

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_x et de COV. Les résultats de ces travaux ont été valorisés dans le cadre de la préparation du Protocole de Göteborg¹ et de la directive européenne sur les plafonds nationaux d'émissions².

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 CO₂, le CH₄ et le N₂O. La priorité a été accordée au CO₂, qui concerne l'ensemble des activités économiques et qui, en tonnes équivalent-CO₂, 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 CO₂ 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 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 CO₂ 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.

¹ 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.

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

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 CO₂, 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 CO₂, 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 CO₂). 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 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.

Variante Secteur électrique*

BELGIQUE	Emissions de CO ₂ (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%
Total	117,4	126,5	145,7	8%	15%	24%

* 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 2010³ par rapport à 1990 pour l'ensemble des gaz à effet de serre CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC et SF₆, exprimées en t éq-CO₂.

³ 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%
Total	117,4	126,5	145,7	8%	15%	24%

* 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 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.

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 CO₂, le CH₄ et le N₂O, une première estimation pour les gaz fluorés HFC, PFC et SF₆.

En 2010, le CO₂ représente plus de 83% des émissions totales, et le CH₄ et le N₂O 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 CH₄ sont en baisse de 26% sur la période 90-2010, alors que celles de N₂O 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 CO₂, CH₄ et N₂O en l'absence de politique nouvelle de réduction des émissions, les émissions de l'ensemble des six gaz, exprimées en équivalents-CO₂, augmentent de 21% entre 1990 et 2010. L'écart à combler par rapport au protocole de Kyoto est de 41,2 Mt eq-CO₂, 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 CO₂. 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
CO2					
Combustion	108.842	75,6%	132.015	75,7%	21%
Emissions process	8.553	5,9%	13.719	7,9%	60%
TOTAL	117.395	81,5%	145.734	83,5%	24%
CH4					
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%
TOTAL	14.104	9,8%	10.434	6,0%	-26%
N2O					
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%	
TOTAL	12.096	8,4%	14.284	8,2%	18%
HFC, PFC ET SF6 (**)	442	0,3%	4.000	2,3%	805%
TOTAL GENERAL	144.037	100,0%	174.452	100,0%	21%

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

(**) Estimation préliminaire.

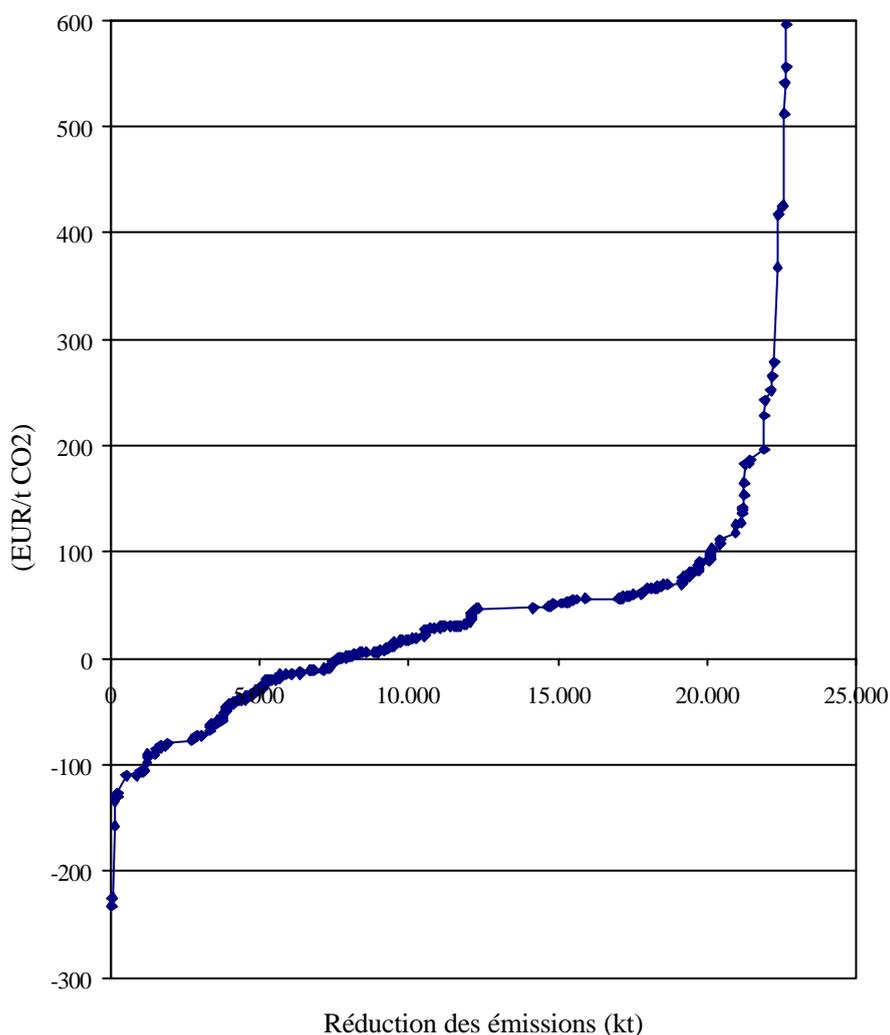
L'objectif du Protocole de Kyoto pour l'ensemble des six gaz à effet de serre CO2, CH4, N2O, PFC, HFC et SF6 de réduire les émissions de 7,5% en 2010 par rapport à 1990 implique un niveau global d'émission de 133,2 Mt éq-CO2 en 2010.

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 CO₂, 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-dessous⁴.

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%



Dans l'hypothèse où l'objectif de Kyoto serait appliqué pour le seul CO₂, les chiffres du scénario de référence mentionnés plus haut et l'évaluation du potentiel de réduction donnent la situation suivante :

⁴ 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.

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 ⁵	10,9 Mt CO2	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 CO2;
- 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 CH4 et de N2O 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 CH4 et de N2O 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 NH3), si bien qu'il est difficile d'évaluer le coût des mesures imputable à la seule réduction de CH4 et de N2O, 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 N2O 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 scénario de référence, à environ 3,5 Mt CO2. Selon les techniques, le coût ne devrait pas dépasser 1 à 3 €/t CO2.

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 CO2 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 Belgique⁶ 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.

⁵ 14 €/t CO2 représente le niveau de la taxe CO2 proposée dans le Plan National Climat (11,5 €/t).

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