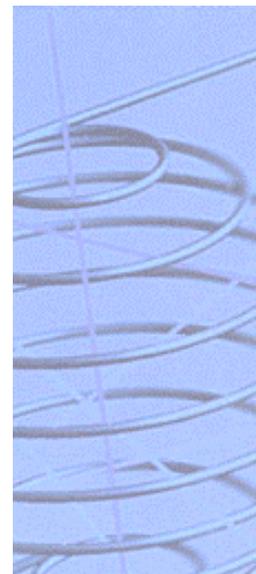


Application du modèle EPM au développement de scénarios d'émissions de CO₂ à l'horizon 2010 pour la Belgique

Rapport d'avancement



Développement durable | Duurzame ontwikkeling

N° AS/E1/001



FEDERALE DIENSTEN VOOR
WETENSCHAPPELIJKE, TECHNISCHE
EN CULTURELE AANGELEGENHEDEN
Wetenschapsstraat 8 ■ B-1000 BRUSSEL
Tel. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12
URL : 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



D/2001/1191/22

Uitgeven in 2001 voor de

Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden

Publié en 2001 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

**APPLICATION DU MODELE EPM
AU DEVELOPPEMENT DE SCENARIOS
D'EMISSIONS DE CO2 A L'HORIZON 2010
POUR LA BELGIQUE**

Rapport d'avancement

Plan d'appui scientifique à une politique du Développement Durable

Actions de support

CONTRAT DE RECHERCHE N° AS/E1/001

**Analyse des options de réduction des émissions des gaz à effet de serre et des
précurseurs d'ozone troposphérique**

Avril 2001

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	3
LE MODELE EPM.....	4
UN MODELE BOTTOM-UP.....	4
CONSTRUCTION DU SCENARIO DE REFERENCE.....	5
<i>Emissions de l'année de référence</i>	5
<i>Désagrégation sectorielle</i>	6
<i>Scénario de référence</i>	7
EVALUATION DU POTENTIEL DE REDUCTION.....	8
<i>Répartition des consommations par usage</i>	8
<i>Evaluation du potentiel de réduction</i>	10
<i>Construction de scénarios de réduction</i>	14
<i>Limites du modèle</i>	14
CALCUL DES EMISSIONS DE CO2.....	15
<i>Directives de l'IPCC</i>	15
<i>Cas de la production de vecteurs énergétiques</i>	16
<i>Options d'affectation des émissions du secteur électrique</i>	17
<i>Facteurs d'émission</i>	17
SCENARIO DE REFERENCE.....	21
DONNEES ET HYPOTHESES.....	21
<i>Consommations énergétiques de l'année de référence</i>	21
<i>Emissions de 1990</i>	21
<i>Evolution des variables d'activité</i>	22
<i>Evolution des consommations spécifiques d'énergie</i>	24
<i>Dispersion sur le coût des mesures de réduction</i>	26
<i>Parts de marché des vecteurs énergétiques</i>	26
RESULTATS.....	26
<i>Consommation énergétique</i>	26
<i>Emissions de CO2</i>	27
POTENTIELS DE REDUCTION.....	30
SCENARIOS.....	30
DONNEES ET HYPOTHESES.....	30
<i>Potentiel technique de cogénération</i>	30
<i>Potentiel des énergies renouvelables</i>	31
<i>Facteur d'émission marginal</i>	31
<i>Taux d'actualisation</i>	32
<i>Prix énergétiques</i>	32
<i>Plafond de coût marginal de réduction</i>	33
RESULTATS.....	33
<i>Emissions de CO2</i>	33
<i>Courbes de coût CO2</i>	35
<i>Courbes de coût Energie primaire</i>	39
RÉFÉRENCES.....	41
ANNEXES.....	43
A. LISTE DES SECTEURS.....	43
B. FACTEURS D'ÉMISSION DE CO2 DES COMBUSTIBLES.....	47
C. LISTE DES MESURES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO2.....	48
D. TABLEAUX ET COURBES DE COÛT.....	51

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 en particulier 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. Une description de ce développement figure dans ECONOTEC (2000).

La mission a également consisté à appliquer le modèle pour fournir une contribution à l'élaboration de politiques de réduction des émissions.

L'objet du présent rapport est d'une part de décrire les principales caractéristiques du modèle, et d'autre part de présenter les résultats d'une analyse prévisionnelle des émissions de CO₂ pour la Belgique à l'horizon 2010. Ces résultats consistent en :

- un scénario de référence, correspondant à l'évolution attendue des émissions en l'absence de politique nouvelle de réduction des émissions ;
- différents scénarios de réduction des émissions liés à une hypothèse concernant le plafond de coût marginal à la tonne de CO₂ ;
- des courbes de coût de réduction de la consommation énergétique et des émissions.

Ces résultats 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 et notre meilleur jugement, 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...).

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.

Le modèle 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.

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.

La suite de ce chapitre décrit les principales caractéristiques du modèle en ce qui concerne les consommations d'énergie et les émissions de CO₂. 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 de CO₂.

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 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 CO₂ sont calculées, par secteur et par vecteur énergétique, comme le produit :

$$\text{Emissions} = \text{Consommation énergétique} \times \text{Facteur d'émission}$$

Le facteur d'émission dépend du vecteur énergétique.

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 correspondent au niveau de désagrégation des bilans énergétiques, les consommations énergétiques utilisées comme données 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 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 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 véhicules par classe d'âge et les niveaux d'émissions en fonction de la réglementation (européenne) en vigueur au moment de la première mise en circulation de ceux-ci.

Scénario de référence

Les émissions du scénario de référence 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 vecteur¹, 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 de CO2 correspondant.

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 valeur 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...).

EVALUATION DU POTENTIEL DE REDUCTION

Pour pouvoir évaluer le potentiel de réduction et construire les scénarios de réduction, il faut préalablement répartir les consommations énergétiques 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.

¹ Plutôt que par vecteur énergétique, compte tenu du fait que les combustibles sont dans une large mesure substituables entre eux.

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./congél. 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 est inférieur à un plafond donné, spécifié en €/t CO₂. 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. Ces mesures sont de 4 types :

- économie d'énergie pures ;
- 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.

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

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

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 des équipements auxquels la mesure s'applique, utilisé lorsque la mesure ne s'applique que lors du renouvellement ou de la réfection de ces équipements).

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 :

$$\text{Coût (€/GJ)} = \text{CoûtInvestissementAnnualise} + \text{CoûtExploitation} - \text{ValeurEconomieEnergie}$$

La valeur de l'économie réalisée est fonction du prix des vecteurs énergétiques de l'année concernée², 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.

² 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.

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

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

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.

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 σ/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 σ/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 \acute{o}/m ;
- *TauxPénétrationMaxRéaliste* est le taux de pénétration maximum compte tenu du 'délai de renouvellement'³, qui est évalué comme suit :

$$\text{TauxPénMaxRéaliste} = \text{TauxPénExistant}$$

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

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.

³ Rappelons que le 'délai de renouvellement' est le délai de renouvellement ou de réfection des équipements auxquels 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 ces équipements.

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 le chapitre sur les règles de 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.

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 CO₂ éventuelle qui les induirait) sur les niveaux d'activité économique n'est donc 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 entre Econotec et le Bureau fédéral du Plan est actuellement en cours avec en particulier pour objectif l'évaluation de l'impact macro-économique des mesures de réduction.

Par ailleurs, nous évaluons actuellement diverses options de prise en compte des impacts macroéconomiques.

Imperfections du modèle

Il subsiste d'autres imperfections au modèle lui-même. Ainsi, au stade actuel du modèle, les économies d'un vecteur énergétique 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.

Dans le cas du 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 CO2 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.

Les données et hypothèses utilisées ont été rassemblées ou mises au point progressivement au cours des années de développement et d'exploitation du modèle. Elles bénéficient donc d'une expérience de plusieurs années de travaux sur les différents secteurs concernés.

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 (voir notamment le chapitre 'Application du modèle') 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 CO2 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 soient effectuées.

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 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.

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 CO₂ 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 d'établir un bilan global pour chaque vecteur énergétique, ainsi qu'un bilan carbone (sous la forme d'équivalent-CO₂) pour chaque secteur, et donc de s'assurer que ces bilans sont équilibrés.

Pour les hauts fourneaux, il est tenu compte de l'équivalent CO₂ 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 CO₂ liées à la production de l'électricité nette exportée. Ceci de manière à ce que le total des émissions soit le même pour les deux options d'affectation.

Facteurs d'émission

Combustibles

La valeur des facteurs d'émission des combustibles figure à l'annexe C.

Pour les combustibles conventionnels, les facteurs d'émission utilisés sont ceux de l'IPCC (1996), compte tenu de la fraction du carbone oxydée. 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ et l'impact des mesures de réduction qui sont susceptibles d'être mises en œuvre.

Pour l'électricité, l'évaluation correcte du facteur d'émission à affecter à une consommation particulière est une tâche très difficile, voire même utopique, car il faudrait savoir dans quelle centrale et à partir de quel combustible les kWh consommés par chaque secteur sont produits, ce qui évolue d'un instant à l'autre.

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 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 de pompage et des pertes du réseau).

Facteur d'émission 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 modifications 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.

Emissions process

Par émissions 'process' de CO₂, 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

Les principales émissions process émanent de la sidérurgie, des cimenteries, des fours à chaux et de la production d'ammoniac.

Ces émissions sont calculées comme le produit d'une variable d'activité par un *facteur d'émission process* (généralement exprimé en t CO₂ par t de produit).

Ces facteurs d'émission sont exprimés en tonnes de CO₂ par tonne de produit fabriqué 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.

Remarque : dans le cas de la chimie, il faut éviter un double comptage 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 ceux proposés par l'IPCC, sont les suivants :

<i>Vecteur</i>	TauxSequestrationCarbone
bitumes	100%
lubrifiants	50%
naphta	75%
gasoil	50%
gaz naturel	33%
butane	80%
propane	80%
autres produits pétroliers	75%
coke de pétrole	75%
essences spéciales	75%
fuel résiduel	75%
paraffines	75%
petrolatums	75%
white spirit	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'engrais. Celle-ci est calculée dans les émissions process, avec un facteur d'émission connu.

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')⁴.

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, 2000), 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 pétroliers⁵. 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.

⁴ Une exception à cette règle concerne la cogénération, dont l'ensemble des nouvelles installations sont incluses le potentiel de réduction (voir les hypothèses faites concernant la production d'électricité).

⁵ 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 à partir d'enquêtes auprès des consommateurs.

Il n'existe cependant pas à l'heure actuelle d'inventaire officiel définitif des émissions de CO2 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 période⁶.

Evolution des variables d'activité

Production d'électricité

Il a été supposé une croissance annuelle moyenne de la production centralisée d'électricité de 2% par an sur la période 1997-2010, ce qui correspond à l'évolution de la demande adressée au réseau telle qu'elle résulte du modèle.

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.

Une exception a toutefois été faite pour la sidérurgie, où on a supposé que l'autoproduction serait doublée en 2010, ce qui permet d'équilibrer approximativement le bilan de gaz de haut fourneau (étant donné l'accroissement de production des hauts fourneaux).

Rappelons que cette hypothèse constitue une exception par rapport à la définition du scénario de référence, sensé représenter l'évolution future la plus probable en l'absence de toute nouvelle politique de réduction des émissions.

En ce qui concerne le parc de production d'électricité, 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).

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

⁶ En revanche, elle sous-estime l'évolution '1990 corrigé – 1997 corrigé'.

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 et l'apparition de production de fonte par réduction directe (DRI) ; il est à remarquer que la fermeture envisagée du haut fourneau de Clabecq n'est pas prise en compte dans ce scénario.
- 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 prochaine 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 routier, 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 et d'une hypothèse sur l'évolution de la taille moyenne des ménages. Cette croissance globale est ensuite répartie entre les différents systèmes de chauffage en fonction du taux de pénétration de chaque équipement.

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 m² 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 :

- 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 (vitres, 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 m² 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%, et des accords entre la Commission européenne et les principaux constructeurs automobiles européens et asiatiques, visant une réduction des émissions de CO₂ 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 σ/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

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.

RESULTATS

Ci-dessous sont présentés les résultats agrégés du scénario de référence en ce qui concerne l'évolution des consommations énergétiques et des émissions. 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 correspond à la consommation d'énergie primaire. Il est à remarquer que l'autoproduction est incluse dans la demande finale plutôt que dans le secteur énergétique.

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 tertiaire⁷.

⁷ 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.

BELGIQUE	Consomm. d'énergie (PJ)			Evolution		
	1990	1997*	2010	90-97	97-10	90-10
			Sc. Référ.		Sc. Réf.	Sc. Réf.
Secteur énergétique (hors autopr.)	553	613	620	11%	1%	12%
Industrie	558	550	691	-1%	26%	24%
Transport	282	313	365	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	495	632	696	28%	10%	41%
Exportation nette d'électricité	14	-4	-3	-131%	-31%	-121%
Total	1 902	2 103	2 370	11%	13%	25%

* 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.

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'a été 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. 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*, à savoir que les émissions du secteur de la production centralisée d'électricité sont affectées au secteur énergétique.

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	90-97	97-10	90-10
			Sc. Réf.		Sc. Réf.	Sc. Réf.
Secteur énergétique (hors autopr.)	27,9	29,1	33,8	4%	16%	21%
Industrie	42,2	41,4	50,8	-2%	23%	20%
<i>dont émissions process</i>	8,6	12,5	13,9	46%	11%	62%
Transport	19,8	22,0	25,7	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	27,6	34,0	35,1	23%	3%	27%
Total	117,4	126,4	145,4	8%	15%	24%

* Emissions du secteur électrique affectées au secteur électrique

** A climat corrigé

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 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*). 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.)	7,0	8,7	9,7	25%	11%	38%
Industrie	52,1	51,4	63,1	-1%	23%	21%
<i>dont émissions process</i>	8,6	12,5	13,9	46%	11%	62%
Transport	20,2	22,4	26,2	11%	17%	30%
Domestique et équivalent	36,8	44,3	46,8	20%	6%	27%
Exportation nette d'électricité	1,4	-0,4	-0,2	-128%	-39%	-117%
Total	117,4	126,4	145,4	8%	15%	24%

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

** A climat corrigé

Dans cette deuxième variante, il y a un poste 'Exportation nette d'électricité', qui 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 2010⁸ 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.

⁸ Plus précisément pour la moyenne de la période 2008-2012, ce qui permet de lisser la variation climatique.

POTENTIELS DE REDUCTION

SCENARIOS

Trois potentiels de réduction ont été évalués, auxquels correspondent trois 'scénarios de réduction' :

- le potentiel maximal technique;
- deux potentiels économiques, correspondant respectivement aux plafonds de coût marginal de 0 €/tonne CO₂ et 25€/tonne CO₂.

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, 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 CO₂ proposé dans le Projet de Plan National sur le Climat (Deleuze, 2000). 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.

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 CO₂. 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. C'est également l'option qui maximise la réduction des émissions de CO₂.

Potentiel des énergies renouvelables

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

Les sources d'énergie renouvelables 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 365 g CO₂/kWh.

Taux d'actualisation

Rappelons que le 'taux d'actualisation' est utilisé pour annualiser les coûts d'investissement des mesures de réduction des consommations énergétiques ou des émissions de CO₂.

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.

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)

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 5 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 le secteur électrique, nous avons repris les hypothèses de la Commission Ampère, qui ont été établis sur une base comparable.

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
(euros constants de 2000)

		€/GJ pci
Producteurs d'électricité (HTVA)		
charbon	73 €/GJ pci	1,8
gaz naturel	143 €/GJ pci	3,5
Industrie (HTVA)		
charbon	93 €/GJ pci	2,3
gaz naturel	195 €/GJ pci	4,8
gasoil	261 €/GJ pci	6,5
fuel extra-lourd	149 €/GJ pci	3,7
électricité	2,1 F/kWh	14,5
Tertiaire (HTVA)		
gaz naturel	287 €/GJ pci	7,1
gasoil	261 €/GJ pci	6,5
électricité	3,2 F/kWh	22,0
Résidentiel (TVAC)		
gaz naturel	398 €/GJ pci	9,9
gasoil	351 €/GJ pci	8,7
électricité	5,02 F/kWh	34,6

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 CO2 et 25€/tonne CO2. Dans le cas du potentiel technique, aucun plafond de coût n'est pris en compte.

RESULTATS

Ci-après sont présentés les résultats agrégés pour ce qui concerne les émissions de CO2, 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 CO2

L'évolution des émissions de CO2 pour les trois scénarios est donnée aux trois tableaux qui suivent.

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)					
	1990	1997*	2010	2010	2010	2010
Scénario sans plafond de coût			Scénario de référence	Substitution énergétique	Réduction	Scénario de réduction
Emissions liées à l'énergie	108,8	113,9	131,6	-3,9	-18,0	109,6
Secteur énergétique (hors autopr.)	7,0	8,7	9,7	-2,2	-1,3	6,2
Industrie	43,5	38,9	49,2	-1,5	-10,9	36,8
Transport	20,2	22,4	26,2		0,0	26,2
Domestique et équivalent	36,8	44,3	46,8	-0,2	-4,6	41,9
Prod. électricité renouvelable			0,0		-1,2	-1,2
Exportation nette d'électricité	1,4	-0,4	-0,2		0,0	-0,2
Emissions process	8,6	12,5	13,9		0,0	13,9
Total général	117,4	126,4	145,4	-3,9	-18,0	123,5

* à climat corrigé

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)					
	1990	1997*	2010	2010	2010	2010
Plafond 0 €/t CO2			Scénario de référence	Substitution énergétique	Réduction	Scénario de réduction
Emissions liées à l'énergie	108,8	113,9	131,6	-0,2	-8,0	123,3
Secteur énergétique (hors autopr.)	7,0	8,7	9,7	0,0	-0,7	9,0
Industrie	43,5	38,9	49,2	0,0	-5,1	44,1
Transport	20,2	22,4	26,2		0,0	26,2
Domestique et équivalent	36,8	44,3	46,8	-0,2	-2,2	44,4
Prod. électricité renouvelable			0,0		-0,1	-0,1
Exportation nette d'électricité	1,4	-0,4	-0,2		0,0	-0,2
Emissions process	8,6	12,5	13,9		0,0	13,9
Total général	117,4	126,4	145,4	-0,2	-8,0	137,1

* à climat corrigé

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)					
	1990	1997*	2010	2010	2010	2010
Plafond 25 €/t CO2			Scénario de référence	Substitution énergétique	Réduction	Scénario de réduction
Emissions liées à l'énergie	108,8	113,9	131,6	-0,2	-10,9	120,4
Secteur énergétique (hors autopr.)	7,0	8,7	9,7	0,0	-0,9	8,7
Industrie	43,5	38,9	49,2	0,0	-7,4	41,8
Transport	20,2	22,4	26,2		0	26,2
Domestique et équivalent	36,8	44,3	46,8	-0,2	-2,4	44,1
Prod. électricité renouvelable			0		-0,1	-0,1
Exportation nette d'électricité	1,4	-0,4	-0,2		0	-0,2
Emissions process	8,6	12,5	13,9		0	13,9
Total général	117,4	126,4	145,4	-0,2	-10,9	134,3

* 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	145,4 Mt CO2	124%

A réduire selon Kyoto par rapport au scénario de référence :

Potentiel des mesures (<i>hors transports</i>) :	36,8 Mt CO2	100%
Potentiel maximal	21,9 Mt CO2	60%
Contribution des mesures à coût négatif	8,2 Mt CO2	20%
Contribution des mesures < 25 €/t CO2	11,1 Mt CO2	28%

Les 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 (investissements, mobilité...);
- une réduction plus que proportionnelle pour les autres gaz à effet de serre (CH4, N2O) ;
- le recours à des mécanismes de flexibilité (emission trading).

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.

Sur ces courbes de coût, chaque mesure de réduction est représentée par un point. Il est à remarquer qu'il s'agit d'une simplification. 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 d'identifier rapidement le niveau de réduction qui peut être obtenu en fonction du coût.

Du fait qu'elles ne prennent pas en compte la dispersion sur les coûts, ces courbes conviennent 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 pris 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, ce qui peut être vérifié en comparant le niveau de réduction de la courbe de coût avec le potentiel calculé par le modèle avec prise en compte de la dispersion.

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, varie 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, varie 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).

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 confirmé 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.

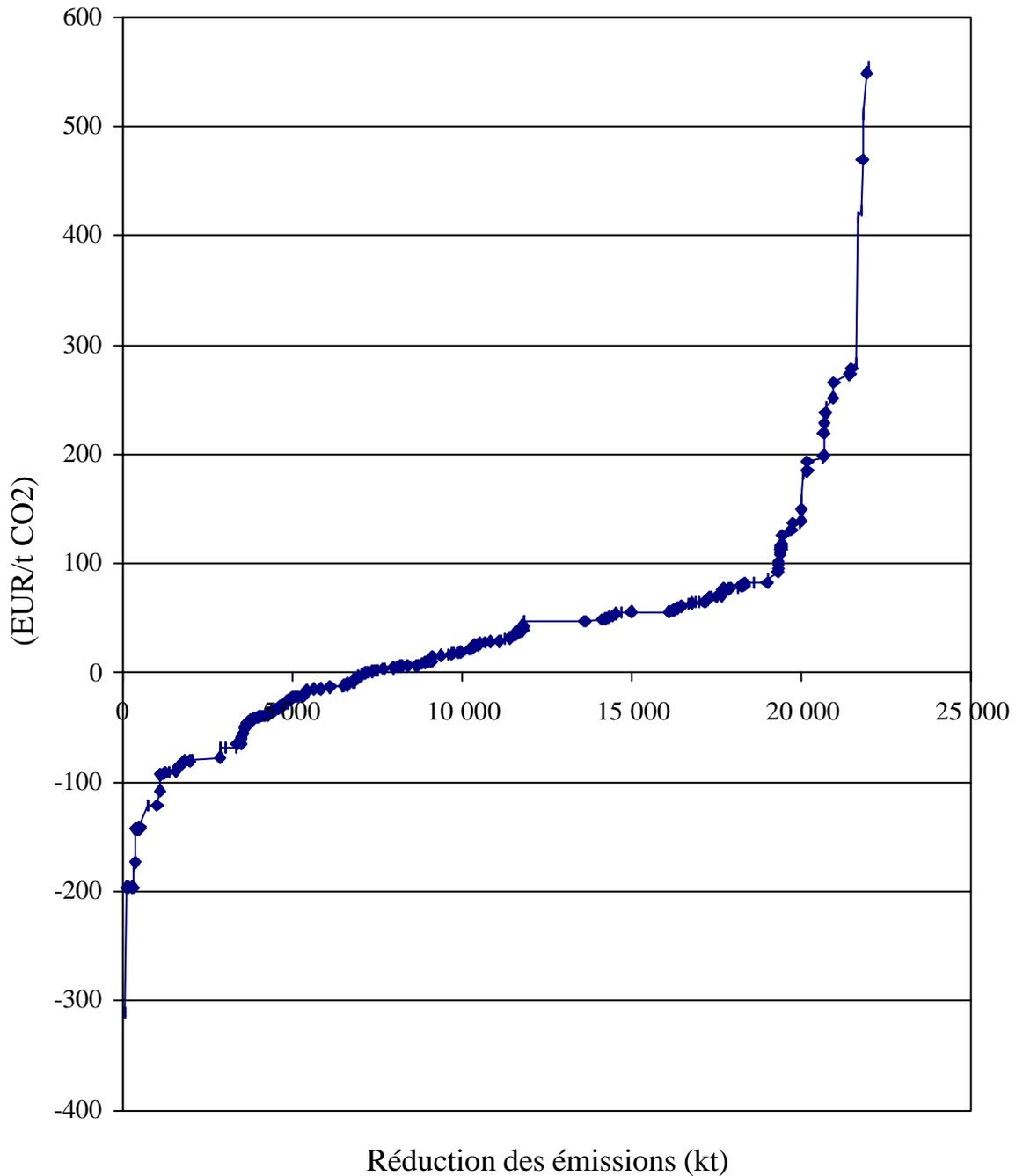
Dans la partie de la courbe à coût négatif se situent principalement des mesures de bonne gestion et d'utilisation rationnelle de l'électricité dans l'industrie, la modification des comportements en matière de chauffage dans le résidentiel et tertiaire, ainsi que le remplacement du chauffage électrique par du gaz naturel (rappelons que cette évaluation est faite au 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%

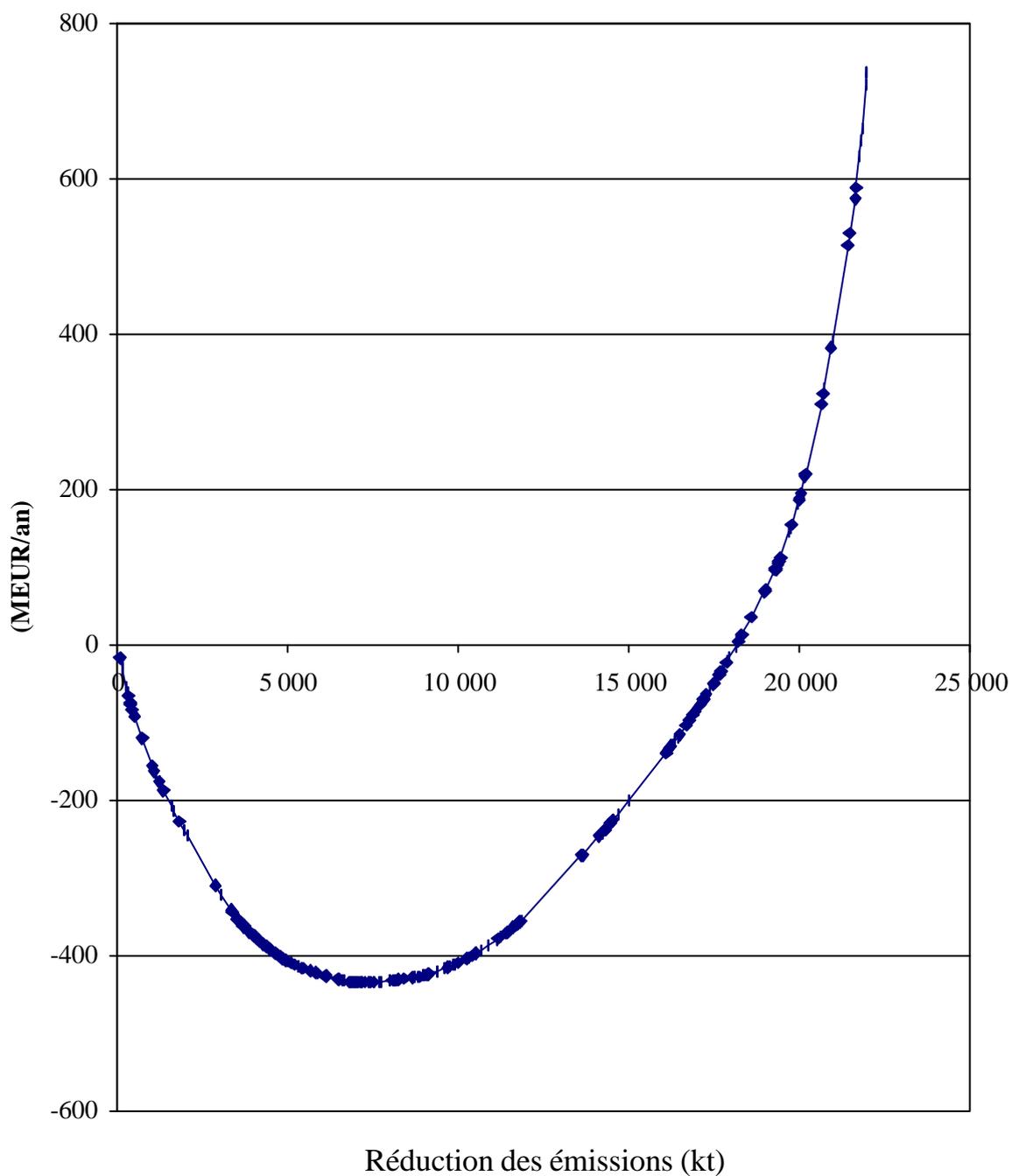


Coût total annuel de réduction des émissions de CO2 en
2010

(à partir du scénario de référence)

Belgique - TOUS SECTEURS (sauf le transport)

Taux d'actualisation 10-15-30%



Courbes de coût Energie primaire

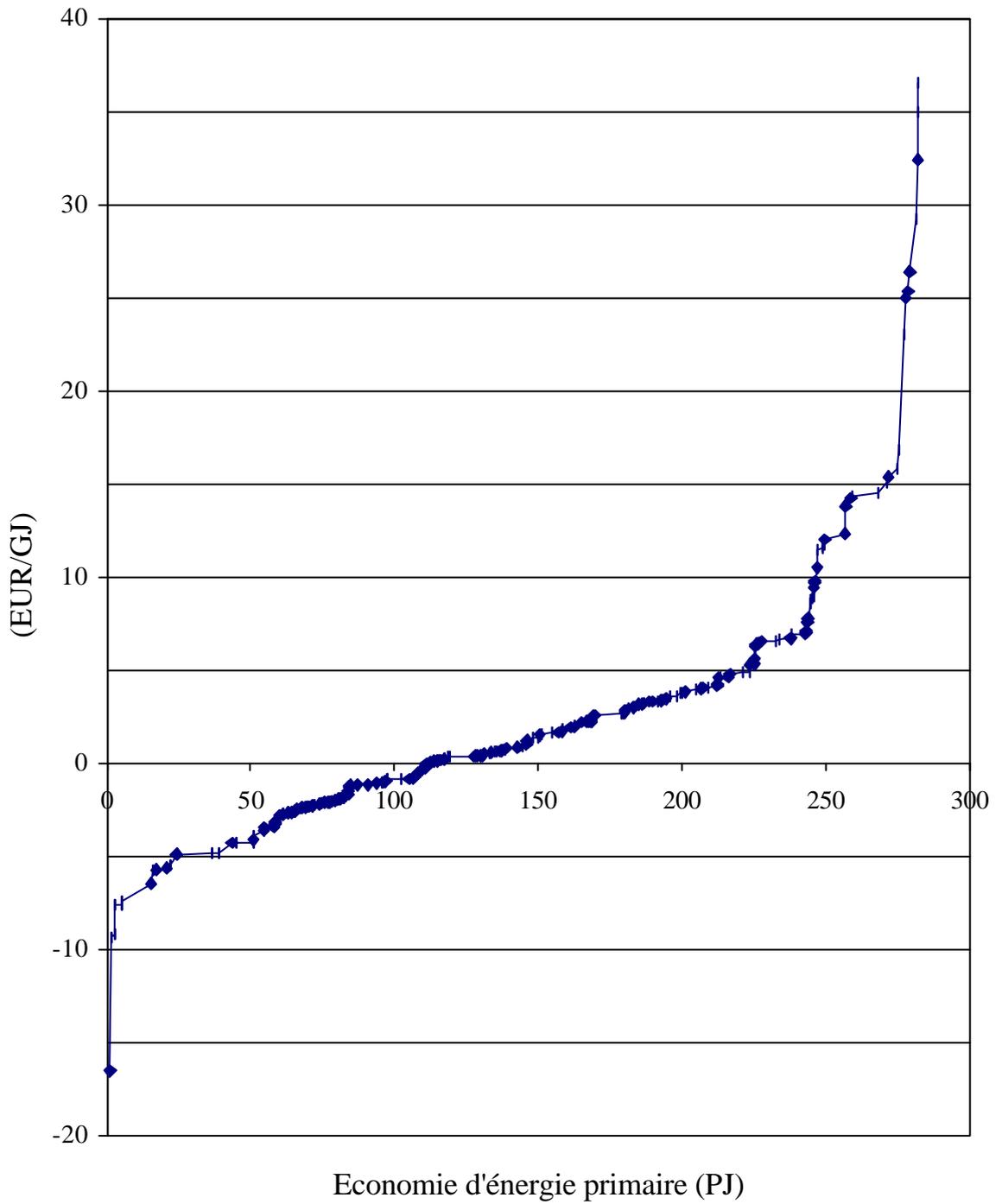
Les courbes de coût d'énergie primaire sont construites de la même manière que les courbes CO₂, mais en traçant soit le coût marginal, soit le coût total de réduction de la consommation énergétique en fonction du niveau cumulé de réduction de cette consommation énergétique. Les mesures sont ici considérées dans l'ordre croissant de coût par GJ économisé plutôt que du coût à la tonne de CO₂.

Il est à remarquer pour calculer l'équivalent énergie primaire de la réduction de la consommation d'électricité, nous avons divisé celles-ci 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 ces courbes diffèrent des courbes de coût CO₂ 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%



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.*

DELEUZE O. (2000) : *Projet de Plan Climat National*, Secrétaire d'Etat à l'Energie et au Développement Durable, novembre 2000.

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 CO2 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 SO2 et NOx en Région wallonne à l'horizon 2000*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1995) : *Emissions de CO2 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 CO2 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 CO2*, 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 (1997) : *Analyse prévisionnelle des émissions des gaz à effet de serre CH4, N2O et CO en Région wallonne à l'horizon 2000-2005*, étude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

ECONOTEC (1997) : *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).

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*.

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

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

Annexes

A. Liste des secteurs

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 élect. (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
- sucreries
- 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 électr.
- Chauffage appartements existants*
 - chauffage appart. exist. non él.
 - chauffage appart. exist. électr.
- Chauffage appartements neufs*
 - chauffage appart. neufs non él.
 - chauffage appart. neufs électr.
- Eau chaude sanitaire logements existants*
 - ECS logements exist. - non électr.
 - 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
récup. 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

Intégration énergétique B

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 alimentation B
- MVC chimie
- MVC chimie B
- 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 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
 - Vitrage super-isolant appartements neufs
- 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

BELGIQUE	Consommation d'énergie (TJ)						Evolution				
	1990	1997	2010 Scén. Réf.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
Scénario sans plafond											
Secteur énergétique (hors autopr.)	552 956	612 614	620 031	0	-14 924	605 107	11%	1%	12%	-1%	9%
Production centralisée d'électricité	446 833	476 413	475 349	0	0	475 349	7%	0%	6%	0%	6%
Raffineries	59 652	92 769	102 966	0	-12 139	90 827	56%	11%	73%	-2%	52%
Cokeries	26 516	24 774	19 119		-2 785	16 334	-7%	-23%	-28%	-34%	-38%
Pertes de transp./distr. et divers	19 955	18 659	22 597		0	22 597	-6%	21%	13%	21%	13%
Industrie	558 110	550 458	691 158	0	-132 213	558 945	-1%	26%	24%	2%	0%
Sidérurgie	212 610	180 522	223 189	0	-40 544	182 644	-15%	24%	5%	1%	-14%
Chimie	122 777	137 717	182 163	0	-44 765	137 399	12%	32%	48%	0%	12%
Produits minéraux non métalliques	79 475	79 631	92 190	0	-12 790	79 400	0%	16%	16%	0%	0%
Pâtes et papier	22 765	26 657	32 722	0	-4 599	28 123	17%	23%	44%	6%	24%
Alimentation	49 904	47 301	59 018	0	-10 946	48 073	-5%	25%	18%	2%	-4%
Fabrications métalliques	23 026	23 316	35 192	0	-6 495	28 697	1%	51%	53%	23%	25%
Autres industries	47 553	55 315	66 684	0	-12 074	54 610	16%	21%	40%	-1%	15%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)					0	0					
Transport	281 654	312 782	365 260		0	365 260	11%	17%	30%	17%	30%
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%
Domestique et équivalent	495 259	631 535	696 309	2 852	-51 733	647 428	28%	10%	41%	3%	31%
Résidentiel	349 140	439 957	465 472	2 852	-43 868	424 456	26%	6%	33%	-4%	22%
Tertiaire	107 651	152 426	191 685		-9 730	181 955	42%	26%	78%	19%	69%
Agriculture	38 467	39 152	39 152		1 865	41 017	2%	0%	2%	5%	7%
Prod. électricité renouvelable			0		-11 908	-11 908					
Energie éolienne			0		-7 053	-7 053					
Energie hydro-électrique			0		-320	-320					
Biomasse			0		-4 534	-4 534					
Exportation nette d'électricité	13 847	-4 316	-2 971		0	-2 971	-131%	-31%	-121%	-31%	-121%
Exportation nette d'électricité	13 847	-4 316	-2 971		0	-2 971	-131%	-31%	-121%	-31%	-121%
Total général	1 901 826	2 103 073	2 369 788	2 852	-210 778	2 161 862	11%	13%	25%	3%	14%

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)			Evolution		
	1990	1997	2010 Scén. Réf.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc. Réf.
Scénario de référence						
Secteur énergétique (hors autopr.)	27 867	29 064	33 798	4%	16%	21%
Production centralisée d'électricité	21 335	21 511	25 608	1%	19%	20%
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%
Industrie	42 155	41 384	50 755	-2%	23%	20%
Sidérurgie	17 401	12 107	16 667	-30%	38%	-4%
Chimie	6 256	7 811	9 358	25%	20%	50%
Produits minéraux non métalliques	9 932	10 025	10 555	1%	5%	6%
Pâtes et papier	687	966	1 211	41%	25%	76%
Alimentation	3 038	2 444	2 790	-20%	14%	-8%
Fabrications métalliques	779	805	1 104	3%	37%	42%
Autres industries	2 054	2 286	2 681	11%	17%	31%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2 009	4 939	6 389	146%	29%	218%
Transport	19 757	21 973	25 739	11%	17%	30%
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%
Domestique et équivalent	27 616	33 990	35 118	23%	3%	27%
Résidentiel	20 619	24 806	25 148	20%	1%	22%
Tertiaire	4 233	6 496	7 283	53%	12%	72%
Agriculture	2 763	2 687	2 687	-3%	0%	-3%
Total général	117 395	126 411	145 410	7,7%	15,0%	23,9%

Emissions de CO2 du secteur électrique affectées au secteur électrique

BELGIQUE	Emissions de CO2 (kilotonnes)						Evolution				
	1990	1997	2010 Scén. Réf.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
Scénario sans plafond de coût											
Secteur énergétique (hors autopr.)	6 989	8 708	9 667	-2 229	-1 274	6 163	25%	11%	38%	-29%	-12%
Production centralisée d'électricité	-1 018	-1 467	-983	-1 786	0	-2 769	44%	-33%	-3%	89%	172%
Raffineries	4 625	7 030	7 781	-443	-1 123	6 215	52%	11%	68%	-12%	34%
Cokeries	1 653	1 597	1 143		-152	991	-3%	-28%	-31%	-38%	-40%
Pertes de transp./distr. et divers	1 730	1 548	1 726		0	1 726	-11%	12%	0%	12%	0%
Industrie	52 061	51 416	63 058	-1 489	-10 929	50 640	-1%	23%	21%	-2%	-3%
Sidérurgie	18 858	13 720	18 512	-52	-4 030	14 430	-27%	35%	-2%	5%	-23%
Chimie	9 583	11 313	13 603	-307	-3 272	10 024	18%	20%	42%	-11%	5%
Produits minéraux non métalliques	10 780	10 821	11 450	-740	-930	9 779	0%	6%	6%	-10%	-9%
Pâtes et papier	1 359	1 473	1 836	-62	-353	1 421	8%	25%	35%	-4%	5%
Alimentation	3 899	3 356	4 089	-211	-1 064	2 814	-14%	22%	5%	-16%	-28%
Fabrications métalliques	1 792	1 682	2 429	26	-533	1 922	-6%	44%	36%	14%	7%
Autres industries	3 781	4 112	4 751	-143	-747	3 861	9%	16%	26%	-6%	2%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2 009	4 939	6 389		0	6 389	146%	29%	218%	29%	218%
Transport	20 175	22 396	26 169		0	26 169	11%	17%	30%	17%	30%
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	620	580	607		0	607	-7%	5%	-2%	5%	-2%
Transport fluvial	311	316	316		0	316	1%	0%	1%	0%	1%
Domestique et équivalent	36 789	44 275	46 752	-225	-4 591	41 936	20%	6%	27%	-5%	14%
Résidentiel	25 399	30 318	30 475	-225	-2 905	27 345	19%	1%	20%	-10%	8%
Tertiaire	8 391	11 039	13 384		-1 281	12 103	32%	21%	59%	10%	44%
Agriculture	2 999	2 918	2 893		-405	2 488	-3%	-1%	-4%	-15%	-17%
Prod. électricité renouvelable			0		-1 207	-1 207					
Energie éolienne			0		-715	-715					
Energie hydro-électrique			0		-32	-32					
Biomasse			0		-460	-460					
Exportation nette d'électricité	1 381	-385	-236		0	-236	-128%	-39%	-117%	-39%	-117%
Exportation nette d'électricité	1 381	-385	-236		0	-236	-128%	-39%	-117%	-39%	-117%
Total général	117 395	126 411	145 410	-3 943	-18 002	123 464	7,7%	15,0%	23,9%	-2,3%	5,2%

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

BELGIQUE	2010	Réduction cons. énergie finale (TJ)	Réduction cons. énergie primaire (TJ)	Réduction émissions de CO2 (kt)	Coût invest. (M€)	Coût net (M€)
Scénario sans plafond						
Bonne gestion		56 284	62 817	4 309	151	-127
Modification de comportements		22 606	23 163	1 495	0	-119
Récupération de chaleur		29 999	30 092	2 420	201	106
Récupération de combustible		424	424	24	3	2
Recyclage de matériaux		1 651	1 651	255	0	-4
Moteur à vitesse variable		9 804	19 658	994	128	-15
Intégration énergétique		6 319	6 319	375	31	7
Isolation thermique		20 074	20 074	1 308	353	182
Eclairage efficace		3 903	7 825	396	64	-13
Changement de procédé		23 436	23 448	1 347	187	99
Equipements à meilleur rendement		19 802	24 525	1 406	170	-4
Cogénération		37 142	37 142	2 394	463	186
Energie renouvelable		12 963	25 077	1 281	424	298
Substitution énergétique				3 943		
Total général		244 407	282 214	21 946	2 174	598

BELGIQUE	Consommation 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.
Plafond 0 €t CO2, tx 10-15-30											
Secteur énergétique (hors autopr.)	552 956	612 614	620 031	0	-9 087	610 944	11%	1%	12%	0%	10%
Production centralisée d'électricité	446 833	476 413	475 349	0	0	475 349	7%	0%	6%	0%	6%
Raffineries	59 652	92 769	102 966	0	-8 849	94 116	56%	11%	73%	1%	58%
Cokeries	26 516	24 774	19 119		-238	18 881	-7%	-23%	-28%	-24%	-29%
Pertes de transp./distr. et divers	19 955	18 659	22 597		0	22 597	-6%	21%	13%	21%	13%
Industrie	558 110	550 458	691 158	0	-63 110	628 049	-1%	26%	24%	14%	13%
Sidérurgie	212 610	180 522	223 189	0	-15 091	208 098	-15%	24%	5%	15%	-2%
Chimie	122 777	137 717	182 163	0	-19 343	162 820	12%	32%	48%	18%	33%
Produits minéraux non métalliques	79 475	79 631	92 190	0	-7 389	84 801	0%	16%	16%	6%	7%
Pâtes et papier	22 765	26 657	32 722	0	-3 782	28 940	17%	23%	44%	9%	27%
Alimentation	49 904	47 301	59 018	0	-7 861	51 157	-5%	25%	18%	8%	3%
Fabrications métalliques	23 026	23 316	35 192	0	-3 537	31 655	1%	51%	53%	36%	37%
Autres industries	47 553	55 315	66 684	0	-6 107	60 577	16%	21%	40%	10%	27%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)					0	0					
Transport	281 654	312 782	365 260		0	365 260	11%	17%	30%	17%	30%
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%
Domestique et équivalent	495 259	631 535	696 309	2 851	-28 570	670 590	28%	10%	41%	6%	35%
Résidentiel	349 140	439 957	465 472	2 851	-22 136	446 187	26%	6%	33%	1%	28%
Tertiaire	107 651	152 426	191 685		-6 478	185 207	42%	26%	78%	22%	72%
Agriculture	38 467	39 152	39 152		44	39 196	2%	0%	2%	0%	2%
Prod. électricité renouvelable			0		-715	-715					
Energie éolienne			0		-91	-91					
Energie hydro-électrique			0		-84	-84					
Biomasse			0		-540	-540					
Exportation nette d'électricité	13 847	-4 316	-2 971		0	-2 971	-131%	-31%	-121%	-31%	-121%
Exportation nette d'électricité	13 847	-4 316	-2 971		0	-2 971	-131%	-31%	-121%	-31%	-121%
Total général	1 901 826	2 103 073	2 369 788	2 851	-101 482	2 271 156	11%	13%	25%	8%	19%

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.
Plafond 0 €t CO2											
Secteur énergétique (hors autopr.)	6 989	8 708	9 667	0	-703	8 963	25%	11%	38%	3%	28%
Production centralisée d'électricité	-1 018	-1 467	-983	0	0	-983	44%	-33%	-3%	-33%	-3%
Raffineries	4 625	7 030	7 781	0	-690	7 090	52%	11%	68%	1%	53%
Cokeries	1 653	1 597	1 143		-13	1 129	-3%	-28%	-31%	-29%	-32%
Pertes de transp./distr. et divers	1 730	1 548	1 726		0	1 726	-11%	12%	0%	12%	0%
Industrie	52 061	51 416	63 058	0	-5 087	57 970	-1%	23%	21%	13%	11%
Sidérurgie	18 858	13 720	18 512	0	-1 325	17 187	-27%	35%	-2%	25%	-9%
Chimie	9 583	11 313	13 603	0	-1 489	12 115	18%	20%	42%	7%	26%
Produits minéraux non métalliques	10 780	10 821	11 450	0	-564	10 885	0%	6%	6%	1%	1%
Pâtes et papier	1 359	1 473	1 836	0	-278	1 558	8%	25%	35%	6%	15%
Alimentation	3 899	3 356	4 089	0	-643	3 446	-14%	22%	5%	3%	-12%
Fabrications métalliques	1 792	1 682	2 429	0	-341	2 089	-6%	44%	36%	24%	17%
Autres industries	3 781	4 112	4 751	0	-447	4 303	9%	16%	26%	5%	14%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2 009	4 939	6 389		0	6 389	146%	29%	218%	29%	218%
Transport	20 175	22 396	26 169	0	0	26 169	11%	17%	30%	17%	30%
Transport routier de personnes	13 250	15 329	18 169	0	0	18 169	16%	19%	37%	19%	37%
Transport routier de marchandises	5 993	6 172	7 077	0	0	7 077	3%	15%	18%	15%	18%
Transport ferroviaire	620	580	607	0	0	607	-7%	5%	-2%	5%	-2%
Transport fluvial	311	316	316	0	0	316	1%	0%	1%	0%	1%
Domestique et équivalent	36 789	44 275	46 752	-225	-2 173	44 354	20%	6%	27%	0%	21%
Résidentiel	25 399	30 318	30 475	-225	-1 480	28 770	19%	1%	20%	-5%	13%
Tertiaire	8 391	11 039	13 384		-683	12 701	32%	21%	59%	15%	51%
Agriculture	2 999	2 918	2 893		-10	2 884	-3%	-1%	-4%	-1%	-4%
Prod. électricité renouvelable			0		-73	-73					
Energie éolienne			0		-9	-9					
Energie hydro-électrique			0		-9	-9					
Biomasse			0		-55	-55					
Exportation nette d'électricité	1 381	-385	-236		0	-236	-128%	-39%	-117%	-39%	-117%
Exportation nette d'électricité	1 381	-385	-236		0	-236	-128%	-39%	-117%	-39%	-117%
Total général	117 395	126 411	145 410	-226	-8 036	137 148	7,7%	15,0%	23,9%	8,5%	16,8%

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

BELGIQUE	2010	Réduction cons. énergie finale (TJ)	Réduction cons. énergie primaire (TJ)	Réduction émissions de CO2 (kt)	Coût invest. (M€)	Coût net (M€)
Scénario sans plafond						
Bonne gestion		47 941	54 474	3 563	107	-145
Modification de comportements		22 605	23 163	1 495	0	-119
Récupération de chaleur		5 588	5 609	357	25	2
Récupération de combustible		4	4	0	0	0
Recyclage de matériaux		1 651	1 651	256	0	-4
Moteur à vitesse variable		5 574	11 177	565	65	-16
Intégration énergétique		1 508	1 508	94	7	1
Isolation thermique		1 723	1 723	111	19	4
Eclairage efficace		3 502	7 021	355	36	-31
Changement de procédé		1 254	1 265	72	9	4
Equipements à meilleur rendement		9 910	14 626	786	40	-66
Cogénération		5 053	5 053	305	68	17
Energie renouvelable		750	1 504	76	13	4
Substitution énergétique				226		
Total général		107 064	128 778	8 262	390	-349

BELGIQUE	Consommation d'énergie (TJ)						Evolution				
	1990	1997	2010 Scén. Réf.	2010 Substitution	2010 Réduction	2010 Scén. Réd.	90-97	97-10 Sc. Réf.	90-10 Sc.	97-10 Sc. Réd.	90-10 Sc. Réd.
Plafond 25 €t CO2											
Secteur énergétique (hors autopr.)	552 956	612 614	620 031	0	-11 895	608 136	11%	1%	12%	-1%	10%
Production centralisée d'électricité	446 833	476 413	475 349	0	0	475 349	7%	0%	6%	0%	6%
Raffineries	59 652	92 769	102 966	0	-11 205	91 761	56%	11%	73%	-1%	54%
Cokeries	26 516	24 774	19 119		-691	18 429	-7%	-23%	-28%	-26%	-30%
Pertes de transp./distr. et divers	19 955	18 659	22 597		0	22 597	-6%	21%	13%	21%	13%
Industrie	558 110	550 458	691 158	0	-86 502	604 656	-1%	26%	24%	10%	8%
Sidérurgie	212 610	180 522	223 189	0	-25 529	197 659	-15%	24%	5%	9%	-7%
Chimie	122 777	137 717	182 163	0	-26 002	156 161	12%	32%	48%	13%	27%
Produits minéraux non métalliques	79 475	79 631	92 190	0	-9 926	82 264	0%	16%	16%	3%	4%
Pâtes et papier	22 765	26 657	32 722	0	-4 275	28 447	17%	23%	44%	7%	25%
Alimentation	49 904	47 301	59 018	0	-9 292	49 726	-5%	25%	18%	5%	0%
Fabrications métalliques	23 026	23 316	35 192	0	-3 934	31 258	1%	51%	53%	34%	36%
Autres industries	47 553	55 315	66 684	0	-7 544	59 140	16%	21%	40%	7%	24%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)					0	0					
Transport	281 654	312 782	365 260		0	365 260	11%	17%	30%	17%	30%
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%
Domestique et équivalent	495 259	631 535	696 309	2 851	-30 411	668 750	28%	10%	41%	6%	35%
Résidentiel	349 140	439 957	465 472	2 851	-23 938	444 385	26%	6%	33%	1%	27%
Tertiaire	107 651	152 426	191 685		-6 634	185 051	42%	26%	78%	21%	72%
Agriculture	38 467	39 152	39 152		161	39 313	2%	0%	2%	0%	2%
Prod. électricité renouvelable			0		-1 346	-1 346					
Energie éolienne			0		-195	-195					
Energie hydro-électrique			0		-156	-156					
Biomasse			0		-995	-995					
Exportation nette d'électricité	13 847	-4 316	-2 971		0	-2 971	-131%	-31%	-121%	-31%	-121%
Exportation nette d'électricité	13 847	-4 316	-2 971		0	-2 971	-131%	-31%	-121%	-31%	-121%
Total général	1 901 826	2 103 073	2 369 788	2 851	-130 154	2 242 485	11%	13%	25%	7%	18%

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.
Plafond 25 €t CO2											
Secteur énergétique (hors autopr.)	6 989	8 708	9 667	-6	-928	8 733	25%	11%	38%	0%	25%
Production centralisée d'électricité	-1 018	-1 467	-983	0	0	-983	44%	-33%	-3%	-33%	-3%
Raffineries	4 625	7 030	7 781	-6	-890	6 884	52%	11%	68%	-2%	49%
Cokeries	1 653	1 597	1 143		-38	1 105	-3%	-28%	-31%	-31%	-33%
Pertes de transp./distr. et divers	1 730	1 548	1 726		0	1 726	-11%	12%	0%	12%	0%
Industrie	52 061	51 416	63 058	-17	-7 438	55 603	-1%	23%	21%	8%	7%
Sidérurgie	18 858	13 720	18 512	-1	-2 675	15 836	-27%	35%	-2%	15%	-16%
Chimie	9 583	11 313	13 603	-4	-1 982	11 617	18%	20%	42%	3%	21%
Produits minéraux non métalliques	10 780	10 821	11 450	-7	-775	10 668	0%	6%	6%	-1%	-1%
Pâtes et papier	1 359	1 473	1 836	-1	-317	1 518	8%	25%	35%	3%	12%
Alimentation	3 899	3 356	4 089	-3	-777	3 309	-14%	22%	5%	-1%	-15%
Fabrications métalliques	1 792	1 682	2 429	0	-372	2 058	-6%	44%	36%	22%	15%
Autres industries	3 781	4 112	4 751	-2	-540	4 208	9%	16%	26%	2%	11%
Usages non énergét. (hors gaz nat.)	2 009	4 939	6 389		0	6 389	146%	29%	218%	29%	218%
Transport	20 175	22 396	26 169		0	26 169	11%	17%	30%	17%	30%
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	620	580	607		0	607	-7%	5%	-2%	5%	-2%
Transport fluvial	311	316	316		0	316	1%	0%	1%	0%	1%
Domestique et équivalent	36 789	44 275	46 752	-225	-2 386	44 141	20%	6%	27%	0%	20%
Résidentiel	25 399	30 318	30 475	-225	-1 596	28 654	19%	1%	20%	-5%	13%
Tertiaire	8 391	11 039	13 384		-755	12 629	32%	21%	59%	14%	50%
Agriculture	2 999	2 918	2 893		-35	2 858	-3%	-1%	-4%	-2%	-5%
Prod. électricité renouvelable			0		-136	-136					
Energie éolienne			0		-20	-20					
Energie hydro-électrique			0		-16	-16					
Biomasse			0		-101	-101					
Exportation nette d'électricité	1 381	-385	-236		0	-236	-128%	-39%	-117%	-39%	-117%
Exportation nette d'électricité	1 381	-385	-236		0	-236	-128%	-39%	-117%	-39%	-117%
Total général	117 395	126 411	145 410	-248	-10 889	134 273	7,7%	15,0%	23,9%	6,2%	14,4%

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

BELGIQUE	2010	Réduction cons. énergie finale (TJ)	Réduction cons. énergie primaire (TJ)	Réduction émissions de CO2 (kt)	Coût invest. (M€)	Coût net (M€)
Scénario sans plafond						
Bonne gestion		53 258	59 791	4 278	120	-143
Modification de comportements		22 606	23 163	1 495	0	-119
Récupération de chaleur		16 578	16 618	1 335	75	17
Récupération de combustible		22	22	1	0	0
Recyclage de matériaux		1 651	1 651	256	0	-4
Moteur à vitesse variable		7 691	15 421	780	96	-16
Intégration énergétique		3 956	3 956	245	19	3
Isolation thermique		3 117	3 117	202	36	9
Eclairage efficace		3 507	7 031	356	36	-32
Changement de procédé		4 264	4 275	247	30	13
Equipements à meilleur rendement		12 653	17 369	955	58	-63
Cogénération		8 472	8 472	598	111	33
Energie renouvelable		1 392	2 790	141	23	7
Substitution énergétique				248		
Total général		139 168	163 678	11 137	605	-293

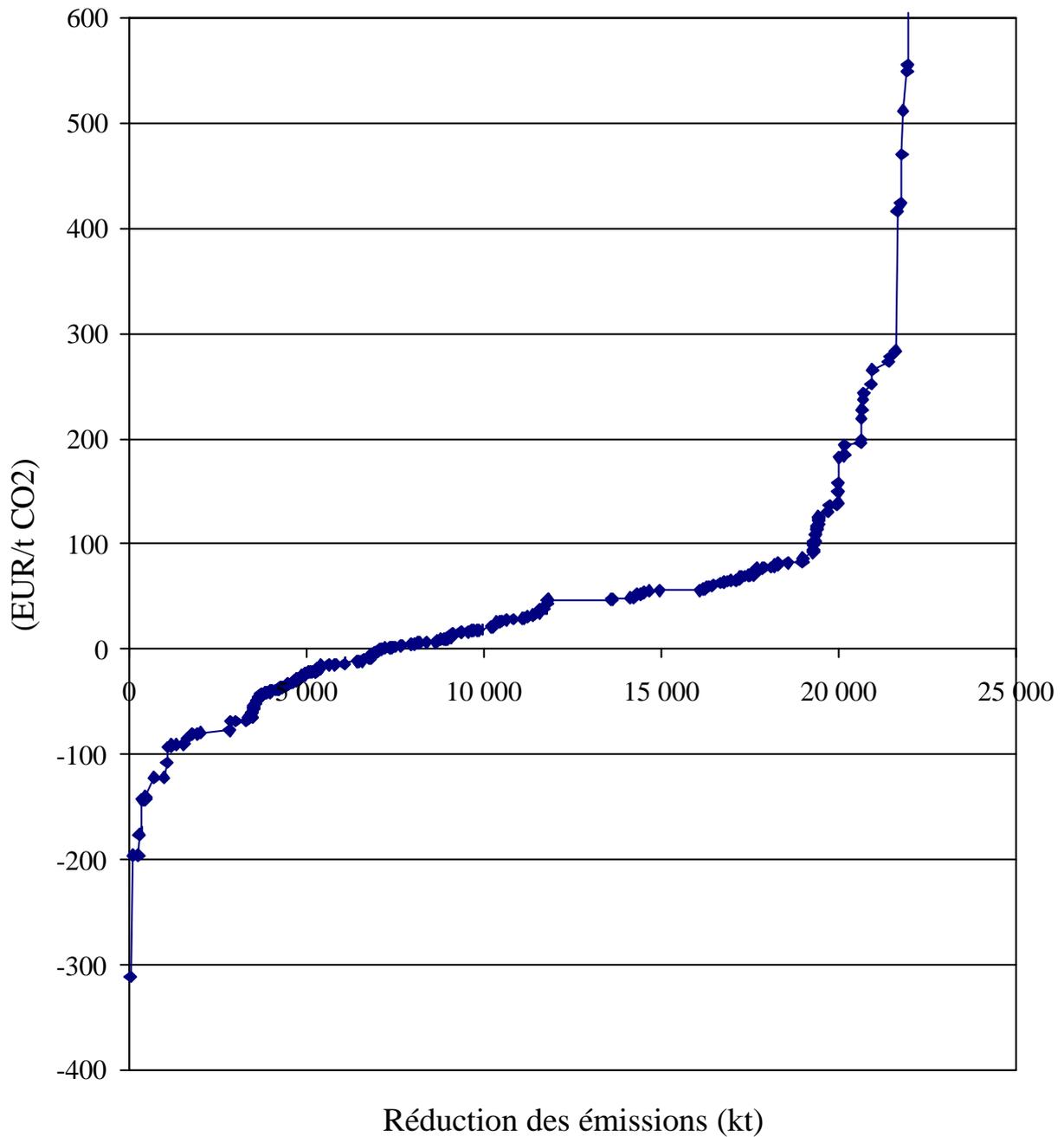
ECONOTEC

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%



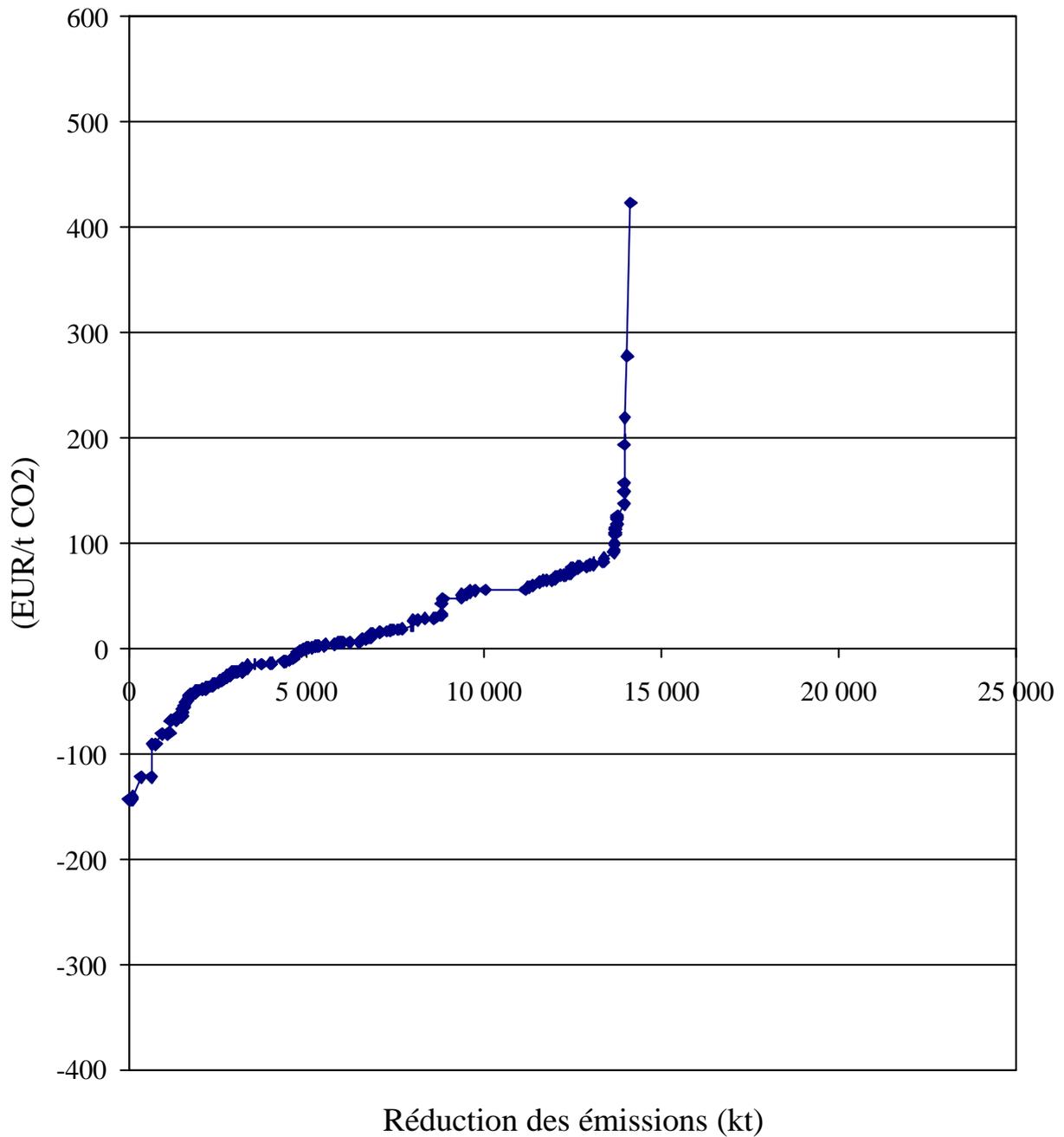
ECONOTEC

Coût marginal de réduction des émissions de CO2 en 2010

(à partir du scénario de référence)

Belgique - INDUSTRIE

Taux d'actualisation 30%



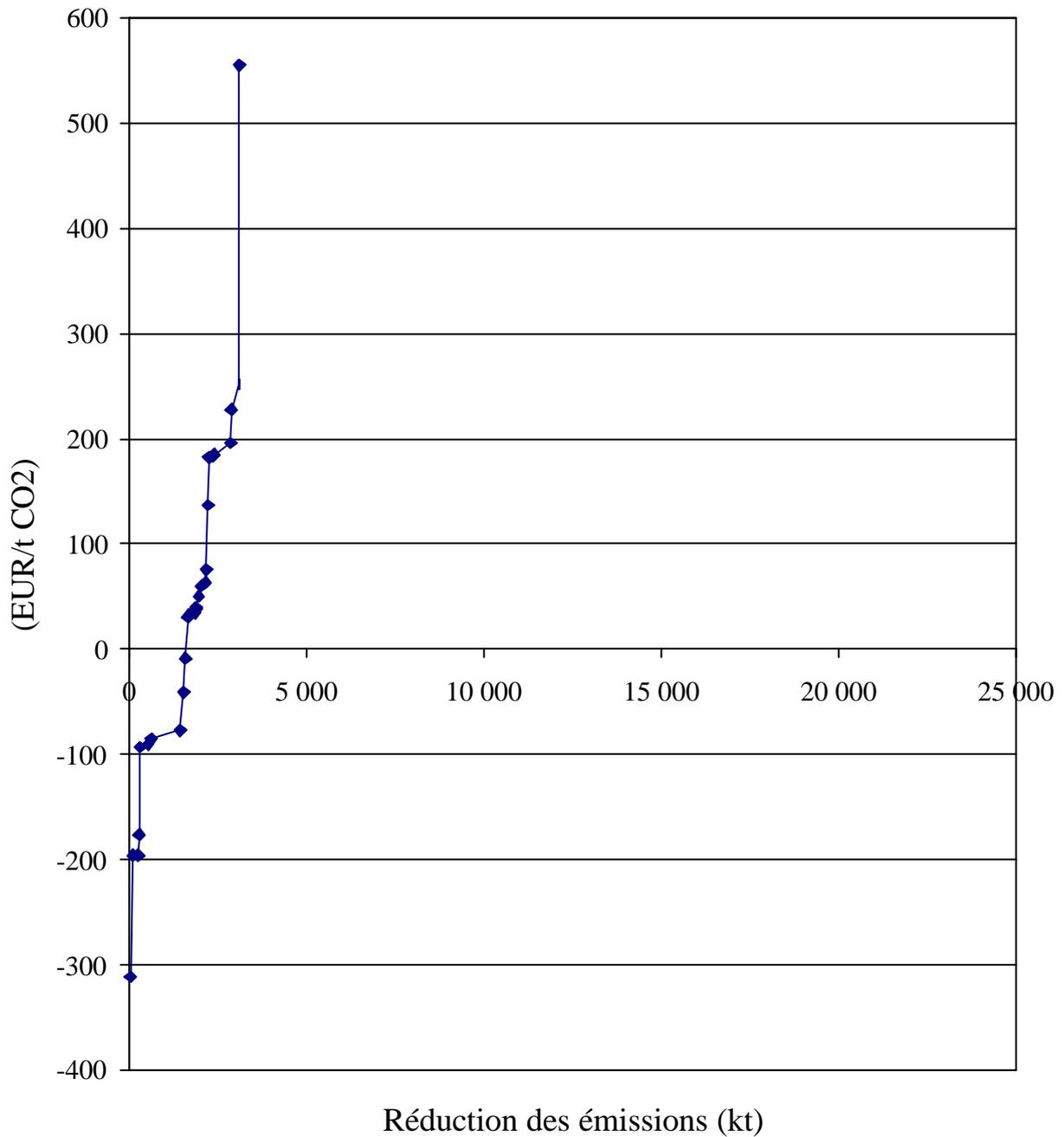
ECONOTEC

Coût marginal de réduction des émissions de CO2 en 2010

(à partir du scénario de référence)

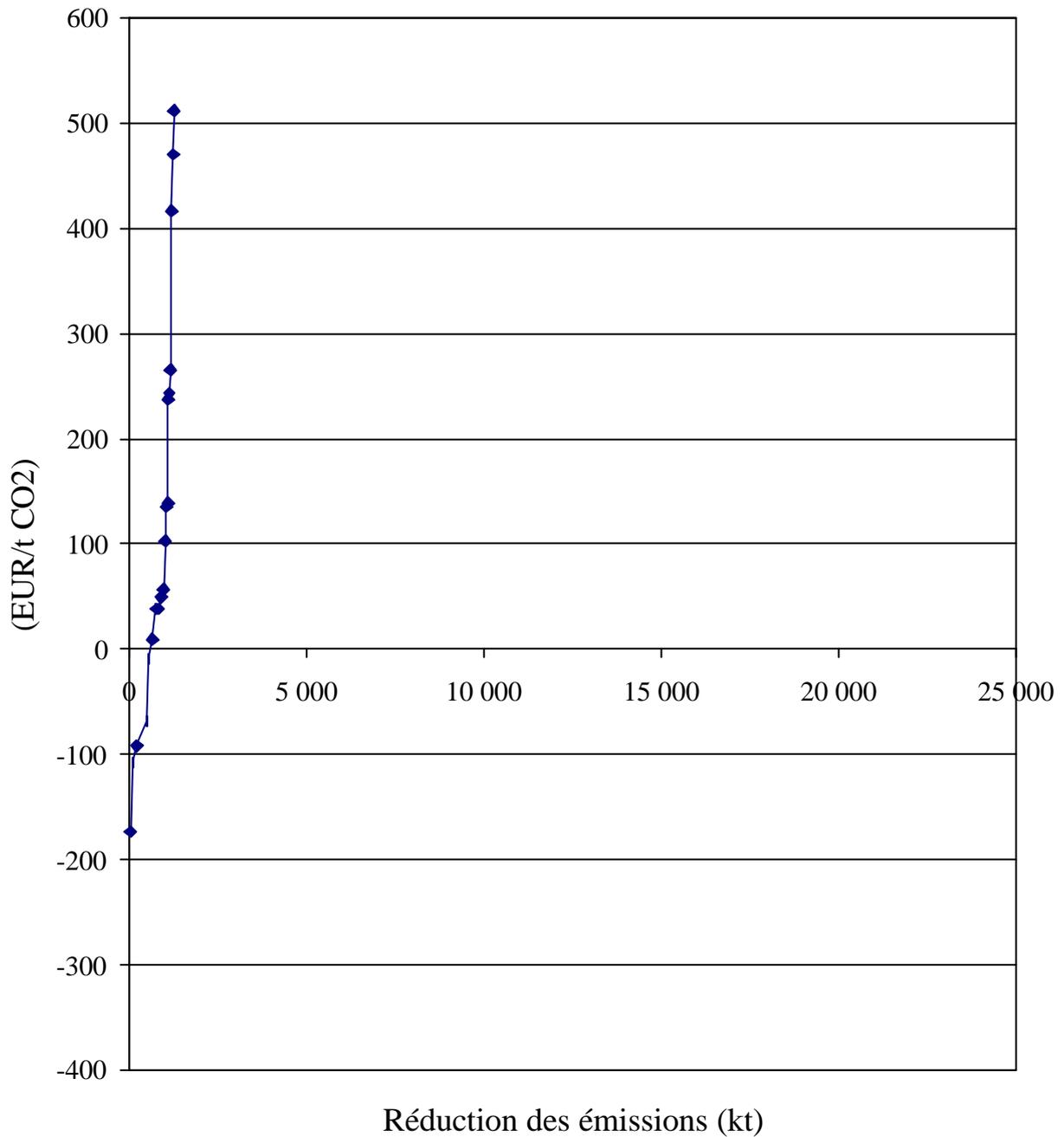
Belgique - RESIDENTIEL

Taux d'actualisation 10%



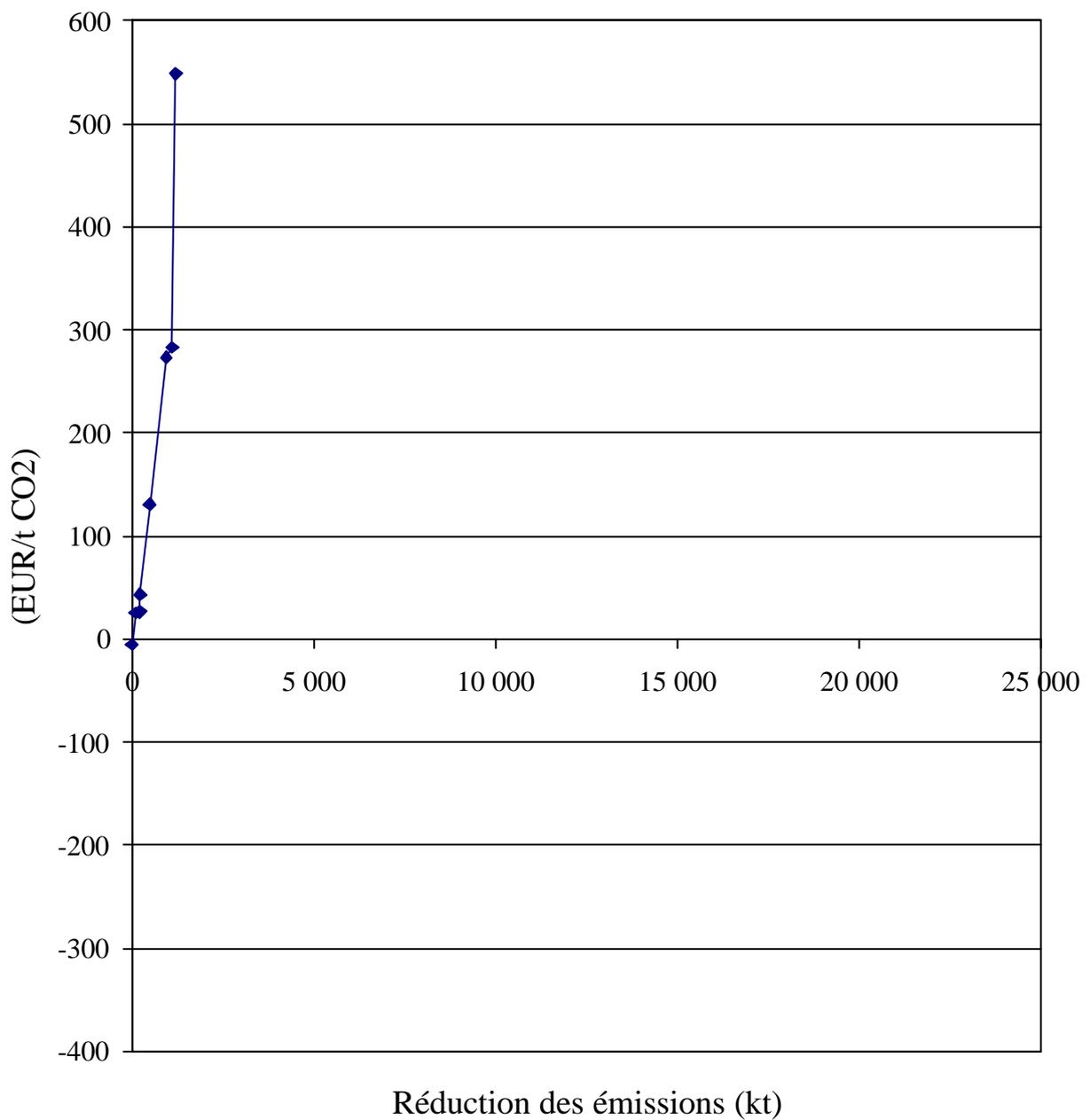
ECONOTEC

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%



ECONOTEC

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%



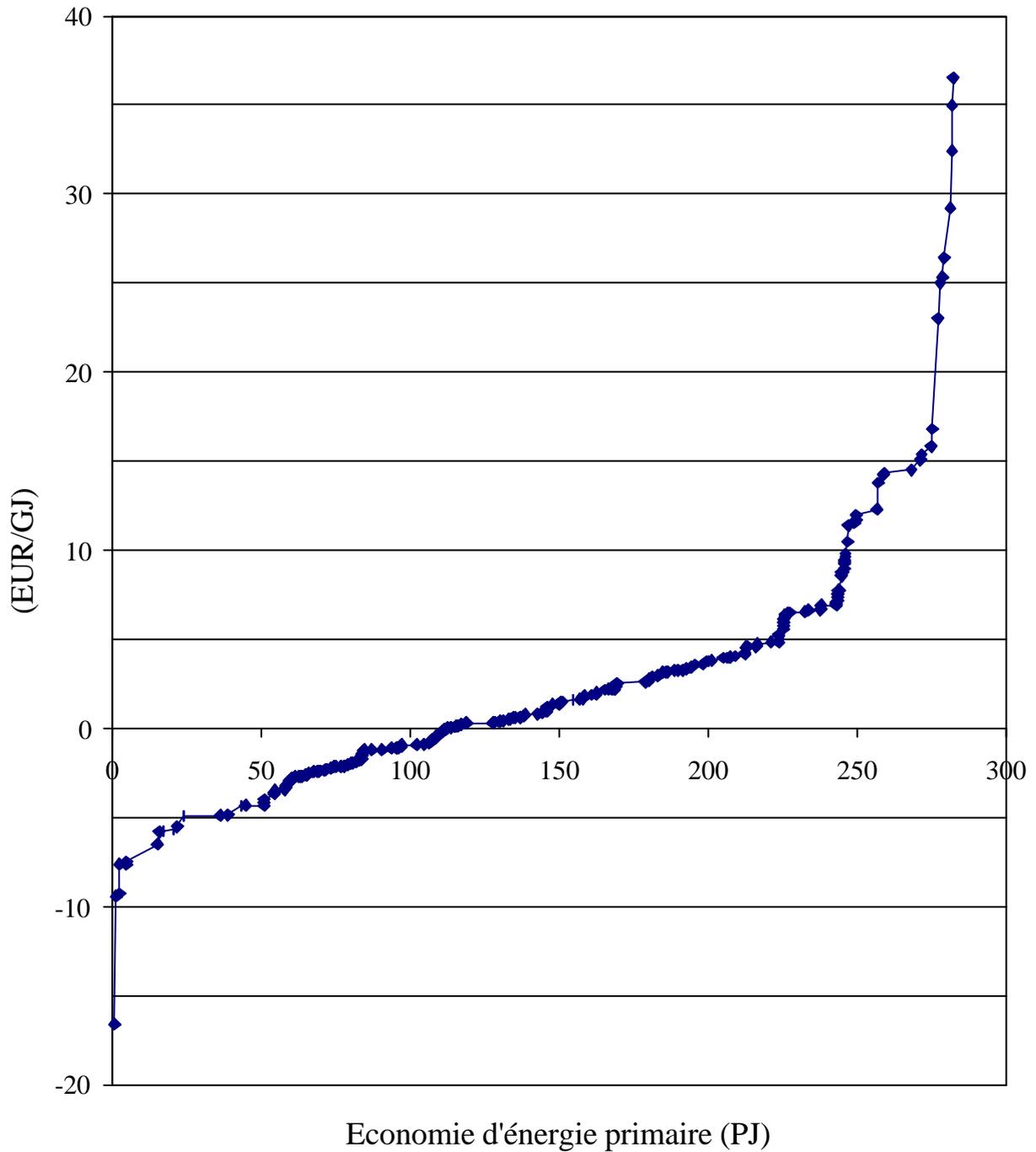
ECONOTEC

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%



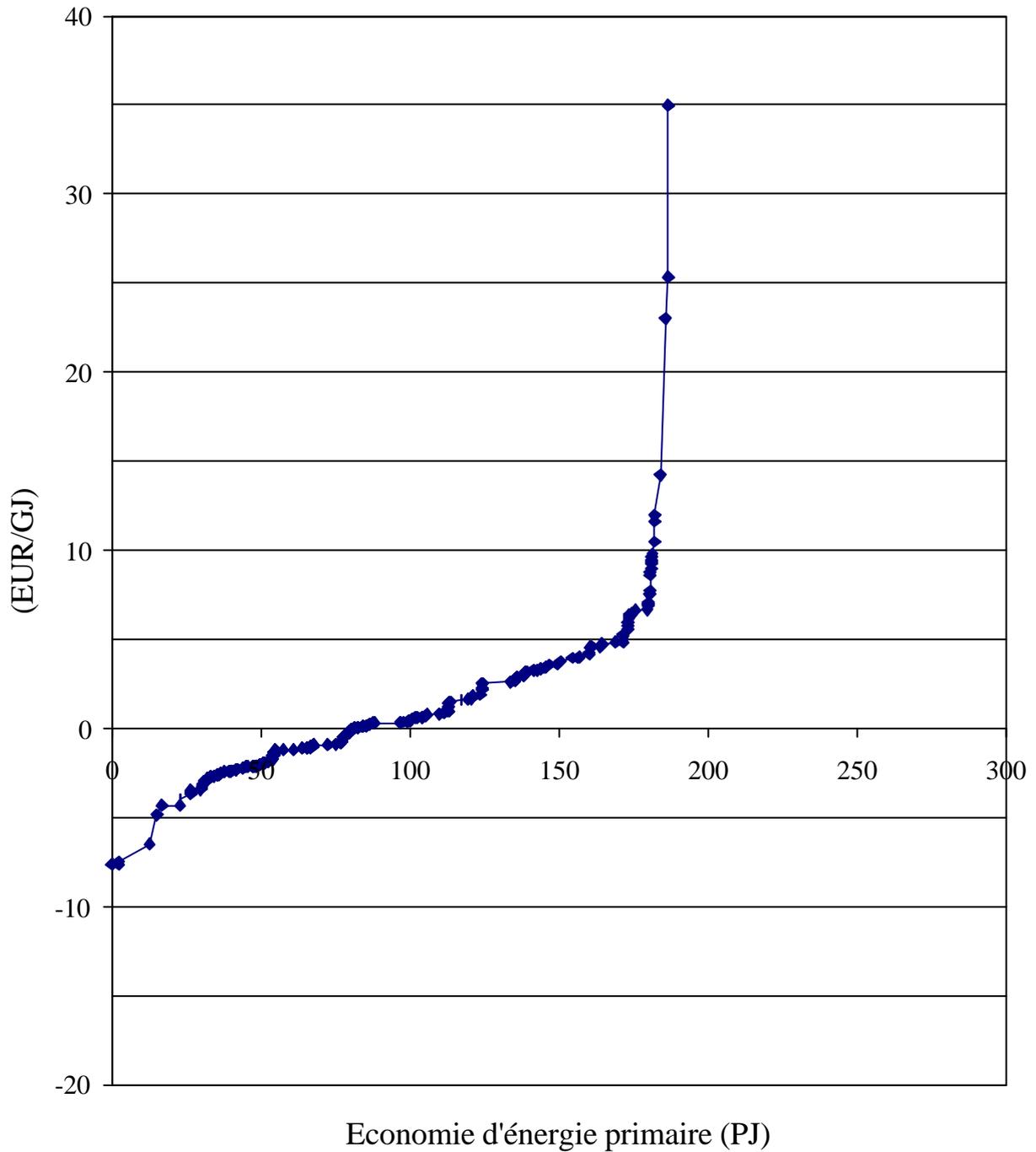
ECONOTEC

Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

Belgique - INDUSTRIE

Taux d'actualisation 30%



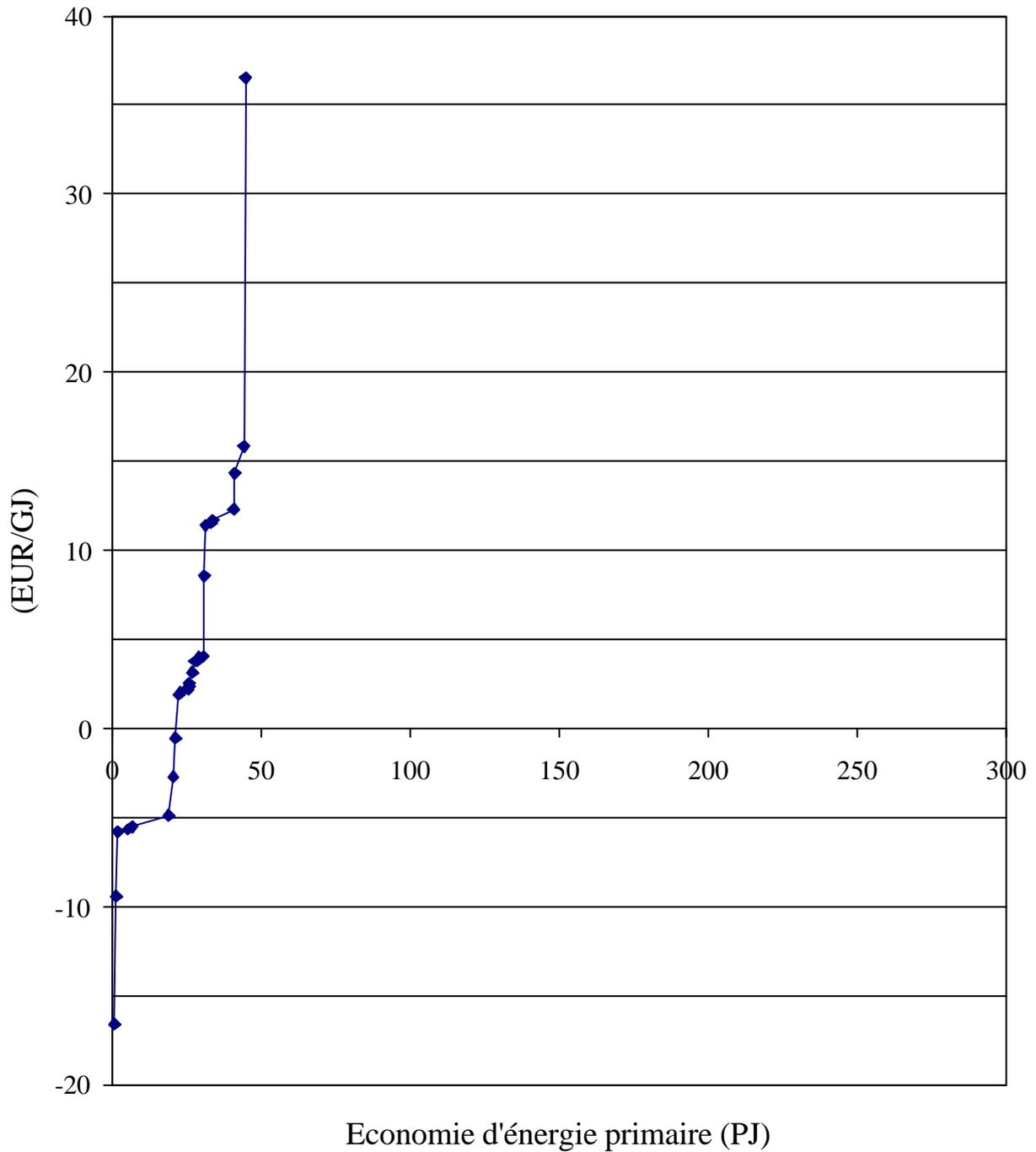
ECONOTEC

Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

Belgique - RESIDENTIEL

Taux d'actualisation 10%



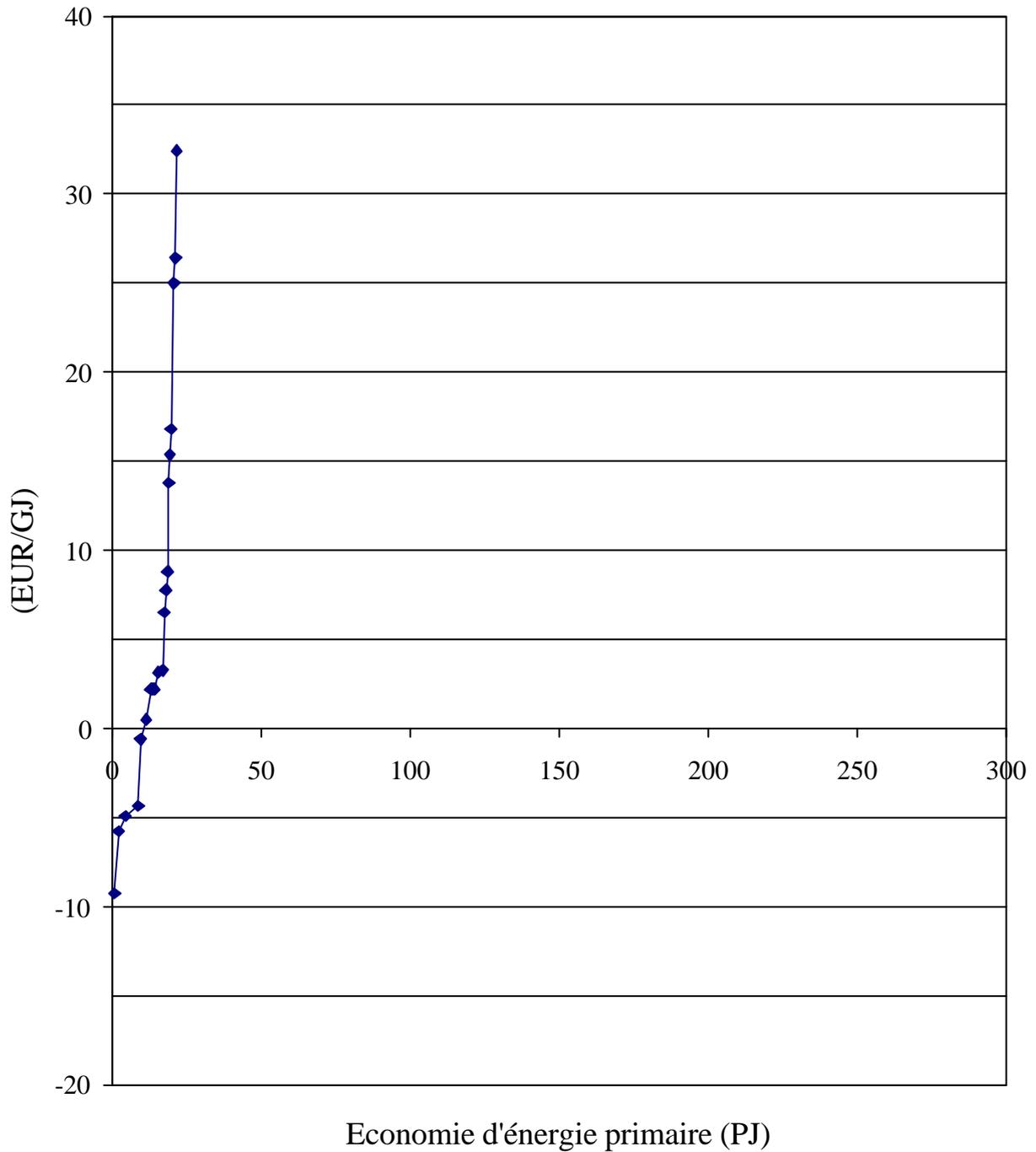
ECONOTEC

Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

Belgique - TERTIAIRE

Taux d'actualisation 15%



ECONOTEC

Coût marginal d'économie d'énergie primaire en 2010

(à partir du scénario de référence)

Belgique - PROD. ELECTRICITE

RENOUVELABLE

Taux d'actualisation 10%

