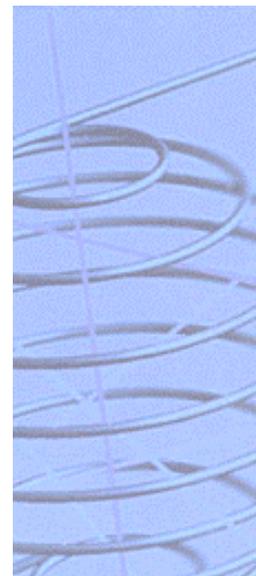


**Modèle EPM :  
Analyse prévisionnelle des émissions de  
gaz à effet de serre en Belgique en 2010**

Rapport Final

ECONOTEC



Développement durable | Duurzame ontwikkeling

N° AS/E1/001



FEDERALE DIENSTEN VOOR  
WETENSCHAPPELIJKE, TECHNISCHE  
EN CULTURELE AANGELEGHEDEN  
Wetenschapsstraat 8 ■ B-1000 BRUSSEL  
Tel. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12  
URL : [www.belspo.be](http://www.belspo.be)

SERVICES FEDERAUX DES  
AFFAIRES SCIENTIFIQUES,  
TECHNIQUES ET CULTURELLES  
rue de la Science 8 ■ B-1000 BRUXELLES  
Tél. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12  
URL : [www.belspo.be](http://www.belspo.be)





D/2002/1191/30

Uitgeven in 2002 voor de

Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden

Publié en 2002 par les

Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles

Voor meer informatie / Pour d'autres renseignements :

Madame A. Fierens

DWTC/SSTC

Wetenschapstraat 8 rue de la science

Brussel 1000 Bruxelles

Tel. : +32-2-238.36.60

Fax. : +32-2-230.59.12

E-mail : fier @belspo.be

Internet : <http://www.belspo.be>

Noch de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC), noch eenieder die handelt in de naam van de DWTC is verantwoordelijk voor het gebruik dat van de volgende informatie zou worden gemaakt.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën of enige andere manier zonder de aanduiding van de referentie.

Les services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC) ainsi que toute personne agissant en leur nom ne peuvent être tenus pour responsables de l'éventuelle utilisation qui serait faite des informations qui suivent.

Cette publication ne peut ni être reproduite, même partiellement, ni stockée dans un système de récupération ni transmise sous aucune forme ou par aucun moyens électronique, mécanique, photocopies, enregistrement ou autres sans y avoir indiqué la référence.

SERVICES DU PREMIER MINISTRE  
SERVICES FEDERAUX DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES,  
TECHNIQUES ET CULTURELLES

**MODELE EPM :  
ANALYSE PREVISIONNELLE  
DES EMISSIONS DE GAZ  
A EFFET DE SERRE EN BELGIQUE EN 2010**

Plan d'appui scientifique à une politique du Développement Durable

*Actions de support*

CONTRAT DE RECHERCHE N° AS/E1/001

*Rapport final*

*Mars 2002*

## TABLE DES MATIERES

<b>EXECUTIVE SUMMARY.....</b>	<b>I</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>LE MODELE EPM.....</b>	<b>3</b>
UN MODELE BOTTOM-UP .....	3
CONSTRUCTION DU SCENARIO DE REFERENCE.....	4
EVALUATION DU POTENTIEL DE REDUCTION.....	8
CALCUL DES EMISSIONS DE CO2.....	14
CARACTERISTIQUES DU MODELE.....	19
<b>SCENARIO DE REFERENCE.....</b>	<b>23</b>
DONNEES ET HYPOTHESES .....	23
<i>Consommations énergétiques de l'année de référence.....</i>	23
<i>Emissions de 1990.....</i>	23
<i>Evolution des variables d'activité pour le CO2 .....</i>	24
<i>Evolution des consommations spécifiques d'énergie.....</i>	26
<i>Dispersion sur le coût des mesures de réduction .....</i>	28
<i>Parts de marché des vecteurs énergétiques.....</i>	28
<i>Emissions de CH4 et N2O.....</i>	28
RESULTATS.....	30
<i>Consommation énergétique.....</i>	30
<i>Emissions de CO2.....</i>	31
<i>Emissions de CH4 et N2O.....</i>	33
<i>Synthèse pour l'ensemble des GES.....</i>	34
<b>POTENTIELS DE REDUCTION.....</b>	<b>36</b>
SCENARIOS.....	36
DONNEES ET HYPOTHESES .....	37
<i>Potentiel technique de cogénération.....</i>	37
<i>Potentiel technique des énergies renouvelables .....</i>	37
<i>Facteur d'émission marginal de l'électricité .....</i>	38
<i>Taux d'actualisation.....</i>	38
<i>Prix énergétiques.....</i>	38
<i>Coûts des mesures de réduction .....</i>	40
<i>Plafond de coût marginal de réduction.....</i>	40
RESULTATS.....	41
<i>Emissions de CO2.....</i>	41
<i>Courbes de coût CO2.....</i>	43
<i>Courbes de coût Energie primaire.....</i>	47
<i>Emissions de CH4 et de N2O.....</i>	49
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>51</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>53</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>56</b>
A. LISTE DES SECTEURS (ÉMISSIONS DE CO2).....	56
B. FACTEURS D'ÉMISSION DE CO2 DES COMBUSTIBLES .....	60
C. LISTE DES MESURES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO2.....	61
D. TABLEAUX ET COURBES DE COÛT .....	64

## Executive Summary

Dans le cadre du projet « Analyse des options de réduction des émissions des gaz à effet de serre et des précurseurs d’ozone troposphérique », la mission d'ECONOTEC a consisté à poursuivre le développement du modèle de prévision des émissions EPM (Emissions Projection Model), en réalisant une nouvelle version de celui-ci dans un environnement de base de données, ainsi qu’à appliquer le modèle pour fournir une contribution à l’élaboration de politiques de réduction des émissions.

Dans une première phase, les efforts ont porté sur les émissions de NO<sub>x</sub> et de COV. Les résultats de ces travaux ont été valorisés dans le cadre de la préparation du Protocole de Göteborg<sup>1</sup> et de la directive européenne sur les plafonds nationaux d’émissions<sup>2</sup>.

La deuxième partie de la recherche a été consacrée aux principaux gaz à effet de serre concernés par le protocole de Kyoto, à savoir le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O. La priorité a été accordée au CO<sub>2</sub>, qui concerne l’ensemble des activités économiques et qui, en tonnes équivalent-CO<sub>2</sub>, représente plus de 80% du total des émissions de gaz à effet de serre.

Les tâches ont consisté en :

- l’organisation informatique des données, qui a conduit à une reformulation complète du modèle (passage de tableurs au logiciel Access), ce qui a eu pour effet d’augmenter sensiblement les potentialités du modèle ;
- la collecte et la validation de données ;
- l’exploitation du modèle pour la construction de scénarios de référence et l’évaluation de potentiels économiques de réduction des émissions pour les différents gaz concernés.

Le rapport décrit les principales caractéristiques du modèle EPM et présente les résultats d’une analyse prévisionnelle des émissions de CO<sub>2</sub> et des autres gaz à effet de serre pour la Belgique à l’horizon 2010 (scénario de référence, potentiels de réduction).

### *Un modèle bottom-up*

Le modèle EPM (Energy/Emissions Projection Model) est un modèle de prévision de la demande d’énergie et des émissions des principaux polluants atmosphériques, qui couvre les différents secteurs concernés (industrie, résidentiel et tertiaire, transports). Il a été développé progressivement par ECONOTEC depuis 1993 dans le cadre d’un

---

<sup>1</sup> Protocole à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP en anglais) de la Commission Economique pour l’Europe de l’ONU.

<sup>2</sup> Directive 2001/81/CE du Parlement européen et du Conseil, du 23 octobre 2001, fixant les plafonds d’émission nationaux pour certains polluants atmosphériques.

ensemble d'études réalisées pour les pouvoirs publics, tant au niveau national qu'au niveau régional.

Etant donné l'hétérogénéité des « secteurs » tels que la sidérurgie, la chimie ou le résidentiel, il faut, pour pouvoir effectuer une bonne analyse prévisionnelle, tenir compte des effets de structure internes à ces secteurs, c'est-à-dire de l'évolution différenciée des principaux sous-secteurs ou procédés de production (par exemple les différents ateliers de la sidérurgie), dans la mesure où les consommations spécifiques de celles-ci sont différentes.

EPM est un modèle de simulation technico-économique, de type « bottom-up », c'est-à-dire expliquant les consommations énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub> à partir, autant que possible, de variables d'activité exprimées en unités physiques, contenant une représentation détaillée des sources d'émissions et des principaux facteurs déterminants de l'évolution de la demande d'énergie et des différents types d'émissions.

Cette option méthodologique est basée sur le constat qu'il n'existe pas de relations simples et homogènes entre les consommations énergétiques et des variables d'activité macro-économiques exprimées en valeur monétaire.

Le modèle, qui intègre également une base de données techniques et économiques sur les mesures d'économie d'énergie et de réduction des émissions, est utilisé en particulier pour :

- la construction d'un *scénario de référence* ('business as usual'), représentant l'évolution future la plus probable en l'absence de toute nouvelle politique de réduction des émissions ;
- l'évaluation de potentiels économiques de réduction des émissions ;
- la construction de *scénarios de réduction* des émissions, basés sur la prise en compte de l'ensemble des mesures dont le coût marginal est inférieur à un plafond donné ;
- la construction de *courbes de coût*, indiquant le coût marginal ou le coût total en fonction de l'ampleur de la réduction des émissions ou de la consommation énergétique ;
- l'évaluation de l'impact de législations existantes ou en projet sur les consommations énergétiques, les niveaux d'émissions et les coûts.

Le scénario de référence est calculé à partir des consommations énergétiques d'une année de référence (à climat moyen) ainsi que d'hypothèses sur l'évolution des variables d'activité, des consommations spécifiques et des parts de marché des différents combustibles.

L'industrie est représentée par une centaine de variables d'activité (production de fonte, d'acier à l'oxygène, d'éthylène, de clinker, de verre plat...). Les branches grosses consommatrices d'énergie sont modélisées de manière plus détaillée que les autres. Ainsi par exemple, la sidérurgie est prise en compte par atelier (agglomération, haut fourneau, aciérie à l'oxygène...) ; pour la chimie, on distingue la production d'une vingtaine de produits de base.

En ce qui concerne le secteur résidentiel, on distingue les maisons existantes et les maisons neuves, les appartements existants et les appartements neufs, électriques et non électriques, le chauffage de l'eau sanitaire et 10 usages spécifiques de l'électricité (cuisson, réfrigérateurs, lave-linge, séchoirs...). La demande de chaleur est estimée au moyen d'un module distinct à partir d'une typologie du parc des bâtiments composée de 14 logements-types, dont le dimensionnement et les caractéristiques thermiques sont entièrement définis. Dans ce module, les consommations d'énergie sont calculées en prenant en compte les performances de 15 systèmes de production, de distribution et d'émission de chaleur.

Dans le secteur tertiaire, on distingue une trentaine de sous-secteurs regroupés en 8 catégories, et 5 usages (chauffage, ventilation, froid, éclairage et autres usages électriques). La variable d'activité est la superficie des bâtiments.

Dans le secteur des transports, on distingue le transport routier de personnes, le transport routier de marchandises, le transport ferroviaire et la navigation intérieure. Pour le transport routier, la modélisation est réalisée de manière détaillée dans un module spécial, permettant de calculer les niveaux d'émissions en fonction des consommations spécifiques moyennes des véhicules lors de leur première mise en circulation et en tenant compte des réglementations (européennes) en matière d'émissions polluantes en vigueur à ce moment.

Les potentiels de réduction des émissions sont calculés de la manière suivante. Pour chaque secteur, les consommations énergétiques sont réparties par usage de l'énergie (chauffage, ventilateurs, compresseurs, réfrigération, éclairage...). On identifie les mesures de réduction applicables à chaque source d'émission, en fonction de l'usage, et on évalue les coûts et performances, ainsi que le potentiel technique de ces mesures. Par mesure, par secteur, par usage et par année, le modèle calcule alors le coût à la tonne de CO<sub>2</sub>, comme la somme du coût d'investissement annualisé et du coût d'exploitation, déduction faite de la valeur de l'économie d'énergie réalisée. Cette dernière est fonction du vecteur énergétique, du secteur, de l'année et d'une taxe éventuelle.

Pour le CO<sub>2</sub>, une centaine de mesures sont prises en compte dans le modèle, qui peuvent être spécifiques à un ou plusieurs secteurs, à un ou plusieurs usages ou transversales. Ces mesures peuvent être classées dans les catégories suivantes : économies d'énergie, cogénération, énergies renouvelables et substitution énergétique.

Le potentiel économique de réduction des émissions est défini comme la fraction du potentiel technique dont le coût est inférieur à un plafond donné de coût marginal (en €/tonne CO<sub>2</sub>). Dans la pratique, on observe que le prix des équipements, le taux d'utilisation des équipements, les frais d'installation et d'entretien, ainsi que le taux de réduction des émissions varient selon le site ou le cas d'application. C'est la raison pour laquelle le modèle prend en compte une dispersion autour du coût moyen de chaque mesure, selon une loi de probabilité normale. Ceci évite que le potentiel économique d'une mesure passe de manière irréaliste de 0% à 100% lorsque son coût, situé juste au-delà du plafond de coût marginal, descend juste en deçà de ce plafond, ou vice-versa.

## Scénario de référence

Le tableau ci-dessous présente pour le scénario de référence l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> par grand secteur dans la variante *Secteur électrique*, où les émissions du secteur de la production centralisée d'électricité sont affectées au secteur électrique.

### Variante Secteur électrique\*

BELGIQUE	Emissions de CO <sub>2</sub> (Mt)			Evolution		
	1990	1997**	2010 Sc. Réf.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc. Réf.
Secteur énergétique (hors autopr.)	27,9	29,1	37,3	4%	28%	34%
Industrie	42,2	41,4	47,4	-2%	15%	12%
<i>dont émissions process</i>	8,6	12,5	13,7	46%	10%	60%
Transport	19,8	22,0	25,7	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	27,6	34,1	35,3	24%	3%	28%
<b>Total</b>	<b>117,4</b>	<b>126,5</b>	<b>145,7</b>	<b>8%</b>	<b>15%</b>	<b>24%</b>

\* Emissions du secteur électrique affectées au secteur électrique

\*\* A climat corrigé

Les chiffres de l'année 1997, utilisée comme base pour la projection, sont corrigés de manière à refléter un climat moyen. Cette correction climatique a pour effet d'augmenter la consommation de 7,8% pour le résidentiel et de 5,6% pour le tertiaire (secteur 'Domestique et équivalent'). L'année 1990 n'est pas corrigée, car il s'agit de l'année de référence du protocole de Kyoto, qui ne prévoit pas de correction climatique.

Dans ce tableau, le secteur énergétique représente environ un tiers des émissions globales. Il s'agit surtout des émissions du secteur de la production d'électricité.

Dans le tableau suivant, les émissions du secteur de production d'électricité sont affectées aux différents secteurs de la consommation finale ainsi qu'aux exportations nettes d'électricité (variante *Consommation finale*). Elles sont donc comptabilisées comme des émissions *indirectes*. Le facteur d'émission du kWh électrique utilisé à cet effet est le facteur d'émission moyen du parc de production pour l'année concernée.

L'objectif du Protocole de Kyoto pour la Belgique est une réduction des émissions de 7,5% en 2010<sup>3</sup> par rapport à 1990 pour l'ensemble des gaz à effet de serre CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC, HFC et SF<sub>6</sub>, exprimées en t éq-CO<sub>2</sub>.

---

<sup>3</sup> Plus précisément pour la moyenne de la période 2008-2012, ce qui permet de lisser la variation climatique.

### Variante Consommation finale\*

BELGIQUE	Emissions de CO2 (Mt)			Evolution		
	1990	1997**	2010	90-97	97-10	90-10
			Sc. Réf.		Sc. Réf.	Sc. Réf.
Secteur énergétique (hors autopr.)	6,8	7,8	8,4	15%	7%	24%
Industrie	52,2	52,8	63,9	1%	21%	23%
<i>dont émissions process</i>	8,6	12,5	13,7	46%	10%	60%
Transport	20,2	22,4	26,3	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	36,9	44,9	49,5	22%	10%	34%
Exportation nette d'électricité	1,4	-1,3	-2,3	-193%	75%	-263%
<b>Total</b>	<b>117,4</b>	<b>126,5</b>	<b>145,7</b>	<b>8%</b>	<b>15%</b>	<b>24%</b>

\* Emissions du secteur électrique affectées aux secteurs de la consommation finale

\*\* A climat corrigé

Si on suppose l'application du taux de réduction au seul CO<sub>2</sub>, cela impliquerait un niveau d'émission de 108,6 Mt CO<sub>2</sub> en 2010. Or le scénario de référence montre une augmentation des émissions de 24% entre 1990 et 2010. Il s'ensuit un écart à combler de  $145,4 - 108,6 = 36,8$  Mt CO<sub>2</sub>, soit 25% des émissions du scénario de référence en 2010.

Le tableau suivant présente une synthèse du scénario de référence pour l'ensemble des gaz à effet de serre (GES) concernés par le protocole de Kyoto. A cet effet, il inclut, outre le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O, une première estimation pour les gaz fluorés HFC, PFC et SF<sub>6</sub>.

En 2010, le CO<sub>2</sub> représente plus de 83% des émissions totales, et le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O totalisent 14%. Quant aux émissions des gaz fluorés, qui étaient encore pratiquement inexistantes en 1995, elles sont en très forte croissance et atteindraient environ 2% du total.

Globalement, les émissions de CH<sub>4</sub> sont en baisse de 26% sur la période 90-2010, alors que celles de N<sub>2</sub>O sont en hausse de 18% sur la même période. La baisse des émissions de méthane est essentiellement imputable à une réduction des émissions des décharges.

Les résultats obtenus montrent que dans le scénario de référence, correspondant à l'évolution attendue des émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O en l'absence de politique nouvelle de réduction des émissions, les émissions de l'ensemble des six gaz, exprimées en équivalents-CO<sub>2</sub>, augmentent de 21% entre 1990 et 2010. L'écart à combler par rapport au protocole de Kyoto est de 41,2 Mt éq-CO<sub>2</sub>, soit 24% des émissions du scénario de référence en 2010.

Il faut noter qu'il subsiste une incertitude non négligeable sur les niveaux d'émissions, surtout pour les autres gaz que le CO<sub>2</sub>. Cette incertitude porte surtout sur les facteurs d'émissions, en particulier dans l'agriculture, et leur évolution future.

**BELGIQUE - EMISSIONS GLOBALES DES GAZ A EFFET DE SERRE "KYOTO", EN EQ-CO2**  
**Scénario de référence**

(kt éq-CO2)	1990 (*)		2010		Evol. 90-01
<b>CO2</b>					
Combustion	108.842	75,6%	132.015	75,7%	21%
Emissions process	8.553	5,9%	13.719	7,9%	60%
<b>TOTAL</b>	<b>117.395</b>	<b>81,5%</b>	<b>145.734</b>	<b>83,5%</b>	<b>24%</b>
<b>CH4</b>					
Energie	1.264	0,9%	1.101	0,6%	-13%
<i>Combustion</i>	311	0,2%	315	0,2%	1%
<i>Réseaux de gaz</i>	954	0,7%	786	0,5%	-18%
Procédés industriels	37	0,0%	21	0,0%	-44%
Traitement de déchets	4.551	3,2%	1.612	0,9%	-65%
Agriculture	8.252	5,7%	7.700	4,4%	-7%
<i>Fermentation entérique</i>	4.855	3,4%	4.370	2,5%	-10%
<i>Stockage d'effluents</i>	3.397	2,4%	3.330	1,9%	-2%
<b>TOTAL</b>	<b>14.104</b>	<b>9,8%</b>	<b>10.434</b>	<b>6,0%</b>	<b>-26%</b>
<b>N2O</b>					
Energie	994	0,7%	1.696	1,0%	71%
<i>Combustion stationnaire</i>	711	0,5%	791	0,5%	11%
<i>Transport</i>	283	0,2%	905	0,5%	220%
Production d'acide nitrique	3.057	2,1%	4.423	2,5%	45%
Agriculture	7.093	4,9%	6.552	3,8%	-8%
<i>Emissions des sols</i>	4.874	3,4%	4.565	2,6%	-6%
<i>Stockage d'effluents</i>	2.220	1,5%	1.987	1,1%	-10%
Forêts	729	0,5%	729	0,4%	0%
Anesthésie	222	0,2%	222	0,1%	0%
Epuration des eaux	0	0,0%	662	0,4%	
<b>TOTAL</b>	<b>12.096</b>	<b>8,4%</b>	<b>14.284</b>	<b>8,2%</b>	<b>18%</b>
<b>HFC, PFC ET SF6 (**)</b>	<b>442</b>	<b>0,3%</b>	<b>4.000</b>	<b>2,3%</b>	<b>805%</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>144.037</b>	<b>100,0%</b>	<b>174.452</b>	<b>100,0%</b>	<b>21%</b>

(\*) 1995 dans le cas des HFC, PFC et SF6.

(\*\*) Estimation préliminaire.

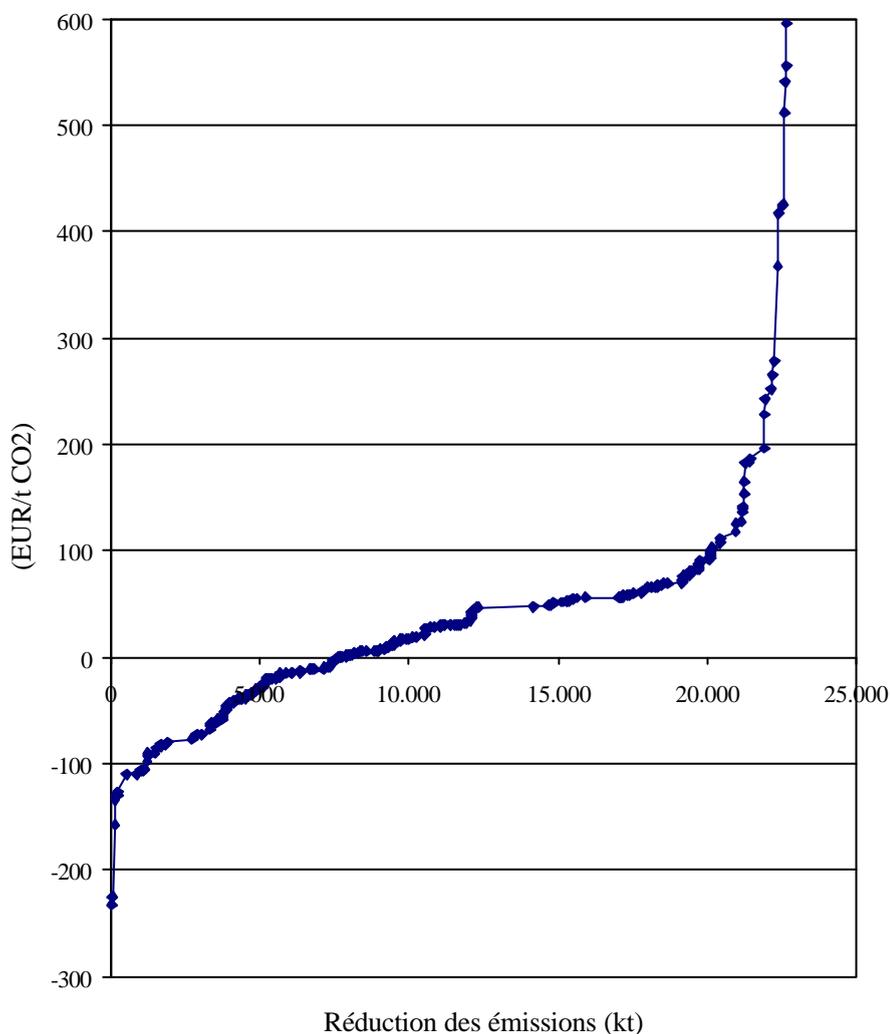
L'objectif du Protocole de Kyoto pour l'ensemble des six gaz à effet de serre CO2, CH4, N2O, PFC, HFC et SF6 de réduire les émissions de 7,5% en 2010 par rapport à 1990 implique un niveau global d'émission de 133,2 Mt éq-CO2 en 2010.

Or le scénario de référence montre une augmentation des émissions de 21% entre 1990 et 2010. L'écart à combler est de  $174,4 - 133,2 = 41,2$  Mt éq-CO2, soit 24% des émissions du scénario de référence en 2010.

## Potentiel de réduction

Le potentiel de réduction des émissions (par rapport au scénario de référence) a été évalué en détail pour le CO<sub>2</sub>, pour l'ensemble des sources d'émission à l'exception du secteur des transports. Ce potentiel est illustré par la courbe de coût marginal à la figure ci-dessous<sup>4</sup>.

Coût marginal de réduction des émissions  
de CO<sub>2</sub> en 2010  
(à partir du scénario de référence)  
**Belgique - TOUS SECTEURS (sauf le transport)**  
Taux d'actualisation 10-15-30%



<sup>4</sup> Il est à noter qu'une telle courbe reste approximative, dans la mesure où elle ne tient pas compte de la dispersion sur le coût des mesures qui est introduite dans le modèle. C'est la raison pour laquelle les potentiels économiques qu'on peut y relever ne correspondent qu'imparfaitement à ceux des tableaux.

Dans l'hypothèse où l'objectif de Kyoto serait appliqué pour le seul CO<sub>2</sub>, les chiffres du scénario de référence mentionnés plus haut et l'évaluation du potentiel de réduction donnent la situation suivante :

Emissions de CO <sub>2</sub> en 1990 :	117,4 Mt CO <sub>2</sub>	100%
Emissions 1990 moins 7,5% (objectif Kyoto)	108,6 Mt CO <sub>2</sub>	92,5%
Emissions 2010 scénario de référence	145,7 Mt CO <sub>2</sub>	124%

*A réduire selon Kyoto par rapport au scénario de référence :*

Potentiel des mesures ( <i>hors transports</i> ) :	37,1 Mt CO <sub>2</sub>	100%
Potentiel technique	22,1 Mt CO <sub>2</sub>	60%
Contribution des mesures à coût négatif	9,2 Mt CO <sub>2</sub>	25%
Contribution des mesures < 14 €/t CO <sub>2</sub> <sup>5</sup>	10,9 Mt CO <sub>2</sub>	29%

Les principales options pour combler le solde sont :

- une substitution accrue vers le gaz naturel dans le résidentiel et le tertiaire ;
- des mesures dans le secteur des transports ;
- l'impact sur les variables d'activité (abaissement de certains niveaux de production, de la mobilité ...);
- une réduction plus que proportionnelle pour les autres gaz que le CO<sub>2</sub> ;
- le recours à des mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto (emission trading, joint implementation, clean development mechanisms).

Le potentiel global des mesures de réduction de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O n'a pas été quantifié, et ce pour deux raisons. D'une part, il est difficile de préciser un potentiel 'technique' pour l'agriculture, principale source d'émission, en raison de l'incertitude qui subsiste sur des paramètres clés tels que la contribution de modifications de l'alimentation animale, l'ampleur possible d'une réduction des cheptels, le type de traitement qui sera appliqué pour éliminer les excédents de lisiers et la durée de stockage des effluents.

D'autre part, les mesures permettant d'abaisser les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O de l'agriculture sont généralement motivées avant tout par la réduction d'autres pollutions (telles que la concentration en nitrates des nappes aquifères et les émissions de NH<sub>3</sub>), si bien qu'il est difficile d'évaluer le coût des mesures imputable à la seule réduction de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O, et ainsi de déterminer un potentiel économique pour ces gaz.

On peut toutefois fournir une estimation du potentiel pour la principale autre source d'émission, à savoir la production d'acide nitrique, pour laquelle différents procédés catalytiques de réduction des émissions de N<sub>2</sub>O sont actuellement en cours de développement ou de démonstration. Des tests effectués en sites réels montrent que le rendement de réduction peut atteindre de l'ordre de 80%. Si les résultats obtenus se confirment et que cette technique peut être appliquée à l'ensemble de la capacité belge d'ici 2010, le potentiel correspondant s'élèverait, sur base des émissions de notre

---

<sup>5</sup> 14 €/t CO<sub>2</sub> représente le niveau de la taxe CO<sub>2</sub> proposée dans le Plan National Climat (11,5 €/t).

scénario de référence, à environ 3,5 Mt CO<sub>2</sub>. Selon les techniques, le coût ne devrait pas dépasser 1 à 3 €/t CO<sub>2</sub>.

Les résultats qui précèdent ne doivent pas être considérés comme figés. Ils découlent d'un grand nombre de données et d'hypothèses, qui sont basées sur la meilleure information disponible, mais sur lesquelles subsiste souvent une marge d'incertitude significative et qui sont susceptibles de devoir être modifiées à l'avenir.

Au-delà des résultats ponctuels présentés dans ce rapport, le modèle EPM est avant tout un outil permettant de tester des hypothèses et, en tant que tel, un instrument de dialogue avec les acteurs concernés (pouvoirs publics, secteurs industriels...).

Dans le cadre du projet, ECONOTEC a, au cours de l'année 2001, collaboré avec le Bureau fédéral du Plan à une étude sur un couplage du modèle EPM avec le modèle macro-sectoriel HERMES. Cette étude a permis la construction de scénarios d'émissions de CO<sub>2</sub> avec prise en compte de l'impact macro-économique du potentiel de réduction estimé par le modèle EPM. Les résultats de cette analyse ont été utilisés pour l'élaboration de la troisième 'Communication nationale' de la Belgique<sup>6</sup> ainsi que du Plan National Climat 2002-2012.

Par ailleurs, le modèle a été utilisé dans le cadre de l'élaboration du Plan Air de la Région wallonne.

---

<sup>6</sup> Dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

## Introduction

Dans le cadre du projet « Analyse des options de réduction des émissions des gaz à effet de serre et des précurseurs d'ozone troposphérique », la mission d'ECONOTEC a consisté à poursuivre le développement du modèle de prévision des émissions EPM (Emissions Projection Model), en réalisant une nouvelle version de celui-ci dans un environnement de base de données, ainsi qu'à appliquer le modèle pour fournir une contribution à l'élaboration de politiques de réduction des émissions.

Dans une première phase, les efforts ont porté sur les émissions de NO<sub>x</sub> et de COV. Les résultats de ces travaux, qui ont notamment été valorisés dans le cadre de la préparation du Protocole de Göteborg<sup>7</sup> et de la directive européenne sur les plafonds nationaux d'émissions<sup>8</sup>, ont été documentés dans le rapport ECONOTEC (1999).

La deuxième partie de la recherche a été consacrée aux principaux gaz à effet de serre concernés par le protocole de Kyoto, à savoir le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O. La priorité a toutefois été accordée au CO<sub>2</sub>, qui concerne l'ensemble des activités économiques et qui, en tonnes équivalent-CO<sub>2</sub>, représente plus de 80% du total des émissions de gaz à effet de serre.

Les tâches ont consisté en :

- l'organisation informatique des données, qui a conduit à une reformulation complète du modèle (passage de tableurs au logiciel Access), ce qui a eu pour effet d'augmenter sensiblement les potentialités du modèle ;
- la collecte et la validation de données ;
- l'exploitation du modèle pour la construction de scénarios de référence et l'évaluation de potentiels économiques de réduction des émissions.

Le présent rapport décrit les principales caractéristiques du modèle EPM et présente les résultats d'une analyse prévisionnelle des émissions de CO<sub>2</sub> et des autres gaz à effet de serre pour la Belgique à l'horizon 2010.

---

<sup>7</sup> Protocole à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP en anglais) de la Commission Economique pour l'Europe de l'ONU.

<sup>8</sup> Directive 2001/81/CE du Parlement européen et du Conseil, du 23 octobre 2001, fixant les plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques.

Ces résultats consistent en :

- un scénario de référence, correspondant à l'évolution attendue des émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O en l'absence de politique nouvelle de réduction des émissions ;
- différents scénarios de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, liés à des hypothèses concernant le plafond de coût marginal à la tonne de CO<sub>2</sub> ;
- des courbes de coût de réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO<sub>2</sub>.

Pour couvrir l'ensemble des gaz concernés par le protocole de Kyoto, le scénario de référence inclut également une première estimation des gaz fluorés (HFC, PFC, SF<sub>6</sub>). Par ailleurs, les principales mesures de réduction de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O sont identifiées.

# LE MODELE EPM

## UN MODELE BOTTOM-UP

Le modèle EPM (Energy/Emissions Projection Model) est un modèle de prévision de la demande d'énergie et des émissions des principaux polluants atmosphériques, qui couvre les différents secteurs concernés (industrie, résidentiel et tertiaire, transports). Il a été développé progressivement par ECONOTEC depuis 1993 dans le cadre d'un ensemble d'études réalisées pour les pouvoirs publics, tant au niveau national qu'au niveau régional (ECONOTEC, 1993 à 2000).

Etant donné l'hétérogénéité des « secteurs » tels que la sidérurgie, la chimie ou le résidentiel, il faut, pour pouvoir effectuer une bonne analyse prévisionnelle, tenir compte des effets de structure internes à ces secteurs, c'est-à-dire de l'évolution différenciée des principaux sous-secteurs ou procédés de production (par exemple les différents ateliers de la sidérurgie), dans la mesure où les consommations spécifiques de celles-ci sont différentes.

EPM est un modèle de simulation technico-économique, de type « bottom-up », c'est-à-dire expliquant les consommations énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub> à partir, autant que possible, de variables d'activité exprimées en unités physiques, contenant une représentation détaillée des sources d'émissions et des principaux facteurs déterminants de l'évolution de la demande d'énergie et des différents types d'émissions.

Cette option méthodologique est basée sur le constat qu'il n'existe pas de relations simples et homogènes entre les consommations énergétiques et des variables d'activité macro-économiques exprimées en valeur monétaire.

Le modèle, qui intègre également une base de données techniques et économiques sur les mesures d'économie d'énergie et de réduction des émissions, est utilisé en particulier pour :

- la construction d'un *scénario de référence* ('business as usual'), représentant l'évolution future la plus probable en l'absence de toute nouvelle politique de réduction des émissions ;
- l'évaluation de potentiels économiques de réduction des émissions ;
- la construction de *scénarios de réduction* des émissions, basés sur la prise en compte de l'ensemble des mesures dont le coût unitaire est inférieur à un plafond donné ;
- la construction de *courbes de coût*, indiquant le coût marginal ou le coût total en fonction de l'ampleur de la réduction des émissions ou de la consommation énergétique ;
- l'évaluation de l'impact de législations existantes ou en projet sur les consommations énergétiques, les niveaux d'émissions et les coûts.

La suite de ce chapitre décrit les principales caractéristiques du modèle en ce qui concerne les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Elle contient trois parties :

- la construction du scénario de référence ;
- l'évaluation du potentiel de réduction et la construction de scénarios de réduction ;
- le calcul des émissions.

## CONSTRUCTION DU SCENARIO DE REFERENCE

Dans un premier temps, les consommations énergétiques et les émissions sont calculées pour une année de référence, année récente servant de base aux prévisions. Ces consommations et émissions sont ensuite projetées dans le futur, sur base d'hypothèses relatives à l'évolution des différents facteurs (variables d'activité, consommations spécifiques, facteurs d'émission).

On distingue deux catégories d'émissions : les émissions liées à des consommations énergétiques (qui constituent l'essentiel des émissions de CO<sub>2</sub> et une fraction des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O) et les émissions process (qui couvrent notamment les usages non énergétiques de combustibles).

### **Emissions de l'année de référence**

#### Emissions liées à une consommation d'énergie

D'une manière générale, les données de départ sont celles des bilans énergétiques, c'est-à-dire les statistiques de consommation ou de production d'énergie par secteur et par vecteur.

Certaines modifications sont toutefois introduites aux données des bilans originaux. En particulier, les consommations d'énergie pour le chauffage de locaux font l'objet d'une correction climatique, destinée à les faire correspondre à un climat moyen, de manière à ce que les prévisions reflètent, elles aussi, un climat moyen.

Dans le modèle, ces données de bilans énergétiques font parfois l'objet d'une agrégation, au niveau des secteurs ou au niveau des vecteurs énergétiques (voir plus loin) et sont converties en une unité commune, le térajoule (TJ).

Les émissions de CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> ou de N<sub>2</sub>O sont calculées, par secteur et par vecteur énergétique, comme le produit :

$$Emissions = Consommation\ énergétique \times Facteur\ d'\ emission$$

Le facteur d'émission dépend du vecteur énergétique. Pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O, il dépend aussi du secteur (ou de la source d'émission) ; comme les émissions de ces polluants qui

sont liées à la combustion sont nettement plus faibles, ce calcul est cependant réalisé à un niveau d'agrégation plus élevé que pour le CO<sub>2</sub>.

### Emissions process

Les émissions process sont calculées comme le produit d'une variable d'activité par un facteur d'émission process. Ce dernier est exogène et peut évoluer en fonction du temps.

## **Désagrégation sectorielle**

Etant donné qu'elles proviennent des bilans énergétiques, les consommations énergétiques utilisées comme données du modèle pour l'année de référence sont relativement agrégées.

En général, il y a au plus une dizaine de secteurs pour l'industrie, les secteurs résidentiel et tertiaire sont complètement agrégés et le transport intérieur n'est désagrégé qu'en transport routier, transport ferroviaire, transport fluvial et transport aérien.

Dans le modèle, on a recours à un niveau de désagrégation nettement plus élevé que celui des bilans énergétiques. Les principaux 'secteurs', correspondant aux postes des bilans énergétiques, sont désagrégés en 'sous-secteurs', dont les consommations énergétiques sont estimées comme indiqué ci-après. Dans certains cas, un 'sous-secteur' représente un procédé de production. La liste complète des secteurs et sous-secteurs utilisés pour le calcul des consommations énergétiques et des émissions de CO<sub>2</sub> figure à l'annexe A.

### Calcul des consommations par sous-secteur

Pour l'industrie, les consommations énergétiques des sous-secteurs sont obtenues en multipliant pour chaque sous-secteur une variable d'activité (généralement un niveau de production exprimé en t/an) par une consommation spécifique (en GJ/t). Ce calcul est fait au niveau de l'ensemble de la consommation de combustibles d'une part, et de l'électricité d'autre part.

Il est à remarquer que les consommations de sous-secteurs calculées de cette manière peuvent n'être connues que de manière approximative. Pour chaque poste du bilan énergétique ainsi désagrégé, on définit un sous-secteur 'solde', dont la consommation de chaque vecteur énergétique est obtenue par différence.

De cette manière, pour l'année de référence, la consommation totale du secteur obtenue en sommant les consommations des différents sous-secteurs correspond à la consommation du bilan énergétique. Pour une année future, l'erreur commise sur un sous-secteur n'a qu'un impact du second ordre sur les consommations ou les émissions totales du secteur.

## Niveau de désagrégation

Les consommations d'énergie sont exprimées en fonction des variables les plus significatives de chaque secteur ou sous-secteur. Ces variables sont, d'une part, des variables d'activité (production de coke, production de clinker, nombre de logements...), d'autre part, des paramètres technico-économiques (consommation spécifique des secteurs, répartition de la consommation par vecteur et par usage de l'énergie, consommation spécifique des principaux procédés industriels...).

L'industrie est représentée par une centaine de variables d'activité (production de fonte, d'acier à l'oxygène, d'éthylène, de clinker, de verre plat...). Les branches grosses consommatrices d'énergie sont modélisées de manière plus détaillée que les autres. Ainsi par exemple, la sidérurgie est prise en compte par atelier (agglomération, haut fourneau, aciérie à l'oxygène, aciérie électrique, laminage à chaud, laminage et traitements à froid) ; pour la chimie, on distingue la production d'une vingtaine de produits de base.

En ce qui concerne le secteur résidentiel, on distingue les maisons existantes et les maisons neuves, les appartements existants et les appartements neufs, électriques et non électriques, le chauffage de l'eau sanitaire et 10 usages spécifiques de l'électricité (cuisson, réfrigérateurs, lave-linge, séchoirs...). La demande de chaleur est estimée au moyen d'un module distinct à partir d'une typologie du parc des bâtiments composée de 14 logements-types, dont le dimensionnement et les caractéristiques thermiques sont entièrement définis. Dans ce module, les consommations d'énergie sont calculées en prenant en compte les performances de 15 systèmes de production, de distribution et d'émission de chaleur.

Dans le secteur tertiaire, on distingue une trentaine de sous-secteurs regroupés en 8 catégories, et 5 usages (chauffage, ventilation, froid, éclairage et autres usages électriques). La variable d'activité est la superficie des bâtiments.

Dans le secteur des transports, on distingue le transport routier de personnes, le transport routier de marchandises, le transport ferroviaire et la navigation intérieure. Pour le transport routier, la modélisation est réalisée de manière détaillée dans un module spécial, qui comprend 11 catégories de véhicules, 3 types de trajet (autoroutes, circulation urbaine, autres routes) et 3 carburants. Ce module prend en compte la répartition des voitures par classe d'âge et les niveaux d'émissions en fonction des consommations spécifiques moyennes des véhicules lors de leur première mise en circulation et en tenant compte des réglementations (européennes) en matière d'émissions polluantes en vigueur à ce moment.

## Scénario de référence

Les émissions de CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O du scénario de référence qui sont liées à une consommation d'énergie sont calculées à partir des consommations énergétiques de l'année de référence, comme suit :

- pour chaque secteur ou sous-secteur, les consommations énergétiques de l'année de référence sont agrégées par catégorie de vecteurs énergétiques (deux catégories de vecteurs sont distinguées : combustibles, électricité) ;
- dans un premier temps, les consommations futures sont calculées par catégorie de vecteur<sup>9</sup>, en appliquant aux consommations par catégorie de l'année de référence une évolution de variable d'activité et une évolution de consommation spécifique ;
- la consommation future par vecteur est obtenue en appliquant à la consommation de combustibles les 'parts de marché' des différents vecteurs énergétiques ;
- on applique aux consommations énergétiques par vecteur le facteur d'émission correspondant (pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O, dont les émissions liées à la combustion sont beaucoup plus faibles, cette dernière étape est réalisée à un niveau sectoriel plus agrégé que pour le CO<sub>2</sub>).

L'évolution des variables d'activité et de consommations spécifiques est exogène et exprimée en taux de croissance annuels moyens (en %/an), par période d'une ou plusieurs années.

Les parts de marché futures des combustibles sont également exogènes ; elles sont propres à chaque secteur. Le modèle utilise comme valeurs par défaut celles de l'année de référence.

L'évolution des consommations spécifiques permet de tenir compte du progrès technique et du renouvellement des installations, qui conduit de manière naturelle à une baisse des consommations spécifiques, même en l'absence d'une politique spécifique de réduction. Elle est aussi utilisée pour refléter l'accroissement de consommation d'électricité dû à l'extension de nouveaux usages électriques (automatisation, ordinateurs...).

Les émissions process sont obtenues à partir de l'évolution des variables d'activité et de l'évolution d'un facteur d'émission process (ce dernier prenant en compte l'impact de mesures de réduction déjà prises ou décidées).

---

<sup>9</sup> Plutôt que par vecteur énergétique, compte tenu du fait que les combustibles sont dans une large mesure substituables entre eux.

## EVALUATION DU POTENTIEL DE REDUCTION

Cette section décrit l'évaluation du potentiel de réduction des consommations d'énergie et des émissions de CO2.

Pour pouvoir évaluer ce potentiel et construire les scénarios de réduction, il faut préalablement répartir les consommations énergétiques sectorielles par type d'usage de l'énergie.

### **Répartition des consommations par usage**

Comme les mesures de réduction peuvent s'appliquer à des usages particuliers de l'énergie (production de vapeur, chauffage, force motrice, éclairage...), la consommation énergétique de chaque secteur ou sous-secteur est préalablement désagrégée par usage. La répartition des consommations d'énergie par usage est exogène.

En pratique, cette répartition par usage est surtout utilisée pour les consommations d'électricité, dans l'industrie, le résidentiel et le tertiaire.

La liste des usages pris en compte est la suivante :

#### *Combustibles :*

- Chaudières
- Fours/process
- Chauffage locaux
- Eau chaude sanitaire
- Transport
- Usages chaleur non répartis

#### *Electricité :*

- Procédés électriques
- Réfrigération
- Surgélation
- Air comprimé
- Ventilateurs
- Pompes
- Machines
- Eclairage
- Electrolyse
- Usages électriques non répartis
- Ventilation & climatisation
- Froid tertiaire
- Chauffage électrique de locaux
- Cuisson

- Four à micro-ondes
- Réfrigérateurs
- Congélateurs horizontaux
- Congélateurs verticaux
- Réfrig./congé. combinés
- Lave-Linge
- Sèche-linge
- Lave-vaisselle
- Radio, TV
- Circulateurs
- Ordinateurs
- Petit électro-ménager
- ECS électrique

Remarque : La répartition des consommations par usage n'est qu'approximative, car basée sur des données étrangères, en l'absence de ce type de données pour la Belgique. L'impact d'une erreur sur ce type de données sur le niveau global des émissions n'est toutefois que du second ordre, dans la mesure où elle ne modifie pas la consommation globale du secteur.

### **Evaluation du potentiel de réduction**

Le potentiel économique de réduction est évalué comme la contribution de l'ensemble des mesures de réduction dont le coût unitaire est inférieur à un plafond donné, spécifié en €/t CO<sub>2</sub>. Ce potentiel est évalué par rapport au scénario de référence.

#### Mesures de réduction

Le modèle prend en compte une centaine de mesures de réduction, qui couvrent l'ensemble des secteurs à l'exception, au stade actuel, du secteur des transports. Pour le CO<sub>2</sub>, ces mesures sont de 4 types :

- économie d'énergie pure ;
- cogénération ;
- énergie renouvelable ;
- substitution énergétique.

Ces mesures de réduction se limitent à celles qui sont réalisables en pratique à l'horizon 2010 grâce aux techniques disponibles actuellement.

Chaque mesure s'applique soit aux combustibles, soit à l'électricité. La liste complète des mesures figure à l'annexe B.

Les mesures d'économie d'énergie pures peuvent se classer dans les catégories suivantes :

- Bonne gestion
- Modification de comportements

- Récupération de chaleur
- Récupération de combustible
- Recyclage de matériaux
- Moteur à vitesse variable
- Intégration énergétique
- Isolation thermique
- Eclairage efficace
- Changement de procédé
- Equipements à meilleur rendement

Aucune mesure n'est considérée pour réduire les émissions process.

La cogénération (qui, en tant que mesure de réduction, est à considérer ici comme la nouvelle cogénération non déjà prise en compte dans le scénario de référence) est envisagée dans l'industrie et dans le secteur tertiaire, au moyen soit de turbines à gaz, soit de moteurs à gaz.

Les possibilités de substitution énergétique prises en compte sont :

- le remplacement du charbon par du gaz naturel dans les centrales électriques existantes ;
- le remplacement du fuel résiduel dans l'industrie par du gaz naturel ;
- le remplacement des combustibles solides brûlés en cimenterie par du gaz naturel ;
- le remplacement du chauffage électrique dans le résidentiel par du gaz naturel.

#### Caractéristiques des mesures de réduction

Chaque mesure de réduction est affectée à une catégorie de vecteur énergétique (soit les combustibles, soit l'électricité).

Pour chaque mesure de réduction, on spécifie en fonction du secteur auquel elle est applicable, de l'usage de l'énergie et de l'année, un certain nombre de caractéristiques :

- le *taux de réduction* de la consommation énergétique (du secteur, pour l'usage concerné) ;
- le *taux de pénétration existant* (en pourcentage de la consommation du secteur), qui représente le taux de pénétration de la mesure dans le scénario de référence (il prend donc aussi en compte les mesures déjà décidées qui ne sont pas encore implémentées) ;
- le *taux de pénétration maximum technique* (y compris le taux de pénétration existant, en pourcentage de la consommation du secteur) ;
- le coût d'investissement (en €par GJ économisé chaque année) ;
- le coût d'exploitation (en €par GJ économisé) ;
- la durée de vie économique ;
- le *délai de renouvellement* (délai de renouvellement ou de réfection de l'équipement auquel la mesure s'applique, utilisé lorsque la mesure ne s'applique que lors du renouvellement ou de la réfection de cet équipement, par exemple un four verrier).

### Calcul du coût des mesures de réduction

Dans un premier temps, le modèle calcule pour chaque mesure, par secteur, par usage et par année, le coût total par tonne de CO2 réduite.

Ce coût est la somme du coût d'investissement annualisé et du coût d'exploitation, déduction faite de la valeur de l'économie d'énergie réalisée :

$$\text{Coût (€/t CO2)} = \text{CoûtInvestissementAnnualisé} + \text{CoûtExploitation} - \text{ValeurEconomieEnergie}$$

La valeur de l'économie réalisée est fonction du prix des vecteurs énergétiques de l'année concernée<sup>10</sup>, qui eux-mêmes sont fonction du secteur et de l'année.

Pour les mesures s'appliquant aux combustibles, le prix de l'énergie pris en compte est le prix moyen des combustibles consommés par le secteur dans le scénario de référence.

Le modèle calcule aussi le temps de retour (payback-time) simple de chaque mesure, qui vaut :

$$\text{PaybackTime} = \frac{\text{CoûtInvestissement}}{\text{ValeurEconomieEnergie} - \text{CoûtExploitation}}$$

### Prise en compte de la dispersion des coûts

Dans la pratique, le coût d'une mesure de réduction s'avère généralement différent selon le site où la mesure est appliquée, et ce pour un ensemble de raisons, notamment parce que :

- le prix des équipements peut varier d'un fournisseur à l'autre,
- le taux d'utilisation des équipements varie d'un site à l'autre (nombre d'heures d'utilisation par an),
- les frais d'installation varient d'un site à l'autre,
- les frais d'entretien diffèrent d'un site à l'autre, selon par exemple la disponibilité en personnel qualifié,
- le taux de réduction des consommations énergétiques et des émissions (c'est-à-dire l'efficacité des mesures) peut varier d'un site à l'autre.

En outre, les critères d'évaluation économique des projets (en particulier le taux d'actualisation ou le payback-time maximum) diffèrent d'un décideur à l'autre.

---

<sup>10</sup> Il s'agit ici d'une simplification, car le potentiel économique de réduction au cours d'une année future est fonction des investissements réalisés au cours des années qui précèdent, et donc de l'évolution des prix énergétiques sur cette période qui précède.

Il serait donc peu réaliste de supposer que chaque mesure n'a qu'un coût unique, et de considérer, dans l'hypothèse d'un scénario avec un plafond de coût en €/t CO2, que cette mesure serait appliquée à raison de soit 0%, soit 100%, selon que ce coût unique serait ou non supérieur au plafond.

C'est la raison pour laquelle nous avons introduit une dispersion sur le coût, sous la forme d'une loi de probabilité. Pour simplifier les choses, nous avons supposé une loi normale présentant une dispersion spécifiée de manière exogène par le paramètre  $\sigma/m$  (écart-type sur la moyenne) et centrée sur le coût calculé ci-dessus, considéré comme coût moyen.

Remarque : Cette dispersion est appliquée non au coût total par tonne de CO2, mais à la somme du coût d'investissement annualisé et du coût d'entretien. Ceci pour éviter une dispersion artificiellement réduite lorsque la valeur de l'économie d'énergie est du même ordre de grandeur que les dépenses effectuées pour l'investissement et l'entretien.

La valeur du paramètre  $\sigma/m$  peut différer selon la mesure de réduction. Dans les cas où la mesure ne concerne qu'un ou deux sites (cas par exemple des cokeries), pour éviter d'obtenir un résultat irréaliste, on peut ainsi spécifier une dispersion nulle.

Dans l'hypothèse où on fixe un plafond au coût de réduction des émissions de CO2, exprimé en €/t CO2, la connaissance de la dispersion sur le coût permet au modèle de calculer la *FractionRentable* de la mesure, définie comme la probabilité que le coût de la mesure soit inférieure au plafond.

#### Calcul de la contribution de chaque mesure

Pour chaque année future, pour chaque secteur, pour chaque vecteur énergétique et pour chaque usage de l'énergie, le modèle classe l'ensemble des mesures envisageables par ordre croissant de coût à la tonne de CO2.

La contribution de la première mesure à la réduction de la consommation énergétique est calculée de la manière suivante :

$$\text{RéductionCons} = \text{Consommation} * \text{TauxRéduction} \\ * \max[(\text{TauxPénétrationMaxRéaliste} * \text{FractRentable} - \text{TauxPénExistant}), 0]$$

où :

- *FractionRentable* est une fonction du coût de la mesure, du plafond de coût à la tonne de CO2 et du ratio  $\sigma/m$  ;
- *TauxPénétrationMaxRéaliste* est le taux de pénétration maximum compte tenu du 'délai de renouvellement'<sup>11</sup>, qui est évalué comme suit :

---

<sup>11</sup> Rappelons que le 'délai de renouvellement' est le délai de renouvellement ou de réfection de l'équipement auquel la mesure s'applique. Ce délai de renouvellement est utilisé lorsque la mesure ne s'applique que lors du renouvellement ou de la réfection de cet équipement.

$TauxPénMaxRéaliste = TauxPénExistant$

$+ \min [ 1, \frac{Année - AnnéeDébutMesure}{DélaiRenouvellement} x (TauxPénMaxTechnique - TauxPénExistant) ]$

où :

*AnnéeDébutMesure* : première année à partir de laquelle les mesures de réduction peuvent commencer à être appliquées (comme il s'agit soit de l'année en cours, soit d'une année future, elle est généralement ultérieure à l'année de référence)

Dans le calcul, le modèle prend en compte le fait que l'application d'une mesure d'économie d'énergie peut réduire le potentiel de réduction d'autres mesures d'économie sur la même consommation.

Ainsi, la contribution de la deuxième mesure est calculée de la même manière, mais seulement sur le solde de la consommation obtenu après application de la première mesure. Et ainsi de suite pour les mesures suivantes, la contribution de chacune étant calculée sur le solde de consommation obtenu après déduction des économies obtenues par application des mesures précédentes.

La contribution à la réduction des émissions de CO2 est alors calculée en multipliant la réduction de consommation énergétique par le facteur d'émission du vecteur énergétique considéré. Si ce vecteur est l'électricité, on applique le facteur d'émission marginal (voir plus loin la section sur le calcul des émissions de CO2).

Il est à remarquer que les mesures de cogénération sont traitées de manière particulière. Il a été décidé délibérément d'accorder la priorité aux mesures d'économies d'énergie par rapport aux mesures de cogénération. Dès lors, celles-ci ne sont prises en compte qu'après prise en compte de l'impact de la 'fraction rentable' de l'ensemble des autres mesures de réduction.

### Construction de scénarios de réduction

A chaque potentiel de réduction, on peut associer un « scénario de réduction », obtenu en soustrayant de la consommation énergétique ou des émissions du scénario de référence la contribution du potentiel économique de réduction.

## CALCUL DES EMISSIONS DE CO2

### **Directives de l'IPCC**

D'une manière générale, pour le calcul des émissions, nous avons respecté les directives de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996).

Ceci vaut en particulier :

- pour la classification des émissions en catégories de secteurs ;
- pour les facteurs d'émission (voir plus loin) ;
- pour la comptabilisation des émissions liées à la combustion de biomasse (voir plus loin) ;
- pour le calcul des émissions liées aux usages non énergétiques de combustibles.

En ce qui concerne la classification des émissions, ceci implique en particulier :

- que, de même que dans les bilans énergétiques, les raffineries et les cokeries sont reprises dans le secteur de l'énergie plutôt que dans la consommation finale ;
- que l'autoproduction d'électricité<sup>12</sup> est, quant à elle, reprise dans les différents secteurs de la consommation finale (ce qui n'est généralement pas le cas dans les bilans énergétiques, où elle figure plutôt dans le secteur transformation de l'énergie).

Il y a un cas où nous dérogeons aux règles de l'IPCC. Il concerne l'affectation des émissions du secteur électrique à la consommation finale d'énergie. Le but est de pouvoir évaluer l'impact sur les émissions de CO2 des réductions de consommation d'électricité par les consommateurs finaux (voir plus loin).

### **Cas de la production de vecteurs énergétiques**

Certains secteurs produisent des vecteurs énergétiques qui sont exportés vers d'autres secteurs et dont la consommation peut produire des émissions de CO2. C'est en particulier le cas des cokeries (coke, gaz de cokerie) et des hauts fourneaux (gaz de haut fourneau).

Pour ces secteurs, le calcul des émissions peut en principe se faire de deux manières :

- soit en ne comptabilisant pour chaque secteur que les consommations énergétiques donnant lieu à des émissions dans ce secteur (dans ce cas, on ne prendrait pas en compte la consommation de charbon dans les hauts fourneaux par exemple) ;
- soit en considérant pour chaque secteur la consommation totale nette de chaque vecteur.

---

<sup>12</sup> Excepté celle des raffineries, qui figure dans le secteur énergétique.

Nous avons suivi la deuxième approche, dans laquelle la production d'un vecteur énergétique est calculée comme une consommation négative, à laquelle est associée une émission de CO<sub>2</sub> négative également. Dans le cas des hauts fourneaux, on compte donc positivement l'ensemble de la consommation de charbon et de coke, mais négativement la production du gaz de haut fourneau.

Cette deuxième approche présente l'avantage de permettre l'établissement d'un bilan global pour chaque vecteur énergétique, ainsi qu'un bilan carbone (sous la forme d'équivalent-CO<sub>2</sub>) pour chaque secteur, et donc de s'assurer que ces bilans sont équilibrés.

Pour les hauts fourneaux, il est tenu compte de l'équivalent CO<sub>2</sub> contenu dans la fonte produite (dont l'essentiel est émis lors de la production de l'acier et est comptabilisé comme émission 'process' des aciéries).

### **Options d'affectation des émissions du secteur électrique**

On peut distinguer deux variantes pour l'affectation des émissions du secteur électrique :

- soit affecter ces émissions au secteur électrique lui-même (variante *Secteur électrique*) ;
- soit les affecter aux secteurs consommateurs de l'électricité produite, pour lesquels il s'agit d'une émission indirecte (variante *Consommation finale*).

Ces deux variantes fournissent un éclairage complémentaire.

La variante Secteur électrique consiste à affecter chaque émission au secteur qui la produit. C'est celle utilisée dans les tableaux de reporting de l'IPCC.

Pour ce qui concerne les consommateurs finaux, cette première variante ne montre toutefois que les émissions *directes*, et non les émissions *indirectes*, produites lors de la production de l'électricité qu'ils consomment.

Pour pouvoir mesurer l'impact d'une politique de réduction de la consommation d'électricité sur les émissions globales, il faut cependant affecter les émissions du secteur électrique aux consommateurs finaux. C'est l'objet de la variante Consommation finale.

Il est à remarquer que dans le cas de cette deuxième variante, il est prévu dans le tableau des émissions un poste 'Exportation nette d'électricité', représentant les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production de l'électricité nette exportée. Ceci de manière à ce que le total des émissions corresponde au niveau réel des émissions produites sur le territoire.

## **Facteurs d'émission**

### Combustibles

La valeur des facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> des combustibles figure à l'annexe B.

Pour les combustibles conventionnels, les facteurs d'émission utilisés sont ceux de l'IPCC (1996), compte tenu de la fraction du carbone oxydé. Il s'agit donc des mêmes valeurs de facteurs d'émission que celles utilisées dans l'inventaire national des émissions (Services Fédéraux des Affaires Environnementales, 1999).

Il est à remarquer que ces facteurs d'émission ne tiennent pas compte des émissions produites en amont de la combustion, lors des opérations d'extraction, de conversion et de transport de ces combustibles. La contribution des mesures de réduction est donc aussi sous-estimée pour cette raison !

Les directives de l'IPCC (1996) stipulent que les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion de biomasse pour la production d'énergie ne sont pas incluses dans l'inventaire, parce qu'il est supposé qu'environ un montant équivalent de CO<sub>2</sub> est capté par la croissance de nouvelles cultures. Si ce n'était pas le cas, les émissions nettes liées à une éventuelle déforestation ne seraient pas imputées à la combustion, mais à un poste intitulé 'Land-Use Change and Forestry'.

Nous avons donc considéré le facteur d'émission de la biomasse comme nul. Ceci concerne le bois de chauffage, le combustible de récupération utilisé dans le secteur du papier et la biomasse utilisée comme énergie renouvelable.

Le carbone contenu dans la liqueur noire utilisée comme combustible dans le secteur de la pâte chimique provient uniquement des copeaux de bois utilisés comme matière première dans la production de la pâte. Nous avons donc considéré qu'il s'agit de biomasse et leur facteur d'émission de CO<sub>2</sub> est considéré comme nul.

### Electricité

Ce facteur d'émission n'est pas nécessaire pour l'établissement de l'inventaire des émissions (par exemple sous le format de l'IPCC), parce que les émissions sont affectées aux secteurs qui les émettent directement.

Il est toutefois requis dans le cas de l'affectation des émissions du secteur électrique aux consommateurs finaux, pour pouvoir mesurer la contribution totale de ces consommateurs finaux aux émissions de CO<sub>2</sub> et l'impact des mesures de réduction qui sont susceptibles d'être mises en œuvre.

Pour l'électricité, l'évaluation tout à fait correcte du facteur d'émission à affecter à une consommation particulière n'est pas possible, car il n'existe pas de comptabilisation permettant de savoir dans quelle centrale et à partir de quel combustible chaque kWh consommé par chaque secteur est produit.

Le modèle distingue deux facteurs d'émission pour l'électricité : un facteur d'émission moyen (utilisé pour le scénario de référence) et un facteur d'émission marginal (utilisé pour le potentiel de réduction).

Il est à remarquer qu'à la différence des facteurs d'émission des combustibles, ces facteurs d'émission sont fonction de l'année considérée, puisque fonction du panier de combustibles utilisés pour produire l'électricité.

#### *Facteur d'émission CO2 moyen*

Le facteur d'émission moyen de l'électricité est utilisé pour évaluer les émissions par secteur pour les années passées et pour le scénario de référence.

Ce facteur d'émission est évalué comme le facteur d'émission moyen de la production centralisée d'électricité, compte tenu du rendement moyen de transport et distribution de l'électricité (ratio des émissions des centrales électriques par la production nette des centrales après soustraction de l'électricité consommée pour le pompage et les pertes du réseau de transport et distribution).

#### *Facteur d'émission CO2 marginal*

Le facteur d'émission de CO2 marginal est celui utilisé pour évaluer la contribution des mesures de réduction des émissions.

Il est à remarquer qu'à un horizon de 10 ans, on peut considérer, compte tenu de la durée de construction des centrales, qu'il s'agit d'un facteur d'émission marginal 'à long terme', c'est-à-dire compte tenu de la modification du parc de production. Il pourrait par exemple s'agir du facteur d'émission d'une nouvelle centrale dont la construction serait évitée par la mise en œuvre des mesures de réduction (voir Potentiel de réduction).

#### Emissions process

Par émissions 'process', il faut entendre ici les émissions non liées à une consommation 'énergétique'.

Dans le reporting de l'IPCC (1999), cette catégorie d'émissions comprend d'une part, les émissions process proprement dites, provenant d'un procédé industriel, et d'autre part, les émissions liées à une consommation d'énergie pour 'usages non énergétiques'.

#### *Emissions process proprement dites*

Pour le CO2, les principales émissions process émanent de la sidérurgie, des cimenteries, des fours à chaux et de la production d'ammoniac. Pour le CH4 et le N2O,

les principales sources d'émission sont du type 'process' (émissions de l'agriculture, des décharges, des réseaux de gaz, de la production d'acide nitrique...).

Ces émissions sont calculées comme le produit d'une variable d'activité (tonne de produit fabrique, nombre de têtes de bétail, longueur de réseau de gaz naturel...) par un *facteur d'émission process*. Ces facteurs d'émission sont exprimés en tonnes par unité de variable d'activité et sont spécifiés par secteur et par année. Leur évolution future est aussi exogène.

Le captage des émissions process (réalisé notamment dans la production d'ammoniac) est pris en compte dans le facteur d'émission.

Remarquons que dans le cas de la chimie, il faut éviter un double comptage des émissions process produites lors de la fabrication d'ammoniac avec les émissions liées à l'usage non énergétique de gaz naturel.

#### *Usages non énergétiques*

Comme prévu dans les directives de l'IPCC, les émissions liées aux usages non énergétiques des combustibles sont calculées à partir de la consommation non énergétique et d'un 'taux de séquestration du carbone'.

Les valeurs retenues pour les taux de séquestration du carbone, qui sont celles proposées par l'IPCC, sont les suivants :

<b><i>Vecteur</i></b>	<b>TauxSequestrationCarbone</b>
bitumes	100%
lubrifiants	50%
naphta	75%
gasoil	50%
gaz naturel	33%
butane	80%
propane	80%
coke de pétrole	75%
essences spéciales	75%
fuel résiduel	75%
paraffines	75%
petrolatums	75%
white spirit	75%
autres produits pétroliers	75%
coke	75%
terril, goudrons	75%

Il est à remarquer que comme ces taux de séquestration du carbone sont forfaitaires et imprécis, nous n'utilisons pas ce calcul pour les émissions liées à la consommation non

énergétique de gaz naturel dans la production d'ammoniac. Celle-ci est calculée dans les émissions process, avec un facteur d'émission connu.

## CARACTERISTIQUES DU MODELE

Le modèle de simulation EPM projette les consommations d'énergie et les émissions pour un scénario de référence et évalue le potentiel de réduction sur base du coût minimum.

Pour les gaz à effet de serre, le modèle, construit sous le logiciel Microsoft Access, comprend :

- près d'une centaine de tables de données,
- plusieurs centaines de 'requêtes', servant à des traitements, à l'entrée de données, à l'élaboration des tableaux de reporting,
- plusieurs milliers de lignes de code VisualBasic.

Sont pris en compte :

- l'ensemble des secteurs consommateurs d'énergie (secteur énergie, industrie, transport, résidentiel, tertiaire)
- l'autoproduction existante d'électricité,
- la nouvelle cogénération,
- la production de gaz fatals,
- les émissions process,
- la dispersion sur le coût des mesures de réduction.

Font l'objet de modules distincts détaillés (sous Excel) :

- le résidentiel,
- les transports.

### **Types de données**

Pour chaque région, les données de consommations énergétiques sont entrées telles qu'elles proviennent des bilans énergétiques (unités originales, ktep, TJ), pour les secteurs et les vecteurs énergétiques propres à la région.

Ces données sont d'abord agrégées aux niveaux des secteurs et vecteurs du modèle, et ensuite désagrégées par sous-secteur, sur base de variables d'activité et de consommations spécifiques, avec un sous-secteur solde, dont les consommations sont obtenues par différence.

Les caractéristiques des mesures de réduction sont introduites par mesure, par usage, par secteur et par année.

Dans le scénario de référence, les parts de marché des différents combustibles par secteur sont exogènes. Dans les scénarios de réduction, il est supposé que, à l'exception des mesures de substitution énergétique, les mesures de réduction laissent ces parts de marché inchangées.

Les principaux types de données du modèle sont :

*définition des secteurs, vecteurs, mesures :*

- liste des secteurs ou sous-secteurs, par polluant, et de différents niveaux d'agrégation
- liste des vecteurs énergétiques, par polluant, avec différents niveaux d'agrégation
- liste des mesures de réduction des émissions

*pour chaque secteur ou sous-secteur (~170 pour le CO<sub>2</sub>) :*

- la variable d'activité (en unités physiques, sauf rares exceptions)
- les consommations spécifiques de combustibles et d'électricité
- les parts de marché des vecteurs énergétiques
- les parts de marché des usages de l'énergie

*pour chaque mesure de réduction des émissions (~100 pour le CO<sub>2</sub>) :*

- un taux de réduction des émissions
- un taux de pénétration maximal (correspondant au potentiel technique)
- un taux de pénétration existant
- un coût d'investissement
- un coût d'exploitation
- une durée de vie

*autres paramètres :*

- facteurs d'émission (combustibles, process, par polluant et le cas échéant par secteur, moyen et marginal pour l'électricité)
- prix de l'énergie, par vecteur et par secteur
- taxes ou primes sur les vecteurs énergétiques
- taux d'actualisation (différencié entre industrie, résidentiel et tertiaire, pour tenir compte des différences de coût du capital pour ces secteurs)
- plafond de coût marginal (€/tonne CO<sub>2</sub>)
- global warming potential (GWP)

## **Types de résultats**

Pour un scénario de référence :

- Evolution des consommations énergétiques, par région, par secteur ( $\pm 200$ ), par vecteur énergétique ( $\pm 25$ ), par usage de l'énergie ( $\pm 35$ ), par année, ainsi que par catégorie de secteurs et par catégorie de vecteurs, pour différents niveaux d'agrégation

- Evolution des émissions de CO<sub>2</sub>, au même niveau de détail que les consommations énergétiques, évolution des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O à un niveau plus agrégé

Pour les scénarios de réduction :

- Par région, par scénario, par mesure de réduction ( $\pm 100$ ), par année, par secteur, par vecteur énergétique, par usage de l'énergie, ainsi que par catégorie de secteurs et par catégorie de vecteurs, pour différents niveaux d'agrégation :
  - o réduction de la consommation énergétique
  - o réduction des émissions de CO<sub>2</sub>
  - o coût d'investissement
  - o coût d'investissement annualisé
  - o coût d'exploitation
- Par scénario, par année :
  - o tableaux de courbes de coût marginal ou total de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, de la consommation d'énergie finale, de la consommation d'énergie primaire
  - o capacité de production et production d'électricité de la nouvelle cogénération

Plus d'une centaine de formats de tableaux distincts ont été construits, selon les types de grandeurs et les niveaux de désagrégation.

Deux options d'affectation des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur électrique sont considérées (au secteur électrique ou aux secteurs de la consommation finale).

## **Limites du modèle**

### L'évolution des variables d'activité

Les évolutions futures des variables d'activité (en particulier les niveaux de production industrielle) sont spécifiées de manière exogène, sur base d'informations spécifiques à chaque secteur. Au stade actuel du modèle, il n'y a pas de cadrage macro-économique et ces évolutions ne sont pas modifiées en fonction du coût des mesures prises en compte dans les scénarios de réduction.

L'impact, indirect, du coût des mesures de réduction (ou d'une taxe CO<sub>2</sub> éventuelle qui les induirait) sur les niveaux d'activité économique n'est donc pas comptabilisé, ce qui a pour conséquence une sous-estimation de la réduction des émissions par rapport au scénario de référence.

Il est à remarquer qu'une collaboration avec le Bureau fédéral du Plan sur un couplage du modèle HERMES avec le modèle EPM a permis une première évaluation de l'impact macro-économique des mesures de réduction (cf. le chapitre « Potentiels de réduction »).

Par ailleurs, en collaboration avec le CORE (UCL) et l'IDD (Institut du Développement Durable) et avec un financement de la Région wallonne (DGRNE), un nouveau développement est actuellement en cours visant à mettre au point le modèle EPM-MACRO, couplage du modèle EPM avec un modèle input/output.

### Imperfections du modèle

Il subsiste d'autres imperfections au modèle lui-même. Ainsi, au stade actuel du modèle, les économies d'un gaz fatal par rapport au scénario de référence ne sont pas répercutées sur le niveau de sa production éventuelle et l'équilibre entre production et consommation n'est pas toujours assuré pour les gaz fatals. Tout se passe comme si la quantité économisée se traduisait par une réduction d'importations nettes.

Ceci concerne essentiellement le gaz de haut fourneau, si on suppose que son niveau de production n'est pas affecté par les économies, cela conduit à une surestimation du potentiel dans la mesure où ce gaz devrait trouver d'autres usages, où il se substituerait à un combustible à facteur d'émission de CO<sub>2</sub> moins élevé.

### Qualité des données et des hypothèses

Compte tenu de son niveau de détail, le modèle contient un grand nombre de données et hypothèses, dont la qualité influence bien entendu le résultat global.

A ce sujet, il faut noter que ces données et hypothèses sont basées sur des années d'expérience acquise par ECONOTEC d'une part avec le développement et l'application du modèle, d'autre part avec des études d'audit énergétique ou d'évaluation de projets d'investissements dans des entreprises industrielles de secteur très variés.

Nous nous sommes efforcés d'utiliser chaque fois les meilleures données disponibles. Il n'en reste pas moins que des améliorations devront encore être apportées à l'avenir, notamment au travers d'un dialogue plus étroit avec les différents secteurs industriels et compte tenu de l'évolution de l'environnement économique.

En l'absence de résultats d'enquêtes réalisées en Belgique, certaines données utilisées ne sont que des estimations, par exemple la répartition de la consommation énergétique par usage pour les différents secteurs industriels.

Il faut mentionner qu'il subsiste encore des imperfections dans les statistiques de consommation d'énergie et les inventaires d'émissions, qui sont utilisés comme base pour établir les projections. Certaines de ces imperfections sont de nature à influencer les niveaux d'émissions de CO<sub>2</sub> en 1990 et 1997, ainsi que l'évolution entre 1990 et 1997.

Enfin, compte tenu du grand nombre de données utilisées, il faut rappeler que le risque d'une erreur d'encodage n'est jamais nul, bien que de nombreuses vérifications aient été effectuées.

## SCENARIO DE REFERENCE

Le scénario de référence vise à représenter l'évolution future la plus probable en l'absence de toute nouvelle politique de réduction des émissions (ce scénario est parfois appelé 'business as usual')<sup>13</sup>.

### DONNEES ET HYPOTHESES

#### **Consommations énergétiques de l'année de référence**

La projection est basée sur les consommations énergétiques de l'année 1997 considérée comme de référence.

Les consommations énergétiques sont celles correspondant à l'addition des bilans énergétiques pour la Flandre (Vito, 2000a), la Wallonie (Institut Wallon, 2000a) et la région de Bruxelles-capitale (Institut Wallon, 2000b).

Le choix des bilans régionaux plutôt que des bilans de l'Administration de l'Energie se fonde sur le fait que les bilans régionaux contiennent des consommations de combustibles par secteur pour l'autoproduction d'électricité et sont plus précis en ce qui concerne la désagrégation sectorielle de la consommation des produits pétroliers<sup>14</sup>. Le bilan pour la Belgique obtenu à partir des bilans régionaux reste toutefois imparfait, notamment en raison de l'absence d'harmonisation des définitions de secteurs et de vecteurs énergétiques.

Rappelons que les consommations énergétiques de l'année de référence sont corrigées pour correspondre à un climat moyen, de manière à obtenir une prévision à climat moyen également.

#### **Emissions de 1990**

Dans le Protocole de Kyoto, 1990 est l'année par rapport à laquelle l'engagement de réduction d'émissions est mesuré. Il est donc important de pouvoir situer les projections d'émissions par rapport aux émissions de 1990.

---

<sup>13</sup> Une exception à cette règle concerne la cogénération, dont l'ensemble des nouvelles installations sont incluses dans le potentiel de réduction (voir les hypothèses faites concernant la production d'électricité).

<sup>14</sup> Les bilans énergétiques du Ministère des Affaires économiques sont basés sur des informations des fournisseurs d'énergie ; or, dans le cas des produits pétroliers, les fournisseurs ne connaissent pas toujours le consommateur final, en raison de la présence d'intermédiaires sur le marché. Les bilans régionaux, par contre, sont établis davantage à partir d'enquêtes auprès des consommateurs.

Il n'existe cependant pas à l'heure actuelle d'inventaire officiel définitif des émissions de CO<sub>2</sub> pour 1990. Comme les estimations varient, nous avons recalculé ces émissions au moyen du modèle EPM sur la même base que celles de 1997, en nous basant également sur les consommations énergétiques des bilans régionaux.

Conformément au Protocole de Kyoto, il s'agit ici dans ce cas-ci des émissions réelles, sans correction climatique.

Le climat de 1997 ayant été légèrement plus chaud que le climat moyen, il s'ensuit que l'évolution '1990 réel – 1997 corrigé' que l'on peut observer sur les tableaux de résultats présentés dans le présent rapport surestime l'évolution réelle sur la même période<sup>15</sup>.

## **Evolution des variables d'activité pour le CO<sub>2</sub>**

### Production d'électricité

Il a été fait l'hypothèse que pour le scénario de référence, la production d'électricité par les producteurs et distributeurs d'électricité, hors projets de cogénération en partenariat (« production centralisée »), évoluerait comme la demande globale d'électricité telle qu'elle résulte du modèle, ce qui correspond à une croissance annuelle moyenne de 2,1% par an sur la période 1997-2010.

En ce qui concerne l'autoproduction (donc également la cogénération), elle a été supposée constante pour chaque secteur sur la période 1997-2010, de telle sorte que l'ensemble de la nouvelle cogénération (à l'exception du remplacement des unités démantelées) figure dans le potentiel de réduction.

### Industrie

Dans l'industrie, les perspectives d'évolution des variables d'activité sont évaluées en examinant simultanément les perspectives de marché des produits concernés et les modifications d'outils de production annoncées (fermetures d'outils, changements structurels et/ou extensions de capacités). Les taux de croissance qui sont déduits de cette analyse sont ensuite confrontés avec ceux que les secteurs ont connu par le passé, afin d'en vérifier la cohérence.

C'est ainsi que le scénario de référence prend en considération notamment :

- les importantes extensions de production envisagées en sidérurgie, tant intégrée que dans le domaine de l'acier inoxydable en fours électriques, mais aussi la fermeture du haut fourneau de Clabecq et l'abandon par Sidmar de son projet de réduction directe ;

---

<sup>15</sup> En revanche, elle sous-estime l'évolution '1990 corrigé – 1997 corrigé'.

- en cimenteries, l'extension du recours à des combustibles de récupération (jusqu'à une moyenne de 40% des entrants dans le four), la fermeture annoncée d'un four en voie humide et l'accroissement de capacité d'une voie sèche pour partiellement compenser l'effet de cette fermeture ;
- dans le secteur de la chaux, la répercussion des modifications de production de fonte sur la production de chaux et de dolomies ;
- dans le secteur du verre, l'installation d'un 'float' supplémentaire en Région wallonne, pour répondre à l'accroissement de la demande européenne de verre plat ;
- une extension de capacité annoncée en production de pâte à papier ;
- le maintien des quotas laitiers et sucriers dans le secteur agro-alimentaire.

### Transport

En ce qui concerne l'évolution de la mobilité des véhicules routiers, nous avons repris celle de l'étude réalisée pour la FEBIAC par l'IFEU (2000).

### Résidentiel

L'évolution de la variable d'activité (le nombre de logements par catégorie) découle des prévisions de croissance de la population établies par l'INS (+0,5% de 1997 à 2010) et d'une hypothèse sur l'évolution de la taille moyenne des ménages (-1,25% de 1997 à 2010). Cette croissance globale est ensuite répartie entre les différents systèmes de chauffage en fonction du taux de pénétration de chaque équipement.

Pour le chauffage électrique, nous avons fait l'hypothèse d'une stabilité de la pénétration dans les logements existants et d'une pénétration de 15% dans les logements neufs construits entre 1997 et 2010. Le nombre de logements équipés principalement de chauffage électrique s'établit alors comme dans le tableau suivant.

(milliers)	1997	2010
Maisons	145	196
Appartements	100	127
Total	245	323

Pour les appareils ménagers, on a fait une estimation de l'évolution du taux de pénétration de chaque type d'appareil.

## Tertiaire

La variable d'activité utilisée est le nombre de m<sup>2</sup> de surface occupée.

La croissance globale du parc des bâtiments a été estimée sur base des prévisions de la Confédération Nationale de la Construction (Confédération Nationale de la Construction, 1996) s'appuyant elles-mêmes sur les Perspectives Economiques du Bureau du Plan. Ces prévisions ne concernent que le très court terme. Elles permettent toutefois de fixer un ordre de grandeur de la superficie globale mise en chantier au cours des deux années suivantes. Pour répartir cette croissance globale entre les différentes branches, nous avons pris contact avec certains de leurs représentants (Fonds des Bâtiments Scolaires, assureurs, responsables du secteur hospitalier, ...).

De manière générale, il n'a pas été possible d'obtenir des prévisions précises de construction, mais ces entretiens ont permis d'établir un certain classement dans les sous-branches et d'identifier celles qui seraient susceptibles de présenter une croissance supérieure à la moyenne du secteur (grandes surfaces, commerces de détail non alimentaire, services aux entreprises, homes, secteur des loisirs, autres services) et celles qui, au contraire, sont susceptibles de connaître un taux de croissance inférieur à la moyenne du parc (enseignement et hôpitaux).

## **Evolution des consommations spécifiques d'énergie**

### Industrie

Le renouvellement naturel des équipements et le progrès technique influencent à la baisse les consommations spécifiques d'énergie, même en l'absence de politique spécifique d'utilisation rationnelle de l'énergie.

L'ampleur de cette évolution est difficile à estimer, surtout par secteur. Les tendances observées dans le passé ne peuvent être extrapolées telles quelles, car une évolution plus rapide sur le passé dans un secteur particulier peut s'expliquer par des investissements qui ne se reproduiront plus à l'avenir, et vice-versa.

Compte tenu de cette situation et pour la transparence des hypothèses, nous avons fait des hypothèses générales pour tenir compte de ce facteur, qui sont basées sur notre expérience en matière de prévisions dans ce secteur :

- il a été supposé que la consommation spécifique de combustibles dans l'industrie diminuerait en moyenne de 0,5% par an de 1997 à 2010 ;
- en ce qui concerne la consommation d'électricité, il y a toutefois une tendance générale à un accroissement, dû à l'apparition de nouveaux usages ou à l'extension de certains usages déjà existants ; sauf exceptions (l'alimentation et les fabrications métalliques), la consommation spécifique d'électricité a été supposée constante, la réduction naturelle des consommations étant supposée compensée par cette tendance à l'accroissement de consommation.

## Résidentiel

Pour le chauffage des logements existants, on prend en compte une croissance de la consommation spécifique de l'ordre de 0,6% l'an, qui prolonge de manière atténuée la tendance observée depuis une quinzaine d'années. Cette évolution résulte de la combinaison d'une part d'une tendance à la baisse découlant de la rénovation naturelle des bâtiments (vitrages, isolation toiture...) et des équipements (essentiellement la chaudière), et d'autre part de la pénétration accrue du chauffage central, de l'accroissement de la surface chauffée en général et de l'augmentation du niveau de confort souhaité.

Pour le chauffage des logements neufs, il est tenu compte de ce que dans la pratique les normes d'isolation thermique (K65) ne sont généralement pas correctement appliquées (absence de contrôles).

Pour l'électricité, il est tenu compte d'une évolution de la consommation spécifique par type d'appareil ménager.

## Tertiaire

Pour le chauffage, on prend en compte une diminution de consommation spécifique de l'ordre de 0,6% par an, résultant de l'amélioration technique des équipements.

Pour l'électricité, il y a une croissance de la consommation moyenne par m<sup>2</sup> d'entre 0% et 3% par an, résultant de la combinaison d'une part de l'amélioration des équipements, d'autre part de l'accroissement de la pénétration de ceux-ci. Les évolutions sont différenciées selon les sous-secteurs compte tenu des types d'usages dominants.

## Transport routier

L'évolution des consommations spécifiques des véhicules tient compte de l'amélioration des performances des moteurs de véhicules utilitaires suite aux normes de pollution européennes (Euro 1 et Euro 2), qui ont globalement conduit à une réduction des consommations de l'ordre de 15% sur les nouveaux modèles, et des accords entre la Commission européenne et les principaux constructeurs automobiles européens et asiatiques, visant une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et de la consommation moyenne des nouveaux véhicules mis sur le marché de l'ordre de 25% entre 1995 et 2008-2009.

Cette approche tient compte du fait que parmi les mesures envisagées par les constructeurs figure une extension du marché des véhicules diesel au détriment des voitures à essence, phénomène déjà beaucoup plus avancé en Belgique que dans d'autres pays européens.

## **Dispersion sur le coût des mesures de réduction**

Pour le paramètre  $\sigma/m$  (écart-type sur la moyenne) de la distribution de probabilité du coût des mesures de réduction, nous avons pris une valeur générale de 0,25, excepté pour l'agglomération et les cokeries, où nous avons supposé une valeur nulle, étant donné le très faible nombre d'unités.

## **Parts de marché des vecteurs énergétiques**

En ce qui concerne la production d'électricité centralisée, le scénario suppose la fermeture des centrales électriques au charbon prévue au dernier plan d'équipement électrique et leur remplacement, pour satisfaire la croissance de la demande d'électricité au réseau, par des unités turbine gaz vapeur (TGV). Il est supposé que l'excédent de gaz de haut fourneau de la sidérurgie est absorbé par le secteur électrique où il se substituerait à du gaz naturel.

Pour l'industrie, on a supposé que les parts de marché des différents vecteurs énergétiques seraient égales à celles de 1997. Au-delà de cette situation de référence, les substitutions possibles des combustibles solides et du fuel résiduel vers le gaz naturel sont entièrement prises en compte dans le potentiel de réduction des émissions.

Pour les secteurs résidentiel et tertiaire, on a extrapolé à 2010 la tendance à une pénétration plus grande du gaz naturel, compte tenu de l'extension régulière du réseau de distribution.

Pour le transport routier, on tient compte d'une pénétration accrue du diesel au détriment de l'essence dans les voitures.

## **Emissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O**

Rappelons que les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O liées à la combustion sont obtenues à partir des consommations énergétiques, dont le calcul a été décrit plus haut.

Pour celles de N<sub>2</sub>O liées à la combustion stationnaire, on a repris les facteurs d'émission de la 2<sup>ème</sup> Communication nationale allemande dans le cadre de la Convention des Nations Unies sur les changements climatiques (BMU, 1997).

Les facteurs d'émissions de N<sub>2</sub>O utilisés pour le transport routier sont ceux du modèle européen COPERT III (EEA, 1999).

Les facteurs d'émissions utilisés pour évaluer les pertes de méthane des réseaux de gaz sont ceux d'une étude de Battelle-Institut, tel que repris par les gaziers allemands (DVGW, 1994) et la 2<sup>ème</sup> Communication nationale allemande. Parmi ces pertes sont incluses les pertes aux raccordements aux postes de consommations. Le réseau de canalisations en fonte, qui est passé de 2531 km en 1990 à 1025 km en 2000 (FIGAZ, 2001) a été supposé complètement éliminé en 2010.

Les émissions de N<sub>2</sub>O provenant de la production d'acide nitrique ont été évaluées au moyen du facteur d'émission des inventaires d'émissions CORINAIR (8 kg/t HNO<sub>3</sub> 100%), maintenu constant jusqu'en 2010. Ceci suppose l'absence de mesures d'abattement dans le scénario de référence, étant donné qu'aucune technologie n'est encore disponible commercialement pour les installations existantes (EFMA, 2000).

Dans le contexte de tassement du marché des engrais azotés, dont la Fédération européenne des producteurs d'engrais s'attend à une légère baisse de la consommation européenne au cours de la décennie (de 9,6 Mt N en 2000 à 9,2 Mt N en 2010 – EFMA, 2001), on ne doit pas s'attendre à une augmentation de capacités. Le niveau de production d'acide nitrique en 2010 a été supposé égal à celui de l'année de référence 1997.

En ce qui concerne les décharges, le scénario pour la Flandre a été repris de l'étude du Vito (2000), tandis que pour la Wallonie, il a été établi selon le calcul mis au point dans le cadre de l'étude ECONOTEC (1997a). Il est considéré que la fraction organique des déchets mis en décharge serait nulle à partir de 2002 pour la Flandre et 2010 pour la Wallonie. Ceci explique une réduction des émissions de CH<sub>4</sub> plus rapide en Flandre qu'en Wallonie.

Pour l'agriculture, le scénario de référence est basé sur des études spécifiques à la Flandre (Vito, 2000 et VUB, 2000) et à la Wallonie (SITEREM, 2001).

Pour la Flandre, on a retenu de l'étude de la VUB le scénario, considéré dans l'étude comme « très réaliste », qui suppose un accord pour la limitation des cheptels de porcs et de volailles à leurs niveaux de 1998. Pour le N<sub>2</sub>O, on a repris le scénario de référence de l'étude du Vito, qui suppose une diminution de l'utilisation moyenne d'engrais minéral par ha et l'obligation d'injection du lisier lors de l'épandage sur les champs, prévue au plan lisier 'MAP2' pour réduire les émissions d'ammoniac (mais qui donne un facteur d'émission de N<sub>2</sub>O plus élevé).

On ne prend pas en compte l'impact du traitement des effluents, étant donné l'incertitude sur le type de technique qui serait utilisé et le fait que, selon la technique, les émissions pourraient être modifiées à la hausse comme à la baisse.

Les émissions de N<sub>2</sub>O liées à l'épuration des eaux (suite à l'application de plus en plus fréquente de l'élimination biologique de l'azote par processus de nitrification-dénitrification) concernent la Flandre et proviennent de l'étude du Vito (2000). Selon cette étude, les chiffres sont encore préliminaires et pourraient être des surestimations.

Il est à remarquer que les niveaux globaux d'émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O obtenus pour l'année de référence 1990 diffèrent sensiblement de ceux de l'inventaire officiel des émissions pour la Belgique. Ils devraient cependant être considérés comme plus réalistes.

## RESULTATS

Ci-dessous sont présentés les résultats agrégés du scénario de référence en ce qui concerne l'évolution des consommations énergétiques et des émissions. Pour le CO<sub>2</sub>, des résultats plus détaillés font l'objet d'un ensemble de tableaux figurant à l'annexe D.

### Consommation énergétique

Le tableau ci-après présente la consommation d'énergie par secteur dans le scénario de référence. Pour les secteurs qui ont une production d'énergie (électricité, chaleur de cogénération ou gaz fatals), il s'agit de la consommation nette (déduction faite de l'énergie produite). Le total du tableau correspond à la consommation d'énergie primaire. Rappelons que l'autoproduction est incluse dans la demande finale plutôt que dans le secteur énergétique<sup>16</sup>.

Rappelons que les chiffres de l'année 1997, utilisée comme base pour la projection, sont corrigés de manière à refléter un climat moyen. Cette correction climatique a pour effet d'augmenter la consommation totale observée de 7,8% pour le résidentiel et de 5,6% pour le tertiaire<sup>17</sup>.

BELGIQUE	Consomm. d'énergie (PJ)			Evolution		
	1990	1997*	2010	90-97	97-10	90-10
			Sc. Réf.		Sc. Réf.	Sc. Réf.
Secteur énergétique (hors autopr.)	553	609	629	10%	3%	14%
Industrie	558	560	691	0%	23%	24%
Transport	282	313	365	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	495	633	700	28%	11%	41%
Exportation nette d'électricité	14	-14	-24	-201%	-70%	-271%
<b>Total</b>	<b>1.902</b>	<b>2.101</b>	<b>2.361</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>24%</b>

\* à climat corrigé

On peut constater que les évolutions sont contrastées.

A première vue, la croissance la plus forte est celle du secteur 'domestique et équivalent', qui a connu une forte progression (+28%) entre 1990 et 1997.

<sup>16</sup> Sauf celle des raffineries (voir supra).

<sup>17</sup> Remarquons que l'impact du climat sur les consommations est par nature difficile à estimer et que la correction climatique est une estimation qui reste imparfaite.

Cette progression est toutefois surtout due à l'absence de correction climatique pour 1990. Pour 1997, la correction climatique majore la consommation énergétique totale du secteur 'Domestique et équivalent' de 6,7%. Pour 1990, elle aurait majoré cette consommation de 15,1% (l'année 1990 ayant été une année particulièrement chaude).

A climat corrigé, la croissance de consommation du secteur 'Domestique et équivalent' sur la période 90-97 n'a donc été que de 11% au lieu de 28%. Sur la période 90-2010, elle n'est que de 22% au lieu de 41%.

A climat corrigé, la croissance la plus forte de la consommation énergétique sur la période 90-2010 est donc celle du secteur des transports.

La croissance la plus faible est celle du secteur énergie, surtout en raison de la rénovation du parc de production d'électricité sur la période 97-2010<sup>18</sup>. Dans l'industrie, la consommation est restée quasi stable sur 1990-97, mais il est prévu une forte croissance par la suite.

## Emissions de CO2

Le tableau suivant présente pour le scénario de référence l'évolution des émissions de CO2 par grand secteur dans la variante *Secteur électrique* (où les émissions du secteur de la production centralisée d'électricité sont affectées au secteur électrique).

Les émissions des autoproducteurs d'électricité figurent toutefois dans les secteurs de la demande finale.

### Variante Secteur électrique\*

BELGIQUE	Emissions de CO2 (Mt)			Evolution		
	1990	1997**	2010 Sc. Réf.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc. Réf.
Secteur énergétique (hors autopr.)	27,9	29,1	37,3	4%	28%	34%
Industrie	42,2	41,4	47,4	-2%	15%	12%
<i>dont émissions process</i>	8,6	12,5	13,7	46%	10%	60%
Transport	19,8	22,0	25,7	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	27,6	34,1	35,3	24%	3%	28%
<b>Total</b>	<b>117,4</b>	<b>126,5</b>	<b>145,7</b>	<b>8%</b>	<b>15%</b>	<b>24%</b>

\* Emissions du secteur électrique affectées au secteur électrique

\*\* A climat corrigé

<sup>18</sup> Les nouvelles centrales TGV ayant un rendement nettement plus élevé que les centrales nucléaires et les autres centrales classiques.

Les émissions process, qui sont comprises dans celles de l'industrie, représentent 10% des émissions globales en 1997 et ont connu une forte croissance entre 1990 et 1997. Cette croissance est imputable à la croissance de la consommation de combustibles à des fins non énergétiques, essentiellement dans la pétrochimie.

Dans ce tableau, le secteur énergétique représente environ un tiers des émissions globales. Il s'agit surtout des émissions du secteur de la production d'électricité.

Dans le tableau suivant, les émissions du secteur de production d'électricité sont affectées aux différents secteurs de la consommation finale ainsi qu'aux exportations nettes d'électricité (variante *Consommation finale*). Elles sont donc comptabilisées comme des émissions *indirectes*. Le facteur d'émission du kWh électrique utilisé à cet effet est le facteur d'émission moyen du parc de production pour l'année concernée.

**Variante Consommation finale\***

BELGIQUE	Emissions de CO2 (Mt)			Evolution		
	1990	1997**	2010	90-97	97-10	90-10
			Sc. Réf.	Sc. Réf.	Sc. Réf.	
Secteur énergétique (hors autopr.)	6,8	7,8	8,4	15%	7%	24%
Industrie	52,2	52,8	63,9	1%	21%	23%
<i>dont émissions process</i>	8,6	12,5	13,7	46%	10%	60%
Transport	20,2	22,4	26,3	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	36,9	44,9	49,5	22%	10%	34%
Exportation nette d'électricité	1,4	-1,3	-2,3	-193%	75%	-263%
<b>Total</b>	<b>117,4</b>	<b>126,5</b>	<b>145,7</b>	<b>8%</b>	<b>15%</b>	<b>24%</b>

\* Emissions du secteur électrique sont affectées aux secteurs de la consommation finale

\*\* A climat corrigé

Le poste 'Exportation nette d'électricité' permet de faire en sorte que le total des émissions soit identique pour les deux variantes.

L'objectif du Protocole de Kyoto pour la Belgique est une réduction des émissions de 7,5% en 2010<sup>19</sup> par rapport à 1990 pour l'ensemble des gaz à effet de serre CO2, CH4, N2O, PFC, HFC et SF6.

Si on suppose l'application du taux de réduction au seul CO2, cela impliquerait un niveau d'émission de 108,6 Mt CO2 en 2010. Or le scénario de référence montre une augmentation des émissions de 24% entre 1990 et 2010. Il s'ensuit un écart à combler de  $145,4 - 108,6 = 36,8$  Mt CO2, soit 25% des émissions du scénario de référence en 2010.

<sup>19</sup> Plus précisément pour la moyenne de la période 2008-2012 (période de 5 ans centrée sur 2010), ce qui permet notamment de lisser la variation climatique.

## Emissions de CH4 et N2O

Le tableau suivant présente le scénario de référence (business as usual) pour les émissions de CH4 et de N2O. Ce scénario tient compte des mesures de réduction déjà décidées, ainsi que de l'évolution attendue des émissions en l'absence de nouvelles mesures.

Par rapport à 1990, il comporte donc déjà des réductions significatives de CH4 dans le domaine des déchets (suppression de la mise en décharge de matières organiques, récupération du gaz de décharge), des réseaux de gaz (réduction des émissions malgré la forte extension du réseau de gaz naturel, suite à l'élimination des conduites en fonte) et de l'agriculture (limitation de la taille des cheptels).

### **BELGIQUE - EMISSIONS DE CH4 ET N2O** Scénario de référence

	1990		2010	
<b>EMISSIONS DE CH4 (kt)</b>				
Energie	55	9,0%	48	10,6%
<i>Combustion</i>	14	2,2%	14	3,0%
<i>Réseaux de gaz</i>	41	6,8%	34	7,5%
Procédés de production	2	0,3%	1	0,2%
Traitement déchets	198	32,3%	70	15,4%
Agriculture	359	58,5%	335	73,8%
<i>Fermentation entérique</i>	211	34,4%	190	41,9%
<i>Stockage d'effluents</i>	148	24,1%	145	31,9%
<b>TOTAL</b>	<b>613</b>	<b>100,0%</b>	<b>454</b>	<b>100,0%</b>
<b>EMISSIONS DE N2O (t)</b>				
Energie	3.359	8,2%	5.729	11,9%
<i>Combustion stationnaire</i>	2.403	5,9%	2.672	5,5%
<i>Transport</i>	956	2,3%	3.057	6,3%
Production d'acide nitrique	10.328	25,3%	14.944	31,0%
Agriculture	23.964	58,6%	22.135	45,9%
<i>Emissions des sols</i>	16.465	40,3%	15.421	32,0%
<i>Stockage d'effluents</i>	7.499	18,4%	6.714	13,9%
Forêts	2.464	6,0%	2.464	5,1%
Anesthésie	750	1,8%	750	1,6%
Epuration des eaux	0	0,0%	2.235	4,6%
<b>TOTAL</b>	<b>40.865</b>	<b>100,0%</b>	<b>48.257</b>	<b>100,0%</b>

Il comporte aussi des réductions d'émissions de N2O, suite en particulier aux mesures prises pour réduire la production de nitrates et les émissions d'ammoniac (diminution de

l'utilisation d'engrais sur les sols agricoles, réduction des protéines dans l'alimentation animale, limitation des cheptels).

Pour les deux gaz, c'est l'agriculture qui constitue la source d'émission dominante. Globalement, les émissions de CH<sub>4</sub> sont en baisse de 26% sur la période 90-2010, alors que celles de N<sub>2</sub>O sont en hausse de 18% sur la même période. La baisse des émissions de méthane est essentiellement imputable à une réduction des émissions des décharges.

Il est à noter que les chiffres d'émissions pour 1990 diffèrent sensiblement de l'inventaire publié par les Services Fédéraux des Affaires environnementales. Ceci s'explique surtout par le fait qu'ils sont basés sur des études plus approfondies et plus récentes, en particulier en ce qui concerne les émissions de l'agriculture.

Il faut toutefois rappeler qu'il subsiste une incertitude non négligeable sur les niveaux d'émissions de ces gaz, plus grande que pour le CO<sub>2</sub>. Cette incertitude porte surtout sur les facteurs d'émissions, en particulier dans l'agriculture, et leur évolution future.

### **Synthèse pour l'ensemble des GES**

Le tableau ci-après présente une synthèse du scénario de référence pour l'ensemble des gaz à effet de serre (GES) concernés par le protocole de Kyoto. A cet effet, il inclut, outre le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O, une estimation pour les gaz fluorés HFC, PFC et SF<sub>6</sub>.

En ce qui concerne cette dernière, il s'agit d'une première estimation, globale et exprimée uniquement en équivalents-CO<sub>2</sub>. Il est à remarquer que cette projection correspond à une hypothèse « haute », dans la mesure où elle suppose le remplacement intégral des HCFC actuellement utilisés par des HFC.

La première colonne représente les émissions de l'année de référence du protocole de Kyoto, à savoir 1990, sauf pour les gaz fluorés, pour lesquels il s'agit de 1995.

La conversion en équivalents-CO<sub>2</sub> a été effectuée au moyen des valeurs suivantes du GWP (Global Warming Potential) :

CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	23
N <sub>2</sub> O	296

Il s'agit des valeurs correspondant à un horizon de 100 ans provenant du dernier rapport de l'IPCC (2001).

On constate que le CO<sub>2</sub> représente plus de 80% des émissions totales. Le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O totalisent environ 15% en 2010. Quant aux émissions des gaz fluorés, qui étaient encore pratiquement inexistantes en 1995, elles sont en très forte croissance et atteindraient environ 2% du total en 2010.

**BELGIQUE - EMISSIONS GLOBALES DES GAZ A EFFET DE SERRE "KYOTO", EN EQ-CO2**  
Scénario de référence

(kt éq-CO2)	1990 (*)		2010		Evol. 90-01
<b>CO2</b>					
Combustion	108.842	75,6%	132.015	75,7%	21%
Emissions process	8.553	5,9%	13.719	7,9%	60%
<b>TOTAL</b>	<b>117.395</b>	<b>81,5%</b>	<b>145.734</b>	<b>83,5%</b>	<b>24%</b>
<b>CH4</b>					
Energie	1.264	0,9%	1.101	0,6%	-13%
<i>Combustion</i>	311	0,2%	315	0,2%	1%
<i>Réseaux de gaz</i>	954	0,7%	786	0,5%	-18%
Procédés industriels	37	0,0%	21	0,0%	-44%
Traitement de déchets	4.551	3,2%	1.612	0,9%	-65%
Agriculture	8.252	5,7%	7.700	4,4%	-7%
<i>Fermentation entérique</i>	4.855	3,4%	4.370	2,5%	-10%
<i>Stockage d'effluents</i>	3.397	2,4%	3.330	1,9%	-2%
<b>TOTAL</b>	<b>14.104</b>	<b>9,8%</b>	<b>10.434</b>	<b>6,0%</b>	<b>-26%</b>
<b>N2O</b>					
Energie	994	0,7%	1.696	1,0%	71%
<i>Combustion stationnaire</i>	711	0,5%	791	0,5%	11%
<i>Transport</i>	283	0,2%	905	0,5%	220%
Production d'acide nitrique	3.057	2,1%	4.423	2,5%	45%
Agriculture	7.093	4,9%	6.552	3,8%	-8%
<i>Emissions des sols</i>	4.874	3,4%	4.565	2,6%	-6%
<i>Stockage d'effluents</i>	2.220	1,5%	1.987	1,1%	-10%
Forêts	729	0,5%	729	0,4%	0%
Anesthésie	222	0,2%	222	0,1%	0%
Epuration des eaux	0	0,0%	662	0,4%	
<b>TOTAL</b>	<b>12.096</b>	<b>8,4%</b>	<b>14.284</b>	<b>8,2%</b>	<b>18%</b>
<b>HFC, PFC ET SF6 (**)</b>	<b>442</b>	<b>0,3%</b>	<b>4.000</b>	<b>2,3%</b>	<b>805%</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>144.037</b>	<b>100,0%</b>	<b>174.452</b>	<b>100,0%</b>	<b>21%</b>

(\*) 1995 dans le cas des HFC, PFC et SF6.

(\*\*) Estimation préliminaire.

L'objectif du Protocole de Kyoto pour l'ensemble des six gaz à effet de serre CO2, CH4, N2O, PFC, HFC et SF6 de réduire les émissions de 7,5% en 2010 par rapport à 1990 implique un niveau global d'émission de 133,2 Mt éq-CO2 en 2010.

Or le scénario de référence montre une augmentation des émissions de 21% entre 1990 et 2010. L'écart à combler est de  $174,4 - 133,2 = 41,2$  Mt éq-CO2, soit 24% des émissions du scénario de référence en 2010.

## POTENTIELS DE REDUCTION

Ce chapitre présente les résultats du modèle EPM en ce qui concerne le potentiel de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, pour l'ensemble des sources d'émissions, à l'exception du secteur des transports.

Il est à remarquer que dans le cadre du présent projet, ECONOTEC a par ailleurs collaboré avec le Bureau fédéral du Plan à une étude sur un couplage du modèle EPM avec le modèle macro-sectoriel HERMES. Cette étude a permis la construction de scénarios d'émissions avec prise en compte de l'impact macro-économique du potentiel de réduction estimé par le modèle EPM. Ce travail fait l'objet d'une publication spécifique (Bureau fédéral du Plan & ECONOTEC, 2001).

### SCENARIOS

Pour les émissions de CO<sub>2</sub> et les consommations d'énergie, trois potentiels de réduction ont été évalués, auxquels correspondent trois 'scénarios de réduction' :

- le potentiel 'technique' (scénario sans plafond de coût) ;
- deux potentiels 'économiques', correspondant respectivement aux plafonds de coût marginal de 0 €/tonne CO<sub>2</sub> et 14 €/tonne CO<sub>2</sub>.

Le potentiel technique correspond à l'application maximale de l'ensemble des mesures de réduction prises en compte dans le modèle, indépendamment de leurs coûts.

Le premier potentiel économique représente la contribution des mesures à coût négatif, donc rentables en tant que telles<sup>20</sup>, compte tenu de la valeur de l'économie d'énergie qu'elles génèrent.

Le plafond du deuxième potentiel économique correspond à un niveau de taxe CO<sub>2</sub> proposé dans le Plan National Climat (2002)<sup>21</sup>. Ce deuxième potentiel représente donc la contribution de l'ensemble des mesures qui seraient rentables pour le consommateur dans l'hypothèse où la taxe serait appliquée à toutes les consommations énergétiques.

---

<sup>20</sup> Rappelons que les coûts pris en compte sont les coûts directs à charge des consommateurs d'énergie, à l'exclusion des coûts de transaction.

<sup>21</sup> La taxe proposée dans le Plan National Climat est de 11,5 EUR<sub>90</sub>/t CO<sub>2</sub>, soit 14 EUR<sub>00</sub>/t CO<sub>2</sub>.

## DONNEES ET HYPOTHESES

### **Potentiel technique de cogénération**

Le potentiel technique de cogénération par secteur a été repris des études réalisées pour Electrabel par le Vito (1997) et l'Institut Wallon (1997).

Pour l'industrie, l'étude Vito (1997) considère deux cas de figure pour le dimensionnement des installations de cogénération :

- dimensionnement pour 4000 h (turbines à gaz) ou 2000 h (moteurs) à pleine charge ;
- dimensionnement sur la demande de chaleur.

Nous avons pris en compte le cas du dimensionnement sur la demande de chaleur, où le potentiel en termes de chaleur produite est près de 50% plus élevé. C'est donc le potentiel le plus important du point de vue de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Remarquons qu'il est cependant moins important en termes de nombre de MW installés.

Pour le secteur tertiaire, nous avons repris les données et hypothèses de l'étude de l'Institut Wallon (1997), à savoir l'utilisation de la cogénération à puissance nominale pendant 2000 heures par an et une plage de fonctionnement des moteurs entre 50% et 100% de cette puissance nominale. Ici aussi, c'est l'option qui maximise la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

### **Potentiel technique des énergies renouvelables**

Dans le scénario de référence, la contribution des sources d'énergie renouvelables a été conservée à son niveau de 1997. L'accroissement par rapport à 1997 se situe donc entièrement dans le potentiel de réduction.

La contribution des énergies renouvelables est évaluée, comme celle des autres mesures, par rapport au scénario de référence.

Les sources prises en compte sont les suivantes :

#### ***production de chaleur***

- capteurs solaires eau chaude sanitaire (ECS) résidentiel logements existants
- capteurs solaires ECS résidentiel logements neufs
- capteurs solaires ECS tertiaire

#### ***production d'électricité***

- énergie hydro-électrique
- éolien onshore
- éolien offshore
- déchets forestiers

- cultures énergétiques
- biométhanisation de déchets ménagers
- biométhanisation de boues d'épuration
- biométhanisation industrie agro-alimentaire
- biométhanisation d'effluents d'élevage

En ce qui concerne les énergies renouvelables, un potentiel technique n'est pas facile à définir. En l'absence d'une étude approfondie ou de données claires sur le sujet, nous avons adopté pour les besoins des scénarios présentés dans ce rapport une approche restrictive à l'égard du 'potentiel technique' des énergies renouvelables, en limitant celui-ci aux objectifs fixés par les autorités régionales à l'horizon 2010.

### **Facteur d'émission marginal de l'électricité**

La valeur retenue pour le facteur d'émission marginal de l'électricité (utilisée pour évaluer la contribution des mesures de réduction de la consommation d'électricité) est de 403 g CO<sub>2</sub>/kWh, ce qui correspond à une nouvelle centrale TGV avec un rendement net de 52,5% et un rendement moyen de transport et distribution d'électricité de 95%.

### **Taux d'actualisation**

Rappelons que le 'taux d'actualisation' est utilisé pour annualiser les coûts d'investissement des mesures de réduction.

On a utilisé un taux d'actualisation différencié selon le secteur, pour tenir compte du fait que le coût du capital diffère selon le secteur et se rapprocher des critères de décision des acteurs concernés.

Les valeurs de taux d'actualisation (en termes réels) utilisées, ainsi que l'ordre de grandeur du payback-time correspondant, compte tenu des durées de vie des équipements, sont les suivantes :

- |                                      |     |                          |
|--------------------------------------|-----|--------------------------|
| - résidentiel                        | 10% | (payback-time : 7-8 ans) |
| - tertiaire                          | 15% | (payback-time : 5-6 ans) |
| - industrie                          | 30% | (payback-time : ±3 ans)  |
| - prod. électr. énergie renouvelable | 10% | (payback-time : 7-8 ans) |

### **Prix énergétiques**

Rappelons que dans le modèle, les prix énergétiques servent à évaluer le coût net des mesures de réduction, compte tenu de la valeur de l'énergie économisée.

Les prix énergétiques sont restés relativement stables au cours des années 90, sauf à partir du deuxième semestre de 1999, où les prix des produits pétroliers ont commencé à grimper sensiblement.

A l'heure actuelle, il existe un consensus assez large pour situer la zone d'équilibre du prix du pétrole (offre/demande) entre 22 \$ et 30 \$/baril, soit une valeur moyenne de 26 \$/baril. C'est la référence qui nous avons prise en compte pour 2010.

A cette valeur de 26 \$/baril, on suppose qu'il correspond un prix du paramètre G de la tarification du gaz naturel de l'ordre de 130 BEF/GJpcs, soit 3,2 €/GJpcs (il s'agit d'une première estimation ; en réalité, cette valeur est fonction de nombreux paramètres, dont la parité de change \$/€). Cette valeur correspond à la valeur médiane de G sur les cinq dernières années.

En ce qui concerne le charbon, nous avons supposé une stabilité des prix de 1997 à 2010, de même que pour l'électricité, pour laquelle on suppose que la baisse des prix induite par la libéralisation du marché serait compensée par l'augmentation du prix du gaz utilisé pour produire l'électricité.

Pour les combustibles utilisés par le secteur électrique, nous avons repris les hypothèses de prix de combustibles de la Commission AMPERE (2000).

Compte tenu des éléments qui précèdent, les prix moyens en compte pour l'an 2010 sont ceux figurant dans le tableau qui suit.

HYPOTHESES DE PRIX MOYENS DE L'ENERGIE EN 2010

(F et € de 2000)

		€/GJ pci
<b>Producteurs d'électricité (HTVA)</b>		
charbon	73 F/GJ pci	1,8
gaz naturel	143 F/GJ pci	3,5
<b>Industrie (HTVA)</b>		
charbon	93 F/GJ pci	2,3
gaz naturel	195 F/GJ pci	4,8
gasoil	261 F/GJ pci	6,5
fuel extra-lourd	149 F/GJ pci	3,7
électricité	2,1 F/kWh	14,5
<b>Tertiaire (HTVA)</b>		
gaz naturel	287 F/GJ pci	7,1
gasoil	261 F/GJ pci	6,5
électricité	3,2 F/kWh	22,0
<b>Résidentiel (TVAC)</b>		
gaz naturel	398 F/GJ pci	9,9
gasoil	351 F/GJ pci	8,7
électricité chauffage et ECS électr.	4,1 F/kWh	28,2
électricité autres usages	6,2 F/kWh	42,7

Il n'a pas été fait de différence de prix entre secteurs industriels, pour rester cohérent avec l'absence de prise en compte d'effets d'échelle sur les coûts des mesures de réduction.

Pour la production d'électricité, il a été tenu compte des « certificats verts » mis en place par les pouvoirs publics, tant en Flandre qu'en Wallonie, pour soutenir le développement des énergies renouvelables, en considérant que l'électricité produite à partir d'énergie renouvelable serait valorisée en 2010 au coût de production de l'électricité centralisée (estimée à  $1,2 F_{00}/\text{kWh}$ , soit  $0,03 \text{ €}_{00}/\text{kWh}$ ) majoré d'une prime de  $3 F_{00}/\text{kWh}$  ( $0,074 \text{ €}_{00}/\text{kWh}$ ), soit à un total de  $4,2 F_{00}/\text{kWh}$  ( $0,104 \text{ €}_{00}/\text{kWh}$ ).

Il a par ailleurs été tenu compte du fait qu'en Région wallonne, le système des certificats verts est étendu à la cogénération, avec une prime égale à celle accordée aux énergies renouvelables multipliée par un *taux d'économie* (défini comme le rapport entre le gain de CO<sub>2</sub> généré par la cogénération divisé par l'émission de CO<sub>2</sub> de la solution électrique de référence, soit une centrale TGV moderne). Sur base des hypothèses de rendements faites dans EPM, nous obtenons une valeur du taux d'économie de 0,3, ce qui conduit à une prime de  $0,9 F_{00}/\text{kWh}$ , soit  $0,022 \text{ €}_{00}/\text{kWh}$ , d'électricité produite par cogénération.

### **Coûts des mesures de réduction**

Les données utilisées pour le coût d'investissement et le coût d'exploitation des mesures de réduction représentent les coûts supportés par le consommateur d'énergie ou celui qui produit les émissions. Il est à remarquer qu'elles n'incluent pas les 'coûts de transaction', tels que les coûts d'accès à l'information pertinente, que pourrait générer la mise en œuvre des mesures concernées, ni les coûts d'instruments tels que des campagnes d'information et de sensibilisation, qui seraient mis en œuvre par les pouvoirs publics pour faciliter la pénétration de mesures de réduction.

En ce qui concerne la dispersion sur le coût des mesures de réduction, nous avons, pour le paramètre  $\sigma/m$  (écart-type sur la moyenne) de la distribution de probabilité de ce coût, pris une valeur générale de 0,25 (à laquelle correspond un intervalle de confiance statistique à 95% de 0,5 à 1,5 fois la valeur moyenne), excepté pour l'agglomération en sidérurgie et les cokeries, où nous avons supposé une valeur nulle, étant donné le très faible nombre d'unités.

### **Plafond de coût marginal de réduction**

Compte tenu de la définition des potentiels économiques présentée plus haut, les plafonds de coût marginal envisagés sont 0 €/tonne CO<sub>2</sub> et 14 €/tonne CO<sub>2</sub>. Dans le cas du potentiel technique, aucun plafond de coût imposé.

## RESULTATS

Ci-après sont présentés les résultats agrégés pour ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>, ainsi que les courbes de coût globales. L'évolution des consommations énergétiques, des tableaux de résultats plus détaillés par secteur et par catégorie de mesures, ainsi que les courbes de coût par secteur figurent à l'annexe D.

### Emissions de CO<sub>2</sub>

L'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> pour les trois scénarios est donnée aux trois tableaux qui suivent.

BELGIQUE	Emissions de CO <sub>2</sub> (kilotonnes)					
	1990	1997*	2010	2010	2010	2010
<b>Scénario sans plafond de coût</b>				Scénario de Substitution référence énergétique	Réduction	Scénario de réduction
<b>Emissions liées à l'énergie</b>	<b>108,8</b>	<b>114,1</b>	<b>132,0</b>	<b>-4,1</b>	<b>-18,5</b>	<b>109,4</b>
Secteur énergétique (hors autopr.)	6,8	7,8	8,4	-2,3	-1,3	4,7
Industrie	43,6	40,3	50,2	-1,5	-11,0	37,7
Transport	20,2	22,4	26,3		0,0	26,3
Domestique et équivalent	36,9	44,9	49,5	-0,3	-4,8	44,3
Prod. électricité renouvelable			0,0		-1,3	-1,3
Exportation nette d'électricité	1,4	-1,3	-2,3		0,0	-2,3
<b>Emissions process</b>	<b>8,6</b>	<b>12,5</b>	<b>13,7</b>		<b>0,0</b>	<b>13,7</b>
<b>Total général</b>	<b>117,4</b>	<b>126,5</b>	<b>145,7</b>	<b>-4,1</b>	<b>-18,5</b>	<b>123,1</b>

\* à climat corrigé

BELGIQUE	Emissions de CO <sub>2</sub> (kilotonnes)					
	1990	1997*	2010	2010	2010	2010
<b>Plafond 0 €/t CO<sub>2</sub></b>				Scénario de Substitution référence énergétique	Réduction	Scénario de réduction
<b>Emissions liées à l'énergie</b>	<b>108,8</b>	<b>114,1</b>	<b>132,0</b>	<b>-0,1</b>	<b>-9,1</b>	<b>122,8</b>
Secteur énergétique (hors autopr.)	6,8	7,8	8,4	0,0	-0,7	7,6
Industrie	43,6	40,3	50,2	0,0	-5,5	44,7
Transport	20,2	22,4	26,3		0,0	26,3
Domestique et équivalent	36,9	44,9	49,5	-0,1	-2,4	47,0
Prod. électricité renouvelable			0,0		-0,5	-0,5
Exportation nette d'électricité	1,4	-1,3	-2,3		0,0	-2,3
<b>Emissions process</b>	<b>8,6</b>	<b>12,5</b>	<b>13,7</b>		<b>0,0</b>	<b>13,7</b>
<b>Total général</b>	<b>117,4</b>	<b>126,5</b>	<b>145,7</b>	<b>-0,1</b>	<b>-9,1</b>	<b>136,6</b>

\* à climat corrigé

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)					
	1990	1997*	2010	2010	2010	2010
Plafond 14 €/t CO2			Scénario de référence	Substitution énergétique	Réduction	Scénario de réduction
<b>Emissions liées à l'énergie</b>	<b>108,8</b>	<b>114,1</b>	<b>132,0</b>	<b>-0,2</b>	<b>-10,7</b>	<b>121,2</b>
Secteur énergétique (hors autopr.)	6,8	7,8	8,4	0,0	-0,9	7,5
Industrie	43,6	40,3	50,2	0,0	-6,8	43,4
Transport	20,2	22,4	26,3		0	26,3
Domestique et équivalent	36,9	44,9	49,5	-0,2	-2,5	46,8
Prod. électricité renouvelable			0		-0,5	-0,5
Exportation nette d'électricité	1,4	-1,3	-2,3		0	-2,3
<b>Emissions process</b>	<b>8,6</b>	<b>12,5</b>	<b>13,7</b>		0	<b>13,7</b>
<b>Total général</b>	<b>117,4</b>	<b>126,5</b>	<b>145,7</b>	<b>-0,2</b>	<b>-10,7</b>	<b>135,0</b>

\* à climat corrigé

Rappelons que l'objectif de Kyoto appliqué pour le seul CO2 impliquerait, compte tenu des données du modèle, un niveau d'émission de 108,6 Mt CO2 en 2010.

Les résultats globaux obtenus sont les suivants :

Emissions de CO2 en 1990 :	117,4 Mt CO2	100%
Emissions 1990 moins 7,5% (objectif Kyoto)	108,6 Mt CO2	92,5%
Emissions 2010 scénario de référence	145,7 Mt CO2	124%

*A réduire selon Kyoto par rapport au scénario de référence :*

Potentiel des mesures ( <i>hors transports</i> ) :	37,1 Mt CO2	100%
Potentiel technique	22,1 Mt CO2	60%
Contribution des mesures à coût négatif	9,2 Mt CO2	25%
Contribution des mesures < 14 €/t CO2	10,9 Mt CO2	29%

Les options pour combler le solde sont essentiellement :

- une substitution accrue vers le gaz naturel dans le résidentiel et le tertiaire ;
- des mesures dans le secteur des transports ;
- l'impact sur les variables d'activité (abaissement de certains niveaux de production, de la mobilité...);
- une réduction plus que proportionnelle pour les autres gaz à effet de serre que le CO2 ;
- le recours à des mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto (emission trading, joint implementation, clean development mechanisms).

Il est à remarquer que le potentiel technique est fonction des mesures prises en compte dans le modèle (voir Annexe C), qui sont limitées à des technologies commercialement disponibles à l'heure actuelle. Il n'est donc pas figé et pourra s'accroître à l'avenir.

## Courbes de coût CO2

Les ‘courbes de coût’ de réduction des émissions sont obtenues en classant, pour une année future donnée, les mesures par ordre de coût croissant (sans prise en compte de dispersion) et en traçant, en fonction du niveau cumulé de réduction des émissions, soit le coût marginal (‘courbe de coût marginal’), soit le coût total (‘courbe de coût total’).

Rappelons que les niveaux de réduction sont ceux obtenus à partir du scénario de référence.

Il est à remarquer que ces courbes de coût constituent une simplification, car elles ne prennent pas en compte la dispersion sur le coût des mesures. Chaque mesure de réduction n’y est représentée par un point. Si on devait tenir compte de la dispersion, chaque mesure devrait être représentée par une courbe, et la courbe de coût totale serait une somme des courbes de coût des mesures individuelles, ce qui compliquerait la détermination de cette courbe globale.

Ces courbes, qui peuvent être construites par secteur ou pour l’ensemble des secteurs, permettent de visualiser simplement le niveau de réduction qui peut être obtenu en fonction du coût.

Il est à noter que ces courbes ne restent qu’approximatives, du fait qu’elles ne tiennent pas compte de la dispersion sur le coût des mesures. C’est la raison pour laquelle les potentiels économiques qu’on peut y relever ne correspondent pas tout à fait à ceux des tableaux.

De ce fait, elles conviennent aussi relativement mal à l’évaluation de la contribution de mesures individuelles dont le coût est proche du plafond de coût marginal que l’on s’est fixé (il y a un effet ‘tout ou rien’, qui fait que chaque mesure est soit prise en compte totalement, soit pas prise en compte du tout). Cependant, la loi des grands nombres fait qu’à un niveau agrégé, elles fournissent tout de même une bonne idée globale des possibilités de réduction.

Remarquons que la contribution d’une même mesure peut se situer à différents endroits de la courbe selon le secteur où elle s’applique, si son coût diffère d’un secteur à l’autre. C’est le cas par exemple si la capacité, et donc le coût d’investissement unitaire de la technologie concernée, varient d’un secteur à l’autre, ou si le nombre d’heures annuel d’utilisation dépend du secteur. Un coût différent peut aussi résulter du seul fait que les prix énergétiques, et donc la valeur de l’économie d’énergie réalisée, diffèrent d’un secteur à l’autre.

Les figures qui suivent montrent la courbe de coût marginal et la courbe de coût total pour l’ensemble des secteurs. Les courbes de coût marginal par secteur figurent à l’annexe D. Pour la clarté des comparaisons entre secteurs, elles sont toutes présentées à la même échelle.

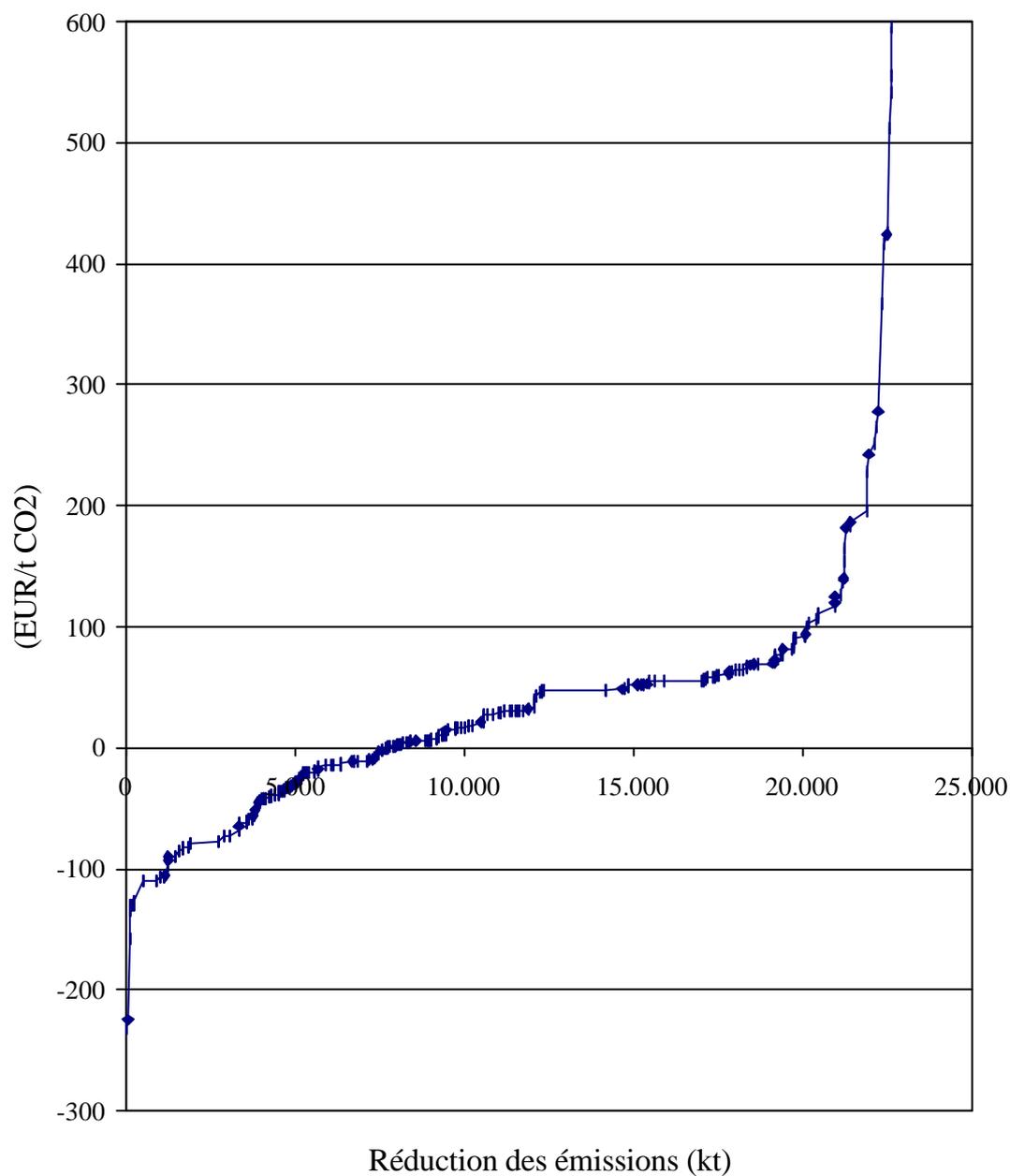
La comparaison des courbes sectorielles montre que la majeure partie du potentiel de réduction se situe dans l'industrie (rappelons toutefois qu'on n'a pas pris en compte de mesures pour le secteur des transports).

En ce qui concerne la courbe relative à la production d'électricité à partir d'énergie renouvelable, il faut rappeler que le « potentiel technique » utilisé pour les énergies renouvelables représente les objectifs officiels des Régions à l'horizon 2010 pour la production d'électricité à partir d'énergie renouvelable ; il ne couvre donc pas l'ensemble du potentiel technique des sources d'énergie renouvelables. En revanche, le coût des mesures tient compte de la prime à l'électricité produite que constituent les 'certificats verts'.

La courbe de coût marginal globale met en évidence l'importance du potentiel à coût négatif, qui se situe lui aussi en majeure partie dans l'industrie. L'existence de ce potentiel de mesures d'économie d'énergie rentables est confirmée par les études de sites industriels effectuées depuis plusieurs années par ECONOTEC dans des secteurs variés au moyen de la méthode Energy Potential Scan. D'une manière générale, il s'avère qu'il existe un potentiel significatif d'économies d'énergie au moyen d'investissements dont le payback time n'excède pas 1 ou 2 ans.

Dans la partie de la courbe à coût négatif se situent principalement des mesures de bonne gestion et d'utilisation rationnelle de l'électricité dans l'industrie, la modification des comportements en matière de chauffage dans le résidentiel et tertiaire, ainsi que le remplacement du chauffage électrique par du gaz naturel (rappelons que cette évaluation est faite au moyen du facteur d'émission marginal de l'électricité, supposé être celui d'une centrale électrique TGV).

Coût marginal de réduction des émissions  
de CO2 en 2010  
(à partir du scénario de référence)  
**Belgique - TOUS SECTEURS (sauf le transport)**  
Taux d'actualisation 10-15-30%

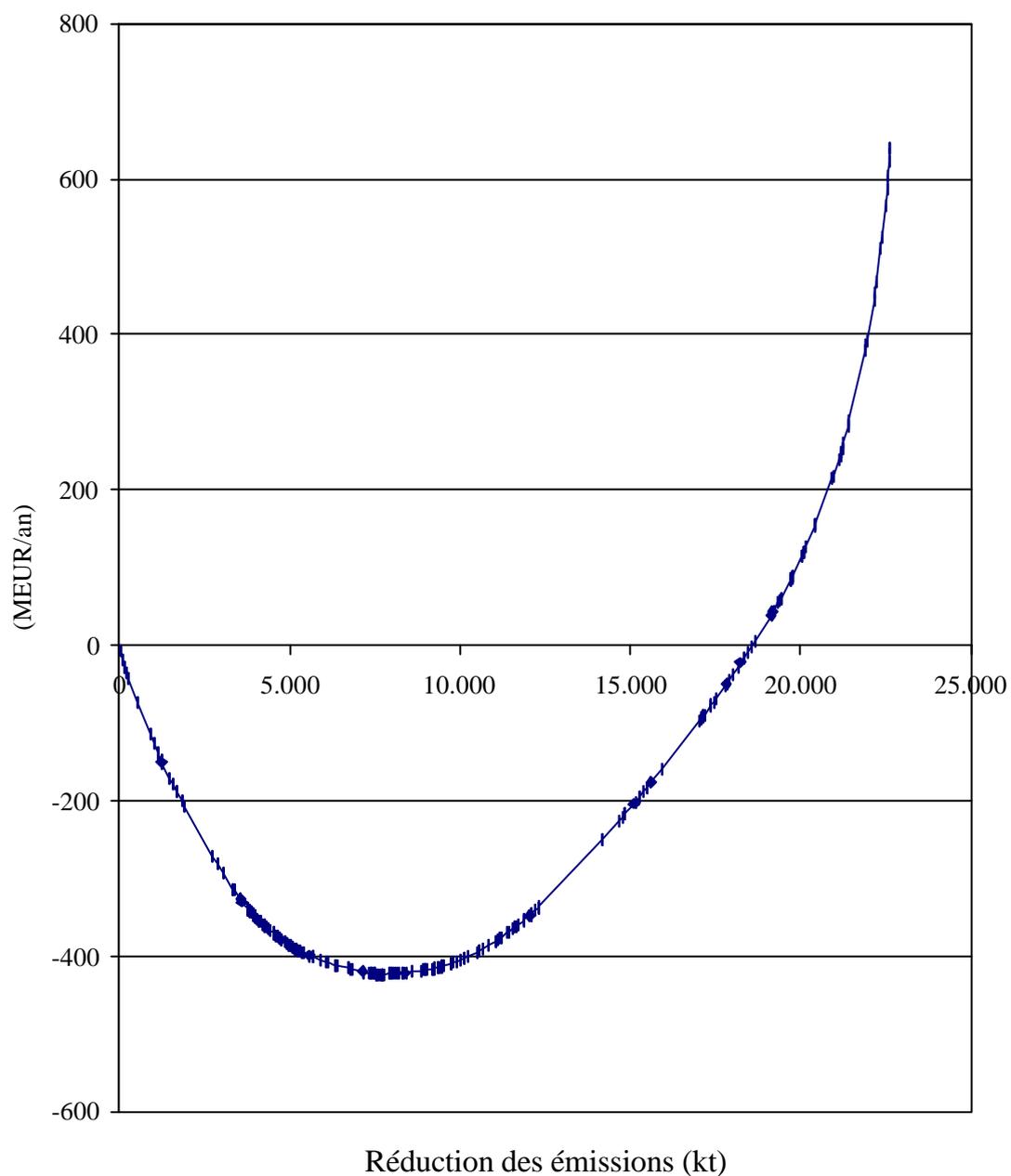


Coût total annuel de réduction des émissions de CO2 en  
2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - TOUS SECTEURS (sauf le transport)**

Taux d'actualisation 10-15-30%



## Courbes de coût Energie primaire

Les courbes de coût d'énergie primaire sont construites de la même manière que les courbes CO<sub>2</sub>, mais en traçant soit le coût marginal, soit le coût total, de réduction de la consommation énergétique en fonction du niveau cumulé de réduction de cette consommation énergétique. Les mesures sont ici considérées dans l'ordre croissant de coût par GJ économisé plutôt que du coût à la tonne de CO<sub>2</sub>.

Il est à remarquer pour calculer l'équivalent énergie primaire de la réduction de la consommation d'électricité, nous avons, en suivant la logique utilisée pour le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> de l'électricité, divisé la consommation finale d'électricité par le rendement *marginal* à long terme de la production, du transport et de la distribution d'électricité.

La figure suivante montre la courbe de coût marginal énergie primaire pour l'ensemble des secteurs (hors transport). Les courbes correspondantes par secteur figurent à l'annexe C.

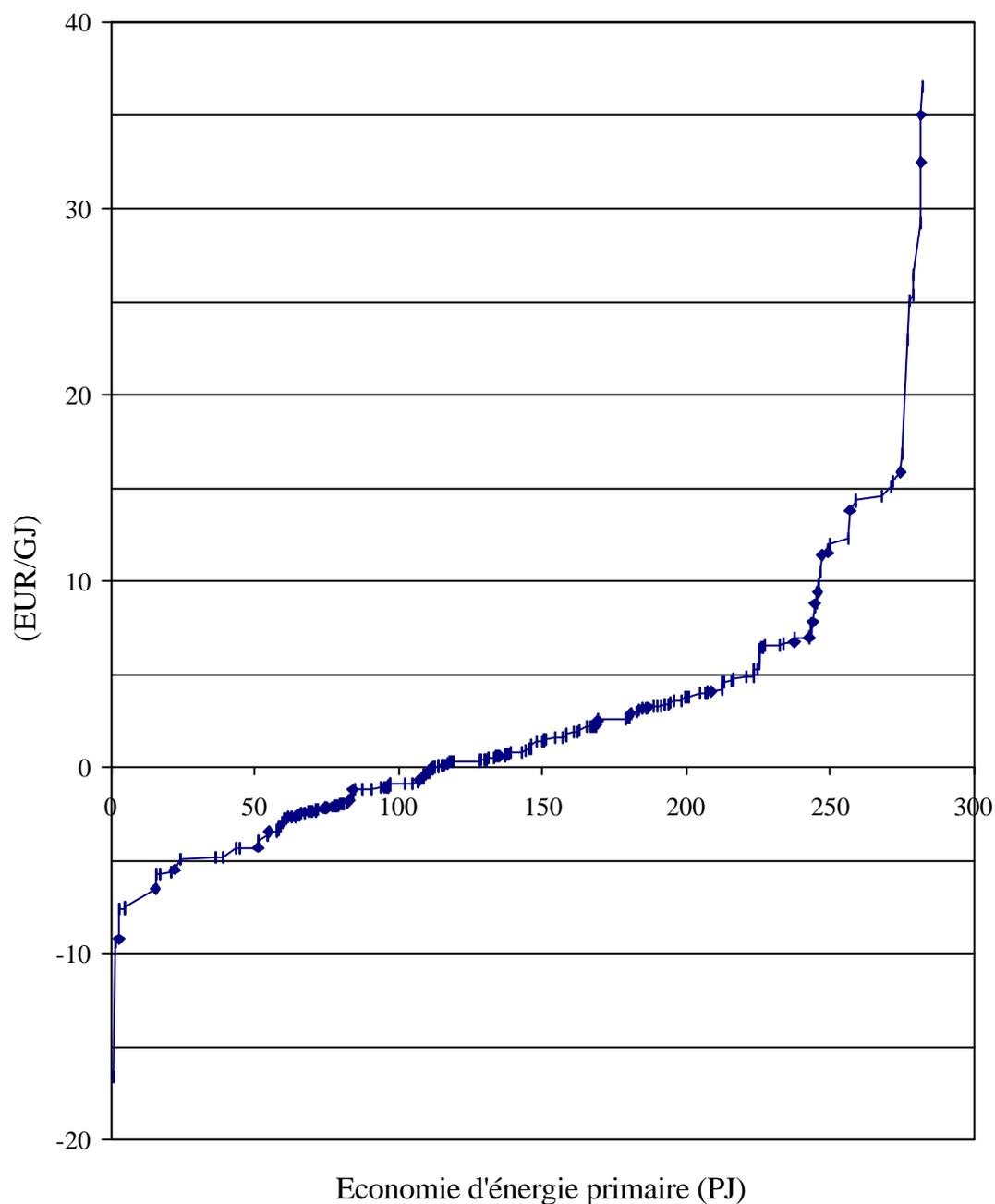
Il est à remarquer que la forme de ces courbes diffère de celle des courbes de coût CO<sub>2</sub> en bonne partie par le fait qu'elles ne sont pas affectées dans la même mesure par les substitutions énergétiques.

Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - TOUS SECTEURS (sauf le transport)**

Taux d'actualisation 10-15-30%



## Emissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O

En sus des mesures de réduction déjà prises en compte dans le scénario de référence, les principales mesures complémentaires pouvant être envisagées pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O sont les suivantes :

### CH<sub>4</sub>

#### *Décharges*

- Extension de la récupération et de la valorisation énergétique ou de l'incinération du gaz de décharge

#### *Réseaux de distribution de gaz naturel*

- Limitation des pertes

#### *Agriculture*

- Modification de l'alimentation des bovins (remplacement de fourrage par des concentrés, réduction de la teneur en fibres des aliments)
- Digestion anaérobie des effluents liquides
- Réduction de la durée du stockage intermédiaire des effluents devant subir un traitement

### N<sub>2</sub>O

#### *Production d'acide nitrique*

- Réduction catalytique du N<sub>2</sub>O des fumées

#### *Agriculture*

- Réduction complémentaire des apports en azote dans l'amendement des sols
- Modification de l'alimentation animale (réduction de la teneur en protéines)

Une limitation complémentaire des cheptels permettrait aussi une réduction des émissions nationales tant de CH<sub>4</sub> que de N<sub>2</sub>O. Remarquons cependant que si cette réduction ne s'accompagne pas d'une diminution de consommation des produits de l'élevage, cette mesure risque de se traduire par une simple délocalisation des émissions à l'étranger.

Le potentiel global de réduction de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O ces mesures complémentaires n'a pas été quantifié, et ce pour deux raisons. D'une part, il est difficile de préciser un potentiel 'technique' pour l'agriculture, principale source d'émission, en raison de l'incertitude qui subsiste sur des paramètres clés tels que la contribution de modifications de l'alimentation animale, l'ampleur possible d'une réduction des cheptels, le type de traitement qui sera appliqué pour éliminer les excédents de lisiers (qui pourrait influencer les émissions de N<sub>2</sub>O à la hausse comme à la baisse selon le procédé) et la durée de stockage des effluents.

D'autre part, les émissions de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O et NH<sub>3</sub> de l'agriculture sont souvent interdépendantes, une diminution des émissions d'un polluant pouvant entraîner

l'augmentation de celles d'un autre. Les mesures de réduction devraient donc être considérées d'un point de vue global. En pratique, celles permettant de réduire les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O ont généralement en priorité pour objet la réduction d'autres pollutions (telles que la concentration en nitrates des nappes aquifères et les émissions d'ammoniac), si bien qu'il est difficile d'évaluer le coût des mesures imputable à la seule réduction de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O et ainsi de déterminer un potentiel 'économique' pour ces gaz.

On peut toutefois fournir une estimation du potentiel pour la principale autre source d'émission, à savoir la production d'acide nitrique, pour laquelle différents procédés catalytiques de réduction des émissions de N<sub>2</sub>O sont actuellement en cours de développement ou de démonstration. Des tests effectués en sites réels (notamment chez BASF à Anvers, avec une conversion à haute température) montrent que le rendement de réduction peut atteindre de l'ordre de 80%, mais les performances et la durée de vie du catalyseur doivent encore être confirmés (Kuhn, 2001). Si ces résultats se confirment et que cette technique peut être appliquée à l'ensemble de la capacité belge d'ici 2010, le potentiel correspondant s'élèverait, sur base des émissions de notre scénario de référence, à environ 3,5 Mt CO<sub>2</sub>. Le coût de la destruction du N<sub>2</sub>O à haute température ne devrait pas dépasser 1 €/t CO<sub>2</sub> ; pour d'autres techniques, il pourrait s'élever jusqu'à 2 ou 3 €/t CO<sub>2</sub> (Pottier, 2001).

## Conclusions

Dans le cadre du projet « Analyse des options de réduction des émissions des gaz à effet de serre et des précurseurs d’ozone troposphérique », la mission d'ECONOTEC a consisté à poursuivre le développement du modèle EPM, en réalisant une nouvelle version de celui-ci dans un environnement de base de données, ainsi qu’à appliquer le modèle pour fournir une contribution à l’élaboration de politiques de réduction des émissions.

Dans une première phase, les efforts ont porté sur les émissions de NO<sub>x</sub> et de COV. Les résultats de ces travaux ont notamment été valorisés dans le cadre de la préparation du Protocole de Göteborg et de la directive européenne sur les plafonds nationaux d’émissions.

La deuxième partie de la recherche a été consacrée aux principaux gaz à effet de serre concernés par le protocole de Kyoto, à savoir le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O. La priorité a été accordée au CO<sub>2</sub>, qui concerne l’ensemble des activités économiques et qui, en tonnes équivalent-CO<sub>2</sub>, représente plus de 80% du total des émissions de gaz à effet de serre.

Le rapport décrit les principales caractéristiques du modèle EPM et présente les résultats d’une analyse prévisionnelle des émissions de CO<sub>2</sub> et des autres gaz à effet de serre pour la Belgique à l’horizon 2010.

Pour couvrir l’ensemble des gaz concernés par le protocole de Kyoto, le scénario de référence inclut également une première estimation pour les gaz fluorés (HFC, PFC, SF<sub>6</sub>).

Les résultats obtenus montrent que dans le scénario de référence, correspondant à l’évolution attendue des émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O en l’absence de politique nouvelle de réduction des émissions, les émissions de l’ensemble des six gaz concernés par le protocole de Kyoto, exprimées en équivalents-CO<sub>2</sub>, augmentent de 21% entre 1990 et 2010. L’écart à combler par rapport au protocole de Kyoto est de 41,2 Mt éq-CO<sub>2</sub>, soit 24% des émissions du scénario de référence en 2010.

Le potentiel de réduction des émissions a été évalué en détail pour le CO<sub>2</sub>, pour l’ensemble des sources d’émission à l’exception du secteur des transports. Des courbes de coût de réduction ont notamment été construites. Les résultats du modèle montrent un potentiel important (9 Mt CO<sub>2</sub>) de mesures à coût négatif (compte tenu des économies d’énergie et des ‘certificats verts’, et hors coûts de transaction). Les mesures dont le coût à la tonne de CO<sub>2</sub> est inférieur au niveau de la taxe CO<sub>2</sub> envisagée dans le

Plan National Climat (11,5 EUR<sub>90</sub>/T CO<sub>2</sub><sup>22</sup>) représentent un potentiel de 11 Mt CO<sub>2</sub>, le potentiel de réduction maximum étant de 22 Mt CO<sub>2</sub>.

Ces potentiels restent cependant bien en deçà de l'objectif du protocole de Kyoto.

Les options pour combler le solde sont essentiellement : une substitution accrue vers le gaz naturel dans le résidentiel et le tertiaire ; des mesures dans le secteur des transports ; l'adaptation de variables d'activité (abaissement de certains niveaux de production, de la mobilité ...) ; les mesures pour les autres gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, gaz fluorés) ; ainsi que le recours aux mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto (emission trading, joint implementation, clean development mechanisms).

Le potentiel global de réduction des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O n'a pas été quantifié, d'une part en raison de la difficulté de préciser un potentiel 'technique' dans l'agriculture, principale source de ces émissions, et d'autre part du fait que les mesures de réduction envisageables dans ce secteur sont surtout motivées par la réduction d'autres pollutions (concentration en nitrates de la nappe aquifère, émissions de NH<sub>3</sub>), ce qui rend plus difficile une évaluation du coût imputable aux seuls CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, et donc l'évaluation d'un potentiel 'économique' pour ces gaz.

Une évaluation est toutefois possible pour les émissions de N<sub>2</sub>O provenant de la production d'acide nitrique. Sous réserve de confirmation des résultats de tests effectués dans des sites réels de production, il existerait pour cette source un potentiel à relativement faible coût (en deçà de 1 à 3 €/t CO<sub>2</sub>, selon les techniques) de l'ordre de 3,5 Mt CO<sub>2</sub>.

Les résultats qui précèdent ne doivent pas être considérés comme figés. Ils découlent d'un grand nombre de données et d'hypothèses, qui sont basées sur la meilleure information disponible, mais sur lesquelles subsiste souvent une marge d'incertitude significative et qui sont susceptibles de devoir être modifiées à l'avenir.

Au-delà des résultats ponctuels présentés dans ce rapport, le modèle EPM est avant tout un outil permettant de tester des hypothèses et, en tant que tel, un instrument de dialogue avec les acteurs concernés (pouvoirs publics, secteurs industriels...).

Dans le cadre du projet, ECONOTEC a, au cours de l'année 2001, collaboré avec le Bureau fédéral du Plan à une étude sur un couplage du modèle EPM avec le modèle macro-sectoriel HERMES. Cette étude a permis la construction de scénarios d'émissions de CO<sub>2</sub> avec prise en compte de l'impact macro-économique du potentiel de réduction estimé par le modèle EPM. Les résultats de cette analyse ont été utilisés pour l'élaboration de la troisième 'Communication nationale' de la Belgique<sup>23</sup> ainsi que du Plan National Climat 2002-2012.

Par ailleurs, le modèle a été utilisé dans le cadre de la préparation du Plan Air de la Région wallonne.

---

<sup>22</sup> Soit 14 EUR<sub>00</sub>/t CO<sub>2</sub>.

<sup>23</sup> Dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

## Références

AMPERE (2000) : *Rapport de la Commission pour l'Analyse des Modes de Production d'Electricité et le Redéploiement des Energies au Secrétaire d'Etat à l'Energie et au Développement Durable.*

BMU (1997) : *Zweiter Bericht der Bundesregierung nach dem Rahmenübereinkommen der UN über Klimaänderungen*, Bundesministerium für Umwelt.

Bureau fédéral du Plan & ECONOTEC (2001) : *Evaluation de l'impact des mesures fiscales et non fiscales sur les émissions de CO<sub>2</sub>*, décembre 2000.

DVGW (1994) : *Methanfreisetzung in der öffentlichen Gasversorgung der Bundesrepublik Deutschland*, Gas-Information G4-3/94, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

ECONOTEC (1993) : *Modélisation technico-économique du secteur domestique*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGTRE.

ECONOTEC (1993) : *Construction de scénarios prévisionnels des émissions de CO<sub>2</sub> de l'industrie en Région wallonne*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1994) : *Evaluation technico-économique du potentiel de réduction des émissions de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> en Région wallonne à l'horizon 2000*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1995) : *Emissions de CO<sub>2</sub> en Belgique à l'horizon 2000-2005 - Scénario de référence*, étude réalisée pour les Services fédéraux des Affaires scientifiques techniques et culturelles (SSTC).

ECONOTEC (1995) : *Emissions de CO<sub>2</sub> en Belgique à l'horizon 2000-2005 - Scénarios alternatifs*, étude réalisée pour les Services fédéraux des Affaires environnementales.

ECONOTEC (1996) : *Emissions de composés organiques volatils en Région wallonne à l'horizon 2000-2005*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1996) : *Contribution du modèle EPM à l'estimation des mesures fiscales et non fiscales prévues dans le programme belge de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>*, étude réalisée pour les Services fédéraux des Affaires scientifiques techniques et culturelles (SSTC).

ECONOTEC (1996) : *Analyse prévisionnelle de la demande d'électricité à un horizon de 10 ans*, étude réalisée pour le Ministère des Affaires économiques.

ECONOTEC (1997a) : *Analyse prévisionnelle des émissions des gaz à effet de serre CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O et CO en Région wallonne à l'horizon 2000-2005*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1997b) : *Analyse prévisionnelle des émissions de CO2 en Région wallonne à l'horizon 2005-2010*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1998) : *Perspectives d'émissions de COV en Région wallonne à l'horizon 2005-2010*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1999) : *Analyse prévisionnelle des émissions de COV et de NOx en Belgique à l'horizon 2010*, étude réalisée pour les Services fédéraux des Affaires scientifiques techniques et culturelles (SSTC).

ECONOTEC (1999) : *Analyse prévisionnelle des émissions de SO2 en Région wallonne à l'horizon 2010*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (2000) : *Développement du modèle EPM pour l'analyse prévisionnelle des émissions atmosphériques*, étude réalisée pour les Services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC).

ECONOTEC (2001) : *Application du modèle EPM au développement de scénarios d'émissions de CO2 à l'horizon 2010, Rapport d'avancement*, étude réalisée pour les Services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC), avril 2001.

EEA (1999) : *COPERT III – Methodology and Emission Factors*, European Environment Agency.

EFMA (2000) : *Best available techniques for pollution prevention and control in the fertilizer industry – Production of nitric acid*, European Fertilizer Manufacturers' Association.

EFMA (2001) : *Forecast of food, farming and fertilizer use in the European Union 2000-2010*, European Fertilizer Manufacturers' Association.

FIGAZ (2001) : *Annuaire statistique 2000*.

IFEU (2000) : *Energy consumption and pollutant emissions from road transport in Belgium 1980 to 2020*, study commissioned by FEBIAC, Brussels.

Institut Wallon (1977) : *Demande de chaleur techniquement cogénéritable pour la Région wallonne et pour la Région de Bruxelles-Capitale*, étude réalisée pour Electrabel.

Institut Wallon (2000a) : *Recueil de statistiques énergétiques wallonnes 1980-1998*, établi pour le Ministère de la Région wallonne, DGTRE.

Institut Wallon (2000b) : *Bilans énergétiques pour la Région de Bruxelles-Capitale*, établis pour le compte de l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2000.

IPCC (1996) : *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 1 : Reporting instructions, Vol. 2 Workbook ; Vol. 3 : Reference Manual.*

IPCC (2001) : *Climate Change 2001*, Cambridge University Press.

Kuhn G. (2001) : *Experiments on N<sub>2</sub>O destruction in ammonia burners*, BASF, presented at NOXCONF, International Conference on industrial atmospheric pollution, Paris, March 2001.

Plan National Climat (2002) : *Plan National Climat 2002-2012*, préparé par le Secrétaire d'Etat à l'Energie et au Développement Durable et approuvé par les gouvernements fédéral et régionaux en mars 2002.

Pottier M. (2001) : *Techniques de réduction des émissions des ateliers d'acide nitrique*, NOXCONF, International Conference on industrial atmospheric pollution, Paris, March 2001.

RUG (1996) : *Onderzoeks- en ontwikkelingsovereenkomst inzake de NH<sub>3</sub>-emissies door de landbouw*, in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij.

Services fédéraux pour les Affaires environnementales (1999) : *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en Belgique 1990-1996/1997 – Rapport à la Conférence des Parties à la Convention-Cadre des Nations unies sur les changements climatiques.*

SITEREM (2001) : *Estimation des émissions dans l'air de CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O par le secteur agricole en Région wallonne*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

Van Moortel E., Boeckx P., Van Cleemput O. (2000) : Inventory of nitrous oxide emissions from agriculture in Belgium – calculations according to the revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change guidelines, *Biol Fertil Soils* 30 : 500-509.

Vito (1997) : *Energetisch potentieel warmtekrachtkoppeling in België*, étude réalisée pour Electrabel en collaboration avec l'Institut Wallon.

Vito (2000a) : *Energiebalans Vlaanderen 1998 : onafhankelijke methode.*

Vito (2000b) : *Technisch-economisch onderzoek naar de haalbaarheid en de implementatie van emissiereductiestrategieën voor CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O broeikasgassen - Deelrapport*, studie uitgevoerd in opdracht van AMINAL.

VUB (2000) : *Technisch-economisch onderzoek naar de haalbaarheid en de implementatie van emissiereductiestrategieën voor CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O broeikasgassen - Deelrapport*, studie uitgevoerd in opdracht van AMINAL.

## Annexes

### A. Liste des secteurs (émissions de CO2)

#### **Transformation de l'énergie (hors autopr.)**

*Fabriques d'agglomérés (transformation)*

*Cokeries (input transformation)*

*Producteurs et distributeurs d'électricité*

#### **Cons. secteur énergie**

*Mines de charbon*

*Raffineries (cons. secteur énergie)*

raffineries hors autoproduction

autoproduction existante raffineries

*Centrales électr. (cons. sect. énergie)*

*Pompage + centrales hydrauliques*

*Consommation pour transport et distribution*

*Pertes pour le transport et la distribution*

*Autres utilisations du secteur énergétique*

*Non spécifiés (cons. sect. énergie)*

#### **Industrie**

*Cokeries (cons. sect. énergie)*

*Sidérurgie*

agglomération

hauts fourneaux - cowpers

haut fourneau - hors cowpers

aciéries O2

aciéries électriques indépendantes

aciéries électriques intégrées

laminoirs à chaud

traitements à froid

DRI

autoproduction existante sidérurgie

autres entrepr. sidérurgiques

*Chimie*

éthylène

propylène

butadiène

aromatiques

oxyde d'éthylène

styrène

phénol

acide téréphtalique

chlorure de vinyle

PVC

polypropylène

polyéthylène

polystyrène

polyuréthane

acide phosphorique

acide sulfurique (partim intégré)

chlore

oxygène

azote

ammoniac

autoproduction existante chimie

solde de la chimie

*Métaux non ferreux - avec SsSect*

blisters cuivre

cuivre raffiné et alliages  
zinc  
plomb (wat. jacket + raff. therm.)  
plomb (recyclage therm.)  
demi-produits cuivre  
demi-produits aluminium  
autoproduction existante non ferreux  
autres métaux non ferreux  
*Produits minéraux non métalliques*  
fours à clinker VH ciment gris  
fours à clinker VS ciment gris  
mouture ciment  
clinker ciment blanc  
verre plat  
verre creux  
autres verres (fibres)  
production de chaux  
autres minéraux non métall.  
*Fabrications métalliques*  
ouvrages en métaux  
construction électrique  
chauffage locaux fabr. métall.  
autoproduction existante fabric. métall.  
solde fabrications métalliques  
*Industries extractives*  
*Produits alimentaires, boissons, tabac*  
laiteries  
sucrieries  
autoproduction existante prod. aliment.  
autres produits alimentaires  
*Imprimeries, pâtes et papier*  
pâte chimique  
pâte mécanique  
papiers graph. - intégrés à prod. pâte  
papiers graph. - non intégrés à pr. pâte  
cartons  
papiers ménagers  
autres papiers  
recyclage vieux papiers  
autoprod. exist. papier & pâte  
solde imprimeries, papier, carton  
*Bois, ouvrages en bois*  
*Construction*  
*Textiles et cuir - avec SsSect*  
autoproduction existante textile & cuir  
textile & cuir hors autoproduction  
*Industrie - non spécifiés bilan MAE*  
*Usages non énergétiques*

## **Transport**

*Transport routier*  
*Transport routier de personnes*  
*Transport routier de marchandises*  
*Transport ferroviaire*  
*Transport fluvial*

## **Résidentiel**

*Usages domestiques*  
*Chauffage maisons existantes*  
chauffage maisons exist. non él.  
chauffage maisons exist élect.  
*Chauffage maisons neuves*

- chauffage maisons neuves non él.
- chauffage maisons neuves élect.
- Chauffage appartements existants*
  - chauffage appart. exist. non él.
  - chauffage appart. exist. élect.
- Chauffage appartements neufs*
  - chauffage appart. neufs non él.
  - chauffage appart. neufs élect.
- Eau chaude sanitaire logements existants*
  - ECS logements exist. - non élect.
  - ECS logements exist. - électrique
- Usages spécifiques de l'électr. résid.*
  - cuisson
  - four à micro-ondes
  - réfrigérateurs
  - congélateurs horizontaux
  - congélateurs verticaux
  - combinés (froid + congélation)
  - lave linge
  - sèche-linge
  - lave-vaisselle
  - radio, TV
  - éclairage résid.
  - circulateurs
  - ordinateurs
  - petit électroménager
  - chauffage électrique d'appoint

## **Tertiaire**

- Commerce et services*
  - Commerce*
    - commerce de gros < 2500 m2
    - commerce de gros > 2500 m2
    - commerce de détail HT < 2500 m2
    - commerce de détail HT > 2500 m2
    - commerce de détail BT self < 400m2
    - commerce de détail BT autre alim.
    - commerce de détail BT autres
    - supermarchés
    - horeca
  - Transport et communications (tertiaire)*
    - bureaux < 2000 m2
    - bureaux > 2000 m2
    - autres transport et communications
  - Banques, assur., services entreprises*
    - banques etc. < 2000 m2
    - banques etc. 2 à 10.000 m2
    - banques etc. > 10.000 m2
  - Enseignement*
    - enseignement public
    - enseignement privé et libre
    - enseignement univers. et recherche
  - Soins de santé*
    - hôpitaux
    - autres soins de santé
  - Culture, sports et loisirs*
    - piscines
    - autres culture et sports
  - Administrations publiques*
    - admin. publ. < 2000 m2
    - admin. publ. 2000 à 10.000 m2

admin. publ. > 10.000 m2  
*Autres services tertiaire*  
*Divers (tertiaire)*  
éclairage public  
eau  
déchets (tertiaire)

**Agriculture**

**Prod. électricité renouvelable**

*Energie hydro-électrique*  
*Eolien onshore*  
*Eolien offshore*  
*Déchets forestiers*  
*Cultures énergétiques*  
*Biométhanisation déchets ménagers*  
*Biométhanisation de boues d'épuration*  
*Biométhanisation industrie agro-alimentaire*  
*Biométhanisation d'effluents d'élevage*

**Exportation nette d'électricité**

## B. Facteurs d'émission de CO2 des combustibles

	Facteur d'émission carbone (kg/GJ)	Fraction oxydée	Facteur d'émission de CO2 (kg/GJ)
charbon	25,8	98,0%	92,7
coke de cokerie	29,5	98,0%	106,0
lignite	27,6	98,0%	99,2
terril	25,8	98,0%	92,7
goudron	28,0	98,0%	100,6
fuel extra-lourd	21,1	99,0%	76,6
gasoil	20,2	99,0%	73,3
kérosène	19,5	99,0%	70,8
essence	18,9	99,0%	68,6
LPG	17,2	99,0%	62,4
gaz de raffineries	20,0	99,0%	72,6
coke de pétrole	27,5	99,0%	99,8
autres produits pétroliers	20,0	99,0%	72,6
gaz naturel	15,3	99,5%	55,8
gaz de cokerie	13,0	99,5%	47,4
gaz de haut fourneau	70,4	99,5%	256,8
recup. pâte & papier	0,0	100,0%	0,0
autres déchets	24,0	100,0%	88,0
bois de chauffage	0,0	98,0%	0,0
autres combustibles	20,0	99,0%	72,6

## C. Liste des mesures de réduction des émissions de CO2

### **Secteur de la production d'électricité**

#### *Substitution énergétique*

Remplacement du charbon par du gaz naturel dans les centrales électriques existantes

### **Industrie**

#### *Bonne gestion*

Air comprimé

Bonne gestion combustibles - industrie

Bonne gestion électricité - industrie

Chauffage des locaux

URE process

#### *Récupération de chaleur*

Acier électrique : gaz pour la préchauffe des ferrailles

Acier O2 : chaleur des gaz

Agglomération : recirculation des fumées

Agglomération : récupération sur l'air de refroidissement

Agglomération : récupération de chaleur sur les fumées

Coulée : eaux de refroidissement

Dry coke quenching

HF : chaleur résiduelle fumées cowpers

HF : chaleur du laitier

HF : turbines de contrepression

Laminoirs à chaud : chaleur de l'eau refroidissement

Laminoirs : récupération sur fumées

NH3 : récupération H2

Préchauffe calcin

Préchauffe des mat. premières - verre plat

Récupération de chaleur

Vapeur et électricité par récupération sur fumées - verre plat

Vapeur par récupération sur les fumées - verre plat

#### *Récupération de combustible*

HF : récupération gaz de torchère

NH3 : export de vapeur

Récupération gaz d'aciérie O2

#### *Recyclage de matériaux*

HF : augmentation ferrailles à l'aciérie

#### *Moteur à vitesse variable*

Variateur de vitesse moteurs machines

Variation de vitesse compresseurs

Variation vitesse moteurs pompes

Variation vitesse ventilateurs

Variation vitesse ventilateurs réfrigération

#### *Intégration énergétique*

Intégration énergétique

#### *Isolation thermique*

Isolation de la partie statique des fours chauds rotatifs avec préchauffage

Meilleure isolation partie stat. fours clinker

#### *Eclairage efficace*

Eclairage efficace

#### *Changement de procédé*

Chlore : membranes

Métallurgie en poches

Mout. ciment par presse à rouleaux

Mout. presse rouleaux et boulets

MVC alimentation

MVC chimie

Oxy-combustion autres verres  
Oxy-combustion verre creux  
Strip casting (Nucor)  
Transformation voie humide en voie sèche  
*Equipements à meilleur rendement*  
Agglomération : hottes d'allumage  
Amélioration préparation du cru  
HF : augmentation de la t° vent chaud  
HF : enrichissement vent chaud à l'O2  
Hot connection  
Moteur électrique HR (force motrice)  
Pompes plus performantes  
Remplacement fours à chaux droits simples  
Slabbing furnace (recup. burners)

#### *Cogénération*

Cogénération moteur à gaz - industrie  
Cogénération turbine à gaz - industrie

#### *Substitution énergétique*

Substitution de combustibles solides ciment VH  
Substitution de combustibles solides ciment VS  
Substitution de fuel résiduel dans l'industrie

### **Résidentiel**

#### *Modification de comportements*

Modification des comportements en chauffage résidentiel

#### *Isolation thermique*

Double vitrage low E appartements neufs  
Double vitrage low E dans maisons neuves  
Isolation de la dalle de sol - résidentiel  
Isolation des murs extérieurs - résidentiel  
Isolation des toitures - résidentiel  
Remplacement de vitrage simple par vitrage double  
Vitrage super-isolant appartements neufs  
Vitrage super-isolant dans maisons neuves

#### *Eclairage efficace*

Lampes fluo-compactes dans le résidentiel

#### *Equipements à meilleur rendement*

Chaudière à condensation - appartements existants  
Chaudière à condensation - appartements neufs  
Chaudière à condensation - maisons existantes  
Chaudière à condensation - maisons neuves  
Pommeau de douche économe - logements neufs  
Pommeau de douche économe - logements existants

#### *Energie renouvelable*

Capteurs solaires production d'eau chaude sanitaire logements existants  
Capteurs solaires production d'eau chaude sanitaire logements neufs

#### *Substitution énergétique*

Remplacement du chauffage électrique appartements existants par gaz naturel  
Remplacement du chauffage électrique appartements neufs par gaz naturel  
Remplacement du chauffage électrique maisons existantes par gaz naturel  
Remplacement du chauffage électrique maisons neuves par gaz naturel

### **Tertiaire**

#### *Bonne gestion*

Gestion technique centralisée

#### *Modification de comportements*

Modification des comportements chauffage tertiaire  
Modification des comportements éclairage tertiaire

#### *Isolation thermique*

Double vitrage bâtiments existants tertiaire  
Isolation dalle du sol tertiaire  
Isolation des murs extérieurs tertiaire

Isolation toiture tertiaire  
Vitrage basse émissivité bâtiments neufs tertiaire

*Eclairage efficace*

Changement diffuseurs éclairage tertiaire  
Contrôle automatique de l'éclairage tertiaire  
Lampes fluo-compactes tertiaire

*Equipements à meilleur rendement*

Chaudière à condensation bâtiments existants tertiaire  
Chaudière à condensation bâtiments neufs tertiaire

*Cogénération*

Cogénération moteur à gaz Administrations publiques  
Cogénération moteur à gaz Banques, assur.  
Cogénération moteur à gaz Commerce  
Cogénération moteur à gaz Culture, sports & loisirs  
Cogénération moteur à gaz Enseignement  
Cogénération moteur à gaz Soins de Santé  
Cogénération moteur à gaz Transport & communications

*Energie renouvelable*

Capteurs solaires ECS tertiaire

**Prod. électricité renouvelable**

*Energie renouvelable*

Biométhanisation de boues d'épuration  
Biométhanisation de déchets ménagers  
Biométhanisation effluents d'élevage  
Biométhanisation industrie agro-alimentaire  
Cultures énergétiques  
Déchets forestiers  
Energie hydro-électrique  
Eolien offshore  
Eolien onshore

## D. Tableaux et courbes de coût

Les tableaux présentent successivement les résultats des trois scénarios d'émissions de CO2 suivants :

- scénario sans plafond de coût (correspondant au potentiel 'technique'),
- scénario à plafond de 0 €/t CO2,
- scénario à plafond de 14 €/t CO2 (soit 11,5 €/t CO2),

chaque fois en comparaison avec le scénario de référence (business as usual).

Les émissions de CO2 sont présentées selon les deux options d'affectation des émissions de CO2 du secteur électrique :

- au secteur électrique (uniquement pour le scénario de référence),
- à la consommation finale d'électricité.

En ce qui concerne les mesures de réduction, les définitions suivantes sont d'application :

Coût d'invest. = Coût total d'investissement requis pour obtenir la réduction annuelle correspondante (il ne s'agit donc pas d'un coût annuel)

Coût net = Coût d'investissement annualisé + Coût annuel d'exploitation – Valeur de l'économie d'énergie annuelle

*N.B. Les nombres figurant dans les tableaux qui suivent n'ont qu'une précision apparente. C'est pour garder leur cohérence mathématique, tout en conservant les sources d'émissions de moindre importance, qu'ils n'ont pas été arrondis.*

BELGIQUE	Consommation nette d'énergie (TJ)						Evolution				
	1990	1997*	2010	2010	2010	2010	90-97	97-10	90-10	97-10	90-10
Scénario sans plafond de coût			Scén. Réf.	Substitution	Réduction	Scén. Réd.		Sc. Réf.	Sc.	Sc. Réd.	Sc. Réd.
<b>Secteur énergétique (hors autopr.)</b>	<b>552.956</b>	<b>609.164</b>	<b>629.103</b>	<b>0</b>	<b>-15.050</b>	<b>614.054</b>	<b>10%</b>	<b>3%</b>	<b>14%</b>	<b>1%</b>	<b>11%</b>
Production centralisée d'électricité	446.833	486.142	494.493	0	0	494.493	9%	2%	11%	2%	11%
Raffineries	59.652	93.341	103.600	0	-12.265	91.336	56%	11%	74%	-2%	53%
Cokeries	26.516	11.302	8.425		-2.785	5.640	-57%	-25%	-68%	-50%	-79%
Pertes de transp./distr. et divers	19.955	18.378	22.585		0	22.585	-8%	23%	13%	23%	13%
<b>Industrie</b>	<b>558.110</b>	<b>559.829</b>	<b>690.766</b>	<b>0</b>	<b>-130.445</b>	<b>560.320</b>	<b>0%</b>	<b>23%</b>	<b>24%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
Sidérurgie	212.610	180.525	208.963	0	-38.983	169.980	-15%	16%	-2%	-6%	-20%
Chimie	122.777	138.912	183.691	0	-43.580	140.111	13%	32%	50%	1%	14%
Produits minéraux non métalliques	79.475	80.610	93.540	0	-13.082	80.457	1%	16%	18%	0%	1%
Fabrications métalliques	23.026	24.061	36.454	0	-6.747	29.706	4%	52%	58%	23%	29%
Pâtes et papier	22.765	27.024	33.145	0	-4.480	28.665	19%	23%	46%	6%	26%
Alimentation	49.904	48.266	60.529	0	-11.266	49.263	-3%	25%	21%	2%	-1%
Autres industries	47.553	60.431	74.444	0	-12.307	62.136	27%	23%	57%	3%	31%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)					0	0					
<b>Transport</b>	<b>281.654</b>	<b>312.782</b>	<b>365.260</b>		<b>0</b>	<b>365.260</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>
Transport routier de personnes	188.312	217.103	256.466		0	256.466	15%	18%	36%	18%	36%
Transport routier de marchandises	82.146	84.493	96.657		0	96.657	3%	14%	18%	14%	18%
Transport ferroviaire	6.952	6.883	7.833		0	7.833	-1%	14%	13%	14%	13%
Transport fluvial	4.244	4.304	4.304		0	4.304	1%	0%	1%	0%	1%
<b>Domestique et équivalent</b>	<b>495.259</b>	<b>633.366</b>	<b>699.940</b>	<b>2.987</b>	<b>-51.990</b>	<b>650.937</b>	<b>28%</b>	<b>11%</b>	<b>41%</b>	<b>3%</b>	<b>31%</b>
Résidentiel	349.140	437.989	463.719	2.987	-43.792	422.914	25%	6%	33%	-3%	21%
Tertiaire	107.651	156.225	197.070		-10.063	187.007	45%	26%	83%	20%	74%
Agriculture - horticulture	38.467	39.152	39.152		1.865	41.017	2%	0%	2%	5%	7%
<b>Prod. électricité renouvelable</b>			<b>0</b>		<b>-11.908</b>	<b>-11.908</b>					
Energie éolienne			0		-7.053	-7.053					
Energie hydro-électrique			0		-320	-320					
Biomasse			0		-4.534	-4.534					
<b>Exportation nette d'électricité</b>	<b>13.847</b>	<b>-13.935</b>	<b>-23.630</b>		<b>0</b>	<b>-23.630</b>	<b>-201%</b>	<b>70%</b>	<b>-271%</b>	<b>70%</b>	<b>-271%</b>
Exportation nette d'électricité	13.847	-13.935	-23.630		0	-23.630	-201%	70%	-271%	70%	-271%
<b>Total général</b>	<b>1.901.826</b>	<b>2.101.206</b>	<b>2.361.439</b>	<b>2.987</b>	<b>-209.393</b>	<b>2.155.034</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>24%</b>	<b>3%</b>	<b>13%</b>

\* A climat corrigé

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)			Evolution		
	1990	1997*	2010 Scén. Réf.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc. Réf.
<b>Scénario de référence</b>						
<b>Secteur énergétique (hors autopr.)</b>	<b>27.867</b>	<b>29.064</b>	<b>37.314</b>	<b>4%</b>	<b>28%</b>	<b>34%</b>
Production centralisée d'électricité	21.335	21.511	29.124	1%	35%	37%
Raffineries	4.555	6.874	7.605	51%	11%	67%
Cokeries	1.590	363	270	-77%	-26%	-83%
Pertes de transp./distr. et divers	386	317	315	-18%	-1%	-18%
<b>Industrie</b>	<b>42.155</b>	<b>41.374</b>	<b>47.386</b>	<b>-2%</b>	<b>15%</b>	<b>12%</b>
Sidérurgie	17.401	12.107	13.319	-30%	10%	-23%
Chimie	6.256	7.811	9.346	25%	20%	49%
Produits minéraux non métalliques	9.932	10.025	10.555	1%	5%	6%
Fabrications métalliques	779	805	1.104	3%	37%	42%
Pâtes et papier	687	966	1.211	41%	25%	76%
Alimentation	3.038	2.444	2.790	-20%	14%	-8%
Autres industries	2.054	2.277	2.673	11%	17%	30%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2.009	4.939	6.389	146%	29%	218%
<b>Transport</b>	<b>19.757</b>	<b>21.973</b>	<b>25.739</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>
Transport routier de personnes	13.250	15.329	18.169	16%	19%	37%
Transport routier de marchandises	5.993	6.172	7.077	3%	15%	18%
Transport ferroviaire	202	156	178	-23%	14%	-12%
Transport fluvial	311	316	316	1%	0%	1%
<b>Domestique et équivalent</b>	<b>27.616</b>	<b>34.119</b>	<b>35.295</b>	<b>24%</b>	<b>3%</b>	<b>28%</b>
Résidentiel	20.619	24.862	25.206	-21%	1%	22%
Tertiaire	4.233	6.570	7.402	55%	13%	75%
Agriculture - horticulture	2.763	2.687	2.687	-3%	0%	-3%
<b>Total général</b>	<b>117.395</b>	<b>126.531</b>	<b>145.734</b>	<b>7,8%</b>	<b>15,2%</b>	<b>24,1%</b>

\* A climat corrigé

Emissions de CO2 du secteur électrique affectées au secteur électrique

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)						Evolution				
	1990	1997*	2010 Scén. Référ.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
<b>Scénario sans plafond de coût</b>											
<b>Secteur énergétique (hors autopr.)</b>	<b>6.757</b>	<b>7.784</b>	<b>8.351</b>	<b>-2.284</b>	<b>-1.335</b>	<b>4.732</b>	<b>15%</b>	<b>7%</b>	<b>24%</b>	<b>-39%</b>	<b>-30%</b>
Production centralisée d'électricité	-1.268	-1.283	-1.846	-1.841	0	-3.687	1%	44%	46%	187%	191%
Raffineries	4.626	7.091	7.878	-443	-1.183	6.252	53%	11%	70%	-12%	35%
Cokeries	1.653	397	298		-152	146	-76%	-25%	-82%	-63%	-91%
Pertes de transp./distr. et divers	1.745	1.579	2.021		0	2.021	-10%	28%	16%	28%	16%
<b>Industrie</b>	<b>52.171</b>	<b>52.761</b>	<b>63.941</b>	<b>-1.479</b>	<b>-11.033</b>	<b>51.429</b>	<b>1%</b>	<b>21%</b>	<b>23%</b>	<b>-3%</b>	<b>-1%</b>
Sidérurgie	18.874	13.796	15.863	-45	-3.588	12.229	-27%	15%	-16%	-11%	-35%
Chimie	9.620	11.588	14.647	-306	-3.379	10.962	20%	26%	52%	-5%	14%
Produits minéraux non métalliques	10.789	10.949	11.767	-740	-1.000	10.027	1%	7%	9%	-8%	-7%
Fabrications métalliques	1.803	1.792	2.829	26	-600	2.255	-1%	58%	57%	26%	25%
Pâtes et papier	1.366	1.531	2.007	-62	-416	1.530	12%	31%	47%	0%	12%
Alimentation	3.908	3.488	4.507	-211	-1.187	3.109	-11%	29%	15%	-11%	-20%
Autres industries	3.801	4.677	5.933	-141	-862	4.930	23%	27%	56%	5%	30%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2.009	4.939	6.389		0	6.389	146%	29%	218%	29%	218%
<b>Transport</b>	<b>20.180</b>	<b>22.416</b>	<b>26.259</b>		<b>0</b>	<b>26.259</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>
Transport routier de personnes	13.250	15.329	18.169		0	18.169	16%	19%	37%	19%	37%
Transport routier de marchandises	5.993	6.172	7.077		0	7.077	3%	15%	18%	15%	18%
Transport ferroviaire	625	600	698		0	698	-4%	16%	12%	16%	12%
Transport fluvial	311	316	316		0	316	1%	0%	1%	0%	1%
<b>Domestique et équivalent</b>	<b>36.891</b>	<b>44.870</b>	<b>49.454</b>	<b>-329</b>	<b>-4.839</b>	<b>44.285</b>	<b>22%</b>	<b>10%</b>	<b>34%</b>	<b>-1%</b>	<b>20%</b>
Résidentiel	25.452	30.369	31.398	-329	-2.904	28.164	19%	3%	23%	-7%	11%
Tertiaire	8.438	11.572	15.120		-1.457	13.663	37%	31%	79%	18%	62%
Agriculture - horticulture	3.002	2.929	2.936		-478	2.458	-2%	0%	-2%	-16%	-18%
<b>Prod. électricité renouvelable</b>			<b>0</b>		<b>-1.333</b>	<b>-1.333</b>					
Energie éolienne			0		-790	-790					
Energie hydro-électrique			0		-36	-36					
Biomasse			0		-508	-508					
<b>Exportation nette d'électricité</b>	<b>1.396</b>	<b>-1.301</b>	<b>-2.271</b>		<b>0</b>	<b>-2.271</b>	<b>-193%</b>	<b>75%</b>	<b>-263%</b>	<b>75%</b>	<b>-263%</b>
Exportation nette d'électricité	1.396	-1.301	-2.271		0	-2.271	-193%	75%	-263%	75%	-263%
<b>Total général</b>	<b>117.395</b>	<b>126.531</b>	<b>145.734</b>	<b>-4.092</b>	<b>-18.540</b>	<b>123.102</b>	<b>7,8%</b>	<b>15,2%</b>	<b>24,1%</b>	<b>-2,7%</b>	<b>4,9%</b>

\* A climat corrigé

Emissions de CO2 du secteur électrique affectées à la consommation finale d'électricité

<b>BELGIQUE</b>	<b>2010</b>	Réduction cons. énergie finale (TJ)	Réduction cons. énergie primaire (TJ)	Réduction émissions de CO2 (kt)	Coût invest. (M€)	Coût net (M€)
<b>Scénario sans plafond de coût</b>						
Bonne gestion		55.854	62.939	4.228	440	-135
Modification de comportements		22.770	23.373	1.513	0	-120
Récupération de chaleur		29.709	29.799	2.332	640	105
Récupération de combustible		389	389	22	9	2
Recyclage de matériaux		1.615	1.615	250	0	-4
Moteur à vitesse variable		9.398	18.843	1.052	375	-15
Intégration énergétique		6.311	6.311	374	95	7
Isolation thermique		21.372	21.372	1.388	2.999	185
Eclairage efficace		4.064	8.148	455	321	-15
Changement de procédé		23.411	23.422	1.346	596	99
Equipements à meilleur rendement		18.148	22.371	1.329	825	3
Cogénération		37.469	37.469	2.844	1.839	186
Energie renouvelable		12.957	25.044	1.406	2.592	127
Substitution énergétique		-2.987		4.092	877	210
<b>Total général</b>		<b>240.481</b>	<b>281.095</b>	<b>22.633</b>	<b>11.607</b>	<b>635</b>

BELGIQUE	Consommation nette d'énergie (TJ)						Evolution				
	1990	1997*	2010 Scén. Référ.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
<b>Plafond 0 €t CO2</b>											
<b>Secteur énergétique (hors autopr.)</b>	<b>552.956</b>	<b>609.164</b>	<b>629.103</b>	<b>0</b>	<b>-9.171</b>	<b>619.933</b>	<b>10%</b>	<b>3%</b>	<b>14%</b>	<b>2%</b>	<b>12%</b>
Production centralisée d'électricité	446.833	486.142	494.493	0	0	494.493	9%	2%	11%	2%	11%
Raffineries	59.652	93.341	103.600	0	-8.933	94.668	56%	11%	74%	1%	59%
Cokeries	26.516	11.302	8.425		-238	8.187	-57%	-25%	-68%	-28%	-69%
Pertes de transp./distr. et divers	19.955	18.378	22.585		0	22.585	-8%	23%	13%	23%	13%
<b>Industrie</b>	<b>558.110</b>	<b>559.829</b>	<b>690.766</b>	<b>0</b>	<b>-62.062</b>	<b>628.704</b>	<b>0%</b>	<b>23%</b>	<b>24%</b>	<b>12%</b>	<b>13%</b>
Sidérurgie	212.610	180.525	208.963	0	-14.723	194.240	-15%	16%	-2%	8%	-9%
Chimie	122.777	138.912	183.691	0	-18.193	165.498	13%	32%	50%	19%	35%
Produits minéraux non métalliques	79.475	80.610	93.540	0	-7.521	86.020	1%	16%	18%	7%	8%
Fabrications métalliques	23.026	24.061	36.454	0	-3.716	32.739	4%	52%	58%	36%	42%
Pâtes et papier	22.765	27.024	33.145	0	-3.632	29.513	19%	23%	46%	9%	30%
Alimentation	49.904	48.266	60.529	0	-7.963	52.567	-3%	25%	21%	9%	5%
Autres industries	47.553	60.431	74.444	0	-6.316	68.128	27%	23%	57%	13%	43%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)					0	0					
<b>Transport</b>	<b>281.654</b>	<b>312.782</b>	<b>365.260</b>		<b>0</b>	<b>365.260</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>
Transport routier de personnes	188.312	217.103	256.466		0	256.466	15%	18%	36%	18%	36%
Transport routier de marchandises	82.146	84.493	96.657		0	96.657	3%	14%	18%	14%	18%
Transport ferroviaire	6.952	6.883	7.833		0	7.833	-1%	14%	13%	14%	13%
Transport fluvial	4.244	4.304	4.304		0	4.304	1%	0%	1%	0%	1%
<b>Domestique et équivalent</b>	<b>495.259</b>	<b>633.366</b>	<b>699.940</b>	<b>1.245</b>	<b>-28.330</b>	<b>672.857</b>	<b>28%</b>	<b>11%</b>	<b>41%</b>	<b>6%</b>	<b>36%</b>
Résidentiel	349.140	437.989	463.719	1.245	-22.054	442.910	25%	6%	33%	1%	27%
Tertiaire	107.651	156.225	197.070		-6.319	190.750	45%	26%	83%	22%	77%
Agriculture - horticulture	38.467	39.152	39.152		44	39.196	2%	0%	2%	0%	2%
<b>Prod. électricité renouvelable</b>			<b>0</b>		<b>-4.382</b>	<b>-4.382</b>					
Energie éolienne			0		-1.938	-1.938					
Energie hydro-électrique			0		-319	-319					
Biomasse			0		-2.124	-2.124					
<b>Exportation nette d'électricité</b>	<b>13.847</b>	<b>-13.935</b>	<b>-23.630</b>		<b>0</b>	<b>-23.630</b>	<b>-201%</b>	<b>70%</b>	<b>-271%</b>	<b>70%</b>	<b>-271%</b>
Exportation nette d'électricité	13.847	-13.935	-23.630		0	-23.630	-201%	70%	-271%	70%	-271%
<b>Total général</b>	<b>1.901.826</b>	<b>2.101.206</b>	<b>2.361.439</b>	<b>1.245</b>	<b>-103.944</b>	<b>2.258.741</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>24%</b>	<b>7%</b>	<b>19%</b>

\* A climat corrigé

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)						Evolution				
	1990	1997*	2010 Scén. Référ.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
<b>Plafond 0 €t CO2</b>											
<b>Secteur énergétique (hors autopr.)</b>	<b>6.757</b>	<b>7.784</b>	<b>8.351</b>	<b>0</b>	<b>-721</b>	<b>7.630</b>	<b>15%</b>	<b>7%</b>	<b>24%</b>	<b>-2%</b>	<b>13%</b>
Production centralisée d'électricité	-1.268	-1.283	-1.846	0	0	-1.846	1%	44%	46%	44%	46%
Raffineries	4.626	7.091	7.878	0	-708	7.170	53%	11%	70%	1%	55%
Cokeries	1.653	397	298		-13	285	-76%	-25%	-82%	-28%	-83%
Pertes de transp./distr. et divers	1.745	1.579	2.021		0	2.021	-10%	28%	16%	28%	16%
<b>Industrie</b>	<b>52.171</b>	<b>52.761</b>	<b>63.941</b>	<b>0</b>	<b>-5.482</b>	<b>58.459</b>	<b>1%</b>	<b>21%</b>	<b>23%</b>	<b>11%</b>	<b>12%</b>
Sidérurgie	18.874	13.796	15.863	0	-1.301	14.561	-27%	15%	-16%	6%	-23%
Chimie	9.620	11.588	14.647	0	-1.560	13.086	20%	26%	52%	14%	36%
Produits minéraux non métalliques	10.789	10.949	11.767	0	-633	11.134	1%	7%	9%	2%	3%
Fabrications métalliques	1.803	1.792	2.829	0	-408	2.419	-1%	58%	57%	35%	34%
Pâtes et papier	1.366	1.531	2.007	0	-338	1.669	12%	31%	47%	9%	22%
Alimentation	3.908	3.488	4.507	0	-737	3.769	-11%	29%	15%	8%	-4%
Autres industries	3.801	4.677	5.933	0	-503	5.429	23%	27%	56%	16%	43%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2.009	4.939	6.389		0	6.389	146%	29%	218%	29%	218%
<b>Transport</b>	<b>20.180</b>	<b>22.416</b>	<b>26.259</b>		<b>0</b>	<b>26.259</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>
Transport routier de personnes	13.250	15.329	18.169		0	18.169	16%	19%	37%	19%	37%
Transport routier de marchandises	5.993	6.172	7.077		0	7.077	3%	15%	18%	15%	18%
Transport ferroviaire	625	600	698		0	698	-4%	16%	12%	16%	12%
Transport fluvial	311	316	316		0	316	1%	0%	1%	0%	1%
<b>Domestique et équivalent</b>	<b>36.891</b>	<b>44.870</b>	<b>49.454</b>	<b>-137</b>	<b>-2.336</b>	<b>46.981</b>	<b>22%</b>	<b>10%</b>	<b>34%</b>	<b>5%</b>	<b>27%</b>
Résidentiel	25.452	30.369	31.398	-137	-1.477	29.783	19%	3%	23%	-2%	17%
Tertiaire	8.438	11.572	15.120		-847	14.274	37%	31%	79%	23%	69%
Agriculture - horticulture	3.002	2.929	2.936		-11	2.925	-2%	0%	-2%	0%	-3%
<b>Prod. électricité renouvelable</b>			<b>0</b>		<b>-491</b>	<b>-491</b>					
Energie éolienne			0		-217	-217					
Energie hydro-électrique			0		-36	-36					
Biomasse			0		-238	-238					
<b>Exportation nette d'électricité</b>	<b>1.396</b>	<b>-1.301</b>	<b>-2.271</b>		<b>0</b>	<b>-2.271</b>	<b>-193%</b>	<b>75%</b>	<b>-263%</b>	<b>75%</b>	<b>-263%</b>
Exportation nette d'électricité	1.396	-1.301	-2.271		0	-2.271	-193%	75%	-263%	75%	-263%
<b>Total général</b>	<b>117.395</b>	<b>126.531</b>	<b>145.734</b>	<b>-138</b>	<b>-9.029</b>	<b>136.566</b>	<b>7,8%</b>	<b>15,2%</b>	<b>24,1%</b>	<b>7,9%</b>	<b>16,3%</b>

\* A climat corrigé

Emissions de CO2 du secteur électrique affectées à la consommation finale d'électricité

<b>BELGIQUE</b>	<b>2010</b>	Réduction cons. énergie finale (TJ)	Réduction cons. énergie primaire (TJ)	Réduction émissions de CO2 (kt)	Coût invest. (M€)	Coût net (M€)
<b>Plafond 0 €t CO2</b>						
Bonne gestion		48.455	55.540	3.679	299	-154
Modification de comportements		22.770	23.372	1.513	0	-120
Récupération de chaleur		5.580	5.601	357	56	-5
Récupération de combustible		4	4	0	0	0
Recyclage de matériaux		1.615	1.615	251	0	-4
Moteur à vitesse variable		5.439	10.904	609	170	-24
Intégration énergétique		1.504	1.504	94	16	-1
Isolation thermique		2.052	2.052	131	117	-3
Eclairage efficace		3.632	7.283	407	171	-35
Changement de procédé		1.252	1.263	72	14	-1
Equipements à meilleur rendement		9.137	13.353	763	130	-61
Cogénération		8.713	8.713	662	379	-37
Energie renouvelable		4.394	8.809	492	467	-39
Substitution énergétique		-1.245		138	252	-14
<b>Total général</b>		<b>113.303</b>	<b>140.013</b>	<b>9.168</b>	<b>2.071</b>	<b>-498</b>

BELGIQUE	Consommation nette d'énergie (TJ)						Evolution				
	1990	1997*	2010 Scén. Référ.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
<b>Plafond 14 €t CO2</b>											
<b>Secteur énergétique (hors autopr.)</b>	<b>552.956</b>	<b>609.164</b>	<b>629.103</b>	<b>0</b>	<b>-10.817</b>	<b>618.286</b>	<b>10%</b>	<b>3%</b>	<b>14%</b>	<b>1%</b>	<b>12%</b>
Production centralisée d'électricité	446.833	486.142	494.493	0	0	494.493	9%	2%	11%	2%	11%
Raffineries	59.652	93.341	103.600	0	-10.254	93.347	56%	11%	74%	0%	56%
Cokeries	26.516	11.302	8.425		-564	7.861	-57%	-25%	-68%	-30%	-70%
Pertes de transp./distr. et divers	19.955	18.378	22.585		0	22.585	-8%	23%	13%	23%	13%
<b>Industrie</b>	<b>558.110</b>	<b>559.829</b>	<b>690.766</b>	<b>0</b>	<b>-75.469</b>	<b>615.298</b>	<b>0%</b>	<b>23%</b>	<b>24%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>
Sidérurgie	212.610	180.525	208.963	0	-20.392	188.571	-15%	16%	-2%	4%	-11%
Chimie	122.777	138.912	183.691	0	-21.805	161.887	13%	32%	50%	17%	32%
Produits minéraux non métalliques	79.475	80.610	93.540	0	-9.280	84.261	1%	16%	18%	5%	6%
Fabrications métalliques	23.026	24.061	36.454	0	-3.945	32.509	4%	52%	58%	35%	41%
Pâtes et papier	22.765	27.024	33.145	0	-3.982	29.163	19%	23%	46%	8%	28%
Alimentation	49.904	48.266	60.529	0	-8.843	51.685	-3%	25%	21%	7%	4%
Autres industries	47.553	60.431	74.444	0	-7.221	67.224	27%	23%	57%	11%	41%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)					0	0					
<b>Transport</b>	<b>281.654</b>	<b>312.782</b>	<b>365.260</b>		<b>0</b>	<b>365.260</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>
Transport routier de personnes	188.312	217.103	256.466		0	256.466	15%	18%	36%	18%	36%
Transport routier de marchandises	82.146	84.493	96.657		0	96.657	3%	14%	18%	14%	18%
Transport ferroviaire	6.952	6.883	7.833		0	7.833	-1%	14%	13%	14%	13%
Transport fluvial	4.244	4.304	4.304		0	4.304	1%	0%	1%	0%	1%
<b>Domestique et équivalent</b>	<b>495.259</b>	<b>633.366</b>	<b>699.940</b>	<b>1.363</b>	<b>-29.284</b>	<b>672.020</b>	<b>28%</b>	<b>11%</b>	<b>41%</b>	<b>6%</b>	<b>36%</b>
Résidentiel	349.140	437.989	463.719	1.363	-22.992	442.090	25%	6%	33%	1%	27%
Tertiaire	107.651	156.225	197.070		-6.399	190.670	45%	26%	83%	22%	77%
Agriculture - horticulture	38.467	39.152	39.152		107	39.260	2%	0%	2%	0%	2%
<b>Prod. électricité renouvelable</b>			<b>0</b>		<b>-4.791</b>	<b>-4.791</b>					
Energie éolienne			0		-2.299	-2.299					
Energie hydro-électrique			0		-320	-320					
Biomasse			0		-2.172	-2.172					
<b>Exportation nette d'électricité</b>	<b>13.847</b>	<b>-13.935</b>	<b>-23.630</b>		<b>0</b>	<b>-23.630</b>	<b>-201%</b>	<b>70%</b>	<b>-271%</b>	<b>70%</b>	<b>-271%</b>
Exportation nette d'électricité	13.847	-13.935	-23.630		0	-23.630	-201%	70%	-271%	70%	-271%
<b>Total général</b>	<b>1.901.826</b>	<b>2.101.206</b>	<b>2.361.439</b>	<b>1.363</b>	<b>-120.361</b>	<b>2.242.443</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>24%</b>	<b>7%</b>	<b>18%</b>

\* A climat corrigé

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)						Evolution				
	1990	1997*	2010 Scén. Référ.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
<b>Plafond 14 €t CO2</b>											
<b>Secteur énergétique (hors autopr.)</b>	<b>6.757</b>	<b>7.784</b>	<b>8.351</b>	<b>-1</b>	<b>-856</b>	<b>7.494</b>	<b>15%</b>	<b>7%</b>	<b>24%</b>	<b>-4%</b>	<b>11%</b>
Production centralisée d'électricité	-1.268	-1.283	-1.846	0	0	-1.846	1%	44%	46%	44%	46%
Raffineries	4.626	7.091	7.878	-1	-825	7.053	53%	11%	70%	-1%	52%
Cokeries	1.653	397	298		-31	267	-76%	-25%	-82%	-33%	-84%
Pertes de transp./distr. et divers	1.745	1.579	2.021		0	2.021	-10%	28%	16%	28%	16%
<b>Industrie</b>	<b>52.171</b>	<b>52.761</b>	<b>63.941</b>	<b>-3</b>	<b>-6.789</b>	<b>57.150</b>	<b>1%</b>	<b>21%</b>	<b>23%</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>
Sidérurgie	18.874	13.796	15.863	0	-1.958	13.904	-27%	15%	-16%	1%	-26%
Chimie	9.620	11.588	14.647	-1	-1.847	12.798	20%	26%	52%	10%	34%
Produits minéraux non métalliques	10.789	10.949	11.767	-1	-798	10.968	1%	7%	9%	0%	2%
Fabrications métalliques	1.803	1.792	2.829	0	-429	2.401	-1%	58%	57%	34%	33%
Pâtes et papier	1.366	1.531	2.007	0	-363	1.645	12%	31%	47%	10%	20%
Alimentation	3.908	3.488	4.507	0	-826	3.680	-11%	29%	15%	6%	-6%
Autres industries	3.801	4.677	5.933	0	-567	5.366	23%	27%	56%	15%	41%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2.009	4.939	6.389		0	6.389	146%	29%	218%	29%	218%
<b>Transport</b>	<b>20.180</b>	<b>22.416</b>	<b>26.259</b>		<b>0</b>	<b>26.259</b>	<b>11%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>	<b>17%</b>	<b>30%</b>
Transport routier de personnes	13.250	15.329	18.169		0	18.169	16%	19%	37%	19%	37%
Transport routier de marchandises	5.993	6.172	7.077		0	7.077	3%	15%	18%	15%	18%
Transport ferroviaire	625	600	698		0	698	-4%	16%	12%	16%	12%
Transport fluvial	311	316	316		0	316	1%	0%	1%	0%	1%
<b>Domestique et équivalent</b>	<b>36.891</b>	<b>44.870</b>	<b>49.454</b>	<b>-150</b>	<b>-2.462</b>	<b>46.842</b>	<b>22%</b>	<b>10%</b>	<b>34%</b>	<b>4%</b>	<b>27%</b>
Résidentiel	25.452	30.369	31.398	-150	-1.538	29.710	19%	3%	23%	-2%	17%
Tertiaire	8.438	11.572	15.120		-896	14.224	37%	31%	79%	23%	69%
Agriculture - horticulture	3.002	2.929	2.936		-28	2.909	-2%	0%	-2%	-1%	-3%
<b>Prod. électricité renouvelable</b>			<b>0</b>		<b>-536</b>	<b>-536</b>					
Energie éolienne			0		-257	-257					
Energie hydro-électrique			0		-36	-36					
Biomasse			0		-243	-243					
<b>Exportation nette d'électricité</b>	<b>1.396</b>	<b>-1.301</b>	<b>-2.271</b>		<b>0</b>	<b>-2.271</b>	<b>-193%</b>	<b>75%</b>	<b>-263%</b>	<b>75%</b>	<b>-263%</b>
Exportation nette d'électricité	1.396	-1.301	-2.271		0	-2.271	-193%	75%	-263%	75%	-263%
<b>Total général</b>	<b>117.395</b>	<b>126.531</b>	<b>145.734</b>	<b>-154</b>	<b>-10.642</b>	<b>134.938</b>	<b>7,8%</b>	<b>15,2%</b>	<b>24,1%</b>	<b>6,6%</b>	<b>14,9%</b>

\* A climat corrigé

Emissions de CO2 du secteur électrique affectées à la consommation finale d'électricité

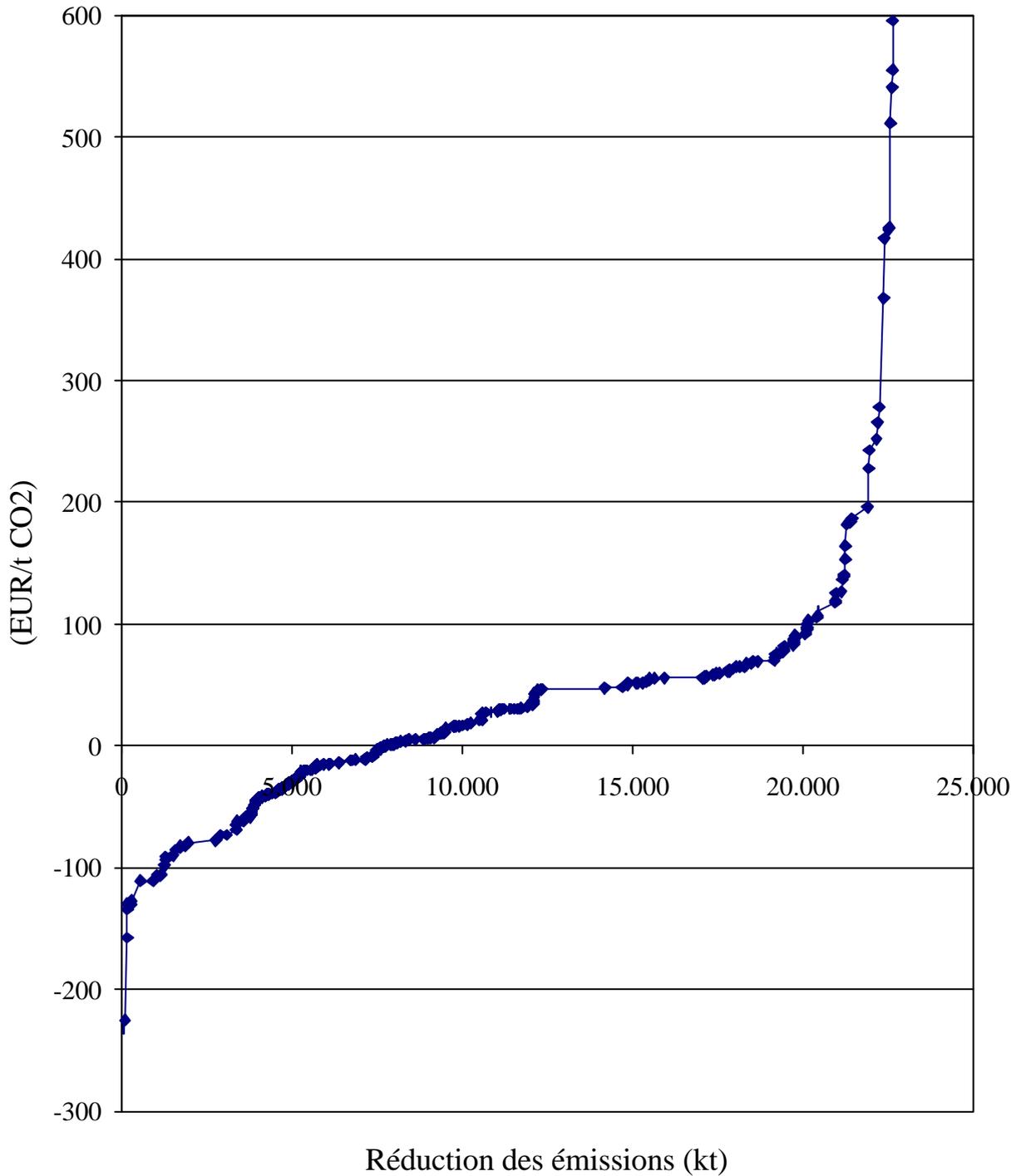
<b>BELGIQUE</b>	<b>2010</b>	Réduction cons. énergie finale (TJ)	Réduction cons. énergie primaire (TJ)	Réduction émissions de CO2 (kt)	Coût invest. (M€)	Coût net (M€)
<b>Plafond 14 €/t CO2</b>						
Bonne gestion		52.526	59.610	4.179	331	-152
Modification de comportements		22.770	23.373	1.513	0	-120
Récupération de chaleur		11.016	11.047	786	126	-2
Récupération de combustible		10	10	1	0	0
Recyclage de matériaux		1.615	1.615	251	0	-4
Moteur à vitesse variable		6.729	13.493	753	227	-24
Intégration énergétique		2.837	2.837	177	34	-1
Isolation thermique		2.924	2.924	188	183	-3
Eclairage efficace		3.636	7.291	407	171	-35
Changement de procédé		2.663	2.674	154	36	0
Equipements à meilleur rendement		10.656	14.872	862	161	-61
Cogénération		8.628	8.628	662	379	-36
Energie renouvelable		4.806	9.635	538	532	-39
Substitution énergétique		-1.363		154	285	-14
<b>Total général</b>		<b>131.578</b>	<b>160.132</b>	<b>10.797</b>	<b>2.547</b>	<b>-489</b>

Coût marginal de réduction des émissions  
de CO2 en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - TOUS SECTEURS (sauf le transport)**

Taux d'actualisation 10-15-30%

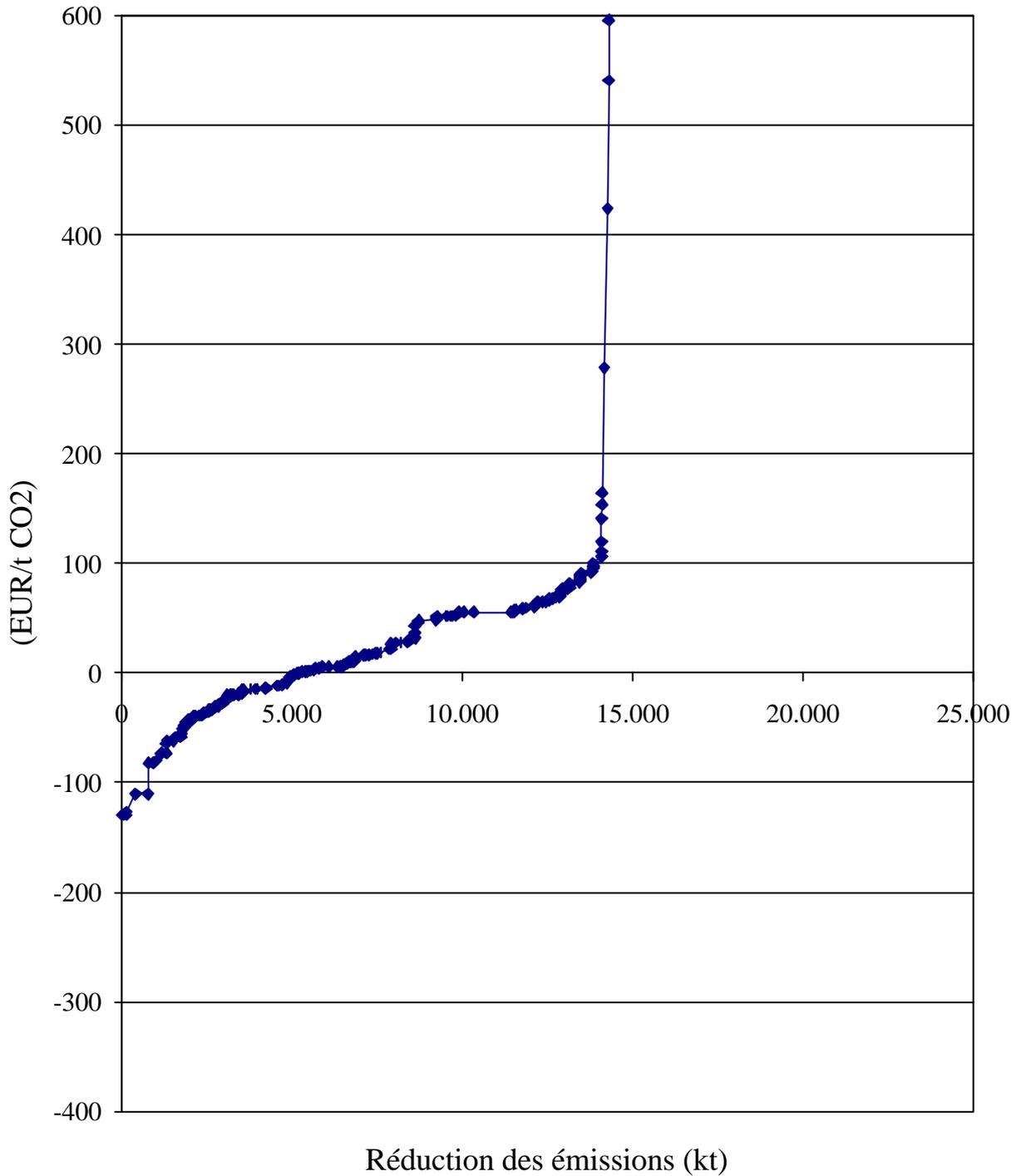


Coût marginal de réduction des émissions  
de CO2 en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - INDUSTRIE**

Taux d'actualisation 30%

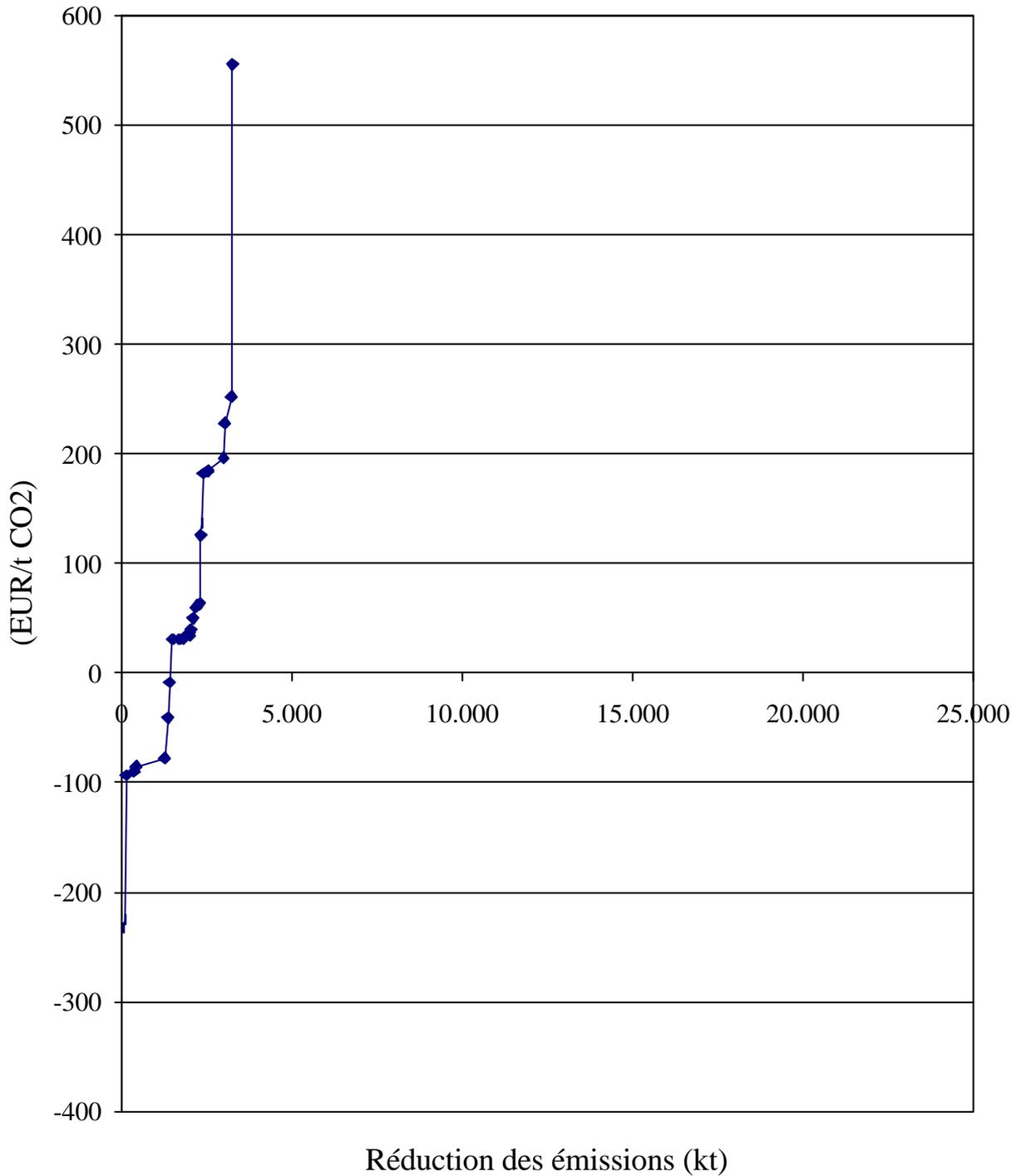


Coût marginal de réduction des émissions  
de CO2 en 2010

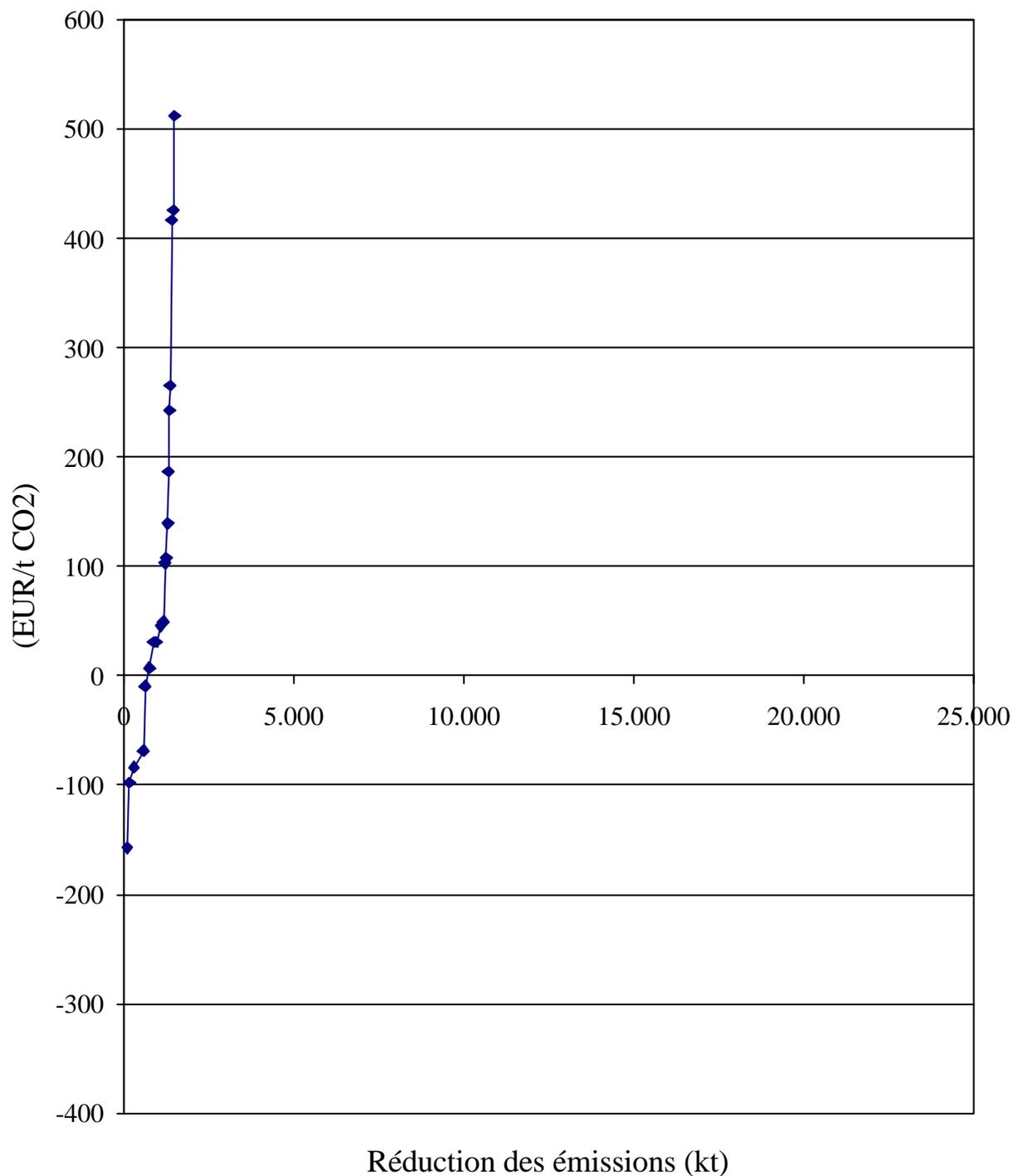
(à partir du scénario de référence)

**Belgique - RESIDENTIEL**

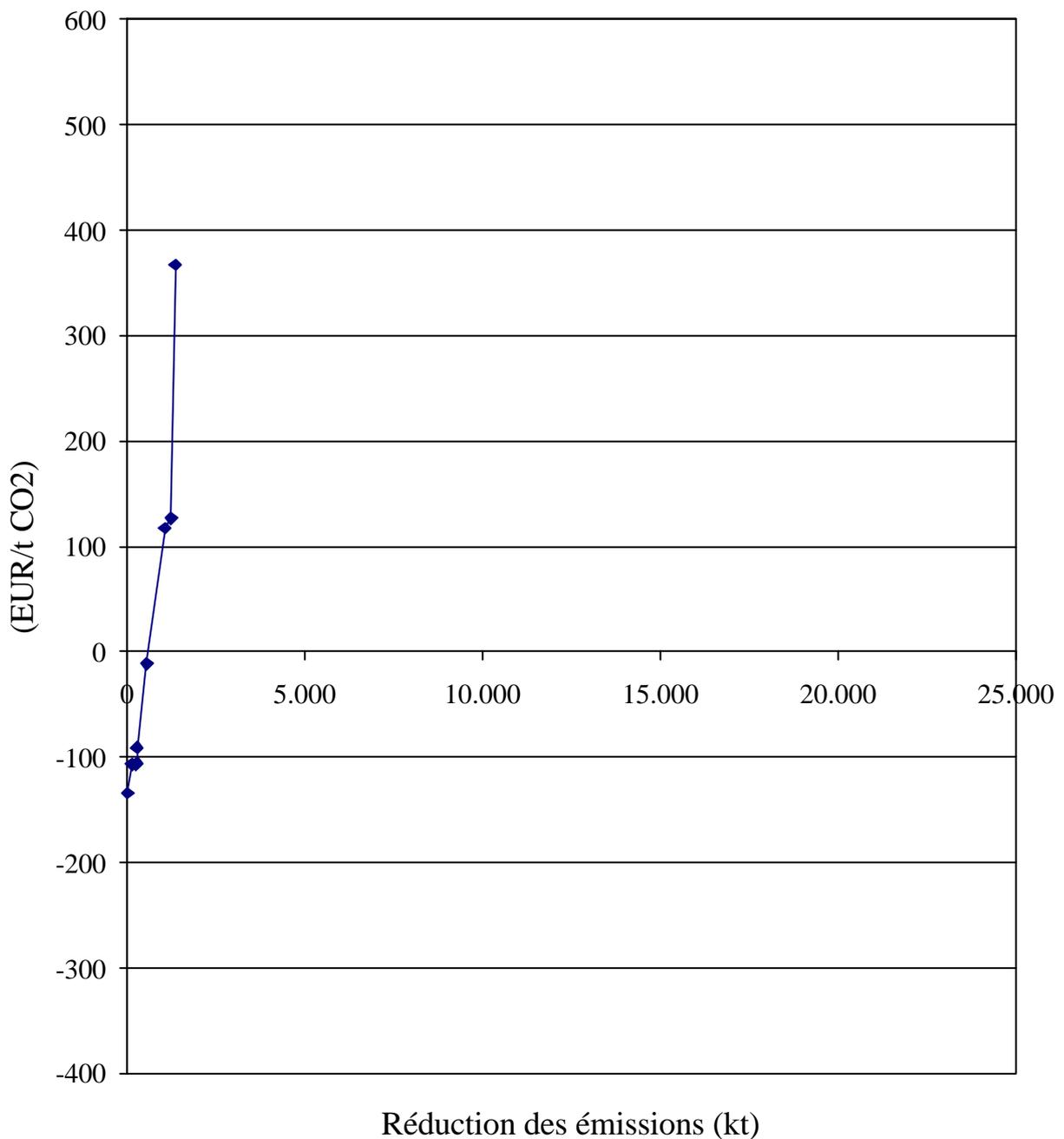
Taux d'actualisation 10%



Coût marginal de réduction des émissions  
de CO2 en 2010 (EURO/t CO2)  
(à partir du scénario de référence)  
**Belgique - TERTIAIRE**  
Taux d'actualisation 15%



Coût marginal de réduction des émissions  
de CO2 en 2010 (EURO/t CO2)  
(à partir du scénario de référence)  
**Belgique - PROD. ELECTRICITE**  
**RENOUVELABLE**  
Taux d'actualisation 10%  
(*compte tenu de l'impact des certificats verts*)

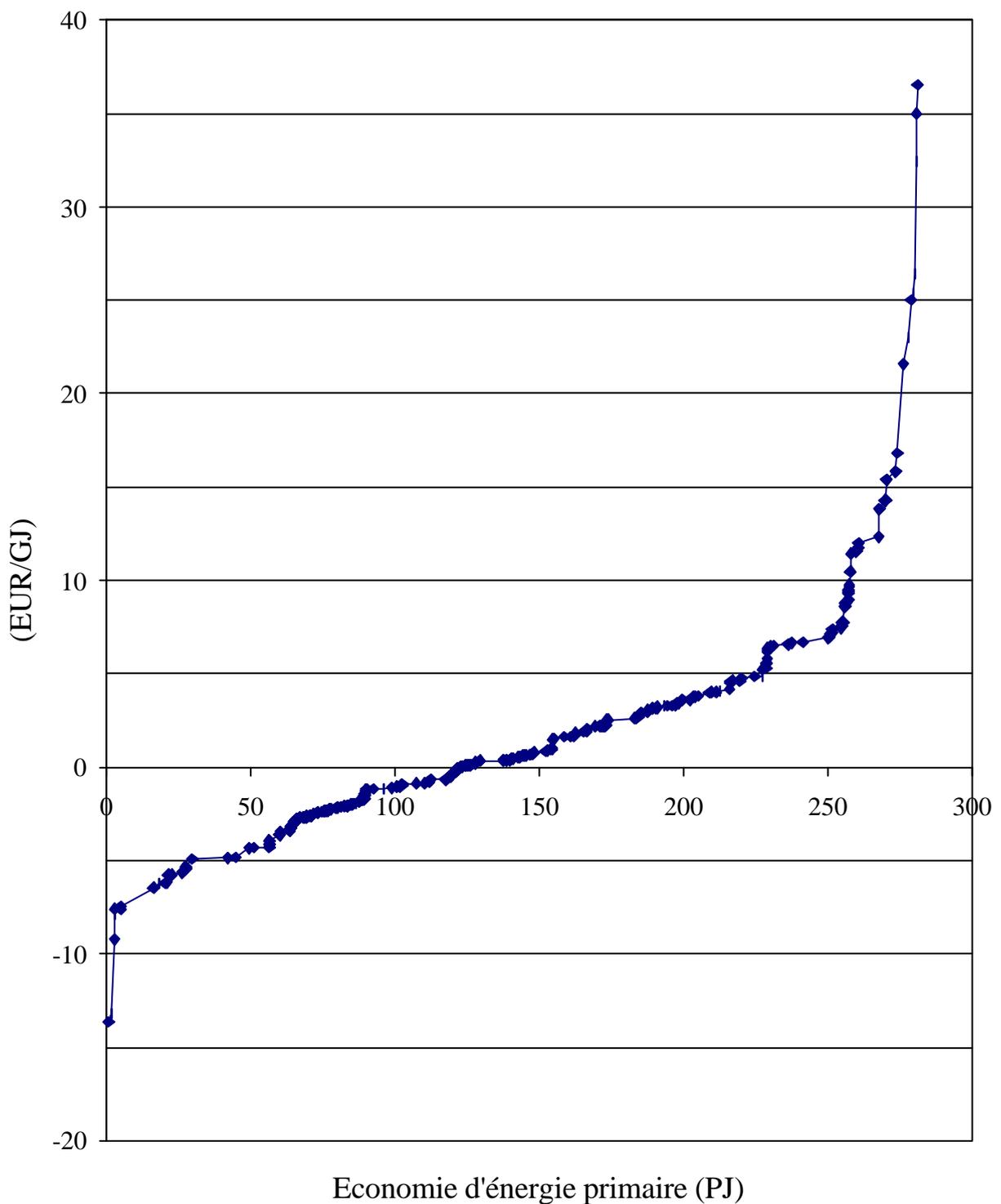


Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - TOUS SECTEURS (sauf le transport)**

Taux d'actualisation 10-15-30%

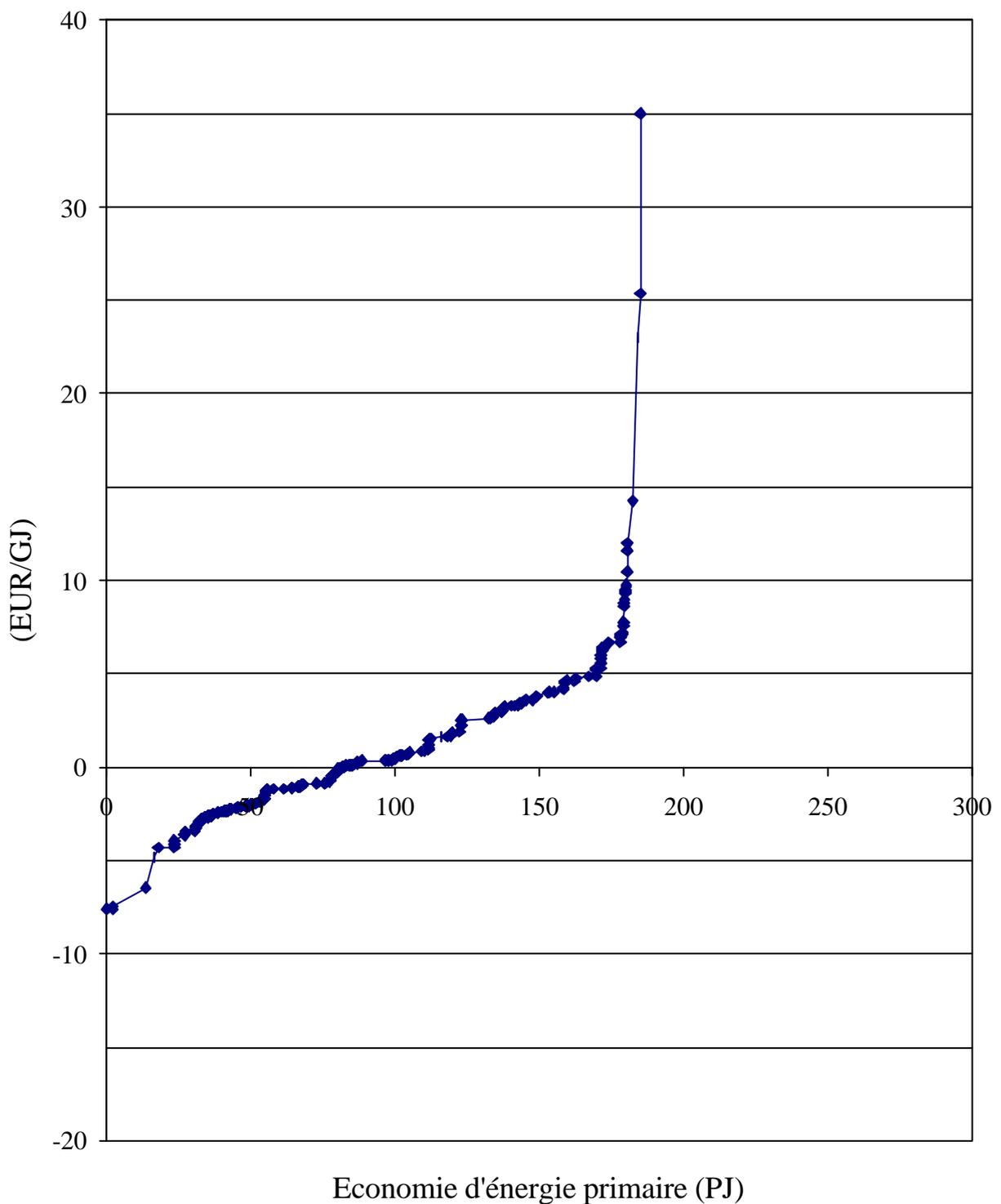


Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - INDUSTRIE**

Taux d'actualisation 30%

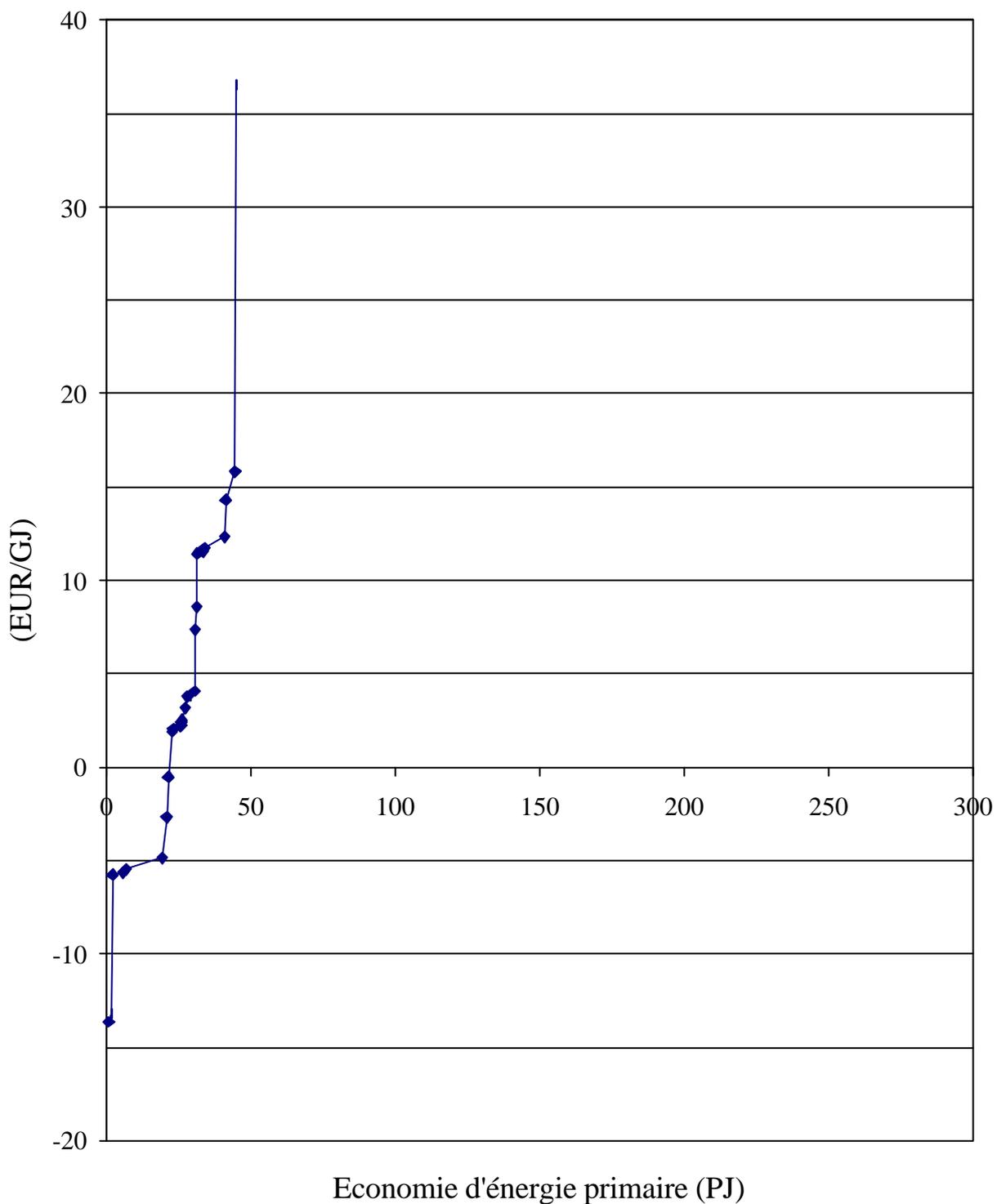


Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - RESIDENTIEL**

Taux d'actualisation 10%

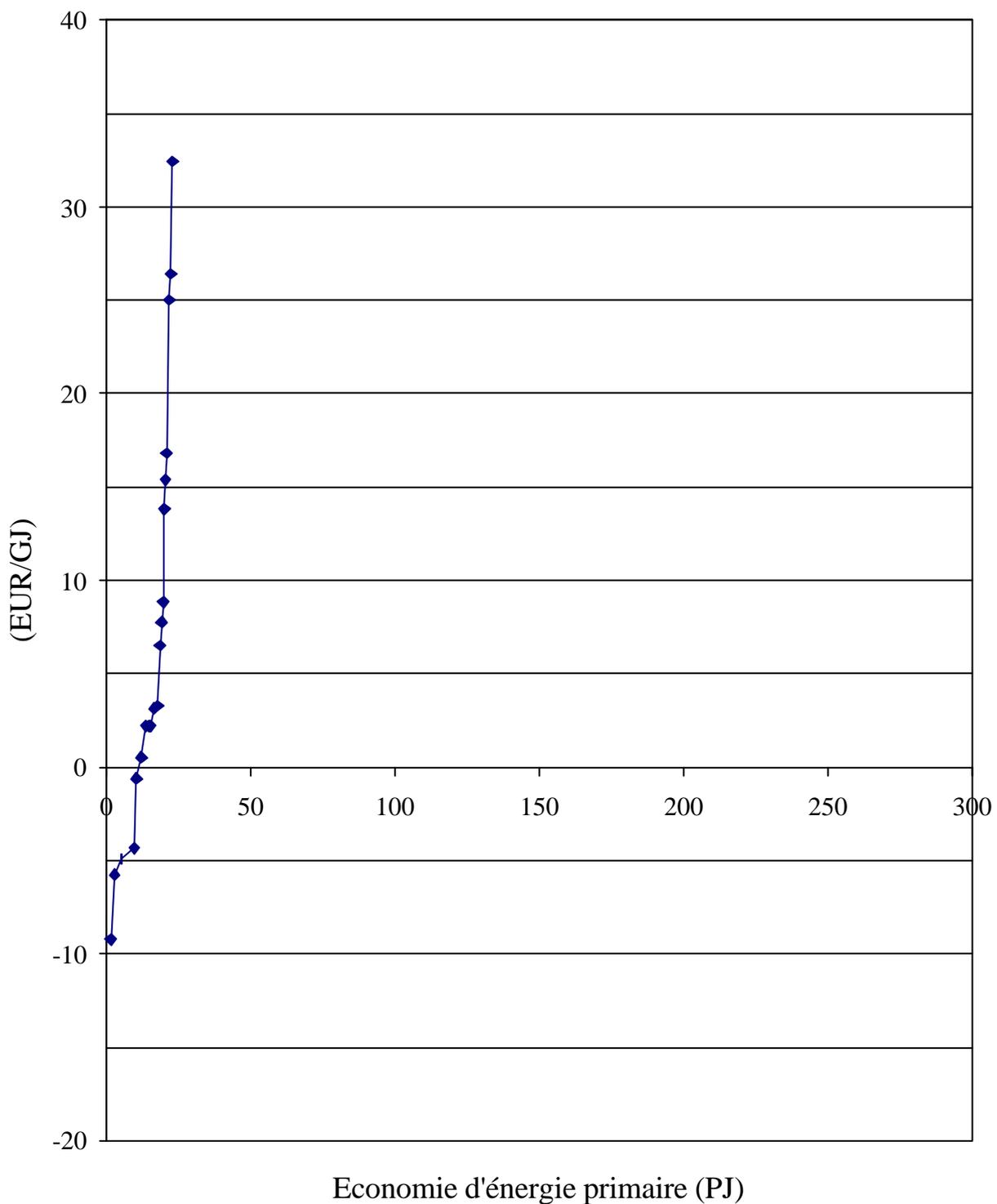


Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - TERTIAIRE**

Taux d'actualisation 15%



Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

**Belgique - PROD. ELECTRICITE**

**RENOUVELABLE**

Taux d'actualisation 10%

*(compte tenu de l'impact des certificats verts)*

