

JULIE ADÈS

**L'IMPACT
DU CADRE RÉGLEMENTAIRE FÉDÉRAL DE RÉDUCTION
D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DE 2007
SUR LES CHOIX DES SOURCES D'ÉNERGIE DE L'INDUSTRIE
QUÉBÉCOISE DES PÂTES ET PAPIERS**

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en économie
pour l'obtention du grade de Maître ès Arts (M.A.)

DÉPARTEMENT D'ÉCONOMIQUE
FACULTÉ DES SCIENCES SOCIALES
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2010

© Julie Adès, 2010

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	4
AVANT-PROPOS	5
1. INTRODUCTION	7
2. HISTORIQUE ET FONDEMENTS DU MARCHÉ DU CARBONE	8
2.1 Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques	8
2.2 Le Protocole de Kyoto	9
2.2.1 Les mécanismes proposés dans le Protocole de Kyoto	9
2.2.2 Méthode d'allocation de permis	9
2.2.3 Logique économique	10
3. CADRE RÉGLEMENTAIRE CANADIEN SUR LES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES	12
3.1 L'application des cibles d'intensité	12
3.2 Les options pour se conformer aux cibles de réduction	13
3.3 L'entrée en jeu d'un système d'échange d'émissions de GES	14
4. L'APPROCHE DE LA RECHERCHE	16
4.1 Évaluer la faisabilité de la recherche	16
4.2 Préciser l'objectif de la recherche	17
5. L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS	18
5.1 Le contexte réglementaire actuel de l'industrie des pâtes et papiers	18
5.2 Les méthodes de production de la pâte et du papier	18
5.2.1 La mise en pâte mécanique et ses variantes	19
5.2.2 La mise en pâte chimique	20
5.2.3 La mise en pâte recyclée	21
5.3 Implication des différentes catégories industrielles dans l'application du cadre réglementaire sur les émissions atmosphériques	22
5.4 Classification des usines	23
6. LES DONNÉES	24
6.1 Le niveau de production de l'industrie	24
6.1.1 La définition de la production de l'industrie	24
6.1.2 Production des usines classées « autres »	24
6.1.3 Production des usines classées chimiques	25
6.2 Les sources d'énergie	26
6.2.1 La biomasse : une source d'énergie non-traditionnelle	27
6.2.2 Les déchets industriels et leurs utilisations	27
6.2.2.1 La liqueur noire	28
6.2.2.2 L'écorce, les nœuds et les résidus de bois	29
6.2.2.3 La boue	29
6.2.3 La cogénération	30
6.2.4 Les centrales hydroélectriques	31
6.2.5 Les sources d'énergie utilisées dans l'estimation	31

6.2.6 Statistiques sur la production et les émissions de l'industrie chimique et « autres »	33
Tableau 7 : Production et émissions de GES en 1990 et 2006	34
6.2.6.1 Méthode pour calculer les émissions de GES réalisées	35
6.2.7 Les prix des sources d'énergie	36
6.2.8 Variables considérées dans le modèle : l'électricité et l'énergie fossile agrégée	37
6.2.9 Parts de marché durant la période d'estimation	37
7. L'ESTIMATION	39
7.1 L'objectif et le plan	39
7.2 Le modèle générique	39
7.3 Catégorie chimique	41
7.3.1 Analyse des résultats	42
7.3.1.1 Les prix	42
7.3.1.2 Les extrants	43
7.4 Catégorie « autres »	44
7.4.1 Analyse des résultats	45
7.4.1.1 Les prix	45
7.4.1.2 Les extrants	45
7.5 Variables jugées non-significatives dans les modèles finaux	46
7.6 Les élasticités-prix	47
Tableau 10 : Résultats empiriques	48
7.7 Associer les changements d'émissions de GES à l'effet prix et l'effet quantité	49
Tableau 11 : Les réductions d'émissions de GES attribuées à l'effet prix et à l'effet quantité	52
7.8 Scénarios des différents prix pour une tonne d'émissions de GES	53
Tableau 12 : Émissions de GES par unité physique du mazout lourd et du gaz naturel	54
Tableau 13 : Différents scénarios de prix sur les émissions de GES provenant du mazout lourd	55
Tableau 14 : Différents scénarios de prix sur les émissions de GES provenant du Gaz naturel	56
7.9 Impact sur les émissions totales	56
Tableau 15 : Nouvelles émissions suites aux différents scénarios de prix	58
8. CONCLUSION	59
9. ANNEXES	61
9.1 Annexe A : Tableaux de données	61
Tableau 1 : Le regroupement des usines selon leur procédé chimique et « autres »	61
Tableau 2 : Production du groupe industriel « autres »	63
Tableau 3 : Production du groupe industriel chimique	64
Tableau 4 : Les centrales hydroélectriques	65
Tableau 5 : Consommation énergétique de l'industrie chimique (TJ)	66
Tableau 6 : Consommation énergétique de l'industrie « autres » (TJ)	67
Tableau 8 : Émissions provenant de la consommation du gaz naturel et du mazout	68
Tableau 9 : Les prix des sources d'énergie	69
9.2 Annexe B : Sources des données	70
9.2.1 Consommation d'énergie	70
9.2.2 Consommation de l'électricité	70
9.2.3 Production	70
9.2.4 Le prix des différentes sources d'énergie	71

RÉSUMÉ

Ce mémoire cherche à élucider de combien variera les parts de marché des sources d'énergie consommées par l'industrie des pâtes et papier suite à l'implantation du programme proposé dans le cadre réglementaire fédéral sur les émissions atmosphériques rendu public en avril 2007. Pour ce faire, nous utilisons un modèle économétrique basé sur la fonction Translog. L'implantation de la réglementation fédérale est simulée en considérant différents scénarios de prix pour une tonne d'émissions de gaz à effet de serre (GES). À partir de notre modèle estimé, nous calculons les élasticité-prix de la demande des sources d'énergie considérées et évaluons de combien variera la consommation et les émissions de ces sources d'énergie suite à l'imposition d'un prix sur la tonne de GES.

AVANT-PROPOS

Avant tout, je tiens à remercier mes parents pour leur soutien inconditionnel. Ils ont toujours cru en moi, m'ont continuellement encouragée à aller jusqu'au bout de mes projets et m'ont tendu la main quand j'en ai eu besoin. Je voudrais également remercier ma sœur, Christine, pour ses mots d'encouragement lors de la réalisation de ce projet.

J'aimerais remercier mon directeur de recherche, Jean-Thomas Bernard, pour son expertise et ses connaissances approfondies du monde industriel ainsi que sa patience, sa disponibilité à Québec comme à Ottawa, ses encouragements et son enthousiasme dans la poursuite de ce projet. Je voudrais également remercier mon co-directeur, Patrick González, pour son sens critique, ses connaissances théoriques et ses conseils durant l'accomplissement de ce travail.

Je suis reconnaissante au Groupe de recherche en économie de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles (GREEN) de l'Université Laval ainsi qu'à Gaz Métro pour m'avoir octroyé la bourse du GREEN-Gaz Métro et donné la chance d'acquérir de l'expérience pratique lors de mes stages estivaux. À cet égard, j'aimerais remercier les professeurs et administrateurs du GREEN ainsi que les membres des départements du Développement Durable et de la Réglementation de Gaz Métro pour leur contribution à mes stages des étés 2007 et 2008.

Plusieurs organisations et individus ont contribué à la réalisation de ce travail. J'aimerais donc remercier :

Pierre Vézina, Conseil de l'industrie forestière du Québec;

Paul Lansbergen, Association des produits forestiers du Canada;

Jean-Yves Benoit et René Bougie, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec;

Mélanie Turgeon et Demosthene Blasi, Ministère des Ressources naturelles et de la faune du Québec;

Yves Nadeau et Lan Ngoc Van, Hydro Québec;
Tom Browne, FPInnovations;
Cécile Cléroux et Vallier Simard, Environnement Canada;
François Bernard, Matériaux Blanchette.

1. INTRODUCTION

Depuis la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques en 1992, le Canada et plusieurs gouvernements européens ont entamé l'élaboration de politiques nationales et régionales et la mise en place de marchés d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Contrairement au système de l'Union Européenne qui opère sous l'ombrelle du Protocole de Kyoto, certains plans pour contrer les changements climatiques, notamment le Regional Greenhouse Gas Initiative, fonctionne à l'extérieur des règles du protocole. Le 26 avril 2007, Environnement Canada a rendu publique sa première version d'un cadre réglementaire sur les émissions atmosphériques incluant des cibles de réduction d'émissions de GES exprimées en intensité, c'est-à-dire en émission par unité de production. Le système proposé exigeait que les industries réduisent leurs émissions par unité de production. Ce cadre réglementaire devait devenir effectif en 2010. Cependant, au mois de juin 2009, le gouvernement canadien a annoncé qu'il participera, avec les gouvernements provinciaux et ses partenaires commerciaux, au développement d'un système de plafonnement d'émissions et d'échange de crédits (*cap and trade*) nord-américain.

Les grandes lignes de ce nouveau système ne sont pas encore connues, mais il est possible que nous en ayons un aperçu lors de la conférence des Nations Unies sur les changements climatiques à Copenhague en décembre 2009. Cela dit, même si le cadre réglementaire de 2007 n'est pas mis en application, l'évaluation du programme proposé permet de clarifier certaines questions pertinentes dans cette quête d'une solution aux émissions de GES. Notamment, nous nous intéressons ici aux variations des parts de marché de différentes sources d'énergie qu'entraînerait l'imposition d'un prix sur les émissions de GES. Un prix sur les émissions de GES causerait des modifications dans les prix relatifs des sources d'énergie et mènerait à un ajustement dans leurs parts de marché.

2. HISTORIQUE ET FONDLEMENTS DU MARCHÉ DU CARBONE

Comme ce fut le cas pour la plupart des marchés du carbone nationaux et régionaux, plusieurs éléments du cadre réglementaire canadien sur les émissions atmosphériques ont été inspirés du mécanisme d'échange d'émissions proposé dans le Protocole de Kyoto.

2.1 Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

Les bases du Protocole de Kyoto ont été établies lors de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques tenue à Rio de Janeiro en 1992. La communauté internationale a alors reconnu officiellement le lien entre les émissions de GES et les changements climatiques. La convention exigeait que chaque pays signataire soumette un inventaire précis et à jour de ses émissions de GES. De plus, comme les pays industrialisés étaient perçus comme la source de la plupart des émissions passées et présentes, c'est à eux qu'est revenue la plus grande part de responsabilité dans le combat contre les changements climatiques.¹

Pour établir leur inventaire, les pays signataires devaient enregistrer et comptabiliser leurs émissions de GES en termes de leur équivalent dioxyde de carbone, c'est-à-dire leur potentiel de réchauffement planétaire en termes de CO_2 . Puisqu'une tonne de méthane réchauffe vingt et une fois plus la planète qu'une tonne de CO_2 , une tonne de méthane correspond à vingt et une tonnes de CO_2 équivalent (CO_2e). Le système d'équivalence du CO_2e est également utilisé dans le cadre réglementaire fédéral sur les émissions atmosphériques.

¹ Nations Unies, *Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*, 1992, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>.

2.2 Le Protocole de Kyoto

Suite au Sommet de la Terre de Rio de Janeiro, une rencontre entre représentants de pays industrialisés et émergents a eu lieu au Japon cinq ans plus tard. De cette rencontre est né le Protocole de Kyoto qui fut adopté par 155 pays le 11 décembre 1997. Le Canada a signé officiellement le Protocole de Kyoto le 29 avril 1998, et l'a ratifié le 16 décembre 2002.² En ratifiant le protocole, le Canada s'engageait à réduire en moyenne ses émissions de 6 % par rapport à 1990 durant la période de 2008 à 2012. Actuellement, les émissions de GES du Canada sont environ 30 % supérieures à la cible fixée dans le Protocole de Kyoto.

2.2.1 Les mécanismes proposés dans le Protocole de Kyoto

Le Protocole de Kyoto a introduit trois mécanismes : le marché du carbone, l'application conjointe (AC) et le mécanisme du développement propre (MDP). Le MDP et l'AC permettent aux pays contraints par des cibles de réduction d'obtenir des crédits compensatoires en investissant dans des projets de réduction entrepris dans des pays en voie de développement et des économies en transition. Ces mécanismes ont comme objectif de favoriser le transfert de technologie des pays industrialisés vers les pays en développement.

2.2.2 Méthode d'allocation de permis

La quantité de quotas d'émissions attribuée à chaque pays pour la période de cinq ans de 2008 à 2012 est égale aux émissions de l'année de référence (1990) moins la cible de réduction (donc 94 % des émissions de 1990 dans le cas du Canada), multiplié par cinq, pour les cinq années de la première phase.

² Radio-Canada, *En Profondeur : Kyoto Le Défi*, <http://www.radio-canada.ca/nouvelles/international/2007/06/06/007-kyoto-canada-chrono.shtml>.

Au niveau national, chaque pays a le droit de distribuer ses permis de la manière qu'il juge préférable. Dans le cadre du système d'échange de droits d'émissions de l'Union Européenne – qui opère sous l'ombrelle du Protocole de Kyoto –, la plus grande partie des permis a été distribuée gratuitement aux entreprises. Les états membres ont été autorisés à vendre aux enchères jusqu'à 5 % de leurs permis au cours de la première phase du programme, et jusqu'à 10 % au cours de la deuxième phase qui a commencé au début de 2008.

Les ventes aux enchères sont parfois préférées à l'allocation grand-père (le gouvernement alloue gratuitement les permis aux entreprises) en raison du double dividende provenant du revenu de la vente des permis. De plus, les ventes aux enchères permettent d'éviter les conflits associés à l'allocation initiale de permis.³ D'un autre côté, les ventes aux enchères sont souvent perçues comme une méthode de distribution pouvant désavantager les industries domestiques par rapport à celles situées dans des pays allouant leurs permis gratuitement. En effet, la méthode de vente aux enchères place un coût direct sur toutes les émissions de l'entreprise, puisque les entreprises doivent payer pour la totalité de leurs émissions.

2.2.3 Logique économique

La logique économique qui justifie la mise en place d'un marché du carbone est basée sur le concept du coût marginal de dépollution. En absence d'échange, deux pays ayant des coûts marginaux de dépollution différents dépenseront plus que nécessaire au total pour atteindre une réduction des émissions donnée. En leur permettant de s'échanger des permis, un pays X ayant un coût marginal x de dépollution plus faible que le prix p des permis sur le marché ($x < p$) dépolluera davantage qu'il ne le ferait autrement, et sera vendeur de permis sur le marché. Un pays Y ayant un coût marginal de dépollution y plus élevé que le prix des permis ($p < y$) dépolluera moins qu'il ne le ferait autrement et achètera des permis pour respecter ses engagements. À la marge, dépolluer en X plutôt qu'en Y permettra d'économiser $y - x > 0$.

³ Protocole de Kyoto, http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php.

En outre, en ajustant le nombre de permis, le mécanisme permet de contrôler le niveau global des émissions. Si le nombre de permis disponibles sur le marché est faible, le prix des permis sera élevé, et les firmes seront incitées à dépolluer davantage, tandis que si le nombre de permis est élevé, le prix des permis ainsi que l'incitatif pour réduire les émissions seront faibles.

3. CADRE RÉGLEMENTAIRE CANADIEN SUR LES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES

Le 26 avril 2007, le gouvernement du Canada a abandonné officiellement sa cible de réduction énoncée dans le Protocole de Kyoto, en rendant public un document esquissant les grandes lignes d'un programme sur les changements climatiques. Il s'agissait d'un cadre réglementaire sur les émissions atmosphériques, dont la républication du premier projet de règlement fut présentée au mois de mars 2008.

Dans ce cadre réglementaire, les secteurs visés doivent réduire leurs émissions de GES par unité de production, et non les émissions en termes absolus. L'intensité des émissions doit être réduite de 18 % d'ici 2010 et de 26 % d'ici 2015 par rapport au niveau de 2006. Les cibles de réductions étant en termes d'intensité, une augmentation de la production pourrait entraîner une augmentation des émissions absolues. D'un autre côté, les réductions d'émissions d'une entreprise provenant de la fermeture d'une usine ne pourraient pas contribuer à l'atteinte des réductions d'émissions exigées dans le cadre réglementaire canadien.

3.1 L'application des cibles d'intensité

Les cibles de réduction peuvent s'appliquer à l'échelon des installations, du secteur et de l'entreprise. À l'échelon des installations, chaque installation d'un secteur doit réduire ses émissions par rapport à sa propre intensité de 2006. À l'échelon du secteur (pâtes et papier, aluminerie et ciment), chaque installation du secteur doit réduire ses émissions par rapport à l'intensité moyenne du secteur en 2006. Les usines appartenant à ces secteurs ont des structures considérées homogènes. À l'échelon de l'entreprise, chaque entreprise du secteur doit réduire ses émissions par rapport à

l'intensité moyenne de toutes ses installations en 2006. Les entreprises peuvent atteindre leurs objectifs de réduction à travers diverses options mises à leur disposition.⁴

3.2 Les options pour se conformer aux cibles de réduction

Les installations peuvent réduire leur intensité d'émissions de GES internes avec des mesures d'efficacité énergétique, des systèmes de gestion de l'énergie ou le déploiement de technologies. Elles peuvent également obtenir des crédits en investissant dans des projets compensatoires dans des secteurs de l'économie canadienne non-réglementés par le cadre réglementaire fédéral. Les exemples mentionnés dans le cadre réglementaire fédéral sont « le captage du méthane des gaz d'enfouissement ensuite utilisé pour produire de l'électricité, les projets d'amélioration de l'efficacité énergétique et les projets de captage de dioxyde de carbone dans les terres agricoles »⁵. En plus d'avoir accès au système canadien de projets compensatoires, les entreprises peuvent utiliser des crédits compensatoires provenant du MDP mis sur pieds par les Nations Unies. Cependant, leur accès est restreint à 10 % de leur cible de réduction.

Finalement, les entreprises peuvent contribuer à un fonds technologique en payant 15\$ par tonne de CO_2e . Les installations peuvent combler jusqu'à 70 % de leur cible de réduction en achetant des permis du Fonds Technologique. Ce pourcentage sera réduit les années suivantes pour atteindre 0 % en 2018. Le prix de la tonne de CO_2e sera aussi augmenté à 20\$ en 2013, et croîtra avec le produit intérieur brut les années suivantes. Un système d'échange d'émissions de GES permettra l'interaction de tous ces mécanismes.

⁴ Environnement Canada, *Cadre réglementaire fédéral sur les émissions atmosphériques*, 26 avril 2007, http://www.ec.gc.ca/doc/media/m_124/report_fra.pdf.

⁵ Ibidem.

3.3 L'entrée en jeu d'un système d'échange d'émissions de GES

Comment ces mécanismes peuvent-ils interagir dans un système d'échange de droits d'émissions ? Puisque les obligations de réduction dans le cadre réglementaire canadien sur les émissions atmosphériques sont basées sur l'intensité d'émissions, les fondements du système d'échange canadien sont légèrement différents de ceux du système de l'Union Européenne et du Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) en fonction dans le Nord-Est des États-Unis. Dans un système basé sur des réductions absolues, les permis d'émissions pour une période de conformité donnée sont alloués par l'autorité centrale (le gouvernement), comme ce fut en grande partie le cas pour le système européen, ou vendus aux enchères comme ce fut le cas pour le RGGI. Si une entreprise émet plus d'émissions de GES que le nombre de permis qu'elle possède, elle peut en acheter d'une autre entreprise qui possède un surplus de permis, ou acheter des crédits compensatoires.

Le cadre réglementaire canadien fonctionne différemment. Une entreprise ayant dépassé son objectif (réduction de 18 pourcent par rapport à l'intensité de 2006) reçoit des crédits du gouvernement qu'elle peut mettre en banque ou vendre à d'autres entreprises. Une entreprise n'ayant pas atteint son objectif de réduction doit remettre des crédits au gouvernement, qu'elle achète d'autres entreprises qui ont dépassé leur cible. Elle peut aussi s'en procurer en investissant dans des projets compensatoires, des projets du mécanisme MDP des Nations Unies, ou en contribuant au fonds technologique.

Voici un exemple. Si l'intensité des émissions en 2006 est de 5 tonnes de CO_2e par unité de production, et que la cible est de réduire cette intensité de 10 % en 2007, l'intensité ciblée en 2007 est de 4,5 tonnes par unité de production. Si l'intensité des émissions de l'entreprise en 2007 est de 4,0, elle a dépassé sa cible de réduction. Son intensité d'émissions est donc inférieure au niveau ciblé. Afin de calculer le nombre de crédits qu'elle mérite, il faut prendre la différence entre l'intensité réelle de l'entreprise et l'intensité ciblée, et la multiplier par la production (la quantité de biens produits par l'entreprise) au courant de l'année. Supposons que la quantité de production en 2007 soit

de 1000 tonnes, alors on multiplie 1000 par 0,5 (la différence entre 4 et 4,5), et l'entreprise recevra 500 crédits.⁶

⁶ Environnement Canada, *Prendre le Virage, Cadre réglementaire sur les émissions industrielles de gaz à effet de serre*, mars 2008, http://www.ec.gc.ca/doc/virage-corner/2008-03/pdf/COM-541_Cadre.pdf.

4. L'APPROCHE DE LA RECHERCHE

Puisque les sources d'énergie n'ont pas toutes le même coefficient d'émissions⁷, l'application du cadre réglementaire canadien sur les émissions atmosphériques modifiera le prix relatif de ces sources d'énergie. Dans ce contexte, cette recherche vise à élucider dans quelles mesures les industries québécoises grandes émettrices ajusteront leur choix d'énergie face à cette nouvelle réglementation.

4.1 Évaluer la faisabilité de la recherche

Toutes les industries contraintes par le cadre réglementaire canadien sont sujettes à une cible de réduction appliquée à l'échelle des usines (sauf l'industrie de l'électricité). En d'autres termes, chaque usine est contrainte par une cible de réduction et doit la respecter en réduisant ses émissions ou en achetant des crédits compensatoires. Cependant, les données sur la production, la consommation d'énergie et les émissions de GES des usines individuelles sont normalement confidentielles. Nous avons donc décidé d'entreprendre l'analyse à l'échelle de l'industrie plutôt qu'à l'échelle de l'usine.

Il fallait alors déterminer quelle industrie analyser. La définition du niveau de référence dans le cadre réglementaire allait être un élément déterminant dans ce choix. Le niveau de référence est l'intensité d'émissions de GES au cours de l'année de base (2006), à partir de laquelle on applique la cible de réduction. Le cadre réglementaire fédéral définit le niveau de référence comme l'intensité moyenne de l'industrie ou l'intensité moyenne de l'usine en 2006. La définition varie selon l'industrie. Puisque l'intensité moyenne de chaque usine n'est pas une donnée accessible, l'industrie analysée devra avoir un niveau de référence correspondant à l'intensité moyenne de l'industrie. Parmi les quelques industries respectant ce dernier critère, nous avons arrêté notre choix sur l'industrie québécoise des pâtes et papiers.

⁷ Le coefficient d'émissions d'une source d'énergie correspond aux émissions de GES associées à une unité d'énergie. Le coefficient d'émissions du mazout est plus élevé que le coefficient d'émissions du gaz naturel car le mazout émet davantage de GES que le gaz naturel pour produire la même quantité d'énergie.

4.2 Préciser l'objectif de la recherche

L'objectif de la recherche est d'évaluer le degré de substitution entre les sources principales d'énergie de l'industrie des pâtes et papiers face aux exigences présentées dans le cadre réglementaire fédéral, et le changement du prix relatif des sources d'énergie. Nous passons en revue les principales caractéristiques de l'industrie des pâtes et papiers, notamment les sources d'énergie qu'elle emploie.

5. L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS

5.1 Le contexte réglementaire actuel de l'industrie des pâtes et papiers

Depuis 1979, l'industrie des pâtes et papiers est soumise au Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers, ainsi qu'au Règlement sur la qualité de l'atmosphère. Depuis 1993, l'industrie est aussi soumise à la loi sur la qualité de l'environnement et le règlement sur les attestations d'assainissement en milieu industriel. Cette loi exige que les usines obtiennent des permis environnementaux d'exploitation. Les règlements sur l'industrie des pâtes et papiers comprennent, en majeure partie, des normes de gestion des eaux usées et des déchets de fabriques ainsi que des normes d'émissions atmosphériques.⁸ Les normes d'émissions atmosphériques couvrent en majeure partie les polluants atmosphériques et non les émissions de GES.

Au cours des années 90, les réductions d'émissions de GES étaient volontaires. Les entreprises croyaient que leurs efforts seraient pris en compte dans une éventuelle réglementation de réduction d'émissions de GES.⁹

5.2 Les méthodes de production de la pâte et du papier

Le Canada est l'un des producteurs de pâtes et papiers les plus importants au monde. En 2005, le Canada était le cinquième plus grand producteur derrière les États-Unis, la Chine, le Japon et l'Allemagne. En 2006, le Québec avait une production annuelle représentant 47 % de la production canadienne et 2,4 % de la production mondiale.¹⁰

Au Canada, les papiers et cartons sont fabriqués à partir des fibres de bois, provenant particulièrement des sous-produits des scieries tels que les copeaux de bois et

⁸ Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, *Bilan de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers*, 2006, http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_ind/bilans/pates_06/bilan06.pdf.

⁹ Guay, Frédéric, Mémoire de maîtrise, Université Laval, 1999.

¹⁰ Ministère des ressources naturelles et de la faune, *Ressources et industries forestières, Portrait Statistique*, septembre 2008, <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp>.

des fibres recyclées, et à plus petite échelle, du bois rond.¹¹ Dans le passé, les usines de pâtes et papiers s'approvisionnaient principalement en rondins de bois provenant des forêts. Cependant, entre 1970 et 1994, il y a eu une forte augmentation de la part de l'approvisionnement en bois provenant des copeaux et résidus du sciage.¹²

Les fibres de cellulose et la lignine sont les deux composantes principales du bois. La lignine agit comme colle et permet de retenir les fibres ensemble. Pour produire du papier, il faut transformer le bois en pâte en séparant ces fibres. Les procédés de mise en pâte incluent les procédés mécaniques, chimiques, thermomécaniques et chimio-thermomécaniques.

5.2.1 La mise en pâte mécanique et ses variantes

Le procédé mécanique consiste à déchiqueter les fibres par la force mécanique de meules abrasives ou de raffineurs.¹³ Le procédé mécanique possède un rendement élevé de 90 à 95 %, c'est-à-dire qu'environ 95 % du bois initial demeure dans le produit final. Cependant, les méthodes de déchiquetage des procédés mécaniques endommagent les fibres. De plus, la lignine, qui n'est pas retirée de la pâte, donne une couleur jaunâtre au papier. Le papier sera donc de faible résistance et aura tendance à jaunir avec le temps.

Pour diminuer les dommages aux fibres résultant du déchiquetage du procédé mécanique, l'industrie a élaboré un nouveau procédé appelé thermomécanique (PTM). Ce procédé consiste à chauffer les copeaux de bois à la vapeur avant et pendant le défibrage/raffinage et utiliser la pression lors du raffinage. Le chauffage des copeaux à la vapeur permet de réduire les dommages aux fibres et d'obtenir une meilleure qualité de papier. On peut améliorer davantage la qualité du papier en ajoutant des produits

¹¹ MDDEP, *Bilan annuel de conformité environnementale, Secteur des pâtes et papiers*, 2001, http://www.eauquebec.com/milieu_ind/bilans/pates_01/chapitre_1.htm.

¹² Cavérvivière, Valérie, *Mémoire de maîtrise*, Université Laval, 1999.

¹³ MDDEP, *Bilan annuel de conformité environnementale, Secteur des pâtes et papiers*, 2001, http://www.eauquebec.com/milieu_ind/bilans/pates_01/chapitre_1.htm.

chimiques. Il s'agit dans ce dernier cas d'un procédé chimico-thermomécanique (PCTM).¹⁴

Le papier journal, et certains papiers hygiéniques sont des exemples de papier à base de pâte mécanique ou thermomécanique.¹⁵ L'industrie québécoise occupe une place importante dans la production du papier journal à l'échelle nationale. En effet, elle produisait en 2006 46,1% du papier journal du Canada. La production canadienne représentait environ 18,6% de la production mondiale.¹⁶ En 2006, le Québec produisait 4 442 000 tonnes de pâte thermomécanique, 1 978 000 tonnes de pâte recyclée, 1 924 000 tonnes de pâte chimique Kraft et 386 000 tonnes d'autres pâtes.¹⁷

5.2.2 La mise en pâte chimique

Pour ce qui est du procédé chimique, la mise en pâte consiste à cuire les copeaux de bois sous pression dans une solution de produits chimiques. Cette solution permet de dissoudre la lignine et de séparer les fibres cellulosiques sans les endommager.

La mise en pâte chimique s'effectue principalement à partir de procédé au sulfate (Kraft) et de procédé au sulfite et au bisulfite.¹⁸ De plus, une fois les fibres isolées pour fabriquer la pâte, la solution restante, appelée liqueur noire, ne comprend que les produits chimiques, la lignine et certains autres éléments indésirables du bois. Ce mélange est récupéré pour ensuite être brûlé dans une chaudière comme combustible.¹⁹ En raison de

¹⁴ http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/Sources_de_pollution/Pate_et_papier-WSCB1E071C-1_Fr.htm

¹⁵ Rencontre avec Pierre Vézina, Directeur Environnement, Association de l'industrie forestière du Québec, 12 août 2008.

¹⁶ Ministère des ressources naturelles et de la faune, *Ressources et industries forestières, Portrait Statistique*, septembre 2008, <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp>.

¹⁷ MRNF, *Ressources et industries forestières, Portrait Statistique*, juillet 2007, <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp>

¹⁸ Bilan de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers, 2006.

¹⁹ Environnement Canada, *Branché sur l'air pur*, http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/Sources_de_pollution/Pate_et_papier-WSCB1E071C-1_Fr.htm

la possibilité de récupérer la liqueur noire, et de l'utiliser comme combustible, les procédés Kraft ont remplacé progressivement les procédés au sulfite.²⁰

Les procédés chimiques ont un rendement plus faible que les procédés mécaniques car la lignine, et certains autres éléments indésirables, qui sont normalement présents dans le bois, sont absents du produit final. Environ 50 % du bois initial utilisé dans le procédé chimique se retrouve dans le produit final. Cette absence de lignine et l'utilisation de fibres n'ayant pas subi de dommages permettent de produire du papier résistant et ne jaunissant pas avec le temps. Par conséquent, le faible rendement du procédé chimique est compensé par la haute qualité du produit, permettant de le vendre à un prix plus élevé.

5.2.3 La mise en pâte recyclée

Il existe un troisième procédé principal de mise en pâte : le procédé de mise en pâte recyclée. Ce procédé utilise un tritrateur contenant les papiers et cartons recyclés, de l'eau, de la vapeur et des produits chimiques. La pâte recyclée peut également nécessiter un désencrage.²¹ D'un point de vue environnemental, la pâte recyclée exige une plus faible consommation d'énergie et moins d'additifs que la pâte produite à partir de fibres non-recyclées.²² Selon le Bilan de conformité environnementale du secteur des pâtes et papiers 2006, la mise en pâte recyclée est parmi les procédés les moins polluants.

Une fois la mise en pâte et le blanchiment complété, la pâte contient environ 97 % d'eau. Elle est distribuée sur des toiles en mouvement pour en extraire la plus grande proportion d'eau à travers un processus de filtration et de succion. La feuille qui en résulte est ensuite pressée pour retirer l'eau restante et finalement séchée.²³

²⁰ Cavérvivière, Valérie, Mémoire de maîtrise, Université Laval, 1999.

²¹ Bilan de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers, 2006.

²² Cavérvivière, Valérie, Mémoire de maîtrise, Université Laval, 1999.

²³ Bilan de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers, 2006.

5.3 Implication des différentes catégories industrielles dans l'application du cadre réglementaire sur les émissions atmosphériques

Étant donné le rôle important du type de procédé dans la consommation énergétique d'une usine, l'analyse se fera en distinguant la production de pâte provenant des différents procédés. Par exemple, seules les usines à pâte chimique produisent de la liqueur noire à travers leur procédé de production.²⁴ On considère la liqueur noire comme de la biomasse. Puisqu'elle provient de matières organiques dont la croissance fut possible grâce à l'absorption de CO_2 , elle est neutre en carbone, c'est-à-dire que sa combustion ne crée pas d'émissions additionnelles de CO_2 dans l'atmosphère. L'autoproduction de liqueur noire est donc un atout considérable pour les usines à pâte chimique. Il s'agit d'une des nombreuses différences existant entre les usines à pâte chimique et les usines à pâte mécanique et thermomécanique.

La réglementation pourrait remédier à ces différences industrielles en fixant deux niveaux de référence. Le gouvernement pourrait fixer un niveau de référence représentant l'intensité moyenne des usines chimiques et un niveau de référence représentant l'intensité moyenne des usines mécaniques.

Selon certains, l'application de deux niveaux de référence ne serait pas suffisante pour refléter les spécificités de chaque usine. À l'intérieur du même groupe d'usines, le mixte de la production peut varier d'une usine à l'autre. Par exemple, certaines usines sont spécialisées dans la production de carton et d'autres de papier. Le séchage du carton nécessite beaucoup d'énergie à cause de l'épaisseur du produit et donc résulte en émissions importantes. Les usines de carton sont donc désavantagées par un niveau de référence basé sur l'intensité moyenne d'un groupe d'usines produisant pour la plupart du papier. En d'autres termes, la production de certains produits, comme le carton, émet davantage à cause de la nature même du produit et les usines en produisant auraient à allouer davantage d'effort pour atteindre leur cible de réduction.

²⁴ Courriel de Vallier Simard, Sous-Chef Qualité de l'air pâte et papier, Environnement Canada, août 2008.

5.4 Classification des usines

L'analyse qui suit distingue les deux groupes industriels principaux, soit le groupe comprenant les usines à procédés chimiques et le groupe comprenant les usines utilisant tous les autres procédés, mais en majorité le procédé thermomécanique.

À partir du bilan de conformité environnementale du secteur des pâtes et papiers du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), nous avons établi une liste d'usines de pâtes et papiers.

Le classement des usines en deux groupes a permis d'obtenir des données agrégées sur la production de différents types de produits et la consommation des différentes sources d'énergie. Étant donnée la confidentialité de ces informations, il était difficile de les obtenir pour chaque usine. La période d'échantillonnage est de 1990 à 2006.

Des soixante usines, 18 usines furent classées chimiques et 42 furent classées « autres » (voir Tableau 1).

Le choix des usines placées dans chaque groupe industriel est discutable puisque certaines usines utilisent des procédés combinés. Par exemple, nous avons décidé de placer les usines chimico-thermomécaniques dans le groupe industriel chimique. Ce choix pourrait biaiser nos résultats puisque ces usines utilisent des procédés se rapprochant davantage du procédé thermomécanique que chimique. Tel que discuté dans une section ultérieure du mémoire, les usines thermomécaniques sont de plus grands consommateurs d'électricité que les usines chimiques.²⁵ De plus, plusieurs des usines incluses dans l'échantillon ont fermé leurs portes au cours de la période analysée. Parmi les dix-huit usines classées chimiques, neuf sont maintenant inexistantes. Nous considérons ces points lors de l'analyse de nos résultats.

²⁵ Pierre Vézina, Directeur Énergie, Conseil de l'industrie forestière du Québec, discussion du 3 septembre 2009 et Tom Browne, Directeur de programme, pâte mécanique et durabilité, FPInnovations.

6. LES DONNÉES

L'objectif du mémoire est d'analyser les variations des parts de marché de chacune des sources d'énergie principales telles que le mazout, l'électricité et le gaz naturel, suite à l'application d'un prix sur les émissions de GES. La fonction de part de marché découlera d'une fonction de coût Translog. Pour estimer les variations des parts de marché des sources d'énergie, il est nécessaire d'obtenir les données suivantes :

- Le niveau de production et la composition de la production de l'industrie (unités de production qui quittent l'usine) pour chaque groupe d'industrie;
- La consommation des différentes sources d'énergie de chaque groupe d'industrie;
- Le prix des différentes sources d'énergie;
- Les facteurs d'émissions de GES.

6.1 Le niveau de production de l'industrie

6.1.1 La définition de la production de l'industrie

L'intensité d'émissions de GES est calculée en divisant les émissions totales par la production. D'après le cadre réglementaire, le niveau de production correspond à la production quittant l'usine. Pour les usines produisant à la fois de la pâte et du papier, le niveau de production est la somme des tonnes de papier et de pâte quittant l'usine. La pâte utilisée pour la production de papier à l'intérieur de la même usine n'est pas comptabilisée dans la production totale de l'usine. Cependant, certaines usines vendent une portion de leur pâte; cette dernière est, pour sa part, comptabilisée dans la production.

6.1.2 Production des usines classées « autres »

Le groupe d'usines classées « autres » produit de la pâte mécanique, thermomécanique, de désencrage, de recyclage et d'autres types de pâte. En termes de production finale, ce groupe d'usines produit du papier journal, hygiénique, du papier

standard et du carton. La production de pâte mécanique a énormément diminué durant la période estimée. En 1990, la production de pâte mécanique était presque à 2 millions de tonnes pour ensuite osciller à des niveaux en dessous de 400 000 tonnes de 2004 à 2006. La production de pâte thermomécanique a subi le phénomène inverse. En 17 ans, la production annuelle a augmenté par plus de 2 millions de tonne. La production de pâte de désencrage a également augmenté durant la période considérée passant de 31 215 tonnes en 1990 à 776 370 tonnes en 2006. La quantité de pâte recyclée produite est restée généralement au même niveau de 1994 à 2006. La production des autres types de pâte a aussi diminué. En ce qui concerne les produits finaux, la production de papier journal est restée relativement au même niveau durant la période considérée tandis que la production de carton a presque doublé entre 1990 et 2006. La production de papier standard n'a pas varié énormément au cours de cette période mais la production des autres types de papier a plus que doublé en passant de 625 739 tonnes à 1 393 991 tonnes. La production d'électricité par la cogénération est restée passablement la même entre 2000 et 2006. En bref, les productions de pâte et de produits finaux ont toutes les deux progressé, mais la production de pâte a augmenté plus rapidement que celle des produits finaux (voir tableau 2).

6.1.3 Production des usines classées chimiques

Les usines incluses dans la catégorie chimique produisent de la pâte au bisulfite, de la pâte chimio-thermomécanique, de la pâte kraft ainsi que d'autres types de pâtes. Les usines de cette catégorie produisent également du carton, du papier ainsi que de l'électricité. La production de pâte au bisulfite a diminué de plus de moitié tandis que la production de pâte chimico-thermomécanique a presque doublé pendant la période estimée. La production de pâte de désencrage, de pâte kraft et des autres types de pâte est demeurée stable. La production des produits finaux affiche une tendance différente. De 1990 à 2006, la production de carton a doublé. La production de papier et des autres types de papier a augmenté annuellement de 2 et 4,9 pourcent respectivement. Dans l'estimation ci-dessous, nous évaluons les effets de la progression de la production de papier par rapport à la pâte. Globalement, la production de papier a augmenté plus

rapidement que celle de la pâte. Malgré tout, l'industrie chimique demeure un producteur net de pâte. Pour l'industrie « autres », la production de pâte a augmenté plus rapidement que la production de papier et l'industrie est un acheteur net de pâte. La production d'électricité par la cogénération a augmenté à travers le temps mais demeure à un niveau inférieur à 1 térawatt heure (voir tableau 3).

6.2 Les sources d'énergie

En investiguant sur les méthodes de production de l'industrie des pâtes et papiers, nous avons découvert l'existence de sources d'énergie non traditionnelles autoproduites par l'industrie. En effet, l'industrie des pâtes et papiers génère des déchets qu'elle consomme par la suite comme combustibles. Ces déchets pourraient avoir une place importante dans la stratégie d'ajustement des papetières à leur cible de réduction d'émissions de GES. L'industrie des pâtes et papiers produit également de l'électricité à partir de la cogénération et certaines usines possèdent leur propre centrale hydroélectrique.

Même si une réglementation sur les émissions de GES est un phénomène nouveau, l'industrie des pâtes et papiers a dû s'ajuster dans le passé à plusieurs autres contraintes économiques et environnementales. Ces facteurs économiques combinés à certaines réglementations environnementales ont contribué à l'évolution des façons de faire de l'industrie. Au cours de la dernière décennie, la possibilité de faire face à de nouvelles réglementations a incité l'industrie québécoise à effectuer des changements dans ses procédés de fabrication et sa consommation énergétique. Depuis 1990, l'industrie a réduit d'environ 35 % ses émissions de GES. L'utilisation de la biomasse a grandement contribué à ces réductions et pourraient devenir une stratégie préconisée par l'industrie non seulement pour se conformer à des restrictions environnementales mais également pour réduire ses coûts. Il est donc probable que les sources d'énergie émettrices de GES, telles que le mazout et le gaz naturel, perdent de l'importance dans la consommation énergétique de l'industrie.

6.2.1 La biomasse : une source d'énergie non-traditionnelle

L'industrie des pâtes et papiers utilise deux grandes catégories d'énergie. Elle consomme des sources d'énergie traditionnelles telles que le gaz naturel, le mazout et l'électricité, mais également des déchets générés par les procédés industriels. Ces déchets comprennent la boue, la liqueur noire ou résiduaire provenant du procédé Kraft et les résidus de bois et d'écorce. De plus, certaines usines achètent de l'écorce supplémentaire des scieries.

L'écorce, la boue et les liqueurs résiduaires sont considérés comme de la biomasse. La biomasse contient du carbone et de l'hydrogène et peut donc être utilisée comme combustible.²⁶ La biomasse est considérée neutre en carbone (neutre en CO₂) car lorsqu'on la brûle, elle ne fait que dégager le CO₂ que l'arbre a emmagasiné au cours de sa croissance. Donc, une fois la biomasse brûlée, il y a autant de CO₂ dans l'atmosphère qu'avant l'existence de l'arbre. Pour cette raison, les émissions de CO₂ provenant de la biomasse ne seront pas sujettes à la cible de réduction du cadre réglementaire fédéral. En raison de cette neutralité en carbone de la biomasse, la répartition entre l'énergie achetée et l'énergie autoproduite est un facteur déterminant dans la quantité de GES qu'une usine émet.²⁷

6.2.2 Les déchets industriels et leurs utilisations

De 1990 à 2005, l'industrie des pâtes et papier a réduit ses émissions de GES d'environ 35 % en grande partie grâce à l'utilisation de biocombustibles tels que l'écorce, la liqueur noire, et la boue.²⁸ En général, les déchets générés par l'industrie des pâtes et papiers sont soit réutilisés pour fins énergétiques (31,3 %), soit utilisés pour la fertilisation agricole et sylvicole ou le compostage (23,7 %), ou soit enfouis dans des sites d'enfouissement (37,5 %). Les déchets gérés autrement représentent 7,5 % des déchets

²⁶ Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec, *Gros plan sur l'énergie*, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/innovation/innovation-biomasse.jsp>.

²⁷ Guay, Frédéric, Mémoire de maîtrise, Université Laval, déposé en 1999.

²⁸ Conseil de l'industrie forestière du Québec, *Performance environnementale : Un portrait de l'industrie papetière québécoise*, 2005.

totaux. Depuis 1996, il y a eu une croissance dans la réutilisation de déchets dans le compostage, la valorisation énergétique et agricole.²⁹

Selon le bilan de conformité environnementale du secteur des pâtes et papiers 2006, environ 78 % des résidus de bois, d'écorces et nœuds sont valorisés à des fins énergétiques, et environ 14 % sont transférés dans des sites d'enfouissement. Le reste est en majeure partie utilisé dans le compostage et la valorisation agricole. Environ 50 % de la boue primaire générée est utilisée comme sources d'énergie, 25 % est enfouie et 25 % est utilisée dans le compostage et la valorisation agricole. Selon le même bilan, 100 % de la boue biologique est enfouie. De plus, la majeure partie de la boue de désencrage est compostée ou valorisée à des fins agricoles. En ce qui concerne la boue mélangée, environ 40 % est enfouie, 22 % est valorisée à des fins énergétiques, 7 % est compostée et 27 % est valorisée à des fins agricoles.

Il existe quelques problèmes quant aux données sur la consommation et les prix de ces déchets. En effet, il est difficile d'associer un prix à des combustibles autoproduits par l'industrie et donc de les inclure dans notre modèle de minimisation des coûts.

6.2.2.1 La liqueur noire

La liqueur noire résulte du procédé chimique Kraft. La solution chimique permet de séparer les fibres de cellulose de la lignine. Les fibres sont ensuite isolées pour fabriquer la pâte. Le mélange restant est récupéré pour le brûler dans une chaudière comme combustible.³⁰ Comme la quantité de liqueur noire produite dépend étroitement du niveau de production d'une usine Kraft, la consommation d'énergie provenant de la liqueur noire pourrait être représentée par un coefficient fixe par rapport à la production du groupe industriel chimique.

²⁹ Bilan de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers, 2006.

³⁰ Environnement Canada, *Branché sur l'air pur*, http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/Sources_de_pollution/Pate_et_papier-WSCB1E071C-1_Fr.htm

Il est néanmoins possible que certaines usines ne consomment pas toute la liqueur noire autoproduite, et qu'elles décident plutôt de la vendre à d'autres usines. De plus, certaines usines pourraient retirer davantage d'énergie de la liqueur noire en modernisant leurs équipements et en utilisant des chaudières plus efficaces. Un coefficient fixe par rapport à la production ne reflèterait donc pas tous les facteurs pouvant influencer la quantité d'énergie qui peut être retirée de la liqueur noire.

6.2.2.2 L'écorce, les nœuds et les résidus de bois

Cette catégorie de résidus comprend les écorces, les sciures, les rejets du classement de copeaux, les nœuds et les brindilles.³¹ Les écorces proviennent en grande partie des scieries.

6.2.2.3 La boue

Lorsque la pâte est étalée sur d'immenses toiles après la mise en pâte décrite antérieurement, elle comprend une grande quantité d'eau. Avant d'être retournée dans la nature, cette eau doit être traitée. La boue résulte de ces traitements. Il existe trois types principaux de boue : les boues primaires, les boues biologiques et les boues de désencrage.

Les boues primaires sont composées des matières solides, telles que des fibres de bois et des matières minérales, qui sont enlevées des eaux de procédé par des équipements conçus à cette fin, tels que des décanteurs, filtres et cellules de flottation.³² Les matières en suspension sont déshydratées et se transforment en boue.

Les boues biologiques proviennent du traitement biologique des eaux de procédé de l'usine. Le traitement biologique réduit le contenu organique des eaux de procédé et détruit les éléments toxiques.³³ Les boues de désencrage, pour leur part, proviennent de

³¹ Bilan de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers, 2006.

³² AIDA, La réglementation des activités à risques, http://aida.ineris.fr/bref/brefpap/bref_pap/francais/bref_fr_mecanique.htm.

³³ Ochoa de Alda, J., *Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries*, Resources, Conservation and Recycling, pp. 965–972, 2008.

procédé de recyclage et sont produites par des triturateurs, des cellules de flottation et des épurateurs.³⁴

La boue primaire est riche en matière organique, ce qui explique sa popularité auprès des agriculteurs. La valorisation agricole de la boue permet entre autres, de réduire le besoin d'irrigation et l'érosion des sols.³⁵ De plus, plusieurs études entreprises durant la dernière décennie se concentrent sur les méthodes alternatives de traitement des déchets et de nouvelles applications telles que la construction des routes, la foresterie, l'horticulture et la cogénération.

La boue représente une source d'énergie intéressante d'un point de vue économique car elle est autoproduite par les procédés de production et a le potentiel de remplacer une partie des combustibles fossiles généralement consommés. Elle est aussi intéressante d'un point de vue environnemental car, en tant que biomasse, elle est neutre en carbone. Toutefois, des chercheurs devront améliorer les technologies de récupération et de combustion de la boue afin de rendre son utilisation rentable.

6.2.3 La cogénération

La cogénération est la production simultanée d'électricité et d'énergie thermique à partir de la même source de combustible. La cogénération permet de récupérer l'énergie thermique générée lors de la production d'électricité afin de l'utiliser dans les procédés industriels et le chauffage. Sans la cogénération, cette énergie thermique est généralement perdue. La cogénération permet donc de réduire les émissions de GES par rapport à ce qui aurait été émis si l'électricité et l'énergie thermique avaient été produites séparément. Par le fait même, la cogénération permet de réduire les coûts de production.³⁶

³⁴ Bilan de conformité environnementale, secteur des pâtes et papiers, 2006.

³⁵ NEBRA, <http://www.nebiosolids.org/pulppaper.html>.

³⁶ Environnement Canada, *EnviroZine*, http://www.ec.gc.ca/EnviroZine/french/issues/41/feature1_f.cfm.

L'industrie forestière est un leader en cogénération.³⁷ À l'échelle nationale, environ 30 % de la capacité de cogénération industrielle provient du secteur des pâtes et papiers.³⁸

Malgré son statut de grande consommatrice d'énergie, l'industrie des pâtes et papiers vend la majeure partie de l'électricité provenant de sa cogénération à Hydro-Québec. Pourquoi ne la consomme-t-elle pas au lieu de la vendre à Hydro-Québec ? En fait, Hydro-Québec achète l'électricité produite par la cogénération à un prix plus élevé qu'elle la vend à l'industrie des pâtes et papiers. Il s'agirait d'une façon pour le gouvernement provincial de subventionner l'industrie.

Néanmoins, étant donné les avantages environnementaux de la cogénération, il est possible que la nouvelle réglementation fédérale sur les émissions de GES incite les papetières à augmenter leur production d'électricité par la cogénération.

6.2.4 Les centrales hydroélectriques

Certaines usines de pâtes et papiers classifiées dans le groupe industriel « autres » possèdent leur propre centrale hydroélectrique. Nous avons déterminé le niveau de consommation d'électricité des usines « autres » en ajoutant leur production hydroélectrique aux ventes d'électricité d'Hydro-Québec à ce groupe industriel. Les données sur la production des centrales hydroélectriques des papetières ont été constituées à partir des informations fournies par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (voir tableau 4).

6.2.5 Les sources d'énergie utilisées dans l'estimation

Durant la période considérée, l'industrie chimique a diminué sa consommation de gaz naturel, de mazout lourd, de résidus de bois et de liqueur noire, mais a augmenté sa

³⁷ National Council for Air and Stream Improvement,
<http://www.ncasi.org/programs/areas/climate/default.aspx>.

³⁸ Association des produits forestiers du Canada,
http://www.fpac.ca/fr/forets_et_durabilite/stewardship/energy.php?edit_document=1.

consommation d'électricité de 1,6 % en moyenne par année. Sa consommation de gaz naturel a diminué en moyenne annuellement de 5,3 % et de résidus de bois de 2,6 %. L'industrie « autres » a également diminué sa consommation de gaz naturel, de mazout lourd et de résidus de bois et augmenté sa consommation d'électricité de 2 % à travers le temps (voir tableaux 5 et 6).

Étant donné certaines difficultés liées à l'accessibilité des données, le modèle économétrique utilisé pour estimer les parts de marchés ne prend pas en considération la consommation des déchets (liqueur noire, boue et résidus de bois).

Dans notre analyse, nous n'incluons pas la boue comme source d'énergie car les usines de pâtes et papiers subissent un coût pour s'en débarrasser. Les usines ont trois options pour disposer de la boue : elles peuvent l'envoyer dans des sites d'enfouissement, la vendre à des fins de compostage, ou la consommer comme combustible. L'option la plus attrayante, qui cependant, dû à un espace restreint, n'est pas largement utilisée, est de placer la boue dans des sites d'enfouissement.

De plus, nous n'incorporons pas la liqueur noire et les copeaux de bois dans l'estimation car ce ne sont pas leurs prix qui ont causé les variations dans leur consommation. La consommation de la liqueur noire dépend plutôt du niveau de production des usines chimiques kraft, tandis que la consommation de copeaux de bois dépend de la quantité fournie par les scieries. Les usines de sciage cherchent à se débarrasser des écorces et, pour ce faire, vont parfois même jusqu'à payer le coût de transport de l'écorce vers les usines de pâtes et papiers. La production des scieries québécoises a diminué entre 2002 et 2007, avec des chutes plus marquées en 2006 et 2007.³⁹ Il est également possible d'observer une diminution de la consommation de résidus de bois entre 2001 et 2006 (particulièrement de la catégorie industrielle « autres ») avec une chute plus marquée en 2006. Donc, plutôt que de réagir à un prix, il

³⁹ MRNF, *Ressources et industries forestière, Industrie du bois, Portrait Statistique*, Août 2008, http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/stat_edition_complete/chap10.pdf.

est possible que les ventes d'écorce des scieries aux usines de pâtes et papiers soient le résultat de considérations environnementales et de l'intégration entre les deux secteurs.⁴⁰

La production de vapeur n'est pas incluse dans l'analyse car une seule usine dans notre échantillon, l'usine de Québec, consomme la majeure partie de la vapeur au Québec. Puisque cette usine a signé un contrat à long terme avec l'incinérateur de la ville de Québec et que le volume de vapeur ne varie pas d'une année à l'autre, les prix ne jouent pas de rôle dans le niveau de consommation de cette vapeur.

6.2.6 Statistiques sur la production et les émissions de l'industrie chimique et « autres »

Pour donner un aperçu de l'évolution de la production historique et des émissions de l'industrie, le tableau 7 résume les niveaux de production, d'émissions et d'intensité d'émissions en 1990 et 2006 pour les deux groupes industriels et l'industrie en entier.

⁴⁰ Courriel de Jean-Thomas Bernard, Octobre 2009.

Tableau 7 : Production et émissions de GES en 1990 et 2006

	Production (1000 tonnes)						GES (1000 tonnes de CO2 eq.)			Intensité (Émissions de GES/tonne)		
	Pâtes			Papiers			(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)						
1990	2803	3727	6530	1004	5347	6351	1273	2584	3857	0,758	0,579	0,599
2006	2816	5228	8044	1759	7135	8894	850	1737	2587	0,382	0,284	0,306

(1) Groupe industriel chimique (2) Groupe industriel « autre » (3) Total

On peut constater que les deux groupes industriels ont réduit leurs émissions absolues depuis 1990. En fait, les deux groupes industriels ont réduit leurs émissions de CO_2e de plus de 32 %. L'industrie chimique a réduit ses émissions d'un pourcentage légèrement plus élevé que l'industrie « autres ».

L'intensité, dans le cadre réglementaire sur les émissions atmosphériques, est définie comme les émissions totales divisées par la production. Le cadre réglementaire définit la production comme la totalité des extrants quittant l'usine. Par conséquent, la production de pâte servant à la production du papier à l'intérieur de la même usine n'est pas comptabilisée dans le calcul de l'intensité. Afin d'obtenir des séries plus lisses, nous avons calculé l'intensité en divisant les émissions par la moyenne géométrique de la production de pâtes et de papiers.

On constate que le groupe industriel « autres » est un plus grand émetteur de CO_2e que le groupe industriel chimique mais que l'intensité du groupe industriel « autres » est plus faible que celle du groupe chimique. Il faut noter que le nombre d'usines dans l'échantillon du groupe industriel « autres » est beaucoup plus élevé que dans le groupe industriel chimique.

6.2.6.1 Méthode pour calculer les émissions de GES réalisées

Afin de calculer les réductions d'émissions réalisées, nous avons procédé à quelques manipulations de données. Nous faisons l'hypothèse que la consommation d'électricité n'émet pas de GES.

Nous avons converti le mazout léger en équivalent thermique du mazout lourd, et l'avons ajouté au mazout lourd. Le coefficient thermique du mazout léger est 38,68 mégajoules par litre et le coefficient thermique du mazout lourd est 41,73 mégajoules par litre.⁴¹ On multiplie la quantité de kilolitres de mazout léger par son coefficient thermique pour ensuite diviser le tout par le coefficient thermique du mazout lourd afin d'obtenir la conversion du mazout léger en équivalent thermique du mazout lourd.

Nous avons ensuite calculé l'équivalent thermique total des kilolitres de mazout lourd (et de mazout léger converti en équivalent thermique du mazout lourd), en multipliant les kilolitres par l'équivalence thermique d'un kilolitre de mazout lourd (41730 mégajoules par kilolitre). Après avoir converti les mégajoules en térajoules, nous avons pu estimer la quantité d'émissions de CO_2e associée à la consommation du mazout lourd (et léger, mais à noter que le mazout léger a un coefficient d'émissions plus faible) en multipliant les térajoules par le facteur d'émissions de CO_2e du mazout lourd, soit 74,58 tonnes de CO_2e par térajoule⁴². Nous avons suivi un processus similaire pour le gaz

⁴¹ http://www.ghgregistries.ca/challenge/emission_estimation_resources_f.cfm.

⁴² Document sur les usines de pâtes et papiers de L'Association des produits forestiers du Canada, Paul Lansbergen, Octobre 2008.

naturel (kilomètres cubes). Nous avons calculé l'équivalent thermique du gaz naturel consommé en multipliant les kilomètres cubes consommés par l'équivalence thermique d'un kilomètre cube de gaz naturel de 38 090 mégajoules⁴³. Après avoir converti les mégajoules en térajoules, nous avons calculé la quantité d'émissions de CO_2e associée à la consommation du gaz naturel en multipliant les térajoules par le coefficient d'émissions du gaz naturel de 49,93 tonnes de CO_2e par térajoule⁴⁴ (voir tableau 8).

6.2.7 Les prix des sources d'énergie

Les prix des différentes sources d'énergie ont également varié à travers le temps. Le prix de l'électricité n'a augmenté annuellement que de 1,8 %, tandis que les prix du gaz naturel et du mazout ont augmenté par pratiquement le même pourcentage, soit de 5,5 et 5,4 %, respectivement. Le prix des résidus de bois a également augmenté à un taux légèrement plus élevé de 5,6 %.

Le prix de l'électricité vendue aux usines chimiques est différent de celui chargé aux usines du groupe industriel « autres ». En fait, le prix chargé à l'industrie « autres » est généralement plus faible que celui chargé à l'industrie chimique. Le groupe d'industries faisant partie de la catégorie « autres » est en grande partie composée d'usines à procédés thermomécaniques. Il s'agit d'un procédé nécessitant une consommation importante d'électricité, ce qui peut expliquer pourquoi ces usines bénéficieraient d'un prix plus avantageux. Cependant, le taux de croissance du prix chargé à l'industrie « autres » fut plus élevé que celui chargé à l'industrie chimique. Le prix demandé à l'industrie chimique a crû de 1,8 % tandis que celui chargé à l'industrie « autres » a crû de 2,2 % (voir tableau 9).

⁴³ http://www.ghgregistries.ca/challenge/emission_estimation_resources_f.cfm.

⁴⁴ Document sur les usines de pâtes et papiers de L'Association des produits forestiers du Canada, Paul Lansbergen, Octobre 2008.

6.2.8 Variables considérées dans le modèle : l'électricité et l'énergie fossile agrégée

Comme nous ne possédons que dix-sept années de données, nous ne pouvons inclure un grand nombre de variables explicatives. Dans notre modèle, nous considérons uniquement deux catégories d'énergie : l'énergie fossile (gaz naturel et mazout combinés) et l'électricité.

Nous avons combiné le gaz naturel et le mazout. L'industrie des pâtes et papiers utilise ces deux sources d'énergie dans le même but de produire de la vapeur. De plus, leurs prix ont évolué ensemble au cours de la période estimée. Comme la plupart des usines possèdent les équipements nécessaires à la combustion du mazout et à la combustion du gaz naturel et que les conduites de gaz naturel atteignent la plupart des usines de pâtes et papiers, on peut considérer ces deux sources d'énergie comme des substituts parfaits.

Nous convertissons le gaz naturel en équivalent économique du mazout en multipliant la quantité de mazout consommé (lourd et léger converti en lourd) par le prix du mazout lourd et la quantité du gaz naturel consommée par le prix du gaz naturel. On additionne les deux résultats pour ensuite diviser le tout par le prix du mazout lourd. Cela nous donne la quantité de mazout et de gaz naturel consommée exprimée en équivalent économique du mazout lourd. Dans notre estimation, cette variable représente la consommation de l'énergie fossile. Nous effectuons la même procédure pour les deux groupes industriels.

6.2.9 Parts de marché durant la période d'estimation

Dans les deux groupes industriels, l'électricité a représenté la plus grande part de marché de 1990 à 2006. Cependant, cette part de marché est beaucoup plus importante chez les producteurs de pâtes thermomécaniques à cause de la nature même du procédé qui exige une grande consommation d'électricité. De 1990 à 2006, la part de marché de l'électricité dans la catégorie industrielle « autres » est passée de 63,4 % à 68,9 % en passant par des niveaux aussi élevés que 75,6 % en 1998. En ce qui a trait à la catégorie

industrielle chimique, la part de marché de l'électricité est plus faible. Elle est passée de 59,6 % à 63,2 % entre 1990 et 2006.⁴⁵

⁴⁵ La formule pour calculer les parts de marché est présentée dans la section 7.3.

7. L'ESTIMATION

7.1 L'objectif et le plan

En utilisant le modèle économétrique basé sur la fonction Translog, nous cherchons à calculer les variations des parts de marché des sources d'énergie consommées suite à l'implantation du cadre réglementaire fédéral sur les émissions atmosphériques « Prendre le Virage ». L'implantation de la réglementation fédérale est simulée en considérant différents scénarios de prix pour une tonne d'émissions de CO_2e . Nous calculons les élasticité-prix de la demande des sources d'énergie considérées, et, à partir de nos scénarios de prix, nous évaluons de combien variera la consommation de ces sources d'énergie suite à une variation de leur prix. Comme nous posons l'hypothèse que les facteurs d'émissions de chaque source d'énergie demeureront constants à travers le temps, la réduction de la consommation d'une source d'énergie par un certain pourcentage pourra se traduire en une réduction du même pourcentage de ses émissions de CO_2e . Afin de calculer les émissions de CO_2e provenant de la consommation de chaque source d'énergie, nous allons utiliser l'équivalence thermique d'une unité de ces sources d'énergie en térajoules.

7.2 Le modèle générique

Nous élaborons notre modèle en utilisant la fonction de coût Translog⁴⁶. La fonction Translog permet de calculer les parts de marché des différentes sources d'énergie.

Initialement, la fonction de coût prend la forme suivante :

$$(1) \quad \ln C = \ln \alpha_0 + \sum_{i=1}^2 \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \gamma_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_{s=1}^2 \alpha_{y_s} \ln Y_s + \sum_{i=1}^2 \sum_{s=1}^2 \gamma_{iy_s} \ln P_i \ln Y_s$$

où C = le coût de l'énergie

⁴⁶ La fonction Translog est décrite de façon élaborée dans le manuel *The Practice of Econometrics : Classic and Contemporary* par Ernst R. Berndt, 1991.

P_i = prix de l'énergie i où $i = 1, 2$

P_j = prix de l'énergie j

Y_s = production où $s = 1$ ou 2 .

et $\alpha_i, \gamma_{ij}, \alpha_{y_s}, \gamma_{iy_s}$ sont des paramètres et $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$.

En utilisant le Lemme de Shephard, il est possible de calculer les parts de coût des différentes sources d'énergie.

$$(2) \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = S_i \text{ est la part du coût de la source d'énergie } i$$

(3) Contraintes sur les paramètres :

La somme des parts de marché de toutes les sources d'énergie doit être égale à un. Cette identité implique que la somme des coefficients des prix des deux sources d'énergie donne également un. De plus, le coefficient associé au produit du logarithme du prix des deux sources d'énergie est identique au négatif du coefficient associé au carré du logarithme du prix de l'énergie i . Aussi, le coefficient associé au ratio du prix de la source d'énergie 1 sur le prix de la source d'énergie 2 est identique au coefficient associé au ratio du prix de la source d'énergie 2 sur le prix de la source d'énergie 1.

$$\sum_i S_i = 1 \rightarrow \alpha_2 = 1 - \alpha_1, \gamma_{12} = -\gamma_{11}, \gamma_{22} = \gamma_{11}$$

Le coefficient associé au produit du logarithme d'un type d'extrait (y_1 , par exemple) et du prix 2 est identique au négatif du coefficient associé au produit du logarithme du même type d'extrait et du prix de la source d'énergie 1.

$$\gamma_{2y_1} = -\gamma_{1y_1}, \gamma_{2y_2} = -\gamma_{1y_2}$$

(4) Rendements d'échelle constants

La multiplication des intrants par un facteur x , engendrera la multiplication des extrants par le même facteur x . La somme des coefficients associés aux deux types d'extrait est égale à un.

$$\alpha_{y_2} = 1 - \alpha_{y_1}$$

Le coefficient associé au produit du prix 1 et à un type d'extrait est identique au coefficient associé au produit du prix 1 et à l'autre type d'extrait.

$$\gamma_{1y_2} = \gamma_{1y_1}$$

En imposant l'hypothèse des rendements d'échelle constants et sachant que la somme des parts de marché doit être égale à un, donc en insérant les contraintes (3) et (4) dans les équations (1) et (2) on obtient :

$$(5) \ln\left(\frac{C}{P_2 Y_2}\right) = \ln \alpha_0 + \alpha_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + \frac{1}{2} \gamma_{11} \left[\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \right]^2 + \alpha_{y_1} \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right) + \gamma_{1y_1} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \cdot \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)$$

$$S_1 = \alpha_1 + \gamma_{11} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + \gamma_{1y_1} \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right).$$

Non seulement les prix, mais également les changements dans le mixte des extrants produits ont un impact sur l'évolution des parts de marché des sources d'énergie consommées. Les paramètres sont estimés en appliquant la méthode d'estimation du maximum de vraisemblance. Le logiciel Eviews est utilisé à cette fin.

7.3 Catégorie chimique

$$S_1 = \frac{P_1 \cdot X_1}{P_2 \cdot X_2 + P_1 \cdot X_1}$$
 est la part de marché de l'énergie fossile par rapport à la valeur

totale de l'énergie consommée par l'industrie chimique, où

X_1 = consommation d'énergie fossile par l'industrie chimique

X_2 = consommation d'électricité par l'industrie chimique

Les paramètres estimés sont présentés dans les équations suivantes :

$$(6) S_1 = 1,03 + 0,16 \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) - 0,22 \cdot \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)$$

$$\ln\left(\frac{C}{P_2 Y_2}\right) = -2,9 + 1,03 \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + \frac{1}{2} \cdot 0,16 \cdot \left[\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\right]^2 - 1,27 \cdot \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right) - 0,22 \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \cdot \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)$$

où

P_1 = prix de l'énergie fossile

P_2 = prix de l'électricité

Y_1 = production de papier

Y_2 = production de pâte

La valeur p de chaque coefficient est égale ou inférieure à 0,0002. Les valeurs p obtenues représentent les probabilités d'obtenir sous l'hypothèse nulle des valeurs aussi extrêmes pour les coefficients estimés (spécifiées dans l'équation 6). En fixant le niveau de signification du test à 1%, nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle, c'est-à-dire que nous pouvons rejeter l'hypothèse que la valeur des coefficients est égale à zéro.

Le coefficient de détermination R^2 est de 66, c'est-à-dire que 66 % des variations dans les parts de marché est expliqué par les variations des variables explicatives incluses dans notre modèle.

7.3.1 Analyse des résultats

7.3.1.1 Les prix

Lorsque le prix relatif de l'énergie fossile (par rapport à celui de l'électricité) augmente de 1 %, la part de marché de l'énergie fossile augmente de 0,16 %. Entre 1990 et 2006, les prix du gaz naturel et du mazout ont augmenté en moyenne de 2,4 % par

année. La part de marché de l'énergie fossile est demeurée autour de 40 % durant la majeure partie de la période observée, à l'exception de la deuxième partie des années 90, alors qu'elle est tombée en dessous de 30 %. C'est également durant cette période que le prix du gaz naturel était à son plus bas. Les prix du gaz naturel et mazout lourd ont bondi en 2000, gonflant la part de marché de l'énergie fossile de plus de 9 points de pourcentage.

7.3.1.2 Les extrants

Le ratio de la production de papiers Y_1 sur la production de pâtes Y_2 est également une variable explicative dans ce modèle. En fait, le coefficient du log du ratio des extrants en valeur absolue (0,22) est légèrement plus élevé que celui des prix (0,16). Lorsque le ratio de la production de papier sur la production de pâte croît de 1 %, la part de marché de l'énergie fossile diminue de 0,22 %. Le ratio des extrants a augmenté en moyenne de 3,8 % par année, ce qui est supérieur à l'augmentation moyenne annuelle du prix de l'énergie fossile au cours de la période estimée (2,4 %). Le coefficient du log du ratio des extrants étant plus fort que celui du log du ratio des prix, nous pouvons déduire que le mixte des extrants a eu un impact légèrement plus important que les prix dans le niveau des parts de marché de 1990 à 2006.

Nous avons tenté de trouver des facteurs industriels expliquant cette relation négative entre le ratio du papier sur la pâte et la part de marché de l'énergie fossile auprès d'experts du secteur des pâtes et papiers. Nous n'avons pas obtenu d'explication reliée aux procédés industriels. Par contre, il faut noter que notre échantillon d'usines incluses dans le groupe industriel chimique est très restreint et que plusieurs de ces usines ont fermé leurs portes aux cours de la période considérée. On peut soupçonner que ces usines maintenant fermées ont dû subir une baisse de leur production durant les années précédant leur fermeture. Une baisse de la production entraînerait une augmentation des dépenses énergétiques par tonne produite. Lorsqu'une usine est sur le point de fermer, elle peut subir de longues périodes d'arrêt, ce qui peut influencer son choix d'énergie.⁴⁷

⁴⁷ Pierre Vézina, Directeur Énergie, Conseil de l'industrie forestière du Québec, discussion du 3 septembre 2009.

7.4 Catégorie « autres »

$S_2 = \frac{P_1 \cdot X_1}{P_2 \cdot X_2 + P_1 \cdot X_1}$ est la part de marché de l'énergie fossile dans la valeur totale de l'énergie consommée par l'industrie « autres » où,

X_1 = consommation d'énergie fossile par l'industrie « autres »

X_2 = consommation d'électricité par l'industrie « autres ».

De plus, dans notre modèle pour la catégorie « autres », Y_1 = la somme de la pâte désencrée, la pâte recyclée et les autres types de pâtes produites par l'industrie « autres »,
 Y_2 = les pâtes totales produites par l'industrie « autres »;

P_1 = le prix de l'énergie fossile; et,

P_2 = le prix de l'électricité chargé à l'industrie « autres ».

En se basant sur la méthode d'estimation du maximum de vraisemblance, nous avons estimé nos paramètres. Ils sont présentés dans les équations suivantes :

$$(7) S_1 = 1,04 + 0,12 \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) - 0,67 \cdot \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)$$

$$\ln\left(\frac{C}{P_2 Y_2}\right) = -1,9 + 1,04 \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot \left[\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\right]^2 - 5,01 \cdot \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right) - 0,67 \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \cdot \ln\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)$$

Dans le groupe industriel « autres », la valeur p de chaque coefficient est égale ou inférieure à 0,005. Ces valeurs p représentent les probabilités d'obtenir sous l'hypothèse nulle des valeurs aussi extrêmes pour les coefficients estimés (spécifiées dans l'équation 7). En fixant le niveau de signification du test à 1%, nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle, c'est-à-dire que nous pouvons rejeter l'hypothèse que la valeur des coefficients soit égale à zéro.

Le coefficient de détermination R^2 est de 74, c'est-à-dire que 74 % des variations dans les parts de marché est expliqué par les variations des variables explicatives incluses dans notre modèle.

7.4.1 Analyse des résultats

7.4.1.1 Les prix

Dans les deux modèles, une croissance du prix de l'énergie fossile sur le prix de l'électricité est accompagnée d'une augmentation de la part de marché de l'énergie fossile. Dans le cas de la catégorie industrielle « autres », une augmentation de 1 % du ratio du prix de l'énergie fossile sur le prix de l'électricité est accompagnée d'une augmentation de 0,12 % de la part de marché de l'énergie fossile.

7.4.1.2 Les extrants

Pour ce qui est de la composition des extrants produits, une croissance de 1 % du ratio de la somme des pâtes désencrées, recyclées et autres pâtes sur les pâtes totales est accompagnée d'une diminution de 0,67 % de la part de marché de l'énergie fossile. Le ratio des extrants a augmenté en moyenne de 8,5 % par année au cours de la période considérée.

Selon certains experts, une diminution de la production de pâte mécanique et thermomécanique devrait mener à une augmentation de la part de marché de l'énergie fossile et une diminution de la part de marché de l'électricité. La production de pâte désencrée nécessite moins d'électricité que la production de pâte par le procédé thermomécanique. En fait, la production de pâte désencrée nécessite 2 à 4 gigajoules par tonne produite tandis que la production de pâte thermomécanique nécessite 5 à 8 gigajoules par tonne produite.⁴⁸

⁴⁸ Pierre Vézina, Directeur Énergie du Conseil de l'industrie forestière du Québec, Discussion du 3 septembre 2009.

De plus, le procédé thermomécanique utilise beaucoup d'électricité pour déchiqueter le bois. Les moteurs thermomécaniques génèrent beaucoup de vapeur perdue qui est ensuite récupérée pour sécher le papier. Le procédé de pâte désencrée pour sa part ne génère pas de vapeur perdue qui peut ensuite être réutilisée. Par conséquent, les usines produisant de la pâte désencrée doivent trouver des sources alternatives de vapeur pour sécher le papier. En général, lorsque les sources biologiques de vapeur ne sont pas disponibles, les usines ont recours à l'énergie fossile. Comme les usines de pâtes désencrées sont souvent situées dans des milieux urbains, elles ne sont pas à proximité de fournisseurs d'écorces. Ce manque d'accessibilité à l'écorce les incite à avoir recours au gaz naturel ou au mazout.⁴⁹

Ces facteurs industriels indiquent qu'une augmentation de la production de pâte désencrée et recyclée sur la pâte totale devrait mener à une augmentation de la part de marché de l'énergie fossile et une diminution de la part de marché de l'électricité. Ces explications contredisent donc nos résultats.

Il faut également souligner que notre échantillon d'usines formant le groupe « autres » possède certaines faiblesses. En fait, le groupe industriel « autres » est composé d'usines relativement hétérogènes. De plus, certaines usines chimico-thermomécaniques classées présentement dans le groupe chimique pourraient faire partie du groupe « autres » car elles utilisent un procédé s'apparentant au procédé thermomécanique.

7.5 Variables jugées non-significatives dans les modèles finaux

Pour un niveau de production donné, une certaine quantité d'énergie fossile et d'électricité est consommée. Cependant, en investissant en capital, on pourrait s'attendre à une réduction de cette consommation énergétique. Nous avons donc introduit une variable de tendance dans le modèle pour capturer les changements technologiques

⁴⁹ Tom Browne, Directeur de programme, Pâte mécanique et durabilité, FPInnovations, Discussion du 1^{er} septembre 2009.

autonomes et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Cependant, même à un niveau de signification de 10%, nous n'avons pas été en mesure de rejeter l'hypothèse nulle. En d'autres termes, nous ne possédons pas suffisamment d'information pour rejeter l'hypothèse que le coefficient de la variable de tendance est égal à zéro.

À cet égard, il doit être noté que nous n'avons pas de données sur les niveaux d'investissement des usines québécoises de pâtes et papiers au cours de la période observée. Par contre, nous savons que les équipements utilisés par les usines québécoises ne sont généralement pas considérées très modernes par rapport à la moyenne nationale. Par conséquent, si aucun investissement considérable n'a eu lieu au cours de cette période, la puissance de notre test statistique est restreinte. Il serait donc difficile pour nous de détecter un lien significatif entre l'investissement en capital et une réduction de la consommation énergétique.

Dans un autre ordre d'idées, certaines usines de pâtes et papiers produisent de l'électricité par la cogénération. Afin d'évaluer l'impact de cette variable sur les parts de marché, nous avons incorporé la production d'électricité par la cogénération dans le modèle. À un niveau de signification de 10 %, nous n'avons pas été en mesure de conclure que le coefficient de la variable de cogénération était significativement différent de zéro.

7.6 Les élasticités-prix

On calcule les parts de marché évaluées à la moyenne des prix et à la moyenne des extrants, pour ensuite calculer les élasticités-prix de la demande de nos deux sources d'énergie.

L'élasticité-prix est calculée à partir de l'expression suivante :

$$\varepsilon_{ii} = \frac{(\gamma_{ii} + S_i^2 - S_i)}{S_i} \quad i = 1, 2 \quad ^{50}$$

Le tableau 10 suivant résume les résultats empiriques obtenus en estimant les paramètres de nos modèles pour le groupe industriel chimique et « autres ».

Tableau 10 : Résultats empiriques

	Chimique	« Autres »
$\ln \alpha_0$	-2,91 (-11,27)	-1,903 (-2,79)
α_1	1,033 (8,35)	1,037 (4,53)
γ_{11}	0,159 (5,37)	0,121 (3,08)
α_{y_1}	-1,272 (-3,98)	--
γ_{1y_1}	-0,223 (-3,70)	--
γ_x	--	-5,01 (-3,87)
γ_{1x}	--	-0,673 (-3,31)
Log de vraisemblance	-260,4	-265,3
ε_{11}	-0,20	-0,30
ε_{22}	-0,12	-0,13

Note : Les valeurs entre parenthèses représentent les écarts-types des coefficients estimés.

Dans le groupe chimique, l'élasticité-prix de l'énergie fossile est de -0,20 et celui de l'électricité est de -0,12. Dans le groupe « autres », l'élasticité-prix de l'énergie fossile est plus élevée à -0,30 et celle de l'électricité est faiblement plus élevée à -0,13. Même si les deux groupes industriels ont des demandes d'énergie relativement inélastiques, le

⁵⁰ ε_{11} = élasticité-prix de la demande d'électricité et ε_{22} = élasticité-prix de la demande d'énergie fossile.

groupe industriel « autres » serait plus sensible aux prix que le groupe industriel chimique.

7.7 Associer les changements d'émissions de GES à l'effet prix et l'effet quantité

Au cours de la période considérée, l'industrie des pâtes et papiers a réduit considérablement ses émissions de CO_2e . Cette section évalue la proportion de la réduction d'émissions de CO_2e attribuable à un changement dans les prix et la proportion de réduction attribuable à une variation dans le mixte des extrants produits.

Pour ce faire, nous calculons quatre parts de marché. Nous calculons une part de marché en utilisant le prix et le niveau de production de 1990, une part de marché en utilisant le prix et le niveau de production de 2006, une part de marché en utilisant le prix de 1990 et le niveau de production de 2006 et finalement une part de marché en utilisant le prix de 2006 et le niveau de production de 1990.

Pour le groupe chimique, en se basant sur les données de 1990 uniquement,

$$\frac{P_1}{P_2} = 0,004984 \text{ et } \frac{Y_1}{Y_2} = 0,3582.$$

Nous avons donc,

$$\ln\left(\frac{C}{P_2 Y_2}\right) = -2,9 + 1,03 \cdot \ln(0,004984) + \frac{1}{2} \cdot 0,16 \cdot [\ln(0,004984)]^2 - 1,27 \cdot \ln(0,3582) - 0,22 \cdot \ln(0,004984) \cdot \ln(0,3582)$$

$$S_1 = 1,03 + 0,16 \cdot \ln(0,004984) - 0,22 \cdot \ln(0,3582) = 0,419632$$

En se basant sur les données de 2006 uniquement, nous répétons l'exercice avec les ratios

$$\frac{P_1}{P_2} = 0,0089015 \text{ et } \frac{Y_1}{Y_2} = 0,6246, \text{ et nous obtenons une part de } 0,387858.$$

En gardant les prix au niveau de 1990 mais la production au niveau de 2006, nous répétons l'exercice avec les ratios $\frac{P_1}{P_2} = 0,004984$ et $\frac{Y_1}{Y_2} = 0,6246$, et obtenons une part de 0,295697. En gardant la production au niveau de 1990 et les prix au niveau de 2006 ($\frac{P_1}{P_2} = 0,0089015$ et $\frac{Y_1}{Y_2} = 0,3582$), la part de marché de l'énergie fossile est de 0,511793. Nous appliquons la même démarche pour le groupe industriel « autres ».

Avec la fonction de coût Translog, on peut isoler la valeur totale des sources d'énergie consommées pour les deux groupes industriels. Cet exercice est répété quatre fois en utilisant le prix et le niveau de production de 1990, et de 2006, et également en faisant varier la production tout en gardant le prix constant et faisant varier les prix tout en gardant la production constante.

À partir des quatre valeurs totales, des quatre parts de marché et du prix de l'énergie fossile en 1990 et 2006, il est possible d'évaluer la consommation de l'énergie fossile dans le contexte des quatre scénarios. Nous pouvons ensuite évaluer le taux de changement dans la consommation de l'énergie fossile associé à la variation dans les prix et associé à la variation dans les extrants. Nous supposons que les facteurs d'émissions des différentes sources d'énergie demeurent constants à travers le temps, et sont identiques peu importe le groupe industriel et le procédé utilisé.

Par exemple,

$$X_{19090} = \frac{C_{9090} \cdot S_{19090}}{P_{190}}$$

où $P_{190} = 156$ et X_{19090} est la consommation de l'énergie fossile calculée en se basant sur les prix et la production de 1990.

$$X_{10606} = \frac{C_{0606} \cdot S_{10606}}{P_{106}}$$

où $P_{106} = 373$ et X_{10606} est la consommation de l'énergie fossile calculée en se basant sur les prix et la production de 2006.

$$X_{19006} = \frac{C_{9006} \cdot S_{19006}}{P_{190}}$$

où X_{19006} est la consommation de l'énergie fossile calculée en se basant sur le prix de 1990 et la production de 2006.

$$X_{10690} = \frac{C_{0690} \cdot S_{10690}}{P_{106}}$$

où X_{10690} est la consommation de l'énergie fossile calculée en se basant sur le prix de 2006 et la production de 1990.

On peut ensuite calculer l'effet total, l'effet prix et l'effet production de la manière suivante :

$$\text{Effet total} = \frac{X_{10606} - X_{19090}}{X_{19090}}$$

$$\text{Effet Production} = \frac{X_{19006} - X_{19090}}{X_{19090}}$$

$$\text{Effet Prix} = \frac{X_{10690} - X_{19090}}{X_{19090}}$$

La même démarche est répétée pour le groupe industriel « autres ». De cette manière, nous avons calculé une réduction de 39,7 % des émissions provenant du groupe chimique et de 27,4 % des émissions provenant du groupe « autres ». Nous avons remarqué que la somme du pourcentage de réduction des émissions attribué à l'effet prix et de réduction attribuées à l'effet extrants était supérieure au changement total calculé.

Nous expliquons ce phénomène par l'effet d'interaction. Pour remédier à ce problème, nous avons calculé le pourcentage des deux effets individuels par rapport à la somme des deux et avons appliqué ces pourcentages au changement total calculé.

Tableau 11 : Les réductions d'émissions de GES attribuées à l'effet prix et à l'effet quantité

	Groupe chimique	Groupe autres
Changement réalisé	-33,2	-32,8
Changement calculé	-39,7	-27,4
Attribué à l'effet prix	-9,7	-13,4
Attribué à l'effet extrants	-30,0	-14,0

Une comparaison des réductions d'émissions totales réalisées (présentées dans le tableau 7) avec les réductions calculées nous donne une indication de la précision du modèle. Nous avons calculé une réduction d'émissions réalisées de 33,2 % pour l'industrie chimique (réductions calculées de 39,7 %) et de 32,8 % pour l'industrie « autres » (réductions calculées de 27,4 %).

Le groupe industriel chimique a réduit ses émissions de 30 % en raison du changement dans les extrants de l'industrie et de 9,7 % en raison du changement dans les prix. Par conséquent, pour ce groupe industriel, la plus grande part de la réduction d'émissions est associée aux changements dans les extrants produits plutôt que dans les prix. Pour ce qui est de la catégorie industrielle « autres », nous avons calculé que ce groupe d'usines a réduit ses émissions de 27,4 % au cours de la période d'observation. La part associée aux extrants n'est que faiblement plus élevée que la part associée aux prix dans ce cas-ci. Cependant, la catégorie industrielle « autres » a réduit ses émissions de

13,4 % en raison des changements dans les prix, ce qui est plus élevé que le pourcentage du groupe industriel chimique.

7.8 Scénarios des différents prix pour une tonne d'émissions de GES

Pour les deux groupes industriels, une augmentation du ratio du prix de l'énergie fossile sur le prix de l'électricité est accompagnée d'une augmentation de la part de marché de l'énergie fossile. De plus, l'élasticité-prix de la demande de l'énergie fossile est de -0,2 pour l'industrie chimique et de -0,3 pour l'industrie « autres ». Une élasticité-prix entre 0 et 1 en valeur absolue implique que la demande est inélastique, c'est-à-dire que le changement en pourcentage dans la quantité demandée est inférieur au changement en pourcentage dans les prix. Par conséquent, notre estimation suggère que la demande d'énergie fossile par l'industrie des pâtes et papiers est inélastique, c'est-à-dire qu'elle est relativement peu sensible aux variations dans les prix.

Même si nos deux groupes industriels ont des demandes relativement inélastiques, le groupe industriel « autres » est plus élastique que le groupe industriel chimique. Donc, selon notre estimation, une augmentation du prix de l'énergie fossile aurait plus d'impact sur la demande d'énergie fossile provenant du groupe industriel « autres ». Il doit être noté que notre estimation ne prend en compte que dix-sept ans de données. Une série plus longue nous permettrait d'affiner notre analyse.

Afin d'évaluer l'impact de l'application d'un prix sur une tonne d'émissions de CO_2e provenant du mazout lourd et du gaz naturel, nous avons utilisé les données sur l'équivalence thermique et les coefficients d'émissions du mazout (41 730 mégajoules par kilolitre, 74,58 tonne de CO_2e par térajoule) et du gaz naturel (38 090 mégajoules par kilomètre cube, 49,93 tonnes de CO_2e par térajoule). En convertissant un kilolitre de mazout lourd en térajoules, et en convertissant par la suite les térajoules en émissions de CO_2e (et en effectuant la même démarche pour le gaz naturel) on obtient :

Tableau 12 : Émissions de GES par unité physique du mazout lourd et du gaz naturel

	Équivalence thermique en mégajoule	Équivalence thermique en térajoule	Émissions (tonnes de CO₂e)
1 kilolitre de mazout lourd	41 730	0,042	3,11 tonnes/kilolitre
1 kilomètre cube de gaz naturel	38 090	0,0381	1,90 tonnes/km ³

Nous appliquons les différents scénarios de prix aux émissions de CO_2e du mazout lourd et du gaz naturel. Dans le premier cas, nous utilisons le prix du mazout lourd en 2007 comme année de référence, soit 41,3 ¢/l. En appliquant un prix de 15\$/tonne de CO_2e , nous calculons une augmentation de 4,7¢/l. Le nouveau prix est d'environ 46¢/l représentant une augmentation de 11,3 % par rapport au prix initial. En utilisant l'élasticité-prix de l'énergie fossile, on calcule qu'une telle augmentation dans le prix serait suivie d'une diminution de la consommation du mazout lourd de 2,3 % pour l'industrie chimique et de 3,4 % pour l'industrie « autres ».

En appliquant un prix de 20\$/tonne de CO_2e , nous calculons un prix additionnel de 6,2¢ pour chaque litre de mazout lourd consommé. Le nouveau prix est d'environ 47,5¢/l représentant une augmentation d'environ 15 % par rapport au prix initial. En utilisant l'élasticité-prix de l'énergie fossile, on calcule qu'une telle augmentation dans le prix serait suivie d'une diminution de la consommation du mazout lourd de 3 % pour l'industrie chimique et de 4,5 % pour l'industrie « autres ». Un prix de 25\$ par tonne de CO_2e entrainerait une augmentation du prix du mazout de 7,8¢/l, représentant une augmentation de 18,8 % par rapport au prix initial. Ce changement dans le prix serait suivi d'une diminution de la consommation du mazout lourd de 3,8 % pour le groupe chimique et de 5,6 % pour le groupe « autres ». L'application d'un prix de 50\$/tonne de CO_2e entrainerait une diminution de la consommation de mazout de 7,5 % pour le groupe chimique et de 11,3 % pour le groupe « autres ».

Tableau 13 : Différents scénarios de prix sur les émissions de GES provenant du mazout lourd

S/tonne of CO_2e	¢/l	Augmentation du prix	Réduction d'émissions de GES	
			Groupe chimique	Groupe « autres »
15	4,67	11,3 %	2,3 %	3,4 %
20	6,22	15,1 %	3,0 %	4,5 %
25	7,78	18,8 %	3,8 %	5,6 %
50	15,56	37,7 %	7,5 %	11,3 %
100	31,12	75,4 %	15,1 %	22,6 %

Note - \$2007

- Le prix du mazout lourd en 2007 = 41.3¢/l

En répétant l'exercice pour le gaz naturel, on constate que le prix de l'énergie augmente mais par un taux plus faible que le mazout lourd. En appliquant un prix de 15\$/tonne de CO_2e , le prix du gaz naturel augmente par environ 7 %. En appliquant un prix de 50\$/tonne de CO_2e , on calcule une augmentation du prix du gaz naturel d'environ 23,2 %. Dans le premier cas, la consommation du gaz naturel diminuerait de 1,4 et 2,1 % pour l'industrie chimique et autre, respectivement. Dans le deuxième cas (scénario du prix de 50\$/tonne de CO_2e), la consommation du gaz naturel diminuerait de 4,7 et 7,0 % pour l'industrie chimique et autre, respectivement.

Il est vrai que nous appliquons les mêmes élasticités-prix dans le cas du gaz naturel et du mazout. Cependant, comme le facteur d'émissions est beaucoup plus élevé pour le mazout que pour le gaz naturel (74,58 tonnes de CO_2e par térajoule du mazout lourd versus 49,93 tonnes de CO_2e par térajoule du gaz naturel), le pourcentage de réduction de la consommation est plus élevé pour le mazout lourd que pour le gaz naturel.

Tableau 14: Différents scénarios de prix sur les émissions de GES provenant du Gaz naturel

\$/tonne of CO_2e	¢/m3	Augmentation du prix	Réduction d'émissions de GES	
			Groupe chimique	Groupe « autres »
15	2,85	7,0 %	1,4 %	2,1 %
20	3,80	9,3 %	1,9 %	2,8 %
25	4,76	11,6 %	2,3 %	3,5 %
50	9,50	23,2 %	4,7 %	7,0 %
100	19,0	46,5 %	9,3 %	14,0 %

Note - \$2007

- Le prix du gaz naturel en 2007 = 40,9¢/m³

7.9 Impact sur les émissions totales

Comme nous supposons dans notre analyse que la production demeure constante, les réductions d'émissions absolues sont équivalentes aux réductions d'intensité

d'émissions. Nous supposons également que les facteurs d'émission demeurent inchangés à travers le temps.

Puisque nous utilisons l'année 2006 comme année de référence pour la consommation de gaz naturel et de mazout lourd, nous calculons les émissions totales des deux groupes industriels en 2006.

En utilisant les pourcentages de réduction d'émissions présentés dans les tableaux 13 et 14, nous pouvons évaluer de combien diminueraient les émissions totales des deux groupes industriels dans l'éventualité où ils feraient face aux différents scénarios de prix présentés plus haut. Cependant, nous avons fait plusieurs hypothèses et exclusions au cours de cette recherche. Dans cet exercice, nous assumons que la substitution entre les sources d'énergie ne se ferait qu'avec l'électricité. L'exercice ne prend pas en considération les substitutions potentielles qui auraient lieu entre le mazout et le gaz naturel, car ces deux sources d'énergie sont traitées dans notre estimation comme une seule source d'énergie, l'énergie fossile. Les mêmes élasticités-prix sont utilisées pour le mazout et le gaz naturel.

Tableau 15 : Nouvelles émissions suites aux différents scénarios de prix

	Émissions provenant du mazout (en tonnes)	Émissions provenant du gaz naturel (en tonnes)	Émissions totales (en tonnes)	Réduction d'émissions en appliquant un prix sur les émissions du gaz naturel et du mazout (%)
Industrie « Autres »				
2006	1131271,84	620503,67	1751775,51	
Scénarios de prix (\$ par tonne de CO₂e)				
15	1092808,60	607535,1472	1700343,75	-2,94
20	1080364,61	603191,6215	1683556,23	-3,89
25	1067920,62	598910,1461	1666830,76	-4,85
50	1003438,12	577254,5679	1580692,69	-9,77
100	875491,28	534005,4618	1409496,74	-19,54
Industrie Chimique				
2006	663451,19	191200,851	854652,04	
Scénarios de prix (\$ par tonne de CO₂e)				
15	648191,81	188543,16	836734,97	-2,10
20	643547,66	187644,52	831192,17	-2,74
25	638240,05	186764,99	825005,04	-3,47
50	613692,35	182310,01	796002,36	-6,86
100	563469,10	173426,82	736895,92	-13,78

Note : L'année 2006 est utilisée comme année de référence

D'après nos calculs, même un prix de 50\$ par tonne de CO₂e ne serait pas suffisant pour mener à une réduction d'émissions de 18 % par rapport au niveau de 2006, l'objectif fixé dans le cadre réglementaire fédéral sur les émissions atmosphériques. Pour atteindre cet objectif, l'industrie chimique devra faire face à un prix excédant 100\$ par tonne de CO₂e et l'industrie « autres » à un prix aux alentours de 100\$ par tonne de CO₂e

8. CONCLUSION

Plusieurs facteurs, autres qu'une réglementation environnementale, sont susceptibles d'influencer le choix des sources d'énergie de l'industrie des pâtes et papiers dans le futur. L'industrie aura à surmonter des défis économiques tels que la hausse du prix de l'énergie, ou simplement des conjonctures économiques défavorables. En fait, qu'il y ait ou non une réglementation sur les GES, les entreprises sont actuellement incitées à réduire leur consommation énergétique.

Nous n'avons pas pris en considération la conjoncture économique défavorable ou la hausse de la popularité des méthodes de communication électronique au dépend du papier. De plus, nous avons exclu la consommation de biomasse comme combustible dans notre estimation. Ce faisant, non seulement avons-nous ignoré une grande part de la consommation énergétique actuelle de l'industrie, mais également une avenue intéressante pour une industrie voulant s'adapter à des cibles de réduction d'émissions de GES.

Comme nous n'avons que dix-sept années de données, nous avons dû limiter le nombre de variables explicatives incluses dans notre modèle. Nous avons donc combiné le mazout lourd, léger et le gaz naturel afin de créer une variable que nous avons nommé « énergie fossile ». Nous avons combiné le gaz naturel avec le mazout car les prix de ces deux sources d'énergie ont évolué ensemble au cours de la période historique. Nous avons donc évalué les parts de marché de l'énergie fossile et de l'électricité.

Cependant, comme le gaz naturel a un coefficient d'émissions de GES moins élevé que celui du mazout lourd, l'application d'un prix sur la tonne d'émissions de GES mènerait à un changement relatif dans les prix des deux sources d'énergie. Ce coût additionnel pourrait influencer l'industrie des pâtes et papier dans son choix de source d'énergie même si notre estimation révèle que la demande totale d'énergie fossile est peu sensible aux variations de prix.

Suite à notre estimation de parts de marché, nous avons calculé les réductions d'émissions de GES qui résulteraient de l'application de différents prix pour une tonne de CO_2e . Nous avons effectué nos calculs pour un niveau de production donné, en supposant que la consommation du mazout lourd et du gaz naturel étaient les seules sources d'émissions de GES de l'industrie, et en utilisant une élasticité identique de la demande pour les deux combustibles. En fait, nos calculs démontrent que, le prix associé à l'émission d'une tonne de CO_2e devra s'élever à environ 100\$ afin d'entraîner une réduction d'émissions de 18 % par rapport au niveau de 2006, soit la cible exigée dans le cadre réglementaire fédéral sur les émissions atmosphériques. À des fins de comparaison, notons que les usines contraintes par le cadre réglementaire fédéral auraient la possibilité de combler 70 % de leur cible de réduction en 2010 en achetant des crédits du fonds technologique au coût de 15\$/tonne de CO_2e . Ce pourcentage diminuera graduellement pour atteindre 10 % en 2017. Parallèlement, le prix de la tonne de CO_2e augmenterait à 20\$ en 2013 et 2014, et par la suite suivrait l'évolution de la valeur nominale du produit intérieur brut.⁵¹

Au cours de la dernière décennie, le Canada a considéré plusieurs programmes visant la réduction d'émissions de GES mais aucun n'a encore été mis en pratique à l'échelle nationale. Le Canada a exprimé, il y a quelques mois, le souhait de se joindre aux États-Unis lors de la mise en place d'un éventuel système d'échange de droits d'émissions. Plusieurs anticipent un nouveau plan international de réduction d'émissions découlant de la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques qui aura lieu à Copenhague en décembre 2009. Les discussions devraient porter sur les prochaines étapes à entreprendre lorsque l'accord de Kyoto prendra fin en 2012. Étant donné la situation économique défavorable actuelle, et les désaccords par rapport à l'imposition de cibles de réduction sur les pays en voie de développement, on ne s'attend pas à un plan détaillé. Cependant, certains gouvernements, tels que celui des États-Unis et du Canada, pourraient saisir cette opportunité pour présenter les grandes lignes de leurs propres programmes de réduction d'émissions de GES.

⁵¹ Environnement Canada, *Prendre le Virage, Cadre réglementaire sur les émissions industrielles de gaz à effet de serre*, mars 2008, http://www.ec.gc.ca/doc/virage-corner/2008-03/pdf/COM-541_Cadre.pdf.

9. ANNEXES

9.1 Annexe A : Tableaux de données

Tableau 1 : Le regroupement des usines selon leur procédé chimique et « autres »

Chimiques	
Cascades East Angus inc., East Angus	Spruce falls inc. – Groupe des Papiers – Usine St-Raymond, Saint-Léonard-de-Portneuf.
Complexe industriel Tembec Industries inc./Spruce Falls inc., Témiscaming2	Uniforêt – Scierie Pâte inc., Port-Cartier
Emballages Smurfit-Stone Canada inc., New Richmond	Domtar inc. – Usine de Lebel- sur-Quévillon, Lebel-sur- Quévillon
FjordCell inc., Jonquière	Domtar inc. – Usine de Windsor, Windsor
Kruger Wayagamack inc., Trois-Rivières	Emballages Smurfit-Stone Canada inc., La Tuque
Papiers Fraser inc., Thurso	Emballages Smurfit-Stone Canada inc., Litchfield
SFK Pâte, Saint-Félicien	Emballages Smurfit-Stone Canada inc., Matane
Spexel inc., Beauharnois	Norampac inc., Cabano,
Spruce Falls inc. – Division Tembec Matane, Matane	Papiers Gaspésia Société en commandite, Chandler1

Autres		
Bennett Fleet inc., Chambly	Sonoco Montréal inc., Montréal.	Désencrage CMD inc., Cap-de-la-Madeleine
Bowater Produits Forestiers du Canada inc., Gatineau	Cascades Lupel inc., Cap-de-la-Madeleine	Domtar inc. – Usine d'Ottawa/Hull, Hull
Cascades – Groupe Carton Plat inc., East Angus	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Alma	La Papetière Sanfaçon inc., Saint-Lambert-de-Lauzon1
Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Amos	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Beauré	Papiers Scott ltée, Crabtree,
EMCO Matériaux de construction ltée, LaSalle	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Jonquière,	Papiers Scott ltée, Lennoxville,
EMCO Matériaux de construction ltée, Pont-Rouge	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Shawinigan,	Cascades – Groupe Tissu inc., Lachute,
M.F.F. Soucy inc., Rivière-du-Loup	Kruger inc., Trois-Rivières,	Glassine Canada inc., Québec
J. Ford ltée, Notre-Dame-de-Portneuf	Technocell inc., Drummondville	Bowater Produits Forestiers du Canada inc., Dolbeau
Kruger inc., Bromptonville	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Grand-Mère	Bowater Produits Forestiers du Canada inc., Donnacona
Kruger inc., Montréal..	Cascades – Groupe Carton Plat inc., Jonquière	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Baie-Comeau
Matériaux Cascades inc., Louiseville	Cascades – Groupe Papiers Fins inc., Sainte-Hélène-de-Breakeyville	
Papiers Marlboro inc., Drummondville	Cascades – Groupe Papiers Fins inc., Saint-Jérôme	
Papier Masson ltée, Masson	Cascades – Groupe Tissu inc., Candiac	
Papiers Scott ltée, Hull	Complexe industriel Cascades inc., Kingsey Falls	
Papiers Stadacona ltée, Québec	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, Clermont,	
Pâte Mohawk ltée, Saint-Antoine1	Compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, La Baie	

Tableau 2 : Production du groupe industriel « autres »

Année	Pâtes (1000 tonnes)						Carton et papiers (1000 tonnes)					COGEN (GWh)
	M ¹	TM ²	Désencrée	Recyclée	Autre	Total	Carton	Papier Journal	Fins	Autres	Total	
1990	1 807	1 664	31	0	227	3 729	293	4 351	37	626	5 307	0
1991	1 388	2 124	30	0	220	3 762	213	4 424	35	729	5 401	0
1992	1 101	2 310	222	0	253	3 886	240	4 477	38	785	5 540	0
1993	920	2 533	364	0	140	3 957	252	4 619	27	925	5 823	0
1994	840	2 601	414	177	156	4 188	284	4 778	46	999	6 107	0
1995	863	2 760	430	194	169	4 416	292	5 078	43	994	6 407	0
1996	816	2 861	482	171	164	4 494	411	4 892	39	956	6 298	0
1997	688	3 125	489	125	184	4 611	418	5 163	42	1 010	6 633	0
1998	578	3 063	477	132	197	4 447	433	4 898	41	1 081	6 453	400
1999	652	3 255	502	160	191	4 760	476	5 353	41	1 170	7 040	400
2000	631	3 505	525	146	193	5 000	465	5 541	44	1 166	7 216	400
2001	455	3 474	586	151	177	4 843	454	5 359	43	1 123	6 979	399
2002	515	3 596	716	129	191	5 147	484	6 203	36	1 143	7 866	395
2003	420	3 826	756	129	91	5 222	515	5 590	35	1 163	7 303	419
2004	379	3 788	799	148	86	5 200	533	5 470	30	1 176	7 209	405
2005	376	3 931	812	141	84	5 344	557	5 311	38	1 332	7 238	388
2006	384	3 819	776	169	80	5 228	568	5 141	32	1 394	7 135	321
Taux de croissance annuelle (%)	-9,6	5,2	20,1	-	-6,5	2,1	4,1	1,0	-0,9	5,0	1,8	-

1: Mécanique 2: Thermomécanique

Tableau 3 : Production du groupe industriel chimique

Année	Pâtes (1000 tonnes)					Carton et papiers (1000 tonnes)				COGEN (GWh)
	Bisulfite	CTM ³	Désencrée	Kraft	Total	Carton	Papier	Autres	Total	
1990	531	290	146	1 835	2 802	345	470	189	1 004	211
1991	454	286	163	1 897	2 800	383	405	173	961	211
1992	385	321	184	2 095	2 985	400	535	142	1 077	211
1993	393	351	164	1 982	2 890	369	570	160	1 099	211
1994	424	414	116	2 036	2 990	427	595	183	1 205	211
1995	423	484	129	2 042	3 078	765	598	202	1 564	278
1996	360	515	128	2 040	3 043	843	587	158	1 588	278
1997	377	546	162	2 092	3 177	769	618	163	1 550	333
1998	327	557	180	2 128	3 192	852	627	152	1 631	440
1999	381	616	165	2 242	3 404	886	670	151	1 707	440
2000	332	650	179	2 262	3 423	876	633	162	1 671	440
2001	270	398	168	2 166	3 002	819	602	143	1 564	229
2002	275	557	181	2 303	3 316	855	663	146	1 664	609
2003	247	569	171	2 260	3 247	831	620	149	1 600	677
2004	207	633	185	2 279	3 304	855	661	358	1 874	694
2005	198	678	162	2 175	3 213	740	660	397	1 797	664
2006	224	591	160	1 842	2 817	691	652	416	1 759	421
Taux de croissance annuelle (%)	-5,4	4,4	0,6	0,0	0,0	4,3	2,0	4,9	3,5	4,3

3: Chimico-thermomécanique

Tableau 4 : Les centrales hydroélectriques

Centrales actuelles
Hydro-Saguenay (Abitibi Bowater, Alma et Jonquière)
Centrale Manicouagan (Abitibi Bowater et Alcoa, Baie-Comeau)
Eddy Hull, Ottawa River (Domtar inc.)
Hydro Bromptonville inc. (Kruger)

Centrales passées
Énergie Maclaren inc., Masson
Énergie Maclaren inc., Dufferin
Énergie Maclaren inc., High Falls

Tableau 5 : Consommation énergétique de l'industrie chimique (TJ)

Année	Électricité	Gaz naturel	Mazout léger	Mazout lourd	Liqueur noire	Résidus de bois	Bois	Total
1990	13 082	11 064	3 419	108 580	65 117	20 175	0	221 437
1991	13 651	11 297	3 087	111 448	59 123	15 298	0	213 904
1992	13 302	11 119	2 142	108 866	48 043	11 362	0	194 834
1993	13 777	10 519	1 195	100 992	46 471	12 173	0	185 127
1994	14 371	11 913	413	102 170	51 648	13 234	0	193 749
1995	16 243	15 940	1 275	87 656	50 689	14 117	0	185 920
1996	15 246	12 223	1 059	88 225	54 044	13 333	0	184 130
1997	18 515	11 014	1 593	103 011	55 083	13 611	0	202 827
1998	18 716	10 582	1 036	106 211	55 179	12 643	202	204 569
1999	18 616	10 398	690	100 191	58 167	14 924	0	202 986
2000	18 407	6 563	738	105 048	59 967	14 649	543	205 915
2001	15 667	8 741	705	109 264	58 757	14 979	464	208 577
2002	16 596	5 296	1 344	101 783	61 230	15 015	508	201 772
2003	16 690	5 137	3 524	111 525	59 893	14 238	422	211 429
2004	18 781	3 830	7 759	121 097	58 861	13 842	439	224 609
2005	18 716	3 820	8 245	116 069	54 870	14 703	393	216 816
2006	17 096	3 820	5 485	83 416	47 440	13 370	576	171 203
Taux de croissance annuelle (%)	1,6	-5,3	2,9	-1,6	-2,0	-2,5	-	-1,6

Tableau 6 : Consommation énergétique de l'industrie « autres » (TJ)

Année	Électricité	Gaz naturel	Mazout léger	Mazout lourd	Résidus de bois	Boue	Total
1990	36 709	21 578	43	20 447	22 013	2 049	102 839
1991	38 308	21 652	68	17 946	26 338	2 394	106 706
1992	36 000	22 182	23	18 697	11 209	1 100	89 211
1993	39 193	22 517	21	19 677	13 182	1 016	95 606
1994	41 242	19 221	44	20 485	15 451	1 854	98 297
1995	43 679	23 053	182	16 310	18 823	1 808	103 855
1996	44 183	23 358	353	15 217	16 769	1 656	101 536
1997	43 603	24 004	394	15 258	14 964	1 701	99 924
1998	43 391	20 964	408	14 808	19 343	1 688	100 602
1999	47 293	23 412	400	15 091	21 343	1 613	109 152
2000	47 333	20 941	487	17 774	21 588	1 594	109 717
2001	48 773	14 201	453	22 389	19 540	1 178	106 534
2002	50 839	16 376	548	19 031	20 124	2 001	108 919
2003	53 150	10 963	584	24 134	20 284	2 307	111 422
2004	51 797	10 273	574	23 721	18 767	1 969	107 101
2005	52 600	9 449	450	21 934	18 430	2 081	104 944
2006	51 088	12 398	367	14 791	15 212	1 816	95 672
Taux de croissance annuelle (%)	2,0	-3,5	13,4	-2,0	-2,3	-0,8	-0,5

Tableau 8 : Émissions provenant de la consommation du gaz naturel et du mazout

Groupe "autres"							
Année	Mazout lourd et léger (equi. Thermique) en kilolitres	Équivalence thermique en térajoule	Émissions de CO2e (tonne)	Gaz Naturel (km3)	Équivalence thermique en térajoule	Émissions de CO2e (tonne)	Émissions du mazout et gaz naturel (1000 tonne de CO2e)
1990	491372,57	20504,98	1529261,20	567855	21629,60	1079965,78	2609,23
2006	363493,14	15168,57	1131271,84	326266	12427,47	620503,67	1751,78
Groupe chimique							
1990	268573,16	11207,56	835859,68	235140	8956,48	447197,18	1283,06
2006	213175,95	8895,83	663451,19	100535	3829,38	191200,85	854,65

Tableau 9 : Les prix des sources d'énergie

Année	Électricité (\$/MWh)		Mazout lourd (\$/1000 litres)	Gaz naturel (\$/1000m3)	Résidus de bois (\$/tonne)
	Usines Chimiques	Usines « autres »			
1990	31,3	28,0	156	150	8,25
1991	34,3	30,6	117	159	8,25
1992	35,2	33,5	126	161	8,25
1993	35,5	30,2	125	149	8,25
1994	35,8	31,6	142	158	8,25
1995	35,0	31,8	160	125	8,25
1996	37,1	32,5	168	127	8,25
1997	36,7	33,3	169	134	8,25
1998	37,5	32,3	123	146	8,25
1999	38,0	33,9	168	158	9,00
2000	37,3	34,2	258	212	9,75
2001	38,8	35,7	248	249	12,23
2002	38,2	36,4	277	264	13,87
2003	38,2	36,6	294	298	14,82
2004	39,5	37,9	294	370	15,88
2005	40,4	38,4	359	429	17,23
2006	41,9	39,8	373	363	20,14
Taux de croissance annuelle (%)	1,8	2,2	2,4	2,4	2,4

9.2 Annexe B : Sources des données

9.2.1 Consommation d'énergie

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) nous a fourni des données sur la consommation énergétique des papetières chimiques et « autres ». Les données portent sur la consommation du gaz naturel, du mazout léger et lourd, de la liqueur noire ou résiduelle, des résidus de bois (incluant l'écorce) et de la boue.

9.2.2 Consommation de l'électricité

Hydro-Québec nous a fourni des données sur leurs ventes agrégées d'électricité aux deux groupes industriels de pâtes et papiers. Comme certaines usines de pâtes et papiers possèdent leur propre site hydroélectrique, nous avons ajouté la production d'électricité provenant de cette source aux ventes d'Hydro-Québec afin de construire les données sur la consommation totale d'électricité des deux groupes industriels des pâtes et papiers. Les sites hydroélectriques appartiennent aux usines du groupe industriel « autres ». La majorité des usines faisant partie de ce groupe utilise le procédé thermomécanique, un procédé exigeant une consommation importante d'électricité.

À partir du répertoire des centrales hydroélectriques du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et du document Énergie au Québec Édition 2002, nous avons pu identifier les centrales dont les exploitants sont des compagnies de pâtes et papiers. Le tableau 4 présente les centrales hydroélectriques qui sont ou étaient associées à des usines de pâtes et papiers.

9.2.3 Production

Le MDDEP nous a fourni des données sur la production de papiers et de pâtes, pour les deux groupes d'usines chimique et « autres ». Les types de pâtes sont la pâte au

bisulfite, kraft, mécanique, thermomécanique, chimio-thermomécanique, désencrée et recyclée. Les types de produits finaux incluent le papier, le papier journal, le carton, le papier hygiénique et d'autres types de papier.

Comme certaines usines produisent de l'électricité par la cogénération, nous avons voulu inclure cette variable dans notre estimation. Le MDDEP nous a fourni les données sur la production d'électricité par la cogénération des deux groupes d'usines de pâtes et papiers à partir de 2001. Les données de 1990 à 2000 furent construites sur la base de la capacité électrique installée, avec un coefficient d'utilisation de 66 %.

9.2.4 Le prix des différentes sources d'énergie

Pour l'évolution du prix du gaz naturel de 1990 à 2006, nous avons utilisé le prix industriel de vente moyen du gaz naturel fourni par le Ministère des ressources naturelles et de la faune (MRNF) à l'adresse suivante :

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-prix.jsp>.

En ce qui a trait au prix du mazout lourd, nous avons utilisé le prix courant du secteur industriel fourni par le MRNF à l'adresse suivante :

<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/statistiques/prix-petroliers.xls>.

Pour ce qui est du prix de l'électricité, Hydro-Québec nous a fourni des données sur le nombre de GWh vendu à chaque groupe industriel ainsi que leur revenu en million de dollar provenant de ces ventes de 1992 à 2006.

En divisant la valeur des ventes par le volume des ventes, nous avons obtenu le prix moyen en \$/MWh pour les deux groupes industriels. Pour ce qui est des années 1990 et 1991, nous avons estimé les prix en se basant sur le ratio des données de chaque groupe industriel par rapport aux données de l'industrie en entière. Nous avons appliqué ces ratios aux volumes et valeurs totales de 1990 et 1991 afin de calculer le prix.