauffement dans une large série d'équipements frigorifiques.

Cependant, sur base de nos discussions avec les experts du secteur, il apparaît qu'aller plus loin que les décisions prises au niveau européen soit rendu difficile par la nature même de la base juridique sur laquelle repose la législation sur les gaz fluorés. En effet, la libre circulation des marchandises constitue une des libertés fondamentales consacrées par le Traité sur le fonctionnement de l'Union Européenne. Pour des raisons d'harmonisation, un Etat membre ou une Région ne peut prendre des dispositions qui auraient pour conséquence d'entraver la libre circulation dans l'Union Européenne des appareils utilisant des gaz fluorés.

Par contre, les experts soulignent la nécessité d'encourager le secteur à ne pas attendre l'entrée en vigueur des mesures de l'UE et de se tourner dès aujourd'hui vers les alternatives existantes. Pour ce faire, ils insistent sur l'importance de faire appliquer les règles en vigueur dans le secteur.

Comme expliqué dans le chapitre précédent, la principale source d'émissions dans la réfrigération commerciale et industrielle est le taux de fuite parfois très important sur les équipements utilisés. Il existe donc une opportunité pour la Région wallonne de renforcer la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre fluorés dans la réfrigération et ce via quatre pistes d'action définies grâce à la contribution des experts du secteur. Nous présentons brièvement ces mesures ci-dessous mais tenons à souligner qu'une évaluation du potentiel de réduction liée à ces mesures ainsi que du coût de leur mise en œuvre sort du cadre de ce chapitre au caractère exploratoire et nécessite une étude plus approfondie.

1.1. L'information des acteurs du secteur sur la problématique des gaz fluorés

Il y a généralement un manque d'information sur la problématique des gaz fluorés et ce pour l'ensemble des acteurs de la chaîne (techniciens, distributeurs, exploitants, clients). Il y a tout d'abord un manque d'information sur la problématique, tant au niveau réglementaire (obligations environnementales), qu'au niveau économique (sur les coûts de l'entretien, du contrôle, des pertes dues aux fuites et des pertes au niveau énergétique). Il y a également un manque de connaissance des alternatives existantes et plus particulièrement de leur viabilité économique.

Ainsi, le lancement d'un projet de sensibilisation en Wallonie pourrait permettre de mieux faire connaître la problématique des gaz fluorés dans la réfrigération et de promouvoir les alternatives existantes. La réfrigération dans la distribution présente le plus grand potentiel pour un tel projet. L'EIA a par exemple effectué une large enquête européenne sur les pratiques des grandes chaînes de distribution telles que Tesco, Aldi et Carrefour. Le distributeur belge Delhaize faisait également partie des répondants et l'enquête souligne ses avancées en la matière. Sous l'égide du *Consumer Goods Forum* en 2010, Delhaize s'est engagé à tendre vers une réfrigération sans HFC à partir de 2015. Ainsi, 27 magasins Delhaize fonctionnent déjà à base de technologies hybrides HFC-CO₂ et l'enseigne prévoit d'installer celles-ci dans 15 nouveaux magasins par an. Elle utilise également des technologies sans HFC dans 16 centres de distribution. Ces engagements s'inscrivent dans une politique plus large d'économie d'énergie et de lutte contre les émissions de CO₂, avec 61% des magasins qui ont équipé leur réfrigérateurs de portes et l'économie de plus de 13.500 tonnes de CO₂ durant les 3 dernières années.

1.2. La formation des techniciens du secteur

La formation des professionnels du secteur est indispensable afin, d'une part, de limiter le taux de fuite dans les équipements en place via l'entretien des équipements et les contrôles d'étanchéité, mais également afin de former le personnel technique à l'utilisation des alternatives aux gaz fluorés. En effet, la formation du personnel (traditionnellement formé à la manipulation des réfrigérants fluorés) apparaît comme une barrière supplémentaire au passage vers les alternatives existantes. Il faut ainsi encourager les entreprises et les fédérations à développer l'expertise de leurs membres et des techniciens du secteur.

1.3. L'amélioration du contrôle des équipements

La principale difficulté à laquelle font face les autorités est le foisonnement des installations visées par les contrôles. Les experts consultés avancent donc l'idée de profiter de l'essor des nouvelles technologies afin de permettre la documentation et la centralisation des données sur le suivi des équipements frigorifiques. Il apparaît intéressant d'étudier la faisabilité de la création d'un cadastre des installations de froid sur base d'informations collectées par les exploitants ou par les sociétés de services frigorifiques. Cette

centralisation des données pourrait faciliter le suivi des contrôles effectués et diminuer les contraintes administratives qui y sont liées.

1.4. Le soutien au passage à des technologies alternatives

Les associations environnementales qui militent contre l'utilisation des réfrigérants fluorés insistent sur la viabilité économique des technologies alternatives. Le constat est clair : les technologies alternatives sont déjà disponibles, les prix sont compétitifs, les rendements sont au minimum équivalents et les acteurs sont de plus en plus soumis à une pression externe pour prendre des mesures en faveur de l'environnement. De plus, les mesures de soutien financier au secteur apparaissent en bonne place en termes d'efficacité et de rentabilité par rapport à d'autres investissements entrepris pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Le tableau suivant résume le coût de l'utilisation des différentes alternatives pour le consommateur final.

Tableau 44 - Coûts pour l'utilisateur final des équipements à base de HFC et des principales technologies alternatives

Coûts totaux des installations de référence (à capacité réfrigérante égale) utilisées dans le secteur de la réfrigération commerciale et telles que déterminées par le Öko-Institut

	Capacité réfrigérante	Réfrigérants	'Upfront costs'	'Annual costs'	'Lifetime costs'	Différence de coûts
Systèmes à usage commercial ⁴⁸	0,6 kW	HFC-134a	€ 1.004	€ 254	€ 3.559	--
		Isobutane/Propane	€ 1.101	€ 240	€ 3.507	- € 41
		CO ₂	€ 1.201	€ 240	€ 3.608	+ € 59
Unités de condensation	15 kW	HFC-134a	€ 8.120	€ 3.233	€ 56.618	--
		Propane	€ 9.620	€ 2.976	€ 54.260	- € 2.357
		CO ₂	€ 10.292	€ 3.027	€ 55.700	- € 917
		Propane + Liq	€ 12.008	€ 3.066	€ 58.010	+ € 1.392
Unités centralisées	100 kW	HFC-404a	€ 323.450	€ 25.440	€ 628.732	--
		HC + CO ₂ + Liq	€ 371.315	€ 24.545	€ 665.858	+ € 37.125
		HC + CO ₂ + Cascade	€ 368.288	€ 22.731	€ 641.066	+ € 12.334
		CO ₂	€ 384.920	€ 23.326	€ 664.836	+ € 36.104

Source : Öko-Institut (Öko-Institut 2, 2011 ; p245-247)

Il existe déjà aujourd'hui des primes en Région wallonne (Primes spécifiques pour la protection de l'environnement et l'utilisation durable de l'énergie destinées aux entreprises en application du décret du 11 mars 2004 en la matière)⁴⁹ qui soutiennent l'utilisation de technologies alternatives dans le secteur de la réfrigération. Mais il apparaît que ces primes ne sont ni suffisantes, ni vraiment adaptées pour promouvoir de réelles alternatives qui permettent de diminuer les émissions de gaz à effet de serre. De son côté, la Région Flamande va prendre des mesures visant à augmenter les 'Ecologiepremies' liées à l'utilisation d'alternatives 'klimaat vriendelijk'. Il est donc indispensable de lancer une réflexion en Wallonie sur les primes nécessaires à un exploitant afin de couvrir le surcoût du passage à une nouvelle installation alternative vis-à-vis de son installation existante.

⁴⁸ Systèmes hermétiquement clos

⁴⁹ 11 mars 2004. – Décret relatif aux incitants destinés à favoriser la protection de l'environnement et l'utilisation durable de l'énergie (M.B. du 08/04/2004)

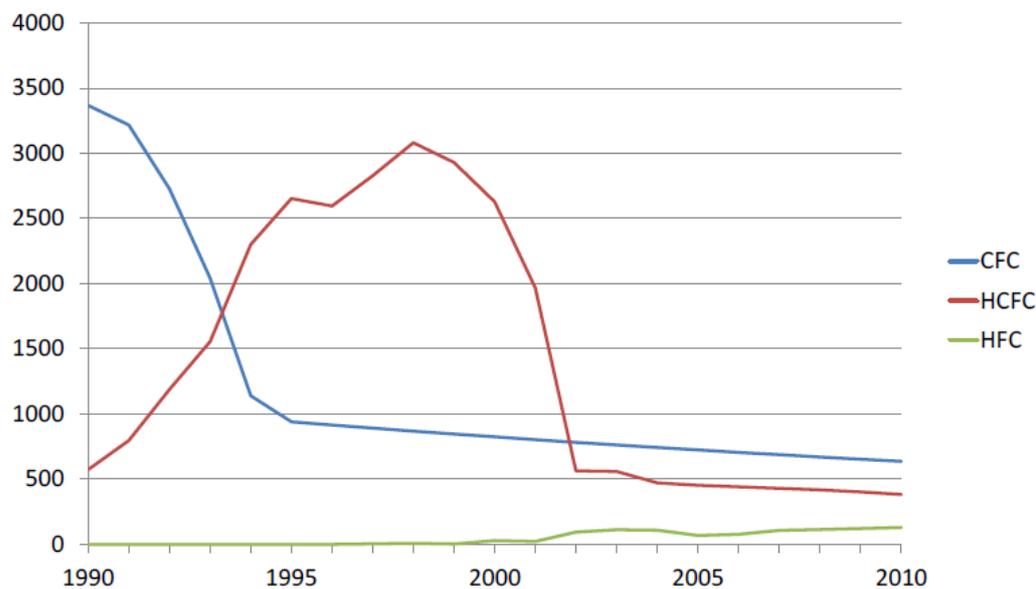
2. Mousses isolantes

Le secteur des mousses isolantes est également particulièrement intéressant pour combattre les émissions de gaz fluorés à effet de serre. En effet, même si les alternatives aux gaz fluorés sont déjà largement utilisées (sauf dans certaines applications spécifiques à cause de leurs caractéristiques techniques telles que la résistance au feu), il subsiste une incertitude sur le potentiel de réduction des émissions de gaz fluorés issues des mousses isolantes installées dans le passé. En effet, la plupart des mousses isolantes à base de gaz fluorés émettent des gaz à effet de serre tout au long de leur période d'utilisation (dans leurs applications) et de fin de vie (lorsqu'elles sont stockées en décharge). Dans le secteur du bâtiment en particulier, il persiste encore des émissions de gaz CFC et HCFC issues des mousses d'isolation, en raison de leur cycle de vie particulièrement long. Les mousses isolantes constituent donc un réel problème sur le long terme car les gaz fluorés qu'elles contiennent contribuent encore à la destruction de la couche d'ozone et aux changements climatiques.

La figure suivante nous montre que malgré que les CFC et le HCFC aient été interdits sur le marché, des émissions de ces gaz fluorés issus des mousses subsistent.

Figure 11 – Emissions des substances fluorées issues des mousses

(kt CO₂-eq / polyurethane cans excluded)



Source : ECONOTEC-VITO (2012)

Ce graphique nous montre que les émissions issues des mousses sont importantes et comprennent majoritairement des émissions de CFC et HCFC. Ces émissions de gaz à effet de serre (qui portent également atteinte à la couche d'ozone) sont calculées sur base des quantités historiques de mousses installées (principalement dans le secteur du bâtiment résidentiel) et d'un taux de fuite annuel, fonction du type de gaz et du type de panneau utilisé. Le modèle ne prévoit pas de différence liée au démantèlement des panneaux lors de la rénovation ou de la destruction d'un bâtiment, ce qui est acceptable sur le principe car tant

que les panneaux sont mis en décharge de classe 3 (ce qui est généralement le cas), ils ne sont pas détruits et continuent à émettre.

Par contre, le calcul ne prend pas non plus en compte un phénomène important qui pourrait diminuer le niveau des émissions issues des mousses. En effet, les mousses peuvent être récupérées et détruites dans des installations autorisées ce qui permet de limiter les émissions de gaz fluorés à effet de serre.

Il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude approfondie sur l'impact économique et environnemental d'une obligation de récupérer et de détruire les mousses isolantes lors de la destruction des bâtiments. Les alternatives existent pourtant, les déchets de mousses pouvant être par exemple détruits par incinération dans des fours cimentiers ou des incinérateurs ménagers (Entretien avec P. Théate, 2013). Cette question est néanmoins posée par de nombreuses associations environnementales (IEA, 2011) et risque fort d'arriver un jour à l'agenda des autorités européennes. Il est donc au minimum intéressant d'anticiper la question et de lancer une analyse sur les statistiques de récupération et de destruction des mousses dans les bâtiments en destruction et sur le potentiel de réduction des émissions de gaz fluorés correspondant.

VI.5 Conclusion sur les gaz fluorés

Dans cette note exploratoire, nous avons tout d'abord présenté le contexte réglementaire international qui se développe autour de la problématique des gaz fluorés. Nous avons ensuite décrit l'utilisation des gaz fluorés via une analyse de la chaîne de valeur ainsi que le développement des alternatives permettant de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Ces différentes analyses nous ont permis de définir une série de pistes d'action à entreprendre dans le secteur afin de diminuer les émissions liées au gaz fluorés. Ces pistes doivent maintenant être approfondies au niveau de leur potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre et du coût des actions concrètes nécessaires. Mais elles peuvent selon nous déjà alimenter le débat au sein du secteur et potentiellement servir dans les scénarios d'évaluation des projections d'émissions de gaz fluorés en Belgique qui seront déterminés dans le cadre d'une étude menée par les bureaux ECONOTEC et VITO.

VII. Conclusion et synthèse

Entre décembre 2011 et décembre 2012, le prix des crédits carbone domestiques sur les marchés internationaux a été divisé par un facteur dix et la tendance baissière se poursuit encore. D'aucuns considèrent même que le prix pourrait descendre à zéro en raison de la sur-allocation de quotas (EUA) et du nombre élevé de crédits générées par le MDP et la MOC.

Les objectifs de cette étude ont été adaptés en conséquence de l'évolution du contexte des marchés du carbone. Alors que la partie opérationnelle de cette étude prévoyait originellement la sélection de deux projets dans le secteur de l'efficacité énergétique des bâtiments, les recherches menées lors de la partie contextuelle et le contexte des marchés du carbone nous ont encouragé à analyser plus en profondeur la rentabilité et le rôle des pouvoirs publics pour les projets ou programmes identifiés dans la partie conceptuelle et présentant un potentiel de réduction théorique particulièrement intéressant. Dans le tableau ci-dessous nous avons résumé le type d'intervention proposé pour chaque mesure ou programme et estimé le coût pour les autorités publiques wallonnes ainsi que le potentiel de réduction.

Tableau 45 – Résumé des mesures analysées

Projet	Type d'intervention	Type de projet individuel	Investissement (€)	Coût unitaire de l'intervention publique	Nombre d'intervention	Coût total de l'intervention publique	Réduction annuelle unitaire (tCO ₂)	Réduction annuelle totale (tCO ₂)
Soutien à la production de miscanthus pour l'énergie thermique	Subside pour les utilisateurs de biomasse locale d'origine agricole (ex. prime à l'investissement additionnelle de 10% pour achat d'une chaudière polycombustible)	Petite installation (30 kW)	€ 25.000	€ 2.500	200	€ 500.000	7	1.400
		Grande installation (80 kW)	€ 45.000	€ 4.500	100	€ 450.000	53	5.300
Soutien à la production de TtCR pour l'énergie thermique	Subside pour les utilisateurs de biomasse locale d'origine agricole (ex. prime à l'investissement additionnelle de 10% pour achat d'une	Petite installation (30 kW)	€ 15.000	€ 1.500	200	€ 300.000	7	1.400
		Grande installation (80 kW)	€ 25.000	€ 2.500	100	€ 250.000	53	5.300

Soutien au développement de la filière de bio-méthanisation	Subside complémentaire pour les producteurs de méthane grâce à un processus de digestion anaérobie	Unité de bio-méthanisation de très petite taille 10 kW	€ 100.000	€ 10.000	100	€ 1.000.000	15	1.500
		Unité de bio-méthanisation + cogénération de 500 kW	€ 2.500.000	€ 250.000	20	€ 5.000.000	1.063	21.260
Programme de distribution des pommeaux de douche économique dans les logements sociaux	Investissement public dans les logements sociaux	Remplacement de 1.000 pommeaux de douche économique	€ 35.000	€ 35.000	90	€ 3.150.000	250	22.500
Programme de développement des cours d'éco-conduite pour les chauffeurs du secteur professionnel	Remboursement de 25% des frais des cours d'éco-conduite	Pré-financement des cours d'éco-conduite de 20 chauffeurs	€ 8.700	€ 2.175	100	€ 217.500	224	22.400
Programme de développement au covoiturage en entreprise	Subside pour le développement et promotion du covoiturage au sein des entreprises	Renforcement du covoiturage dans une entreprise de 150 employés	€ 1.000	€ 500	500	€ 250.000	8,8	4.400
Gaz fluorés	Sensibilisation / formation / contrôle / soutien aux alternatives	Non estimé						

Le soutien à l'éco-conduite, l'achat de pommeaux de douches économiques et le soutien aux unités de bio-méthanisation sont les autres mesures qui présentent un potentiel intéressant pour un investissement public limité.

VIII. Bibliographie

VIII.1 Miscanthus

- Baudoin J.-G. (2004), Rapport sur les fibres végétales en région wallonne, ValBiom, septembre 2004, http://www.valbiom.be/files/gallery/fibres_rw21197539563.pdf
- Ditner M. (2012), Projet miscanthus autour du captage d'eau d'Ammtzwiller, Chambre d'agriculture de Picardie, mars 2012, http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/fileadmin/documents/publications/energie_biomasse/RMT_biomasse/colloque_21_mars/ammertzwiller_mditner_210312.pdf
- Gauthier G. (2010), AgroPellets, l'allié de votre chaudière poly-combustible !, 7^{ème} rencontre de la biomasse, Gembloux, novembre 2010, <http://www.valbiom.be/files/gallery/gillesgauthieragropellets1290085688.pdf>
- Gauthier G. (février 2012), Chauffer son habitation au miscanthus, article dans le Magazine Bioenergie International n°17, Valbiom ASBL, février 2012, <http://www.bioenergie-promotion.fr/19376/chauffer-son-habitation-au-miscanthus/>
- Gauthier G. (juillet 2012), Etude économique de la production et de la densification du miscanthus, ValBiom, Université Catholique de Louvain, juillet 2012
- ITADA (2011), Séminaire « La culture du miscanthus dans le Rhin supérieur : quels effets sur l'environnement ? », Institut Transfrontalier d'Applications et de Développement Agronomique, novembre 2011, <http://www.itada.org/francaise/thematisch-nachwrohstoffe.shtm>
- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire (2012), Appel à projet « biotechnologies et bioressources », Projet BFF : Biomasse pour le futur, projet lauréat, France, février 2012, http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/120228_DP_BLM_LW_CGI_biotechnologies_bioressources.pdf
- Nijskens P. (2007), Fiche technique : le miscanthus, Farr-Wal, ValBiom, http://www.valbiom.be/files/gallery/fiche_technique_miscanthus1196778812.pdf
- Novabiom (2012), Le miscanthus : une culture rentable, développée en France depuis 2006, spécialiste des nouvelles biomasses végétales, <http://www.novabiom.com/fr/miscanthus>
- Pieret N. (2010), Appui technique à la rédaction du Plan d'Action Wallon Energies renouvelables – Volet biomasse, Rapport final (extrait), ValBiom asbl, Avec l'appui du CRA-W, Département Valorisation des productions agricoles, Unité Biomasse, bioproduits et bioénergie
- Robinet D. (03 mars 2009), Note sur la récolte du miscanthus, ValBiom, 03 mars 2009, http://www.valbiom.be/files/gallery/2009_dr_02notesurlarecoltedumiscanthus1252400383.pdf

Robinet D. (10 mars 2009), Bilan environnemental et énergétique de la culture du miscanthus, ValBiom, 10 mars 2009,
http://www.valbiom.be/files/gallery/2009_dr_06bilanenergetiqueetenvironnementaldelaculturedumiscanthus1252400424.pdf

Robinet D. (octobre 2009), Les utilisations du miscanthus, ValBiom, octobre 2009,
http://www.valbiom.be/files/gallery/2009_dr_03notesurlesutilisationsdumiscanthus1258122865.pdf

Renouvelle (2012), Prix d'achat de l'énergie par les ménages, Apere, Webmag n° 45 – juin 2012,
http://www.apere.org/manager/docnum/doc/doc1554_Ren%204512_Px_achat_energ_menages.pdf

RMT Biomasse (2012), L'implantation du miscanthus, Synthèse des résultats d'expérimentation des partenaires du RMT Biomasse, Chambre d'agriculture de Picardie, février 2012,
http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/fileadmin/documents/publications/energie_biomasse/RMT_biomasse/Fiche_implantation_Miscanthus.pdf

Solagro et Agence Paysages (2009), Les impacts environnementaux et paysagers des nouvelles productions énergétiques sur les parcelles et bâtiments agricoles – Rapport final, avril 2009, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et des forêts,
http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/energie_paysage_environment DGPAAT_2009_rapport_final.pdf

Entretiens avec des experts

M. Gauthier G., ValBiom, spécialiste des cultures énergétiques (09/2012) ;

M. Fabri R., Promis Bical Belux, gestionnaire et expert technique (09/2012) ;

M. Ghesquière O., agriculteur de Bossu, producteur et utilisateur de miscanthus (09/2012) ;

M. Roiseux O., Walagri, Ingénieur R&D (09/2012).

VIII.2 TtCR

AILE Wilwater (2007), Le taillis de saule à très courte rotation (TtCR) : de la production d'énergie renouvelable à la valorisation d'effluents prétraités, Programme Life Environnement (2004-2007),
<http://www.aile.asso.fr/cultures-energetiques/wilwater/plaquette-wilwater.pdf>

Cassagnes J. (2007), TCR et TtCR : Ce qui sera planté demain sur les jachères, Terre.net, juin 2007, <http://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturelle/strategie-technique-culturelle/article/ttcr-tcr-biomasse-jachere-217-40546.html>

IBIS (2012), TCR ou TtCR : gestion de l'implantation, Intégrer la Biodiversité dans les systèmes d'exploitation agricole, Chambre agriculture du centre,
http://www.centre.chambagri.fr/ibis_cd/xdocs/pdf/pratiques/tailliscourte.pdf

- Laboratoire d'Ecologie des Grandes Cultures (2002), Projet Biomepur, Epuration biologique tertiaire d'eaux usées sur filtre végétal de taillis à très courte rotation, Rapport final, UCL, INASEP, DGRNE,
<http://www.valbiom.be/files/gallery/rapportfinalbiomepur11252396941.pdf>
- Marron N. (2009), *Valorisation énergétique de la biomasse ligneuse : projet franco-allemand*, février 2009, INRA, France,
https://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/le_point_sur/les_forets/bois_et_biomasse/bioenergie/bioenergies_taillis_a_courte_rotation
- Nijskens P. (2005), Note récapitulative : culture de Taillis à très Courte Rotation (TtCR) de saules, Farr-Wal, ValBiom, mai 2005,
http://www.valbiom.be/files/gallery/noterecapitulative_ttc_rpn_06041196163291.pdf
- Nijskens P. et Leplus A. (2005), Guide de bonnes pratiques du TtCR, ValBiom, AILE, décembre 2005, http://www.valbiom.be/files/gallery/guidettcr_gazenbois1252398055.pdf
- Pieret N. (2010), Appui technique à la rédaction du Plan d'Action Wallon Energies renouvelables – Volet biomasse, Rapport final (extrait), ValBiom asbl, Avec l'appui du CRA-W, Département Valorisation des productions agricoles, Unité Biomasse, bioproducts et bioénergie
- Renouvelle (2012), Prix d'achat de l'énergie par les ménages, Apere, Webmag n° 45 – juin 2012,
http://www.apere.org/manager/docnum/doc/doc1554_Ren%204512_Px_achat_energ_menages.pdf
- Solagro et Agence Paysages (2009), Les impacts environnementaux et paysagers des nouvelles productions énergétiques sur les parcelles et bâtiments agricoles – Rapport final, avril 2009, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et des forêts,
http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/energie_paysage_environment_DGPAAT_2009_rapport_final.pdf
- ValBiom (2007), 4^{èmes} rencontres de la biomasse, Quelles ressources pour les biocombustibles de demain, Gembloux, novembre 2007,
http://www.valbiom.be/files/gallery/4rb_bottiau1196850591.pdf

Entretiens avec des experts

- M. Gauthier G., ValBiom, spécialiste des cultures énergétiques (09/2012) ;
- M. Flahaux, Facilitateur bois-énergie secteur public (09/2012).

VIII.3 Bio-méthanisation

- Angélique L. (2002), Biométhanisation, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée, Laboratoire de Génie Chimique, Liège, <http://www.lassc.ulg.ac.be/webCheng00/IngenieurEnergie/Biomethane.pdf>
- Biogas Regions (2009), Biométhanisation et agriculture: Association du futur?, ValBiom, CRA-W et Région wallonne, http://www.valbiom.be/files/gallery/brochure_vf1255088202.pdf
- Edora (2011), Livre Vert sur la production de biogaz et de fertilisants verts en Wallonie, Plateforme Biométhanisation, octobre 2011, http://biomethaneregions.cra.wallonie.be/img/download/Groupe_de_travail_1&2.pdf
- Edora et ValBiom (2012), Comprendre la méthanisation..., Document « FAQ » rédigé par EDORA dans le cadre de la plateforme biogaz, en collaboration avec Valbiom, octobre 2012 http://www.valbiom.be/files/gallery/faqbiogazedoravalbiom_vf1351069364.pdf
- Foucherot C. et Bellassen V. (2011), Les projets de compensation carbone dans le secteur agricole, Etude climat n°31, La recherche en économie du changement climatique, CDC Climat Recherche, Groupe Caisse des Dépôts, France, http://www.cdclimat.com/IMG/pdf/11-12-15_etude_climat_31_-_les_projets_de_compensation_carbone_dans_le_secteur_agricole.pdf
- Greenwatt (2012), Qu'est-ce que la biométhanisation ?, Mature technologies for sustainable energy from waste materials, <http://www.greenwatt.be/fr/index.cfm/technologies/biomethanisation/>
- Hermand P. (2010), La biométhanisation des déchets organiques valorisés en électricité et en chaleur, facilitateur biométhanisation, bureau d'études IRCO, http://agriculture.wallonie.be/apps/spip_wolwin/IMG/pdf/1BiomethanisationHermand.pdf
- Hermand P. (septembre 2011), Inauguration Cinergie Fleurus, Facilitateur biométhanisation 29 septembre 2011, http://www.google.be/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fclusters.wallonie.be%2F servlet%2FRepository%2FInauguration-cinergie.pdf%3FID%3D7416%26saveFile%3Dtrue%26saveFile%3Dtrue&ei=s5qvULiBEeHM0QWwwoHIDw&usg=AFQjCNG1Dmz_T_r5BMFvH-CYk-A-9eS8DQ
- Hermand P. (décembre 2011), La biométhanisation agricole en Région wallonne, dans le cadre de la conférence Energie et Agriculture organisée par l'ASBL Cuestas, décembre 2011, <http://cuestas.be/ecoconstruction/wp-content/uploads/2012/01/2011-12-01-Facilitateur-La-biom%C3%A9thanisation-de-petite-et-moyenne-puissance-en-Wallonie-DR.pdf>
- Leseur A., Elisseeff V. et Mousset J. (2006), Les marchés du carbone : quelle place pour l'agriculture française ?, SAF agriculteurs de France, ADEME et CDC Climat Recherche, Groupe Caisse des Dépôts, France, http://www.agriculteursdefrance.com/Upload/Travaux/Fic-1_76.pdf

Mignon C. (novembre 2010), Biométhanisation : Facteurs limitants et incitants le développement de la biométhanisation en Région wallonne Propositions d'amélioration, ValBiom, CRA-w, Document FARR-Wal avec le soutien de la Région Wallonne – DGO3, <http://www.valbiom.be/files/gallery/facteuretbiometh1292253206.pdf>

Mignon C. (janvier 2012), Annuaire des constructeurs et fournisseurs en production de biogaz et prestations de services en Région wallonne, ValBiom, CRA-w, Bio-methane regions, <http://www.valbiom.be/files/gallery/annuairedesconstructeursetfournisseursenproductiondebiogazetprestationsdeservicesenregionwallonnemj20121343123127.pdf>

Mignon C. (février 2012), Biométhanisation : Les aides et démarches en Région Wallonne, ValBiom, CRA-w, Document FARR-Wal avec le soutien de la Région Wallonne – DGO3, <http://www.valbiom.be/files/gallery/biomethanisationlesaidesetdemarchesenregionwallonne1329917367.pdf>

Ministère de la Région wallonne (2006), La biomethanisation en région wallonne, Ministère de la région Wallonne, Direction Générale des technologies, de la recherche et de l'énergie, 2006, <http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/la-biomethanisation-en-region-wallonne.PDF?IDR=6534>

Pieret N. (2010), Appui technique à la rédaction du Plan d'Action Wallon Energies renouvelables – Volet biomasse, Rapport final (extrait), ValBiom, Avec l'appui du CRA-W, Département Valorisation des productions agricoles, Unité Biomasse, bioproduits et bioénergie.

ValBiom (2007), Biogas production in the Walloon region, http://www.valbiom.be/files/gallery/2007_gw_321239717537.pdf

Entretiens avec des experts

M^{lle} Mignon C., Spécialiste de la bio-méthanisation, ValBiom (10/2012) ;

M. Hermand P., Facilitateur bio-méthanisation, IRCO (10/2012) ;

M. Smets T., Directeur technique Cinergie, unité de bio-méthanisation de Fleurus (10/2012).

VIII.4 Pommeaux de douche économique

Aquawal (2012), Particulier – L'eau chez vous..., Lettre d'information, <http://www.aquawal.be/fr/particuliers/index.html>

IBGE (2008), L'économie de l'eau à la maison, info-fiches écoconstruction pour particuliers – EAU02, janvier 2008, http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/IF_Eco-construction_EAU02_Part_Fr.PDF

IBGE (2008), La production d'eau chaude sanitaire, Fiche ECS01, janvier 2008, http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/IF_Energie_ECS01_Part_FR.PDF

IBGE (2011), Plan de gestion de l'eau de la région Bruxelles Capitale – Programmes de mesures, octobre 2011,
http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Plan_Eau_PGE_7_Programme_de_Mesures_2012_FR.PDF?langtype=2060

Prevedello C. (2006), L'utilisation de l'eau de distribution en région wallonne, Aquawal, septembre 2006,
<http://etat.environnement.wallonie.be/index.php?mact=rapportanalytique.mc7155.default.1&mc7155what=fiches&mc7155alias=Lutilisation-de-leau-de-distribution&mc7155returnid=17&page=17>

SPW DGO3 (2010), Tableau de bord de l'environnement wallon, Direction générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement, Cellule Etat de l'environnement wallon, <http://etat.environnement.wallonie.be>

Talpaert L. (2005), CREAQ - Inventaire des matériels hydroéconomiques, Le Syndicat mixte d'études pour la gestion de la ressource en eau du département de la Gironde (SMEGREG), juin 2005,
<http://www.smegreg.org/etudes-smegreg/docs/Guide%20eau%20mise%20%C3%A0%20jour%20juin%202005.pdf>

VIII.5 Eco-conduite

ADEME (2010), Guide de formation à l'éco-conduite, Enjeux, témoignages, méthodes, 2010,
<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=1&cid=96&m=3&id=66885&ref=12441&nocache=yes&p1=111>

ADEME (2011), Fiches actions « objectifs CO2, les transporteurs s'engagent », mars 2011,
http://www.google.be/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CCYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww2.ademe.fr%2Fservlet%2FgetBin%3Fname%3DB32ABC57001592E95B7DCE1FF17D8132_tomcatlocal1304588148211.pdf&ei=TliaUPu7A8iq0QXj34CwBQ&usq=AFQjCNF66HJxuA3DWaZNq551V0PLj7M1xg

Akkermans L., Vanherle K., Moizo A., Raganato P., Schade B., Leduc G., Wiesenthal T., Shepherd S., Tight, M., Guehnemann, A., Krail M., et Schade W (2010), *Ranking of measures to reduce GHG emissions of transport: reduction potentials and qualification of feasibility*. Deliverable D2.1 of GHG-TransPoRD: Project co-funded by European Commission 7th RTD Programme. Transport & Mobility Leuven, Leuven.

Ecowill eco-drive.org (2010), http://www.ecodrive.org/en/home/ecowill_the_project/

Fédération IEW (2010), Campagne « Rouler cool », Fédération Inter-Environnement Wallonie, 2010, <http://www.iewonline.be/spip.php?rubrique221>

International Transport Forum (2007), Reducing transport greenhouse gas emissions, 2007,
<http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf>

RAM Mobile Data Belgium (2012), Présentation du software Track-and-Trace, Ecodriving,
<http://www.track-and-trace.be/fr/l-eco-driving/>

SPF (2009), Enquêtes Force de Travail (EFT) concernant le nombre de wallons travaillant comme « autres conducteurs de véhicules à moteur », SPF Economie, Direction générale Statistiques et information économique, 2009.

SPF Mobilité et Transports (2012), Liste des centres de formation agréés pour les chauffeurs professionnels en Belgique, <http://www.mobilit.fgov.be/data/route/pdcrbw/OCF.pdf>

Transics international (2012), Formation en éco-conduite grâce à la technologie, <http://www.transics.com/fr/products/gestion-des-chauffeurs/programme-pour-le-style-de-conduite-tx-eco.html>

Entretiens avec des experts

M. Petit P., directeur technique au Forem Formation à Charleroi (10/2012) ;

M. Löfgen J., formateur indépendant au centre de formation Formax (10/2012) ;

M. Bernard P-Y., directeur du centre de formation Formax (10/2012) ;

M. Thomson J., directeur du centre de formation Formadriver (10/2012) ;

M. Piette B., manager chez Logistics in Wallonia (10/2012).

VIII.6 Covoiturage

ADEME (2010), Caractérisation de services et usages de covoiturage en France : quel impact sur l'environnement, quelles perspectives d'amélioration ?, synthèse du rapport final de l'étude, Etude ADEME avec la collaboration d'Atema conseil, juin 2010, <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=1&cid=96&m=3&id=71831&ref=&nocache=yes&p1=111>

Carpoolplaza (2012), Dépliant pour le covoiturage en entreprise, <http://www.carpool.be/folders/entreprises-WAL.pdf>

Carpooling (2011), User profile, analysis of 2 million monthly users in Sep-Nov 2011, http://www.carpooling.com/fileadmin/images/infographic_carpooling_user_profile.pdf

Carpooling (2012), Commuter 2.0, The environment friendly commuter solution, http://www.carpooling.com/fileadmin/documents/commuter_solution.pdf

CERTU (2007), Le covoiturage en France et en Europe, rapport d'étude http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/1453/CERTU-RE_08-01.pdf?sequence=1

Cornelis E. et Gaillet J-F. (2011), Faisabilité d'un système de covoiturage dynamique en Wallonie, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, décembre 2011, <http://www.fundp.ac.be/en/sci/naxys/reporten/trs2011/TR%20naXys-26-2011.pdf>

Febiac (2012), Evolution des émissions moyennes de CO2 par les voitures neuves en Belgique, Environnement et énergie, statistiques 2012, <http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=FR>

IWEPS (2012), Population active wallonne selon le statut, Institut Wallon de l'Evaluation, de la Prospective et de la Statistique, <http://www.iweeps.be/population-active-wallonne-selon-le-statut>

SPF Mobilité et Transports (2006), Diagnostic déplacements domicile-travail au 30 juin 2005, rapport final, <https://www.mobilit.fgov.be/data/mobil/rapportWWVf.pdf>

SPF Mobilité et Transports (2010), Diagnostic déplacements domicile-travail 2008, rapport final, https://www.mobilit.fgov.be/data/mobil/RapportWWV_2008f.pdf

Taxistop (2010), Le covoiturage, un atout clé pour la mobilité des entreprises, Union Wallonne des Entreprises - 90 minutes pour la mobilité, <http://www.uwe.be/mobilite-transport-logistique/dernieres-infos-sur-ce-theme/Presetatiion%20taxistop.pdf>

Taxistop (2012), Manuel fiscal pour le covoitureur, déclaration 2013 – revenus 2012 [http://www.carpool.be/FR/www/sp2\\$docs.getFile?p_type=manual-WN-FR](http://www.carpool.be/FR/www/sp2$docs.getFile?p_type=manual-WN-FR)

Entretien avec des experts

M. Minet B, Responsable Cellule Mobilité chez Union Wallonne des Entreprises et ancien Manager de projet chez Taxistop (11/2012).

VIII.7 Gaz fluorés

AwAC (2012), Inventaire 2010 (rapport Excel pour la Wallonie)

Commission européenne (Press Release) (2012), Action pour le climat: la Commission propose d'importantes réductions des émissions des gaz fluorés responsables du réchauffement climatique, http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-1180_fr.htm

Commission européenne (2012), Proposition de la Commission Européenne pour un Règlement relatif aux gaz à effet de serre fluorés, 7/11/2012

Commission européenne 2 (2012), Résumé de l'analyse d'impact accompagnant le document 'Proposition de la Commission Européenne pour un Règlement relatif aux gaz à effet de serre fluorés', 7/11/2012

Commission Nationale Climat (2007), Emissions de gaz à effet de serre en Belgique

EEA (2012), EEA Technical report - Fluorinated greenhouse gases 2011

ECONOTEC-VITO (2012), Update of the emission inventory of ozone depleting substance, HFCS, PFCS and SF6 for 2010 in Belgium.

EIA (2011), Phasing Out Fluorinated Greenhouse Gases in Europe

EIA 1 (2012), F-Gas Regulation Briefing Note – Domestic refrigeration

EIA 2 (2012), F-Gas Regulation Briefing Note – Commercial Refrigeration

EIA 3 (2012), F-Gas Regulation Briefing Note – Industrial refrigeration

Kauffeld M. (2012), Availability of low GWP alternatives to HFCs

Noé21, Crédits carbone HFC-23, <http://www.noé21.org/site/index.php/fr/section-blog/43-campagnes/64-credits-carbone-hfc-23>

Öko-Institut (2011), Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases

Öko-Institut 2 (2011), Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases – Annexes to the Final Report

Reuters Point Carbon, India HFC-23 emissions may rise if CDM boon ends <http://in.reuters.com/article/2012/10/31/india-hfc-emissions-idINDEE89U0C520121031>

Service fédéral Changements climatiques, Les différents gaz à effet de serre, <http://www.klimaat.be/spip.php?article297>

RÈGLEMENT (CE) No 2037/2000 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 29 juin 2000 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone

IPCC (2007), "Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change", GIEC

UNEP (2000), The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer

UNEP (2010), Report of the Refrigeration, air-conditioning and heat pumps technical options committee

UNEP (2011), HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer

Velders G., et al., (2009), The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing, National Academy of Sciences

World Meteorological Organisation (WMO) (2011), Greenhouse Gas Bulletin No. 7

Entretiens avec des experts

M. Théate P., expert de l'AWAC (11/2012 et 01/2013)

M. Wilmart A., expert du SPF SPCAE (01/2013)

M. Claeys S., expert du Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (01/2013)

