

Université de Montréal

Les permis de pollution et leur applicabilité au cas  
hypothétique de la rivière Chaudière

Centre de documentation

par

SEP 06 1992

Josée Ducharme

Sciences économiques (1111)

Département de Sciences économique

Faculté des Arts et des Sciences

Rapport de recherche présenté à la Faculté des études  
supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences (M.Sc)

Août, 1992

**TABLE DES MATIERES**

|   |          |
|---|----------|
| LISTE DES TABLEAUX.....   | IV       |
| LISTE DES FIGURES.....  | V        |
| LISTE DES CARTES.....   | VI       |
| <br>  |          |
| <b>INTRODUCTION.....</b>  | <b>1</b> |
| <br>  |          |
| <b>CHAPITRE I: LA THEORIE DES PERMIS DE POLLUTION</b>             |          |
| <br>  |          |
| 1.1 L'ORIGINE DES PERMIS DE POLLUTION.....                        | 5        |
| 1.2 LE SYSTEME DES PERMIS NON-ECHANGEABLES.....                   | 7        |
| 1.3 LE SYSTEME DES PERMIS ECHANGEABLES.....                       | 8        |
| 1.3.1 Le système des permis d'émission.....                       | 9        |
| 1.3.2 Le système des permis ambiants.....                         | 13       |
| 1.3.3 Le système "pollution offsets".....                         | 15       |
| 1.3.4 Le système des permis "Modified<br>pollution offsets" ..... | 17       |
| 1.4 ALLOCATION DES PERMIS DE POLLUTION.....                       | 20       |
| 1.5 AVANTAGES ET FAIBLESSES DES PERMIS DE POLLUTION.....          | 22       |
| 1.5.1 Les avantages.....  | 22       |
| 1.5.2 Les faiblesses.....   | 24       |
| 1.6 COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTS MODES DE CONTROLES...        | 26       |

## CHAPITRE II: LA POLLUTION AGRICOLE ET LA RIVIERE CHAUDIERE

|   |    |
|---|----|
| 2.1 CONTRIBUTION DE L'AGRICULTURE À LA POLLUTION<br>DE L'EAU.....       | 30 |
| 2.2 SITUATION AU QUEBEC.....  | 31 |
| 2.3 BREVE DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE<br>CHAUDIERE..... | 32 |
| 2.3.1 Profil physique.....  | 32 |
| 2.3.2 Secteur d'étude.....  | 33 |
| 2.3.3 Profil socio-économique du secteur<br>haute-chaudière.....        | 36 |
| 2.4 QUALITE DES EAUX DE LA RIVIERE CHAUDIERE.....                       | 40 |
| 2.4.1 Provenances des données analysées.....                            | 41 |
| 2.4.2 La qualité de l'eau.....  | 42 |
| 2.4.2.1 Caractéristiques microbiologiques.....                          | 45 |
| 2.4.2.2 Caractéristiques chimiques.....                                 | 49 |

## CHAPITRE III: APPLICATION DE LA THEORIE DES PERMIS DE POLLUTION AU CAS DE LA RIVIERE CHAUDIERE

|  |    |
|--|----|
| 3.1 LES PERMIS DE POLLUTION UNE STRATEGIE POUR RESOUDRE LE<br>PROBLEME DE L'EAU..... | 54 |
| 3.2 LES DONNÉES.....   | 55 |
| 3.3 REPRESENTATION DE L'APPLICATION DE LA THEORIE.....                               | 59 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.3.1 Programme quadratique pour les modèles des permis<br>d'émission et des permis ambiants..... | 60         |
| 3.3.1.1 Modèle pour les permis d'émission.....  | 63         |
| 3.3.1.2 Modèle pour les permis ambiants.....  | 67         |
| 3.3.2 Discussion des résultats empiriques.....  | 70         |
| 3.3.2.1 La réduction des émissions d'azote.....   | 71         |
| 3.3.2.2 Les coûts de contrôle.....  | 77         |
| 3.3.2.3 L'évolution des prix des permis de<br>pollution.....                                      | 81         |
| <br>  |            |
| <b>CHAPITRE IV: DISCUSSION</b>  |            |
| <br>  |            |
| 4.1 PROBLEMES INHERANTS À L'APPLICATION DES MODELES DANS LA<br>REALITE.. ..                       | 86         |
| 4.1.1 Problèmes administratifs.....   | 86         |
| 4.1.2 Problèmes politiques.....   | 89         |
| 4.2 AUTRES SECTEURS D'APPLICATION.....  | 90         |
| 4.3 L'EXPERIENCE AMERICAINE.....  | 91         |
| <br>  |            |
| <b>CONCLUSION.....</b>  | <b>94</b>  |
| <br>  |            |
| <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>   | <b>97</b>  |
| <br>  |            |
| <b>ANNEXES.....</b>   | <b>100</b> |

**LISTE DES TABLEAUX**

|      |  |    |
|------|--|----|
| I    | Synthèse des modèles des permis de pollution.....                        | 19 |
| II   | Synthèse des avantages et des faiblesses<br>des modèles .....            | 28 |
| III  | Données physico-chimiques.....   | 44 |
| IV   | Quantité d'azote émise par ferme.....                                    | 56 |
| V    | Les coûts de contrôle.....   | 58 |
| VI   | Elimination régionale d'azote par jour selon les deux<br>modèles.....    | 72 |
| VII  | Elimination d'azote par chaque source polluante selon<br>le système..... | 74 |
| VIII | Les coûts annuels selon les systèmes.....                                | 79 |
| IX   | Les prix des permis.....   | 82 |

**LISTE DES FIGURES**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Bassin versant de la rivière chaudière: secteur d'étude<br>et stations d'échantillonnage..... | 34 |
| 2.2 Territoire administratif et M.R.C.....  | 35 |
| 2.3 Secteur de la Haute-Chaudière.....  | 37 |
| 2.4 Coliformes fécaux.....  | 47 |
| 2.5 Turbidité.....  | 48 |
| 2.6 Phosphore.....  | 51 |
| 2.7 Azote ammoniacal.....   | 52 |
| <br>  |    |
| 3.1 Relation entre les coûts régionaux et les coûts<br>individuels.....                           | 62 |
| 3.2 Elimination d'azote vs Norme .....  | 76 |
| 3.3 Coût annuel vs Norme .....  | 80 |

**LISTE DES CARTES**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Localisation des producteurs agricoles et des stations<br>de contrôle ..... | 38 |
| 2.2 Localisation des producteurs agricoles et des stations<br>de contrôle.....  | 39 |
| 3.1 Application du modèle des permis d'émission.....                            | 65 |
| 3.2 Application du modèle des permis ambiants .....                             | 68 |

**INTRODUCTION**



L'eau est avec l'air, le feu et la terre une matière première essentielle à la vie. Sans eau, l'homme, les animaux et les plantes ne pourraient vivre.

Pour la conserver, les gouvernements mettent continuellement de l'avant des politiques environnementales afin d'accentuer la dépollution des rivières, des lacs et des fleuves que l'homme avec ses nombreuses activités a déjà beaucoup pollués.

Les besoins en eau sont de plus en plus importants. L'eau devient, pour le moment, une denrée recherchée non en terme de quantité mais en terme de qualité. Cette situation fait apparaître la nécessité de posséder des outils adéquats pour le contrôle de la pollution.

Récemment, il y a eu une augmentation de l'intérêt pour l'utilisation d'instruments économiques dans le contrôle de la pollution. Dans le présent rapport de recherche, l'attention est centrée sur les permis de pollution comme instrument de contrôle de la pollution.

Tout d'abord, une revue de la littérature permettra d'identifier les différents systèmes de contrôle ayant comme fondement les permis de pollution et nous aidera à mieux comprendre le fonctionnement de ceux-ci.

Pour la partie empirique de ce rapport de recherche, nous aborderons l'étude de l'application de la théorie des permis de pollution au cas hypothétique de la rivière Chaudière. Nous tenterons de dégager les effets de l'utilisation des permis de pollution, comme méthode de contrôle, sur des variables telles que les coûts de contrôle, la réduction des émissions polluantes et les prix des permis.

**CHAPITRE I**

**LA THÉORIE DES PERMIS DE POLLUTION**

## 1.1 L'ORIGINE DES PERMIS DE POLLUTION

Les problèmes environnementaux ne sont pas l'apanage des civilisations modernes et industrialisées. De tout temps, tous les pays du monde ont été confrontés à des problèmes plus ou moins importants de sauvegarde de l'environnement.

Alfred Marshall fût le premier à parler d'effets externes dans la production. Par la suite, les économistes ont classifié les effets externes de Marshall en deux catégories. La première englobe les effets externes de type monétaire tandis que l'autre inclut les effets externes technologiques qui influent sur la qualité de vie de ceux affectés par les externalités. Il n'existait, à l'époque, aucun mécanisme pour régler ces problèmes d'externalités. Au fil des ans, une série d'écrits économiques sur les effets externes fût publiée. Ces écrits considéraient les effets externes comme une forme de déficience du marché sans vraiment apporter de solution au problème.

En 1960, Ronald Coase écrivait un article, sur les effets externes technologiques, qui changea la vision des économistes. Dans cet article, Coase montre comment la théorie économique peut éventuellement traiter les effets externes technologiques. Il souligne que les effets externes négatifs apparaissent parce que des individus utilisent un certain

actif sans le payer. Selon Coase, si l'actif est possédé par quelqu'un et qu'il a un prix fixé par la concurrence, on obtient un optimum social. Cet article aura une grande influence sur les écrits futurs portant sur la pollution.

L'environnement est considéré comme un bien public puisqu'il n'existe aucun droits de propriété associés aux ressources environnementales. La nature non-exclusive des biens environnementaux amène une sur-exploitation de ceux-ci. J.H. Dales (1968) fût le premier à aborder la question de la pollution comme étant un problème lié aux droits de propriété. Le modèle de Dales tente d'internaliser les ressources environnementales au mécanisme du marché à l'aide d'une allocation de permis de pollution. Il conçoit les permis de pollution comme des droits autorisant aux détenteurs certaines actions ayant des effets nuisibles sur l'environnement. Il suggère de fixer publiquement une norme d'émission de polluant, correspondant au niveau maximal de dégradation de l'environnement, toléré par la société, plutôt que d'utiliser une norme décrivant le niveau optimal de dépollution. Cette norme devient l'information nécessaire et suffisante au pollueur pour rectifier son comportement. La divergence existant entre les coûts privés d'une activité et ses coûts sociaux sera amenuisée. L'instauration de droits de propriété individuels et l'établissement d'un marché artificiel sont un excellent moyen de relier la quantité de pollution jugée

optimale aux préférences des individus en matière de protection de l'environnement.

L'élaboration d'un tel modèle a contribué à orienter la réflexion économique vers des modèles de contrôle de la pollution ayant pour fondement les permis de pollution. Dans la littérature économique, nous distinguons deux systèmes de permis de pollution. Ces deux systèmes seront analysés plus en détail ultérieurement.

## **1.2 LE SYSTEME DES PERMIS NON-ECHANGEABLES**

Dans ce système, l'Etat est perçu comme le propriétaire des ressources environnementales. L'autorité de contrôle détermine la quantité de résidus polluants pouvant être déversée dans l'environnement. Elle émet, par la suite, un nombre de licence de pollution autorisant globalement cette quantité de résidus.

Ce modèle de contrôle repose sur l'hypothèse simpliste qu'une unité de pollution, déchargée dans l'environnement, est identique pour tous les pollueurs. Il résulte, de cette hypothèse, que l'état peut distribuer uniformément, entre les différents pollueurs, la quantité totale de pollution jugée

socialement optimale<sup>1</sup>.

Dans cette perspective, il existe plusieurs possibilités pour l'allocation initiale des permis de pollution, allant de l'allocation gratuite à l'allocation proportionnelle des permis.

Les permis sont non-échangeables entre les pollueurs. L'Etat orchestre les transactions de vente ou d'achat entre les différents détenteurs de licences. Il agit en agent intermédiaire entre les participants de ce marché à caractère national. Ce système implique la centralisation administrative du marché artificiel afin d'assurer une meilleure coordination.

### **1.3 LE SYSTEME DES PERMIS ECHANGEABLES**

Le système de contrôle de la pollution proposé par Dales (1968) fût repris par plusieurs économistes, en particulier par David Montgomery (1972). Il est un des premiers à proposer un système de contrôle de la pollution comportant des licences

---

<sup>1</sup>L'application uniforme à chaque pollueur de la même quantité de pollution à émettre, a été contestée par Tietenberg (82). Il trouve cette distribution peu logique car d'après lui, la concentration d'un polluant dans une location dépend de beaucoup de facteurs tel la capacité d'assimilation de l'environnement à cet endroit particulier.

de pollution pouvant s'échanger directement entre les différents pollueurs.

Administrativement, ce système se veut plus simple à manier. Le rôle de l'autorité de contrôle est de fixer la quantité totale de pollution à être déversée dans une zone donnée et d'émettre un nombre correspondant de permis qu'elle met en vente au plus offrant. L'Etat influence peu l'allocation des licences de pollution, entre les pollueurs, puisqu'il laisse agir librement le marché artificiel. C'est le jeu de l'offre et de la demande qui détermine l'allocation des permis entre les pollueurs.

Dans la littérature, portant sur les permis échangeables, il existe plusieurs variantes ayant comme base la théorie de Montgomery. Une analyse de la littérature économique permet de mettre en évidence les quatre variantes du modèle de Montgomery. Ces variantes montrent une évolution de la réflexion économique face aux problèmes environnementaux.

### **1.3.1 LE SYSTEME DES PERMIS D'EMISSION**

Sous ce système, le territoire pollué est délimité en zone d'échange. L'objectif fondamental de ce système est de



réduire la quantité totale d'émissions dans une zone donnée. Chaque zone devient un marché artificiel indépendant avec son propre prix pour ses permis de pollution déterminé par la demande des pollueurs et par l'offre des autorités (le nombre de permis émis). Les zones doivent être suffisamment grande pour qu'il y ait une concurrence efficace dans l'achat et la vente des licences.

Le rôle de l'autorité de contrôle est de fixer une norme environnementale pour chaque zone d'échange. Pour fixer cette norme, elle se base sur le point de contrôle ayant la qualité environnementale la plus mauvaise. Par la suite, elle émet un certain nombre de permis représentant globalement cette norme.

Atkinson et Lewis (1974) définissent les permis de pollution en terme de niveaux d'émissions admissibles plutôt qu'en terme d'effets de ces émissions sur la qualité ambiante de l'environnement. Les permis permettent aux détenteurs de déverser dans l'environnement X kilogrammes de polluants par période de temps (un mois, un an).

Les sources polluantes se procurent les licences pour les décharges d'émissions plutôt que pour la dégradation de la qualité de l'environnement. Ces permis de pollution sont non-différenciés spatialement. Par exemple, nous avons deux sources polluantes 1, 2 et trois points de contrôle A, B, C.

La source 1 affecte les points de contrôle A et B tandis que la source 2 affecte les trois points de contrôle. La source 2 peut acheter des permis de la source 1 puisque les permis ne sont pas définis en terme de droit de polluer un point de contrôle particulier mais pour le droit de polluer la zone. Les permis ne prennent pas en considération l'effet individuel des émissions des pollueurs sur la qualité environnementale. Atkinson et Lewis (1974) posent comme hypothèse qu'une unité de pollution a exactement le même impact sur la qualité de l'environnement peu importe qui est la source émettrice de cette unité. Cette affirmation est équivalente à dire qu'un pourcentage donné de réduction dans les émissions totales de la région amène un même pourcentage d'amélioration de la qualité environnementale ambiante dans toutes les parties de la zone. Les permis sont échangeables entre les différents pollueurs à l'intérieur des zones spécifiques. Il n'y a pas d'échange possible entre les différentes zones.

Ce système est assez simple au point de vue administratif, autant pour l'autorité de contrôle que pour la firme polluante. Puisque chaque zone est un grand marché en soi, l'autorité de contrôle n'a qu'à voir au bon fonctionnement du marché artificiel de la zone. Les sources polluantes, quant à elles, transigent leurs permis sur un seul marché ce qui diminue leurs coûts de transaction lors de l'achat et de la vente des permis. L'entrée d'une nouvelle

source d'émissions est permise à la condition qu'elle se procure suffisamment de licences de pollution, auprès des autres sources, pour contrebalancer ses nouvelles émissions. La nouvelle source peut acheter ses permis auprès de n'importe quels pollueurs. Il est à noter que si la nouvelle source se localise dans une partie de la zone déjà très polluée et qu'elle se procure ses licences auprès d'une source localisée dans une partie de la zone relativement propre cela amène des situations de "Hot spot". Ce système est très pauvre à prévenir la formation de "Hot spot" dans les zones d'échange.

Les coûts de conformité, sous ce modèle, sont habituellement plus élevés puisque pour respecter la norme de qualité environnementale le niveau agrégé des émissions doit être réduit suffisamment pour assurer que la qualité de l'environnement au point de contrôle le plus pollué rencontre le standard dicté par l'Etat. De plus, puisqu'il ne peut y avoir d'échange entre deux zones différentes, ce système peut empêcher une source de réaliser des échanges bénéfiques avec une source localisée dans une autre zone d'échange.

### 1.3.2 LE SYSTEME DES PERMIS AMBIANTS

L'objectif fondamental du système des permis ambiants est d'obtenir une qualité environnementale spécifique pour chacun des "N" points de contrôle compris dans la zone d'échange.

Chaque point de contrôle devient un marché de permis indépendant. Il y a autant de marché qu'il existe de points de contrôle. L'autorité environnementale fixe la quantité totale d'émissions pouvant être rejetée dans chacun des "N" marchés. Par la suite, l'État émet un nombre de licences équivalant globalement au nombre total d'émissions dans les différents marchés. Chaque marché possède un nombre spécifique de permis de pollution et ceux-ci sont exclusifs au marché pour lequel ils sont émis. Tout les marchés de la zone opèrent simultanément.

Les permis de pollution sont définis en terme de concentration de polluant aux différents points de contrôle. Les licences sont différenciées spatialement. Elle prennent en considération les coefficients de transfert<sup>2</sup> entre les sources polluantes et les points de contrôle. On considère que chaque unité de pollution a un impact différent sur la qualité

---

<sup>2</sup> Le coefficient de transfert représente l'effet d'une unité d'émission de la source "j" sur la concentration de la pollution au point de contrôle "i".

environnementale de la région.

Ce système est plus complexe administrativement, autant pour les autorités de contrôle que pour les sources polluantes. Comme chaque point de contrôle est associé à un marché individuel de permis, l'autorité de contrôle doit prescrire plus de normes environnementales et aussi plus de permis différents. Les points de contrôles tendent à devenir "institutionnalisés". Les sources polluantes, quant à elles, sont confrontées à plusieurs contraintes environnementales. Chaque point de contrôle représente un standard de qualité ambiant auquel le pollueur doit se conformer. Plus il y a de point de contrôle, plus le pollueur a de contraintes à respecter.

Les permis étant différenciés spatialement, la source polluante ne peut utiliser les permis du point de contrôle A pour légitimer ses émissions au point de contrôle B. La source polluante doit se munir d'un portefeuille de permis de pollution afin de légitimer sa pollution aux différents points de contrôle qu'elle affecte. Par exemple, si on a trois points de contrôle A, B, C et que la source polluante affecte ces trois points de contrôle par ses émissions, elle devra détenir simultanément trois ensembles de permis égaux à  $d_{iA} * e_i$ ,  $d_{iB} * e_i$ ,  $d_{iC} * e_i$  où  $d_{ij}$  est le coefficient de transfert et  $e_i$  est la quantité d'émissions. Elle pourra, par la suite, échanger ses

permis avec d'autres pollueurs afin d'adapter son portefeuille en fonction de ses besoins. La formation du portefeuille de licences peut s'avérer très compliquée et amener des coûts de transaction élevés car la firme doit transiger sur plus d'un marché simultanément.

L'autorité de contrôle surveille la qualité de l'environnement aux localisations des points de contrôle mais est indifférente quant à la quantité totale de résidus déversés dans la région. Comme les émissions totales sont de seconde importance dans ce système, il peut y avoir une augmentation des émissions totales bien que chaque point de contrôle rencontre le standard qui lui est imposé. Ceci est un inconvénient du modèle.

### **1.3.3 LE SYSTEME DE "POLLUTION OFFSETS"**

Ce système est une approche alternative combinant certaines caractéristiques du système des permis d'émission et du système des permis ambiants. Il fût développé par Alan Krupnick, Wallace Oates et Eric Van de Verg (1983).

Tout comme le modèle des permis d'émission, ce système possède des permis de pollution non-différenciés spatialement.

Le marché des permis est représenté par la zone d'échange en entier. En même temps, il se rapproche du système des permis ambiants puisque chaque point de contrôle est régi par une norme environnementale que les pollueurs doivent respecter.

Les permis de pollution sont définis en terme d'émission (ils permettent le déversement de X tonnes de polluant par semaine ou par an). Ils représentent le droit de polluer un ensemble de point de contrôle (ceux de la région) par une certaine quantité de résidus polluants. Ils sont échangeables, mais les transactions entre les pollueurs ne doivent pas résulter en une violation du standard de qualité environnementale à aucun point de contrôle. Pour s'assurer que la norme est respectée à tous les points de contrôle, les pollueurs ne peuvent échanger les permis sur la base de un pour un. L'échange d'un permis pour un autre dépend des effets relatifs des émissions sur la qualité environnementale aux points de contrôle. Pour trouver les effets des émissions sur la qualité environnementale aux points de contrôle, on utilise les coefficients de transfert. Ils indiquent le taux auquel les émissions d'une source peuvent être substituées par les émissions d'une autre source sans qu'il y ait variation de la concentration de polluant aux points de contrôle de la zone. La nouvelle source d'émissions doit se procurer un nombre suffisant de permis de pollution, auprès des pollueurs

existants, afin de "compenser" l'effet de ses émissions dans la zone.

Ce système requiert moins de transactions, en ce qui concerne l'échange de permis, que le modèle des permis ambiants puisqu'il n'existe qu'un seul marché. Les coûts de recherche pour des échanges avantageux, entre les sources polluantes, apparaissent être moins élevés que sous le modèle des permis ambiants.

Ce système admet la possibilité que les firmes obtiennent, des autorités, des licences de pollution additionnelles aussi longtemps que le standard de la qualité environnementale n'est violé à aucun point de contrôle.

#### **1.3.4 LE SYSTEME DES PERMIS "MODIFIED POLLUTION OFFSETS"**

Ce modèle est l'oeuvre d'Albert McGartland et Wallace Oates (1985). Comme son nom le dit, il a comme base le modèle "pollution offsets" mais certaines hypothèses du modèle de Krupnick, Oates et Van de Verg ont été modifiées.

Ce système permet l'échange des permis, entre les sources polluantes, aussi longtemps que la qualité de



l'environnement avant l'échange et le standard ambiant de qualité environnementale ne sont violés à aucun point de contrôle. Tous les points de contrôle doivent rencontrer le standard de qualité régional.

Le nombre de permis de pollution émis par l'autorité de contrôle va être différent pour chacun des points de contrôle dans le but de respecter cette contrainte. Ce système amène, en général, une amélioration de la qualité de l'environnement dans la région. Cette règle d'échange prévient toute détérioration dans les parties de la zone qui sont présentement plus propres que le standard environnemental. Les aires déjà propres vont être plus propres. Ce système promet des bénéfices en terme de propreté de l'environnement. Les émissions totales ne sont pas directement contrôlées.

Les licences de pollution sont échangeables, entre les sources polluantes, et le marché sur lequel on peut les transiger est un marché unique. La possibilité d'échange pour les pollueurs est très réduite comparativement aux autres modèles puisqu'il ne faut pas détériorer la qualité environnementale qui prévalait avant l'échange.

**Tableau I: SYNTHESE DES MODELES DES PERMIS DE POLLUTION**

| PERMIS NON-ECHANGEABLES   |   | PERMIS ECHANGEABLES   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>* Marché national</li> <li>* L'Etat est un intermédiaire dans les transactions d'achat et de vente</li> <li>* Centralisation administrative</li> <li>* Permis défini en terme d'émissions</li> <li>* Permis non-différenciés spatialement</li> </ul> | <p>Permis d'émission</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Objectif réduire la quantité totale de polluant.</li> <li>* Chaque zone est un marché unique</li> <li>* Permis défini en terme d'émissions</li> <li>* Permis non-différenciés spatialement</li> <li>* Système simple</li> <li>* Problème de "Hot-spot"</li> <li>* Aucun échange entre les zones.</li> </ul> | <p>Permis ambiants</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Qualité spécifique à chaque points de contrôle</li> <li>* Plusieurs marchés dans la zone.</li> <li>* Permis différenciés spatialement</li> <li>* Permis défini en terme de concentration</li> <li>* Coefficient de transfert individuel</li> <li>* Complexe administrativement</li> <li>* La source doit avoir un portefeuille de permis</li> </ul> | <p>Système "offsets"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Marché unique</li> <li>* Norme à chaque point de contrôle</li> <li>* Permis défini en terme d'émissions</li> <li>* Permis non-différenciés spatialement</li> <li>* Aucun échange entre les zones.</li> <li>* Possibilité pour l'Etat d'augmenter le nombre de permis</li> </ul> | <p>Système "modified"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Permis différenciés spatialement</li> <li>* Chaque zone est un marché unique</li> <li>* Permis défini en terme d'émissions</li> <li>* L'échange de permis est limité</li> <li>* Prévient toute détérioration suite à l'échange</li> <li>* Norme émise pour la région</li> <li>* Règle d'échange: aucune violation de la qualité environnementale.</li> </ul> |

#### 1.4 ALLOCATION DES PERMIS DE POLLUTION

La formulation et l'acceptation de quelques hypothèses sont nécessaires pour l'application de ce modèle à un cas concret. Dans le cadre d'un tel programme de contrôle, les hypothèses suivantes doivent être posées: les ressources environnementales sont la propriété du gouvernement, la pollution est confinée au rôle de phénomène régional car une approche locale ou régionale permet de prendre en considération les exigences particulières à chaque région (Dales 1968) et finalement, les pollueurs doivent se comporter comme des "price takers".

Dans certaines circonstances, certains résidus, pour une quantité identique, peuvent être plus dommageables pour l'environnement que d'autres déchets. Afin de réaliser une allocation efficace des permis de pollution; dans un premier temps, l'autorité de contrôle établit une table d'équivalence entre les différentes substances polluantes. Cette table permet au gouvernement de déterminer la quantité optimale de pollution à émettre dans l'environnement. L'autorité de contrôle ayant le pouvoir d'établir les permis de pollution identifie le nombre de tonnes de résidus pouvant être déversé dans l'environnement et émet un nombre de permis de pollution autorisant globalement cette quantité de résidus. Par la suite, ces permis sont mis en vente. Le jeu de l'offre et de

la demande détermine le prix du permis de pollution. Comme l'ensemble des permis permet moins de pollution, comparativement à ce que les pollueurs rejettent présentement dans l'environnement, le jeu de l'offre et de la demande commande un prix positif pour les permis .

Les permis de pollution sont des titres de propriété permettant au détenteur de déverser "X" unité de pollution dans l'environnement. Puisqu'ils sont échangeables, il va se créer un marché artificiel<sup>3</sup> où les pollueurs pourront vendre ou acheter des permis de pollution en fonction de leur besoin.

Les permis de pollution sont valides pour une certaine période allant d'un an à cinq ans maximum. Durant cette période, le gouvernement ne pourra augmenter ou réduire le nombre de permis de pollution afin qu'il n'y ait pas d'incertitude face aux prix des permis et afin de favoriser l'investissement, de la part des compagnies, dans des équipements moins polluants.

---

<sup>3</sup>Un marché artificiel défini par Dales (1968 p.803): "...the market in pollution rights is not a "true" or "natural" market. In natural markets prices creates two-way communication between sources of supply and demande and affects amounts supplied as well as amounts demanded. (...) My market provides only for one-way communication. It transmits the government-owner's decisions about the use of water to the users of the asset, but there is no feed back from the users to owner. (...) The market proposed(...) is therefore nothing more than an administrative tool."

## **1.5 AVANTAGES ET FAIBLESSE DES PERMIS DE POLLUTION**

L'efficacité de toute méthode de contrôle de la pollution est limitée par le problème d'objectivité et de fiabilité des mesures nécessaires au contrôle de la pollution. De plus, tout système de contrôle est confronté au fait que le pollueur fait face au choix d'accepter de se conformer aux normes en vigueur ou d'enfreindre ces règles et d'assumer les sanctions qu'il subira s'il est surpris en état de violation des normes établies.

Toute méthode de contrôle possède ses avantages et ses inconvénients. Dans cette partie, on analyse les avantages et les faiblesses des permis de pollution comme instrument de contrôle. De plus, on fera une brève comparaison (sous forme de tableau synthèse) avec les autres méthodes de contrôle.

### **1.5.1 LES AVANTAGES**

L'avantage principal présenté par la création d'un système de permis de pollution est qu'il oblige les industries à internaliser les coûts externes de leur pollution, limitant

ainsi la dégradation excessive de l'environnement<sup>4</sup>.

Ce mécanisme de contrôle stimule l'efficacité économique en matière de protection de l'environnement. Il répartit la tâche de réduire les émissions polluantes, entre les différentes entreprises visées, selon leur efficacité relative. Cela suscite une incitation, pour les firmes, à la recherche et au développement de nouveaux processus de transformation moins dispendieux, plus efficace et surtout plus propre pour l'environnement.

La notion de l'offre et de la demande régit le monde d'aujourd'hui. Les permis de pollution sont un système bien adapté pour la situation des marchés actuels. Le prix du permis sera déterminé par le jeu de l'offre et de la demande et suivra de très près la conjoncture économique. De plus, dans un contexte inflationniste, les permis de pollution restent efficaces. L'inflation n'aura aucun effet sur la quantité de pollution émise. Elle aura pour conséquence d'accroître le prix des permis en conformité avec l'augmentation des prix des autres biens.

Ce modèle réduit la taille de la bureaucratie attachée à la gestion de la qualité de l'environnement. Sous ce système

---

<sup>4</sup>Les permis étant définis en terme de kg/jour, et non pas en terme de \$/kg, assurent que la dégradation de l'environnement n'excédera pas la quantité permise par l'Etat.

de contrôle, l'intervention de l'État dans le secteur privé de l'économie est minimum. Son rôle devient celui de coordonnateur du marché artificiel des permis et non plus celui d'intervenant actif dans la sauvegarde de l'environnement.

Dans le cadre d'un tel système, les pollués révèlent leur préférence, face à la qualité de l'environnement, en achetant des permis de pollution. Le gouvernement peut donc mieux lire et interpréter les préférences des gens et ainsi accomplir des actions plus efficaces face à l'allocation du niveau de pollution admissible.

De plus, comme l'État fixe la quantité de pollution totale qui pourra être émise, durant la période de validité des permis, ceci réduit l'incertitude face à la quantité de pollution qui sera déversée dans l'environnement et permet au gouvernement d'envisager des politiques de développement durable en matière de protection de l'environnement.

#### **1.5.2 LES FAIBLESSES**

Les permis de pollution sont des instruments de contrôle sujet à la controverse et à la résistance des entreprises, du

gouvernement, et du public en général. La principale faiblesse de ce système de contrôle est son manque d'attrait au point de vue politique. Les autorités gouvernementales sont peu enclines à utiliser seulement les permis de pollution comme moyen de contrôle. Elles utilisent les droits de pollution comme supplément aux modes de contrôles directs tel la réglementation. Les stratégies issues du mécanisme du marché sont rarement adoptées.

Les permis de pollution se heurtent au problème de manque de certitude au sujet de l'effet final sur l'environnement. Les sources polluantes doivent rencontrer un standard de qualité environnementale mais certains affirment que les régions qui étaient relativement propres vont voir leur qualité se dégrader si le standard est fixé à partir de la région ayant une qualité d'environnement très mauvaise.

Les firmes n'approuvent pas ce mode de contrôle car elles affirment qu'il y a un manque de certitude face aux coûts qu'elles auront à subir pour se conformer au standard de qualité environnementale fixé par l'autorité de contrôle. Elles préfèrent les modes de contrôle directs où les coûts à subir sont clairement identifiés par l'autorité de contrôle (exemple: mise en place de filtres pour les cheminées).

Sous ce système, la pollution est considérée comme un



phénomène régional. La délimitation du territoire peut résulter en de petit marché avec peu de participant. L'étroitesse du marché peut rendre le système des permis de pollution inefficace puisqu'il y aura peu de participants et donc peu de transactions amenant une situation non-concurrentielle.

Les permis de pollution sont émis pour une certaine période de temps. Cette période devra être assez longue pour que la firme puisse envisager des investissements dans des instruments de production moins polluants. Il y a un temps entre la décision d'investir et la réalisation du projet. Le gouvernement doit prendre en considération ce laps de temps pour fixer la durée de ses permis.

#### **1.6 COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTS MODES DE CONTROLE**

Dans la littérature économique, il existe deux sortes de méthodes de contrôle de la pollution. Il y a les instruments de contrôle économiques et les instruments de contrôle directs.

Les méthodes de contrôle directes peuvent imposer des limites à la quantité de rejets qu'un pollueur peut produire

ou préciser de quelle manière une activité doit être faite. Parmi ces méthodes, on retrouve la réglementation qui est présentement la plus utilisée.

Dans les méthodes de contrôle économiques, on retrouve la subvention, la taxe et les permis de pollution. Pour la taxe, il s'agit d'avoir recours à des incitations financières de façon à rendre financièrement non-rentable les activités polluantes.

Le tableau suivant compare les avantages et les faiblesses des différentes méthodes de contrôle de la pollution.

Tableau II: SYNTHÈSE DES AVANTAGES ET DES FAIBLESSES DES MODES DE CONTRÔLE.

| MÉTHODE DE CONTRÔLE     |  | AVANTAGES  | FAIBLESSES  |
|-------------------------|--|--|---|
| DESCRIPTION             |  |  |   |
| LES PERMIS DE POLLUTION | Droit autorisant le déversement d'une certaine quantité de pollution.                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* internalisation des effets externes négatifs.</li> <li>* Incitation à réduire la pollution.</li> <li>* Efficace dans un contexte inflationniste.</li> <li>* Réduit la taille de la bureaucratie.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Manque d'attrait politique.</li> <li>* Manque de certitude au sujet des coûts de conformité.</li> <li>* Incertitude de l'effet final sur l'environnement.</li> </ul>   |
| LA TAXE                 | Coût monétaire touchant certaines activités économiques polluantes.                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Elles sont automatiques et inélastiques.</li> <li>* Rend non-rentable la poursuite des activités polluantes.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Difficile à modifier et demande plus de temps pour s'ajuster.</li> <li>* Peu efficace en contexte inflationniste.</li> <li>* On ne peut savoir à l'avance combien de polluant va être rejeté dans l'environnement.</li> </ul>  |
| LES SUBVENTIONS         | Transferts gouvernementaux correspondant au montant des dépenses encourues pour diminuer la pollution. | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Aide au niveau des coûts d'installation d'équipements moins polluants.</li> <li>* Attirent moins les foudres de l'opinion publique.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Peut avoir la conséquence d'accroître la pollution.</li> <li>* Il n'y a pas d'incitation à diminuer la pollution.</li> <li>* Coût de renonciation élevé pour la société.</li> </ul>  |
| A RÉGLEMENTATION        | Ensemble de mesures légales et réglementaires régissant un comportement.                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Il y a certitude pour les coûts de conformité.</li> <li>* Certitude quant aux résultats sur l'environnement.</li> <li>* Moins de résistance à son application.</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Fonctionne uniquement si la loi impose des amendes importantes aux contrevenants.</li> <li>* Pas de stimulation à faire des efforts supplémentaires pour réduire la pollution.</li> <li>* Ne tient pas compte de la capacité relative de chaque pollueur à réduire ses rejets de façon efficace.</li> <li>* Modification lente.</li> </ul> |

**CHAPITRE II**

**LA POLLUTION AGRICOLE ET LA RIVIERE CHAUDIERE**

## **2.1 CONTRIBUTION DE L'AGRICULTURE A LA POLLUTION DES EAUX**

La contribution de l'agriculture à la pollution des eaux dépend de l'importance relative de l'agriculture dans une région donnée par rapport aux autres sources de pollution. La pollution agricole est surtout due aux rejets d'élevage, aux fertilisants et aux pesticides. Les rejets d'élevage constituent néanmoins la source la plus importante de la pollution des cours d'eau. Le degré de pollution engendré par les résidus d'élevage dépend de la méthode d'entreposage du fumiers et du lisiers, des techniques d'épandage, du type de sol, de la topographie et de la proximité du réseau hydrologique.

Les dommages à l'environnement causés par la production de surplus de fumiers et de lisiers sont considérables et variés: eutrophisation des plans d'eau, contamination progressive des nappes, compaction des sols, volatilisation de substances acidogènes et nauséabondes, accumulation de métaux dans les sols, détérioration de la qualité des écosystèmes et risques accrus pour la santé humaine.

## 2.2 SITUATION AU QUEBEC

Depuis une dizaine d'année, l'industrialisation des élevages s'est grandement intensifiée. Cette industrialisation de l'agriculture vise à augmenter la productivité des exploitations. Entre 1976 et 1981 le nombre de porcs au Québec est passé de 1 613 139 à 3 440 724 porcs (Statistique Canada 1976 et 1981). Ceci représente une augmentation de plus de 100%. Cette tendance à augmenter le nombre de bêtes par superficie de terre agricole devrait s'amplifier dans le futur car plusieurs facteurs interviennent présentement pour redéfinir la concurrence des marchés nationaux et internationaux (GATT, libre-échange).

La concentration du nombre d'animaux dans certaines régions du Québec est telle que les superficies de sol disponibles dans certaines municipalités ne suffisent pas pour y recycler les déjections animales produites.

Plusieurs exploitations produisent des volumes de résidus dépassant significativement leur capacité de les absorber par les techniques traditionnelles de valorisation agronomique. Les régions de Chaudière-Appalaches, Yamaska et l'Assomption reflètent bien cette situation. Près de 5 millions de mètres cubes de lisiers et de fumiers en excédant sont produits annuellement dans ces régions par 1185 exploitations agricoles, soit 9.5% des 12 473 exploitations recensées. Ce 5 millions de m<sup>3</sup> en surplus représente des charges potentielles annuelles d'au moins 20 millions de kg d'azote et d'au moins 10 millions de kg de phosphore. (Conversation privée avec un membre de l'INRS-Eau).

Les activités agricoles contribuent donc d'une façon significative à la détérioration de la qualité des eaux de surfaces et des nappes d'eau souterraines puisque cette pollution pénètre dans le sol et est entraînée vers les lacs et les rivières.

## **2.3 BREVE DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE CHAUDIERE**

### **2.3.1 PROFIL PHYSIQUE**

Situé sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de Québec (figure 2.1), le bassin hydrographique<sup>5</sup> de la rivière Chaudière draine une vaste région de 6682 km<sup>2</sup>. Il occupe principalement le territoire des régions administratives<sup>6</sup> de l'Estrie (03) et de Québec (05) (figure 2.2). La rivière Chaudière prend sa source dans le lac Mégantic à l'extrémité sud du bassin et coule en direction nord pour aller se jeter dans le fleuve Saint-Laurent à la

---

<sup>5</sup> Un bassin hydrographique est constitué de l'ensemble des torrents, des ruisseaux, des rivières des fleuves et de leur territoire drainé.

<sup>6</sup> Une région administrative est une zone territoriale où le gouvernement du Québec possède un bureau dispensant les services gouvernementaux.

hauteur de Charny. Elle s'étend sur près de 188 kilomètres. Elle est un des principaux affluents du fleuve.

### 2.3.2 SECTEUR D'ETUDE

Pour fins d'étude, le Ministère de l'Environnement divise le bassin en trois secteurs distincts sur le plan de l'hydrologie, de l'utilisation du territoire et des caractéristiques socio-économiques. Ce sont les secteurs de la Haute-Chaudière, de la Moyenne-Chaudière et de la Basse-Chaudière. Notre étude se limite au secteur de la Haute-Chaudière (figure 2.3).

Le secteur de la Haute-Chaudière couvre la partie supérieure du bassin. Il s'étend de Lac-Mégantic jusqu'au sud de Saint-Georges (barrage Sartignian). Avec une superficie de 3070 km<sup>2</sup> (46% de la superficie totale du bassin), il s'agit du plus grand des trois secteurs. Il englobe les municipalités régionales de comté (MRC)<sup>7</sup> du Granite et de Beauce-Sartignian. La rivière Chaudière, dans ce secteur s'étend sur près de 82 kilomètres.

---

<sup>7</sup> Une MRC est un regroupement de municipalités ayant les mêmes affinités et sentiments d'appartenance à la ville principale d'un territoire donné.



### 2.3.3 PROFIL SOCIO-ECONOMIQUE DU SECTEUR HAUTE-CHAUDIÈRE<sup>8</sup>

La Haute-Chaudière est un secteur très boisé. Il a près de 85% de sa superficie en forêt. Les terres agricoles occupent 12% de la région. La plupart des terres attenantes à la rivière Chaudière appartiennent à des producteurs agricoles<sup>9</sup> (carte 2.1 et 2.2).

Le secteur de la Haute-Chaudière possédait, en 1988, près de 25 000 habitants. Sa densité humaine se chiffrait à 8.1 habitants par km<sup>2</sup>. La répartition de cette population est d'environ 24.3% urbaine, 12.5% agricole et 62.3% rurale non-agricole. Nous constatons que près des trois quarts de la population résident dans des zones dites campagnardes. La municipalité la plus importante du secteur est Lac-Mégantic avec environ 5732 habitants. Le reste de la population est réparti à travers les 23 petites municipalités du secteur.

L'activité industrielle de ce secteur est surtout axée sur l'industrie forestière, qui est surtout concentrée autour de la ville de Lac-Mégantic, et sur les industries du textile et des poutrelles d'acier. En été, dans la régions de

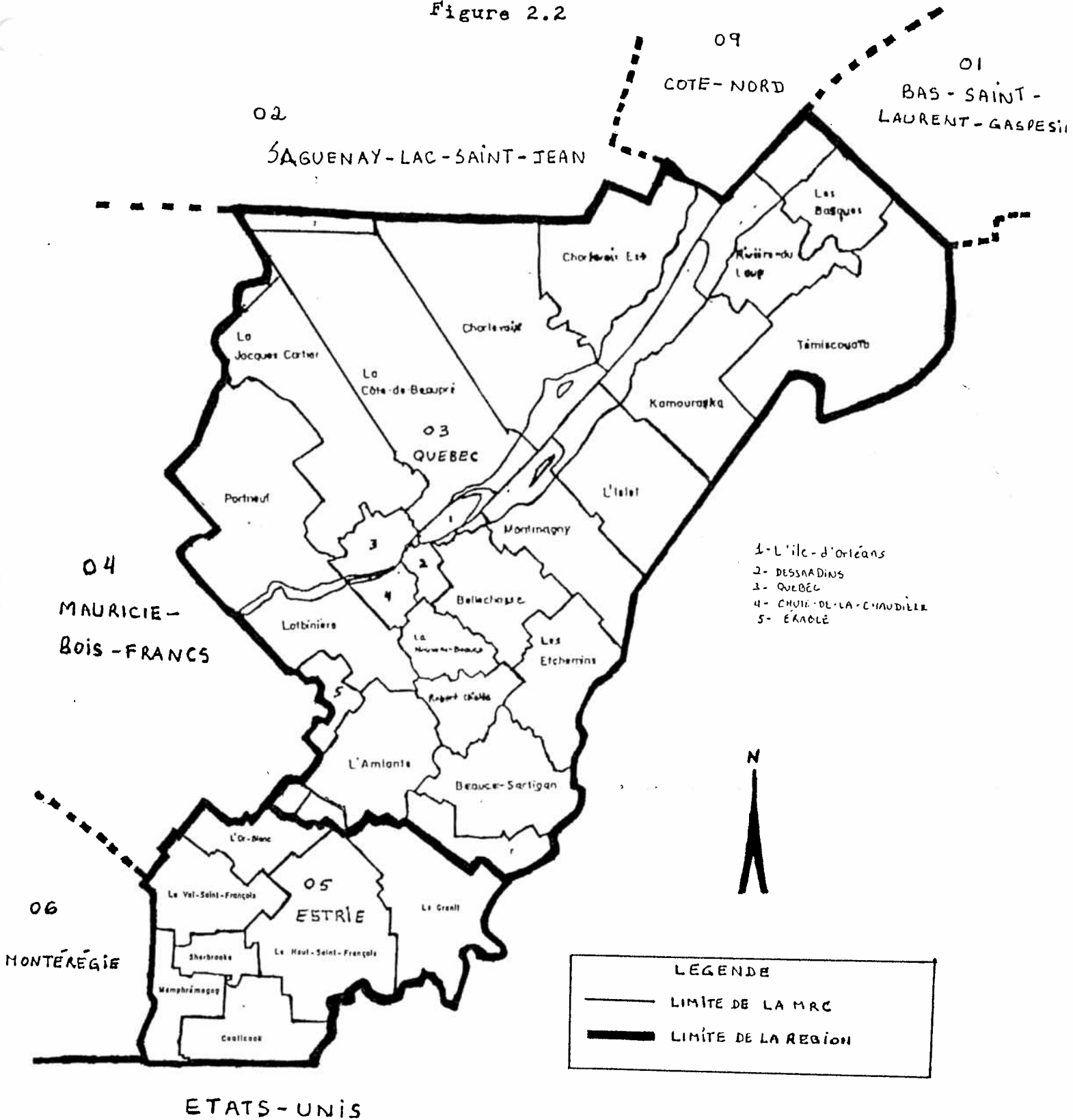
---

<sup>8</sup> Bureau de la Statistique du Québec (Profil économique).

<sup>9</sup> La liste des producteurs agricoles provient des deux MRC et est présentée à l'annexe I.

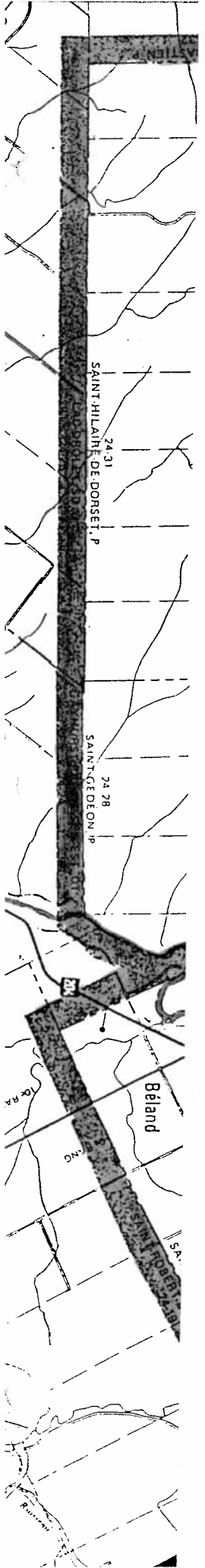


Figure 2.2









Lac-Mégantic, l'industrie touristique est assez fleurissante. On note également un certain nombre d'entreprises spécialisées dans la transformation des produits agricoles tel que des abattoirs et une fromagerie. Cette région comptait, en 1989, 103 entreprises.

L'activité agricole prédominante de la région est la production laitière. Le cheptel (22 511 unités animales) de ce secteur se compose avant tout de bovin (80%) et de porcs (14.3%). Vu le type d'activité agricole, on cultive surtout des fourrages et des céréales.

#### **2.4 QUALITE DES EAUX DE LA RIVIERE CHAUDIERE**

La rivière Chaudière fait partie des cours d'eau les plus influencés par les activités agricoles. Ces activités sont la source d'une pollution qui se manifeste par la présence de matières en suspension, de substances nutritives (azote et phosphore) et de pesticides.

#### 2.4.1 PROVENANCE DES DONNEES ANALYSEES

Les données physico-chimiques<sup>10</sup> analysées dans le cadre de la présente étude proviennent de la banque de données sur la qualité du milieu aquatique du Ministère de l'Environnement du Québec (Direction régionale de l'Estrie).

Ces données proviennent de trois stations de contrôle et elles ont été prélevées de janvier 1989 à décembre 1990. Les différentes stations de contrôle du Ministère ne sont pas réparties à des distances égales. Pour les 82 kilomètres étudiés, il existe trois stations de contrôle. La première station (station 1) est située à trois kilomètres en aval du lac Mégantic. La deuxième station (station 2) se situe en amont du croisement de la rivière Drolet et de la rivière Chaudière, au sud-ouest de la municipalité de Saint-Ludger. La distance séparant la station 2 de la station 1 est de 19.5 kilomètres. La troisième station (station 3) est localisée au barrage Sartignian en amont de la ville de Saint-Georges. Près de 59.5 kilomètres séparent la station 2 de la station 3.

La station 2 est dite principale car elle suit l'évolution temporelle de la qualité de l'eau. Enfin, les stations 1 et 3 sont dites secondaires. Elles servent à mieux

---

<sup>10</sup> Les données physico-chimiques représentent les caractéristiques chimiques et physiques de l'eau.



comprendre la variabilité spatiale de la qualité de l'eau. Ces stations ne sont visitées qu'à quatre reprises durant l'été soit les mois de juillet, août, septembre et octobre. Toutes les données retenues pour cette étude sont présentées au tableau III dont les colonnes correspondent aux descripteurs physico-chimiques et les lignes aux valeurs des échantillons selon les mois.

#### **2.4.2 LA QUALITE DE L'EAU**

Le Ministère de la Santé et du Bien-être Social du Canada publiait en 1968 le document "Normes et objectifs pour l'eau potable au Canada". Les normes avaient pour but de fixer des limites concernant les substances et les conditions qui influent sur la qualité de l'eau. La quatrième édition (1990) du Ministère s'intitule "Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada". Dans cette édition plusieurs recommandations concernant les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau ont été modifiées. Ces recommandations sont revues périodiquement afin de prendre en considération le progrès des connaissances techniques et les nouvelles découvertes scientifiques. Pour définir les normes concernant la qualité de l'eau, le Ministère prend en considération les effets et les dangers que peut avoir

certaines composés ou substances sur la santé humaine. Les lignes directrices de "Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada" définissent les concentrations maximales acceptables pour les différentes substances ayant une probabilité de se retrouver dans l'eau et d'avoir des effets défavorables sur la santé.

Nous utilisons les normes canadiennes pour l'eau potable comme point de repère dans le but de situer le niveau de qualité de l'eau de la rivière Chaudière. Nous utilisons des descripteurs pour lesquels il existe un critère à respecter. Puis, nous comparons les valeurs mesurées dans les échantillons à celles des critères. Les descripteurs considérés sont les substances nutritives (azote et phosphore), la turbidité et les coliformes fécaux.

En général, la qualité de l'eau d'une rivière varie de l'amont vers l'aval. Ce changement est accéléré par la présence de sources de pollution tels les rejets urbains, industriels ou agricoles.

Tableau III: DONNEES PHYSICO-CHEMIQUES

|          | Station 1         |           |                 |       | Station 2         |           |                 |       | Station 3         |          |                 |       |
|----------|-------------------|-----------|-----------------|-------|-------------------|-----------|-----------------|-------|-------------------|----------|-----------------|-------|
|          | Coliformes fécaux | Turbidité | Azote Phosphore |       | Coliformes fécaux | Turbidité | Azote Phosphore |       | Coliformes fécaux | urbidité | Azote phosphore |       |
| Jan. 89  |                   |           |                 |       | 6                 | 3         | 0.13            | 0.068 |                   |          |                 |       |
| Fév. 89  |                   |           |                 |       | 503.5             | 3.9       | 0.08            | 0.035 |                   |          |                 |       |
| Mars 89  |                   |           |                 |       | 257.5             | 5.3       | 0.03            | 0.01  |                   |          |                 |       |
| Avril 89 |                   |           |                 |       | 69                | 5.7       | 0.03            | 0.01  |                   |          |                 |       |
| Mai 89   |                   |           |                 |       | 49                | 5.7       | 0.03            | 0.01  |                   |          |                 |       |
| Juin 89  |                   |           |                 |       | 240               | 1.7       | 0.04            | 0.01  |                   |          |                 |       |
| Juil. 89 | 220               | 0.7       | 0.02            | 0.035 | 104.6             | 2.5       | 0.04            | 0.11  |                   | 3.4      | 0.09            | 0.01  |
| Août 89  | 44                | 1         | 0.02            | 0.15  | 299.8             | 4.4       | 0.02            | 0.056 |                   | 8.6      | 0.03            | 0.165 |
| Sept. 89 | 210               | 0.6       | 0.02            | 0.02  | 131               | 1.5       | 0.02            | 0.01  |                   | 4.1      | 0.02            | 0.01  |
| Oct. 89  | 68                | 0.8       | 0.02            | 0.01  | 127.2             | 0.97      | 0.02            | 0.011 |                   | 2.3      | 0.02            | 0.01  |
| Nov. 89  |                   |           |                 |       | 143               | 1.75      | 0.04            | 0.01  |                   |          |                 |       |
| Dec. 89  |                   |           |                 |       | 120               | 2.1       | 0.04            | 0.02  |                   |          |                 |       |
| Jan. 90  |                   |           |                 |       | 39.3              | 4.6       | 0.04            | 0.018 |                   |          |                 |       |
| Fév. 90  |                   |           |                 |       | 17.5              | 2.2       | 0.02            | 0.015 |                   |          |                 |       |
| Mars 90  |                   |           |                 |       | 59.3              | 5.6       | 0.02            | 0.01  |                   |          |                 |       |
| Avril 90 |                   |           |                 |       | 31.5              | 5         | 0.02            | 0.012 |                   |          |                 |       |
| Mai 90   |                   |           |                 |       | 6                 | 1.4       | 0.02            | 0.018 |                   |          |                 |       |
| Juin 90  |                   |           |                 |       | 1059              | 11.5      | 0.02            | 0.015 |                   |          |                 |       |
| Juil. 90 | 440               | 1.2       | 0.02            | 0.075 | 94.4              | 1.3       | 0.02            | 0.053 |                   | 2.8      | 0.04            | 0.08  |
| Août 90  | 6000              | 7.3       | 0.03            | 0.03  | 598               | 2.7       | 0.02            | 0.017 |                   | 11       | 0.14            | 0.015 |
| Sept. 90 | 190               | 0.7       | 0.02            | 0.015 | 446.8             | 6         | 0.03            | 0.014 |                   | 3.4      | 0.02            | 0.05  |
| Oct. 90  | 1300              | 1         | 0.02            | 0.01  | 307               | 5.1       | 0.02            | 0.014 |                   | 14       | 0.02            | 0.02  |
| Nov. 90  |                   |           |                 |       | 107               | 2.2       | 0.02            | 0.01  |                   |          |                 |       |
| Déc. 90  |                   |           |                 |       | 84                | 1.2       | 0.02            | 0.01  |                   |          |                 |       |

#### 2.4.2.1 Caractéristiques microbiologiques

La section portant sur les caractéristiques microbiologiques de l'eau définit des normes concernant les coliformes et la turbidité.

Le Ministère de la Santé fixe la concentration maximale acceptable pour les coliformes à zéro organisme décelable dans 100 millilitres d'eau. Les échantillons prélevés dans la rivière Chaudière révèlent la présence de coliformes fécaux. Les coliformes fécaux sont des bactéries qui proviennent des déjections animales ou humaines. Leur présence dans l'eau est surtout associée à des épandages inadéquats de fumiers ou de lisiers. Lorsque l'on regarde le graphique "Coliformes fécaux" (figure 2.4), nous constatons que, pour 1989 et 1990, la concentration de coliforme de la rivière est grandement supérieure à la norme prescrite par le Ministère de la Santé (zéro coliforme par 100 ml d'eau). Les concentrations très élevées apparaissent surtout durant la période estivale. Durant l'été, les débits d'eau de la rivière Chaudière sont très bas. La température de l'eau est par conséquent plus élevée, créant ainsi un milieu propice à la prolifération de ces micro-organismes d'où une concentration plus élevée.

La limpidité d'une eau peut se mesurer à l'aide de différents appareils selon des normes de comparaison: c'est la

mesure de la turbidité de l'eau. La turbidité est l'expression de la propriété optique de l'eau qui cause la déviation des rayons lumineux, à cause des particules solides en suspension, par opposition à leur transmission en ligne droite. L'unité de mesure de la turbidité est l'unité néphélométrique de turbidité (UNT). L'UNT mesure la concentration d'une émulsion d'après sa transparence.

Le niveau de turbidité influe sur la qualité de l'eau et sur la capacité de déceler les bactéries et les virus. Un haut niveau de turbidité indique une qualité de l'eau très médiocre. Dans "Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada" le niveau maximal acceptable pour la turbidité est fixé à une unité néphélométrique (1 UNT). Le graphique "Turbidité" (figure 2.5) présente les résultats mensuels des échantillons de la rivière Chaudière.

Le printemps et l'automne sont les périodes de l'année où le niveau de turbidité est généralement le plus élevé. Durant ces périodes, l'eau de la rivière Chaudière est très trouble. Il existe un lien entre la turbidité et le débit de la rivière. Au printemps la fonte des neiges entraîne beaucoup de particules dans la rivière, à l'automne c'est les pluies qui provoquent l'érosion du sol. Un nombre important de solides en suspension dans l'eau augmente le niveau de turbidité.

Figure 2.4

### COLIFORMES FECAUX

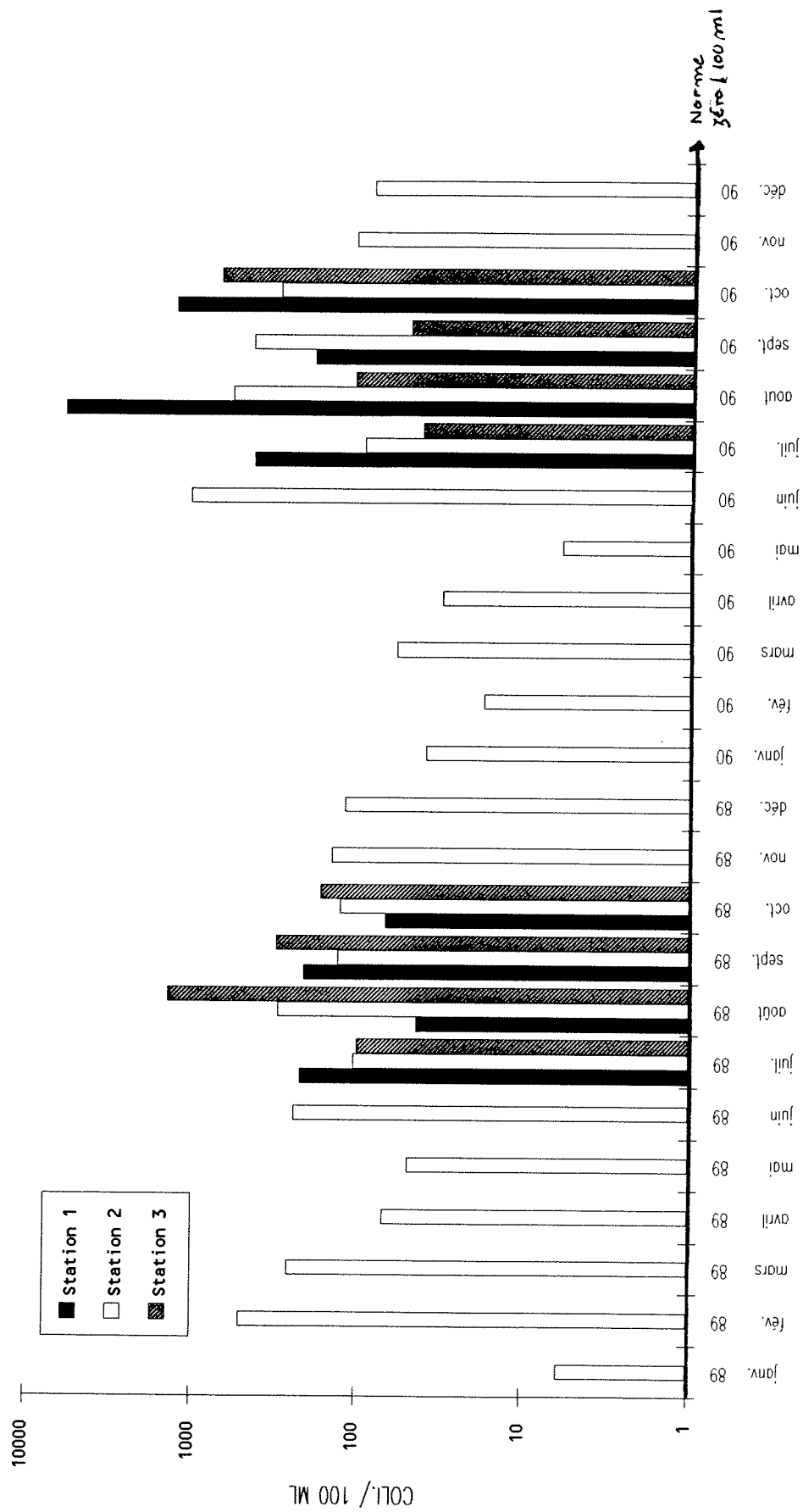
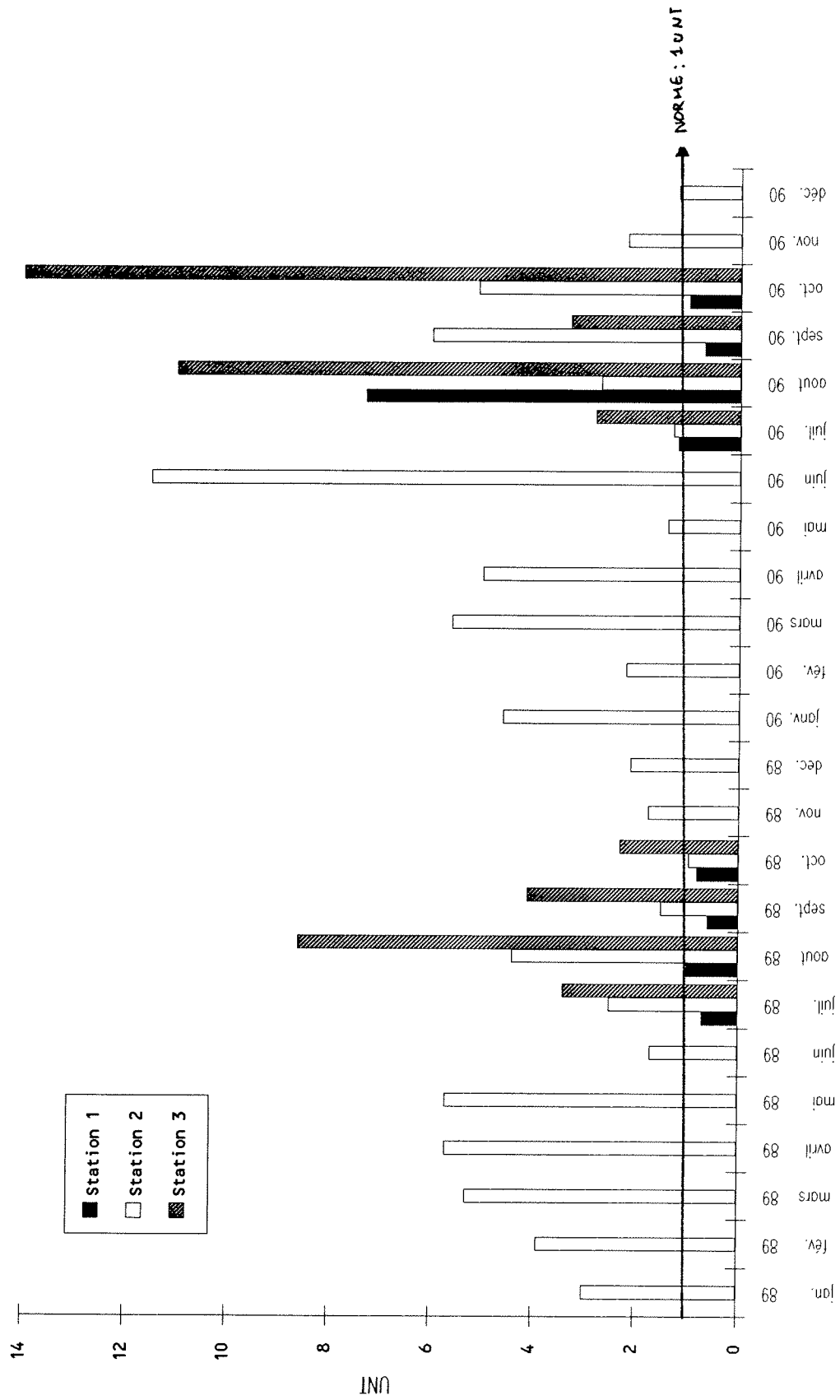


Figure 2.5

**TURBIDITE**



#### 2.4.2.2 Caractéristiques chimiques

Soixante-dix-huit paramètres chimiques sont présentés dans le document "Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada". Plusieurs de ces paramètres sont en cours de révision ou en proposition. Les données recueillies dans les différentes stations de contrôle de la rivière Chaudière révèlent la présence de dix-huit paramètres chimiques.

Le phosphore et l'azote sont des composantes chimiques des engrais industriels ainsi que des fumiers et lisiers animales. Les eaux de drainage des terres agricoles exercent une influence importante sur les cours d'eau puisqu'elles entraînent des substances fertilisantes. Ces éléments se retrouvent dans les échantillons d'eau de la rivière Chaudière. Leur présence dans l'eau indique une certaine pollution due aux activités agricoles. Le document du Ministère de la Santé ne spécifie pas de normes pour l'azote et le phosphore. Ces paramètres sont toutefois en proposition pour les inclure dans le document. Elles seront probablement présentes dans les prochaines parutions. Les graphiques "Phosphore" (figure 2.6) et "Azote ammoniacal" (figure 2.7) présentent les concentrations dans l'eau de ces substances. On ne peut dire si ces concentrations sont dangereuses pour la santé mais en trop grande quantité elles provoquent des



vomissements et des diarrhées.

Le phosphore présente un comportement semblable à celui de la turbidité, ce qui tend à démontrer que ses apports sont liés au ruissellement important lors du printemps et de l'automne. Les concentrations supérieures à 33 ug/l de phosphore risquent de favoriser la croissance des plantes aquatiques ce qui contribue à l'eutrophisation du milieu aquatique.

L'azote montre des mesures plus élevées en hiver, en période d'étiage où le débit est à son minimum. La crue printanière entraîne une baisse de la concentration et elle se maintient l'été dû au processus d'assimilation des plantes aquatiques.

Les concentrations de phosphore et d'azote ont tendance à être plus élevées lorsque l'on se déplace vers la station 3. Les autres paramètres chimiques ne seront pas étudiés puisqu'ils ne sont pas vraiment liés à la pollution agricole.

Suite à cette brève étude, nous constatons que la rivière Chaudière n'échappe pas à la pollution agricole.

Figure 2.6

### Phosphore

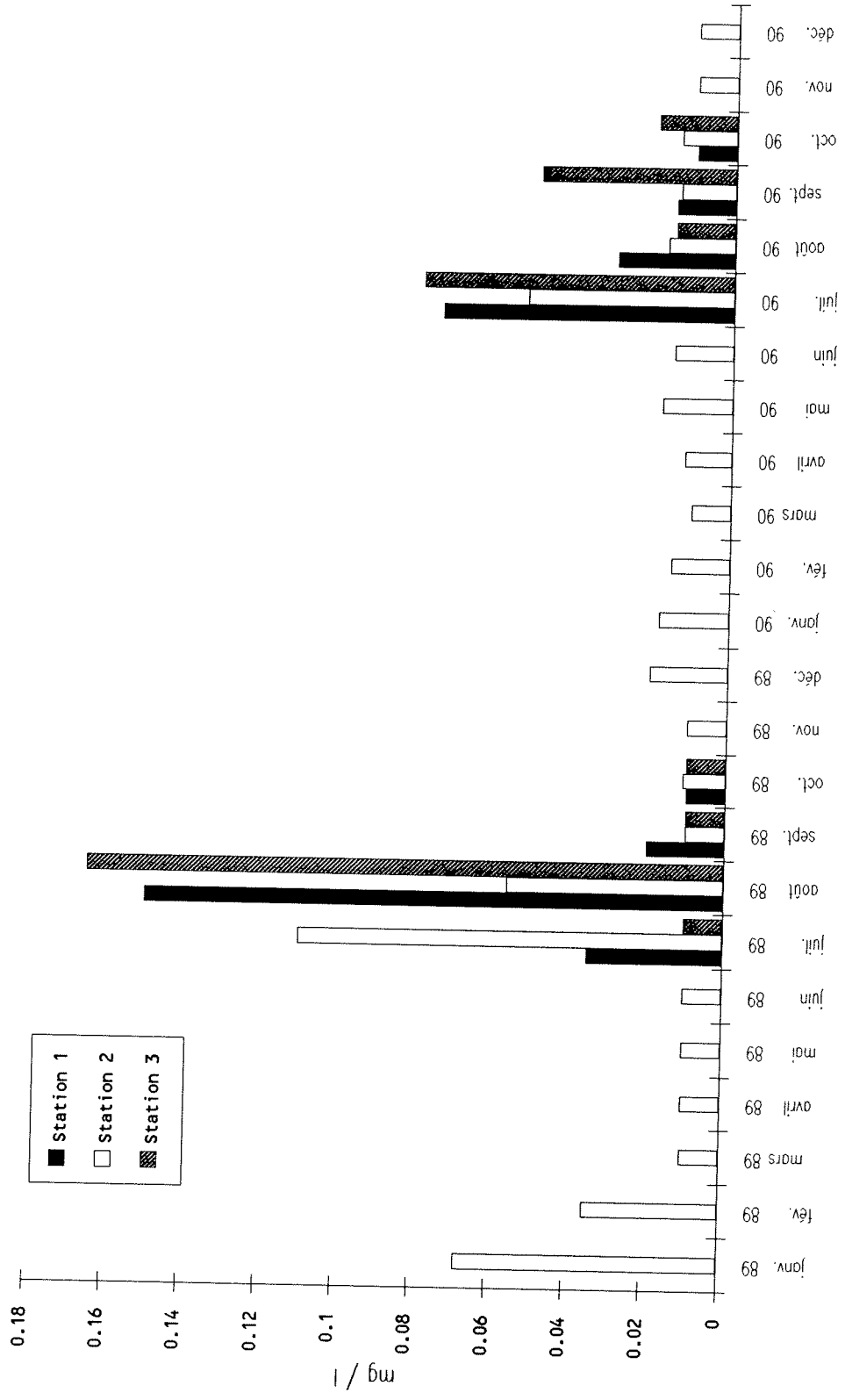
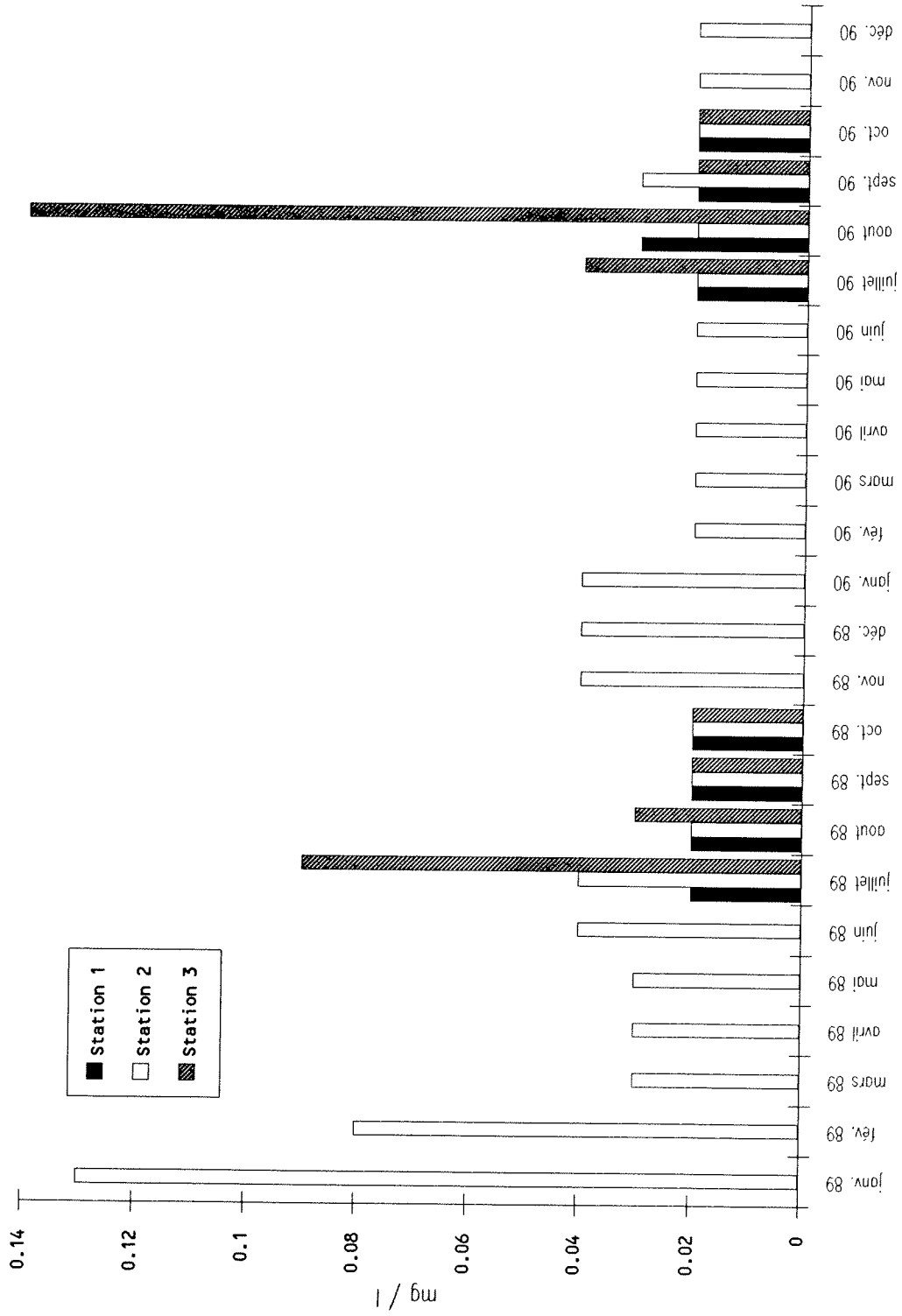


Figure 2.7

**Azote ammoniacal**



CHAPITRE III

APPLICATION DE LA THÉORIE DES PERMIS DE POLLUTION AU CAS DE  
LA RIVIERE CHAUDIERE

### **3.1 LES PERMIS DE POLLUTION UNE STRATEGIE POUR RESOUDRE LE PROBLEME DE L'EAU**

L'existence des systèmes de prix repose sur l'établissement de droits de propriété. Ce qui n'est pas possédé n'a pas de prix. Les prix sont les paiements pour les droits de propriété ou pour les droits d'utilisation d'un avoir.

Contrairement à la terre, l'eau et l'air n'ont pas de prix puisqu'il n'existe pas de titre de possession pour l'utilisation de ceux-ci. La sur-utilisation de l'eau et de l'air ainsi que la dégradation continuelle de leur qualité est une conséquence directe au fait que le prix pour leur utilisation est zéro. Il est clair que si un avoir a un prix de zéro et qu'il est épuisable, il va être continuellement épuisé sur la base que "everybody's property is nobody's property".

La complexité économique et administrative du problème de l'eau est fréquemment justifiée comme étant inhérente à la nature fluide de la ressource. J.H. Dales (1968) s'est penché sur le problème de la pollution de l'eau et il n'a pas la même vision du problème.

"We can now re-formulate the water problem and blame its complexity not on nature and the laws of fluids, but on man and his failure to devise property rights to the use of natural water systems. Economists tend to assume implicitly that it is impossible to own water and therefore seek to devise artificial price systems that are identical to what price "would be" if ownership were possible. The alternative strategie is to devise an ownership system and then let a price system develop."<sup>11</sup>

Les permis de pollution sont une stratégie pour développer un système de propriété. Ils sont définis, dans la littérature, comme des droits pour l'utilisation d'un avoir. Leur prix est déterminé par le jeu de l'offre et de la demande. Appliqué à l'eau, les droits de pollution deviennent un système de "propriété-rente" pour celle-ci. Nous allons appliquer la théorie des permis ambiants et des permis d'émissions au cas de la pollution de l'eau de la rivière Chaudière.

### **3.2 LES DONNEES**

Il existe très peu de données disponibles sur la pollution agricole, puisque ce n'est que depuis peu de temps que le Ministère de l'Environnement étudie ce phénomène.

---

<sup>11</sup>J.H. Dales, 1968, p.792.

Le Ministère de l'Environnement révèle toutefois que pour la région Chaudière-Appalaches, 606 entreprises sur les 4344 recensées produisent 2 millions de m<sup>3</sup> d'excédent de lisiers et de fumiers. Cet excédent de fumiers et de lisiers correspond à 8 millions de kilogrammes d'azote. Pour la région Chaudière-Appalaches, les terres agricoles recouvrent une superficie de 180 000 hectares.

À partir de ces données, nous posons comme hypothèse que la quantité d'azote émise est en fonction de la superficie de la ferme agricole. Nous choisissons dix fermes de superficie différentes et sur la base de notre hypothèse, nous extrapolons la quantité d'émissions d'azote pour les différentes fermes. Le tableau IV présente les extrapolations pour les dix fermes agricoles.

Tableau IV: Quantité d'azote émise par ferme.

| Pollueur | Superficie(hec <sup>12</sup> ) | Kg d'azote/jour |
|----------|--------------------------------|-----------------|
| 1        | 50                             | 15 929          |
| 2        | 40                             | 12 743          |
| 3        | 122                            | 38 868          |
| 4        | 93                             | 29 629          |
| 5        | 71                             | 22 620          |
| 6        | 37                             | 11 788          |
| 7        | 9                              | 2 867           |
| 8        | 57                             | 18 160          |
| 9        | 77                             | 24 532          |
| 10       | 224                            | 71 365          |

<sup>12</sup> Hec=hectare

Les données pour les coûts de contrôle de la pollution agricole ne proviennent pas d'extrapolation puisqu'il n'existe aucune donnée statistique sur ce point. Les données de coût présentées au tableau V sont fictives mais nécessaires pour la simulation des deux modèles de contrôle de la pollution. Ces données suivent quand même une certaine logique et se basent sur des hypothèses faites à la suite de la lecture d'un rapport d'évaluation de la situation agricole présenté en 1991 par le Ministère de l'Environnement<sup>13</sup>. Ce rapport contient des suggestions pour diminuer la pollution d'ordre agricole. Les propositions les plus importantes du rapport sont les suivantes:

- L'installation d'un système d'entreposage adéquat pour les déjections animales.
- L'épandage des fumiers à l'aide d'instruments spécialisés.
- L'évacuation des surplus de fumiers et de lisiers.

Sur la base de ces informations, nous posons l'hypothèse que les fermes de grande superficie (pollueurs 3,4,5,9,10) possèdent déjà un système d'entreposage pour leur production de fumiers et de lisiers. Ces fermes, comparativement aux autres pollueurs, auront des coûts de contrôle un peu plus faibles puisqu'elles n'ont pas à se munir du système

---

<sup>13</sup> Ministère de l'Environnement, Evaluation du programme d'aide à l'amélioration de la gestion des fumiers, 1991.



d'entreposage. Elles auront toutefois à supporter, tout comme les autres pollueurs, les coûts reliés à un épandage adéquat et à l'évacuation des surplus de déjections animales.

Tableau V: Les coûts de contrôle

| Source | Coût (\$/Kg) | % réduction | Coût (\$/Kg) | % réduction |
|--------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 1      | 21.30        | 75          | 114.35       | 99          |
| 2      | 2.12         | 75          | 73.25        | 99          |
| 3      | 1.00         | 80          | 3.60         | 99          |
| 4      | 0.93         | 52          | 17.40        | 99          |
| 5      | 0.68         | 75          | 11.51        | 99          |
| 6      | 1.18         | 75          | 6.08         | 99          |
| 7      | 0.25         | 75          | 1.28         | 99          |
| 8      | 37.50        | 75          | 132.12       | 99          |
| 9      | 0.81         | 75          | 2.60         | 99          |
| 10     | 1.00         | 75          | 4.60         | 99          |

S'il était possible de dépolluer totalement l'environnement, les coûts engendrés par cette action seraient très élevés et socialement inefficaces. La réduction à 99% représente la dépollution maximale pouvant être effectuée compte tenu de la pollution résiduelle.

La simulation de ce rapport se limite à dix sources polluantes et à deux points de contrôle. Malgré le petit nombre de pollueurs, la simulation permet de tirer des conclusions intéressantes et de comparer les deux modes de

contrôle présentés au chapitre I.

### **3.3 REPRESENTATION DE L'APPLICATION DE LA THEORIE**

Dans le cas des problèmes environnementaux, il est rare que l'on possède une information parfaite sur les bénéfices et les coûts du contrôle de la pollution. Habituellement, les coûts de contrôle se calculent en valeur monétaire de façon assez rigoureuse. Les bénéfices du contrôle de la pollution sont, quant à eux, très difficile à calculer et surtout très arbitraires. Si l'on possédait une information parfaite sur les coûts et les bénéfices, les autorités gouvernementales pourraient déterminer le niveau optimal de qualité environnementale ainsi que la méthode de contrôle la plus apte à tendre vers le niveau de qualité fixé. Puisque l'information disponible est imparfaite, il est difficile de choisir entre les différentes méthodes de contrôle de la pollution.

Face à notre incapacité d'obtenir une information parfaite et à la contrainte qu'il faut toutefois choisir un niveau de contrôle "optimal" et établir des politiques environnementales afin que les pollueurs égalisent leurs coûts marginaux de dépollution à la norme de contrôle, la minimisation des coûts est un critère utilisé pour orienter le choix des décideurs. La minimisation des coûts pour un niveau

donné de réduction des émissions polluantes, s'exprime comme suit:

$$\text{Minimiser } \text{Coût}(X)$$

$$X$$

$$\text{s.c que } G(X) \geq b$$

où  $G(X)$  est une fonction donnant la quantité de réduction des émissions et  $b$  est la réduction totale d'émissions que l'on désire avoir dans une région (la norme environnementale).

L'utilisation de ce critère permet de comparer les différents modèles de contrôle de la pollution et ainsi faire un choix plus éclairé entre eux. J'utiliserai ce critère pour comparer la méthode des permis d'émissions et la méthode des permis ambiants.

### **3.3.1 PROGRAMME QUADRATIQUE POUR LES MODELES DES PERMIS D'EMISSION ET DES PERMIS AMBIANTS.**

La minimisation non-linéaire implique l'utilisation d'une fonction-objectif non-linéaire. La fonction-objectif utilisée pour cette simulation est une quadratique.

J'accomplis la minimisation quadratique en utilisant le

programme Matlab 386 combiné avec le module d'optimisation matricielle de Pc Matlab<sup>14</sup>. Ce programme résout les problèmes de minimisation quadratique du type suivant:

$$\begin{aligned} & \underset{X}{\text{Minimiser}} \quad \left\{ \frac{1}{2} X^T * H * X + C^T * X \right\} \\ & \text{s.c.} \quad -A * X \geq -b \end{aligned}$$

où la matrice hessienne H et le vecteur C contiennent l'ensemble des coefficients de la fonction-objectif. La matrice A et le vecteur b contiennent les coefficients des contraintes linéaires. Cette formulation fait référence à un vecteur X qui minimise l'équation  $X^T * H * X + C * X$  sujet à la contrainte  $A * X \leq b$ <sup>15</sup>. Le vecteur X fait référence au nombre de particules polluantes éliminées par jour.

Il est rare que l'on retrouve seulement un pollueur pour une région donnée. Pour obtenir la fonction-objectif d'une région comprenant "j" pollueurs, on doit sommer les fonctions de coûts des "j" sources polluantes. La figure 3.1 illustre le processus pour obtenir la fonction de coûts de la région dans le cas de deux sources polluantes.

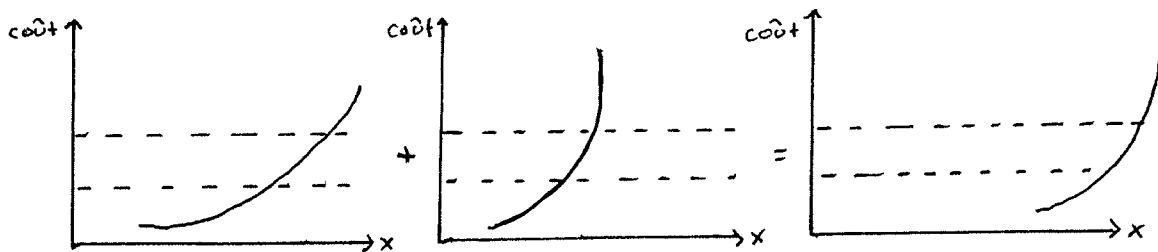
---

<sup>14</sup> J'utilise la minimisation quadratique matricielle mais on aurait pu résoudre le problème sans utiliser des matrices.

<sup>15</sup> Pour résoudre la minimisation quadratique, j'utilise la fonction d'appel "qp". On écrit la commande de minimisation sous la forme  $X = qp(H, C, A, b)$ .

Nous établissons la courbe de coûts régionaux en additionnant horizontalement tous les points de la fonction de coûts pour chacun des coûts possibles. Pour la présente simulation, cette sommation a été effectuée pour les dix sources polluantes afin de minimiser les coûts régionaux de contrôle.

Figure 3.1: Relation entre les coûts régionaux et les coûts individuels.



Les marchés de permis peuvent être simulés en résolvant le problème primal et le problème dual des programmes de minimisation des coûts décrivant les deux systèmes de permis de pollution. Dans le problème primal les coûts de contrôle sont minimisés sujet à un ensemble de contraintes linéaires. La solution du problème primal donne les coûts de contrôle

régionaux qui prévaudront selon les différents systèmes. Les variables duales, associées aux contraintes linéaires des systèmes de permis, représentent les prix des permis. Chaque source achètera un nombre suffisant de permis afin de légitimer ses émissions.

#### **3.3.1.1 Modèle pour les permis d'émission**

La théorie des permis d'émissions propose un modèle de contrôle de la pollution où le territoire pollué est délimité en zones, renfermant un certain nombre de pollueurs et de points de contrôle, à l'intérieur desquelles les permis peuvent s'échanger. Chaque zone d'échange est un marché en soi avec ses propres permis non-différenciés spatialement. L'échange inter-zone est toutefois interdit. Les sources polluantes se procurent des permis de pollution afin de légitimer les émissions qu'elles émettent dans la zone.

Le but de ce modèle est de diminuer la quantité totale d'émissions de chacune des zones. Pour fixer la norme environnementale, les autorités de contrôle se basent sur le point de contrôle ayant la qualité environnementale la plus mauvaise.

L'application du modèle des permis d'émissions à la partie de la rivière Chaudière étudiée dans la section précédente est présentée à la carte 3.1. Dans le cas de la pollution de l'eau, le zonage du territoire doit être effectué avec une attention toute particulière. Lors de cette opération, on doit prendre en considération que pour un point de contrôle donné, seuls les pollueurs en amont de celui-ci l'affectent car l'eau coule en direction du fleuve entraînant avec elle la pollution.

À la lumière de ces informations, voici la fonction-objectif (représente la fonction de coûts régionaux de la zone) ainsi que les contraintes utilisées pour réaliser le modèle de minimisation quadratique pour le cas des permis d'émissions<sup>16</sup>:

$$\begin{aligned} \underset{X}{\text{Minimiser}} \quad Z &= \sum_{j=1}^{10} C_j X_j + \sum_{j=1}^{10} D_j X_j^2 \\ \text{s.c.} \quad \sum_{j=1}^{10} a^* X_j &\geq b^* \\ X_j &\geq 0 \end{aligned}$$

---

<sup>16</sup> Inspiré par le texte de Scott Atkinson et T.H. Tietenberg (1982).





Les variables sont définies comme suit:

$C_j, D_j$  = Coefficient de coût de contrôle (\$/Kg).

$X_j$  = Quantité de pollution enlevée par jour (Kg/jour).

$a^*$  = Coefficient de transfert représentant l'effet des émissions de chaque source sur la qualité environnementale de chaque point de contrôle.  
( $a^* = 0.00000075$  mg/l/Kg/jour)<sup>17</sup>

$b^*$  = Réduction nécessaire, au point de contrôle ayant la qualité environnementale la plus mauvaise, afin que la norme environnementale soit respectée dans la zone (mg/L).

On pose comme hypothèse que toutes les sources ont le même coefficient de transfert ( $a^*$ ). Il représente l'effet des émissions, dans leur ensemble, sur la qualité environnementale de la zone. La norme, pour cette simulation, est définie en terme de réduction de la concentration des émissions au point de contrôle ayant la qualité environnementale la plus mauvaise. Ce problème requiert que les sources échangent les permis pour minimiser les coûts totaux de contrôle sujet à la contrainte du modèle.

---

<sup>17</sup> Cette donnée est fictive mais l'ordre de grandeur est réaliste (conversation privée avec un agent du Ministère de l'Environnement).

### 3.3.1.2 Modèle pour les permis ambiants

La théorie des permis ambiants propose un modèle de contrôle de la pollution équivalent à celui des permis d'émissions quant au zonage du territoire pollué. Par contre, la zone d'échange n'est plus un marché unique mais compte autant de marché qu'il existe de points de contrôle dans la zone. Les permis de pollution sont différenciés spatialement et propre à chaque point de contrôle. Dans ce modèle, on prend en considération les coefficients de transfert individuels<sup>18</sup>. Les sources polluantes doivent se munir d'un portefeuille de permis de pollution afin de légitimer leurs émissions aux différents points de contrôle. L'échange de permis est autorisé à l'intérieur de la zone mais il ne peut y avoir d'échange inter-zone. L'objectif de ce modèle est d'obtenir une qualité environnementale spécifique à chacun des "n" points de contrôle.

L'application de ce modèle pour la rivière Chaudière est présentée à la carte 3.2. Les zones de marché pour chacun des points de contrôle sont définies en prenant en considération les sources polluantes pouvant les affecter par leurs émissions.

---

<sup>18</sup> La matrice des coefficients de transfert est présentée à l'annexe II. Les valeurs zéro indiquent que la source "j" n'affecte pas le point de contrôle "i".



CARTE 3.2

APPLICATION DU MODÈLE DE PERMIS AMBIANTS

ZONE D'ÉCHANGE

LEGENDE  
 • POINTEUR  
 - - - POINT DE CONTRÔLE  
 --- MARCHÉ DES PERMIS

Le modèle des permis ambiants est plus complexe que celui des permis d'émissions puisque chaque point de contrôle devient une contrainte à respecter pour la source polluante. La minimisation quadratique s'exprime de la façon suivante<sup>19</sup>:

$$\begin{aligned} \underset{X}{\text{Minimiser}} \quad z &= \sum_{j=1}^{10} C_j X_j + \sum_{j=1}^{10} D_j X_j^2 \\ \text{s.c.} \quad \sum_{j=1}^{10} a_{1j} X_j &\geq b_1 \\ \sum_{j=1}^{10} a_{2j} X_j &\geq b_2 \\ X_j &\geq 0 \end{aligned}$$

Les variables sont définies comme suit:

$C_j, D_j$  = Coefficient de coût de contrôle (\$/Kg).

$X_j$  = Quantité de pollution enlevée par jour (Kg/jour).

$a_{1j}$  = Coefficient de transfert représentant l'effet de la  $j^{\text{ième}}$  source sur la qualité environnementale du 1<sup>er</sup> point de contrôle.

$a_{2j}$  = Coefficient de transfert représentant l'effet de la  $j^{\text{ième}}$  source sur la qualité environnementale du 2<sup>ième</sup> point de contrôle.

$b_1$  = Réduction nécessaire dans la concentration de polluant au point de contrôle 1 pour respecter la norme.

$b_2$  = Réduction nécessaire dans la concentration de polluant au point de contrôle 2 pour rencontrer la norme.

La première étape pour réaliser les programmes de

---

<sup>19</sup> Inspiré par le texte de Scott Atkinson et T.H. Tietenberg (1982).

minimisation est de mettre sous forme matricielle les  $C_j$  et les  $D_j$ . Les matrices des données sont présentées à l'annexe II. L'étape suivante est d'écrire sous forme matricielle la fonction- objectif ( $Z$ ) et les contraintes de chaque modèle afin d'obtenir les vecteurs et matrices  $H$ ,  $C$ ,  $A$  et  $b$  pour chaque modèle.

### **3.3.2 DISCUSSION DES RESULTATS EMPIRIQUES**

Cette section porte sur la discussion des différents résultats obtenus lors de la minimisation quadratique des deux modèles de contrôle. Nous analyserons les résultats obtenus sur les coûts de contrôle, la quantité d'émissions d'azote éliminée dans la zone et sur les prix des permis.

Certains paramètres des simulations 1, celles qui nous servent de référence, ont été modifiés dans le but d'en analyser l'impact. Pour les simulations 2, nous posons comme hypothèse qu'une amélioration technologique pour deux des dix sources polluantes (source 1 et 2) amène ces dernières à moins affecter les points de contrôle.

De plus, pour le modèle des permis ambiants, nous avons effectué une troisième simulation. Le paramètre que nous avons

modifié, pour celle-ci, est la norme environnementale. La norme au point de contrôle 1 est fixe à 0.02 mg/l tandis que la norme au point de contrôle 2 varie comparativement à la simulation 1 où c'est la norme au point de contrôle 2 qui est fixe à 0.02 mg/l. Il n'y a pas d'amélioration technologique pour cette simulation.

Les différents programmes d'optimisation quadratique des permis d'émission et des permis ambiants sont présentés aux annexes III et IV.

### **3.3.2.1 La réduction des émissions d'azote**

Pour mieux comprendre les résultats présentés dans les prochains tableaux, nous devons garder en mémoire qu'une amélioration technologique amène des coefficients de transfert plus petit pour les sources 1 et 2.

Le tableau VI compile les différents résultats obtenus quant à la réduction régionale d'azote. Comparativement aux simulations de référence, les simulations 2 et 3 des différents modèles exhibent une réduction régionale d'azote légèrement supérieure. Dans le cas des permis d'émission, la différence entre les deux simulations est d'environ 0.28%.

Tableau VI: Elimination régionale d'azote par jour selon les deux modèles (kg/jour)

| NORME | PERMIS D'EMISSIONS |          | PERMIS AMBIENTS |          |          |
|-------|--------------------|----------|-----------------|----------|----------|
|       | Simul. 1           | Simul. 2 | Simul. 1        | Simul. 2 | Simul. 3 |
|       | Kg/jour            | Kg/jour  | Kg/jour         | Kg/jour  | Kg/jour  |
| 0.018 | 26670              | 26742    | 6714            | 6704     | 6332     |
| 0.02  | 29333              | 29416    | 6866            | 6855     | 6867     |
| 0.022 | 32000              | 32090    | 7018            | 7006     | 7401     |
| 0.024 | 34667              | 34764    | 7171            | 7157     | 7935     |
| 0.026 | 37333              | 37439    | 7323            | 7308     | 8470     |
| 0.028 | 40000              | 40113    | 7586            | 7588     | 9004     |
| 0.03  | 42667              | 42787    | 8128            | 8130     | 9539     |
| 0.032 | 45333              | 45461    | 8670            | 8672     | 10073    |
| 0.034 | 48000              | 48135    | 9212            | 9214     | 10607    |
| 0.036 | 50667              | 50810    | 9754            | 9756     | 11142    |

Par contre, la différence entre la simulation 1 et la simulation 2 des permis ambiants est de 0.02% tandis que la différence entre la simulation 3 et la simulation de référence est, en moyenne, de 0.9%.

Le tableau VII présente des résultats permettant une meilleure compréhension du tableau VI. Il compile les données concernant l'élimination d'azote réalisée par chacune des dix sources polluantes. La quantité d'azote éliminée n'est pas distribuée de façon proportionnelle entre les sources polluantes. Le volume d'azote éliminé dépend de l'efficacité de chaque source.

La simulation 2, du modèle des permis d'émission, révèle que les sources 1 et 2 ont diminué de moitié leur réduction des émissions. Pour rencontrer la norme environnementale, les autres sources doivent réduire un peu plus leurs émissions polluantes. On observe que l'élimination supplémentaire des émissions par les autres sources excède la diminution des sources 1 et 2 ce qui implique une réduction régionale légèrement plus élevée.

Les simulations 1 et 2 du modèle des permis ambiant présentent un intérêt particulier puisque nous remarquons que les sources affectant seulement le point de contrôle 2 voient leur réduction devenir nulle lorsque la norme au point de



Tableau VII: Elimination d'azote par chaque sources polluante selon le système (kg/jour).

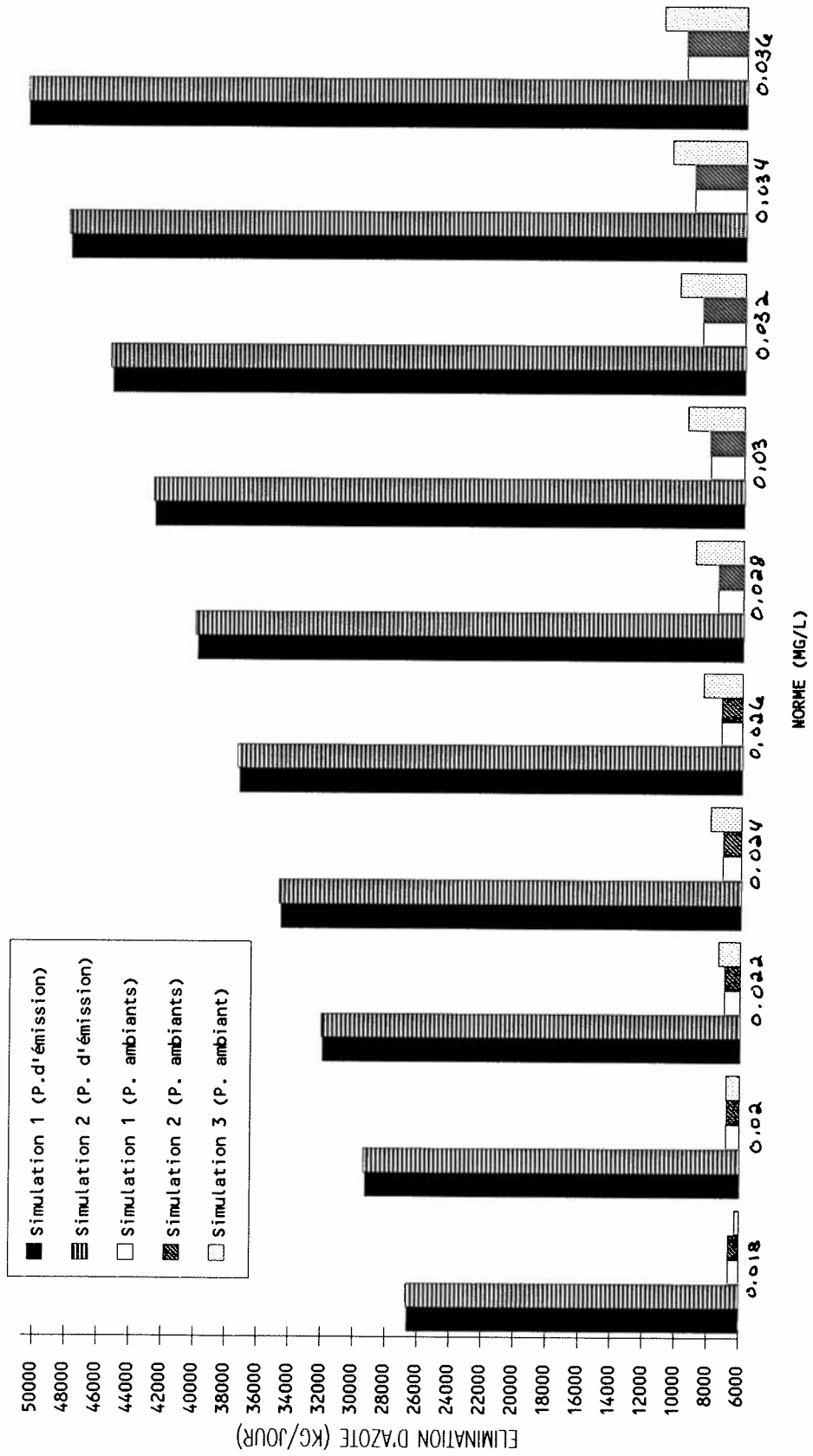
| SIMULATION 1<br>SOURCE | Permis d'émission |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Permis ambiants |      |       |       |       |       |      |       |       |       |
|------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|                        | NORME             |       |       |       |       |       |       |       |       |       | NORME           |      |       |       |       |       |      |       |       |       |
|                        | 0.018             | 0.02  | 0.022 | 0.024 | 0.026 | 0.028 | 0.03  | 0.032 | 0.034 | 0.036 | 0.018           | 0.02 | 0.022 | 0.024 | 0.026 | 0.028 | 0.03 | 0.032 | 0.034 | 0.036 |
| 1                      | 116               | 128   | 140   | 151   | 163   | 175   | 186   | 198   | 210   | 221   | 82              | 91   | 100   | 109   | 118   | 128   | 137  | 146   | 155   | 165   |
| 2                      | 182               | 200   | 218   | 237   | 255   | 275   | 291   | 309   | 328   | 346   | 84              | 94   | 104   | 114   | 124   | 133   | 143  | 152   | 162   | 172   |
| 3                      | 3704              | 4074  | 4445  | 4815  | 5186  | 5556  | 5926  | 6297  | 6667  | 7038  | 2600            | 2896 | 3191  | 3486  | 3782  | 4076  | 4366 | 4658  | 4949  | 5240  |
| 4                      | 766               | 843   | 920   | 996   | 1073  | 1150  | 1226  | 1303  | 1379  | 1456  | 724             | 806  | 884   | 964   | 1044  | 1124  | 1204 | 1285  | 1365  | 1445  |
| 5                      | 1159              | 1274  | 1390  | 1506  | 1622  | 1738  | 1854  | 1969  | 2085  | 2201  | 1377            | 1526 | 1676  | 1825  | 1974  | 2124  | 2276 | 2428  | 2580  | 2732  |
| 6                      | 2193              | 2412  | 2632  | 2851  | 3070  | 3290  | 3509  | 3728  | 3948  | 4167  | 306             | 241  | 176   | 111   | 47    | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 7                      | 10419             | 11460 | 12502 | 13543 | 14585 | 15627 | 16669 | 17710 | 18752 | 19794 | 1164            | 917  | 670   | 424   | 177   | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 8                      | 101               | 111   | 121   | 131   | 141   | 151   | 161   | 171   | 181   | 191   | 8               | 6    | 4     | 2     | 1     | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 9                      | 5129              | 5642  | 6154  | 6667  | 7180  | 7693  | 8206  | 8719  | 9232  | 9744  | 286             | 225  | 164   | 104   | 43    | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 10                     | 2899              | 3189  | 3479  | 3768  | 4058  | 4348  | 4638  | 4928  | 5218  | 5508  | 81              | 64   | 47    | 29    | 12    | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| SIMULATION 2<br>SOURCE |                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |                 |      |       |       |       |       |      |       |       |       |
| 1                      | 59                | 64    | 70    | 76    | 82    | 88    | 94    | 100   | 106   | 112   | 41              | 46   | 50    | 55    | 60    | 65    | 69   | 74    | 79    | 83    |
| 2                      | 92                | 101   | 110   | 119   | 128   | 138   | 147   | 156   | 165   | 174   | 42              | 47   | 52    | 57    | 62    | 67    | 72   | 77    | 82    | 87    |
| 3                      | 3735              | 4109  | 4482  | 4856  | 5230  | 5603  | 5977  | 6350  | 6724  | 7097  | 2646            | 2947 | 3247  | 3548  | 3899  | 4148  | 4444 | 4740  | 5037  | 5333  |
| 4                      | 775               | 850   | 927   | 1005  | 1082  | 1159  | 1237  | 1314  | 1391  | 1468  | 737             | 818  | 900   | 981   | 1062  | 1144  | 1226 | 1307  | 1389  | 1471  |
| 5                      | 1168              | 1285  | 1402  | 1519  | 1636  | 1753  | 1869  | 1986  | 2103  | 2220  | 1401            | 1553 | 1705  | 1857  | 2009  | 2162  | 2316 | 2471  | 2625  | 2780  |
| 6                      | 2212              | 2433  | 2654  | 2875  | 3096  | 3318  | 3539  | 3760  | 3981  | 4202  | 304             | 239  | 174   | 109   | 43    | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 7                      | 10506             | 11557 | 12607 | 13658 | 14709 | 15759 | 16810 | 17860 | 18911 | 19962 | 1157            | 910  | 662   | 414   | 167   | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 8                      | 102               | 112   | 122   | 132   | 142   | 152   | 163   | 173   | 183   | 193   | 8               | 6    | 4     | 2     | 0.9   | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 9                      | 5172              | 5689  | 6207  | 6724  | 7241  | 7758  | 8275  | 8793  | 9310  | 9827  | 284             | 223  | 162   | 101   | 40    | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| 10                     | 2923              | 3216  | 3508  | 3800  | 4093  | 4385  | 4677  | 4970  | 5262  | 5554  | 80              | 63   | 45    | 28    | 11    | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     |
| SIMULATION 3<br>SOURCE |                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |                 |      |       |       |       |       |      |       |       |       |
| 1                      | 91                | 91    | 91    | 91    | 91    | 91    | 91    | 91    | 91    | 91    | 91              | 91   | 91    | 91    | 91    | 91    | 91   | 91    | 91    | 91    |
| 2                      | 94                | 94    | 94    | 94    | 94    | 94    | 94    | 94    | 94    | 94    | 94              | 94   | 94    | 94    | 94    | 94    | 94   | 94    | 94    | 94    |
| 3                      | 2901              | 2896  | 2890  | 2884  | 2878  | 2872  | 2867  | 2862  | 2856  | 2851  | 2901            | 2896 | 2890  | 2884  | 2878  | 2872  | 2867 | 2862  | 2856  | 2851  |
| 4                      | 804               | 804   | 805   | 805   | 806   | 806   | 807   | 807   | 808   | 808   | 804             | 804  | 805   | 805   | 806   | 806   | 807  | 807   | 808   | 808   |
| 5                      | 1523              | 1526  | 1530  | 1533  | 1536  | 1540  | 1543  | 1546  | 1550  | 1553  | 1523            | 1526 | 1530  | 1533  | 1536  | 1540  | 1543 | 1546  | 1550  | 1553  |
| 6                      | 152               | 241   | 330   | 419   | 508   | 597   | 686   | 775   | 865   | 954   | 152             | 241  | 330   | 419   | 508   | 597   | 686  | 775   | 865   | 954   |
| 7                      | 579               | 917   | 1256  | 1594  | 1933  | 2272  | 2610  | 2949  | 3287  | 3626  | 579             | 917  | 1256  | 1594  | 1933  | 2272  | 2610 | 2949  | 3287  | 3626  |
| 8                      | 3                 | 6     | 8     | 11    | 13    | 16    | 18    | 21    | 23    | 26    | 3               | 6    | 8     | 11    | 13    | 16    | 18   | 21    | 23    | 26    |
| 9                      | 142               | 225   | 309   | 392   | 475   | 559   | 642   | 725   | 809   | 892   | 142             | 225  | 309   | 392   | 475   | 559   | 642  | 725   | 809   | 892   |
| 10                     | 40                | 63    | 87    | 110   | 134   | 157   | 181   | 205   | 228   | 252   | 40              | 63   | 87    | 110   | 134   | 157   | 181  | 205   | 228   | 252   |

contrôle 1 atteint 0.028 mg/l. La raison expliquant ce phénomène est que la norme au point de contrôle 1 est tellement restrictive que lorsqu'elle est respectée, la norme au point de contrôle 2 l'est aussi peu importe la quantité d'émission des sources 6 à 10. Nous remarquons également que seul les sources 3, 4, et 5 augmentent leur réduction d'azote. La réduction additionnelle de ces sources est d'une telle importance qu'elle fait augmenter la réduction régionale d'azote.

Lorsque la norme au point de contrôle 2 varie tandis que celle du point de contrôle 1 reste constante, on ne retrouve aucune valeur nulle dans le tableau. Ceci s'explique par le fait que la norme au point de contrôle 2 ne peut annuler l'effet de la norme au point de contrôle 1 car l'eau coule de du point 1 vers le point 2. Toutes les sources doivent réduire leurs émissions et ce pour tout les changements de norme au point de contrôle 2.

La figure 3.2 met en évidence l'élimination d'azote, en kilogramme par jour, en fonction de la norme. On observe que le système des permis d'émission élimine beaucoup plus d'émissions polluantes que le système des permis ambiants et ce pour chaque simulation. À une norme de 0.02 mg/l, le système des permis d'émissions élimine quatre fois plus d'azote que le système des permis ambiants. À une norme de

Figure 3.2  
**ELIMINATION D'AZOTE VS NORME**



0.12 mg/l, le système des permis d'émission élimine 4.4 fois plus. On peut donc dire que le système des permis d'émission est en moyenne quatre fois plus efficace que l'autre système. Le modèle des permis ambiants permet plus d'émissions régionales que le modèle des permis d'émissions parce qu'il réduit les émissions des sources ayant les plus grands impacts sur les points de contrôle, laissant les autres sources, plus distantes, émettre plus. L'effet de ceci est de permettre aux sources distantes une augmentation de leurs émissions qui est plus grande que la réduction additionnelle imposée sur les sources proches. Les émissions totales sous ce système augmentent d'où une réduction régionale moins élevée comme le décrit la figure 3.2.

#### **3.3.2.2 Les coûts de contrôle**

La question majeure à répondre est comment les différents systèmes de permis de pollution affectent les coûts de contrôle de la zone. Le tableau VIII regroupe les coûts de contrôle associés aux permis d'émission et aux permis ambiants selon les différentes simulations et la figure 3.3 décrit les coûts de contrôle en fonction de la norme.

Les données, répertoriées au tableau VIII, indiquent que

l'amélioration technologique de deux sources (simulation 2) augmente légèrement les coûts de contrôle. Cette augmentation des coûts est d'environ 0.8% dans le cas des permis d'émission et de 1.7% dans le cas des permis ambiants. Cette variation dans les coûts est la conséquence directe de l'augmentation de la réduction des émissions d'azote dans la zone. Si les sources polluantes éliminent plus d'azote, leurs coûts de contrôle seront plus élevés d'où un coût de contrôle régional annuel plus élevée.

La simulation 3, dans le cas des permis ambiants, montre des coûts de contrôle plus faibles que ceux de la simulation de référence bien que la réduction régionale d'azote soit légèrement plus élevée. Nous expliquons ce phénomène par le fait que la réduction d'azote est répartie plus uniformément entre les sources polluantes. Ce sont les sources 6 à 10 qui éliminent les plus grandes quantités d'azote. Comme leurs coûts de contrôle, par kilogramme d'azote, sont plus faibles, comparativement à ceux des autres sources, les coûts de contrôle régionaux sont donc plus faible.

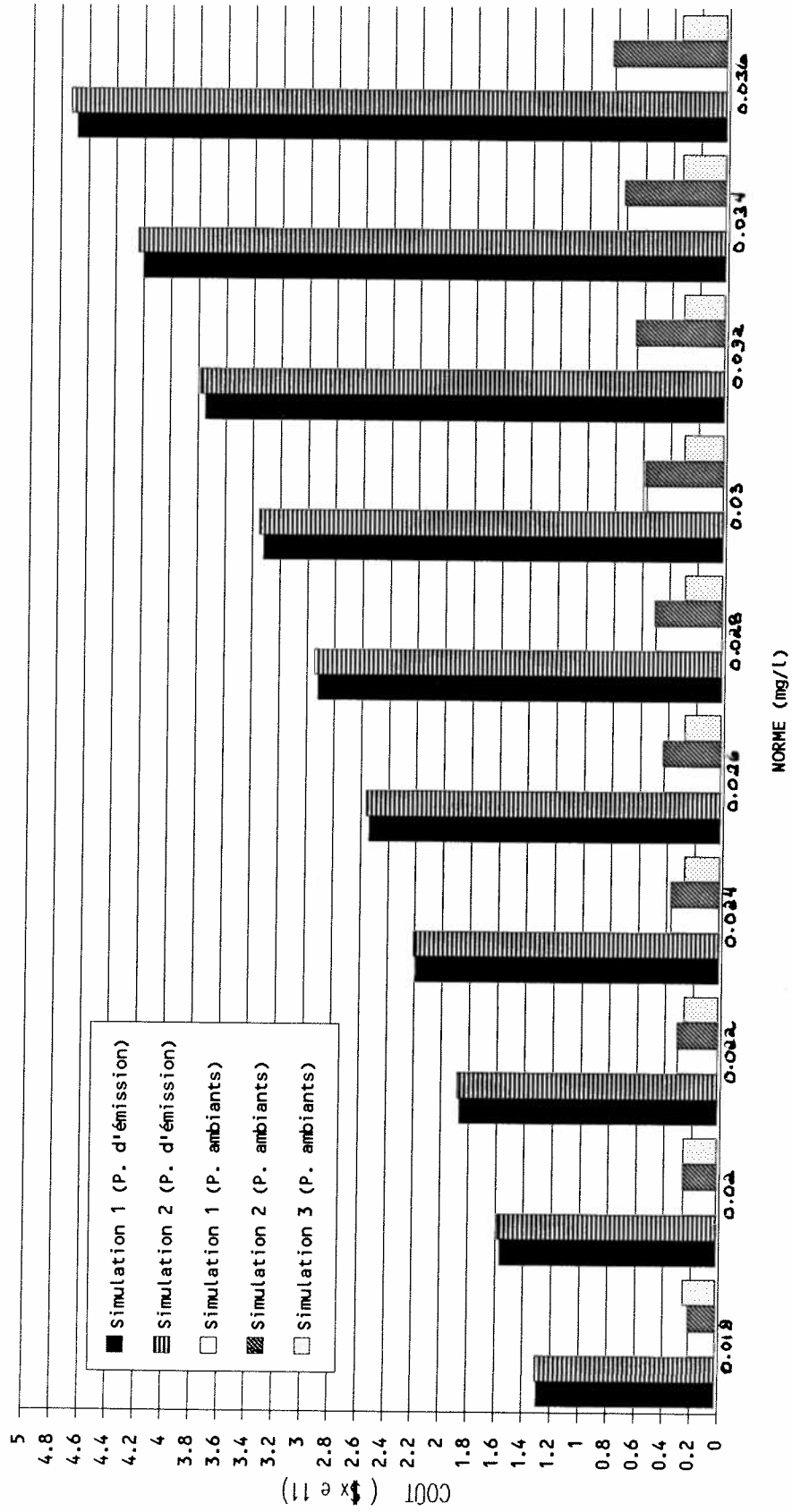
Nous pouvons tirer des conclusions intéressantes de l'examen de la figure 3.3. Premièrement, elle confirme l'hypothèse réaliste que les coûts croissent lorsque la norme de qualité environnementale augmente. Deuxièmement, la

Tableau VIII: Les coûts annuels selon les systèmes (\$ x ell)

| NORME | PERMIS D'EMISSION |              |              | PERMIS AMBIENTS |              |              |
|-------|-------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
|       | Simulation 1      | Simulation 2 | Simulation 3 | Simulation 1    | Simulation 2 | Simulation 3 |
|       | \$ x ell          | \$ x ell     | \$ x ell     | \$ x ell        | \$ x ell     | \$ x ell     |
| 0.018 | 1.298             | 1.309        | 0.21595      | 0.21951         | 0.25737      |              |
| 0.02  | 1.5705            | 1.5838       | 0.26086      | 0.26529         | 0.26086      |              |
| 0.022 | 1.8691            | 1.8849       | 0.31172      | 0.31712         | 0.26594      |              |
| 0.024 | 2.1935            | 2.2121       | 0.36851      | 0.37498         | 0.2726       |              |
| 0.026 | 2.544             | 2.5655       | 0.43125      | 0.43888         | 0.28084      |              |
| 0.028 | 2.9204            | 2.9451       | 0.49989      | 0.50877         | 0.29067      |              |
| 0.03  | 3.3227            | 3.3509       | 0.57385      | 0.58404         | 0.30207      |              |
| 0.032 | 3.7511            | 3.7828       | 0.65291      | 0.66451         | 0.31506      |              |
| 0.034 | 4.2053            | 4.2409       | 0.73707      | 0.75017         | 0.32963      |              |
| 0.036 | 4.6856            | 4.7252       | 0.82633      | 0.84101         | 0.34578      |              |

Figure 3.3

COÛTS ANNUELS VS NORME



stratégie des permis ambiants amène des coûts de contrôle annuels plus faibles que la stratégie des permis d'émission et ce pour toutes les simulations. L'avantage relatif en coûts du système des permis ambiants devient plus grand à des degrés de contrôle plus élevé. Au niveau des coûts, le système des permis ambiants est plus efficace que celui des permis d'émission et ce pour toutes les simulations effectuées.

Il est à noter que la différence dans les coûts de contrôle entre les deux systèmes s'explique par le fait que le système des permis ambiants requiert un degré de contrôle des émissions régionales moins élevé comparativement à celui du modèle des permis d'émission.

### **3.3.2.3 L'évolution des prix des permis de pollution**

Le tableau IX présente les différents prix des permis de pollution en fonction de la norme. Pour mieux comprendre ces résultats, il est approprié de faire un petit rappel de la théorie concernant les permis de pollution.

Premièrement, le nombre de permis émis dans la zone équivaut globalement à la norme environnementale fixée par



Tableau IX: Les prix des permis

| NORME | PERMIS D'EMISSION |              | PERMIS AMBIENTS |         |              |         |              |         |
|-------|-------------------|--------------|-----------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
|       | Simulation 1      | Simulation 2 | Simulation 1    |         | Simulation 2 |         | Simulation 3 |         |
|       |                   |              | P. C. 1         | P. C. 2 | P. C. 1      | P. C. 2 | P. C. 1      | P. C. 2 |
| 0.018 | 1778              | 1793         | 287             | 37      | 292          | 37      | 335          | 18      |
| 0.02  | 1955              | 1972         | 327             | 29      | 334          | 29      | 327          | 29      |
| 0.022 | 2133              | 2151         | 368             | 21      | 375          | 21      | 320          | 40      |
| 0.024 | 2311              | 2331         | 409             | 13      | 416          | 13      | 312          | 51      |
| 0.026 | 2489              | 2510         | 450             | 5       | 458          | 5       | 304          | 61      |
| 0.028 | 2667              | 2689         | 489             | 0       | 497          | 0       | 296          | 72      |
| 0.03  | 2884              | 2868         | 524             | 0       | 533          | 0       | 288          | 83      |
| 0.032 | 3022              | 3048         | 559             | 0       | 568          | 0       | 280          | 94      |
| 0.034 | 3200              | 3227         | 293             | 0       | 604          | 0       | 272          | 105     |
| 0.036 | 3378              | 3406         | 628             | 0       | 640          | 0       | 264          | 116     |

\* P.C. = Point de contrôle

l'autorité de contrôle. Deuxièmement, le modèle des permis d'émission implique l'utilisation de permis de pollution non-différenciés spatialement. Il existe seulement un type de permis dans ce modèle d'où un seul prix pour les permis. Le modèle des permis ambiants implique l'utilisation de permis de pollution différenciés spatialement et associés à chacun des points de contrôle. Il existe donc deux types de permis puisque dans notre simulation nous avons deux points de contrôle. Il y a, par le fait même, deux prix pour les permis de pollution.

Lorsque l'on compare les deux simulations du modèle des permis d'émission, nous constatons que les prix des permis sont un peu plus élevés dans la simulation 2. Cette augmentation du prix des permis est une conséquence directe au fait que les sources éliminent plus d'azote pour le même niveau de norme. La demande de permis étant plus élevée que l'offre, puisque l'on a en circulation le même nombre de permis, les prix des permis augmentent.

Dans le cas des permis ambiants, lorsque nous comparons la simulation 2 à la simulation de référence (simulation 1), nous remarquons le même phénomène pour les prix des permis au point de contrôle 1. Au point de contrôle 2, les prix des permis sont égaux à ceux de la simulation de référence. Nous expliquons ce résultat par le fait que les sources 1 et 2

affectaient au prime abord très peu la qualité environnementale du point de contrôle 2. Leur amélioration technologique n'a rien changé dans le marché des permis du point de contrôle 2. Il est aussi à noter que lorsque la norme au point de contrôle 1 atteint 0.028 mg/l, les prix des permis au point de contrôle 2 deviennent nuls. Ce résultat est la conséquence d'une norme, au point de contrôle 1, trop élevée impliquant que lorsque cette norme est respectée celle au point de contrôle 2 l'est aussi peu importe le niveau des émissions des sources affectant seulement le point de contrôle 2.

La simulation 3 présente des résultats très différents de ceux des deux autres simulations. Il faut se souvenir que pour cette simulation, la norme au point de contrôle 1 est fixe à 0.02 mg/l tandis que la norme au point de contrôle 2 varie. De plus, l'eau coule du point de contrôle 1 vers le point de contrôle 2.

Nous constatons qu'il n'y a pas de prix de permis égale à zéro pour cette simulation. Quelque soit la norme au point de contrôle 2, cela ne peut amener des prix nuls au point de contrôle 1. Les pollueurs affectant celui-ci devront de toute façon acheter des permis pour légitimer leurs émissions à ce point de contrôle.

**CHAPITRE IV**

**DISCUSSION**

#### **4.1 PROBLEMES INHERANTS A L'APPLICATION DES MODELES DANS LA REALITE**

Les différentes simulations du chapitre III permettent de constater que théoriquement les modèles des permis de pollution sont un mode de contrôle applicable. Dans cette section, nous aborderons différents problèmes liés à l'application des modèles des permis de pollution dans la réalité.

##### **4.1.1 PROBLEMES ADMINISTRATIFS**

Les autorités de contrôle, lors du choix de la norme, devront combiner les influences politiques et sociales, les contraintes techniques et de coûts afin de rendre la norme environnementale la plus admissible possible.

Le choix de la norme doit être fixé avec rigueur. Si l'autorité de contrôle surestime les émissions futures des sources polluantes et place une norme environnementale trop faible, alors les sources polluantes seront capables de vendre ou d'acheter des permis sans toutefois réduire leurs émissions polluantes. Les émissions totales seront plus élevées qu'avant. D'un autre côté, si la norme est trop restrictive

les sources polluantes subiront des coûts de contrôle très élevés. Des coûts de contrôle trop importants amèneront certaines firmes polluantes vers la faillite ou encore à fermer leurs portes et déplacer leurs activités de production vers d'autres endroits où les normes sont moins restrictives.

Il faut donc prendre en considération toutes les informations disponibles afin de rendre la norme compatible avec les règles du marché et qu'elle soit un stimulant pour la source polluante.

Les permis de pollution sont des droits de propriété permettant, au détenteur, le déversement de X kilogrammes de polluants par période de temps. Pour appliquer ce mode de contrôle, il faut être capable de quantifier exactement la quantité d'émissions émise dans l'environnement. Dans le cas de la pollution agricole, il est très difficile de quantifier exactement le nombre de kilogramme d'azote que les sources émettent. Pour appliquer ce mode de contrôle au cas de la pollution agricole, on devra trouver des moyens techniques permettant de quantifier les émissions polluantes de façon précise. Une fois ce problème résolu et l'émission des permis réalisé, il faudra s'assurer que les sources polluantes n'émettent pas plus de résidus polluants que leurs permis les autorisent. Les autorités de contrôle devront développer un système d'inspection des établissements afin de s'assurer que

les permis sont respectés.

Si l'on découvre qu'une source polluante contrevient aux droits que permettent ses permis, l'autorité de contrôle devra imposer des sanctions afin que l'infraction ne se reproduise plus. L'incitation à se conformer varie en fonction des pénalités à subir en cas de transgression, de la probabilité de se faire prendre en flagrant délit et de l'habilité de l'autorité gouvernementale à détecter les contrevenants et à les punir. Il existe trois grands types de pénalité: l'ordre de cesser l'activité polluante, des pénalités financières et l'ordre de fermer l'entreprise. La première pénalité est peu incitative. Il y a beaucoup de chances que le pollueur attende que l'on ait fait plus d'un avertissement avant de cesser l'activité polluante. La troisième pénalité est beaucoup trop drastique et surtout peu crédible. Les pénalités financières sont un moyen assez incitatif et elles ont l'avantage que l'on peut les fixer après l'infraction et les adapter aux circonstances de la violation. Ces pénalités doivent être suffisamment élevées afin de rendre l'activité contrevenante peu attrayante. En s'assurant que les permis sont respectés, on s'assure aussi que la norme de qualité environnementale de la région sera, elle aussi, respectée.

#### 4.1.2 PROBLEMES POLITIQUES

L'eau, à cause de ses propriétés physiques, ne respecte aucune structure politique. L'eau fait fi des frontières internationales, nationales, régionales ou locales et c'est ce qui amène certains problèmes politiques.

Le British North America Act de 1867 est l'instrument constitutionnel principal du Canada pour la gestion des ressources environnementales. Ce document stipule que la propriété des ressources naturelles, y compris l'eau, est entièrement provinciale mais le gouvernement fédéral se réserve certains pouvoirs spécifiques quant au développement et l'utilisation des ressources en eau. Les deux paliers de gouvernement se chevauchent donc lorsqu'il est sujet de la gestion de l'eau.

L'application d'un système de permis de pollution pour l'eau amènera sûrement des conflits entre les différentes juridictions politiques. Les gouvernements des différentes provinces poursuivent souvent des objectifs différents en matière de contrôle de l'environnement. Le succès de l'application de ce mode de contrôle à l'eau dépend en grande partie de la coopération entre les différents gouvernements ainsi que du choix d'un objectif unique afin d'avoir une



vision d'ensemble.

#### **4.2 AUTRES SECTEURS D'APPLICATION**

Les permis de pollution sont un mode de contrôle pouvant s'appliquer à plusieurs types de pollution tant au niveau industriel, urbain qu'agricole. Présentement, des études sont en cours dans le but d'analyser les effets de l'application des systèmes des permis de pollution aux problèmes des émissions de gaz acide (dioxyde de soufre), de la sauvegarde de la couche d'ozone (soit le contrôle des oxydes d'azote et des composés volatiles organiques) et au problème du dioxyde de carbone.

L'idée d'appliquer les permis de pollution à ces différents types de polluants vient du fait que ces polluants ont un impact sur une surface très grande. Le fait qu'ils affectent une région très grande implique des coûts de contrôle très élevés lorsque l'on utilise des méthodes de contrôle traditionnelles. Les consultants, impliqués dans l'étude de faisabilité, estiment que les permis sont une stratégie qui permettrait une réduction des coûts de contrôle et qui stimulerait les pollueurs à découvrir des processus de production moins polluants. S'il ressort des études en cours

que les permis de pollution sont une stratégie faisable et plus efficace que les autres modes de contrôle, on envisagerait sérieusement de les appliquer à plusieurs problèmes de pollution.

#### **4.3 L'EXPERIENCE AMERICAINE**

Il existe dans le monde entier quatre applications des permis de pollution. Trois des quatre sont expérimentés aux Etats-Unis. C'est dans le cadre du Clean Air Act (1970) que les Etats-Unis ont envisagé les permis de pollution comme potentiellement pratiques et efficaces dans le contrôle de la pollution. Une de ces expérimentations implique des permis échangeables pour différents polluants réglementés par le Clean Air Act, la deuxième implique des permis pour le plomb utilisé dans la gazoline et la troisième s'adresse au contrôle de la pollution de l'eau. Nous allons nous concentrer sur le cas des permis de pollution pour l'eau.

En 1981, l'État du Wisconsin implantait un programme innovateur dans le but de contrôler la demande biologique en oxygène sur une partie de la rivière Fox. Le programme permettait l'échange limité de permis de pollution. L'objectif principal était de permettre, aux firmes, une plus grande

flexibilité dans leurs options de contrôle tout en maintenant une certaine qualité environnementale. Le programme était administré par l'État du Wisconsin en accord avec le Federal Water Pollution Control Act des Etats-Unis. Les permis avait une durée de vie de cinq ans.

L'expérience des permis de pollution sur la rivière Fox dura six ans. Elle permet d'arriver à des conclusions intéressantes. Même si elle fût de courte durée, les économistes considèrent l'expérience comme un succès. Des études ont estimées que des épargnes substantielles de l'ordre de 7 millions de dollars par ans sont imputables à l'implantation d'un tel système<sup>20</sup>. De plus, l'implantation de ce système aurait stimulé l'innovation technologique pour des méthodes de production moins polluantes. Les permis de pollution créent une incitation à minimiser les coûts en réarrangeant les "inputs". De plus, l'argent investi pour l'élimination de la pollution est dépensé où il est le plus efficace à réduire la pollution.

Les expériences en cours dans le contrôle de la pollution de l'air et l'expérience de la rivière Fox laissent présager des signes encourageants de progrès. L'Environmental Protection Agency évalue la faisabilité d'appliquer les permis de pollution à un plus grand éventail de types de pollution.

---

<sup>20</sup> Robert Hahn, 1989, p.99.

**CONCLUSION**

Cette étude permet d'approfondir notre connaissance de la théorie des permis de pollution et de leur fonctionnement.

Nous avons porté notre attention, particulièrement sur les modèles des permis d'émission et des permis ambiants. Les différentes simulations de ces modèles, effectuées au chapitre III, permettent d'affirmer que la théorie des permis de pollution est applicable au cas de la pollution de l'eau. Elles mettent, également, en évidence l'efficacité relative des deux modèles de contrôle. Le modèle des permis d'émission s'avère plus efficace au niveau de la réduction des émissions alors que le modèle des permis ambiants est plus efficace au niveau des coûts de contrôle de la pollution. Au moment du choix du système de contrôle de la pollution nous devons porter une attention particulière à notre critère de décision. Un critère de décision axé sur les coûts de contrôle amènera le décideur à choisir le modèle des permis ambiants puisque celui-ci arbore les coûts les plus faibles. Par contre, si le critère de sélection est orienté sur la réduction des émissions, le modèle des permis d'émission sera plus apte à satisfaire ce critère.

Il est évident que les simulations, effectuées dans le cadre de ce rapport de recherche, sont suggestives et non pas concluantes. Plusieurs petits détails pouvant saper la validité des résultats obtenus ont sûrement été omis lors de

la formulation des simulations. Il devient évident que pour résoudre les problèmes de contrôle de la pollution l'économiste ne peut à lui seul solutionner ce problème. Il a besoin du concours de l'écologiste, du biologiste ou tout autres experts pouvant l'aider dans l'établissement des coefficients de transfert, des normes de qualité environnementale et de tous les autres petits détails rendant les simulations plus réalistes.

**BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

- 1- Archambault E. et Al., **UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE DE L'ENVIRONNEMENT**, Economica, Paris, 1980.
- 2- Atkinson, Scott E., **MARKETABLE POLLUTION PERMITS AND ACID RAIN EXTERNALITIES**, Revue canadienne d'économique, XVI, no. 4, Novembre 1983, p. 704.
- 3- Atkinson, S.E. et Tietenberg, T.H., **ECONOMIC IMPLICATIONS OF EMISSIONS TRADING RULES FOR LOCAL AND REGIONAL POLLUTANTS**, Revue canadienne d'économique, XX, no. 2, Mai 1987, p. 370.
- 4- Atkinson, S.E. et Tietenberg, T.H., **THE EMPIRICAL PROPERTIES OF TWO CLASSES OF DESIGNS FOR TRANSFERABLE DISCHARGE PERMIT MARKETS**, Journal of Environmental Economics and Management, 9, 1982, p. 101.
- 5- Brajer, V. et Martin, W.E., **WATER RIGHTS MARKETS: SOCIAL AND LEGAL CONSIDERATIONS**, American Journal of Economics and sociology, Vol. 49, Janvier 1990, p. 35.
- 6- Bureau de la Statistique du Québec, **AGRICULTURE**, 1987.
- 7- Bureau de la Statistique du Québec, **PORTRAIT STATISTIQUE REGIONAL**, Région de Québec et municipalités régionales de comté, 1987.
- 8- Bureau de la Statistique du Québec, **PORTRAIT STATISTIQUE REGIONAL**, Région de l'Estrie et municipalités régionales de comté, 1987.



- 9- Coase, R.H., **THE PROBLEM OF SOCIAL COST**, Journal of Law and Economics, Vol. 3, 1960, p.1-44.
- 10- Dales, J.H., **LAND, WATER, AND OWNERSHIP**, Canadian Journal of Economics, I no. 4, Novembre 1968, p. 791-804.
- 11- Dewees, Donald, **INSTRUMENT CHOICE IN ENVIRONMENTAL POLICY**, Economic Inquiry, Vol. XXI, Janvier 1983, p.53-71.
- 12- Hahn, Robert, **ECONOMIC PRESCRIPTIONS FOR ENVIRONMENTAL PROBLEMS: HOW THE PATIENT FOLLOWED THE DOCTOR'S ORDERS**, Journal of Economic Perspectives, Vol. 3 no. 2, 1989, p. 95-114.
- 13- Larras, Jean, **L'AMENAGEMENT DES COURS D'EAU**, Presse Universitaire de France, Paris, 1965.
- 14- Krupnick, A.J., Oates, W.E. et Van De Verg, E., **ON MARKETABLE AIR-POLLUTION PERMITS: THE CASE FOR A SYSTEM OF POLLUTION OFFSETS**, Journal of Environmental Economics and Management, 10, 1983, p. 233.
- 15- McGartland, A., **A COMPARISON OF TWO MARKETABLE DISCHARGE PERMITS SYSTEMS**, Journal of Environmental Economics and Management, 15, 1988, p.35.
- 16- McGartland, A. et Oates, W.E., **MARKETABLE PERMITS FOR THE PREVENTION OF ENVIRONMENTAL DETERIORATION**, Journal of Environmental Economics and Management, 12, 1985, p. 207.
- 17- Malueg, D.A., **EMISSION CREDIT TRADING AND THE INCENTIVE TO ADOPT NEW POLLUTION ABATEMENT TECHNOLOGY**, Journal of Environmental Economics and Management, 16, 1989, p. 52.

- 18- Ministère de l'environnement du Québec, **QUALITE DES EAUX DU BASSIN DE LA RIVIERE CHAUDIERE 1976 À 1988, 1991, 123 pp..**
- 19- Ministère de l'environnement du Québec, **EVALUATION DU PROGRAMME D'AIDE À L'AMELIORATION DE LA GESTION DES FUMIERS, 1991.**
- 20- O.C.D.E., **IMPACT DES ENGRAIS AGRICOLES ET DECHETS D'ELEVAGE SUR LA QUALITE DES EAUX, DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT, Paris, 1973.**
- 21- O.C.D.E., **LES INSTRUMENTS POLITIQUES ET ECONOMIQUES DE LA GESTION DE L'EAU; LA GESTION DE L'EAU AU CANADA, DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT, Paris, 1976.**
- 22- Office de Planification et de Développement du Québec, **L'EAU ET L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, Volume 1 et 2, 1980.**
- 23- Santé et Bien-être Social Canada, **RECOMMANDATION POUR LA QUALITE DE L'EAU POTABLE AU CANADA, Quatrième édition, 1990.**
- 24- Statistique Canada, **RECENSEMENT DU CANADA, Agriculture (Québec), catalogue 96-906, 1981.**
- 25- Statistique Canada, **RECENSEMENT DU CANADA, Agriculture (Québec), catalogue 96-805, 1976.**
- 26- Tietenberg, Thomas, **TRANSFERABLE DISCHARGE PERMITS AND THE CONTROLE OF STATIONARY SOURCE AIR POLLUTION: A SURVEY AND SYNTHESIS, Land Economics, Vol. 56, No. 4, Novembre 1980, p. 391-416.**

**ANNEXES**

|      |  |     |
|------|--|-----|
| I-   | DONNEES CONCERNANT LES PRODUCTEURS AGRICOLES.....                        | 101 |
| II-  | DONNEES UTILISEES POUR LES MODELES DE PROGRAMMATION...                   | 106 |
| III- | PROGRAMMES D'OPTIMISATION QUADRATIQUE POUR LES<br>PERMIS D'EMISSION..... | 108 |
| IV-  | PROGRAMMES D'OPTIMISATION QUADRATIQUE POUR LES<br>PERMIS AMBIANTS.....   | 113 |

ANNEXE I

LISTE CONCERNANT LES PRODUCTEURS AGRICOLES

| NOM DU PRODUCTEUR AGRICOLE         | MUNICIPALITÉ | M.R.C.     | PARTIE      | RANG |
|------------------------------------|--------------|------------|-------------|------|
| Réal Gagné & Rollande Robert       | Spalding     | Du Granite | 46          | 1    |
| Bertrand Roy                       | Spalding     | Du Granite | 50          | 1    |
| Clément Savoie & Édite Galipeau    | Spalding     | Du Granite | 55          | 1    |
| Gaitan Blais & Jocelyne Roy        | Spalding     | Du Granite | 55,56,57    | 2    |
|                                    |              |            | 58          | 1    |
| Alain Fillion & Sylvie Grondin     | Spalding     | Du Granite | 57,58,59,60 | 2    |
|                                    |              |            | 1           | 2    |
| Jean-Marc Bureau & Denise Bilodea  | Spalding     | Du Granite | 2           | 1    |
| J.M. Boucher                       | Spalding     | Du Granite | 3           | 1    |
| Arnolde Maheux                     | Spalding     | Du Granite | 7,8         | 1    |
| Louis-Philippe Quirion             | Spalding     | Du Granite | 9           | 1    |
| Yvan Jacques                       | Spalding     | Du Granite | 13,14,15    | 1    |
| Claude Béliveau                    | Spalding     | Du Granite | 6,17,18,19  | 1    |
|                                    |              |            | 20,21       |      |
| Henri-Louis Richard                | Whitton      | Du Granite | 13          | 11   |
| Jean-Marc Bureau & Denise Bilodea  | Gayhurst     | Du Granite | 8,9         | 1    |
| Denis Vallé & Dolorès Rodrigue     | Gayhurst     | Du Granite | 10,11,12    | 1    |
|                                    |              |            | 112         | 2    |
| Lucien Maheux                      | Gayhurst     | Du Granite | 20,21,22    | 1    |
| Ange-Émile Faucher                 | Gayhurst     | Du Granite | 3,24,25,26  | 1    |
| Mario Trépanier & M.-Marth Rodrigu | Gayhurst     | Du Granite | 7,28,29,30  | 1    |
| Benoit Fluet & Ginette Vallée      | Gayhurst     | Du Granite | 31,40       | 1    |
| Joseph-Ulric Grondin               | Gayhurst     | Du Granite | 32,33       | 1    |
| Jean Fluet & Lorraine Lachance     | Gayhurst     | Du Granite | 7,38,41,45  | 1    |
| Herman Faucher                     | Gayhurst     | Du Granite | 39          | 1    |
|                                    |              |            | 43          | 1    |
| Bernard Blouin & Jacinthe Fillion  | Gayhurst     | Du Granite | 42,44       | 1    |
| Gérard Godbout                     | Gayhurst     | Du Granite | 46,47       | 1    |
| Denis Beaudoin & Nancy Audet       | Gayhurst     | Du Granite | 51,52,53    | 1    |
| J.-P. Bégin                        | Gayhurst     | Du Granite | 54,55,76    | 1    |
| Philippe Beaudoin & Rita Baillarg  | Gayhurst     | Du Granite | 56          | 1    |
| Gérard Beaudoin                    | Gayhurst     | Du Granite | 57          | 1    |
| Berchmans Pépin                    | Gayhurst     | Du Granite | 58          | 1    |
| Xavier Beaudoin                    | Gayhurst     | Du Granite | 59          | 1    |
| Léon Beaudoin                      | Gayhurst     | Du Granite | 60,61,62    | 1    |

|                                   |            |                  |     |     |     |
|-----------------------------------|------------|------------------|-----|-----|-----|
| Ferme Toulouse                    | Jersey     | Beauce-Sartignan | 1   | 1   |     |
| J-M Gagne & Aurelienne Boulet     | Marlow     | Beauce-Sartignan | 14  | 10  |     |
| J-M Gilbert                       | Marlow     | Beauce-Sartignan | 15  | 10  |     |
| Denis Trudel                      | Marlow     | Beauce-Sartignan | 18  | 19  | 9   |
| Victor Lachance                   | Marlow     | Beauce-Sartignan | 19  | 20  | 9   |
| Renald Aubin                      | Jersey     | Beauce-Sartignan | 15  |     | 1   |
| Gaston Veilleux                   | St-Georges | Beauce-Sartignan | 547 | 541 | 1   |
| Ferme Gileva Inc.                 | St-Georges | Beauce-Sartignan | 540 | 533 | 1   |
| Leopole Poulin                    | St-Georges | Beauce-Sartignan | 536 | 537 | 1   |
| Laurent Roy                       | St-Georges | Beauce-Sartignan | 532 |     | 1   |
| Laurence Veilleux                 | Shenley    | Beauce-Sartignan | 531 |     | 1   |
| Real Roy & Fils Inc.              | Shenley    | Beauce-Sartignan | 29  | 30  | 170 |
| Real Doyon                        | St-Georges | Beauce-Sartignan | 124 | 126 | 1   |
| Ferme Beauceval Inc.              | St-Georges | Beauce-Sartignan | 162 | 164 | 1   |
| Martin Boutin                     | St-Georges | Beauce-Sartignan | 154 | 156 | 1   |
| Helene Fournier                   | St-Georges | Beauce-Sartignan | 158 | 152 | 1   |
| Ferme Douyenne Inc.               | St-Georges | Beauce-Sartignan | 146 |     | 1   |
| Agathe Bolduc                     | St-Georges | Beauce-Sartignan | 139 | 140 | 1   |
| Clement Bisson                    | St-Georges | Beauce-Sartignan | 37  |     | 1   |
| Gestions Gaston Labbe Inc.        | St-Georges | Beauce-Sartignan | 31  |     | 1   |
| Martial Veilleux & Lucie Veilleux | St-Georges | Beauce-Sartignan | 28  | 29  | 1   |
| Andre Rodrigue                    | St-Georges | Beauce-Sartignan | 19  |     | 1   |
| Robert Pomerleau                  | St-Georges | Beauce-Sartignan | 15  | 16  | 1   |
|                                   |            |                  | 9   |     | 1   |
|                                   |            |                  | 4   | 6   | 7   |
|                                   |            |                  | 1   | 2   | 1   |

|                                   |            |                  |                     |   |
|-----------------------------------|------------|------------------|---------------------|---|
| Michèl Beaudoin                   | Gayhurst   | Du Granite       | 3,64,65,66<br>67,68 | 1 |
| Raymond Mercier                   | Risborough | Du Granite       | 2                   | 5 |
| Auguste Blais & Mario Blais       | Risborough | Du Granite       | 4                   | 5 |
| Nicole Gagné & Bruno Bellegarde   | Risborough | Du Granite       | 3                   | 5 |
| Denis Arguin                      | Risborough | Du Granite       | 5,6,7               | 5 |
| J.-M. Faucher                     | Risborough | Du Granite       | 5                   | 6 |
| J.-D. Arguin                      | Risborough | Du Granite       | 6                   | 6 |
| Mario Lappierre & Colombe Gagné   | Risborough | Du Granite       | 5                   | 7 |
| Charle Beaudoin & Suzanne Lacroix | Risborough | Du Granite       | 10                  | 8 |
| Michel Fillion                    | Risborough | Du Granite       | 9,10                | 7 |
| Bernadin Gagnon                   | Risborough | Du Granite       | 5,6                 | 8 |
| J.-G. Bolduc                      | Risborough | Du Granite       | 6 7 8 10            | 9 |
| Benoit Venne & Marcelle Renaud    | Jersey     | Beauce-Sartignan | 42 43               | 1 |
| Denis Poulin                      | Jersey     | Beauce-Sartignan | 41 42               | 1 |
| Noël Poulin                       | Jersey     | Beauce-Sartignan | 40                  | 1 |
| Roch Morin & Danielle Morin       | Jersey     | Beauce-Sartignan | 39                  | 1 |
| Alfred Lacroix                    | Jersey     | Beauce-Sartignan | 36 37 38            | 1 |
| Denis Pomerleau                   | Jersey     | Beauce-Sartignan | 38 12               | 1 |
| J-M Dallaire & Fernand Pelchat    | Jersey     | Beauce-Sartignan | 34                  | 1 |
| Clermont Giguere                  | Jersey     | Beauce-Sartignan | 26 27 18            | 1 |
| Andre Roy                         | Jersey     | Beauce-Sartignan | 23                  | 1 |
| Ferme Jersey Mills Inc.           | Jersey     | Beauce-Sartignan | 21 22               | 1 |
| Joseph Rodrigue                   | Jersey     | Beauce-Sartignan | 21                  | 1 |
| Claude Loubier                    | Jersey     | Beauce-Sartignan | 20                  | 1 |
| Sylvain Boucher & France Veilleux | Jersey     | Beauce-Sartignan | 23                  | 1 |
| Bertrand Nadeau                   | Jersey     | Beauce-Sartignan | 20 17               | 1 |
| Martin Poulin & Julie Loignon     | Jersey     | Beauce-Sartignan | 19                  | 1 |
| Patrick Roy                       | Jersey     | Beauce-Sartignan | 18 16               | 1 |
| Cecile Jacques                    | Jersey     | Beauce-Sartignan | 17                  | 1 |
| Rejean Thibodeau & Louise Martin  | Jersey     | Beauce-Sartignan | 14 15 16            | 1 |
| Jeannette Jolin                   | Jersey     | Beauce-Sartignan | 10                  | 1 |
| J-C Toulouse                      | Jersey     | Beauce-Sartignan | 4 5                 | 1 |

ANNEXE II

DONNEES UTILISEES POUR LES MODELES DE PROGRAMMATION



**MATRICE DES COÛTS DE CONTRÔLE**

|        |       |     |      |       |      |      |        |      |     |
|--------|-------|-----|------|-------|------|------|--------|------|-----|
| 21.3   | 2.12  | 1   | 0.93 | 0.68  | 1.18 | 0.25 | 37.5   | 0.81 | 1   |
| 114.35 | 73.25 | 3.6 | 17.4 | 11.51 | 6.08 | 1.28 | 132.12 | 2.6  | 4.6 |

**MODELE DES PERMIS AMBIANTS**

**MATRICE DES COEFFICIENTS DE TRANSFERT (SIMULATION 1 ET 3)**

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3E-06 | 2E-06 | 3E-06 | 4E-06 | 5E-06 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2E-06 | 1E-06 | 2E-06 | 3E-06 | 4E-06 | 5E-06 | 4E-06 | 3E-06 | 2E-06 | 1E-06 |

**MATRICE DES COEFFICIENTS DE TRANSFERT (SIMULATION 2)**

|         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.5E-06 | 1E-06 | 3E-06 | 4E-06 | 5E-06 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 1E-06   | 5E-07 | 2E-06 | 3E-06 | 4E-06 | 5E-06 | 4E-06 | 3E-06 | 2E-06 | 1E-06 |

**MODELE DES PERMIS D'EMISSION**

**COEFFICIENT DE TRANSFERT (SIMULATION 1)**

a= 7.5E-07            Pour toutes les sources

**COEFFICIENT DE TRANSFERT (SIMULATION 2)**

a= 3.7E-07            Pour les sources 1 et 2

a= 7.5E-07            Pour les autres sources

ANNEXE III  
PROGRAMMES D'OPTIMISATION QUADRATIQUE POUR LES PERMIS  
D'EMISSION

PROGRAMME PRINCIPALE POUR LE CAS DES PERMIS D'EMISSION  
(SIMULATION 1)

ENTREE DES DONNEES

Load josc.dat;

PARAMETRES DU PROBLEME

bétoile=[0.018 0.02 0.022 0.024 0.026 0.028 0.03 0.032 0.34  
0.36];  
aétoile=[0.00000075];

boucle do

for ii=1:10

PROGRAMME D'OPTIMISATION

LA MATRICE H DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
h1=[114.35  0  0  0  0  0  0  0  0  0
      0  73.25  0  0  0  0  0  0  0  0
      0  0  3.6  0  0  0  0  0  0  0
      0  0  0  17.4  0  0  0  0  0  0
      0  0  0  0  11.51  0  0  0  0  0
      0  0  0  0  0  6.08  0  0  0  0
      0  0  0  0  0  0  1.28  0  0  0
      0  0  0  0  0  0  0  132.12  0  0
      0  0  0  0  0  0  0  0  2.6  0
      0  0  0  0  0  0  0  0  0  4.6];
```

H=[ (h1) ];

LE VECTEUR C DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
c1=(josc(1,:);  
c=[(c1)'];
```

LE VECTEUR "A" DES CONTRAINTES

```
a1=ones(1,10);  
A=[a1*(-aétoile)];
```

LE VECTEUR "b" DES CONTRAINTES

```
b=[(-1)*bétoile(ii)];
```

APPEL DU MODULE DE MINIMISATION

```
[X]=qp(H,c,A,b,zeros(10,1));  
réduc(ii)=ones(1,10)*x;  
coûtan(ii)=(coûtrég(ii))*(365);  
coûtrég(ii)=x'*H*x+c'*x;  
end
```

PROGRAMME PRINCIPALE POUR LE CAS DES PERMIS D'EMISSION  
(SIMULATION 2)

ENTREE DES DONNEES

Load josc.dat;

PARAMETRES DU PROBLEME

bétoile=[0.018 0.02 0.022 0.024 0.026 0.028 0.03 0.032 0.34  
0.36];  
aétoile=[0.00000075];

boucle do

for ii=1:10

PROGRAMME D'OPTIMISATION

LA MATRICE H DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
h1=[114.35  0    0    0    0    0    0    0    0    0
      0    73.25  0    0    0    0    0    0    0    0
      0    0    3.6  0    0    0    0    0    0    0
      0    0    0   17.4  0    0    0    0    0    0
      0    0    0    0   11.51  0    0    0    0    0
      0    0    0    0    0    6.08  0    0    0    0
      0    0    0    0    0    0    1.28  0    0    0
      0    0    0    0    0    0    0   132.12  0    0
      0    0    0    0    0    0    0    0    2.6  0
      0    0    0    0    0    0    0    0    0   4.6];
```

H=[ (h1) ];

LE VECTEUR C DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
c1=(josc(1,:);  
c=[(c1)'];
```

LE VECTEUR A DES CONTRAINTES

```
a1=[0.5 0.5 1 1 1 1 1 1 1 1 1];  
A=[a1*(-aétoile)];
```

LE VECTEUR B DES CONTRAINTES

```
b=[(-1)*bétoile(ii)];
```

APPEL DU MODULE DE MINIMISATION

```
[X]=qp(H,c,A,b,zeros(10,1));  
réduc(ii)=ones (1,10)*x;  
coûtan(ii)=(coûtrég(ii))*(365);  
coûtrég(ii)=x'*H*x+c'*x;  
end
```

ANNEXE IV  
PROGRAMMES D'OPTIMISATION QUADRATIQUE POUR LES PERMIS  
AMBIANTS

**PROGRAMME PRINCIPALE POUR LE CAS DES PERMIS AMBIANTS  
(SIMULATION 1)**

ENTREE DES DONNEES

Load josc.dat;  
Load josa.dat; (voir annexe II)

PARAMETRES DU PROBLEME

bétoile1=[0.018 0.02 0.022 0.024 0.026 0.028 0.03 0.032 0.034  
0.036];  
bétoile2=[0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02  
0.02];

boucle do

for ii=1:10

PROGRAMME D'OPTIMISATION

LA MATRICE H DE LA FONCTION-OBJECTIF

h1=[114.35 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
0 73.25 0 0 0 0 0 0 0 0  
0 0 3.6 0 0 0 0 0 0 0  
0 0 0 17.4 0 0 0 0 0 0  
0 0 0 0 11.51 0 0 0 0 0  
0 0 0 0 0 6.08 0 0 0 0  
0 0 0 0 0 0 1.28 0 0 0  
0 0 0 0 0 0 0 132.12 0 0  
0 0 0 0 0 0 0 0 2.6 0  
0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.6];

H=[ (h1) ];



LE VECTEUR C DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
c1=(josc(1,:);  
c=[(c1)'];
```

LA MATRICE A DES CONTRAINTES

```
a1=josa(1,:);  
a2=josa(2,:);
```

assemblage de la matrice A

```
A=[a1*(-1);a2*(-1)];
```

LE VECTEUR B DES CONTRAINTES

```
b=[(-1)*bétoile(ii);(-1)*bétoile2(ii)];
```

APPEL DU MODULE DE MINIMISATION

```
[X]=qp(H,c,A,b,zeros(10,1));  
réduc(ii)=ones (1,10)*x;  
coûtan(ii)=(coûtrég(ii))*(365);  
coûtrég(ii)=x'*H*x+c'*x;  
end
```

PROGRAMME PRINCIPALE POUR LE CAS DES PERMIS AMBIANTS  
(SIMULATION 2)

ENTREE DES DONNEES

Load josc.dat;  
Load josa.dat; (voir annexe II)

PARAMETRES DU PROBLEME

bétoile1=[0.018 0.02 0.022 0.024 0.026 0.028 0.03 0.032 0.034  
0.036];  
bétoile2=[0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02  
0.02];

boucle do

for ii=1:10

PROGRAMME D'OPTIMISATION

LA MATRICE H DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
h1=[114.35  0    0    0    0    0    0    0    0    0
      0    73.25  0    0    0    0    0    0    0    0
      0    0    3.6  0    0    0    0    0    0    0
      0    0    0   17.4  0    0    0    0    0    0
      0    0    0    0   11.51  0    0    0    0    0
      0    0    0    0    0    6.08  0    0    0    0
      0    0    0    0    0    0    1.28  0    0    0
      0    0    0    0    0    0    0   132.12  0    0
      0    0    0    0    0    0    0    0    2.6  0
      0    0    0    0    0    0    0    0    0   4.6];
```

H=[ (h1) ];

LE VECTEUR C DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
c1=(josc(1,:);  
c=[(c1)'];
```

LA MATRICE A DES CONTRAINTES

```
a1=josa(1,:);  
a2=josa(2,:);
```

assemblage de la matrice A

```
A=[a1*(-1);a2*(-1)];
```

LE VECTEUR B DES CONTRAINTES

```
b=[(-1)*bétoile(ii);(-1)*bétoile2(ii)];
```

APPEL DU MODULE DE MINIMISATION

```
[X]=qp(H,c,A,b,zeros(10,1));  
réduc(ii)=ones (1,10)*x;  
coûtan(ii)=(coûtrég(ii))*(365);  
coûtrég(ii)=x'*H*x+c'*x;  
end
```

PROGRAMME PRINCIPALE POUR LE CAS DES PERMIS AMBIANTS  
(SIMULATION 3)

ENTREE DES DONNEES

```
Load josc.dat;
Load josa.dat;
```

PARAMETRES DU PROBLEME

```
bétoile1=[0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02];
bétoile2=[0.018 0.02 0.022 0.024 0.026 0.028 0.03 0.032 0.034
           0.036];
```

```
boucle do
```

```
for ii=1:10
```

PROGRAMME D'OPTIMISATION

LA MATRICE H DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
h1=[114.35  0  0  0  0  0  0  0  0  0
     0  73.25  0  0  0  0  0  0  0  0
     0  0  3.6  0  0  0  0  0  0  0
     0  0  0  17.4  0  0  0  0  0  0
     0  0  0  0  11.51  0  0  0  0  0
     0  0  0  0  0  6.08  0  0  0  0
     0  0  0  0  0  0  1.28  0  0  0
     0  0  0  0  0  0  0  132.12  0  0
     0  0  0  0  0  0  0  0  2.6  0
     0  0  0  0  0  0  0  0  0  4.6];
```

```
H=[(h1)];
```

LE VECTEUR C DE LA FONCTION-OBJECTIF

```
c1=(josc(1,:);  
c=[(c1)'];
```

LA MATRICE A DES CONTRAINTES

```
a1=josa(1,:);  
a2=josa(2,:);
```

assemblage de la matrice A

```
A=[a1*(-1);a2*(-1)];
```

LE VECTEUR B DES CONTRAINTES

```
b=[(-1)*bétoile(ii);(-1)*bétoile2(ii)];
```

APPEL DU MODULE DE MINIMISATION

```
[X]=qp(H,c,A,b,zeros(10,1));  
réduc(ii)=ones (1,10)*x;  
coûtan(ii)=(coûtrég(ii))*(365);  
coûtrég(ii)=x'*H*x+c'*x;  
end
```