

Mémoire

Présenté à l'École nationale d'administration publique

Dans le cadre du programme de Maîtrise en administration publique

Pour l'obtention du grade de Maître ès science (M. Sc.)

Mémoire intitulé

**Évaluation des politiques canadiennes de bioénergie : Application d'un cadre d'analyse
complet sur les biocarburants**

Présenté par

Elaheh Mohammadzadeh

Avril 2025

© Elaheh Mohammadzadeh, 2025

Mémoire intitulé

Évaluation des politiques canadiennes de bioénergie : Application d'un cadre d'analyse complet sur les biocarburants

Présentée par

Elaheh Mohammadzadeh

Est évaluée par les membres du jury de memoire suivants :

Monsieur Étienne Charbonneau, professeure titulaire à l'ENAP et présidente

Madame Fereshteh Mafakheri, Professeure adjointe et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en transition bioénergétique et directrice de mémoire

Monsieur Moktar Lamari, professeure agrégée à l'ENAP et évaluateur du Mémoire

Remerciements

La recherche, en tant que parcours intellectuel et personnel, nous confronte à des défis, des doutes et des remises en question. Mais elle est aussi une source de croissance, de découverte et de gratitude. Ce mémoire est le fruit d'un cheminement exigeant, et je suis profondément reconnaissante envers celles et ceux qui m'ont accompagnée avec confiance, patience et bienveillance.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, la professeure Fereshteh Mafakheri, pour sa confiance indéfectible, sa patience généreuse et son soutien constant. Sa rigueur scientifique, son regard éclairé et son appui humain ont été essentiels dans chaque étape de ce travail.

Je remercie chaleureusement les membres de mon jury, les professeurs Étienne Charbonneau et Moktar Lamari, pour la richesse de leurs commentaires, la précision de leurs suggestions et leur engagement sincère envers la qualité de la recherche.

Je veux aussi remercier du fond du cœur mes parents, pour avoir toujours été cette lumière d'espoir et de force, même dans les moments d'incertitude. Leur amour inconditionnel a été mon ancrage.

Enfin, Mes derniers remerciements, mais non les moindres, sont adressés à toutes les personnes qui m'ont soutenue, encouragée ou simplement cru en moi. Ce mémoire est aussi le leur.

Abstract

Bioenergy policies are central to Canada's climate strategy, targeting greenhouse gas (GHG) emission reductions and sustainable energy solutions. This study assesses the effectiveness of Canadian bioenergy policies implemented between 2000 and 2020, focusing on the critical components contributing to GHG reductions. By utilizing the Comprehensive Biofuel Policy Analysis Framework (CBPAF), this research employs both qualitative and quantitative metrics to analyze policies on longevity, regulatory mechanisms, research and development (R&D) funding, and financial incentives and the correlation between these factors GHG emission reduction in Canada.

Chapter 1 establishes the significance of bioenergy in Canada's climate goals and frames the research problem. Key questions include identifying relationships between policy components and their effectiveness in reducing GHG emissions. Chapter 2 highlights gaps in policy design, regulatory conflicts, and insufficient financial incentives, refining the research focus.

The methodology in Chapter 3 adopts CBPAF to assign scores to selected policies, integrating government reports and GHG reduction data. Chapters 4 and 5 analyze policy effectiveness, identifying the need for integrated policy designs that combine regulatory, longevity, and financial factors. Findings underscore that multi-component policies significantly outperform single-measure initiatives in GHG reductions. The conclusion offers actionable insights for policymakers, addressing data limitations and advocating for effective bioenergy policymaking.

This research contributes to public administration by providing a structured evaluation framework for designing effective bioenergy policies, supporting Canada's climate objectives and global commitments. Findings reveal that multi-component policies, integrating regulatory and financial mechanisms, significantly outperform single-measure initiatives in reducing emissions. The research underscores the importance of policy stability and intergovernmental collaboration in achieving climate goals. By offering actionable recommendations for policymakers, this thesis contributes to the development of structured, evidence-based frameworks for designing effective bioenergy policies that support Canada's climate objectives and inform global policy discourse.

Keywords : Bioenergy policies, GHG emissions, renewable energy, policy evaluation, public administration, sustainable energy solutions, regulatory frameworks.

RÉSUMÉ

Les politiques de bioénergie jouent un rôle central dans la stratégie climatique du Canada, visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et à promouvoir des solutions énergétiques durables. Cette étude évalue l'efficacité des politiques canadiennes de bioénergie mises en œuvre entre 2000 et 2020, en mettant l'accent sur les composantes clés contribuant à la réduction des GES. En utilisant le Cadre d'analyse complet des politiques sur les biocarburants (CBPAF), cette recherche combine des métriques qualitatives et quantitatives pour analyser la longévité des politiques, les instruments de politique réglementaires, le financement de la recherche et du développement (R-D), ainsi que les incitations financières.

Le chapitre 1 établit l'importance de la bioénergie dans les objectifs climatiques du Canada et formule la problématique de recherche. Les questions principales visent à identifier les relations entre les composantes des politiques et leur efficacité dans la réduction des GES. Le chapitre 2 met en lumière les défis dans la conception des politiques, les conflits réglementaires et les incitations financières insuffisantes.

La méthodologie du chapitre 3 adopte le CBPAF pour évaluer les politiques sélectionnées, intégrant des rapports gouvernementaux et des données sur la réduction des GES. Les chapitres 4 et 5 analysent l'efficacité des politiques, soulignant la nécessité de concevoir des politiques intégrées combinant des facteurs réglementaires, financiers et technologiques. Les résultats démontrent que les politiques multicomposantes surpassent largement les initiatives isolées dans la réduction des GES. La conclusion fournit des informations exploitables aux décideurs, répond aux contraintes de données et encourage l'élaboration de politiques efficaces en matière de bioénergie.

Cette recherche contribue à l'administration publique en fournissant un cadre d'évaluation structuré pour l'élaboration de politiques efficaces en matière de bioénergie, à l'appui des objectifs climatiques et des engagements mondiaux du Canada. Les résultats révèlent que les politiques à composantes multiples, intégrant des instruments de politique réglementaires et financiers, surpassent considérablement les initiatives à mesure unique en matière de réduction des émissions. L'étude souligne l'importance de la stabilité des politiques et de la collaboration intergouvernementale dans l'atteinte des objectifs climatiques. En proposant des recommandations

concrètes aux décideurs, ce mémoire contribue à l'élaboration de cadres structurés et fondés sur des données probantes pour concevoir des politiques efficaces en matière de bioénergie qui soutiennent les objectifs climatiques du Canada et éclairent le discours politique mondial.

Mots-clés : Politiques de bioénergie, émissions de GES, énergie renouvelable, évaluation des politiques, administration publique, solutions énergétiques durables, cadres réglementaires.

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	6
TABLE DES MATIERES.....	8
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	11
INTRODUCTION.....	12
CHAPITRE 1 : OBJET DE RECHERCHE	15
1.1 Aperçu des politiques canadiennes en matière de bioénergie	15
1.1.1 L'impact de la bioénergie sur les émissions de gaz à effet de serre	16
1.1.2 Soutien gouvernemental et initiatives politiques	16
1.1.3 Partenariat public-privé.....	17
1.1.4 Défis et opportunités	18
1.1.5 Perspectives des recherches existantes sur l'avancement des politiques en matière de bioénergie	18
1.1.6 Principales politiques en matière de bioénergie au Canada	19
1.2 Évaluation de l'efficacité des politiques dans la réduction des émissions de GES	23
1.2.1 Le rôle des politiques de bioénergie dans la réduction des émissions de GES au Canada.....	24
1.2.2 Défis liés à l'adoption de la bioénergie.....	25
1.3 Définition des termes clés	25
CHAPITRE 2 : PROBLEMATIQUE.....	29
2.1 Introduction au problème.....	29
2.2 Les défis des politiques actuelles en matière de bioénergie.....	30
2.3 Défis à relever pour atteindre les cibles de réduction des GES	32
2.4 Revue de la littérature sur l'efficacité des politiques de bioénergie en réduction des GES	33
2.5 Objectifs de recherche	39

CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	41
3.1 Approche de recherche	41
3.2 Politiques incluses dans l'analyse	42
3.3 Collecte de données	44
3.3.1 Identification des stratégies sélectionnées	45
3.3.2 Collecte de rapports et de résultats sur les politiques sélectionnées	46
3.4 Cadre d'analyse des données	46
3.4.1 Critères de notation pour l'évaluation des composantes de politique	47
3.4.2 Critères de notation pour l'évaluation de l'efficacité des politiques	52
3.4.3 Score final d'efficacité des politiques (SFEP)	55
3.4.4 Corrélation du rang de Spearman pour les analyses finales	55
3.4.5 Étude de cas : Analyse du crédit d'impôt variable du Québec pour la production d'éthanol.....	56
 CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA NOTATION DES POLITIQUES EN BIOENERGIE	 58
4.1 Évaluation des composantes de la politique	58
4.1.1 Canada's Action Plan 2000 on Climate Change.....	58
4.1.2 Canadian Federal Budget 2003	59
4.1.3 Variable Tax Credit for Ethanol (Québec, 2005-2006)	59
4.1.4 eco-ENERGY Technology Initiative (2007)	60
4.1.5 Green Infrastructure Fund (2009)	60
4.1.6 Canada's Renewable Fuels Regulations (2010)	61
4.1.7 Amendments to Renewable Fuels Regulations (2011).....	61
4.1.8 Pan-Canadian Carbon Pricing (2016)	61
4.1.9 Hydrogen Strategy for Canada (2020)	62
4.2 Évaluation de l'efficacité des politiques	63
4.2.1 Canada's Action Plan 2000 on Climate Change	63
4.2.2 Canadian Federal Budget 2003.....	64
4.2.3 eco-ENERGY Technology Initiative (2007)	64
4.2.4 Green Infrastructure Fund (GIF) (2009)	64
4.2.5 Canada's Renewable Fuels Regulations (2010)	64
4.2.6 Amendments to Renewable Fuels Regulations (2011).....	65
4.2.7 Pan-Canadian Carbon Pricing (2016)	65
4.2.8 Hydrogen Strategy for Canada (2020)	65
 CHAPITRE 5 : ANALYSE DES RESULTATS ET ETUDE DE CAS	 67
5.1 Analyse des résultats	67
Étape 1 : Répertoire les données d'origine	67
Étape 2 : Classer les scores totaux des composantes (X) et le score d'efficacité total (Y)	68

Étape 3 : Rassembler les rangs dans un tableau	69
Étape 4 : Calculer les différences et les différences au carré	69
Étape 5 : Additionner les différences au carré.....	70
Étape 6 : Interprétation des résultats	71
5.2 Étude de cas d'analyse comparative du crédit d'impôt variable du Québec pour l'éthanol et du Fonds de développement de l'éthanol de l'Ontario	72
5.2.1 Objectifs de l'étude de cas	72
5.2.2 Analyse comparative.....	72
5.2.3 Discussion de l'étude de cas	73
5.3 Discussion finale et recommandations politiques	74
CONCLUSION	76
Résumé du mémoire	76
Limites de la recherche	77
Orientations des recherches futures	78
BIBLIOGRAPHIE.....	81

Liste des tableaux et figures

Tableau 1: Aperçu des principales politiques du Canada en matière de bioénergie (2000-2020)	20
Tableau 2 : Aperçu des principaux études sur l'efficacité des politiques en matière de bioénergie	38
Tableau 3: Questions de recherche spécifiques	40
Tableau 4: Politiques canadiennes en matière de bioénergie ayant pour objectif commun de réduire les émissions de gaz à effet de serre	43
Tableau 5: Tableau de notation des composantes de la politique	51
Tableau 6: Sommaire des cotes des politiques climatiques canadiennes en fonction des composantes de la politique	62
Tableau 7: Sommaire des scores des politiques climatiques canadiennes en fonction de l'efficacité	66
Tableau 8: Tableau de l'efficacité des politiques	67
Tableau 9: Scores finaux pour les deux variables	69
Tableau 10: Les différences entre les rangs	69
Figure 1: Émissions de gaz à effet de serre au Canada de 1990 à 2022	30
Figure 2: Rapport d'inventaire national 1990-2022 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada.....	49

Introduction

Avec le changement climatique et l'augmentation de la demande énergétique mondiale, les politiques en matière de bioénergie sont devenues un outil essentiel pour les gouvernements du monde entier afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et de favoriser la transition vers des systèmes énergétiques durables (Mai-Moulin et al., 2021). Au cours des deux dernières décennies, grâce à ses riches ressources naturelles et à son secteur énergétique avancé, le Canada a mis en œuvre plusieurs politiques en matière de bioénergie pour se conformer aux engagements climatiques internationaux et atteindre les objectifs nationaux de réduction des GES (Canada Energy Regulator, 2021). Ces politiques visent à promouvoir la bioénergie en tant que source d'énergie renouvelable issue de la biomasse afin d'atténuer le changement climatique tout en encourageant la durabilité économique et environnementale.

Cette recherche se concentre sur l'évaluation de certaines politiques canadiennes de bioénergie mises en œuvre entre 2000 et 2020, avec pour principal objectif la réduction des GES. La bioénergie, définie comme une énergie issue de matériaux organiques tels que les résidus agricoles et les déchets forestiers, joue un rôle crucial dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la promotion de solutions énergétiques durables (Kwakye et al., 2024). Ce mémoire examine les politiques de bioénergie à travers un cadre structuré aligné sur les objectifs climatiques mondiaux. L'efficacité de ces politiques dans la réduction des émissions de GES est analysée de manière systématique à travers leurs principaux composants, tels que la durée des politiques, les instruments de politique de soutien réglementaire, le financement de la recherche et du développement (R-D), et les incitations financières ; ainsi que l'impact de ces composants sur l'efficacité des politiques en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Selon Dunn (2011), l'efficacité des politiques fait référence à la mesure dans laquelle ces dernières atteignent leurs objectifs, et puisque l'objectif principal des politiques sélectionnées est la réduction des GES, leur efficacité peut être évaluée à travers leur impact sur cette réduction.

Bien que les politiques en matière de bioénergie jouent un rôle important dans la stratégie climatique du Canada, il n'existe pas de cadre intégré pour évaluer leur efficacité, ce qui limite le travail des décideurs politiques dans la conception de politiques futures impactantes (Birch, 2016). L'analyse des politiques, telle que définie par Dunn (2011), est une discipline des sciences sociales

appliquées qui utilise plusieurs méthodes d'enquête pour résoudre des problèmes pratiques. Dans cette étude, les politiques de bioénergie sont présentées comme une réponse essentielle aux défis climatiques mondiaux. En examinant leur efficacité, cette recherche contribue à comprendre comment différents composants politiques influencent la réduction des GES et soutient l'élaboration de politiques fondées sur des preuves. Cela est particulièrement pertinent en administration publique, où la conception et la mise en œuvre de politiques efficaces sont des responsabilités centrales. L'étude aborde également la question plus large de l'optimisation des politiques de bioénergie pour garantir que le Canada atteigne ses objectifs climatiques à long terme.

Malgré leur importance, les politiques canadiennes en matière de bioénergie n'ont pas été systématiquement évaluées pour leur efficacité dans la réduction des GES à l'aide d'un cadre exhaustif. Cette étude comble cette lacune en employant le Comprehensive Biofuel Policy Analysis Framework (CBPAF) présenté par Usmani et al. (2023), une approche novatrice qui évalue les politiques en combinant des indicateurs qualitatifs et quantitatifs. En identifiant les composants politiques les plus efficaces, l'étude offre des perspectives concrètes pour améliorer les politiques futures en matière de bioénergie.

La recherche est guidée par deux questions spécifiques : (1) quelle est la corrélation entre les principaux composants de la bioénergie et l'efficacité des politiques canadiennes de bioénergie en matière de réduction des GES au cours des deux dernières décennies ? et (2) quelles ont été les politiques les plus efficaces pour réduire les GES durant cette période ? L'étude adopte une approche mixte pour répondre à ces questions, en analysant les politiques de bioénergie à travers un modèle de notation structuré intégrant des évaluations qualitatives et quantitatives.

Le chapitre 1 décrit les objectifs de la recherche, en offrant une vue d'ensemble du rôle de la bioénergie dans la réduction des émissions de GES et en déterminant les termes clés de l'étude. Le chapitre 2 présente une revue exhaustive de la littérature, identifiant les lacunes des politiques actuelles en matière de bioénergie et encadrant les questions de recherche. Le chapitre 3 décrit la méthodologie de recherche, y compris les processus de collecte et d'analyse des données, ainsi que l'introduction de modèles de notation pour les composants des politiques et leur efficacité. Le chapitre 4 applique le modèle de notation pour évaluer les politiques de bioénergie sélectionnées, en présentant des résultats détaillés sur leur efficacité. Le chapitre 5 discute des implications des

résultats pour l'administration publique et l'élaboration des politiques, en mettant en évidence les composants critiques des politiques de bioénergie réussies ; il inclut également une étude de cas provinciale pour mieux comprendre la réponse à la question d'une perspective provinciale en complément de la perspective fédérale. Enfin, la conclusion résume la recherche, aborde ses limites et propose des orientations pour les études futures.

Cette recherche contribue au domaine de l'administration publique en fournissant une évaluation rigoureuse des politiques de bioénergie, en équipant les décideurs publics des connaissances nécessaires pour concevoir et mettre en œuvre des stratégies climatiques impactantes. La politique publique, comme mentionné par Howlett, Ramesh, et Perl (2020), est un ensemble de décisions interreliées prises par un acteur ou un groupe d'acteurs politiques concernant la sélection d'objectifs et les instruments de politique pour les atteindre dans une situation donnée, où ces décisions devraient, en principe, être réalisables par ces acteurs. En d'autres termes, la politique publique est un ensemble d'actions ou d'inactions choisies par les autorités publiques pour répondre à un problème donné ou à un ensemble de problèmes interreliés Howlett, Ramesh, et Perl (2020) Par conséquent, les politiques de bioénergie peuvent être considérées comme des politiques publiques.

Chapitre 1 : Objet de recherche

Dans le présent chapitre, l'accent est mis sur l'importance des politiques de bioénergie au Canada et sur leur rôle dans la réduction des émissions de GES. Le chapitre est divisé en trois sections. Tout d'abord, nous examinerons les politiques canadiennes en matière de bioénergie, leur pertinence par rapport aux objectifs en matière de changements climatiques, les efforts déployés pour élargir ces politiques, les défis actuels en matière de bioénergie et les recommandations futures. Par la suite, l'importance d'évaluer l'efficacité des politiques pour réduire les GES, les difficultés liées à l'adoption de la bioénergie dans la réduction des GES et l'objectif de cette étude seront évalués. Enfin, les termes clés centraux de cette étude seront définis.

1.1 Aperçu des politiques canadiennes en matière de bioénergie

La transition mondiale vers des sources d'énergie durables est essentielle pour relever les défis environnementaux, et le Canada est apparu comme un chef de file dans l'élaboration de cadres réglementaires (Roy, 2013). La bioénergie est une forme d'énergie renouvelable dérivée de sources biologiques et joue un rôle crucial dans l'amélioration de la sécurité de l'approvisionnement énergétique, la réduction de la dépendance aux carburants fossiles importés et l'atténuation du changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (Mai-Moulin et al., 2021).

Au Canada, la production de bioénergie a connu une croissance importante, passant de 7 900 GWhs en 2005 à 13 100 GWhs en 2015, ce qui représente maintenant environ 6 % de l'approvisionnement énergétique total du pays (Hannah et al., 2019). Ces progrès ont été accentués par les investissements fédéraux et provinciaux dans la recherche et le développement qui visent à faire progresser les technologies de la bioénergie (Zurba et Bullock, 2020). La Régie de l'énergie du Canada a prédit que la consommation de bioénergie continuera de croître dans tous les secteurs, en raison des politiques climatiques, y compris l'élimination progressive des centrales électriques au charbon d'ici 2030, en vertu du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques (Giuntoli et al., 2021).

1.1.1 L'impact de la bioénergie sur les émissions de gaz à effet de serre

L'un des principaux avantages de la bioénergie est son potentiel et sa capacité à réduire les émissions de GES, en particulier lorsque la biomasse provient de forêts gérées de manière durable ou de résidus agricoles (McKechnie et al., 2011 ; McKechnie et al., 2014). Le développement de la bioénergie, notamment par la consommation de biomasse, est important pour réduire les émissions de GES, ce qui en fait un élément nécessaire dans les stratégies d'atténuation du changement climatique (Baležentis et al., 2019). Des études ont indiqué qu'une augmentation de 1 % de l'utilisation de la biomasse entraîne une réduction de 0,089 % des émissions de GES, dépassant largement les autres sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire et éolienne, qui ne représentent qu'une réduction de 0,025 % (Baležentis et al., 2019). Cela souligne l'efficacité exceptionnelle de la biomasse dans la réduction des émissions de GES par rapport aux autres énergies renouvelables. Par conséquent, la promotion et le développement de la bioénergie devraient être prioritaires dans les cadres politiques visant à atteindre les objectifs climatiques à long terme. Toutefois, compte tenu de la complexité de la relation entre la bioénergie et les émissions de GES, les cadres d'action devraient être conçus avec le plus grand soin. Antwi et al. (2023) mentionnent que si la bioénergie peut réduire l'empreinte carbone de la production d'énergie, elle peut également contribuer aux émissions si elle n'est pas gérée correctement.

1.1.2 Soutien gouvernemental et initiatives politiques

Les politiques et les initiatives du gouvernement canadien en matière de bioénergie sont essentielles à l'intégration de la bioénergie dans la stratégie climatique du pays. Les gouvernements fédéral et provinciaux ont mis en place plusieurs politiques et initiatives de financement pour promouvoir le développement de la bioénergie. Les organismes gouvernementaux ont joué un rôle de premier plan dans le financement des projets de bioénergie, soulignant la nécessité d'un soutien politique pour faire progresser la bioénergie en tant que solution climatique (Locoh et al., 2022). Ces efforts comprennent des investissements consistants dans la recherche et le développement pour améliorer l'utilisation des matières premières de la biomasse et l'efficacité de la combustion, dans le but de minimiser les émissions de gaz à effet de serre (GES) (Locoh et al., 2022).

Les communautés autochtones éloignées illustrent les avantages ciblés de ces initiatives. Situées à proximité de vastes ressources forestières, ces communautés ont été habilitées à adopter la biomasse à base de bois comme énergie. Les programmes gouvernementaux fournissent un soutien essentiel sous forme de subventions et d'investissements dans les infrastructures, ce qui permet un développement économique durable, l'autosuffisance énergétique et la réduction de la dépendance au diesel, un carburant fossile à fortes émissions (Buss et al., 2021). Ces instruments de politique stratégiques s'harmonisent avec les objectifs fédéraux plus larges, qui visent à promouvoir une énergie plus propre tout en s'attaquant aux disparités socioéconomiques dans les régions éloignées. En soutenant les projets de bioénergie par le biais de financements et de cadres législatifs, le Canada souligne l'importance de la cohérence des politiques pour faire progresser la bioénergie en tant qu'outil de résilience climatique et d'inclusion économique.

1.1.3 Partenariat public-privé

Dans le contexte du développement de la bioénergie au Canada, les partenariats public-privé (PPP) sont considérés comme essentiels pour que les communautés autochtones s'engagent efficacement dans la bioéconomie (Zurba et Bullock, 2020). Ces PPP sont définis par Hodge et Greve (2017, p. 4) comme « des accords contractuels à long terme entre le secteur public et le secteur privé, où le secteur privé fournit des services publics ou des infrastructures en assumant une partie significative du risque opérationnel et financier ». Les partenariats entre les chefs d'entreprise autochtones et les entreprises de bioénergie établies peuvent offrir des connaissances essentielles, du financement et un soutien au renforcement des capacités (Zurba et Bullock, 2020). Ces collaborations permettent d'atténuer les risques en guidant l'organisation et la mise en œuvre de l'entreprise. L'établissement d'un climat de confiance entre les communautés autochtones et les partenaires externes est un élément clé, car il permet de s'assurer que les investissements et l'expertise sont consacrés aux besoins de ces communautés (Zurba et Bullock, 2020). De plus, les partenariats public-privé sont perçus comme permettant de développer des infrastructures qui réduisent la dépendance à l'égard des sources d'énergie traditionnelles, comme le diesel, en particulier dans les régions nordiques. Les politiques gouvernementales, telles que les subventions, l'accès à la biomasse sur les terres de la Couronne et les accords d'achat d'électricité, sont également cruciales pour favoriser ces partenariats et soutenir la participation autochtone dans le secteur de la bioénergie (Zurba et Bullock, 2020).

1.1.4 Défis et opportunités

Malgré le potentiel de la bioénergie, le marché canadien de la bioénergie fait face à plusieurs défis. L'un des principaux obstacles est l'incohérence des politiques entre les provinces, ce qui complique l'adoption générale des systèmes de bioénergie. Un cadre stratégique plus uniforme en matière de bioénergie à l'échelle du Canada pourrait actualiser l'élaboration de projets de bioénergie et améliorer l'accès aux instruments de politique de soutien, ce qui renforcerait leur efficacité à contribuer à l'action climatique (Menghwani et al., 2023).

De plus, comme nous l'avons mentionné dans la partie précédente, les incitations financières et le financement gouvernemental sont essentiels pour promouvoir les projets de bioénergie. Cependant, les instruments de politique de financement actuels sont souvent mal alignés, ce qui entraîne des inefficacités et détourne des ressources des projets qui pourraient contribuer aux objectifs climatiques (Menghwani et al., 2023). La révision de ces stratégies de financement afin de mieux les harmoniser avec les objectifs de réduction des GES permettrait de maximiser la contribution du secteur à la réduction des émissions.

1.1.5 Perspectives des recherches existantes sur l'avancement des politiques en matière de bioénergie

Il existe plusieurs suggestions et recommandations issues d'études précédentes concernant les orientations futures des politiques en matière de bioénergie, qui méritent d'être mentionnées. Par exemple, pour renforcer la contribution de la bioénergie aux objectifs climatiques du Canada, les instruments de politique doivent se concentrer sur l'amélioration des chaînes d'approvisionnement en biomasse et la promotion des technologies de combustion avancées. L'optimisation de ces aspects maximiserait les avantages environnementaux de la bioénergie et aiderait le Canada à atteindre ses objectifs de réduction des émissions (Locoh et al., 2022). De plus, l'introduction d'instruments de politique de tarification du carbone pourrait également promouvoir la bioénergie en la rendant plus viable financièrement, encourageant ainsi une transition loin de la dépendance aux combustibles fossiles (Menghwani et al., 2023).

D'un autre côté, malgré la disponibilité abondante de biomasse forestière au Canada, l'environnement réglementaire et les conditions du marché ne permettent pas à la bioénergie de

jouer un rôle significatif dans la réduction des émissions de GES. Comparativement à des régions comme l'Union européenne, où la bioénergie occupe une place évidente dans les stratégies climatiques, l'adoption plus lente des solutions de bioénergie au Canada souligne la nécessité de politiques plus robustes (Menghwani et al., 2023). Cette recherche fournira d'autres recommandations critiques aux décideurs en matière de bioénergie grâce à une analyse détaillée de la relation entre l'efficacité des politiques canadiennes de bioénergie et la réduction des émissions de GES, ainsi qu'à l'identification des politiques de bioénergie les plus efficaces pour réduire ces émissions.

1.1.6 Principales politiques en matière de bioénergie au Canada

Cette section examine plusieurs politiques importantes qui ont façonné l'approche du Canada en matière de bioénergie et son rôle dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Pour cette recherche, vingt politiques canadiennes de bioénergie ont été sélectionnées afin de constituer un échantillon représentatif des interventions gouvernementales mises en œuvre entre 2000 et 2020. La sélection a été effectuée en consultant plusieurs bases de données universitaires (ex. : Scopus, Google Scholar, ProQuest) ainsi que les publications officielles des gouvernements provinciaux et fédéral, incluant des rapports d'agences telles que Ressources naturelles Canada, et Environnement et Changement climatique Canada.

Les politiques ont été retenues en fonction de trois critères : (1) portée explicite en lien avec la bioénergie, (2) disponibilité de données documentées permettant leur évaluation selon les quatre composantes retenues, et (3) diversité géographique et institutionnelle (fédéral et provinces).

Le nombre limité à 20 cas découle d'un compromis méthodologique : un échantillon plus large aurait certes permis d'augmenter la robustesse statistique, mais aurait dépassé les capacités de codage manuel et d'analyse qualitative approfondie dans le cadre d'un mémoire de maîtrise. Ce seuil permet de conserver une rigueur d'analyse individuelle tout en assurant une comparabilité entre cas. Voici quelques-unes des principales politiques et initiatives de bioénergie mises en œuvre au cours des deux dernières décennies dans le but de réduire les émissions de GES. Ces politiques, introduites dans ce mémoire, offrent une vue d'ensemble complète des initiatives clés liées à la

bioénergie au Canada, fournissant un contexte pour comprendre l'évolution et la diversité des politiques de bioénergie au fil du temps. Ce contexte général établit la base pour l'identification et l'analyse des neuf politiques sélectionnées pour une évaluation approfondie (Charrière & Zhang, 2014 ; Agence internationale de l'Énergie, 2022).

Tableau 1 : Aperçu des principales politiques du Canada en matière de bioénergie (2000-2020)

Nom de la politique	Date	Objectifs	Secteurs ciblés	Instruments de politique de mise en œuvre	Durée	Participation des parties prenantes	Référence
Programme biomasse pour l'énergie	2000	Soutenir la R-D de la biomasse en tant que source d'énergie	Recherche et développement	Financement des projets de biomasse	En cours	Gouvernement fédéral, institutions de recherche	(Charrière & Zhang, 2014)
Plan d'action du Canada sur le climat	2000	Réduire les émissions de gaz à effet de serre	Plusieurs secteurs	Augmenter la production d'éthanol, divers objectifs d'émissions	2000-2012	Gouvernement fédéral, secteur privé	(Charrière & Zhang, 2014)
Réduction de la taxe sur l'éthanol au Manitoba	2001	Promouvoir l'utilisation de l'éthanol dans le carburant	Transport	Réduction de taxe pour l'essence contenant 10 % d'éthanol	En cours	Gouvernement provincial, producteurs de carburant	(Charrière & Zhang, 2014)
Subvention pour le carburant éthanol en Saskatchewan	2002	Soutenir la production de carburant à base d'éthanol	Agriculture, transport	Subventions équivalentes à la taxe provinciale sur les carburants	En cours	Gouvernement provincial, agriculteurs	(Charrière & Zhang, 2014)
Budget fédéral canadien 2003	2003	Promouvoir l'utilisation de biodiesel et d'éthanol/méthanol	Transport	Exemption de la taxe fédérale sur les carburants pour le biodiesel et les carburants mélangés	En cours	Gouvernement fédéral	(Charrière & Zhang, 2014)

Nom de la politique	Date	Objectifs	Secteurs ciblés	Instruments de politique de mise en œuvre	Durée	Participation des parties prenantes	Référence
Crédit d'impôt sur l'éthanol au Québec	2005	Promouvoir la production d'éthanol	Transport	Crédit d'impôt remboursable pour la production d'éthanol	En cours	Gouvernement provincial, producteurs d'éthanol	(Charrière & Zhang, 2014)
Fonds pour l'éthanol en Ontario	2005	Soutenir la production d'éthanol	Transport	Aide financière aux installations de production d'éthanol	En cours	Gouvernement provincial, producteurs d'éthanol	(Charrière & Zhang, 2014)
Remise de taxe sur le biodiesel au Québec	2006	Encourager l'utilisation du biodiesel	Transport	Remboursement de taxe pour les achats majeurs de biodiesel	En cours	Gouvernement provincial, producteurs de biodiesel	(Charrière & Zhang, 2014)
Initiative technologique ÉcoÉNERGIE	2007	Financer la R-D dans les technologies d'énergie renouvelable	Recherche et développement	Financement pour les technologies d'énergie renouvelable, y compris la biomasse	2007-2011	Gouvernement fédéral, institutions de recherche	(Charrière & Zhang, 2014)
Fonds pour l'infrastructure verte	2009	Soutenir les projets de développement durable	Plusieurs secteurs	Financement des projets de développement durable, y compris la bioénergie	En cours	Gouvernement fédéral, multiples parties prenantes	(Charrière & Zhang, 2014)
Règlements sur les carburants renouvelables du Canada	2010	Augmenter la teneur en carburant renouvelable dans l'essence et le diesel	Transport	Exigences minimales de teneur en carburant renouvelable	2010-2015	Gouvernement fédéral, producteurs de carburant	(Charrière & Zhang, 2014)
Modifications aux règlements sur	2011	Ajuster les exigences en matière de teneur en carburant renouvelable	Transport	Établir des exigences et des exemptions	En cours	Gouvernement fédéral,	(Charrière & Zhang, 2014)

Nom de la politique	Date	Objectifs	Secteurs ciblés	Instruments de politique de mise en œuvre	Durée	Participation des parties prenantes	Référence
les carburants renouvelables						producteurs de carburant	
Taxe sur le carbone en Colombie	2012	Réduire les émissions de gaz à effet de serre	Plusieurs secteurs	Introduction d'une taxe sur le carbone	En cours	Gouvernement fédéral, entreprises	(Charrière & Zhang, 2014)
Projet pilote de conversion du carbone par les algues	2013	Réduire les émissions de GES grâce à la technologie des algues	Recherche et développement	Démonstration de la technologie pour convertir le CO ₂ en produits commerciaux	2013-2018	Gouvernement fédéral, institutions de recherche	(Charrière & Zhang, 2014)
Approche pancanadienne pour la tarification de la pollution par le carbone	2016	<i>Benchmark</i> fédéral pour les systèmes de tarification du carbone	Plusieurs secteurs	Établir des systèmes de tarification du carbone dans les provinces et territoires	En cours	Gouvernements fédéral et provinciaux	(International Energy Agency, 2022)
<i>Build Smart</i>	2017	Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments	Secteur du bâtiment	Stratégie pour améliorer l'efficacité énergétique	2017-2022	Gouvernement fédéral, secteur du bâtiment	(International Energy Agency, 2022)
Décarbonation de la production de pétrole et de gaz en amont	2018	Réduire les émissions de méthane dans le secteur pétrolier et gazier	Secteur pétrolier et gazier	Introduction de réglementations pour la réduction du méthane	2018-2025	Gouvernement fédéral, entreprises pétrolières et gazières	(International Energy Agency, 2022)
Feuille de route pour les petits réacteurs modulaires	2018	Développer des petits réacteurs modulaires	Secteur de l'énergie	Identifier le potentiel et plan d'action pour les PRM	2018-2023	Gouvernement fédéral, entreprises énergétiques	(International Energy Agency, 2022)
Groupe de travail sur la transition juste pour les	2018	Soutenir la transition vers une énergie propre	Secteur de l'énergie	Analyse sexospécifique et autonomisation	En cours	Gouvernement fédéral, groupes autochtones	(International Energy Agency, 2022)

Nom de la politique	Date	Objectifs	Secteurs ciblés	Instruments de politique de mise en œuvre	Durée	Participation des parties prenantes	Référence
travailleurs des centrales au charbon				des groupes autochtones			
Stratégie de l'hydrogène pour le Canada	2020	Positionner le Canada comme fournisseur mondial d'hydrogène	Secteur de l'énergie	Stimuler l'investissement et les partenariats dans l'hydrogène	2020-2030	Gouvernement fédéral, secteur privé, investisseurs	(International Energy Agency, 2022)

1.2 Évaluation de l'efficacité des politiques dans la réduction des émissions de GES

Le Canada figure parmi les 10 plus grands émetteurs mondiaux de gaz à effet de serre (GES) ; le secteur industriel du pays contribue à hauteur de 39 % des émissions nationales, bien au-dessus de la moyenne mondiale de 30 % pour les émissions industrielles (Talaei et al., 2020). En particulier, les émissions du secteur industriel canadien ont augmenté d'environ 32 % entre 1990 et 2017, et les projections suggèrent qu'elles pourraient presque doubler d'ici 2050 en l'absence d'instruments de politique d'atténuation supplémentaires (Talaei et al., 2020). L'industrie pétrolière et gazière ainsi que le secteur minier figurent parmi les principaux contributeurs à ces émissions de GES (Talaei et al., 2020). Par conséquent, s'attaquer aux émissions industrielles par le biais de politiques efficaces en matière de bioénergie, tout en analysant leur efficacité, est essentiel pour que le Canada respecte ses engagements climatiques nationaux et internationaux.

Les politiques canadiennes en matière de bioénergie peuvent jouer un rôle central dans la stratégie du pays visant à réduire les émissions de GES. Des politiques telles que les réglementations sur le changement de carburant, les initiatives de taxe sur le carbone dans des provinces comme la Colombie-Britannique, et les *Clean Air Regulations* du Québec ont encouragé les industries à passer de combustibles à forte émission, comme le charbon, à des sources d'énergie plus propres telles que les biocarburants et le gaz naturel (Talaei et al., 2020). Ces réglementations ont contribué à la réduction de l'utilisation de combustibles intensifs en carbone, participant à la diminution des émissions de GES dans des secteurs clés. Par exemple, la taxe carbone de la Colombie-Britannique

a offert des incitations financières aux industries pour adopter des sources d'énergie renouvelable, y compris la bioénergie, dans le cadre des efforts plus larges de décarbonation de la province (Wang et al., 2020).

Cependant, comme mentionné précédemment, malgré le potentiel de la bioénergie et des politiques qui lui sont associées, plusieurs défis persistent. La croissance continue de l'activité industrielle et la dépendance à des procédés à forte intensité carbone, en particulier dans l'extraction des sables bitumineux, constituent des obstacles majeurs à l'atteinte des objectifs nationaux de réduction des GES (Talaie et al., 2020). L'implication du Canada dans des accords climatiques mondiaux, tels que l'Accord de Paris, souligne encore davantage l'urgence et l'importance d'intensifier les efforts de réduction des émissions pour atteindre les objectifs climatiques nationaux et mondiaux (Butnar et al., 2020).

1.2.1 Le rôle des politiques de bioénergie dans la réduction des émissions de GES au Canada

La bioénergie possède un potentiel significatif pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), principalement en remplaçant des carburants plus intensifs en carbone, comme le charbon et le pétrole (Butnar et al., 2020). Dans les secteurs industriels et la production d'électricité, la bioénergie est devenue un outil clé pour décarboner les systèmes énergétiques (Butnar et al., 2020). En augmentant l'utilisation de la bioénergie dans des domaines importants tels que le transport, l'industrie et l'électricité, les politiques canadiennes en matière de bioénergie contribuent à la transition vers des sources d'énergie à faible teneur en carbone (Butnar et al., 2020).

Le succès des politiques de bioénergie est étroitement lié aux cadres réglementaires et au soutien financier. Dans des provinces comme la Colombie-Britannique, des politiques telles que la norme sur les carburants à faible teneur en carbone (Low Carbon Fuel Standard, LCFS) et les exigences en matière de contenu renouvelable dans les carburants visent à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à augmenter la production de bioénergie (Wang et al., 2020). De plus, les avancées technologiques, notamment l'intégration de la bioénergie avec la capture et le stockage de carbone (BECCS), renforcent le potentiel de la bioénergie à réduire significativement les émissions de GES (Butnar et al., 2020).

La production durable de biomasse, essentielle au succès à long terme de la bioénergie, nécessite des politiques internationales cohérentes et une participation au commerce mondial de la biomasse

afin de maximiser la contribution de la bioénergie aux objectifs climatiques tout en minimisant ses impacts environnementaux (Wang et al., 2020).

1.2.2 Défis liés à l'adoption de la bioénergie

Malgré les impacts positifs de la bioénergie, plusieurs défis subsistent. L'un des principaux obstacles est l'écart financier entre la bioénergie et les combustibles fossiles. Ces derniers, en particulier le diesel, continuent de dominer dans des secteurs tels que la production d'énergie dans les zones éloignées et hors réseau en raison de leurs avantages en matière de coûts (Wang et al., 2020). En plus des obstacles financiers, la dépendance continue aux procédés industriels à forte intensité carbone, en particulier dans les secteurs pétrolier et gazier, freine les progrès vers des réductions significatives des émissions de GES.

Par ailleurs, bien que la bioénergie ait le potentiel de remplacer les carburants fossiles, des avancées technologiques et des instruments de politique externes, telles que les taxes sur le carbone, sont nécessaires pour résoudre le problème de l'écart de coût et rendre la bioénergie plus concurrentielle (Wang et al., 2020). Par conséquent, il est essentiel d'évaluer l'efficacité et le succès des politiques en matière de bioénergie ainsi que de leurs composantes dans le cadre des processus futurs d'élaboration de politiques.

1.3 Définition des termes clés

Dans cette section, les termes clés liés aux politiques de bioénergie et aux émissions de gaz à effet de serre (GES) sont définis pour garantir la clarté et la cohérence tout au long de la recherche.

Politique : Une politique peut être comprise comme « un cadre structuré qui intègre des variables endogènes (objectifs) et exogènes (instruments) pour atteindre des objectifs sociétaux spécifiques » (Semboja & Hafidh, 2024, p. 368).

Politique publique : Un ensemble de décisions interreliées prises par un acteur politique ou un groupe d'acteurs concernant la sélection d'objectifs et les instruments de politique pour les atteindre dans une situation donnée où ces décisions devraient, en principe, être réalisables par ces acteurs (Howlett et al., 2020).

Bioénergie : La bioénergie désigne l'énergie produite à partir de matériaux organiques, aussi appelés biomasse. Ces matériaux peuvent inclure les résidus forestiers, agricoles, les déchets

alimentaires ou municipaux. Selon l'IEA Bioenergy (2009), « la bioénergie peut contribuer de manière significative aux objectifs politiques, tels que la réduction des émissions de CO₂ et la sécurité énergétique, ainsi qu'aux objectifs de développement social et économique » (p. 15). Elle est souvent considérée comme une source d'énergie durable, car elle valorise les déchets organiques et peut remplacer les combustibles fossiles.

Instruments de politique : Les instruments de politique désignent les méthodes identifiables par lesquelles l'action collective est structurée pour répondre à un problème public. Ils incluent notamment « des mandats réglementaires, des incitations économiques, des subventions, des contrats et la fourniture directe de biens et services par le gouvernement » (Salamon, 2002, p. 19).

Typologies de politiques : Elles classifient les politiques en fonction de leur conception et de leurs effets prévus. Les catégories courantes incluent les politiques distributives, qui allouent des ressources, les politiques redistributives, qui réaffectent des ressources, les politiques réglementaires, qui imposent des restrictions ou des mandats, et les politiques basées sur le marché, qui utilisent des incitations économiques pour atteindre des objectifs (Lowi, 1972).

Efficacité des politiques : L'efficacité d'une politique désigne la mesure selon laquelle une activité atteint ses objectifs prévus. L'instrument le plus efficace est celui qui permet de manière la plus fiable de faire en sorte qu'une action publique atteigne ses objectifs » (Dunn, 2011, p. 322).

Émissions de gaz à effet de serre (GES) : Les émissions de gaz à effet de serre sont des gaz libérés dans l'atmosphère qui retiennent la chaleur, provoquant une augmentation de la température de la Terre et contribuant au changement climatique (Weisser, 2007). Ces gaz incluent le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). Chaque gaz a une capacité différente à retenir la chaleur par rapport au CO₂. Par exemple, le méthane retient 23 fois plus de chaleur que le CO₂, et le protoxyde d'azote en retient 296 fois plus (Weisser, 2007).

Incitations : Les gouvernements utilisent souvent des instruments de politique dans le cadre de leurs stratégies pour atteindre leurs objectifs. Selon la situation et leur volonté d'utiliser la coercition, ils peuvent privilégier les incitations plutôt que des instruments de politique plus coercitifs comme les réglementations pour encourager les comportements souhaités de la part du public ou d'autres parties prenantes (Bali et al., 2021, p.300). Les incitations peuvent inclure des avantages financiers et non financiers.

Avantages financiers : Désignent les incitations monétaires directes, telles que les subventions, les subventions, les incitations fiscales ou les paiements directs, visant à encourager des comportements ou actions spécifiques. Ces outils influencent la prise de décision en réduisant les coûts ou en augmentant les rendements des activités (Bali et al., 2021, p. 300).

Avantages non financiers : Englobent un large éventail d'incitations ou de soutiens non monétaires, tels que des avantages réglementaires, l'accès à des programmes spéciaux ou un traitement privilégié dans des processus spécifiques. Bien que ces avantages n'impliquent pas de transactions financières directes, ils apportent une valeur significative aux bénéficiaires (Bali et al., 2021, pp. 298–299).

Bioénergie avec capture et stockage de carbone (BECCS) : La technologie BECCS (bioénergie avec captage et stockage du carbone) combine la production de bioénergie avec la capture et le stockage du CO₂, ce qui permet de générer des émissions négatives. Elle est considérée comme un élément central des trajectoires de décarbonation profonde compatibles avec l'Accord de Paris. Comme le précisent Butnar et al. (2020, p. 1).

Norme sur les combustibles à faible teneur en carbone (LCFS) : En Colombie-Britannique, la norme sur les combustibles à faible teneur en carbone est une réglementation exigeant qu'un certain pourcentage de carburants renouvelables soit mélangé à l'essence et au diesel pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). Actuellement, cette norme exige au moins 5 % de carburant renouvelable dans l'essence et 4 % dans le diesel. D'ici 2030, ces proportions devraient passer à 20 % pour l'essence et le diesel et à 15 % pour le gaz naturel renouvelable, favorisant ainsi des options plus propres comme les biocarburants, qui sont meilleurs pour l'environnement (Wang et al., 2020, p.7).

Production durable de biomasse : Désigne l'exploitation de la biomasse, comme le bois et les résidus agricoles, de manière à protéger l'environnement. Cela implique une gestion responsable des forêts, en veillant à ce qu'une quantité limitée soit exploitée et que de nouveaux arbres soient plantés. Cela permet de produire de la bioénergie tout en maintenant la santé des forêts et en préservant la nature (Wang et al., 2020, p.8).

Innovations en technologies vertes (ITV) : Désignent les avancées visant à réduire l'impact environnemental, en particulier en diminuant les émissions de carbone grâce à des solutions

énergétiques propres et efficaces. Elles sont essentielles pour produire une énergie plus propre et réduire l'utilisation de sources d'énergie nuisibles (Habiba et al., 2022, p. 1083).

Utilisation des énergies renouvelables (UER) : Désigne l'utilisation d'énergies provenant de sources naturelles telles que le vent, le soleil et l'eau, qui n'endommagent pas l'environnement. Cela joue un rôle clé dans la réduction de la pollution et des émissions de carbone, contribuant ainsi à la protection de la planète (Habiba et al., 2022, p. 1084).

Ces termes serviront de base pour l'analyse menée dans les chapitres suivants. Une compréhension claire de ces définitions est essentielle pour évaluer les politiques de bioénergie et analyser leur efficacité dans la réduction des émissions de GES.

Chapitre 2 : Problématique

2.1 Introduction au problème

Les efforts continus du Canada pour réduire les émissions de GES sont essentiels au respect de ses engagements nationaux et internationaux en matière de climat, surtout si l'on considère son statut de l'un des principaux émetteurs de GES au monde. Le secteur industriel représente 39 % des émissions nationales, ce qui dépasse de loin la moyenne mondiale (Talaie et al., 2020). Au cours des deux dernières décennies, le Canada a été confronté à d'importants défis dans ses efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Malgré de nombreuses initiatives, plusieurs études indiquent que ces efforts n'ont pas permis de réduire les émissions. Par exemple, Talaie et al. (2020) soulignent que, bien que le secteur industriel du Canada ait connu une augmentation de l'activité et de la production économiques, ce qui a entraîné une augmentation de 26 % des émissions de gaz à effet de serre de 1990 à 2014, des efforts importants ont également été déployés pour atténuer ces émissions au moyen de diverses stratégies. Malgré ces efforts, la tendance mondiale a continué de montrer une augmentation des émissions, avec peu de preuves d'une évolution significative vers des services à faible émission de carbone et à zéro carbone dans tous les secteurs (Lamb et al., 2021).

De plus, au Canada, le secteur des systèmes énergétiques a connu des réductions graduelles des émissions entre 2010 et 2018, principalement en raison de l'amélioration de l'efficacité énergétique et d'une transition vers des sources d'énergie plus propres. Cette tendance reflète une tendance plus large observée dans les régions développées, où les émissions se sont stabilisées ou ont légèrement diminué, principalement en raison des efforts politiques visant à décarboner la production d'énergie (Lamb et al., 2021). Cependant, malgré ces développements positifs, Lamb et al. (2021) soulignent que les progrès globaux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre au Canada ont été limités, les émissions mondiales continuant d'augmenter et atteignant leurs niveaux les plus élevés en 2018.

De 2005 à 2022, le Canada a réussi à réduire ses émissions de GES de 7,1 %, ce qui équivaut à une réduction de 54 mégatonnes (Mt) d'équivalent de dioxyde de carbone (équivalent CO₂). Cependant, les émissions totales de 1990 à 2022 ont augmenté de 16,5 %, en grande partie en

raison d'augmentations importantes des émissions provenant des secteurs du pétrole et du gaz, des transports et de l'agriculture (Environnement et Changement climatique Canada, 2024). Le Graphique 1, illustre ces tendances, montrant les émissions de gaz à effet de serre au Canada de 1990 à 2022 (Wang et al., 2020).

Dans ce contexte, il est évident que ces efforts n'ont pas été suffisamment fructueux malgré l'accent mis sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre comme objectif principal des politiques canadiennes en matière de bioénergie. Ce chapitre identifie les principaux enjeux entourant la mise en œuvre et le succès des politiques en matière de bioénergie au Canada, en mettant l'accent sur les lacunes dans la conception des politiques, le soutien réglementaire et les incitatifs financiers qui entravent les progrès vers l'atteinte des objectifs climatiques.

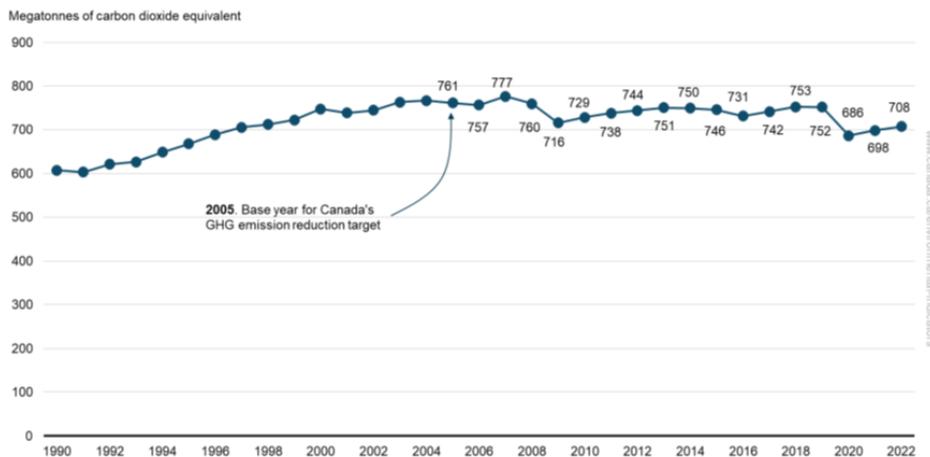


Figure 1 : Émissions de gaz à effet de serre au Canada de 1990 à 2022

(Environnement and Climate Change Canada, 2024)

2.2 Les défis des politiques actuelles en matière de bioénergie

Dans la présente section, l'accent est mis sur l'explication des défis généraux de la politique en matière de bioénergie au Canada et dans d'autres pays. Cela aidera à comprendre la raison principale et le problème qui inspirent cette étude.

Le secteur de la bioénergie au Canada et dans d'autres pays est confronté à d'importantes lacunes politiques qui entravent son développement, en particulier pour les communautés autochtones et dans le cadre réglementaire plus large (Zurba et Bullock, 2020). Il existe plusieurs défis différents, allant des lacunes dans les connaissances aux obstacles financiers, en passant par les

préoccupations environnementales, les problèmes d'accès aux marchés et les incohérences des cadres réglementaires.

L'un des défis les plus importants au Canada est lié aux communautés autochtones qui font face à de nombreux obstacles qui les empêchent de participer pleinement au secteur de la bioénergie. L'un des principaux défis est le manque de connaissances et d'expertise technique sur les technologies de la bioénergie, ce qui rend difficile pour les dirigeants et les communautés autochtones de s'engager de manière significative dans le développement de la bioénergie (Zurba et Bullock, 2020). En fait, sans formation ni éducation spécialisée, ils ne peuvent pas évaluer les projets de bioénergie, prendre des décisions éclairées ou établir des entreprises durables. Des programmes éducatifs et des partenariats complets sont nécessaires pour doter les communautés autochtones des compétences et des connaissances nécessaires afin de surmonter ces lacunes (Zurba et Bullock, 2020).

Les préoccupations environnementales sont un autre problème qui mérite d'être pris en compte (Zurba et Bullock, 2020). La surexploitation de la biomasse forestière pourrait dégrader les écosystèmes, affectant la flore, la faune et les sources d'eau. Les politiques actuelles en matière de bioénergie ne parviennent pas à trouver un équilibre adéquat entre les avantages économiques et la durabilité écologique, ce qui met les communautés autochtones en danger (Zurba et Bullock, 2020). Selon Zurba et Bullock (2020), il est nécessaire d'adopter des politiques qui favorisent la récolte responsable de la biomasse et la gestion forestière afin de s'assurer que le développement de la bioénergie ne compromet pas la santé environnementale à long terme.

L'un des principaux freins au développement de la bioénergie au Canada est l'incohérence réglementaire entre provinces, qui impose des exigences techniques différentes selon les juridictions, compliquant la mise en œuvre et augmentant les coûts pour les promoteurs (Menghwani et al., 2023). De plus, les incitatifs financiers restent limités face à la concurrentialité des combustibles fossiles, restreignant la bioénergie aux régions éloignées sans alternatives moins coûteuses. Même lorsque du financement est disponible, son inadéquation avec les besoins des communautés peut entraîner une utilisation inefficace des ressources, notamment en consultant des experts externes au détriment des acteurs locaux. Un soutien accru à l'expertise locale et à la gouvernance communautaire est donc recommandé. À cela s'ajoutent des contraintes logistiques dans les zones isolées, liées à l'approvisionnement en biomasse et à la maintenance technologique,

que les politiques actuelles ne prennent pas suffisamment en compte. Enfin, le manque d'investissements à long terme et de coordination intersectorielle, en particulier avec les secteurs agricole et forestier, limite l'inclusion des petits producteurs dans la chaîne de valeur, freinant un développement plus durable (Menghwani et al., 2023 ; Proskurina et Vakkilainen, 2024).

2.3 Défis à relever pour atteindre les cibles de réduction des GES

Dans cette section, l'accent sera mis sur les défis spécifiquement liés aux politiques bioénergétiques, notamment ceux concernant l'atteinte des cibles de réduction des GES. En se concentrant sur ces défis, le problème principal et l'objectif de ce mémoire seront rendus plus clairs. Les difficultés rencontrées dans la mise en œuvre de politiques de bioénergie visant à réduire les émissions de GES au Canada seront explorées plus en détail.

L'un des obstacles majeurs à l'atteinte des cibles de réduction des GES réside dans le manque de coordination entre les niveaux de gouvernement, où les politiques municipales, provinciales et fédérales sont souvent mal alignées, générant des objectifs contradictoires et une inefficacité dans la mise en œuvre (Dale et al., 2020). À cela s'ajoutent l'instabilité politique, les changements de leadership menant fréquemment à l'abandon ou à la révision des plans climatiques précédents, ce qui nuit à la continuité des actions, comme observé en Colombie-Britannique. Les ressources limitées, tant financières qu'humaines, freinent particulièrement les petites collectivités, qui peinent à adopter des solutions énergétiques avancées ou à moderniser leurs infrastructures. Par ailleurs, la lenteur des transformations institutionnelles est incompatible avec l'urgence climatique, les progrès restant marginaux malgré les engagements pris dans des accords comme celui de Paris. Enfin, la résistance du public constitue un frein important : le manque d'adhésion aux politiques visant à modifier les comportements individuels (transport, énergie, urbanisme) limite considérablement leur efficacité (Dale et al., 2020).

Un autre enjeu majeur de la réduction des émissions de GES est le manque d'investissements dans la recherche et le développement (R-D) des technologies d'énergie renouvelable. Hailemariam et al. (2022) expliquent que les niveaux actuels d'investissement en R-D ne sont pas suffisants pour atteindre les objectifs de réduction des GES des grands pays. Sans plus d'investissements, il est difficile de réaliser les progrès technologiques nécessaires pour remplacer les carburants fossiles par des sources d'énergie plus propres. La relation complexe entre le développement des énergies renouvelables et les émissions de GES rend également difficile la mesure de l'impact complet de

la R-D sur les réductions d'émissions, ce qui complique l'élaboration des politiques (Hailemariam et al., 2022).

Au Canada, les émissions de GES de l'industrie du gaz naturel, en particulier les fuites de méthane et les évacuations incontrôlées lors d'incidents de pipeline, posent un autre problème. Lu et al. (2023) notent que le méthane, un puissant gaz à effet de serre avec un potentiel de réchauffement beaucoup plus élevé que le dioxyde de carbone, est souvent libéré lors de ces événements, mais ces émissions ne sont pas toujours comptabilisées dans les rapports officiels. En raison de cet écart, il est difficile pour le Canada d'évaluer pleinement ses émissions totales de GES provenant du secteur du gaz naturel, ce qui complique les efforts de réduction des émissions.

À ce problème s'ajoute le manque de données sur les cas de pipelines, surtout avant 2008. Ainsi, Lu et al. (2023) mentionnent que de nombreux documents de la base de données de la Régie de l'énergie du Canada ne contiennent pas de renseignements clés, comme la quantité de gaz naturel déversée lors d'incidents. Il est donc difficile d'estimer les émissions avec précision. En l'absence de données fiables, il devient plus difficile d'établir une base de référence claire pour réduire les émissions, ce qui augmente la difficulté de la planification d'actions climatiques efficaces.

En examinant les défis actuels des politiques canadiennes en matière de bioénergie visant à réduire les émissions de GES, la nécessité d'analyser l'efficacité des politiques devient plus évidente. La section suivante est un résumé d'études antérieures qui tentent de déterminer l'efficacité de la politique bioénergétique de réduction des GES.

2.4 Revue de la littérature sur l'efficacité des politiques de bioénergie en réduction des GES

La présente section se concentre sur l'analyse des études qui ont évalué l'efficacité des politiques de bioénergie dans la réduction des émissions de GES et sur la détermination des lacunes dans les recherches existantes. Ces lacunes mettent en évidence la nécessité de la présente étude, qui vise à offrir une évaluation plus structurée et détaillée des politiques en matière de bioénergie, en particulier pour comprendre les principaux éléments qui contribuent à la réduction des GES au Canada.

Plusieurs études ont examiné le rapport coût-efficacité et le succès global de divers instruments politiques visant à promouvoir la bioénergie et à réduire les émissions de GES. Schmidt et al. (2011) ont évalué les politiques de bioénergie en Autriche, en se concentrant sur des instruments

tels que les taxes sur le carbone, les obligations de mélange de biocarburants et les tarifs de rachat. Ils ont utilisé un modèle explicite pour découvrir l'efficacité de ces politiques, en tenant compte des futures technologies de bioénergie comme les biocarburants de deuxième génération et la bioénergie avec capture et stockage du carbone (BECCS). Leurs conclusions ont indiqué qu'une taxe sur le carbone était l'option la plus rentable pour réduire les émissions de GES et remplacer les combustibles fossiles lorsque le BECCS n'était pas disponible. En revanche, les obligations de mélange de biocarburants se sont avérées coûteuses et moins efficaces que les instruments basés sur le marché comme les taxes sur le carbone (Schmidt et al., 2011).

Suttles et al. (2014), aux États-Unis et en Europe, ont comparé l'efficacité des normes de portefeuille d'énergies renouvelables (RPS) et des normes de carburants renouvelables (RFS) dans la réduction des émissions de GES. Leur étude a démontré que les politiques RPS, qui imposent une part plus élevée d'énergie renouvelable dans la production d'électricité, ont eu un impact plus important sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) que les mandats sur les biocarburants. La réduction la plus importante est attribuée à la forte intensité en carbone du charbon, couramment utilisé dans la production d'électricité, par rapport au pétrole dans les carburants de transport. Suttles et al. (2014) ont souligné que la substitution de l'électricité à base de biomasse au charbon réduisait considérablement les émissions de GES, tandis que l'impact des biocarburants dans le secteur des transports était relativement plus faible. Cette constatation suggère que les politiques axées sur la production d'électricité ont un plus grand potentiel d'atténuation des GES que celles visant les carburants de transport (Suttles et al., 2014).

Vaillancourt et al. (2019) ont analysé les politiques qui favorisent le mélange accru de biocarburants avec des carburants conventionnels, comme le biodiesel et l'éthanol. Ils ont noté que ces politiques pourraient jouer un rôle crucial dans des secteurs difficiles à décarboner, comme le transport routier et le transport maritime. De plus, ils ont souligné l'importance des instruments de politique de tarification du carbone, comme le marché du carbone du Québec lié à la Californie, qui encourage la transition vers la bioénergie en rendant l'énergie renouvelable plus concurrentielle sur le plan des coûts. Ces stratégies de tarification encouragent les industries à adopter des solutions de bioénergie, soutenant ainsi la transition vers un système énergétique à faibles émissions de carbone (Vaillancourt et al., 2019).

Au Brésil, le programme RENOVABIO, lancé en 2017, a été un moteur clé de la production de bioénergie avec l'objectif d'augmenter la part de la bioénergie dans la matrice énergétique nationale à 18 % d'ici 2030. Lima et al. (2020) ont évalué l'impact de la politique et ont constaté qu'elle avait considérablement stimulé la production d'éthanol et contribué à la réduction des émissions de GES. La politique a également encouragé l'utilisation de véhicules polycarburants, ce qui a permis de réduire les émissions jusqu'à 90 % par rapport aux véhicules à essence. Lima et al. (2020) ont également souligné le rôle des enchères de bioélectricité et des politiques qui renforcent l'environnement de libre contrat pour les projets de bioénergie. Ces instruments de politique encouragent les investissements à long terme dans la bioélectricité, en particulier à partir de la biomasse et du biogaz, ce qui peut réduire davantage les émissions. Le potentiel de la bioélectricité de la canne à sucre, dérivée de la bagasse et de la paille, a également été souligné comme moyen de remplacer les combustibles fossiles dans la production d'électricité (Lima et al., 2020).

Dans une étude de Hailemariam et al. (2022), la recherche et le développement (R-D) dans les technologies d'énergie renouvelable constituent un élément clé de la réduction des émissions de GES. Hailemariam et al. (2022) ont constaté que l'augmentation des investissements publics dans la R-D dans le secteur des énergies renouvelables entraîne des réductions significatives des polluants tels que le CO₂, le CH₄ et d'autres gaz nocifs. Leur étude a révélé qu'une augmentation de 1 % des dépenses de R-D entraînait des diminutions mesurables des émissions, démontrant que les investissements en R-D jouent un rôle essentiel dans la réalisation de la durabilité et la réduction de l'empreinte carbone (Hailemariam et al., 2022). Cela souligne l'importance de donner la priorité au financement de la R-D dans le cadre de politiques environnementales plus larges visant à atteindre la carboneutralité.

Habiba et al. (2022) ont examiné le rôle des innovations en matière de technologies vertes (ITG) et de l'utilisation des énergies renouvelables (UER) dans la réduction des émissions de GES. Leur étude a révélé que les politiques promouvant la GTI réduisaient considérablement les émissions de carbone, en particulier dans des pays comme le Brésil, le Canada, la France et les États-Unis. De même, l'adoption des énergies renouvelables a eu un impact positif sur la réduction des émissions, avec des améliorations notables en Chine, au Brésil, en France et en Afrique du Sud. Ces résultats soulignent l'importance des cadres politiques qui améliorent l'accès aux technologies

vertes et accélèrent l'utilisation des énergies renouvelables pour atteindre les objectifs de réduction des GES (Habiba et al., 2022).

Malgré les précieux renseignements fournis par ces études, plusieurs lacunes importantes subsistent dans la recherche sur les politiques en matière de bioénergie, notamment en ce qui a trait à leur efficacité à réduire les émissions de GES.

Premièrement, bien que des études comme celle de Vaillancourt et al. (2019) aient fourni des informations précieuses sur des aspects spécifiques de la bioénergie, comme la biomasse forestière et le mélange de biocarburants, elles n'englobaient pas toute la gamme des sources de bioénergie ni n'exploraient les impacts interreliés dans des secteurs comme les transports et l'industrie. Ces études se sont principalement concentrées sur des aspects isolés de la bioénergie sans tenir compte du paysage politique plus large, en particulier de la façon dont les multiples sources de bioénergie, telles que la biomasse agricole et la bioénergie à base de déchets, contribuent collectivement à la réduction des GES. Cette limite laisse une lacune dans la compréhension de l'efficacité globale des politiques sur la bioénergie au Canada.

Deuxièmement, bien que Suttles et al. (2014) aient fourni une analyse comparative approfondie des politiques en matière de bioénergie aux États-Unis et en Europe, il n'existe pas d'études exhaustives similaires portant spécifiquement sur les politiques canadiennes en matière de bioénergie à l'échelle nationale. Une grande partie de la littérature existante, comme l'étude de Vaillancourt et al. (2019), s'est concentrée sur certaines régions, comme le Québec, ce qui a limité l'applicabilité des résultats à l'ensemble du pays. L'orientation géographique de ces études limite la compréhension de l'efficacité des politiques de bioénergie au niveau fédéral, ce qui rend difficile l'évaluation de l'alignement des politiques régionales sur les objectifs climatiques nationaux. Cette lacune souligne la nécessité d'une recherche qui adopte une perspective nationale, en analysant les politiques en matière de bioénergie à l'échelle du Canada sans se limiter à des provinces en particulier.

De plus, Hailemariam et al. (2022) se sont concentrés sur l'impact des investissements en recherche et développement (R-D) sur la réduction des émissions des technologies d'énergie renouvelable. Bien que la R-D soit importante pour stimuler l'innovation dans les technologies de la bioénergie et qu'elle soit l'un des facteurs à prendre en compte dans la présente étude, d'autres éléments stratégiques tout aussi importants méritent une analyse détaillée. Il s'agit notamment de

la longévité et de la stabilité des politiques, qui évaluent la cohérence et la pérennité des politiques en matière de bioénergie au fil du temps, et des subventions et incitations financières, qui examinent le rôle du soutien financier dans la promotion des projets de bioénergie et leur réussite. Comprendre comment ces composantes influencent l'efficacité des politiques de bioénergie en réduisant les émissions de GES est essentiel pour élaborer des stratégies plus complètes et plus percutantes.

Enfin, une autre étude de Jordaan et al. (2017) a fourni un examen systématique du système d'innovation en technologies énergétiques du Canada, notamment en ce qui concerne les instruments de politique de financement et les tendances en matière d'investissement. Cependant, leur étude s'est appuyée principalement sur des méthodes qualitatives, qui peuvent ne pas saisir les relations complexes entre les instruments de politique et les résultats en matière de GES. L'absence d'analyses quantitatives détaillées dans ces études limite la capacité d'évaluer l'efficacité réelle de diverses politiques en matière de bioénergie. Pour y remédier, la présente étude effectue cette recherche de manière quantitative, en proposant une analyse de l'impact des politiques bioénergétiques sur la réduction des GES.

En comblant ces lacunes, cette étude vise à fournir une évaluation complète des politiques canadiennes en matière de bioénergie, en offrant une perspective plus large qui comprend de multiples sources de bioénergie et une portée nationale. Cette approche fournira des informations précieuses aux décideurs, ce qui les aidera à concevoir des politiques plus efficaces en matière de bioénergie à l'avenir.

Le tableau suivant présente un résumé des principales études qui ont analysé l'efficacité de diverses politiques en matière de bioénergie dans la réduction des émissions de GES dans différentes régions et divers pays.

Tableau 2 : Aperçu des principales études sur l'efficacité des politiques en matière de bioénergie

Auteurs (Année)	Région/Pays	Politiques/programmes	Résultats
Schmidt et al., (2011)	Autriche	Taxe carbone, mélange de biocarburants, tarifs de rachat	La taxe sur le carbone est la politique la plus rentable pour réduire les GES ; les obligations de mélange de biocarburants sont coûteuses et moins efficaces.
Suttles et al., (2014)	États-Unis et Europe	Renewable Portfolio Standards (RPS), mandats de biocarburants	Les politiques RPS ont un impact plus important sur la réduction des émissions de CO ₂ que les mandats sur les biocarburants, en particulier dans la production d'électricité à partir de la biomasse.
Vaillancourt et al., (2019)	Québec, Californie	Mélange de biocarburants, tarification du carbone	Les politiques de mélange de biocarburants jouent un rôle crucial dans les secteurs difficiles à décarboner ; les instruments de politique de tarification du carbone rendent les énergies renouvelables plus concurrentielles.
Lima et al., (2020)	Brésil	Programme RENOVABIO, production d'éthanol, politiques de bioélectricité	Le programme RENOVABIO permet d'augmenter considérablement la production d'éthanol, réduisant ainsi les émissions de GES ; la bioélectricité produite à partir de la canne à sucre est cruciale pour remplacer les combustibles fossiles.
Hailemariam et al., (2022)	Global	R-D dans les technologies d'énergie renouvelable	Une augmentation de 1 % des dépenses en R-D entraîne des diminutions mesurables du CO ₂ et d'autres polluants, ce qui démontre l'importance de la R-D pour la réduction des émissions de GES.
Habiba et al., (2022)	Brésil, Canada, France, États-Unis, Chine, Afrique du Sud	R-D dans les technologies d'énergie renouvelable	Les politiques promouvant la GTI et la REU réduisent considérablement les émissions de carbone, en particulier dans des pays clés comme le Brésil, le Canada, la France et la Chine.

2.5 Objectifs de recherche

Cette étude évalue la corrélation entre les composantes de la politique de bioénergie et l'efficacité des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre au cours des deux dernières décennies. À l'aide du Cadre d'analyse stratégique globale des biocarburants (CBPAF), elle vise à identifier les politiques les plus efficaces pour réduire les émissions de carbone et à découvrir l'importance et l'effet des composantes de la politique sur la bioénergie relativement à l'efficacité des politiques de réduction des GES, fournissant ainsi des informations exploitables pour l'élaboration de politiques futures. Les objectifs spécifiques de l'étude sont les suivants.

1. Évaluer l'efficacité de certaines politiques canadiennes en matière de bioénergie dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre en attribuant des notes à deux aspects différents. Premièrement, les éléments de politique dans les politiques mises en œuvre entre 2000 et 2020. Deuxièmement, les résultats stratégiques et l'efficacité de la réduction des GES qui aident à déterminer les facteurs ayant le plus contribué à la réduction des gaz à effet de serre.
2. Fournir des informations sur la corrélation entre les instruments de politique les plus efficaces et les politiques les plus efficaces qui peuvent guider l'élaboration des politiques futures. L'étude identifiera les politiques qui ont eu l'impact le plus significatif sur la réduction des émissions de GES afin de comprendre quels éléments de la politique ou quelle combinaison de ces éléments ont eu le plus d'influence sur l'efficacité des politiques de réduction des GES en matière de bioénergie. Les résultats de cette recherche seront utiles pour améliorer la conception des futures politiques en matière de bioénergie et seront une source de considération pour les décideurs en matière de bioénergie afin d'aider le Canada à atteindre ses objectifs climatiques plus efficacement. Pour répondre aux objectifs de la recherche, cette recherche comporte les questions suivantes :

Tableau 3 : Questions de recherche spécifiques

Questions de recherche spécifiques	
<p>Q1</p> <p>Quelle est la corrélation entre les principales composantes de la bioénergie et l'efficacité des politiques canadiennes en matière de bioénergie dans la réduction des émissions de GES ?</p>	<p>Q2</p> <p>Quelles ont été les politiques les plus efficaces pour réduire les émissions de gaz à effet de serre au cours des deux dernières décennies ?</p>

Pour répondre aux objectifs de cette étude, nous formulons les hypothèses suivantes, qui seront confirmées ou infirmées par l'analyse statistique réalisée dans ce mémoire :

H1 : « Il existe une corrélation positive et significative entre les principales composantes des politiques de bioénergie (longévité, instruments de politique réglementaires, financement de la R-D et incitations financières) et leur efficacité à réduire les émissions de GES au Canada. »

H2 : « Certaines politiques canadiennes spécifiques de bioénergie mises en œuvre entre 2000 et 2020 se distinguent clairement par une efficacité supérieure aux autres pour réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre. »

Chapitre 3 : Méthodologie de la recherche

Ce chapitre décrit la méthodologie de recherche utilisée dans cette étude. Il détaille le type de recherche menée, les stratégies de collecte de données utilisées et le cadre d'analyse appliqué, dont le système de notation, et mentionne les instruments de politique pris pour assurer la validité et la fiabilité des résultats.

3.1 Approche de recherche

La présente étude adopte une combinaison d'approches de recherche qualitatives et quantitatives, en utilisant le Cadre d'analyse stratégique globale des biocarburants (CBPAF) pour évaluer l'efficacité des facteurs de la politique canadienne en matière de bioénergie dans la réduction des émissions de GES. Les corrélations observées indiquent des associations, mais ne prouvent pas qu'un composant spécifique cause directement des réductions de GES ; il s'agit plutôt de déterminer les corrélations et l'importance des divers éléments de la politique bioénergétique et leur efficacité dans la réduction des GES.

D'une part, le CBPAF est présenté comme une nouvelle approche systématique de l'évaluation des politiques en matière de biocarburants (Usmani et al., 2023). En réponse à l'utilisation mondiale croissante des biocarburants et à la nécessité de politiques de soutien, le CBPAF vise à fournir des informations sur l'efficacité des politiques en matière de biocarburants dans les principaux pays producteurs (Usmani et al., 2023). Ce cadre est conçu pour analyser systématiquement divers éléments politiques et leur impact combiné sur la croissance et la durabilité de l'industrie des biocarburants (Usmani et al., 2023). Cette étude voudrait faire la même analyse pour déterminer l'impact des composantes politiques sur la réduction des GES.

D'autre part, le cadre méthodologique de cette étude s'aligne sur le modèle conceptuel proposé par Kwakye et al. (2024), qui met l'accent sur l'intégration d'incitations financières, d'instruments de politique réglementaires et de prise de décisions participatives pour optimiser les résultats en matière de bioénergie. Cette étude répondra à la question de savoir si l'intégration des composantes politiques est corrélée à l'efficacité des politiques. À l'aide des deux questions de recherche mentionnées précédemment, cette étude permet d'énumérer les facteurs politiques les plus efficaces dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de déterminer quel élément politique (ou combinaison d'éléments) pourrait être le plus efficace dans la réduction des émissions

de GES. Les politiques examinées dans cette étude utilisent un mélange d'instruments de politique réglementaires et orientés vers le marché, par exemple en créant des objectifs en matière d'énergie renouvelable ou en offrant des incitations financières. Bien que la recherche ne classe pas systématiquement ces approches en typologies politiques distinctes, la littérature plus large fournit des cadres qui aident à les contextualiser. Salamon (2002), par exemple, décrit divers instruments politiques, notamment les mandats réglementaires, les incitations économiques, les programmes volontaires et l'action gouvernementale directe, tandis que Lowi (1972) différencie les politiques en catégories distributives ou réglementaires.

Plutôt que de s'en tenir strictement à une typologie unique, cette recherche privilégie une perspective axée sur les résultats, en se concentrant sur l'efficacité de chaque politique à réduire les émissions de GES. Des paramètres tels que les réductions d'émissions et les impacts documentés ont préséance sur les classifications politiques officielles, mettant ainsi l'accent sur les résultats concrets plutôt que sur la catégorisation théorique.

De plus, il est essentiel de noter que cette théorie est entièrement nouvelle, et l'application de cette méthode dans la présente étude augmente sa valeur, fournissant aux futurs chercheurs un cadre précieux sur lequel s'appuyer.

3.2 Politiques incluses dans l'analyse

Le tableau ci-dessous présente plusieurs politiques en matière de bioénergie des deux dernières décennies, qui se concentrent principalement sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Celles-ci ont été identifiées à partir d'une liste initiale de vingt politiques en matière de bioénergie (dans le tableau 1 du chapitre 1), mais ont été réduites en fonction de critères spécifiques. Les critères sont énumérés ci-dessous.

- Les politiques qui ne portaient que sur la bioénergie ont été exclues afin de maintenir leur pertinence pour les efforts de réduction des émissions du Canada, et l'accent est mis sur les politiques dont l'objectif principal est la réduction des GES.
- Les politiques devaient inclure des rapports accessibles au public sur leurs objectifs et leurs résultats en matière de GES.

Il est à noter qu'il existe également une politique provinciale (le crédit d'impôt du Québec pour l'éthanol) qui sera analysée séparément dans une étude de cas. Le tableau 4 contient les politiques

sélectionnées avec leur date, leurs instruments de politique de mise en œuvre et leurs résultats attendus.

Tableau 4 : Politiques canadiennes en matière de bioénergie ayant pour objectif commun de réduire les émissions de gaz à effet de serre

Nom du Plan	Date	Description	Instruments de politique de mise en œuvre	Résultats attendus
Canada's Action Plan 2000 on Climate Change	2000	Vise la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans divers secteurs et stimule la production d'éthanol.	Cadres réglementaires et instruments de politique incitatifs sectoriels pour l'éthanol.	Réduction multisectorielle des émissions de gaz à effet de serre.
2003 Canadian Federal Budget	2003	Accorde une exonération de la taxe d'accise fédérale sur le carburant pour le biodiesel.	Les exonérations fiscales visent les producteurs de biodiesel.	Augmentation de l'utilisation et de la production de biodiesel, réduction des émissions de gaz à effet de serre.
Quebec Ethanol Tax Credit	2005	Offre un crédit d'impôt remboursable pour la production d'éthanol.	Incitations fiscales pour les producteurs d'éthanol.	Augmentation de la production d'éthanol, remplaçant les carburants à plus forte intensité de carbone.
Eco-ENERGY Technology Initiative	2007	Soutient la R-D dans les technologies d'énergie renouvelable, y compris la biomasse.	R-D, subventions et financements.	Progrès dans les technologies d'énergie plus propre réduisant les émissions de gaz à effet de serre.
Green Infrastructure Fund	2009	Financer des projets de développement durable, y compris la bioénergie.	Financement de projets d'infrastructure.	Facilite les projets de bioénergie qui contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.
Canada's Renewable	2010	Imposer une teneur minimale en carburant	Mandats obligatoires de contenu renouvelable	Réduction directe de l'utilisation des combustibles fossiles,

Nom du Plan	Date	Description	Instruments de politique de mise en œuvre	Résultats attendus
Fuels Regulations		renouvelable dans l'essence et le diesel.	pour les producteurs de carburant.	diminuant ainsi les émissions de gaz à effet de serre.
Amendments to the Renewable Fuels Regulations	2011	Établit les exigences et les exemptions relatives à la teneur en carburant renouvelable.	Les mandats modifiés offrent de la flexibilité aux producteurs de carburant.	Optimisation des réductions des émissions de gaz à effet de serre grâce à une réglementation plus précise sur la teneur en carburant.
Pan-Canadian Approach to Pricing Carbon Pollution	2016	Instaure une tarification du carbone de référence à l'échelle nationale.	Mise en œuvre d'une tarification du carbone à l'échelle nationale.	Favorise la réduction des processus à forte intensité de carbone, en améliorant l'utilisation des énergies renouvelables.
Hydrogen Strategy for Canada	2020	Vise à faire du Canada un chef de file mondial de l'hydrogène en stimulant les investissements et les partenariats.	Investissements stratégiques et partenariats sectoriels.	Réduction significative des émissions de gaz à effet de serre grâce à l'augmentation de la production et de l'utilisation de l'hydrogène.

3.3 Collecte de données

Cette étude utilise une approche systématique et exhaustive de collecte de données pour recueillir des renseignements pertinents sur certaines politiques canadiennes en matière de bioénergie au cours des deux dernières décennies, en mettant l'accent sur leur rôle dans la réduction des émissions de GES. Le processus de collecte de données a été divisé en deux phases principales : (1) un examen complet des documents politiques et de la littérature pour déterminer les politiques pertinentes, et (2) la collecte de données sur les résultats des politiques. Afin de constituer un

corpus représentatif de politiques canadiennes en bioénergie, un échantillon de 20 cas a été retenu, couvrant la période de 2000 à 2020. Le choix de cette période repose sur la montée des enjeux liés aux changements climatiques et à la transition énergétique au Canada.

Les cas ont été sélectionnés selon trois critères principaux :

1. Lien direct avec la bioénergie (production, réglementation, incitatifs ou innovation) ;
2. Représentation de différents niveaux de gouvernement et régions (fédéral et provinces) ;
3. Disponibilité des données suffisantes pour être évalués selon les composantes méthodologiques établies (longévité, instruments, financement, incitatifs).

La recherche documentaire a été menée à partir de plusieurs bases de données académiques (par exemple, Google Scholar), ainsi que des sites institutionnels tels que ceux de Ressources naturelles Canada, Environnement et Changement climatique Canada, et des rapports d'évaluation de l'Office de vérification du Canada.

Le nombre de 20 cas a été déterminé pour maintenir un équilibre entre la profondeur qualitative de l'analyse et la faisabilité du codage manuel, compte tenu du cadre d'un mémoire de maîtrise. Bien qu'un échantillon plus large puisse renforcer la robustesse statistique, l'objectif exploratoire de cette étude justifie le choix d'un échantillon réduit, mais ciblé.

3.3.1 Identification des stratégies sélectionnées

La première phase de la collecte de données a consisté à effectuer un examen exhaustif afin de dresser et de classer une liste des politiques en matière de bioénergie au Canada au cours des deux dernières décennies. Le tableau 1 (dans le premier chapitre) est un résumé de cette revue, énumérant vingt politiques en matière de bioénergie sur vingt ans. Cette étape était cruciale pour broser un tableau du paysage de la bioénergie. Un examen approfondi des documents de politique, des articles universitaires, des rapports gouvernementaux et des publications de l'industrie a été entrepris. Pour s'assurer que toutes les politiques pertinentes étaient incluses, une recherche documentaire ciblée a été effectuée à l'aide de mots-clés tels que :

La bioénergie au Canada

Système de bioénergie

Gouvernance de la bioénergie

Politique en matière de bioénergie

Théories gouvernementales dans le système bioénergétique

Le gouvernement et la bioénergie

Ces mots-clés ont été choisis pour saisir un large éventail de documents sur les politiques en matière de bioénergie au Canada. Des recherches ont été effectuées dans plusieurs bases de données universitaires (y compris Google Scholar) et de sources gouvernementales, en particulier le Portail de données ouvertes du gouvernement du Canada et les rapports de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

3.3.2 Collecte de rapports et de résultats sur les politiques sélectionnées

La deuxième phase a été concentrée sur la collecte de données quantitatives et qualitatives sur les définitions et les résultats des politiques sélectionnées mentionnées dans le tableau 4, il s'agissait de recueillir des informations sur l'efficacité de chaque politique dans l'atteinte des objectifs de GES. Les sources de données sont énumérées ci-dessous.

Le Portail de données ouvertes du gouvernement du Canada fournit des ensembles de données accessibles au public sur les émissions de GES, la production d'énergie et les politiques environnementales.

Les bases de données universitaires (Google Scholar) proposent des articles évalués par des pairs et des études de recherche sur les impacts des politiques.

Les rapports de l'AIE comprennent des analyses de la politique énergétique du Canada et des tendances en matière d'émissions de GES.

3.4 Cadre d'analyse des données

Dans cette partie, le cadre et le système de notation pour les composantes des politiques et l'évaluation de l'efficacité des politiques seront expliqués en détail. Il convient toutefois de préciser que la grille utilisée dans ce cadre n'a pas fait l'objet d'une validation interjuges formelle, une pratique souvent recommandée pour assurer une objectivité maximale dans les évaluations

qualitatives. Cette absence de validation interjuges peut entraîner une certaine marge de subjectivité inhérente à toute évaluation qualitative. Cependant, le soin apporté à l'application rigoureuse et systématique des critères détaillés réduit sensiblement cette marge potentielle d'erreur. Bien que cela constitue une limite méthodologique mineure, elle ne remet pas en cause la pertinence des résultats obtenus ni leur utilité exploratoire. Des recherches futures pourraient compléter cette approche par une validation interjuges formelle afin d'affiner davantage la robustesse des résultats obtenus. L'indice utilisé dans cette étude est additif, car il repose sur la somme des scores attribués à quatre composantes clés : la longévité, les instruments réglementaires, le financement de la recherche et des technologies, et les incitations financières. Chaque composante est pondérée de manière égale, ce qui reflète l'hypothèse méthodologique selon laquelle toutes ces dimensions contribuent de façon équilibrée à l'efficacité globale d'une politique de bioénergie. Ce choix repose sur une approche exploratoire, souvent retenue lorsque l'on ne dispose pas de données empiriques suffisantes ou d'un consensus scientifique clair pour justifier une pondération différenciée. Cette méthode permet d'agréger les composantes de manière simple, transparente et reproductible. Une logique similaire est présente dans les travaux de Charrière et Zhang (2014), qui utilisent une grille d'évaluation standardisée avec pondération uniforme pour comparer différentes politiques publiques. De même, Hochwald et al. (2023) proposent une méthode de codification des instruments politiques sans hiérarchisation explicite, appuyant l'idée qu'en contexte exploratoire, la pondération égale reste une solution méthodologiquement valide.

3.4.1 Critères de notation pour l'évaluation des composantes de politique

Un ensemble de critères de notation est établi pour chaque composante afin de définir l'échelle de 0 à 10 et les conditions qui justifient chaque plage de score. Trois grandes catégories se dégagent en fonction du score total.

Soutien élevé : 28 à 40

Soutien modéré : 14 à 27

Soutien faible : 0 à 13

3.4.1.1 Durée et stabilité de la politique

Cette mesure examine depuis combien de temps une politique est en place et dans quelle mesure elle reste stable, en corrélation avec le potentiel d'effets à long terme de la politique sur les émissions de GES. La politique la plus stable en matière de bioénergie au Canada a persisté pendant environ neuf ans, tandis que la politique la moins stable n'a duré que peu de temps (Charrière et Zhang, 2014 ; Agence internationale de l'énergie, 2022).

Score : 0-2 : <3 ans, changements/annulations fréquents

Score : 3-5 : 3 à 5 ans, stabilité modérée

Score : 6-8 : 5 à 7 ans, engagement fort à long terme

Score : 9-10 : >7 ans, stabilité significative, pas de changements majeurs

3.4.1.2 Instruments de politique de soutien réglementaire

Ce facteur permet d'estimer l'étendue de la couverture d'une politique pour les secteurs à forte intensité de GES (transports, pétrole et gaz, industrie lourde, agriculture, bâtiments, etc.).

Selon Environnement et Changement climatique Canada (2024), les émissions totales de GES en 2022 sont de ~708 Mt d'équivalent CO₂, réparties comme suit.

Pétrole et gaz : 31 % (~217 Mt CO₂ eq)

Transport : 22 % (~156 Mt CO₂ eq)

Industrie lourde : 11 % (~78 Mt CO₂ eq)

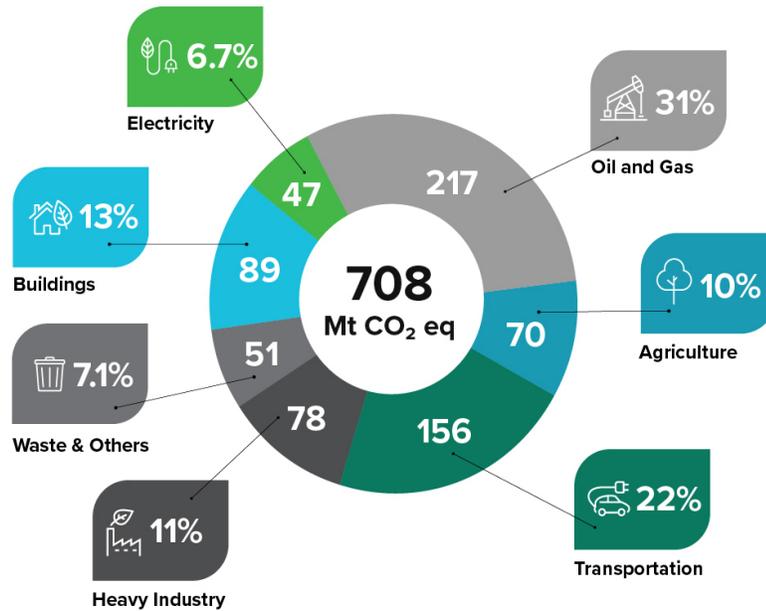
Bâtiments : 13 % (~89 Mt CO₂ eq)

Agriculture : 10 % (~70 Mt CO₂ eq)

Électricité : 6,7 % (~47 Mt CO₂ eq)

Déchets et autres : 7,1 % (~51 Mt CO₂ eq)

Canada's GHG Emissions by Economic Sector (2022)



* National Inventory Report 1990-2022: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada

Figure 2 : Rapport d'inventaire national 1990-2022 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada

Source : Environment and Climate Change Canada. Greenhouse gas emissions. Government of Canada. <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/environmental-indicators/greenhouse-gas-emissions.html> accessed on September 2024

La couverture historique variait de moins de 20 % à près de 87 % des émissions totales (Charrière et Zhang, 2014 ; Agence internationale de l'énergie, 2022).

- 0-2 (score : 0-2) : Couvre <20 % des émissions totales, faible application de la loi
- 3 à 5 (score : 3 à 5) : Couvre 21 à 40 % des émissions totales, application modérée
- 6 à 8 (score : 6 à 8) : Couvre 41 à 70 % des émissions totales, application stricte
- 9-10 (score : 9-10) : Couvre >71 % des émissions totales, application rigoureuse

3.4.1.3 Financement de la recherche et du développement (R-D)

Le financement de la R-D est évalué en fonction du montant total alloué en dollars canadiens (CAD). Historiquement, les budgets de R-D du Canada dans le domaine de la bioénergie ont varié d'environ 32 millions de dollars canadiens pour les petits projets à 795 millions de dollars canadiens pour les grandes initiatives (Charrière et Zhang, 2014 ; Agence internationale de l'énergie, 2022).

0 à 2 (score : 0 à 2) : jusqu'à 100 millions de dollars canadiens

3 à 5 (Valeur : 3 à 5) : 101 à 300 millions de dollars canadiens

6 à 8 (score : 6 à 8) : 301 à 600 millions de dollars canadiens

9 à 10 (score : 9 à 10) : Plus de 600 millions de dollars canadiens

3.4.1.4 Subventions et incitatifs financiers

La force des subventions et des incitatifs financiers est évaluée par le financement total (CAD). L'Agence internationale de l'énergie (2022) a identifié un engagement global de 100 milliards de dollars canadiens pour les politiques d'énergie propre comme l'un des instruments de politique de soutien les plus importants, tandis que des incitations aussi faibles que 10 millions de dollars canadiens ont été considérées comme relativement à petite échelle (Charrière et Zhang, 2014).

0 à 2 (score : 0 à 2) : moins de 10 millions de dollars canadiens

3 à 5 (score : 3 à 5) : 10 à 100 millions de dollars canadiens

6 à 8 (Score : 6 à 8) : 100 millions à 10 milliards de dollars canadiens

9 à 10 (Score : 9 à 10) : Plus de 10 milliards de dollars canadiens

Tableau 5 : Tableau de notation des composantes de la politique

Paramètre	Score : 0-2	Score : 3-5	Score : 6-8	Score : 9-10
1. Durée et stabilité de la politique	Moins de 3 ans, modifications ou annulations fréquentes	3-5 ans, stabilité modérée	5-7 ans, un engagement fort sur le long terme	Plus de 7 ans, stabilité significative, pas de changements majeurs
2. Instruments de politique de soutien réglementaire	Moins de 20 % des émissions totales, faible application de la loi	21 % à 40 % des émissions totales, application modérée	41 % à 70 % des émissions totales, application stricte	Plus de 71 % des émissions totales, application rigoureuse de la loi
3. Financement de la recherche et du développement (CAD)	Jusqu'à 100 millions CAD	101 millions CAD - 300 millions CAD	301 millions CAD - 600 millions CAD	Plus de 600 millions de dollars canadiens
4. Subventions et incitatifs financiers (CAD)	Moins de 10 millions CAD	10 millions CAD - 100 millions CAD	100 millions CAD - 10 milliards CAD	Plus de 10 milliards de dollars canadiens

Les scores attribués aux différentes politiques sur une échelle de **0 à 10** ont été établis selon une grille de codification structurée permettant une comparaison standardisée entre les cas. Chaque composante (longévité, instruments réglementaires, financement, incitations) a été évaluée en fonction de **critères qualitatifs et quantitatifs** définis à partir des travaux de Charrière & Zhang (2014) et de Hochwald et al. (2023).

Un **score de 0** représente l'absence totale de la composante.

Un **score de 5** indique une présence modérée ou limitée, souvent partielle.

Un **score de 10** correspond à une présence forte, structurée, avec une mise en œuvre active et des résultats documentés.

Les **seuils intermédiaires (1 à 4 ; 6 à 9)** ont été utilisés pour capter les nuances selon l'intensité, la durée ou la portée des actions.

Concernant les dépenses financières (ex. : financement de la R-D ou incitations fiscales), les montants ont été rapportés sur une période de 20 ans (2000-2020). Toutefois, aucun ajustement pour l'inflation n'a été appliqué, en raison de l'absence de données uniformes sur les années exactes de décaissement dans la majorité des documents gouvernementaux. Ce choix a été maintenu pour assurer la comparabilité relative entre les politiques, tout en reconnaissant cette limite méthodologique.

Le Tableau 5 est une adaptation partielle d'une structure de codification inspirée de Hochwald et al. (2023), modifiée pour correspondre aux objectifs et à la structure du présent mémoire. Il présente la répartition des politiques en trois catégories selon leur score total global :

Élevé (26-40 points) : politiques ayant des composantes fortement développées.

Modéré (13-25 points) : politiques partiellement structurées ou déséquilibrées.

Faible (0-12 points) : politiques peu cohérentes ou très limitées dans leur portée.

3.4.2 Critères de notation pour l'évaluation de l'efficacité des politiques

L'efficacité des politiques de bioénergie est liée à leur capacité à réduire les émissions de GES (Schmidt et al., 2011). Cette étude utilise un modèle de notation complet qui fusionne à la fois des évaluations qualitatives des résultats des politiques (tirées de rapports officiels) et des données quantitatives sur les émissions de GES. Cela permet d'utiliser des instruments de politique normalisés pour classer les politiques en fonction de leur succès relatif en matière de réduction des GES et de distinguer les plus performantes.

3.4.2.1 Score d'efficacité qualitatif (SEQ)

La méthodologie du score d'efficacité qualitatif (SEQ) est créée sur les principes décrits dans l'étude de Halevi Hochwald et al. (2023), qui mettent l'accent sur l'intégration d'informations qualitatives avec des instruments de politique quantitatifs pour améliorer la validité et la transparence. La méthodologie améliorée du SEQ tient compte de la subjectivité potentielle en utilisant un cadre de notation bien défini, soutenu par des preuves contextuelles et une validation croisée avec des données quantitatives. Le SEQ utilise une échelle de 1 à 10 de style Likert.

8-10 (très efficace) : Libellé indiquant un succès important, mesurable et largement reconnu (p. ex., « contribué à la réduction des émissions », « conformité élevée »).

5-7 (efficacité modérée) : Succès mitigé ou limité (p. ex., « a contribué aux réductions », « efficacité partielle »).

2-4 (efficacité faible) : Impact minimal, défis notables (p. ex., « insuffisant pour freiner la hausse », « progrès modestes »).

0-1 (aucune efficacité) : Peu ou pas de succès mesurable (p. ex., « n'a pas donné les résultats escomptés », « aucune donnée à évaluer »).

Des descripteurs qualitatifs sont associés à chaque score, ce qui garantit la cohérence. Ceux-ci sont ensuite validés par rapport à des instruments de politique quantitatifs pour une fiabilité accrue. De plus, les modèles de notation et les évaluations finales ont été entièrement validés par un expert de l'administration publique, ce qui garantit la fiabilité et la crédibilité du cadre analytique utilisé dans cette étude.

3.4.2.2 Score quantitatif d'émissions de GES (SQEG)

Une mesure quantitative parallèle (SQEG) est utilisée pour saisir l'impact mesurable de chaque politique sur les émissions de GES du Canada. Plus précisément, les changements dans les émissions nationales font l'objet d'un suivi pendant cinq ans après la mise en œuvre de la politique, conformément à la recommandation d'Allen et Hammond (2019). Lorsque les politiques plus récentes (comme la Stratégie canadienne pour l'hydrogène de 2020) ne disposent pas d'un registre complet de cinq ans, une période plus courte est utilisée. L'échelle de notation est délibérément non linéaire (0, 1, 3, 5) afin de refléter l'effort plus important requis pour obtenir des réductions d'émissions plus importantes.

D'après les données historiques du gouvernement du Canada, les seuils de pourcentage pour la notation ont été conçus pour saisir les différences significatives par rapport aux tendances typiques des émissions. Pour déterminer l'effet de chaque politique sur les émissions, la formule suivante est appliquée.

Variation en pourcentage = $([\text{Émissions finales} - \text{Émissions initiales}] \div \text{Émissions initiales}) \times 100$

Eq.1

Ce pourcentage représente la réduction des GES, et les résultats seront classés selon quatre niveaux d'impact.

Ces seuils ont été choisis pour représenter des réductions particulièrement importantes dans le contexte canadien, en veillant à ce que les politiques les mieux notées reflètent des réalisations plus percutantes ou moins courantes en matière de réduction des GES.

Impact élevé (5 points) ≥ 3 % de réduction sur cinq ans

Une réduction de 3 % ou plus des émissions sur cinq ans est considérée comme une réalisation substantielle, car de telles baisses sont historiquement rares et suggèrent des instruments de politique particulièrement efficaces ou des facteurs externes influents. Par exemple, seules quelques périodes, comme 2005-2010 (-4,20 %), 2007-2012 (-4,25 %) et 2015-2020 (-8,04 %), ont connu des réductions supérieures à 3 %.

Impact modéré (3 points), 1 % à 3 % de réduction

Les réductions d'émissions dans cette fourchette indiquent des progrès significatifs au-delà des fluctuations normales, mais peuvent ne pas signifier de changements à grande échelle. C'est le cas, par exemple, de la période 2006-2011 (-2,51 %), qui met en évidence un succès modéré dans la réduction des émissions au cours de cette période.

Impact faible (1 point), réduction de 0,1 % à 1 %

De telles diminutions suggèrent généralement un impact minime, ce qui peut refléter des influences politiques mineures ou une variabilité naturelle. Par exemple, la période de 2011 à 2016 (-0,95 %) entre dans cette catégorie, démontrant une amélioration légère, mais mesurable.

Pas d'impact (0 point), pas de réduction ou d'augmentation

Les périodes sans réduction mesurable ou qui montrent une augmentation des émissions suggèrent que les politiques ont été inefficaces ou éclipsées par d'autres facteurs. Historiquement, sur plusieurs périodes de cinq ans (en particulier dans les années 1990 et au début des années 2000), les émissions ont eu tendance à augmenter, ce qui souligne les défis résidant dans le fait qu'il est difficile d'inverser ces tendances.

3.4.3 Score final d'efficacité des politiques (SFEP)

Le score total de chaque politique est déterminé en combinant son score d'efficacité qualitative (QES) et son score quantitatif d'émissions de GES (QGES) au moyen d'une moyenne pondérée. Spécifiquement :

$$\text{Score total} = (p_{\text{SEQ}} \times \text{SEQ}) + (p_{\text{SQEG}} \times \text{SQEG}) \quad \text{Eq.2}$$

Ici, dans et P_{SEQ} P_{SQEG} ; **P** représente le poids attribué aux instruments de politique qualitatifs et quantitatifs, respectivement. Dans cette étude, chacun se voit attribuer une pondération égale de 0,5, ce qui garantit que les évaluations qualitatives et les données réelles sur les émissions ont le même niveau d'importance pour déterminer l'efficacité globale d'une politique.

Les politiques ont été classées en fonction de leur score total afin de déterminer leur efficacité relative ;

Très efficace : score total de 7 à 10 points.

Efficacité modérée : score total de 4 à 6 points.

Moins efficace : score total de 1 à 3 points

3.4.4 Corrélation du rang de Spearman pour les analyses finales

Pour trouver le résultat de cette étude, la méthode des coefficients de corrélation du rang de Spearman sera utilisée pour déterminer la relation entre les scores des composantes de la politique et les scores de résultats. Le coefficient de corrélation du rang de Spearman est une mesure non paramétrique qui quantifie la force et la direction d'une relation monotone entre deux variables (Schober et al., 2018). La méthode Spearman fonctionne avec des données ordinales ou des données continues non distribuées normalement. Elle évalue la corrélation en classant les valeurs de chaque variable, puis calcule la corrélation de ces rangs (Schober et al., 2018). Cela la rend forte contre les valeurs aberrantes et adaptée aux données qui ont une tendance constante à la hausse ou à la baisse sans nécessiter une forme linéaire (Schober et al., 2018). Plusieurs études utilisent cette méthode pour déterminer la relation entre deux variables. Par exemple, l'objectif de l'étude intitulée « Une mesure de l'impact de la motivation des employés sur la performance de

l'équipe multiculturelle à l'aide du coefficient de rang Spearman » d'Okpala (2020) était d'examiner comment la motivation des employés affecte la performance des équipes multiculturelles. L'étude visait à déterminer s'il existe une relation significative entre la motivation et la performance de l'équipe dans un contexte culturel diversifié et à explorer des stratégies de motivation qui pourraient influencer la performance. Cela peut être une source d'inspiration pour cette étude d'utiliser la même méthode d'analyse.

Il existe une liste de conditions qui doivent être remplies et respectées si une étude souhaite utiliser le coefficient de corrélation du rang de Spearman ; sur la base de l'étude (Schober et al., 2018), les critères sont mentionnés ci-dessous.

Les deux variables doivent avoir une relation monotone, c'est-à-dire qu'à mesure qu'une variable augmente, l'autre augmente ou diminue constamment (mais pas nécessairement de manière linéaire). Il convient de mentionner que même si la relation devrait être monotone, certains petits écarts par rapport à la monotonie sont acceptables, car la transformation du rang de Spearman se concentre sur la tendance générale plutôt que sur la valeur exacte.

Les deux variables peuvent être continues ou ordinales. La corrélation de Spearman est spécialement conçue pour gérer des données ordinales ou des variables classées.

Bien que des valeurs aberrantes puissent exister dans l'ensemble de données, la transformation du rang de Spearman le rend relativement robuste contre leur influence.

Les données doivent être classables, car Spearman travaille en remplaçant les valeurs des variables par leurs rangs.

Chaque paire de variables doit être mesurée indépendamment des autres paires (c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'instruments de politique répétés sur les mêmes sujets sans ajustements appropriés).

3.4.5 Étude de cas : Analyse du crédit d'impôt variable du Québec pour la production d'éthanol

« Une étude de cas peut être définie comme une étude intensive d'une personne, d'un groupe de personnes ou d'une unité, dont l'objectif est de généraliser à travers plusieurs unités. Il s'agit d'une investigation systématique et approfondie d'un individu, d'un groupe, d'une communauté ou d'une

autre unité, où le chercheur analyse en profondeur des données liées à plusieurs variables. Les études de cas permettent ainsi d'examiner des phénomènes complexes dans leur contexte naturel afin d'en augmenter la compréhension » (Heale & Twycross, 2018, p. 7). Étant donné que le crédit d'impôt variable du Québec pour la production d'éthanol (2005) est une politique régionale unique au Québec, il sera analysé séparément à titre d'étude de cas dans le cadre de cette recherche. En examinant cette politique de manière indépendante, l'étude peut évaluer ses impacts et ses répercussions régionaux uniques, en particulier dans le contexte provincial. Cette analyse ciblée est pertinente, car la recherche est située au Québec, ce qui permet d'examiner une politique qui affecte directement le paysage bioénergétique de la province. Cette approche permet de comprendre les contributions du Québec quant à la politique de bioénergie et aux efforts de réduction des gaz à effet de serre à l'échelle provinciale sans confondre ses résultats avec les initiatives à l'échelle nationale.

Dans le chapitre suivant, le modèle de notation présenté dans le chapitre actuel sera appliqué.

Chapitre 4 : Application de la notation des politiques en bioénergie

Le présent chapitre a pour but d'appliquer le modèle de notation élaboré au chapitre 3 afin d'évaluer et de comparer systématiquement l'efficacité des politiques canadiennes en matière de bioénergie (mentionnées au tableau 4) en matière d'émissions de GES. Le présent chapitre vise à déterminer s'il existe des éléments de politique – tels que la longévité, le soutien réglementaire, le financement de la recherche et du développement (R-D) et les incitatifs financiers – qui sont les plus fortement associés à des réductions d'émissions réussies ou s'il est nécessaire de combiner tous les éléments de politique pour obtenir les résultats escomptés.

Pour ce faire, chaque politique est analysée en fonction de sa structure et de ses composantes spécifiques, qui sont ensuite comparées à l'efficacité observée des politiques sur la base des rapports concernant les politiques et des données sur les émissions de GES. En appliquant un modèle de notation structuré, cette analyse fournit une mesure quantifiable de l'efficacité de chaque politique, permettant d'établir des comparaisons significatives entre les politiques.

4.1 Évaluation des composantes de la politique

Dans cette partie, les composantes de la politique seront évaluées à la lumière de la méthodologie mentionnée au chapitre 3.

4.1.1 Canada's Action Plan 2000 on Climate Change

Score : 25

Le Plan d'action 2000 sur les changements climatiques du Canada obtient un score global de 25. Sa longévité et sa stabilité sont notées à 5, en raison d'un engagement financier substantiel de 1,1 milliard de dollars sur une période de cinq ans, démontrant une volonté gouvernementale claire de soutenir des mesures climatiques dès le début des années 2000 (Gouvernement du Canada, 2000). Les instruments de politique de réglementation reçoivent un score élevé de 9, car le plan cible directement les secteurs responsables de plus de 90 % des émissions nationales de gaz à effet de serre (GES), ce qui témoigne d'une approche stratégique de grande portée (Gouvernement du Canada, 2000). En matière de financement de la recherche et du développement (R-D), le programme consacre 260 millions de dollars à des initiatives d'innovation, ce qui justifie un score

de 5 (Gouvernement du Canada, 2000). Enfin, les subventions et incitatifs sont évalués à 6, avec un montant total de 875 millions de dollars alloués à diverses mesures de soutien, confirmant la diversité et l'ampleur des mécanismes d'appui financier prévus (Gouvernement du Canada, 2000).

4.1.2 Canadian Federal Budget 2003

Score : 12

Le budget fédéral de 2003 reçoit un score global de 12, révélant une approche plus limitée en matière de politique de bioénergie. Sa longévité et stabilité sont notées à 3, car les mesures fiscales proposées, telles que les exemptions, avaient un caractère temporaire (Environnement Canada, 2003). Les instruments de politique de réglementation obtiennent également un score de 3, reflétant un ciblage limité aux biocarburants, principalement le biodiesel et l'éthanol dans le secteur du transport (Charrière et Zhang, 2014). En ce qui concerne le financement de la R-D, le budget prévoit une enveloppe de 250 millions de dollars pour les technologies propres, ce qui justifie un score de 4 (Environnement Canada, 2003). Toutefois, les subventions et incitations sont relativement faibles, avec un score de 2, indiquant un soutien financier modeste destiné à encourager la croissance de la production de bioénergie (Statista, 2023).

4.1.3 Variable Tax Credit for Ethanol (Québec, 2005-2006)

Score : 15

Le crédit d'impôt variable pour l'éthanol mis en œuvre au Québec entre 2005 et 2006 obtient un score total de 15. La longévité et la stabilité de cette politique sont notées à 9, car elle prévoyait une couverture pouvant aller jusqu'à dix ans, offrant ainsi une prévisibilité importante aux acteurs du secteur (Ngo, Halley et Calkins, 2008). En revanche, les instruments de politique de réglementation reçoivent un score de 3, en raison d'une portée limitée, centrée exclusivement sur le secteur des transports sans extension à d'autres domaines (Ngo, Halley et Calkins, 2008). Aucun financement pour la recherche et le développement n'a été identifié dans les sources disponibles, justifiant un score de 0. Enfin, les subventions et incitatifs obtiennent un score de 3, ce qui reflète une allocation budgétaire modérée de 12 millions de dollars canadiens visant à soutenir la production d'éthanol dans la province (Ngo, Halley et Calkins, 2008).

4.1.4 eco-ENERGY Technology Initiative (2007)

Score: 24

L'initiative écoÉNERGIE sur la technologie, lancée en 2007, obtient un score total de 24. Sa longévité est fortement notée, avec un score de 9, en raison de la mise en place d'incitatifs pouvant s'étendre jusqu'à dix ans, offrant ainsi un cadre stable et prévisible pour les investisseurs et les chercheurs (Gouvernement du Canada, 2008 ; Charrière et Zhang, 2014). Les instruments de politique de réglementation reçoivent un score faible de 2, cette initiative étant principalement axée sur le soutien à l'innovation technologique sans obligation réglementaire directe en matière de réduction des GES (Gouvernement du Canada, 2008 ; Charrière et Zhang, 2014). Le financement de la R-D est noté à 5, appuyé par un investissement de 230 millions de dollars canadiens destiné à encourager le développement de technologies énergétiques propres. Enfin, les subventions et incitatifs reçoivent un score élevé de 8, notamment en raison d'un budget de 1,48 milliard de dollars canadiens dédié à des incitatifs pour l'énergie renouvelable (Gouvernement du Canada, 2008 ; Charrière et Zhang, 2014).

4.1.5 Green Infrastructure Fund (2009)

Score : 18

Le Fonds pour l'infrastructure verte, mis en place en 2009, affiche un score global de 18. Il se distingue par une excellente longévité, notée à 10, en raison de sa période d'application s'étendant de 2009 à 2023, ce qui témoigne d'un engagement soutenu dans la durée (Infrastructure Canada, 2016). Toutefois, cette politique ne comprend aucun instrument de réglementation relatif aux GES, ce qui se traduit par un score de 0 sur cet axe. De même, aucun financement réservé à la recherche et au développement n'a été identifié, justifiant également un score nul. En revanche, les subventions et incitatifs sont bien notés, avec un score de 8, du fait de l'effet de levier exercé par des investissements publics et privés considérables dans les projets d'infrastructure soutenus (Infrastructure Canada, 2016).

4.1.6 Canada's Renewable Fuels Regulations (2010)

Score : 30

Le Règlement canadien sur les carburants renouvelables, instauré en 2010, obtient le score le plus élevé parmi les politiques analysées, avec un total de 30. La longévité et la stabilité sont notées à 10, cette politique étant en vigueur de manière continue depuis sa mise en œuvre (Environnement et Changement climatique Canada, 2024). Les instruments réglementaires sont notés à 5, car la politique impose l'intégration obligatoire de carburants renouvelables dans les carburants fossiles, sans mécanisme de renforcement additionnel. Le financement de la R-D est bien évalué, avec un score de 7, en raison de l'allocation de 300 à 450 millions de dollars à l'innovation (Environnement et Changement climatique Canada, 2024). Les subventions et incitatifs reçoivent un score de 8, notamment grâce au soutien du Fonds pour les carburants propres, qui vise à encourager la transition énergétique (Environnement et Changement climatique Canada, 2024).

4.1.7 Amendments to Renewable Fuels Regulations (2011)

Score : 22

Les modifications apportées au Règlement sur les carburants renouvelables en 2011 reçoivent un score total de 22. La longévité est notée à 10, car ces ajustements ont permis de maintenir les mandats relatifs au contenu renouvelable dans les carburants (Gouvernement du Canada, 2011). Les instruments de politique de réglementation sont notés à 4, reflétant un ciblage des émissions dans des secteurs clés. Le financement de la R-D est limité, avec un score de 2, correspondant à une allocation de seulement 10 millions de dollars canadiens (Gouvernement du Canada, 2011). Les subventions et incitatifs obtiennent un score de 6, notamment par l'intermédiaire du programme écoABC qui soutient le développement des installations liées aux biocarburants (Gouvernement du Canada, 2011).

4.1.8 Pan-Canadian Carbon Pricing (2016)

Score: 36

La tarification pancanadienne du carbone, introduite en 2016, obtient un score global de 36, le plus élevé de l'ensemble de l'échantillon. Sa longévité est évaluée à 10, avec plus de sept ans d'application constante, démontrant la stabilité de cette approche (Environnement et Changement climatique Canada, 2021). Les instruments de réglementation reçoivent également un score

maximal de 10, car cette politique couvre plus de 71 % des émissions nationales de GES, ce qui en fait un levier central dans la stratégie climatique canadienne. Le financement de la R-D est noté à 6, ciblant des secteurs comme l'efficacité énergétique et l'agriculture. Les subventions et incitatifs sont notés à 10, notamment grâce au Fonds pour une économie à faibles émissions de carbone, doté de 2 milliards de dollars canadiens (Environnement et Changement climatique Canada, 2021).

4.1.9 Hydrogen Strategy for Canada (2020)

Score: 32

La Stratégie canadienne pour l'hydrogène, lancée en 2020, atteint un score global de 32. Sa longévité est notée à 10, en raison d'une vision de déploiement s'étendant jusqu'en 2050, soulignant une volonté d'engagement à long terme (Ressources naturelles Canada, 2020). Les instruments réglementaires obtiennent un score de 5, car ils s'appuient sur des normes de décarbonation, sans imposer de mesures contraignantes immédiates. Le financement de la R-D est élevé, avec un score de 9, correspondant à un investissement de 600 millions de dollars pour l'innovation dans le domaine de l'hydrogène. Enfin, les subventions et incitatifs reçoivent un score de 8, mettant en évidence plusieurs initiatives de soutien à l'énergie propre (Ressources naturelles Canada, 2020).

Tableau 6 : Sommaire des cotes des politiques climatiques canadiennes en fonction des composantes de la politique

Niveau de soutien	Nom de la politique	Année	Score total
Soutien élevé	Tarification pancanadienne du carbone	2016	36
Soutien élevé	Stratégie canadienne pour l'hydrogène	2020	32
Soutien élevé	Règlement canadien sur les carburants renouvelables	2010	30
Soutien modéré	Plan d'action 2000 sur les changements climatiques	2000	25
Soutien modéré	Initiative écoÉNERGIE sur la technologie	2007	24

Niveau de soutien	Nom de la politique	Année	Score total
Soutien modéré	Modifications au Règlement sur les carburants renouvelables	2011	22
Soutien modéré	Fonds pour l'infrastructure verte	2009	18
Soutien modéré	Crédit d'impôt variable pour l'éthanol (Québec)	2005	15
Faible soutien	Budget fédéral canadien	2003	12

4.2 Évaluation de l'efficacité des politiques

Cette section évalue l'efficacité de huit politiques canadiennes visant les émissions de GES. L'impact de chaque politique a été analysé qualitativement et quantitativement, ce qui a donné lieu à un score composite qui reflète son succès global. Cependant, les résultats provinciaux doivent donc être interprétés dans leur contexte particulier et comparés à des politiques provinciales similaires plutôt qu'à des initiatives fédérales. Par conséquent, l'introduction d'un crédit d'impôt variable pour l'éthanol (Québec) ne sera pas analysée dans cette partie, mais dans une étude de cas. Cette distinction garantit que les évaluations restent justes, contextuellement pertinentes et perspicaces pour la conception de même que la mise en œuvre futures des politiques.

4.2.1 Canada's Action Plan 2000 on Climate Change

Score total: 0,5

Le Plan d'action 2000 visait à réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais il n'a pas permis d'atteindre ses objectifs. En effet, les émissions ont augmenté de 748 à 761 Mt entre 2000 et 2005, soit une hausse de 1,7 %, indiquant l'absence d'impact mesurable. Sur le plan qualitatif, le programme obtient un score de 1, car les documents d'évaluation existants ne fournissent pas de preuve claire d'une stabilité du financement ni d'une stratégie de suivi rigoureuse (Office of the Auditor General of Canada, 2021). La composante quantitative reçoit un score de 0 en raison de l'augmentation des émissions. Le score total de cette politique est donc de 0,5.

4.2.2 Canadian Federal Budget 2003

Score total: 1

Le budget fédéral de 2003 reçoit un score total de 1. Bien qu'il ait introduit des exonérations fiscales pour les carburants renouvelables, l'impact global sur les émissions de GES demeure limité. L'évaluation qualitative accorde un score de 1, car les instruments de politique introduits étaient faibles et non contraignants (Environnement Canada, 2003). Quantitativement, une légère baisse des émissions est observée, passant de 763 à 760 Mt, soit une réduction de 0,4 %, justifiant également un score de 1.

4.2.3 eco-ENERGY Technology Initiative (2007)

Score total: 5

L'initiative écoÉNERGIE sur la technologie obtient un score global de 5, avec des résultats positifs sur les deux volets. L'évaluation qualitative lui attribue un score de 5, soulignant l'encouragement à l'innovation, à l'adoption des énergies renouvelables et aux technologies propres, malgré certains défis opérationnels (Natural Resources Canada, 2007). Du point de vue quantitatif, la politique a contribué à une réduction significative des émissions, qui sont passées de 777 Mt à 744 Mt, soit une diminution de 4,2 %, ce qui justifie un score de 5.

4.2.4 Green Infrastructure Fund (GIF) (2009)

Score total: 0

Le Fonds pour l'infrastructure verte reçoit un score total de 0. L'évaluation qualitative obtient un score de 0, car les résultats mesurables sont limités, les objectifs n'étant pas clairement définis et les données étant insuffisantes pour établir un lien avec les réductions d'émissions (Infrastructure Canada, 2021). Sur le plan quantitatif, les émissions ont augmenté de 716 à 750 Mt (+4,7 %), ce qui indique l'absence d'effet environnemental positif durant la période concernée.

4.2.5 Canada's Renewable Fuels Regulations (2010)

Score total : 4,5

Les Règlements sur les carburants renouvelables obtiennent un score total de 4,5. L'évaluation qualitative est très favorable, avec un score de 9, car la politique a permis des avancées importantes concernant l'introduction de carburants renouvelables dans l'essence et le diesel, bien que des obstacles à la mise en œuvre aient été identifiés (Environment and Climate Change Canada, 2013). En revanche, sur le plan quantitatif, les émissions ont augmenté de 729 à 746 Mt (+2,3 %), ce qui ne permet pas de démontrer un impact mesurable, et justifie un score de 0.

4.2.6 Amendments to Renewable Fuels Regulations (2011)

Score total : 4

Les modifications au règlement sur les carburants renouvelables en 2011 reçoivent un score total de 4. L'évaluation qualitative atteint un score de 7, soulignant une meilleure conformité réglementaire et une contribution modérée à la réduction des émissions (Canada Gazette, 2011). Quantitativement, une légère baisse est observée, les émissions passant de 738 à 731 Mt (-0,9 %), ce qui correspond à un score de 1.

4.2.7 Pan-Canadian Carbon Pricing (2016)

Score total: 7,5

La tarification pancanadienne du carbone est l'une des politiques les plus performantes de l'échantillon, avec un score total de 7,5. Elle obtient un score qualitatif maximal de 10, étant largement reconnue comme un instrument efficace, structurant et novateur pour la réduction des émissions à l'échelle nationale (Environment and Climate Change Canada, 2020). Sur le plan quantitatif, les émissions ont diminué de manière notable, passant de 731 à 698 Mt, soit une réduction de 4,5 %, ce qui lui vaut un score de 5.

4.2.8 Hydrogen Strategy for Canada (2020)

Score total: 3,5

La Stratégie canadienne pour l'hydrogène, bien qu'ambitieuse, obtient un score total de 3,5. L'évaluation qualitative reçoit un score de 7, car elle présente des objectifs à long terme crédibles et identifie des opportunités majeures d'investissement en recherche et développement (Natural Resources Canada, 2020). Toutefois, sa mise en œuvre tardive limite ses effets à court terme. Quantitativement, les émissions ont augmenté de 686 à 708 Mt (+3,2 %), probablement en raison

de la reprise économique post-COVID-19, plutôt que de l'inefficacité directe de la politique. Cette tendance justifie un score de 0.

Tableau 7 : Sommaire des scores des politiques climatiques canadiennes en fonction de l'efficacité

Rang	Politique	Score qualitatif (SEQ)	Score quantitatif (SQEG)	Score total
1	Tarifification pancanadienne du carbone (2016)	10	5	7,5
2	Initiative écoÉNERGIE sur la technologie (2007)	5	5	5,0
2	Règlement canadien sur les carburants renouvelables (2010)	9	0	4,5
4	Modifications au Règlement sur les carburants renouvelables (2011)	7	1	4,0
5	Stratégie canadienne pour l'hydrogène (2020)	7	0	3,5
6	Fonds pour l'infrastructure verte (2009)	0	0	0,0
7	Plan d'action 2000 sur les changements climatiques (2000)	2	0	1,0
8	Budget fédéral canadien (2003)	1	1	1,0

Dans cette section, la méthode de notation des politiques de bioénergie de même que la notation qualitative et quantitative de l'efficacité sont expliquées en détail. La prochaine partie du chapitre sera la dernière section de l'analyse, l'étude de cas sur la politique provinciale et la discussion.

Chapitre 5 : Analyse des résultats et étude de cas

5.1 Analyse des résultats

Dans cette section, nous évaluons la relation entre les composantes des politiques de bioénergie et leur efficacité dans la réduction des émissions de GES. L'analyse suit une approche systématique, en commençant par l'organisation des données originales, suivie d'un classement des politiques en fonction de leur conception et de leur efficacité. Les étapes suivantes consistent à calculer les différences de rang et leurs valeurs au carré, ce qui conduit au calcul du coefficient de corrélation du rang de Spearman.

Étape 1 : Répertoire des données d'origine

Tout d'abord, les notes originales pour les notes totales des composantes (X) et les notes totales d'efficacité (Y) ont été organisées pour chaque politique.

Tableau 8 : Tableau de l'efficacité des politiques

Politique	Note totale de la composante (X)	Score d'efficacité total (Y)
Pan-Canadian Approach to Pricing Carbon Pollution	36	7,5
Hydrogen Strategy for Canada	32	3,5
Canada's Renewable Fuels Regulations	30	4,5
Canada's Action Plan 2000 on Climate Change	25	0,5
Eco-ENERGY Technology Initiative (ETI)	24	5,0
Amendments to the Renewable Fuels Regulations	22	4
Green Infrastructure Fund (GIF)	18	0
Canadian Federal Budget 2003	12	1,0

Étape 2 : Classer les scores totaux des composantes (X) et le score d'efficacité total (Y)

Les politiques ont été classées en fonction de leurs scores totaux, du plus élevé au plus bas. Le score le plus élevé reçoit le rang 1, le score le plus élevé suivant reçoit le rang 2, et ainsi de suite. Les notes totales des composantes sont classées pour déterminer la force relative de la conception de chaque politique, qui sera ensuite comparée à leur efficacité dans la réduction des émissions de GES.

➤ Classement des scores totaux des composantes (X) :

1. Pan-Canadian Approach to Pricing Carbon Pollution (2016) : 36 → Rang 1
2. Hydrogen Strategy for Canada (2020): 32 → Rang 2
3. Canada's Renewable Fuels Regulations (2010): 30 → Rang 3
4. Canada's Action Plan 2000 on Climate Change (2000) : 25 → Rang 4
5. eco-ENERGY Technology Initiative (2007): 24 → Rang 5
6. Amendments to the Renewable Fuels Regulations (2011) : 22 → Rang 6
7. Green Infrastructure Fund (2009): 18 → Rang 7
8. Canadian Federal Budget 2003 : 12 → Rang 8

➤ Classement des scores totaux des composantes (Y) :

1. Pan-Canadian Approach to Pricing Carbon Pollution (2016): 7,5 → Rang 1
2. eco-ENERGY Technology Initiative (2007): 5 → Rang 2
3. Canada's Renewable Fuels Regulations (2010): 4,5 → Rang 3
4. Amendments to the Renewable Fuels Regulations (2011): 4 → Rang 4
5. Hydrogen Strategy for Canada (2020): 3,5 → Rang 5
6. Canadian Federal Budget 2003 : 1 → Rang 6
7. Canada's Action Plan 2000 on Climate Change (2000) : 0,5 → Rang 7
8. Green Infrastructure Fund (2009) : 0 → Rang 8

Étape 3 : Rassembler les rangs dans un tableau

Les classements des deux variables sont compilés dans un seul tableau pour une analyse plus approfondie.

Tableau 9 : Scores finaux pour les deux variables

Politique	Rang X (Rx)	Rang Y (ry)
Pan-Canadian Approach to Pricing Carbon Pollution	1	1
Hydrogen Strategy for Canada	2	5
Canada's Renewable Fuels Regulations	3	3
Canada's Action Plan 2000 on Climate Change	4	7
Eco-ENERGY Technology Initiative	5	2
Amendments to the Renewable Fuels Regulations	6	4
Green Infrastructure Fund (GIF)	7	8
Canadian Federal Budget 2003	8	6

Étape 4 : Calculer les différences et les différences au carré

Les différences entre les rangs ($d = Rx - Ry$, $d = Rx$) et leurs carrés (d^2) ont été calculées comme le montre le tableau 10.

Tableau 10 : Les différences entre les rangs

Politique	Rx	Ry	$d = Rx - Ry$	d^2
Pan-Canadian Approach to Pricing Carbon Pollution	1	1	0	0
Hydrogen Strategy for Canada	2	5	-3	9

Politique	R _x	R _y	d = R _x - R _y	d ²
Canada's Renewable Fuels Regulations	3	3	0	0
Canada's Action Plan 2000 on Climate Change	4	7	-3	9
Eco-ENERGY Technology Initiative (ETI)	5	2	3	9
Amendments to the Renewable Fuels Regulations	6	4	2	4
Green Infrastructure Fund (GIF)	7	8	-1	1
Canadian Federal Budget 2003	8	6	2	4

Étape 5 : Additionner les différences au carré

Le coefficient de corrélation du rang de Spearman quantifie la relation entre la force des composantes de la politique et leur efficacité, ce qui nous permet d'évaluer si une conception plus forte des politiques est corrélée à de meilleurs résultats.

Le coefficient de corrélation du rang de Spearman (r_s) est calculé à l'aide de la formule suivante.

$$\text{➤ } r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{Eq.3}$$

$$\text{➤ } N = \text{Nombre d'observations (politiques)} = 8$$

$$\text{➤ } \sum d^2 = 36$$

$$\text{➤ } r_s = 1 - \frac{6 \times 36}{8(8^2 - 1)} = 1 - \frac{216}{8(63)} = 1 - \frac{216}{504} = 0,5714$$

Étape 6 : Interprétation des résultats

Le coefficient de corrélation du rang de Spearman quantifie la relation entre la robustesse des composantes politiques et leur efficacité, ce qui permet d'évaluer si une conception politique solide est liée à une meilleure réduction des émissions de GES.

Le coefficient calculé ($r_s = 0,5714$) indique une corrélation positive modérée entre les scores totaux des composantes évaluées (longévité, instruments de politique réglementaires, financement de la recherche, incitations financières) et leur efficacité globale. Ce résultat suggère que les politiques ayant un soutien solide à travers plusieurs composantes tendent effectivement à mieux réussir dans la réduction des émissions de GES. Ainsi, conformément à Howlett et al. (2020), une combinaison équilibrée de plusieurs instruments politiques semble cruciale pour maximiser l'efficacité des politiques environnementales.

Toutefois, le niveau de signification statistique associé à ce coefficient ($p = 0,139$) est supérieur au seuil classique de 0,05, ce qui implique que le résultat ne peut être considéré comme statistiquement significatif. Cela est probablement dû à la taille relativement restreinte de l'échantillon analysé (8 politiques seulement), limitant ainsi la puissance statistique nécessaire pour atteindre une significativité stricte. Il serait donc prudent d'interpréter cette corrélation comme une indication préliminaire plutôt qu'une preuve statistiquement robuste.

Le coefficient de détermination ($R^2 = 33\%$) démontre que seulement un tiers de la variance observée dans l'efficacité des politiques peut être expliquée par les composantes évaluées dans cette étude. Ceci souligne également le fait que d'autres variables externes, non prises en compte dans cette analyse, pourraient influencer considérablement l'efficacité finale des politiques étudiées.

Malgré ces limites statistiques, cette corrélation modérée reste pertinente d'un point de vue pratique et exploratoire. En effet, elle confirme la pertinence théorique du cadre d'analyse utilisé et justifie l'importance d'une approche holistique pour la conception des politiques environnementales au Canada.

5.2 Étude de cas d'analyse comparative du crédit d'impôt variable du Québec pour l'éthanol et du Fonds de développement de l'éthanol de l'Ontario

Cette étude de cas porte sur le crédit d'impôt variable du Québec pour l'éthanol et le Fonds de croissance de l'éthanol de l'Ontario, tous deux mis en œuvre en 2005 pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur des transports. Bien que les deux politiques visaient à réduire les émissions de GES, leur conception et leurs résultats différaient considérablement. Cette comparaison évalue comment les différences dans la conception des politiques ont affecté leur efficacité à réduire les émissions de GES, en mettant l'accent sur l'importance d'intégrer des éléments politiques complets pour réussir.

5.2.1 Objectifs de l'étude de cas

Les deux politiques visaient à atténuer les émissions de GES en augmentant l'utilisation de l'éthanol dans le carburant de transport. L'objet de cette analyse est mentionné ci-dessous.

1. Illustrer l'impact positif des deux politiques sur la réduction des GES dans leurs provinces respectives.
2. Valider l'hypothèse selon laquelle la conception d'une politique globale, intégrant les principales composantes de la bioénergie, est corrélée à une plus grande efficacité dans la réduction des GES.

5.2.2 Analyse comparative

Dans cette partie, les composantes et l'efficacité des deux politiques seront évaluées et comparées ensemble en fonction des données disponibles.

5.2.2.1 Évaluation des composantes de la politique

Il y avait quatre composantes à analyser.

1. Longévité et stabilité de la politique :

- ❖ Le Québec a obtenu un score de 9 en raison de son échéancier politique de 10 ans (Anh-Thu et al., 2008).
- ❖ L'Ontario a obtenu un score de 10, ce qui reflète sa durée plus longue de 12 ans et son soutien constant (Environmental Commissioner of Ontario, 2010).

2. Instruments de politique de soutien réglementaire :

- ❖ Le Québec a obtenu un score de 3 en raison de l'absence d'exigences obligatoires en matière de mélange (Anh-Thu et al., 2008).
- ❖ L'Ontario a obtenu une note de 4 pour son règlement obligatoire sur le mélange d'éthanol à 5 % (Environmental Commissioner of Ontario, 2010).

3. **Financement de la R-D**

- ❖ Le Québec a obtenu un score de 0, indiquant qu'il n'y a aucun soutien à l'innovation ou à l'évolutivité (Anh-Thu et al., 2008).
- ❖ L'Ontario a obtenu un score de 2, en raison d'un investissement modeste en R-D (Environmental Commissioner of Ontario, 2010).

4. **Subventions et incitatifs financiers :**

- ❖ Le Québec a alloué 12 millions de dollars canadiens, obtenant un score de 3 (Anh-Thu et al., 2008).
- ❖ Le financement plus important de l'Ontario de 32,5 millions de dollars canadiens a obtenu une note de 7 (Environmental Commissioner of Ontario, 2010).

5.2.2.2 Efficacité de l'évaluation des politiques

La politique du Québec a contribué à une réduction de 4,9 Mt, largement influencée par des facteurs externes (Ministère de l'Environnement, 2023). Cependant, la politique de l'Ontario a entraîné une réduction de 33 Mt, ce qui démontre le succès de sa conception globale (Environment and Climate Change Canada, 2024).

5.2.3 Discussion de l'étude de cas

Le Fonds de développement de l'éthanol de l'Ontario a permis de réduire plus considérablement les émissions de GES que le crédit d'impôt variable du Québec. Ce succès peut être attribué à l'approche stratégique intégrée de l'Ontario, qui combine la stabilité à long terme, des règlements obligatoires, des incitatifs financiers substantiels et des investissements en R-D. En revanche, le financement limité du Québec, la faiblesse des instruments de politique réglementaires et l'absence d'investissements en R-D ont nui à son efficacité.

Cette comparaison souligne l'importance d'une approche multidimensionnelle dans la conception des politiques en matière de bioénergie. Pour être efficaces, les politiques doivent intégrer la longévité, les instruments de politique réglementaires, les incitatifs financiers et les

investissements en R-D afin de maximiser les réductions de GES. Les futures politiques en matière de bioénergie devraient s'inspirer du cadre holistique de l'Ontario pour obtenir des résultats climatiques significatifs.

5.3 Discussion finale et recommandations politiques

Cette étude démontre que les politiques en matière de bioénergie sont plus efficaces lorsqu'elles intègrent les quatre composantes essentielles de la politique : longévité et stabilité, instruments de politique réglementaires, financement de la recherche et du développement (R-D), subventions et incitations financières. Les politiques qui ont équilibré ces composantes ont permis de réduire plus considérablement les émissions de GES que celles axées sur des facteurs isolés.

À la lumière de ces connaissances, les recommandations suivantes sont proposées et peuvent être prises en compte par les décideurs et les administrateurs publics pour l'élaboration de futures politiques sur la bioénergie au Canada.

- Adopter un cadre stratégique intégré

Veiller à ce que les futures politiques en matière de bioénergie soient conçues selon une approche équilibrée, intégrant les quatre composantes de la politique, ce qui signifie premièrement d'élaborer des politiques à long terme qui minimisent les perturbations causées par des changements politiques ou une application incohérente de la loi. L'élaboration de politiques de bioénergie assorties d'engagements à long terme (10+ ans) permettra de renforcer la confiance des investisseurs et d'assurer des progrès durables. Deuxièmement, la mise en œuvre d'une réglementation exhaustive qui couvre les principaux secteurs à forte intensité de GES, comme le transport, l'industrie et la production d'énergie. Mettre en place des cadres réglementaires solides qui établissent des exigences obligatoires en matière de mélange, des objectifs de réduction des émissions et des instruments de politique de conformité. Donner la priorité aux réglementations qui encouragent l'utilisation de la bioénergie dans les secteurs difficiles à décarboner, comme les transports et l'industrie lourde. Troisièmement, allouer des ressources substantielles à l'avancement des technologies de la bioénergie et au soutien de l'innovation. Augmenter les investissements en R-D pour explorer des technologies de bioénergie innovantes, telles que les biocarburants de deuxième génération ainsi que la bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECCS). De plus, établir des partenariats entre le gouvernement, le milieu universitaire et

l'industrie afin d'accélérer les progrès et d'assurer l'évolutivité de la technologie. Enfin, fournir un soutien financier ciblé pour encourager l'adoption de la bioénergie et la rendre concurrentielle par rapport aux combustibles fossiles. En fait, l'octroi d'incitatifs financiers substantiels et ciblés, tels que des subventions, des crédits d'impôt et des subventions, favorisera les projets de bioénergie.

- Intégrer un suivi complet des politiques

Mettre en place des instruments de politique de suivi et d'évaluation continus des politiques en matière de bioénergie. Utiliser des instruments de politique quantitatifs et qualitatifs pour évaluer l'efficacité des politiques dans la réduction des GES et ajuster les stratégies au besoin en fonction de ce qui est soulevé dans cette étude. En évaluant les politiques et en découvrant les politiques les plus efficaces à la fois, les décideurs peuvent avoir une meilleure idée de la façon de concevoir une politique ou se concentrer sur l'aspect « pour obtenir le meilleur résultat » afin d'obtenir le meilleur résultat. Ce faisant, le Canada peut maximiser le potentiel de la bioénergie pour atteindre ses objectifs climatiques et assurer des transitions énergétiques durables.

Conclusion

Cette recherche visait à évaluer l'efficacité des politiques canadiennes en matière de bioénergie au cours des deux dernières décennies dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et à déterminer la relation entre les composantes des politiques sur la bioénergie et l'efficacité des politiques. Pour conclure, nous résumerons les principaux résultats de la thèse, discuterons de ses limites et proposerons des pistes de recherche futures.

Résumé du mémoire

L'analyse documentaire présentée au chapitre 1 a jeté les bases de cette étude en explorant le contexte et l'importance de la bioénergie au Canada. Elle a mis en évidence le rôle croissant de la bioénergie dans la réalisation des objectifs climatiques, défini les termes clés et présenté les principales questions de recherche. Sur cette base, le chapitre 2 a examiné les défis et les lacunes de la politique en matière de bioénergie, en mettant l'accent sur les incohérences réglementaires, les incitatifs financiers et d'autres obstacles qui entravent l'adoption et le succès des initiatives en matière de bioénergie. Le chapitre 3 a décrit en détail la méthodologie de recherche, en utilisant le Cadre d'analyse stratégique globale des biocarburants (CBPAF) pour évaluer systématiquement les éléments politiques les plus influents dans la réalisation des réductions de GES. L'étude a évalué la longévité des politiques, le soutien réglementaire, le financement de la recherche et du développement et les subventions. Enfin, les chapitres 4 et 5 ont analysé les résultats, montrant que les politiques combinant une longue durée, de fortes incitations financières, une application cohérente et des investissements substantiels en R-D étaient les plus efficaces pour réduire les émissions. Les résultats soulignent la nécessité d'une meilleure coordination entre les politiques fédérales et provinciales afin d'accroître l'impact des solutions bioénergétiques. Des politiques comme l'Approche pancanadienne pour une tarification de la pollution par le carbone se sont révélées prometteuses, tandis que d'autres ont été moins efficaces en raison d'une mauvaise intégration des composantes essentielles. Les résultats de cette étude s'alignent sur les résultats d'Usmani et al. (2023), qui ont utilisé le Cadre d'analyse stratégique globale des biocarburants pour évaluer les politiques en matière de biocarburants dans les principaux pays producteurs de biocarburants. Leurs recherches ont démontré que les pays dotés de cadres politiques équilibrés et

bien intégrés obtenaient de bien meilleurs résultats en matière de production et d'utilisation des biocarburants que ceux dont les politiques étaient déséquilibrées ou incomplètes.

Les résultats d'Usmani et al. (2023) concordent avec les résultats de la présente étude sur les politiques canadiennes en matière de bioénergie. La corrélation positive observée entre les composantes de la politique globale et l'efficacité des politiques en matière de bioénergie dans la réduction des émissions de GES soutient l'argument selon lequel un cadre politique équilibré est essentiel pour obtenir des résultats percutants. Par exemple, le Fonds de croissance de l'éthanol de l'Ontario, qui a intégré une combinaison de soutien financier solide, de mandats réglementaires et de financement de la R-D, a démontré une plus grande efficacité dans la réduction des émissions de GES que le crédit d'impôt variable du Québec, qui n'a pas une intégration similaire. En outre, l'analyse de Dunn (2011) sur l'intégration des politiques souligne l'importance de combiner les instruments de politique réglementaires, les incitatifs financiers et l'engagement des parties prenantes. Ce mémoire constate que des politiques comme l'Approche pancanadienne pour la tarification de la pollution par le carbone intègrent efficacement ces éléments, ce qui entraîne d'importantes réductions de GES. De plus, les conclusions du mémoire s'alignent sur celles de Kwakye et al. (2024), soulignant la nécessité de cadres politiques intégrés et spécifiques au contexte qui équilibrent les objectifs environnementaux, sociaux et économiques afin de maximiser les avantages de la bioénergie en tant que solution énergétique durable.

Ces parallèles valident l'approche méthodologique de cette étude et soulignent l'applicabilité universelle d'un cadre d'évaluation basé sur les composantes pour les politiques de bioénergie et de biocarburants. Ce contexte plus large soutient la conclusion selon laquelle les décideurs politiques doivent accorder la priorité à l'intégration des instruments de politiques financières, réglementaires et éducatives afin d'optimiser l'efficacité des politiques et de soutenir les objectifs climatiques nationaux et mondiaux.

Limites de la recherche

Malgré ses contributions, cette étude présente des limites qui méritent d'être prises en considération. Premièrement, bien que le CBPAF ait fourni un cadre d'évaluation structuré, l'analyse s'est appuyée sur la disponibilité des données, qui étaient inégales d'une politique à l'autre et d'une région à l'autre. Certaines politiques ne comportaient pas de rapports complets, en

particulier les anciennes politiques qui ont été introduites en 2000, ce qui a limité la profondeur de l'analyse.

Deuxièmement, l'étude a été menée dans le contexte des deux dernières décennies. Compte tenu de la nature évolutive des politiques et des technologies climatiques, certaines répercussions à long terme de nouvelles initiatives, comme la Stratégie canadienne pour l'hydrogène en 2020, demeurent incertaines.

Troisièmement, pour cette étude, il y avait un manque de données sur le total exact des réductions de GES de chaque politique dans les sources disponibles. Il était donc difficile d'effectuer une analyse précise de l'efficacité des politiques individuelles. Cependant, cette étude a abordé cette limite en analysant les politiques sur une période normalisée de cinq ans, une méthode soutenue par la littérature comme étant efficace pour évaluer les impacts des politiques (Allen et Hammond, 2019). Cette approche a fourni un cadre cohérent pour évaluer l'efficacité relative des politiques de réduction des émissions de GES.

Enfin, le système de notation, bien que systématique, intègre un élément de subjectivité, en particulier dans les évaluations qualitatives des résultats des politiques. Comme le notent les travaux de Zhang et al. (2017), la subjectivité est un aspect normal des cadres d'évaluation, en particulier lorsque des relations quantitatives claires sont difficiles à établir. Dans cette étude, la subjectivité a été gérée par des méthodes systématiques auto-appliquées et atténuée par une validation croisée avec des données quantitatives, garantissant la fiabilité du modèle de notation avec la confirmation finale d'un expert en administration publique dans la notation. En outre, l'utilisation d'approches à méthodes mixtes, qui combinent l'analyse qualitative et quantitative, est largement reconnue comme une bonne pratique pour l'évaluation des politiques (Halevi Hochwald et al., 2023). Cela permet de s'assurer que les constatations sont à la fois exhaustives et solides sur le plan méthodologique, tout en laissant de la place pour des recherches futures afin de préciser et d'améliorer les paramètres d'évaluation.

Orientations des recherches futures

Cette étude fournit une base précieuse pour explorer les politiques en matière de bioénergie et leur rôle dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en particulier du point de vue de l'administration publique. En tant qu'étudiant à la maîtrise en administration publique, cette

recherche a été motivée par l'importance de fournir aux décideurs politiques des informations fondées sur des données pour soutenir la prise de décisions éclairées. L'une des principales contributions de cette étude est d'identifier les politiques de bioénergie les plus efficaces et de souligner comment la combinaison d'éléments politiques – tels que le soutien réglementaire, les incitatifs financiers et le financement de la recherche et du développement – a contribué à leur succès. Des recherches futures peuvent s'appuyer sur ces résultats pour aider les décideurs et les étudiants en administration publique à faire progresser la conception de politiques en matière de bioénergie.

Premièrement, des études futures pourraient approfondir la compréhension des raisons pour lesquelles certaines combinaisons de politiques ont été particulièrement efficaces pour réduire les émissions de GES. En analysant l'interaction d'éléments tels que la longévité des politiques, les incitations financières et les instruments de politique réglementaires, les chercheurs peuvent fournir aux décideurs politiques des informations exploitables sur la reproduction de ces succès. Ces connaissances permettraient d'élaborer des politiques plus précises et plus efficaces à l'avenir.

Deuxièmement, compte tenu des défis de la coordination intergouvernementale, les recherches futures devraient explorer des instruments de politique permettant d'améliorer l'harmonisation des politiques entre les administrations fédérales, provinciales et territoriales du Canada. Les leçons tirées d'études de cas internationales, en particulier de régions comme l'Union européenne dotées de stratégies cohérentes en matière d'énergies renouvelables, pourraient offrir des indications précieuses pour favoriser la collaboration entre les diverses parties prenantes.

Troisièmement, bien que le coefficient de corrélation de rang de Spearman nous permette d'identifier les relations entre les composantes et les résultats des politiques, il n'établit pas de causalité. Les corrélations observées indiquent des associations, mais ne prouvent pas qu'un composant spécifique cause directement des réductions de GES. D'autres études utilisant des méthodologies causales, telles que des plans expérimentaux ou la modélisation par équations structurelles, seraient nécessaires pour établir la causalité. Cette étude vise à identifier les relations entre les composantes des politiques et leur efficacité dans la réduction des émissions de GES. La corrélation de rang de Spearman convient à l'évaluation de ces associations, car il s'agit d'une méthode non paramétrique qui ne suppose pas la linéarité ou la normalité, ce qui correspond à la nature des données recueillies dans cette recherche. Des recherches futures pourraient utiliser des

méthodes d'inférence causale, telles que l'analyse des différences, dans les différences ou les essais contrôlés randomisés, pour étudier davantage les instruments de politique causaux sous-jacents à ces relations.

De plus, des études sectorielles sur l'efficacité des politiques en matière de bioénergie dans l'agriculture, la foresterie et les transports pourraient fournir aux décideurs une compréhension nuancée de la façon dont la bioénergie peut être optimisée pour différentes industries. Une telle recherche ciblée aiderait également les étudiants en administration publique à mieux comprendre les applications multidimensionnelles des politiques de bioénergie dans tous les secteurs.

Sur le plan pratique, cette recherche met en évidence la nécessité de renforcer la disponibilité, l'accessibilité et la standardisation des données relatives aux politiques de bioénergie. Plusieurs politiques analysées souffrent d'un manque de transparence dans la diffusion des résultats, l'absence de données détaillées sur les montants investis ou les réductions d'émissions attendues, et les lacunes dans le suivi des impacts réels. Afin d'améliorer la qualité des évaluations futures, il serait pertinent que les gouvernements mettent en place des mécanismes systématiques de collecte et de publication de données désagrégées par programme, avec des indicateurs harmonisés. De plus, la création d'une base de données centralisée et publique sur les politiques énergétiques et climatiques permettrait de soutenir les chercheurs, les analystes de politiques et les décideurs dans leurs travaux comparatifs et prospectifs. Ces recommandations pourraient renforcer la transparence, la redevabilité et l'efficacité des politiques canadiennes en matière de bioénergie.

Enfin, cette étude a mis en évidence l'intérêt de combiner des approches qualitatives et quantitatives pour évaluer l'efficacité des politiques. Les recherches futures pourraient porter sur l'amélioration des méthodes d'évaluation, en particulier dans les contextes où des données précises sur la réduction des GES ne sont pas disponibles. Des méthodologies améliorées permettraient aux décideurs d'évaluer l'impact des politiques existantes et de concevoir des stratégies fondées sur des données pour les initiatives futures.

En s'appuyant sur ces orientations, les recherches futures peuvent donner aux décideurs politiques et aux administrateurs publics les instruments de politique afin de concevoir des politiques bioénergétiques plus efficaces. Cette approche permettra non seulement de renforcer les efforts du Canada pour atteindre ses objectifs climatiques, mais aussi de mieux comprendre le rôle essentiel que joue la conception des politiques dans la promotion de solutions énergétiques durables.

Bibliographie

1. Allen, P. E., & Hammond, G. P. (2019). Bioenergy utilization for a low carbon future in the UK: The evaluation of some alternative scenarios and projections. **BMC Energy**, 1(1), 3.
2. Anh-Thu, N., Halley, P., & Calkins, P. (2008). Biofuels in Canada: Normative framework, existing regulations, and politics of intervention. **McGill International Journal of Sustainable Development Law and Policy**, 4, 19.
3. Antwi, E. K., Burkhardt, H., Boakye-Danquah, J., Doucet, T., & Abolina, E. (2023). Review of climate change adaptation and mitigation implementation in Canada's forest ecosystems Part II: Successes and barriers to effective implementation. **Environmental Reviews**, 32(1), 42–67.
4. Baležentis, T., Streimikiene, D., Zhang, T., & Liobikiene, G. (2019). The role of bioenergy in greenhouse gas emission reduction in EU countries: Environmental Kuznets Curve modeling. **Resources, Conservation and Recycling**, 142, 225–231.
5. Bali, A. S., Howlett, M., Lewis, J. M., & Ramesh, M. (2021). Procedural policy tools in theory and practice. **Policy and Society**, 40(3), 295–311.
6. Birch, K. (2016). Emergent imaginaries and fragmented policy frameworks in the Canadian bio-economy. **Sustainability**, 8(10), 1007.
7. Bullock, R. C. L., Zurba, M., et al. (2020). Open for bioenergy business? Perspectives from Indigenous business leaders on biomass development potential in Canada. **Ambio**, 49(1), 299–309.
8. Buss, J., Mansuy, N., & Madrali, S. (2021). De-risking wood-based bioenergy development in remote and Indigenous communities in Canada. **Energies**, 14(9), 2603.
9. Butnar, I., Li, P. H., Strachan, N., Portugal Pereira, J., Gambhir, A., & Smith, P. (2020). A deep dive into the modeling assumptions for biomass with carbon capture and storage (BECCS): A transparency exercise. **Environmental Research Letters**, 15(8), 084008.
10. Charrière, A., & Zhang, M. (2014). *Timeline: Bioenergy policy and regulation in Canada and the United States*. Ottawa: Institute for Science, Society and Policy, University of Ottawa.

11. Dale, A., Robinson, J., King, L., Burch, S., Newell, R., Shaw, A., & Jost, F. (2020). Meeting the climate change challenge: Local government climate action in British Columbia, Canada. **Climate Policy**, 20(7), 866–880.
12. Dunn, W. N. (2011). **Public policy analysis: An introduction** (5th ed.). Boston : Pearson Education.
13. Environment and Climate Change Canada. (2013). **Renewable Fuels Regulations Report: December 15, 2010, to December 31, 2012**. Government of Canada.
14. Environment and Climate Change Canada. (2020). **Pan-Canadian approach to pricing carbon pollution: Interim report 2020**. Government of Canada.
15. Environment and Climate Change Canada. (2024). **Canadian environmental sustainability indicators: Greenhouse gas emissions**. Government of Canada. Extrait de <https://www.canada.ca>; Consulté en novembre 2024.
16. Environment Canada. (2003). **Canada’s greenhouse gas inventory, 1990–2003: Summary report**. Environment Canada.
17. Environmental Commissioner of Ontario. (2010). **Broadening Ontario’s climate change policy agenda: Annual greenhouse gas progress report 2010**. Environmental Commissioner of Ontario.
18. Giuntoli, J., Searle, S., Pavlenko, N., & Agostini, A. (2021). A systems perspective analysis of an increased use of forest bioenergy in Canada: Potential carbon impacts and policy recommendations. **Journal of Cleaner Production**, 321, 128889.
19. Government of Canada. (2011). Regulations amending the Renewable Fuels Regulations. **Canada Gazette**, Partie II, 145(15), 1921–1935. Extrait de <https://canadagazette.gc.ca>; Consulté en janvier 2025.
20. Habiba, U. M. M. E., Xinbang, C., & Anwar, A. (2022). Do green technology innovations, financial development, and renewable energy use help to curb carbon emissions? **Renewable Energy**, 193, 1082–1093.

21. Hailemariam, A., Ivanovski, K., & Dzhumashev, R. (2022). Does R&D investment in renewable energy technologies reduce greenhouse gas emissions? **Applied Energy**, 327, 120056.
22. Haji, S. H. H., & Hafidh, H. A. (2024). The public safety and security policy model in African countries. **Advances in Research**, 25(6), 366–380.
23. Halevi Hochwald, I., Green, G., Sela, Y., Radomyslsky, Z., Nissanholtz-Gannot, R., & Hochwald, O. (2023). Converting qualitative data into quantitative values using a matched mixed-methods design: A new methodological approach. **Journal of Advanced Nursing**, 79(11), 4398–4410.
24. Hannam, K. D., Fleming, R. L., Venier, L., & Hazlett, P. W. (2019). Can bioenergy ash applications emulate the effects of wildfire on upland forest soil chemical properties? **Soil Science Society of America Journal**, 83, S201–S217.
25. Heale, R., & Twycross, A. (2018). What is a case study? **Evidence-Based Nursing**, 21(1), 7–8.
26. Hodge, G. A., & Greve, C. (2017). On public–private partnership performance: A contemporary review. **Public Works Management & Policy**, 22(1), 55–78.
27. Howlett, M., Ramesh, M., & Perl, A. (2020). **Studying public policy: Principles and processes** (4th ed.). Oxford University Press.
28. IEA Bioenergy. (2021). **Country report 2021: Canada**. IEA Bioenergy. Extrait de <https://www.ieabioenergy.com> ; Consulté en janvier 2025.
29. IEA Bioenergy. (2009). **Bioenergy: A sustainable and reliable energy source—A review of status and prospects**. IEA Bioenergy.
30. Infrastructure Canada. (2021). **Evaluation of the Green Infrastructure Fund 2020–2021**. Government of Canada. Extrait de <https://www.infrastructure.gc.ca> ; Consulté en janvier 2025.
31. International Energy Agency. (2022). **Canada 2022 energy policy review**. IEA.

32. Jordaan, S. M., Romo-Rabago, E., McLeary, R., Reidy, L., Nazari, J., & Herremans, I. M. (2017). The role of energy technology innovation in reducing greenhouse gas emissions: A case study of Canada. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 78, 1397–1409.
33. Kwakye, J. M., Ekechukwu, D. E., & Ogundipe, O. B. (2024). Policy approaches for bioenergy development in response to climate change: A conceptual analysis. **World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences**, 12(02), 299–306.
34. Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., & Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. **Environmental Research Letters**, 16(7), 073005.
35. Lima, M. A., Mendes, L. F. R., Mothé, G. A., Linhares, F. G., De Castro, M. P. P., Da Silva, M. G., & Sthel, M. S. (2020). Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, 33, 100504.
36. Locoh, A., Thiffault, É., & Barnabé, S. (2022). Sustainability impact assessment of forest bioenergy value chains in Quebec (Canada)—A ToSIA approach. **Energies**, 15(18), 6676.
37. Lowi, T. J. (1972). Four systems of policy, politics, and choice. **Public Administration Review**, 32(4), 298–310.
38. Lu, H., Xu, Z. D., Cheng, Y. F., Peng, H., Xi, D., Jiang, X., & Shan, Y. (2023). An inventory of greenhouse gas emissions due to natural gas pipeline incidents in the United States and Canada from the 1980s to 2021. **Scientific Data**, 10(1), 282.
39. Mai-Moulin, T., Hoefnagels, R., Grundmann, P., & Junginger, M. (2021). Effective sustainability criteria for bioenergy: Towards the implementation of the European Renewable Directive II. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 138, 110645.
40. McKechnie, J., Colombo, S., & MacLean, H. L. (2014). Forest carbon accounting methods and the consequences of forest bioenergy for national greenhouse gas emissions inventories. **Environmental Science & Policy**, 44, 164–173.
41. McKechnie, J., Colombo, S., Chen, J., Mabee, W., & MacLean, H. L. (2011). Forest bioenergy or forest carbon? Assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels. **Environmental Science & Technology**, 45(2), 789–795.

42. Menghwani, V., Wheat, R., Balicki, B., Poelzer, G., Noble, B., & Mansuy, N. (2023). Bioenergy for community energy security in Canada: Challenges in the business ecosystem. **Energies**, 16(4), 1560.
43. Natural Resources Canada. (2007). **Report to Parliament under the Energy Efficiency Act 2007–2008**. Extrait de <https://oee.nrcan.gc.ca> ; Consulté en janvier 2025.
44. Office of the Auditor General of Canada. (2021). **Reports of the Commissioner of the Environment and Sustainable Development to the Parliament of Canada – Report 5: Lessons learned from Canada's record on climate change**. Extrait de <https://www.oag-bvg.gc.ca> ; Consulté en janvier 2025.
45. Okpala, B. (2020). A measure of the impact of employee motivation on multicultural team performance using the Spearman rank correlation coefficient. **SSRN**. Extrait de <https://papers.ssrn.com> ; Consulté en janvier 2025.
46. Proskurina, S., & Vakkilainen, E. (2024). Perspectives on challenges to bioenergy use in the EU. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, 18(4), 938–951.
47. Roy, P. (2013). Biofuel legislation for sustainable and social development: A review. **OIDA International Journal of Sustainable Development**, 6(2), 101–110.
48. Salamon, L. M. (2002). **The tools of government: A guide to the new governance**. Oxford University Press.
49. Schmidt, M. W., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., & Trumbore, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, 478(7367), 49–56.
50. Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. **Anesthesia & Analgesia**, 126(5), 1763–1768.
51. Semboja, H. H., & Hafidh, H. A. (2024). The public safety and security policy model in African countries. **Advances in Research**, 25(6), 366–380.

52. Suttles, S. A., Tyner, W. E., Shively, G., Sands, R. D., & Sohngen, B. (2014). Economic effects of bioenergy policy in the United States and Europe: A general equilibrium approach focusing on forest biomass. **Renewable Energy**, 69, 428–436.
53. Talaei, A., Gemechu, E., & Kumar, A. (2020). Key factors affecting greenhouse gas emissions in the Canadian industrial sector: A decomposition analysis. **Journal of Cleaner Production**, 246, 119026.
54. Testa, L., Morese, M. M., Miller, C., Traverso, L., Pirelli, T., Fracassi, P., Wagemann, K., Mueller-Langer, F., De Lucia, C., Maroušek, J., Thrän, D., & Chiaramonti, D. (2023). Bioenergy and nutrition: Positive linkages for the achievement of the UN Sustainable Development Goals. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, 12(6), e489.
55. Usmani, R. A., Mohammad, A. S., & Ansari, S. (2023). Comprehensive biofuel policy analysis framework: A novel approach evaluating the policy influences. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 183, 113403.
56. Vaillancourt, K., Bahn, O., & Levasseur, A. (2019). The role of bioenergy in low-carbon energy transition scenarios: A case study for Quebec (Canada). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 102, 24–34.
57. Wang, H., Zhang, S., Bi, X., & Clift, R. (2020). Greenhouse gas emission reduction potential and cost of bioenergy in British Columbia, Canada. **Energy Policy**, 138, 111285.
58. Weisser, D. (2007). A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. **Energy**, 32(9), 1543–1559.
59. Zhang, Z., Zhang, Z. J., et al. (2017). A quantitative approach to design alternative evaluation based on data-driven performance prediction. **Advanced Engineering Informatics**, 32, 150–159.
60. Zurba, M., & Bullock, R. (2020). Bioenergy development and the implications for the social well-being of Indigenous peoples in Canada. **Ambio**, 49(1), 299–309.